

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM BASE NO MÉTODO  
PROMETHEE UTILIZANDO HEURÍSTICA DO CUSTO  
BENEFÍCIO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE  
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE  
POR

**BRUNA OLIVEIRA DE SIQUEIRA**

Orientador: Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa  
Coorientador: Dra. Eduarda Asfora Frej

RECIFE, 12/2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORAPARECER DA COMISSÃO  
EXAMINADORAPARECER DA COMISSÃO EXAMINADORAPARECER  
DA COMISSÃO EXAMINADORADA COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE**

*BRUNA OLIVEIRA DE SIQUEIRA*

**“SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM BASE NO MÉTODO PROMETHEE  
UTILIZANDO HEURÍSTICA DO CUSTO BENEFÍCIO”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato Bruna Oliveira de Siqueira **xxxxx**.

Recife, xx de xxxxxx de xxxx.

---

Prof. NOME DO ORIENTADOR, PhD (UFPE)

---

Prof. NOME DO EXAMINADOR INTERNO, PhD (UFPE)

---

Prof. NOME DO EXAMINADOR EXTERNO, PhD (INSTITUIÇÃO)

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Siqueira, Bruna Oliveira de.

Seleção de portfólio com base no método Promethee utilizando heurística do custo benefício / Bruna Oliveira de Siqueira. - Recife, 2025.

92f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, 2025.

Orientação: Ana Paula Cabral Seixas Costa.

Coorientação: Eduarda Asfora Frej.

Inclui referências.

1. Seleção de portfólio; 2. PROMETHEE; 3. heurística de custo-benefício; 4. Sistema de Apoio à Decisão (SAD). I. Costa, Ana Paula Cabral Seixas. II. Frej, Eduarda Asfora. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

“Estou convencido de que aquele que começou boa obra em vocês, vai completá-la.”  
(Filipenses 1:6, Bíblia).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde e determinação para superar todos os desafios e seguir em frente ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Edvânia e Paulo Jean, sou profundamente grata por todo incentivo nos momentos difíceis e pela compreensão diante da minha ausência enquanto me dedicava a este trabalho.

Ao meu noivo, Gilberto, obrigado por todo apoio e paciência. Sua motivação e impulso foram essenciais para enfrentar cada desafio.

Aos amigos do PPGEP, minha gratidão pelo compartilhamento de conhecimento e pelo apoio mútuo. Sem vocês, essa caminhada teria sido muito mais árdua.

Às minhas orientadoras, Professora Ana e Professora Eduarda, expresso minha sincera gratidão pela orientação dedicada e pelos valiosos insights que moldaram este trabalho.

## RESUMO

A seleção de portfólio de projetos é uma tarefa estratégica de fundamental importância para organizações que buscam melhorar a alocação de recursos eficazmente. Diante do aumento da complexidade na avaliação de múltiplos critérios e na gestão de recursos, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias que irão auxiliar os decisores a escolherem os projetos mais adequados. Nesse contexto, as metodologias tradicionais enfrentam vários desafios, como a dificuldade em equilibrar aspectos técnicos e financeiros e a ponderação de múltiplos critérios que impactarão no sucesso do portfólio. Para enfrentar questões deste tipo, este estudo propõe uma metodologia inovadora baseada no método PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), integrando a heurística de custo-benefício. O PROMETHEE II é reconhecido por sua capacidade de ordenar as alternativas levando em consideração múltiplos critérios. Neste trabalho, essa ordenação é aplicada ao problema de seleção de portfólio, utilizando uma heurística baseada na relação entre custos e benefícios dos projetos. Com esse aprimoramento possibilita-se uma maior flexibilidade e precisão na seleção de portfólios, permitindo que os decisores priorizem aqueles com o melhor retorno em termos de recursos investidos. Além disso, para facilitar a aplicação da metodologia proposta, desenvolveu-se um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), que operacionaliza o PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício. Um módulo de análise de sensibilidade foi incluído no SAD, permitindo verificar a robustez das decisões frente a variações nos parâmetros iniciais. Com a finalidade de avaliar a metodologia proposta, foram realizadas comparações com outras metodologias tradicionais de seleção de portfólio, demonstrando, assim, que a integração do PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício oferece resultados adequados à realidade das organizações, requerendo menor esforço computacional frente à tradicional abordagem de otimização combinatória para definição do portfólio de itens. A metodologia proposta apresenta impactos positivos pois otimiza a alocação de recursos e reduz custos, facilita a escolha de projetos sustentáveis e melhora a transparência e eficiência na tomada de decisão. Sendo assim, esta metodologia destaca-se por sua capacidade de lidar com múltiplos critérios, oferecendo uma abordagem prática e eficiente para a gestão de portfólios.

*Palavras Chave: Seleção de portfólio, PROMETHEE, heurística de custo-benefício, Sistema de Apoio à Decisão (SAD).*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa (Esta pesquisa, 2024) .....	16
Figura 2 –Fluxo de sobreclassificação de saída (Brans, 2016) .....	22
Figura 3 –Fluxo de sobreclassificação de entrada (Brans, 2016).....	23
Figura 4 – Fluxograma do modeloFluxograma do modelo (Esta pesquisa, 2024) .....	41
Figura 5 –Tela inicial inicial (Esta pesquisa, 2024).....	44
Figura 6 – Tela de autenticação de usuário (Esta pesquisa, 2024) .....	45
Figura 7 – Cadastro de usuário (Esta pesquisa, 2024) .....	45
Figura 8 –Tela de seleção de ação (Esta pesquisa, 2024).....	46
Figura 9 –Tela de importação de planilha (Esta pesquisa, 2024) .....	47
Figura 10 – Tela de input manual das informações (Esta pesquisa, 2024) .....	48
Figura 11 – Tela de retomada de problema (Esta pesquisa, 2024).....	49
Figura 12 – Tela da matriz de consequências (Esta pesquisa, 2024).....	49
Figura 13 – Tela seleção de função de preferência intra-critério(Esta pesquisa, 2024) .....	50
Figura 14 – Tela de elicitação dos pesos (Esta pesquisa, 2024).....	51
Figura 15 – Avaliação Direta (Esta pesquisa, 2024) .....	52
Figura 16– Tela do procedimento ROC (rank-order-Centroid)(Esta pesquisa, 2024).....	53
Figura 17– Tela passo 1 procedimento Ratio (Esta pesquisa, 2024) .....	54
Figura 18– Tela passo 2 procedimento Ratio (Esta pesquisa, 2024) .....	55
Figura 19– Resultado passo 2 procedimento ratio (Esta pesquisa, 2024) .....	56
Figura 20– Tela de resultados (Esta pesquisa, 2024) .....	57
Figura 21– Análise de sensibilidade parte 1. (Esta pesquisa, 2024) .....	59
Figura 22– Resultado da análise de sensibilidade (Esta pesquisa, 2024) .....	60
Figura 23– Diagrama entidade-relacionamento (ER) (Esta pesquisa, 2024) .....	62
Figura 24–Módulos do sistema (Esta pesquisa, 2024) .....	64
Figura 25–Projetos ranqueados por custo-benefício (Frej,Ekel e de Almeida, 2021).....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formas básicas da função $F_i(a,b)$ .....	21
Tabela 2 – Matriz de consequências do exemplo hipotético....	43
Tabela 3 – Matriz de consequência aplicação 1.....	66
Tabela 4 – Portfólio resultante 1 do PROMETHEE custo-benefício.....	68
Tabela 5 – Matriz de consequência aplicação 2.....	71
Tabela 6 – Portfólio resultante Barbati et al. (2023)....	72
Tabela 7 – Portfólio resultante 2 do PROMETHEE custo-benefício.....	73
Tabela 8 – Matriz de consequência aplicação 3... ..	74
Tabela 9 – Portfólio resultante 3 do PROMETHEE custo-benefício.....	76

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	19
Equação 2 .....	19
Equação 3 .....	19
Equação 4 .....	21
Equação 5 .....	21
Equação 6 .....	21
Equação 7 .....	21
Equação 8 .....	34
Equação 9 .....	35
Equação 10 .....	35
Equação 11 .....	40
Equação 12 .....	40
Equação 13 .....	40
Equação 14 .....	40
Equação 15 .....	41
Equação 16 .....	41
Equação 17 .....	54

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	12
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO .....	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	13
1.3	METODOLOGIA.....	13
1.3.1	PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS .....	14
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
2.1.1	<i>Seleção de portfólio</i> .....	17
2.1.2	<i>PROMETHEE II</i> .....	18
2.1.2.1	<i>Estrutura de avaliação do método PROMETHEE</i> .....	19
2.1.3	<i>Uso do método PROMETHEE para seleção de portfólio</i> .....	22
2.1.4	<i>Razão Custo-Benefício (BCR)</i> .....	23
2.1.5	<i>Portfólio com abordagem custo-benefício</i> .....	25
2.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	26
2.2.1	<i>Seleção de portfólio com métodos multicritério</i> .....	26
2.2.1.1	<i>Modelos aditivos</i> .....	26
2.2.1.2	<i>Métodos de sobreclassificação</i> .....	28
2.2.1.3	<i>Outras abordagens multicritério</i> .....	31
2.2.2	<i>Aplicações do PROMETHEE na Seleção de Portfólios Multicritério</i> .....	34
2.2.3	<i>Aplicações da heurística de Custo-Benefício em diferentes contextos</i> .....	36
2.3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTA OBRA.....	38
<b>3</b>	<b>MODELO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM MÉTODO PROMETHEE II UTILIZANDO HEURÍSTICA DO CUSTO BENEFÍCIO .....</b>	<b>40</b>
3.1	HEURÍSTICA DO CUSTO BENEFÍCIO (BCR).....	40
3.1.1	<i>Definição de novo modelo para seleção de portfólio com PROMETHEE II utilizando BCR</i> .....	40
3.1.2	<i>Definição das variáveis</i> .....	40
3.1.3	<i>Passos do modelo</i> .....	41
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM O MODELO PROPOSTO .....</b>	<b>45</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA .....	45
4.1.1	<i>Estrutura do sistema</i> .....	45
4.1.2	<i>Camada de apresentação</i> .....	46

4.1.2.1	<i>Camada de processamento</i> .....	62
4.1.3.1	<i>Camada de dados</i> .....	63
4.2	MÓDULOS DO SAD .....	65
4.3	APLICAÇÃO.....	67
4.3.1	<i>Primeira aplicação: Frej, Ekel e de Almeida (2021)</i> .....	67
4.3.2	<i>SEGUNDA APLICAÇÃO: BARBATI ET AL. (2023)</i> .....	72
4.3.3	<i>Terceira aplicação: Mavrotas et al. (2006)</i> .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>80</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	80
5.1.1	<i>Impactos positivos</i> .....	81
5.1.2	<i>Limitações</i> .....	82
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	82
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A seleção de projetos para compor um portfólio é uma tarefa complexa que envolve a alocação de recursos escassos para maximizar os benefícios e atingir os objetivos estratégicos, essa tarefa torna-se ainda mais crucial diante da necessidade de escolher, priorizar e controlar diversas iniciativas em um ambiente dinâmico e incerto, onde a competição por recursos é intensa e as metas organizacionais estão em constante mudanças (PATANAKUL, 2015). Muitas vezes, a complexidade da priorização, leva as organizações a utilizarem métodos intuitivos ou ferramentas de apoio à decisão que não abordam todos os critérios envolvidos e que podem não refletir com precisão o conhecimento e as preferências dos decisores (LÓPEZ & DE ALMEIDA;2013). Assim, de acordo com Larson e Gray (2016), essa limitação também pode ocorrer quando são considerados apenas critérios financeiros, pois essa abordagem tende a priorizar a lucratividade em detrimento de fatores estratégicos importantes, resultando em portfólios desequilibrados e decisões desalinhadas com os objetivos organizacionais.

Diante disso, o problema da seleção de portfólio de projetos tem sido amplamente discutido e para lidar com essa complexidade, são utilizadas metodologias de análise de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision Analysis / Multi-Criteria Decision Making/Aiding - MCDM/A*), que consideram diversos critérios simultaneamente na avaliação das alternativas. No entanto, a escolha da ferramenta analítica apropriada torna-se de difícil justificativa, dado o grande número de métodos disponíveis (ISHIZAKA & NEMERY,2013). Roy e Bouissou (1993) afirmam que essa variedade é importante para fornecer flexibilidade aos diferentes contextos decisórios. No entanto, ela também pode dificultar a escolha do método mais adequado levando a possíveis inconsistências nos resultados.

Posto isto, a escolha do método MCDM/A apropriado é intrinsecamente ligada aos objetivos e circunstâncias específicas enfrentadas pelos decisores. Selecionar o método mais adequado as preferências do decisor evita arbitrariedades no processo de decisão e garante que os critérios sejam avaliados com precisão. Neste contexto, destaca-se a família de métodos PROMETHEE (BRANS,1982), conhecida por sua eficácia na simplificação da complexidade da avaliação e ordenação de alternativas (BERTONCINI, et al. 2022).

Para a problemática de portfólio de projetos, o PROMETHEE V é particularmente relevante, pois utiliza os fluxos líquidos das alternativas em um modelo de otimização para selecionar o melhor portfólio, respeitando as restrições de recursos (BRANS & MARESCHAL, 2005).

Em seu estudo, Mavrotas et al (2006) enfatizam uma limitação no método clássico de seleção de portfólios, especificamente em relação aos fluxos líquidos das alternativas. De Almeida et al. (2014) evidenciam que essas distorções não se limitam a modelos não compensatórios em portfólios, mas também ocorrem em métodos de agregação aditiva e racionalidade compensatória, conforme discutido por Roy (1996), Vincke (1992) e Keeney e Raiffa (1993).

Como solução para superação desses desafios de escala, Vetschera e De Almeida (2012) introduzem o conceito de C-ótimo no PROMETHEE V. O C-ótimo envolve resolver o problema de otimização do método tradicional, acrescentando a restrição C, em outras palavras, selecionar o melhor portfólio com C projetos, oferecendo uma abordagem precisa e ajustada para a realidade na escolha de portfólios.

O método PROMETHEE V, embora eficaz, exige um alto esforço computacional para resolver problemas de natureza combinatória. A complexidade do método aumenta à medida que o número de alternativas cresce, deixando o processo de otimização cada vez mais custoso em termos de tempo e recursos computacionais. Para contornar essas limitações, a heurística do custo-benefício surge como uma alternativa, especialmente adequada para contextos de portfólios em modelos multicritério. Dessa forma, essa abordagem tem como objetivo simplificar o processo de seleção ao priorizar alternativas que maximizam o retorno (benefício) em relação ao custo. Assim, diferentemente dos modelos de programação matemática, essa heurística de priorização evita a complexidade computacional associada à otimização, oferecendo uma solução prática e eficaz para a escolha de alternativas.

A heurística reduz significativamente o tempo de processamento, oferecendo uma solução mais prática e acessível, especialmente em cenários onde a combinação de alternativas é variada e o tempo de resposta é crítico. Assim, a heurística do custo-benefício pode ser vista como uma ferramenta eficiente para superar as limitações computacionais do PROMETHEE V, permitindo a identificação de portfólios viáveis e robustos sem sacrificar o desempenho ou precisão.

Em sua pesquisa Frej, Ekel e De Almeida (2021) propõem uma abordagem inovadora para a seleção de portfólios baseada na relação benefício-custo considerando situações onde o decisor tem racionalidade compensatória, voltada para situações de múltiplos critérios e informações incompletas sobre as preferências dos decisores. O estudo introduz um modelo que supera a dificuldade da imprecisão das constantes de escala dos critérios, transformando as preferências dos decisores em desigualdades que formam um espaço de pesos de critérios. Essas desigualdades são utilizadas como restrições em modelos de programação linear, o que permite obter relações de dominância entre os projetos e facilitar a seleção do portfólio. Esses modelos são processados para encontrar relações de dominância entre os projetos, levando em consideração suas relações de benefício-custo. Em suma, a heurística de custo-benefício proporciona uma maneira prática e eficiente de selecionar portfólios de projetos, possibilitando decisões mais informadas e ágeis em ambientes empresariais dinâmicos.

No entanto, existe uma lacuna na literatura em relação à uma metodologia integrada que combine o método PROMETHEE II, que é conhecido por sua eficácia na avaliação de alternativas, com a heurística de custo-benefício. Embora a literatura aborde várias metodologias para a seleção de portfólios, incluindo o uso do PROMETHEE V, nenhuma explora essa integração no contexto específico da racionalidade não-compensatória.

Para preencher essa lacuna, este estudo propõe uma abordagem inovadora que combina o PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício, utilizando a racionalidade não-compensatória como base. Essa combinação oferece uma alternativa prática e eficaz para a seleção de portfólios, especialmente em cenários multicritério onde a compensação direta entre critérios não é desejável. Além disso, Salo et al. (2024) discutem que, embora existam metodologias avançadas para a seleção de portfólios, ainda há uma escassez de justificativas e validações apropriadas para o uso dessas metodologias em contextos que demandam a integração de múltiplos critérios e aspectos estratégicos. Os mesmos enfatizam a necessidade de desenvolvimento contínuo nessa área, especialmente na validação de modelos que considerem tanto critérios quantitativos quanto qualitativos.

Neste contexto, esse estudo é direcionado pela seguinte pergunta de pesquisa: Como integrar o método PROMETHEE II e a heurística de custo-benefício para aprimorar a seleção de portfólios, considerando os desafios e as limitações existentes, e como essa metodologia pode ser operacionalizada através de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD)?

## 1.1 Justificativa e relevância

A seleção de portfólios é uma tarefa complexa, especialmente quando envolve múltiplos critérios de decisão e restrições de recursos. Embora o método PROMETHEE II seja amplamente reconhecido por sua eficácia na avaliação de alternativas em contextos multicritério, existe uma lacuna significativa na literatura quando se trata da integração do método com abordagens mais simplificadas, como a heurística de custo-benefício. Esse modelo, ao contrário do PROMETHEE V tradicional, que envolve uma análise combinatória exaustiva, propõe uma solução com menos esforço computacional e eficiente.

Conforme mencionado, apesar de haver metodologias avançadas para a seleção de portfólios, ainda faltam justificativas sólidas e validações apropriadas para o uso dessas técnicas em contextos que demandam a integração de critérios quantitativos e qualitativos (SALO ET AT, 2024). Este estudo responde a essa necessidade ao propor um modelo que combina o método PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício, oferecendo uma abordagem que reduz a complexidade computacional e proporciona uma solução prática.

A contribuição esperada desta abordagem é a priorização de projetos com melhor relação benefício x custo, resultando em uma metodologia que reduz significativamente o tempo de processamento e a carga computacional, como também torna o processo de decisão mais acessível. Ao simplificar a implementação, a metodologia torna-se menos dependente de especialistas, ampliando seu uso prático em diversos setores.

Além disso, o impacto potencial do estudo é significativo. A combinação do PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício aprimora a alocação de recursos, tais como alocação orçamentária, permitindo decisões robustas mesmo em cenários de grande complexidade. O desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) operacionaliza a metodologia, fornecendo aos decisores uma ferramenta ágil e fácil de ser utilizada na prática.

A metodologia proposta se destaca por sua flexibilidade, rapidez e precisão, especialmente quando comparada a métodos tradicionais de otimização, oferecendo resultados semelhantes em termos de qualidade, mas com menor esforço computacional. Ao aplicar a abordagem por meio de casos práticos, espera-se demonstrar sua eficácia em situações reais, onde a alocação criteriosa de recursos é essencial.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é propor uma nova metodologia para seleção de portfólio utilizando o método PROMETHEE II, com base na heurística custo-benefício, bem como a construção de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para operacionalizar a abordagem proposta.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Dado o objetivo geral, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o estado da arte sobre métodos de seleção de portfólio, com ênfase em abordagens não compensatórias, e em especial, baseadas no PROMETHEE II e na heurística custo-benefício, através de uma revisão da literatura.
- Analisar aspectos relacionados à eficácia da heurística do custo-benefício no contexto da seleção de portfólio utilizando o método PROMETHEE II.
- Construir uma modelagem para o PROMETHEE II com base na heurística custo-benefício para conduzir a seleção de portfólio.
- Desenvolver produto tecnológico (SAD) para operacionalizar a metodologia proposta.
- Aplicar a metodologia através de aplicações e casos práticos.

## 1.3 Metodologia

Esta pesquisa se enquadra como de natureza aplicada, orientada para uma aplicação prática, conforme destacado por Jung (2004). Ela faz uso de uma abordagem quanti-qualitativa, combinando elementos quantitativos, como mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação, com aspectos qualitativos nos quais o pesquisador obtém informações de fenômenos no ambiente de pesquisa através de observações e coleta de evidências (CAUCHICK et al., 2018).

De caráter exploratório quanto aos objetivos, pelo fato de instigar a melhoria teórico-prática de sistemas, processos e produtos, e inovação pela proposição de novos modelos, além de ser feita a partir de impulsos criativos, simulações e experimentações, podendo originar

novos modelos destinados a invenções, inovações e a otimização. E ainda como experimental quanto aos procedimentos para a aquisição de novos conhecimentos e produtos tecnológicos. (OLIVEIRA, SANTOS & FLORÊNCIO, 2019).

### 1.3.1 Procedimentos e técnicas

Quanto aos objetivos delineados para a pesquisa, diferentes focos são apresentados. O primeiro objetivo, que busca "mapear o estado da arte sobre métodos de seleção de portfólio, com ênfase em abordagens baseadas em PROMETHEE II e na heurística custo-benefício, através de uma revisão da literatura", caracteriza-se como uma pesquisa exploratória. Este objetivo visa proporcionar uma maior familiaridade com o problema em questão, estabelecendo uma base sólida para futuras investigações.

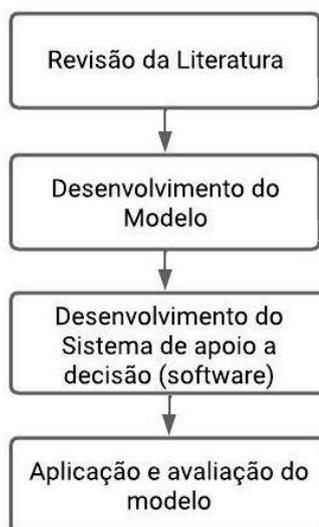
O segundo objetivo, "construir uma modelagem para o PROMETHEE II com base na heurística custo-benefício para conduzir a seleção de portfólio", é considerado uma pesquisa de desenvolvimento. Esta busca criar um modelo prático que utiliza a heurística custo-benefício para otimizar a seleção de portfólio, oferecendo uma abordagem eficiente e adaptável para enfrentar os desafios identificados na literatura.

O terceiro objetivo, "desenvolver produto tecnológico (SAD) para operacionalizar a metodologia proposta", também se enquadra como uma pesquisa de desenvolvimento. Este objetivo tem como intuito criar ou aprimorar um software prático e eficiente para operacionalizar a metodologia proposta na pesquisa.

Por fim, o quarto objetivo, nessa fase tem-se a implementação do modelo em casos retirados da literatura, visando testar os resultados obtidos. Neste contexto, a validação é essencial para verificar a eficácia do modelo e do software desenvolvido, garantindo que ambos atendam aos requisitos iniciais e resolvam o problema de forma eficaz.

Para isso, esse processo inclui a realização de testes com dados reais, possíveis ajustes no modelo e uma avaliação detalhada de seu desempenho.

Figura 1: Etapas da pesquisa



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

- Revisão da literatura: Esta é a fase inicial, onde será realizada uma pesquisa ampla sobre temas como a heurística do custo benefício, uso de MCDM/A em portfólio e métodos de sobreclassificação para portfólios. O objetivo é entender o que já foi estudado e publicado na área, identificar lacunas existentes e fundamentar o trabalho com teorias e conceitos relevantes. A revisão da literatura é crucial para que o projeto esteja alinhado com o estado da arte e para evitar a duplicação de esforços.
- Desenvolvimento do modelo: Nesta etapa, será desenvolvido um modelo teórico que integrará o método PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício, abordando a lacuna identificada na literatura. O modelo irá utilizar os fluxos líquidos do PROMETHEE II e a heurística de custo-benefício (BCR), a fim de propor uma abordagem equilibrada entre os benefícios e custos de cada alternativa. A representação matemática será focada na formulação de uma heurística que priorize a seleção de projetos com base em múltiplos critérios, respeitando as restrições de recursos e estratégicas. Esse modelo matemático fornecerá uma base sólida para a construção de um sistema de apoio à decisão (SAD), capaz de guiar a escolha de portfólios de maneira eficiente.

- Desenvolvimento do Sistema de Apoio a Decisão (software): Com o modelo teórico já definido, o próximo passo será o desenvolvimento do software. Esta fase envolve a codificação, testes, e refinamento do software para garantir que ele funcione conforme se espera. Neste ponto o modelo será transformado em uma ferramenta prática para aprimorar a eficiência na tomada de decisões durante o processo de seleção de portfólio.
- Aplicação e avaliação do modelo: Após o desenvolvimento do sistema de apoio a decisão (software), será aplicado o modelo em casos práticos da literatura e, com isso, pretende-se testar os dados. Esta fase é crucial para verificar a eficácia do modelo e do software, garantindo que eles atendam aos requisitos iniciais e resolvam o problema de forma eficaz. A validação pode incluir testes com dados reais, ajustes no modelo e avaliação de desempenho.

#### 1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do estudo, bem como os objetivos gerais e específicos.

O Capítulo II, intitulado Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica, explora os principais conceitos teóricos e trabalhos relacionados ao tema de seleção de portfólios, com ênfase no método PROMETHEE II e nas abordagens de custo-benefício. Além disso, realiza uma revisão do uso de métodos multicritério na seleção de portfólios e posiciona este estudo em relação ao estado da arte.

O Capítulo III propõe um Modelo para Seleção de Portfólio com Método PROMETHEE II utilizando a Heurística de Custo-Benefício, apresentando as variáveis envolvidas, definições formais e os passos necessários para a aplicação do modelo.

No Capítulo IV, é descrito o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para Seleção de Portfólio com o Modelo Proposto, detalhando a estrutura do sistema, suas camadas e módulos principais, além de três aplicações práticas com base em casos reais da literatura.

Por fim, o Capítulo V, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, apresenta as conclusões do estudo e propõe sugestões para pesquisas futuras que possam ampliar ou aperfeiçoar a metodologia apresentada.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Fundamentação Teórica**

Nesta seção, será apresentada a revisão de literatura sobre os principais conceitos relacionados à seleção de portfólio, destacando os métodos multicritério, como o PROMETHEE II, e abordagens heurísticas aplicadas à tomada de decisão. Serão discutidas as contribuições teóricas que embasam a formulação e o desenvolvimento da metodologia proposta nesta dissertação.

#### **2.1.1 Seleção de portfólio**

Várma e Kumar (2012) definem a gestão de portfólio como um processo complexo de tomada de decisão. Eles relatam que vários campos, desde pesquisa operacional até machine learning, têm explorado o problema de seleção de portfólio, visando atingir diferentes objetivos a longo prazo.

Em todas as organizações, a decisão sobre quais atividades, dentro de um conjunto possível, serão iniciadas, quais continuarão e quais serão finalizadas é crucial. Apoiar essas decisões em projetos e avaliar os benefícios de possíveis portfólios em função de seus componentes representa uma parte significativa para um resultado mais assertivo para o analista (MORTON, 2015). A aplicação da análise de portfólio nestes ambientes é citada como “análise de portfólio”, esta análise fornece uma estrutura para realizar a análise de portfólio com um tratamento rigoroso em diversas questões, como por exemplo o valor (KLEINMUNTZ, 2007).

Markowitz (1959) destaca que um bom portfólio deve ser mais do que uma simples lista de projetos ou ativos individuais. Em vez disso, ele deve ser equilibrado como um todo, proporcionando proteções e oportunidades em relação às possíveis contingências de um portfólio integrado. Além disso, o autor reforça que é fundamental construir um portfólio que atenda às necessidades específicas de forma otimizada, indo além de considerar apenas projetos individuais e incluindo também ativos financeiros ou outros recursos relevantes. Neste sentido a análise de portfólio deve começar com informações detalhadas dos componentes individuais e resultar em conclusões sobre o conjunto do portfólio. Assim, o

objetivo dessa análise é encontrar a combinação de projetos que atenda aos objetivos da organização da melhor forma possível.

Merton (1990), em sua obra, aborda pontos fundamentais relacionados à seleção de portfólio, enfatizando a eficiência do conjunto como um todo. Nesse contexto, o autor destaca as vantagens de modelos nos quais o portfólio é eficiente, uma vez que esses modelos tendem a gerar hipóteses testáveis, proporcionando uma base sólida para avaliação. Além disso, Merton ressalta que a avaliação do portfólio deve considerar as variáveis críticas, como riscos e retornos, de forma integrada, oferecendo uma abordagem mais robusta para análise de desempenho e tomada de decisão. Assim, as contribuições de Merton fornecem insights valiosos para o entendimento teórico e prático da seleção de portfólio, principalmente no que se refere à eficiência e à formulação de estratégias eficazes.

Diante da complexidade envolvida na avaliação de portfólios eficientes, torna-se necessário utilizar métodos que considerem múltiplos critérios de maneira estruturada. Nesse contexto, o PROMETHEE II se destaca como uma abordagem eficaz para ordenar alternativas com base em diferentes critérios, oferecendo suporte à tomada de decisão em cenários multicritério.

### 2.1.2 PROMETHEE II

PROMETHEE II é um método de apoio à decisão multicritério para resolver problemas complexos de ordenação, a sua abordagem integrada permite o tratamento de vários critérios de forma simultânea, proporcionando assim uma tomada de decisão eficaz (BRANS & MARESCHAL, 2005). Segundo De Almeida (2013) este método utiliza um processo de ordenação, permitindo a comparação de forma sistêmica de alternativas com base em critérios específicos. Atribuindo pesos aos critérios e gerando uma ordenação geral das alternativas, facilitando a tomada de decisão. O mesmo autor ainda discorre que uma particularidade do PROMETHEE II é levar em consideração as preferências dos decisores, este método realiza comparações pareadas das alternativas, levando em consideração a ponderação dos critérios, tendo um ranking que reflete as preferências pessoais do decisor como resultado.

Em seus estudos, Brans & Mareschal (2005) relatam que o método PROMETHEE II proporciona a análise de sensibilidade que permite avaliar o impacto das mudanças nos pesos dos critérios nas decisões, esta capacidade de analisar cenários contribui para uma compreensão aprofundada dos encadeamentos das decisões em diferentes contextos. Através dos princípios

do PROMETHEE II, foram observadas aplicações práticas em diversos setores, incluindo planejamento de recursos hídricos (Abutaleb & Mareschal, 1995), gestão ambiental (Al-Rashdan et al., 1999), localização industrial (Mladineo et al., 1997), e avaliação de investimentos financeiros (Zopounidis, 1999). Assim, O PROMETHEE II torna-se uma ferramenta de valor inegável em várias áreas é justamente a sua flexibilidade e eficácia na gestão de decisões que possuem certa complexidade (BRANS& MARESCHAL, 2005).

### 2.1.2.1 Estrutura de avaliação do método PROMETHEE

De Almeida (2013) discorre que inicialmente o decisor irá estabelecer para cada critério um peso  $P_i$ , que vai refletir a importância desse critério. Além dos pesos, também é determinada uma função de preferência associada a cada critério. A partir desses pesos é obtido  $\pi(a,b)$ , o grau de sobreclassificação de a sobre b, para cada par de alternativas (a,b) que é obtido pela equação (1), onde 'n' representa o número de critérios.

$$\pi(a,b) = \sum_{i=1}^n P_i F_i(a, b) \tag{Equação (1)}$$

Onde o somatório dos pesos deve ser igual a 1, como mostrado na equação (2).

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \tag{Equação (2)}$$

De Almeida (2013) discorre sobre a existência de seis formas básicas para a função  $F_i(a,b)$  no PROMETHEE e que o decisor poderá representar suas preferências fazendo uso da forma mais adequada para cada critério, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Formas básicas da função  $F_i(a,b)$ .

1. Critério usual; não há parâmetro a ser definido.	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
---	---	------------------------------

2. Quase critério; define-se o parâmetro q.	$g_i(a) - g_i(b) > q$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
3. Limiar de preferência; define-se o parâmetro p.	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p}$ $F(a,b) = 0$
4. Pseudo critério; definem-se os parâmetros q e p.	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 1/2$ $F(a,b) = 0$
5. Área de indiferença; definem-se os parâmetros q e p.	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_i(a) - g_i(b) - q}{(p - q)}$ $F(a,b) = 0$
6. Critério gaussiano; O desvio-padrão deve ser fixado.	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	A preferência aumenta segundo uma distribuição normal.

Fonte: De almeida, 2013.

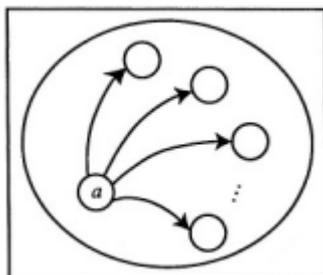
Onde q representa um limiar de indiferença, o maior valor da diferença  $[g_i(a) - g_i(b)]$ , abaixo do qual existe uma indiferença entre  $g_i(a)$  e  $g_i(b)$  e o p representa um limiar de preferência, o menor valor para  $[g_i(a) - g_i(b)]$  acima do qual existe uma preferência estrita de  $g_i(a)$  sobre  $g_i(b)$  (BRANS & MARESCHAL, 2005).

Brans (2016) discorre sobre a fase de exploração da relação de sobreclassificação, onde são utilizados dois indicadores: o fluxo de sobreclassificação de saída  $\Phi + (a)$  da alternativa 'a' como observado na equação (3).

$$\Phi + (a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad \text{Equação (3)}$$

Este fluxo expressa como uma alternativa está superando as outras, quanto maior  $\Phi + (a)$  melhor, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Fluxo de sobreclassificação de saída.



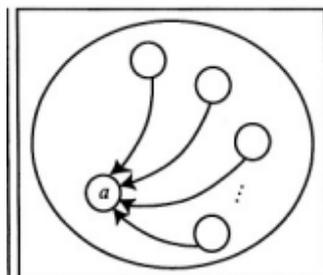
Fonte: Brans,2016.

O mesmo autor ainda fala sobre o fluxo de entrada  $\Phi - (a)$  da alternativa ‘a’ indicado pela equação 4.

$$\Phi - (a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \tag{Equação (4)}$$

Este fluxo expressa como uma alternativa é superada por todos os outros, quanto  $\Phi - (a)$  menor, melhor. Como observa-se na Figura 3.

Figura 3: Fluxo de sobreclassificação de entrada.



Fonte: Brans,2016.

Existe ainda um terceiro indicador, considerado fluxo líquido dado pela equação (5) (DE ALMEIDA, 2013).

$$\Phi (a) = \Phi + (a) - \Phi - (a). \tag{Equação (5)}$$

O mesmo autor ressalta que baseado no indicador  $\Phi (a)$ , o PROMETHEE II organiza as alternativas em ordem decrescente, estabelecendo uma pré ordem completa entre elas a partir das relações de preferência (equação 6) e indiferença (equação 7).

Preferência:  $aPb$  se  $\Phi(a) > \Phi(b)$  Equação (6)

e indiferença:  $aIb$  se  $\Phi(a) = \Phi(b)$  Equação (7)

Nota-se que a ocorrência da condição de indiferença é rara, o que geralmente leva à conclusão de que o PROMETHEE II estabelece uma ordem completa entre as alternativas. Além disso, a forma normalizada dos fluxos é especialmente importante no uso do PROMETHEE V, sendo aplicada antes do procedimento de otimização (DE ALMEIDA, 2013).

Adicionalmente, de Almeida (2013) destaca que o PROMETHEE I permite que alternativas sejam consideradas incomparáveis quando não há uma relação de preferência clara entre elas, devido à inconsistência ou conflito entre os critérios. Essa característica do PROMETHEE I é importante em situações onde é preferível manter uma análise mais detalhada das relações entre as alternativas. Em contraste, o PROMETHEE II busca fornecer uma ordenação completa, eliminando essas incomparabilidades por meio do cálculo do fluxo líquido, ele também ressalta que essa eliminação das situações de incomparabilidade pode resultar em uma perda de informação sobre a relação entre as alternativas.

### 2.1.3 Uso do método PROMETHEE para seleção de portfólio

Como mencionado, a família PROMETHEE é um conjunto de abordagens baseadas na construção de relações de sobreclassificação e na exploração dessa relação para apoio a decisão, tendo como variante para a problemática de portfólio o método PROMETHEE V, já introduzida na literatura por Brans e Mareschal (2005). É importante destacar que o método PROMETHEE V lida com a programação inteira pura, sendo adequado para situações onde as decisões são tomadas em termos de seleção integral de alternativas. Diferente de cenários que envolvem a seleção de ações financeiras, o PROMETHEE V se aplica melhor a problemas em que é necessário escolher um conjunto inteiro de alternativas, respeitando restrições específicas, como orçamento.

Neste contexto, Vetschera e de Almeida (2012) apresentam uma abordagem baseada no método PROMETHEE para problemas de seleção de portfólio. Eles destacam que, nos problemas de portfólio, a seleção envolve escolher uma ou mais alternativas sob certas restrições (como orçamento) e considerando uma agregação das propriedades dessas

alternativas. No caso de problemas de portfólio, as alternativas podem variar de projetos, ações financeiras (como investimentos em ações e títulos), alocação de plantas, entre outras.

Sendo assim o PROMETHEE V busca construir o portfólio ideal com base em um ranking das alternativas individuais, em vez de considerar todas as combinações possíveis. No entanto, os autores apontam que uma limitação do PROMETHEE V é que ele requer uma comparação par a par das alternativas, o que pode se tornar computacionalmente inviável quando o número de alternativas (portfólios possíveis) é muito grande.

Essa abordagem responde a uma limitação destacada por Mavrotas et al. (2006), que enfatizam distorções no método clássico de seleção de portfólios, especialmente em relação aos fluxos líquidos das alternativas. De Almeida et al. (2014) também evidenciam que essas distorções não se limitam a modelos não compensatórios quando se trata de portfólios. Como solução para superar essas limitações, Vetschera e de Almeida (2012) propõe a utilização de conceitos como "portfólios de fronteira" e "portfólios c-ótimos." Um portfólio de fronteira é definido como um portfólio que não pode ser expandido sem violar as restrições de recursos. Os autores demonstram que focar apenas nos portfólios de fronteira pode simplificar o processo de seleção e fornecer uma aproximação eficiente ao ranking de todos os portfólios possíveis. Além disso, eles introduzem a ideia de portfólios c-ótimos, que são otimizados para um número fixo de itens, permitindo um ajuste sistemático do tamanho do portfólio durante a seleção.

Os resultados mostram que métodos baseados em portfólios c-ótimos conseguem uma boa aproximação do ranking completo dos portfólios, mesmo em problemas grandes e complexos. Os autores concluem que, embora o PROMETHEE V forneça uma maneira eficiente de selecionar portfólios em cenários multicritério, as abordagens alternativas, como a avaliação de portfólios c-ótimos, podem melhorar a qualidade das soluções encontradas, reduzindo o esforço computacional e facilitando o processo de tomada de decisão em seleção de portfólio.

#### 2.1.4 Razão Custo-Benefício (BCR)

A relação custo-benefício (BCR) é conhecida como uma métrica fundamental na análise custo-benefício (Cost-Benefit Analysis - CBA), sendo utilizada para avaliar a viabilidade econômica de projetos, políticas e intervenções (BOARDMAN et al., 2018). Esses autores destacam que a BCR fornece uma base quantitativa que permite comparar alternativas

baseados nos benefícios gerados aos custos associados, promovendo assim a priorização de ações para maximizar os retornos sociais e econômicos dos recursos.

Mishan e Quah (2007), descrevem o BCR como a relação entre os benefícios totais (B) e os custos associados (C), calculados pela equação (8):

$$BRC = \frac{\textit{Benefícios Totais (B)}}{\textit{Custos Totais (C)}} \quad \text{Equação (8)}$$

Esta relação fornece uma métrica que possui fácil compreensão para explicar a viabilidade de um projeto. Em termos práticos quando o valor do BCR é superior a 1, significa que os benefícios excedem os custos, justificando a sua implementação. Por outro lado, no caso de um valor inferior a 1 indica que os custos superam os benefícios, tornando a alternativa economicamente inviável. Além disso, esse indicador é especialmente importante em contextos de recursos limitados, como, por exemplo, orçamentos públicos ou fundos destinados a políticas sociais, pois permite uma alocação eficiente de recursos para intervenções com maior impacto social e econômico (BOARDMAN et al., 2018).

De maneira complementar, Mishan e Quah (2007) enfatizam que a análise custo-benefício não se restringe aos impactos financeiros diretos. Os autores afirmam que também se considera os impactos sociais e econômicos mais amplos, o que estende a sua aplicabilidade a diversas áreas, como transportes, saúde, educação e projetos ambientais. Por exemplo, os autores explicam que ao avaliar a construção de novas rodovias, uma análise de custo-benefício inclui não apenas custos de construção e manutenção, mas também benefícios sociais, como redução do tempo de viagem e melhoria da segurança no trânsito (MISHAN; QUAH, 2007).

Da mesma forma, Pearce et al. (2006) destacam a importância da BCR no contexto ambiental, dando ênfase na sua capacidade de lidar com questões complexas, como as alterações climáticas, os efeitos a longo prazo e as perdas irreversíveis, incluindo a redução da biodiversidade. Os autores também argumentam que o uso de medidas monetárias comuns para quantificar benefícios e custos ajuda a comparar diferentes intervenções e proporciona uma base firme para decisões estratégicas, especialmente em condições orçamentárias restritivas.

A simplicidade do BCR também o torna uma métrica de fácil acesso para gestores e decisores porque sintetiza informações complexas em um único valor (BOARDMAN et al., 2018). Como enfatizam os autores Mishan e Quah (2007), esta característica permite que o

indicador seja utilizado como uma ferramenta central para a comunicação entre as partes envolvidas e como um guia prático para a tomada de decisões políticas. Além disso, sua flexibilidade e ampla aplicabilidade tornam o BCR indispensável para avaliar desde pequenas intervenções locais até projetos de grande impacto (PEARCE; ATKINSON; MOURATO, 2006).

#### 2.1.5 Portfólio com abordagem custo-benefício

Frej, Ekel e de Almeida (2021) discorrem que a abordagem de razão custo-benefício para a priorização de projetos é baseada na premissa de que um conjunto de projetos indivisíveis está disponível para seleção e que cada projeto tem um custo associado à sua implementação e será avaliado em relação a múltiplos e conflitantes atributos relevantes para a organização. Esses atributos representam medidas de benefício para cada projeto e são ponderados por constantes de escala (ou pesos) que representam os compromissos ou taxas de substituição entre os critérios.

Os mesmos autores ainda discorrem que o benefício geral de um projeto pode ser calculado como uma soma dos valores dos atributos ponderados pelos pesos de cada atributo como mostrado na equação (9) abaixo, onde  $b(p_i)$  é o benefício geral do projeto  $p_i$ ,  $(x_{ij})$  é o valor resultante do projeto  $p_i$  no atributo  $a_j$  e  $v_j$  é a função de valor do atributo  $a_j$ .

$$b(p_i) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) \quad \text{Equação (9)}$$

O FITradeoff permite a utilização de funções valor lineares e não lineares em sua estrutura, as quais podem ser elicitadas através de uma avaliação intracritério, para o caso de função não linear, ou calculadas como uma normalização simples dos valores dos atributos, para o caso de função linear, sendo os valores obtidos em uma escala de 0 a 1. (FREJ, EKEL E DE ALMEIDA, 2021). Com o benefício e o custo de cada projeto conhecidos, é possível calcular a razão custo-benefício (BCR) de cada projeto, conforme a equação (10).

$$\text{BCR}_i = \frac{b(p_i)}{c_i} \quad \text{Equação (10)}$$

Os projetos são então ordenados em ordem decrescente de BCR e selecionados para fazer parte do portfólio até que o orçamento máximo seja atingido. Esta abordagem é considerada uma estratégia prática para priorizar projetos, resultando em um portfólio que produz o maior benefício para os recursos financeiros disponíveis. (FREJ, EKEL E DE ALMEIDA, 2021).

## 2.2 Revisão da Literatura

Esta seção, apresenta uma revisão da literatura sobre os principais conceitos relacionados à seleção de portfólio, em particular o PROMETHEE II, além de abordagens aditivas, de sobreclassificação, entre outros métodos multicritério. Por fim, são discutidas as contribuições teóricas que sustentam o desenvolvimento da metodologia proposta nesta dissertação, mostrando como essas abordagens têm sido aplicadas em diferentes cenários de seleção de portfólio.

### 2.2.1 Seleção de portfólio com métodos multicritério

#### 2.2.1.1 Modelos aditivos

Os métodos baseados em agregação aditiva são amplamente utilizados em contextos de racionalidade compensatória, pois permitem que ganhos em alguns critérios compensem perdas em outros (DE ALMEIDA & VETSCHERA, 2012). Esses modelos são frequentemente empregados em problemas de seleção de portfólio, onde diferentes critérios são somados para gerar uma pontuação geral das alternativas e, conseqüentemente, do portfólio. Similar a qualquer problema de decisão, diversos fatores podem ser envolvidos num processo de seleção de portfólio (MAGHSOODI, 2023). É de prática comum dentro desse tipo de análise de decisão em um ambiente multicritério estabelecer funções de valor específicas para cada critério. Essas funções utilizam como ponto de referência (ou zero) o valor com o pior desempenho entre as alternativas analisadas, servindo como linha base de medição do nível de desempenho de cada alternativa em relação a um determinado critério (PHILLIPS, BANA & COSTA, 2007). Essas pontuações são agregadas entre critérios para gerar uma pontuação geral da alternativa e, posteriormente, são somadas com as pontuações dos demais projetos que compõem o portfólio (CLEMEN & SMITH, 2009). Essa abordagem

é característica dos modelos aditivos, que se destacam por maximizar a utilidade ao considerar múltiplos atributos.

Liesiö et al. (2024) exploram a seleção de portfólio utilizando métodos multicritério, abordando como as interações entre projetos afetam a tomada de decisões. Eles destacam que, tradicionalmente, a função de utilidade de portfólios é modelada como aditiva, somando os valores das utilidades individuais dos projetos. No entanto, essa abordagem não captura adequadamente os efeitos de sinergia ou canibalização que podem ocorrer quando certos projetos são selecionados juntos. Assim, para superar essa limitação, os autores propõem a extensão da função de utilidade aditiva com termos adicionais que representam essas interações entre os projetos. Eles desenvolvem uma base axiomatizada que estabelece as suposições necessárias e suficientes para representar as preferências dos decisores por meio de uma função de utilidade multivariada. Além disso, os autores apresentam técnicas práticas para avaliar essas funções de utilidade, fornecendo métodos para identificar o portfólio que maximiza a utilidade esperada enquanto respeita restrições de recursos.

Hess et al. (2006) propõe um modelo aditivo multivariado aplicado à reserva de perdas, que representa o montante financeiro reservado por seguradoras para cobrir sinistros já ocorridos, mas ainda não pagos, incluindo aqueles que ainda não foram reportados. Neste modelo, a estrutura multivariada é adequada para portfólios que consistem em vários subportfólios correlacionados, como diferentes linhas de seguro. Os autores se baseiam na extensão do método aditivo para casos multivariados, em que a estrutura da variância e das interdependências entre subportfólios é explicitamente considerada focando na formulação do preditor de Gauss–Markov para uma reivindicação incremental não observável. Eles derivam uma fórmula que permite prever as perdas futuras de forma otimizada, minimizando o erro de predição com base na informação disponível.

Os mesmos mostram que os preditores de Gauss–Markov para as reservas de um determinado ano de acidente e para a reserva total podem ser obtidos somando os preditores das reivindicações incrementais individuais. Essa soma é realizada para obter uma visão agregada do portfólio, eliminando assim o problema da aditividade no contexto de previsões multivariadas. Adicionalmente os autores também abordam a estimativa dos parâmetros de variância envolvidos no modelo, destacando a importância de verificar se esses estimadores

são invertíveis, o que é fundamental para a precisão das previsões no modelo aditivo multivariado.

Marques et al. (2022) propõem o uso do método FITradeoff como uma abordagem multicritério para seleção de portfólio de projetos, considerando a escassez de recursos e a incerteza presentes em decisões complexas. O artigo apresenta um processo de seleção que utiliza o conceito de portfólios c-ótimos, onde o FITradeoff permite a inclusão de informações parciais sobre as preferências do decisor. A abordagem se baseia em um processo de geração explícita de todas as combinações de projetos possíveis, aplicando estratégias de refinamento de viabilidade e eficiência para simplificar a escolha do portfólio. Além disso, a estrutura do método é desenvolvida para reduzir o esforço computacional e cognitivo, oferecendo um processo interativo e flexível para o decisor, o que é especialmente útil quando há múltiplos critérios a serem considerados na seleção do portfólio. Os autores concluem que o FITradeoff fornece bom desempenho ao minimizar o esforço computacional e ao facilitar o processo de decisão, mesmo na presença de incertezas e informações incompletas.

#### 2.2.1.2 Métodos de sobreclassificação

Os métodos de racionalidade não compensatória são utilizados em situações onde ganhos em um critério não podem simplesmente compensar perdas em outro (ROY & BOUYSSOU, 1993), nesse contexto, Fernández et al. (2022) propõem uma metodologia para análise de portfólio multicritério que integra a programação de compromisso com princípios do método de sobreclassificação, especificamente baseados no ELECTRE III (Marzouk, 2011). A programação de compromisso é uma técnica de otimização multicritério que busca encontrar soluções equilibradas, minimizando a distância entre a solução obtida e um ponto ideal que representa o melhor desempenho em todos os critérios. Dentro desse contexto, o método utiliza técnicas de fuzzy outranking para modelar a incerteza e as ambiguidades das preferências dos decisores em relação aos diferentes critérios envolvidos na seleção do portfólio. Dessa forma, esta abordagem se destaca ao incorporar variáveis linguísticas e funções fuzzy para capturar a subjetividade das preferências, permitindo que a análise do portfólio seja mais sensível a diferentes cenários e restrições.

Além disso, os autores apresentam um modelo que estabelece relações de outranking para criar um ranking das alternativas de portfólio, usando programação de

compromisso para identificar soluções que melhor equilibram os diferentes critérios. Eles destacam que a natureza fuzzy do outranking permite lidar com conflitos entre critérios de maneira flexível, dando suporte à tomada de decisão onde a informação é parcial ou imprecisa. Além disso, os autores enfatizam que a proposta é eficaz para uso online, permitindo uma análise dinâmica e atualizada do portfólio conforme os dados e preferências dos decisores mudam.

Zopounidis et al. (2005) propõem um modelo interativo em três etapas que combina diferentes abordagens para a seleção de portfólios de fundos mútuos, destacando o uso de métodos de sobreclassificação na última etapa do processo. Esses fundos mútuos funcionam como veículos de investimento coletivo que reúnem recursos de diversos investidores para serem aplicados em uma carteira diversificada de ativos, como ações, títulos públicos e privados, e outros instrumentos financeiros. Nesse modelo, o processo começa com a identificação dos cenários de mercado e a avaliação dos fundos disponíveis, levando em consideração critérios como retorno e risco, na primeira etapa, os autores utilizam a programação matemática para gerar um conjunto de portfólios eficientes que respeitam os limites e restrições estabelecidos decisor. Já na segunda etapa, eles aplicam a análise de decisão multicritério para classificar e organizar os fundos em função de diversos critérios, buscando refletir as preferências do investidor em relação a risco, retorno e arrependimento. A terceira etapa é o ponto central do modelo e introduz o método de sobreclassificação ELECTRE para auxiliar na seleção do portfólio ideal, considerando não apenas o desempenho dos fundos em diferentes cenários, mas também a possibilidade de arrependimento ao selecionar um cenário incorreto. Os autores concluem que a aplicação do método ELECTRE na última etapa do modelo fornece uma estrutura robusta para a seleção de portfólio, considerando as complexidades inerentes aos múltiplos critérios e os cenários de mercado incertos, facilitando a análise detalhada das alternativas e melhoria da capacidade do decisor de selecionar um portfólio que esteja alinhado com suas preferências e restrições específicas.

Guo et al. (2022) propõem uma extensão do método de sobreclassificação para lidar com informações imperfeitas em problemas de decisão multicritério. Esta abordagem se baseia na família de métodos ELECTRE, utilizando intervalos para representar a incerteza e a imprecisão nas avaliações dos critérios, o que é fundamental quando as informações disponíveis são incompletas ou incertas. A técnica intervalar permite que os decisores

expressem suas preferências em forma de intervalos de valores, em vez de pontos precisos, refletindo melhor a realidade de situações de decisão complexas.

Os autores desenvolveram uma nova versão do método de sobreclassificação que integra informações intervalares e critérios pseudo-objetivos, proporcionando uma maneira abrangente de analisar as relações de preferência entre as alternativas. Além disso, a abordagem proposta inclui mecanismos para calcular os graus de credibilidade de sobreclassificação entre as alternativas, que refletem o grau de confiança que se pode ter em afirmar que uma alternativa é preferível. Os mesmos aplicam o modelo em casos, demonstrando sua eficácia em ambientes onde as informações são imperfeitas, como a seleção de portfólios, e destacam que o método pode ser adaptado para diferentes contextos decisórios. Eles concluem que essa abordagem intervalar de sobreclassificação fornece um auxílio na tomada de decisões robustas em cenários de incerteza e informação incompleta.

Balderas et al. (2022) propõem uma abordagem para resolver problemas de otimização multiobjetiva de grupo, focando na melhoria do consenso entre os membros do grupo. Eles introduzem um método que utiliza a abordagem de sobreclassificação intervalar, especificamente o INTERCLASS-nC, uma extensão intervalar do método ELECTRE TRI-nC, que pertence à família de métodos ELECTRE. Este método é projetado para lidar com imprecisões e incertezas, representando as avaliações das alternativas como intervalos, em vez de valores fixos. Os autores enfatizam a importância de encontrar um equilíbrio entre a satisfação e a insatisfação dos membros do grupo, levando em consideração diferentes critérios e variáveis que afetam a decisão. Assim a abordagem do INTERCLASS-nC permite classificar as alternativas em categorias distintas, como "satisfatório" e "insatisfatório," levando em consideração as avaliações intervalares dos critérios. Esta metodologia permite maximizar a satisfação do grupo, minimizando ao mesmo tempo o nível de insatisfação, o que resulta em uma melhor harmonização das preferências individuais na composição do portfólio.

Zapletal, Trumic e Lenort (2022) em sua pesquisa dizem que o principal problema na aplicação outranking de portfólio é que elas exigem comparações entre pares de alternativas, o que limita o número de alternativas que podem ser consideradas. Contudo, num problema de portfólio, qualquer combinação de itens que satisfaça certas restrições é considerada como uma alternativa potencial, e é gerado um grande número de alternativas potenciais (Portfólios). Estes

mesmos autores explicam que os métodos comuns de seleção de portfólios tentam construir um portfólio ótimo a partir do conjunto de elementos disponíveis, em vez de gerar explicitamente todos os portfólios possíveis.

### 2.2.1.3 Outras abordagens multicritério

Um estudo proposto por Convertino, Annis e Nardi (2019), traz a utilização de um modelo de decisão de portfólio baseado em teoria da informação, esse modelo otimiza o valor do ecossistema em escala de bacia, levando em consideração critérios ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, o "valor do ecossistema em escala de bacia" refere-se à avaliação dos benefícios fornecidos pelos serviços ecossistêmicos dentro de uma bacia hidrográfica. Esses serviços incluem a regulação hídrica, o suporte à biodiversidade, o controle de enchentes, entre outros, essenciais para a sustentabilidade da bacia. A otimização, nesse caso, busca equilibrar múltiplos interesses e maximizar esses benefícios de forma integrada. Estes autores utilizaram análise multicritério, previsão de séries temporais, e um modelo de risco baseado em máxima entropia (MaxEnt). Os seus resultados indicam que o modelo de portfólio proposto quando aplicado mostrou-se uma ferramenta promissora para a gestão eficaz de riscos de inundação em grandes áreas geográficas.

Já os autores Phelps e Madhavan (2018) ofereceram uma inovação na análise de decisão ao criar um valor de corte comparável para a medida de valor de múltiplos critérios. A metodologia proposta por eles amplia-se os custos aceitáveis por QALYs, (Quality-Adjusted Life Year) a qual é uma medida que combina a quantidade e a qualidade de vida gerada por intervenções de saúde. Proporcionalmente à contribuição do componente do QALY, o valor de corte se torna uma referência valiosa para estabelecer limites de alocação de recursos em frameworks de múltiplos critérios.

Mavrotas e Makryvelios (2023), discorrem em seus estudos sobre a gestão moderna de organizações, abordam a seleção de portfólio de projetos, uma questão comum que envolve a alocação de recursos, considerando a avaliação multicritério dos projetos e os requisitos políticos para o portfólio final. Na proposta apresentada por eles é sugerida uma abordagem que incorpora a subjetividade nos pesos dos critérios por meio de uma variação do método Iterative Trichotomic Approach, utilizando um processo iterativo, são considerados portfólios derivados da otimização separada de cada critério, convergindo

gradualmente para os pesos originais dos critérios. A metodologia utilizada por Mavrotas e Makryvelios (2023) fornece ao tomador de decisão informação adicional, permitindo discernir se a seleção ou exclusão de um projeto específico no portfólio final é objetiva ou depende de pesos subjetivos e em que é medida.

Kandakoglu et al. (2024) abordam importantes lacunas na aplicação de métodos MCDM/A na seleção de portfólios. Entre elas, são destacadas a predominância da combinação com técnicas de otimização para tratar restrições, onde não foi possível consenso sobre qual abordagem combinada é a mais eficiente; a necessidade de desenvolver novas formulações para maximizar o valor dos portfólios, indo além do objetivo tradicional; e a subutilização de métodos de ordenação e agrupamento multicritério, assim como a ausência de avaliação robusta de portfólios em termos de incertezas e de preferências.

Šarić et al. (2024) propõem uma a construção de portfólios de arbitragem estatística, uma estratégia que visa explorar discrepâncias temporárias nos preços de ativos correlacionados, utilizando grafos de relações de preferência, que representam as interdependências e preferências entre diferentes ativos financeiros. Eles abordam o problema típico da negociação de pares, onde múltiplos pares de títulos são observados, ou seja, combinações de dois ativos financeiros que apresentam correlações ou padrões de comportamento semelhantes, são observados simultaneamente para explorar oportunidades de arbitragem. O desafio, conforme identificado pelos autores, é a ocorrência de sinais de negociação conflitantes entre diferentes pares de títulos, que pode dificultar a seleção eficiente do portfólio. Para superar essa limitação, os autores utilizaram um método baseado em preferências pareadas, conhecido como "potential method," que pertence ao campo de métodos de sobreclassificação. Esta técnica cria um gráfico de relações de preferência, no qual cada nó representa um título, e as arestas representam as preferências estabelecidas por comparações pareadas entre os sinais de negociação dos pares. Ao fazer isso, a abordagem pode identificar as oportunidades de arbitragem mais consistentes e reconciliar sinais conflitantes para melhorar a seleção do portfólio. Os resultados experimentais mostram que os portfólios construídos com base em relações de preferência apresentam retornos robustos, mesmo diante de elevados custos de transação. Além disso, eles demonstram que o desempenho dos portfólios melhora à medida que o número de títulos considerados aumenta, destacando a eficácia da abordagem na exploração conjunta de múltiplas oportunidades de arbitragem no mercado financeiro.

Os autores Palmowski et al. (2019) apresentam modelos aditivos que combinam processos estocásticos de Lévy e modelos de mudança de regime de Markov para capturar dois principais riscos no mercado financeiro: risco de salto e risco de mudança de regime. Esse processo Itô–Markov aditivo modela os preços dos ativos, que se referem ao valor de mercado de instrumentos financeiros, como ações, títulos e outros ativos, ao combinar variações contínuas com transições entre diferentes estados econômicos, representados por uma cadeia de Markov. Assim, a seleção de portfólio visa maximizar a utilidade esperada da riqueza final, ajustando-se às condições de mercado que são influenciadas por saltos e mudanças de regime, fornecendo uma abordagem robusta para otimizar estratégias de investimento.

Varma et al. (2012) propõem a aplicação do método DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), desenvolvido por Gabus e Fontela no Centro de Pesquisa do Battelle Memorial Institute em Genebra entre 1972 e 1976, para a seleção de portfólio de investimentos. O foco do estudo é entender e modelar a complexa interdependência entre os critérios que afetam a seleção de portfólio. Os autores identificam relações de causa e efeito entre diferentes critérios, o que é essencial para melhorar a qualidade de decisão em cenários multicritério.

Diante disto, este método é usado para transformar as avaliações subjetivas dos decisores em um mapa de influência relacional, que permite visualizar como um critério pode influenciar ou ser influenciado por outros. No contexto da seleção de portfólio, isso ajuda a revelar quais critérios têm um impacto direto significativo e quais são mais dependentes dos outros. Através da análise das interdependências, os autores destacam a importância de certos critérios na seleção de portfólio, permitindo que os decisores compreendam melhor as dinâmicas entre fatores como risco, retorno, liquidez, estabilidade e outros.

Sharma (2024) apresenta um modelo MCDM/A para seleção de portfólio usando conjuntos fuzzy triangulares intuitivos combinados com o operador OWA (Ordered Weighted Averaging) onde intragra-se o TFOA (Tri-Fusion Optimization Algorithm), que é uma combinação de DMOA (Dwarf Mongoose Optimization Algorithm), MPA (Marine Predators Algorithm) e EO (Equilibrium Optimizer). Essa abordagem permite calcular os pesos ideais dos ativos, como ações, títulos, commodities e outros instrumentos de investimento, levando

em consideração a incerteza e a imprecisão dos dados financeiros. O autor utiliza a distância de Bhattacharyya (BHATTACHARYYA, 1943) para medir a similaridade entre os critérios e avaliar as alternativas de investimento. Adicionalmente, ele faz uma análise de sensibilidade para avaliar a robustez do modelo proposto e emprega o método ELECTRE (Banayoun, Roy & Sussman, 1966) para ranquear os portfólios. Por fim, é enfatizado que a abordagem BTIFS-OWA, em conjunto com a TFOA, oferece melhorias significativas em termos de precisão e otimização da seleção de portfólio em comparação com métodos tradicionais.

Stummer e Heidenberger (2001) propõem um modelo iterativo multiobjetivo para seleção de portfólio de projetos de P&D, considerando múltiplos critérios, interdependências entre projetos e múltiplos períodos de planejamento, sendo dividida em três fases. Na primeira, os projetos passam por uma triagem, na qual são atribuídas pontuações baseadas em seus pontos fortes, como fluxo de caixa ou vendas, e projetos melhor classificados em cada critério são selecionados para avaliação posterior. Na segunda fase, é utilizado um modelo de programação linear inteira para identificar todos os portfólios eficientes (ótimos de Pareto), ou seja, aqueles que maximizam os benefícios e minimizam os recursos necessários sem serem superados por outras combinações de projetos. A última fase envolve um procedimento iterativo em que o tomador de decisão ajusta os níveis de benefícios e recursos almejados, explorando os portfólios eficientes até encontrar aquele que melhor atende às suas preferências. Essa abordagem interativa permite que o tomador de decisão ajuste suas preferências implicitamente durante o processo, sem a necessidade de definir funções de utilidade explícitas para cada critério.

### 2.2.2 Aplicações do PROMETHEE na Seleção de Portfólios Multicritério

Diversas aplicações para seleção de portfólio podem ser encontradas na literatura. Dentre essas, Abu-Taleb e Mareschal (1995) aplica o método para projetos de recursos hídricos na Jordânia. Considerando múltiplos critérios relacionados a objetivos nacionais como eficiência econômica, proteção ambiental e desenvolvimento regional. Em seu estudo, os autores lidam com um problema multiobjetivo onde uma variedade de opções de desenvolvimento de recursos hídricos é avaliada. Essas opções são analisadas através de critérios como qualidade e quantidade da água subterrânea, conservação da água, custos, e eficiência, dentre outros. Para cada opção, pesos são atribuídos aos critérios, refletindo sua importância relativa, e o método PROMETHEE V é utilizado para ranquear as alternativas. O

artigo mostra como esta metodologia pode auxiliar os decisores a selecionar uma combinação ideal de projetos de recursos hídricos, levando em consideração múltiplos critérios e restrições.

Do lado financeiro, uma revisão das metodologias de auxílio multicritério à decisão (MCDM/A), incluindo a avaliação do desempenho de portfólios, conduzida por Zopounidis e Doumpos (1999), destacou a importância do apoio adequado de métodos multicritério para a seleção de investimentos. Eles destacam que o PROMETHEE, especialmente em sua variante proposta por Martel e Khoury (1994), tem a capacidade de ordenar alternativas, como portfólios de investimento, de acordo com diversos critérios. Essa variante foi adaptada para questões financeiras, permitindo ordenar alternativas com base em diferentes níveis de risco e retorno, facilitando a tomada de decisão em ambientes com múltiplos objetivos.

Zapletal (2019) trouxe em sua pesquisa como o processo de seleção de fornecedores em uma cadeia logística é crucial para o desempenho de uma empresa, sendo um desafio típico de tomada de decisão multiatributo (MCDM/A). O autor fala que embora métodos tradicionais de MCDM/A tenham sido empregados para avaliar fornecedores, a abordagem convencional de selecionar os primeiros  $n$  fornecedores na classificação pode levar a distorções nos resultados. Este estudo propõe a aplicação do método PROMETHEE II em combinação com programação inteira mista, uma técnica de otimização matemática que permite modelar problemas onde algumas decisões envolvem variáveis inteiras, como a seleção de fornecedores específicos, e outras variáveis contínuas, como as quantidades a serem fornecidas, de modo a identificar o portfólio ótimo de fornecedores. A abordagem considera diversas restrições, como número de fornecedores, a demanda por diferentes tipos de produtos, os estoques disponíveis dos fornecedores e o orçamento limitado da empresa, destacando sua utilidade na formação de portfólios de fornecedores e o recurso limitado da empresa, destacando sua utilidade na formação de portfólios de fornecedores que atendam aos objetivos estratégicos da empresa.

Marcondes (2019) propôs um método de seleção que destaca o uso do método de decisão multicritério PROMETHEE II, complementado pela avaliação de retorno-risco usando a abordagem de média-Gini. Os mesmos citam que várias propostas na literatura permitiam avaliar a eficiência entre retorno esperado e risco, e que muitas indicavam uma lista de portfólios eficientes, mas não identificam de forma clara qual seria o mais adequado para execução e que essa abordagem proporciona uma indicação objetiva do melhor

portfólio de projetos a ser executado pela empresa, oferecendo uma solução mais específica em meio a escolha de portfólios.

Amaral, et al. (2023) discorrem sobre a análise do portfólio de produtos de uma empresa de artigos de couro no Vale do São Francisco abordando por meio de análise de decisão multicritério (MCDM/A), utilizando o método PROMETHEE II. O estudo propôs investimentos em inovação para artigos com fluxo líquido negativo, visando agregar valor e permitir seu retorno ao mercado para aumentar a lucratividade. Marcondes traz que com a aplicação pode-se notar que a abordagem baseada no PROMETHEE II tornou a tomada de decisão gerencial mais robusta, considerando diferentes critérios e aspectos subjetivos e objetivos na avaliação do portfólio da empresa de curtumes.

### 2.2.3 Aplicações da heurística de Custo-Benefício em diferentes contextos

Cavagnetto et al. (2020) abordam a importância da relação custo-benefício para promover a agência dos alunos em salas de aula de ciências. Eles destacam que, para os alunos escolherem participar ativamente, precisam perceber que os benefícios de suas ações (como compartilhar ideias, colaborar e se envolver em discussões) superam os custos envolvidos, como o esforço cognitivo, a energia necessária para pensar profundamente sobre um tópico e o risco de sofrer críticas sociais.

Os autores utilizam a heurística de custo-benefício como uma lente para analisar a participação dos alunos. Eles argumentam que a percepção de benefício em relação ao custo é influenciada por diversas decisões pedagógicas e características da sala de aula. Por exemplo, a criação de um ambiente de aprendizagem seguro e a complexidade do conteúdo ensinado são fatores que podem aumentar a percepção de benefícios, tornando mais provável que os alunos se sintam motivados a assumir a autoria de seu aprendizado.

Capraro et al. (2014) exploram o papel das heurísticas na cooperação em interações anônimas one-shot, especificamente no contexto do Dilema do Prisioneiro. Essas interações são chamadas de "one-shot" porque os participantes tomam suas decisões uma única vez, sem a possibilidade de influenciar ou serem influenciados por interações futuras. Nessas situações, os jogadores tomam decisões baseadas em informações limitadas e em suas próprias estratégias, sem a expectativa de reciprocidade direta, o que cria um cenário mais desafiador para a cooperação. Eles examinam como a razão benefício-custo ( $b/c$ ) influencia a decisão de cooperar, destacando que essa relação é central para entender o comportamento dos

participantes. O estudo encontrou uma distribuição trimodal nas escolhas dos participantes: zero cooperação, 50% de cooperação e cooperação total.

Os autores enfatizam que, conforme a razão benefício-custo aumenta, há um aumento na quantidade de participantes que optam pela cooperação total, enquanto a fração daqueles que não cooperam diminui. Esse padrão sugere que as pessoas estão aplicando uma heurística de custo-benefício ao decidir cooperar, ou seja, elas simplificam a decisão com base em uma regra prática que compara o benefício da ação ao custo envolvido. Onde a presença de participantes que consistentemente escolhem 50% de cooperação, independentemente da razão b/c, indica que suas decisões são guiadas por regras heurísticas, em vez de uma análise racional completa dos possíveis resultados e pay-offs, como assume a maioria dos modelos tradicionais de preferência social. Portanto conclui-se que em situações de dilema social, a heurística de custo-benefício se torna um guia central para a implementação das preferências sociais. A decisão de cooperar não é resultado de uma análise aprofundada das recompensas potenciais, mas sim de uma simplificação baseada na percepção da relação entre os benefícios e custos envolvidos.

Wang et al. (2019) apresentam uma metodologia que utiliza métodos heurísticos em combinação com modelos de Markov para realizar uma análise de custo-efetividade, incorporando os princípios da heurística de custo-benefício. Os autores destacam a complexidade da tomada de decisão em situações onde múltiplas intervenções ou projetos precisam ser avaliados em termos de seus custos e benefícios.

Os mesmos propõem a aplicação de heurísticas para otimizar a alocação de recursos. Através da modelagem com modelos de Markov, eles consideram as transições entre diferentes estados e os custos associados a essas mudanças. Essa abordagem permite comparar a efetividade e o custo de diferentes alternativas, fornecendo um caminho para identificar as intervenções que oferecem a melhor relação benefício-custo.

Junqueira et al. (2023) apresentam o Green Infrastructure Cost-Effectiveness Ranking Index (GICRI) como uma heurística de custo-benefício desenvolvida para orientar decisões relacionadas à implementação de infraestrutura verde em áreas urbanas. O GICRI é projetado para avaliar diferentes alternativas de infraestrutura verde, combinando dados de desempenho na redução do volume de escoamento de águas pluviais com os custos de construção e manutenção dessas alternativas.

Os autores fazem o uso dessa heurística para permitir que os decisores identifiquem rapidamente quais alternativas oferecem a melhor relação custo-benefício, levando em consideração os efeitos das mudanças climáticas e as diferenças nas escalas espaciais, como grandes cidades em comparação com regiões menores. Os mesmos destacam que a aplicação da heurística através do GICRI pode orientar de forma eficiente onde e como investir em infraestrutura verde, tornando-se uma ferramenta estratégica para priorizar investimentos e identificar áreas que possam necessitar de análises mais detalhadas.

### **2.3 Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho**

A pesquisa em seleção de portfólios apresenta lacunas significativas. Neste contexto, este trabalho propõe preencher essa lacuna ao integrar a heurística de custo-benefício ao método PROMETHEE II, visando simplificar o processo de seleção de portfólio em cenários onde os recursos são limitados e as decisões precisam ser tomadas com precisão e eficiência. Objetiva-se desenvolver uma metodologia que combine a simplicidade e a eficiência prática da heurística de custo-benefício com a capacidade analítica do PROMETHEE II.

A literatura existente oferece diversas abordagens para a seleção de portfólios, destacando métodos como o PROMETHEE V. No entanto, a aplicação isolada desses métodos muitas vezes ignora aspectos práticos, como a necessidade de reduzir o esforço computacional e simplificar o processo de tomada de decisão (Salo et al., 2024). Em contraponto, a heurística de custo-benefício tem se mostrado eficaz em contextos onde a rapidez e a simplicidade são cruciais como mostrado pelos autores Frej, Ekel e De Almeida (2021) ao aplicarem no modelo aditivo determinístico FITradeoff, porém carece de uma integração com métodos multicritério de sobreclassificação, como o PROMETHEE II, para ampliar sua aplicabilidade em decisões complexas.

Estudos recentes têm explorado a otimização de portfólios sob diferentes perspectivas, como a minimização de riscos e a maximização de retornos, porém, a integração dessas abordagens com heurísticas práticas ainda é limitada (Xidonas et al., 2021; Georgantas et al., 2021). Além disso, como discutido por Salo et al. (2024), há uma escassez de justificativas e validações apropriadas para o uso de metodologias específicas na seleção de portfólios, especialmente quando tratamos de incorporar múltiplos critérios e aspectos estratégicos. Isso reforça a necessidade de novas abordagens que possam equilibrar o rigor teórico com a aplicação prática.

Levando em consideração esses aspectos, este trabalho busca propor uma metodologia que integra a heurística de custo-benefício ao PROMETHEE II, operacionalizando por meio de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD). Dessa forma, espera-se que a pesquisa ofereça uma solução viável e eficaz para a seleção de portfólios, onde a capacidade de adaptação rápida e a precisão na alocação de recursos são fundamentais para o sucesso.

### **3 MODELO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM MÉTODO PROMETHEE II UTILIZANDO HEURÍSTICA DO CUSTO BENEFÍCIO**

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um novo modelo de seleção de portfólio de projetos que combina a heurística da razão benefício-custo (BCR) com o método multicritério PROMETHEE II. A integração do método com a heurística visa aperfeiçoar a eficiência na seleção e priorização de projetos dentro de um portfólio, medidos por critérios quantitativos quanto os critérios qualitativos.

#### **3.1 Heurística do custo benefício (BCR)**

##### **3.1.1 Definição de novo modelo para seleção de portfólio com PROMETHEE II utilizando BCR**

A Razão Benefício-Custo (BCR) é uma métrica fundamental utilizada para comparar e priorizar projetos com base em sua eficiência. Ela é definida como a relação entre o benefício total de um projeto e o seu custo de implementação. Em termos simples, a BCR permite que os decisores avaliem quanto benefício é gerado para cada unidade monetária investida em um projeto. Projetos com maior BCR são considerados mais eficientes em termos de retorno por unidade de custo, sendo, portanto, priorizados na alocação de recursos.

O processo de seleção de projetos é crucial para maximizar os benefícios dentro de um recurso limitado. Nesta pesquisa, apresentamos um modelo matemático para a seleção de projetos com base na relação BCR, que leva em consideração o fluxo líquido e o custo de implementação de cada projeto. A seguir, estão descritos as variáveis envolvidas e os passos para a aplicação deste modelo.

##### **3.1.2 Definição das variáveis**

- $\Phi(a_j)$ : Fluxo líquido para cada projeto  $a_j$  (Equação 5).
- $\Phi^+(a_j)$ : Fluxo de saída para o projeto  $a_j$  (Equação 3).
- $\Phi^-(a_j)$ : Fluxo de entrada para o projeto  $a_j$  (Equação 4).
- $C_j$ : Custo de implementação de cada projeto  $a_j$ .

- $C_{norm(a_j)}$ : Custo normalizado do projeto  $a_j$ .
- $BCR(a_j)$ : Relação Benefício-Custo do projeto  $a_j$ .
- Budget: Orçamento disponível para seleção de projetos.
- $C_{max}$ : Maior custo de implementação entre todos os projetos disponíveis.
- $BCR_{norm}$ : é o  $BCR(a_j)$  normalizado.

### 3.1.3 Passos do modelo

**Passo 1:** Calcular o grau de sobreclassificação de a sobre b, para cada par de alternativas (a, b), onde 'n' representa o número de critérios utilizando a equação 11.

$$\sum_{i=1}^n P_i F_i(a, b) \quad \text{Equação (11)}$$

Onde o somatório dos pesos deve ser igual a 1

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad \text{Equação (12)}$$

Então tem-se a fase de exploração da relação de sobreclassificação, onde são utilizados dois indicadores: o de sobreclassificação de saída  $\Phi^+(a)$  da alternativa 'a':  $\Phi^+(a) = \sum \pi(a, b)$  e fluxo de entrada  $\Phi^-(a)$  da alternativa 'P<sub>i</sub>':  $\Phi^-(a) = \sum \pi(b, a)$ .

**Passo 2:** Calcular o fluxo líquido  $\Phi(a)$  para cada projeto  $a_j$  utilizando a equação 13.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

- $\Phi^+(a)$  representa o fluxo de saída para o projeto  $a_j$ .
- $\Phi^-(a)$  representa o fluxo de entrada para o projeto  $a_j$ .

**Passo 3:** Identificar o custo máximo entre todos os projetos disponíveis.

**Passo 4:** Normalizar o custo de cada projeto  $a_j$ , utilizando a seguinte equação (14):

$$C_{norm(a_j)} = \frac{C_j}{C_{max}} \quad \text{Equação (14)}$$

Onde:

- $C_j$  é o custo de implementação do projeto  $a_j$ .
- $C_{max}$  é o maior custo de implementação entre todos os projetos disponíveis.
- A proporcionalidade é mantida e os valores são obtidos no intervalo de  $0 < C_{norm(a_j)} < 1$ .

**Passo 5:** Calcular a razão Benefício-Custo (BCR) para cada projeto  $a_j$  utilizando a equação abaixo (15):

$$BCR(a_j) = \frac{\Phi(a)}{C_{norm(a_j)}} \quad \text{Equação (15)}$$

Onde:

- $BCR(a_j)$  é a razão Benefício- Custo do projeto  $a_j$ .
- $\Phi(a)$  é o fluxo líquido do projeto  $a_j$  obtido no passo 1.
- $C_{norm(a_j)}$  é o custo normalizado do projeto  $a_j$ , obtido no passo 3.

**Passo 6:** Após o cálculo inicial do  $BCR(a_j)$  os valores são normalizados para garantir que eles se encontrem dentro do intervalo de -1 a 1. A normalização é feita de acordo com a equação (16).

$$BCR_{norm}(a_j) = 2x \left( \frac{BCR(a_j) - BCR_{min}}{BCR_{max} - BCR_{min}} \right) - 1 \quad \text{Equação (16)}$$

Isso garante que o menor valor do BCR seja convertido para -1, o maior seja convertido para 1, e os valores intermediários sejam proporcionalmente ajustados nesse intervalo.

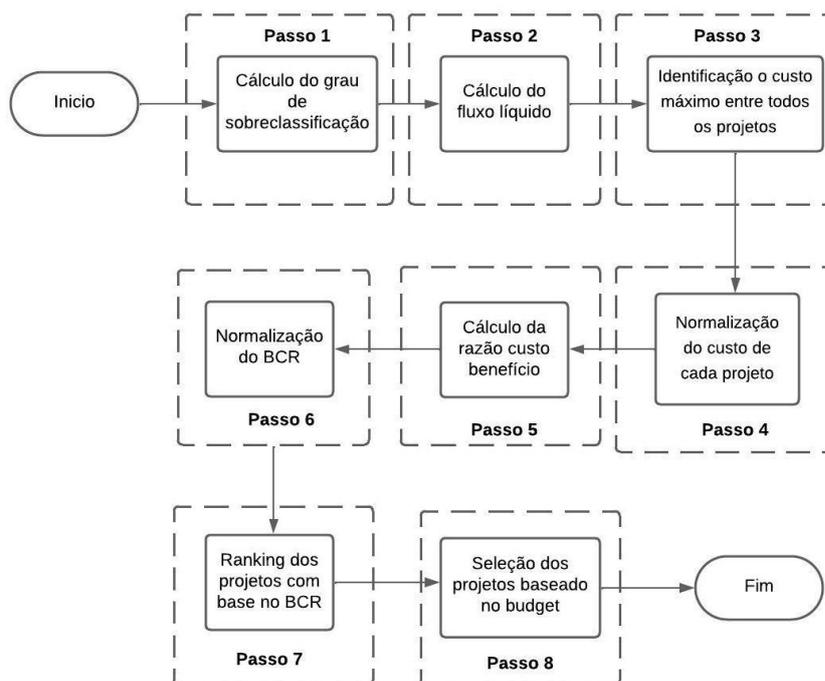
**Passo 7:** Ranquear os projetos em ordem decrescente com base nos valores de  $BCR(a_j)$ , criando um ranking dos projetos onde os projetos com maiores proporções benefício-custo aparecem no topo.

**Passo 8:** Com o ranking a disposição realizar a seleção dos projetos com base no orçamento disponível (budget). Iniciar a seleção pelos projetos no topo do ranking (com as

maiores proporções benefício-custo) e ir selecionando projetos até que o orçamento disponível seja totalmente alocado. Esse processo de seleção prioriza os projetos com maiores proporções benefício-custo, garantindo que os projetos selecionados proporcionem o máximo de benefício em relação ao custo, de acordo com o orçamento disponível.

Esse processo é ilustrado na Figura 4.

Figura 4: fluxograma do modelo.



Fonte: Esta pesquisa, 2024

Neste capítulo, foi introduzido um modelo inovador que une a metodologia PROMETHEE II à heurística do custo-benefício (BCR) para a seleção e priorização de projetos em um portfólio. A combinação entre o método PROMETHEE II e a métrica de BCR proporciona uma abordagem integrada que equilibra a análise quantitativa com a avaliação qualitativa dos projetos, aprimorando a alocação dos recursos dentro dos limites orçamentários.

O modelo criado visa aumentar a eficácia das decisões em cenários de portfólio, possibilitando uma análise sistemática dos fluxos de sobreclassificação e a definição de prioridades com base na relação entre benefício e custo de cada projeto. A definição das

variáveis e a formulação matemática detalhada do modelo permitem uma seleção robusta de projetos, levando em conta tanto os aspectos financeiros quanto os estratégicos.

Por meio da normalização dos custos e dos valores de BCR, o modelo assegura uma padronização que facilita a comparação entre os diferentes projetos, permitindo uma ordenação que prioriza aqueles que apresentam um retorno mais significativo. Ademais, a metodologia assegura que os projetos sejam escolhidos com base nos recursos disponíveis, melhorando assim a utilização do recurso de forma eficiente. Por fim, o modelo sugerido se revela uma ferramenta prática e eficiente para auxiliar nas decisões em cenários com múltiplos critérios e limitações de recursos. A aplicação da heurística de custo-benefício, combinada com o PROMETHEE II, possibilita uma alocação mais inteligente de recursos e a priorização dos projetos mais benéficos na seleção de portfólios que sejam tanto equilibrados quanto estratégicos.

No Capítulo 4, é apresentado um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido para implementar o modelo de seleção de portfólios proposto, integrando a metodologia PROMETHEE II com uma abordagem de custo-benefício. O SAD foi projetado para apoiar os decisores, facilitando a entrada e processamento de informações e a análise dos resultados.

## **4 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO COM O MODELO PROPOSTO**

A tomada de decisão na seleção de portfólios envolve múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes, que demandam uma análise aprofundada para a escolha das melhores alternativas. Diante dessa complexidade, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem os decisores torna-se crucial para garantir escolhas alinhadas aos objetivos da organização.

Neste contexto, foi desenvolvido um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que utiliza o modelo proposto para auxiliar o processo de seleção de portfólios. Este sistema foi criado para integrar diferentes módulos que, em conjunto, permitem a entrada de dados, o processamento das informações com base no modelo, a análise dos resultados e a execução de simulações para avaliar a sensibilidade da recomendação, conduzindo a um processo de decisão mais transparente e robusto. Conforme Siqueira et al. (2024) destacam, a aplicação da análise multicritério em conjunto com heurística de custo-benefício pode ser uma abordagem eficaz para lidar com a escassez de recursos e priorizar projetos estratégicos, um princípio incorporado no desenvolvimento deste sistema.

O presente capítulo está estruturado em três seções principais. A primeira seção oferece uma visão geral do sistema, destacando sua estrutura, objetivos e os principais componentes envolvidos em seu funcionamento. Em seguida, a segunda seção detalha os módulos do SAD, explicando suas funcionalidades e a maneira como cada um contribui para o processo de decisão. Esta seção inclui também a apresentação das telas do sistema, ilustrando o funcionamento de cada módulo em relação ao fluxograma do sistema. Por fim, a terceira seção apresenta três aplicações do SAD, na qual são realizadas três comparações em casos aplicados a outros métodos, demonstrando como o sistema pode ser utilizado em casos reais de seleção de portfólio. A partir dessas comparações, serão discutidos os resultados obtidos e como o SAD pode representar um diferencial significativo na tomada de decisão.

### **4.1 Descrição do sistema**

#### **4.1.1 Estrutura do sistema**

A arquitetura do sistema é composta por três camadas principais: a camada de apresentação, a camada de processamento e a camada de dados. Sendo a camada de

apresentação a responsável pela interface gráfica do SAD, essa interface permite a entrada de dados, a configuração de parâmetros e a visualização dos resultados de forma clara e acessível. Cada módulo do sistema possui telas específicas que irão guiar o usuário através do processo de seleção de portfólios, garantindo que todas as etapas sejam executadas de maneira eficaz.

Já na camada de processamento, estão implementados os algoritmos e as regras de decisão baseados no modelo proposto, nessa lógica incluem-se as análises multicritério e a análise de sensibilidade, essenciais para avaliar as várias alternativas de portfólio. Nesta etapa primeiro, realiza-se a análise multicritério para comparar as alternativas, seguida pela análise de sensibilidade, que verifica a robustez das decisões diante de variações nos critérios.

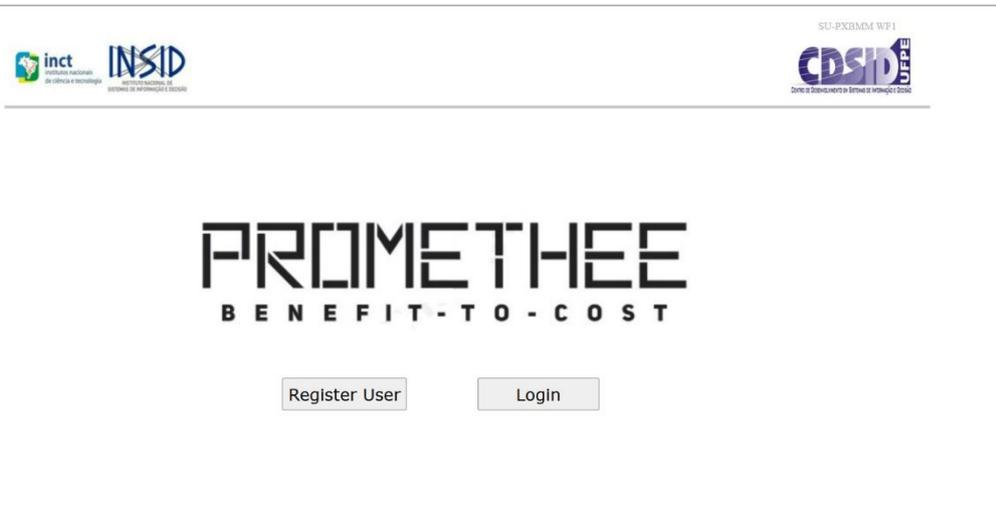
Todas as informações essenciais para o funcionamento do SAD ficam na última camada, incluindo tanto os dados de entrada inseridos pelo usuário quanto os dados processados e informações intermediárias. O banco de dados foi estruturado de maneira que suporte grandes volumes de dados.

#### 4.1.2 Camada de apresentação

Essa camada é um ponto de interação direta entre o usuário e o sistema. Sendo projetada para permitir que os usuários de diferentes níveis de expertise possam navegar facilmente pelas funcionalidades do SAD. Ela é responsável por exibir todas as informações necessárias de forma clara e organizada de modo a garantir que o usuário possa inserir os dados, configurar parâmetros, visualizar resultados e tomar as decisões de forma eficiente, guiando o usuário através de todas as etapas do processo de seleção de portfólios. A seguir são apresentadas as principais telas do SAD, acompanhadas de uma descrição detalhada de suas funcionalidades e a forma como elas contribuem para o processo decisório.

A jornada do usuário começa na tela inicial (Figura 5), que oferece duas ações principais: login e registro de usuário. O design foi pensado para ser simples e direto, destacando essas opções de forma clara. Os usuários já registrados podem acessar o sistema, enquanto os novos usuários deverão realizar seu cadastro para começar a utilização do sistema.

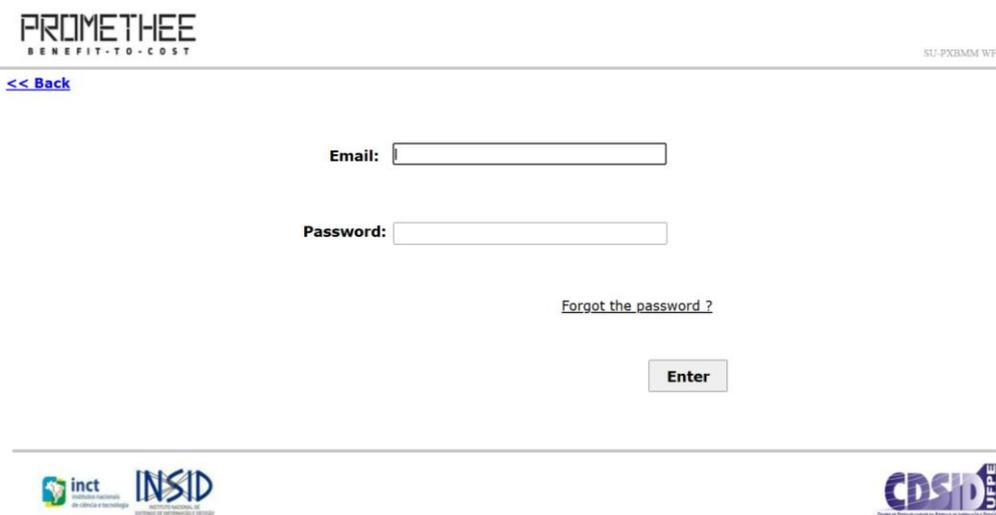
Figura 5: tela inicial



Fonte: Esta pesquisa,2024.

Após escolher a opção de login, o usuário é direcionado para a tela de autenticação (Figura 6), onde insere suas credenciais. Esta etapa é essencial para garantir a segurança e acesso ao sistema, limitando o acesso a apenas usuários autorizados. Caso o usuário esqueça sua senha, uma opção de recuperação de senha está disponível, oferecendo um processo de redefinição simples e seguro.

Figura 6: Tela de autenticação de usuário



Fonte: Esta pesquisa,2024.

Para aqueles que estão se registrando pela primeira vez, o sistema oferece uma tela de cadastro de usuário (Figura 7), onde deverá ser inserido as informações pessoais e acadêmicas para criar uma conta no sistema. A organização dos campos em categorias facilita o preenchimento e proporciona uma experiência de cadastro eficiente, permitindo que o sistema ofereça uma experiência personalizada. Por fim, a interface garante que os usuários completem o cadastro sem dificuldades.

Figura 7: Cadastro de usuário

Back

Please fill the form below to complete your registration

Required \*

- \* First Name:
- \* Last Name:
- \* Title (ex.: Mr, Dr, Prof):
- \* Address|City:
- \* Address|Country:
- \* Date of Birth:  /  /
- \* Gender:
  - Female
  - Male
  - Not Report
- \* Which softwares do you plan to use?
- \* Education Level:
- \* Affiliation Type:
- \* Institution Name:
- \* Institution Address|City:
- \* Course|Graduation Area:
- \* E-mail:
- \* Registration password:
- \* Confirm the password:

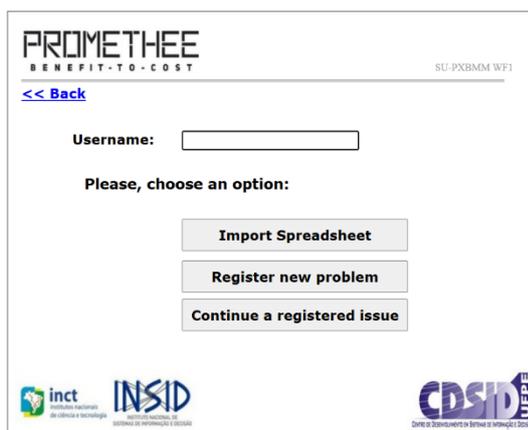
Send

inct  
INSID  
CDSID  
UFPE

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Após a autenticação, o usuário é direcionado para uma tela de seleção de ações (Figura 8), onde pode escolher entre importar uma planilha (*Import Spreassheet*), registrar um novo problema (*Register new problem*) ou continua trabalhando em um problema já registrado (*Continue a registered issue*). Essas opções são apresentadas de maneira clara para que o usuário consiga decidir rapidamente o próximo passo.

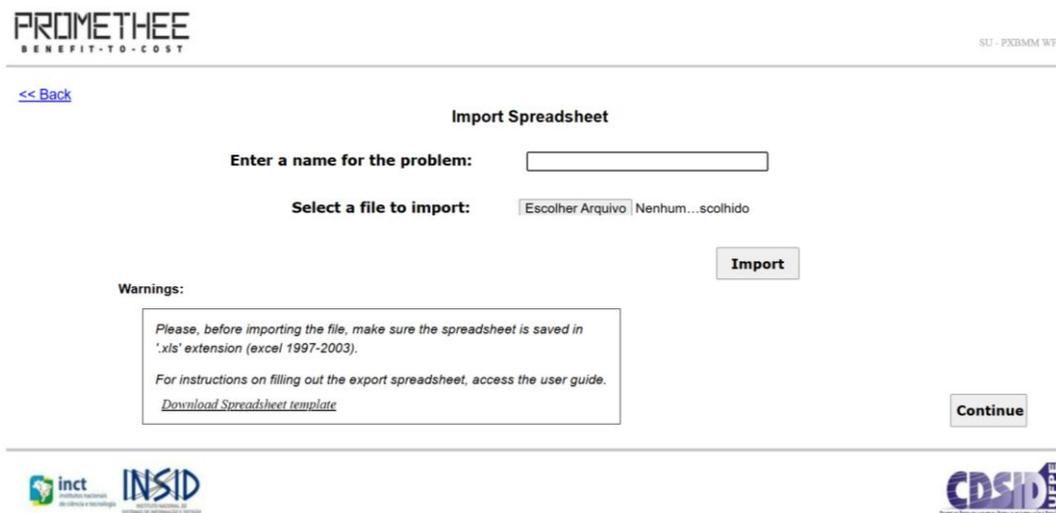
Figura 8: Tela de seleção de ação



Fonte: Esta pesquisa ,2024.

Ao clicar em *Import Spreadsheet* (Figura 9) o usuário será levado para uma tela onde poderá importar uma planilha .xls, contendo os dados necessários com o problema de decisão. Esse tipo de funcionalidade torna-se essencial para agilizar a inserção de grandes quantidades de informações. Além disso, um template de planilha é disponibilizado para evitar erros de formatação.

Figura 9: Tela de importação de planilha



Fonte: Esta pesquisa,2024.

Para situações onde os usuários desejam inserir manualmente as informações do problema, tem-se a tela de input manual (Figura 10). Ela permite que o usuário insira detalhes

das alternativas e dos critérios que serão levados em consideração no processo decisório e oferece uma maneira estruturada e flexível para o cadastro dessas informações.

O usuário deve inserir o nome do problema a ser registrado. Em seguida, na parte de informações das alternativas, deve informar o nome da alternativa, o número de alternativas já cadastradas e o custo de cada uma. Por fim, é exibida uma lista com todas as alternativas cadastradas e seus respectivos custos.

A segunda parte dessa tela refere-se as informações dos critérios contendo os campos nome do critério onde o usuário deve inserir o nome do critério que será utilizado para avaliar as alternativas; número de critérios neste campo mostra-se o total de critérios adicionados pelo usuário; direção do critério que é um menu suspenso que permite ao usuário selecionar a direção desse critério que poderá ser de minimização ou maximização e lista de critérios que mostrará todos os critérios adicionados e suas direções.

Figura 10: Tela de input manual das informações

The screenshot shows the 'PROMETHEE BENEFIT-TO-COST' web application interface. At the top left is the logo, and at the top right is the user identifier 'SU-PXBMM WF1'. Below the header is a '<<Back' link. The main content is divided into two sections: 'Alternatives information' and 'Criteria information'. In the 'Alternatives information' section, there are input fields for 'Problem name' (containing 'Exemplo hipotético'), 'Name of alternative' (containing 'P C'), 'Alternative's cost' (containing '400'), and 'Number of alternatives' (containing '2'). There is an 'Add' button below these fields. To the right is a 'List of alternatives' dropdown menu showing 'No Selection', 'P A - 500', and 'P B - 200', with 'Edit' and 'Delete' buttons below it. The 'Criteria information' section has input fields for 'Name of criterion' (containing 'Risco'), 'Criterion direction' (a dropdown menu set to 'Minimization'), and 'Number of criteria' (containing '2'). There is an 'Add' button below these fields. To the right is a 'List of criteria' dropdown menu showing 'No Selection', 'ROI - Maximization', and 'A. Estratégico - Maximization', with 'Edit' and 'Delete' buttons below it. At the bottom right of the form is a 'Continue' button.

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Por fim, situações onde o usuário deseja retomar um problema previamente cadastrado ou realizar novas operações sobre o problema escolhido, tem-se a tela de retomada de problema (Figura 11). Nesta tela, são apresentados problemas previamente registrados, junto com informações sobre seu status e uma descrição, permitindo uma fácil identificação e gerenciamento.

Figura 11: Tela de retomada de problema

The screenshot shows the PROMETHEE software interface. At the top left is the logo 'PROMETHEE' with the tagline 'BENEFIT-TO-COST'. At the top right is the user ID 'SU: PXXBMM WF1'. Below the logo is a '<< Back' button. The main area is titled 'Choose a problem to continue:' and contains a large empty rectangular box. To the right of this box are three input fields: 'Name:' with an empty text box, 'Status:' with a dropdown menu showing '-- No Selection --', and 'Description:' with an empty text box. Below these fields are two buttons: 'Delete' and 'Select'. A note below the main box reads '\*It can take a few seconds, please wait.' At the bottom left are logos for 'inct' (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia) and 'INSID' (Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Estatística). At the bottom right is the logo for 'CDSID UFPE' (Centro de Desenvolvimento de Sistemas de Informação e Estatística).

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Após a inserção inicial das informações, o sistema oferece uma interface dedicada para a visualização e ajustes na matriz de consequências (Figura 12). Nesta tela, o usuário encontra um campo de identificação do problema, que garante clareza sobre o conjunto de dados em análise. A matriz permite a inserção e modificação dos valores associados a cada alternativa e critério, apresentando especificações detalhadas para ambos. Essa interface pode ser acessada tanto após a importação de uma planilha quanto após o cadastro manual dos dados. Como etapa final, o sistema solicita a definição do orçamento total disponível. No geral, a tela proporciona uma visão abrangente e organizada dos dados, facilitando a análise e a comparação entre as alternativas.

Para ilustrar o funcionamento do método e a interface da tela apresentada na Figura 12, é utilizado um exemplo hipotético descrito na Tabela 2. Nesta matriz, são considerados diferentes critérios, como Retorno sobre Investimento (ROI), Avanço estratégico, Risco, Tempo de implementação e Recursos Necessários, para avaliar as alternativas. Além disso Tabela inclui os custos das alternativas e suas consequências com base nos critérios estabelecidos acima, proporcionando uma visão clara do processo de seleção.

Tabela 2: Matriz de consequências do exemplo hipotético.

Alternativa/critério	ROI	A. Estratégico	Risco	Tempo imp.	Rec. Necessários	Custo da alternativa
PA	3	3	2	2	3	500
PB	2	2	1	1	1	200
PC	3	3	2	2	2	400
PD	4	3	3	3	3	700
PE	2	2	3	3	3	300

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

É importante observar que a escolha de apenas cinco alternativas para este exemplo é meramente ilustrativa e visa apresentar a estrutura da tela e o funcionamento básico do sistema. Posteriormente, serão apresentados outros exemplos de portfólios com um conjunto mais amplo de alternativas, refletindo a complexidade habitual desses problemas.

Figura 12 Tela da matriz de consequências

**PROMETHEE**  
BENEFIT-TO-COST

SU- PXXBMM WF1

<< Back

**About the consequences matrix**

Problem: exemplo hipotético

Please enter the consequence values for each attribute:

Alternative	Cost	ROI	A. Estratégico	Risco	Tempo imp.
PA	500	3	3	2	2
PB	200	2	2	1	1
PC	400	3	3	2	2
PD	700	4	3	3	3
PE	300	2	2	3	3

**Criteria information:**

Criteria	Criterion Type	Code
ROI	1	ROI
A. Estratégico	1	A. Es
Risco	0	Risco
Tempo imp.	0	Tempo
Rec. Necessários	0	Rec.

**Alternatives information:**

Alternative	Cost	Code
PA	500	PA
PB	200	PB
PC	400	PC
PD	700	PD
PE	300	PE

Budget: 1100

Save problem

Continue

\*This might take some time

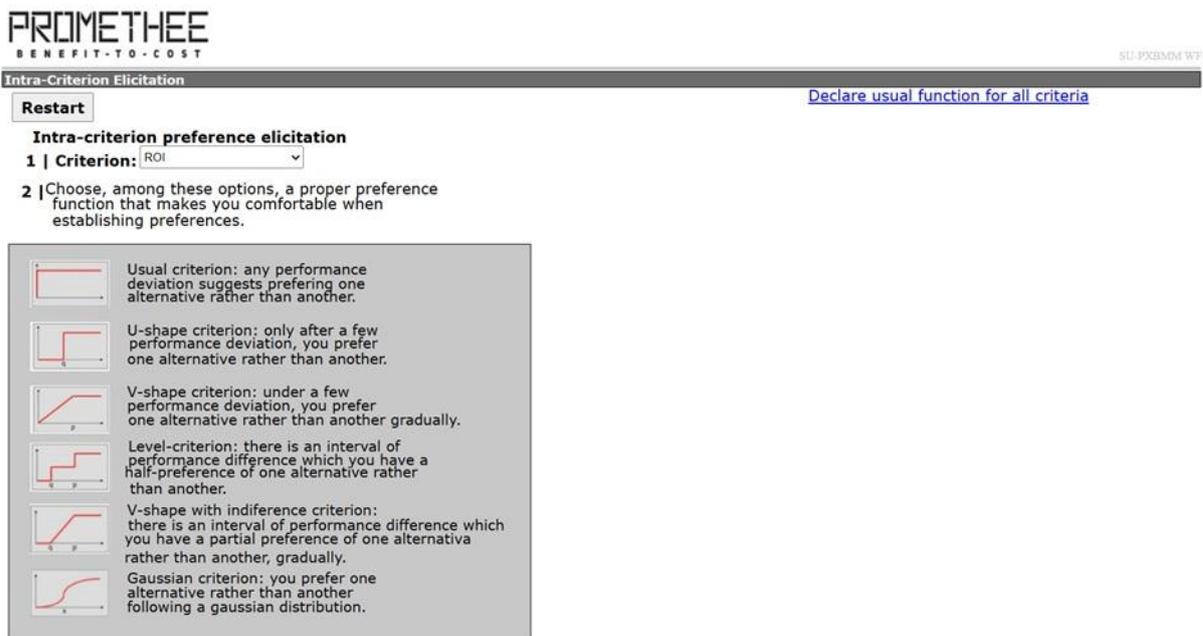
Inct INSID CDSID UFRPE

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Na etapa de aplicação do método, o sistema oferece uma tela dedicada à escolha das funções de preferência (Figura 13), um passo fundamental no método PROMETHEE. A definição da função de preferência é crucial, pois captura as nuances das preferências do decisor em relação às alternativas. Para facilitar essa escolha, a tela apresenta seis tipos de funções, cada uma ilustrada com gráficos e descrições, ajudando o usuário a entender e selecionar a mais adequada.

O sistema permite definir uma função de preferência específica para cada critério por meio de um menu suspenso, onde o usuário escolhe o critério desejado e aplica a função correspondente. Para simplificar o processo em casos onde uma única função é adequada para todos os critérios, a tela também oferece um link para aplicar a função usual a todos os critérios de uma só vez, agilizando a configuração.

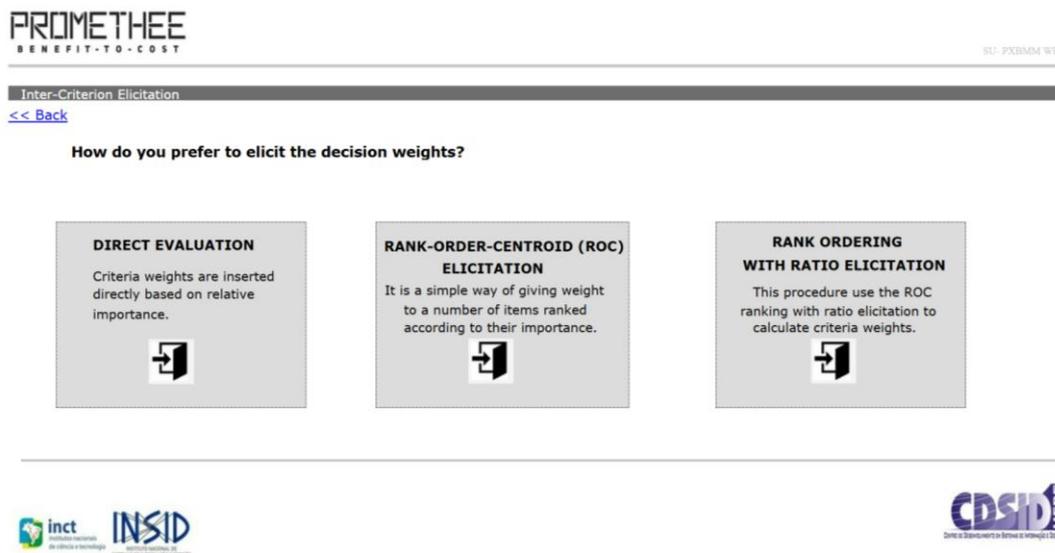
Figura 13: Tela seleção de função de preferência intra-critério



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Posteriormente, ocorre a etapa de definição dos pesos (Figura 14), onde o usuário poderá escolher o método de elicitação de pesos decisórios para os critérios. Nos métodos de racionalidade não-compensatória, a elicitação de pesos define a importância dos critérios na análise multicritério, influenciando diretamente a ordenação das alternativas. Diante disso, o usuário é direcionado a escolher um dos procedimentos disponíveis para a definição dos pesos dos critérios sendo eles: avaliação direta, Rank-Order-Centroid elicitation (ROC) (Edwards & Barron, 1994) e Rank Ordering with Ratio elicitation (Bryson, Mobolurin & Ngwenyama, 1995).

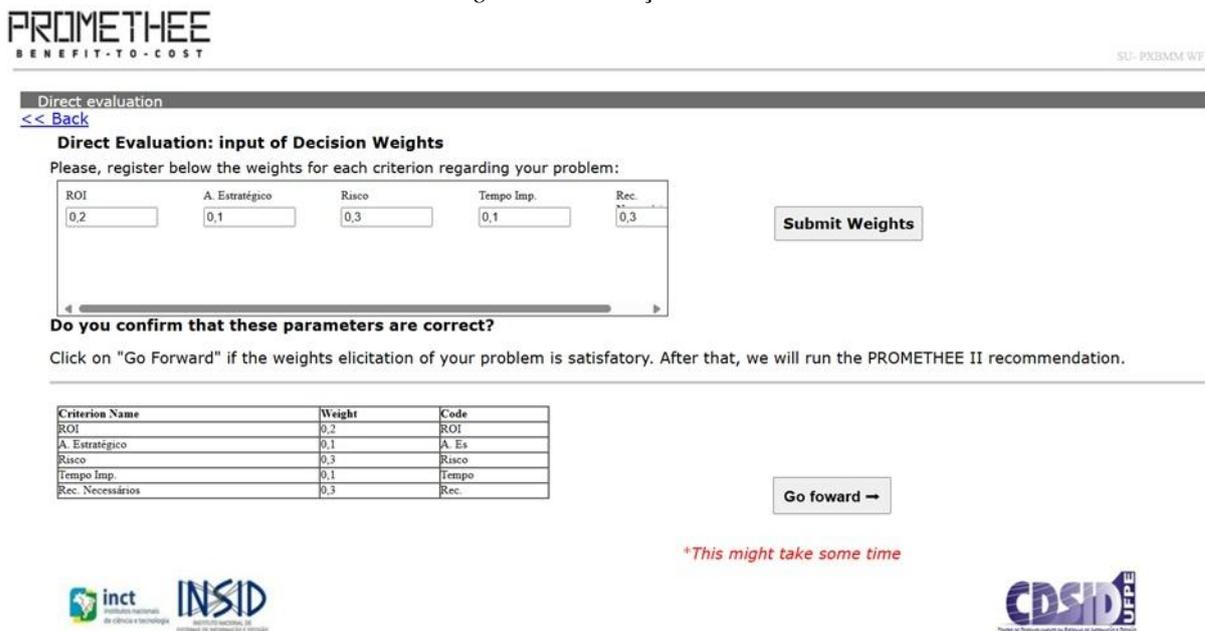
Figura 14: Tela de elicitação dos pesos



Fonte: Esta pesquisa,2024.

Na etapa de definição de pesos, o sistema oferece uma tela dedicada à entrada manual dos pesos para cada critério de decisão (Figura 15). Essa abordagem permite ao usuário definir o grau de importância de cada critério, refletindo diretamente suas prioridades no processo de decisão. Os critérios são apresentados em uma lista, e para cada um deles há um campo específico para inserir o peso correspondente. Dessa forma, o usuário pode ajustar os pesos de acordo com a relevância atribuída a cada critério na análise multicritério.

Figura 15: Avaliação Direta



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Após inserir os pesos desejados, o usuário deve pressionar o botão de submissão para confirmar e submeter os valores inseridos, isso registra os pesos no sistema para uso posterior. Além disso há uma tabela na parte inferior que permite que o usuário visualize os pesos de forma consolidada, proporcionando uma visão geral e facilitando a revisão antes de confirmar e avançar.

Caso o usuário não esteja disposto a informar os pesos, ele pode aplicar o procedimento ROC (Rank-Order Centroid- Edwards & Barron, 1994) para a elicitação de pesos dos critérios (Figura 16). O procedimento ROC é uma maneira eficaz e simples de distribuir pesos com base na ordenação dos critérios, sendo útil quando o decisor prefere focar na ordem de importância dos critérios. Na equação 17, é definido o cálculo dos pesos no ROC.

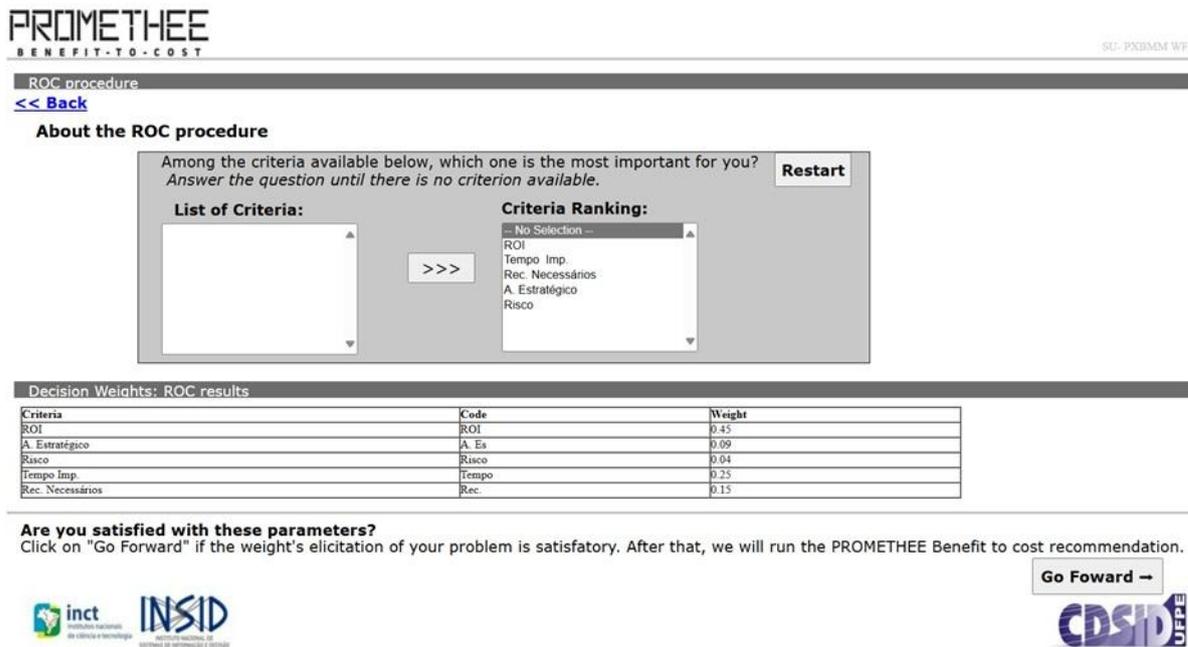
$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \tag{Equação (17)}$$

onde:

- $w_i$  é o peso atribuído ao critério  $i$
- $n$  é o número total de critérios
- $j$  é a posição dos critérios na soma

A equação (17) reflete a distribuição de pesos de maneira decrescente, onde o critério mais importante (de maior prioridade) recebe o maior peso, e os critérios subsequentes recebem gradualmente pesos menores.

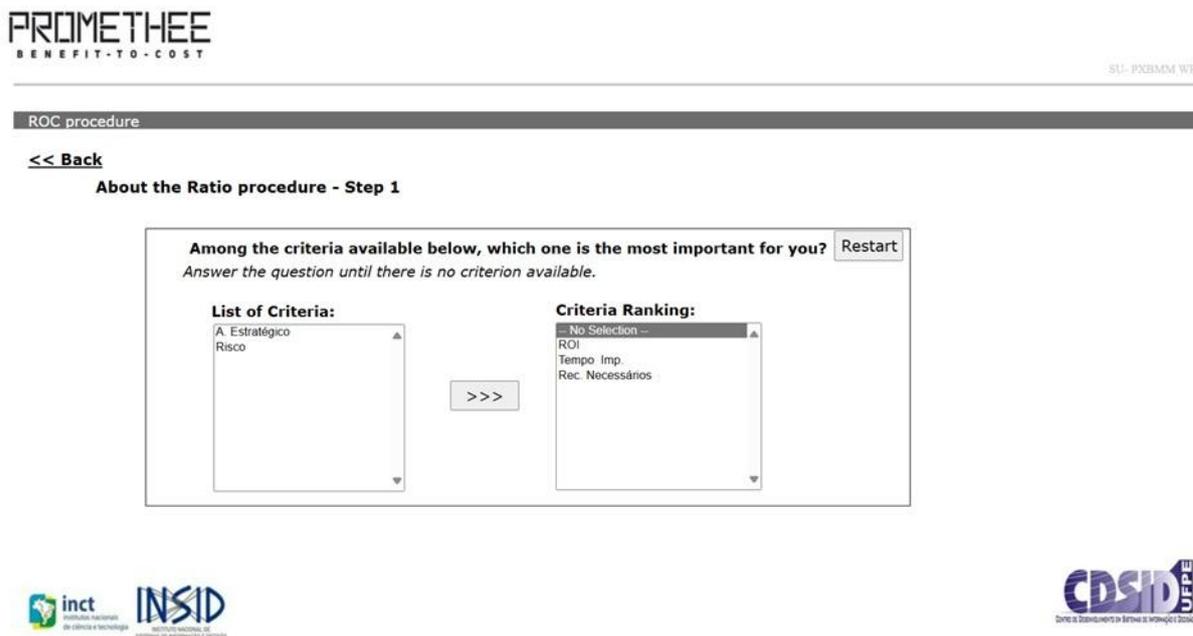
Figura 16: Tela do procedimento ROC (rank-order-Centroid)



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Assim, o usuário deve selecionar o critério mais importante entre os disponíveis na lista de critérios e repetir o processo até que todos os critérios tenham sido ranqueados, o ranking final fica disponível na lista *criteria ranking*. Após o usuário ter ranqueado todos os critérios, a seção *ROC results* exibe uma tabela com os pesos calculados pelo procedimento ROC com base no ranqueamento fornecido. Essa tabela permite ao usuário revisar os resultados antes de prosseguir.

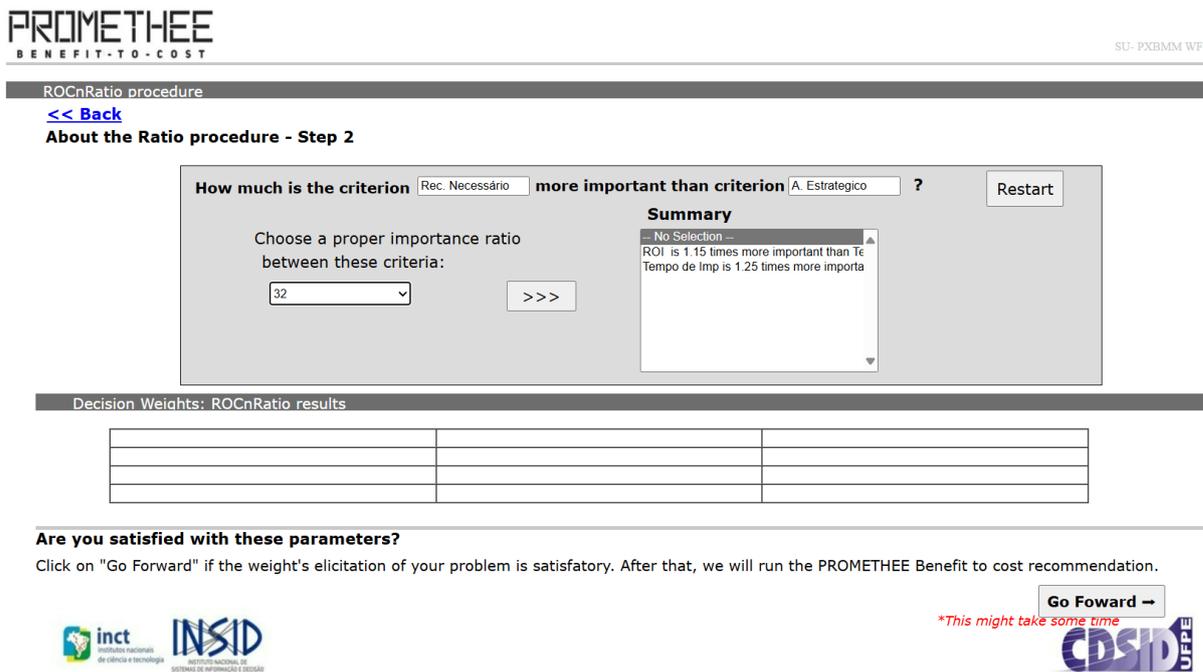
Figura 17: Tela passo 1 procedimento Ratio



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Além disso, o usuário pode também usar o procedimento Ratio (Bryson, Mobolurin & Ngwenyama, 1995) (Figura 17). Este procedimento é usado para definir o grau de importância dos critérios de forma precisa, através da seleção e ranqueamento de critérios de acordo com sua importância para o decisor. A tela começa com a orientação onde o usuário deverá selecionar o critério na lista de critérios mais importante dentre os disponíveis e continuar o processo até que todos os critérios estejam ranqueados.

Figura 18: Tela passo 2 procedimento Ratio



Fonte: Esta pesquisa,2024.

Nesta segunda etapa do procedimento Ratio (Bryson, Mobolurin & Ngwenyama, 1995) para a elicitação dos pesos dos critérios, ilustrada na figura 18, o usuário irá definir as razões de importância relativa entre pares de critérios, o que vai permitir ao sistema calcular os pesos finais de cada critério com base nas preferências.

O sistema orienta o usuário com a pergunta “quanto o critério [critério x] é mais importante que o critério [critério y]?”, solicitando que o usuário quantifique o grau de importância entre dois critérios específicos. Um menu suspenso permite que o usuário escolha a razão de importância entre os critérios selecionados. Esta escolha irá refletir a percepção do usuário sobre o quão mais importante um critério é em relação ao outro. Além disso, o sumário exibe as comparações realizadas, permitindo que o usuário revise as relações de importância já definidas.

A Figura 19 mostra a tabela resultados com os pesos resultantes para cada critério após o cálculo baseado nas razões de importância inseridas. Esses pesos são cruciais para a análise multicritério que será realizada posteriormente.

Figura 19: Resultado passo 2 procedimento ratio

**PROMETHEE**  
BENEFIT-TO-COST

SU- PXBMM WF

ROCNRatio procedure

<< Back

About the Ratio procedure - Step 2

How much is the criterion  more important than criterion  ?

Choose a proper importance ratio between these criteria:

**Summary**

-- No Selection --

ROI is 1.15 times more important than Te  
 Tempo de Imp is 1.25 times more importa  
 Rec. Necessário is 1.32 times more impo  
 A. Estrategico is 1.46 times more importa

Decision Weights: ROCNRatio results

Criteria	Weight	Code
ROI	0.28	ROI
Tempo de Imp	0.25	Tempo
Rec. Necessário	0.20	Rec.
A. Estrategico	0.15	A. Es
Risco	0.10	Risco

**Are you satisfied with these parameters?**

Click on "Go Forward" if the weight's elicitation of your problem is satisfactory. After that, we will run the PROMETHEE Benefit to cost recommendation.

\*This might take some time

inict INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
 INSID INSTITUTO NACIONAL DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E DECISÃO  
 CDSID UFPE

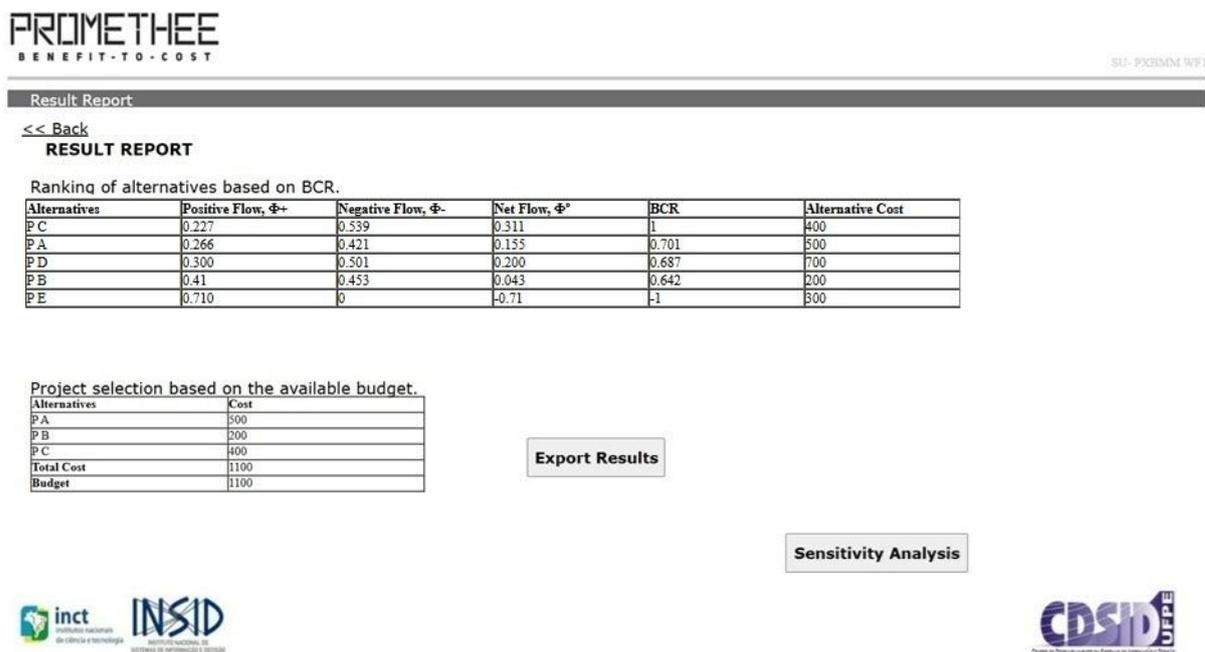
Fonte: Esta pesquisa, 2024.

A tela apresentada no relatório final, ilustrada na figura 20, exibe os resultados após a aplicação do método PROMETHEE II, incluindo a análise dos fluxos (saída, entrada e líquido) de alternativas e o cálculo do Cost-Benefit Ratio (BCR). A tela permite que usuário visualize o desempenho das alternativas e tome decisões com base no orçamento disponível.

A tabela principal apresenta as alternativas avaliadas e nas colunas são mostrados os seguintes dados de cada uma: fluxo de saída que reflete o grau em que a alternativa supera outras; fluxo de entrada que reflete o grau em que a alternativa é superada por outras; fluxo líquido que é a diferença entre o fluxo de saída e o fluxo de entrada, indicando o desempenho geral da alternativa, BCR (Cost-Benefit ratio) que é um indicador que relaciona o custo da alternativa ao benefício esperado, ajudando na priorização das alternativas mais eficientes e o custo da alternativa que é essencial para a tomada de decisões dentro do limite orçamentário.

Além disso, na seção de seleção de projetos com base no orçamento, listada na segunda tabela da tela, são apresentadas as alternativas que podem ser selecionadas com base no orçamento disponível. As alternativas são ordenadas considerando o orçamento e o BCR, permitindo a seleção de projetos que maximizam o benefício dentro do orçamento disponibilizado. Por fim, a tela oferece ao usuário a possibilidade de exportar os resultados ou realizar análises adicionais, como a análise de sensibilidade, caso o usuário deseje.

Figura 20: Tela de resultados



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Na etapa de análise de sensibilidade (Figura 21), o sistema permite que o usuário explore como os critérios e seus pesos impactam os resultados do modelo de decisão. No primeiro painel, são informados os critérios com suas respectivas direções de preferência (Maximizar ou Minimizar), além da possibilidade de ajustar os limites inferiores (Lower Limit (%)) e superiores (Upper Limit (%)). Já no segundo painel, o usuário pode configurar a variação dos pesos atribuídos aos critérios selecionados, visualizando o peso inicial (Weights) e ajustando a variação percentual permitida (Variation (%)). Adicionalmente, o sistema oferece a possibilidade de analisar a variação dos custos das alternativas, caso o usuário deseje. Por fim, na parte inferior, os botões Redefine, Save, e Run Sensitivity Analysis oferecem suporte à execução e redefinição dos ajustes, permitindo que o usuário refine ou execute a análise de sensibilidade. Dessa forma, essa etapa é essencial para avaliar a estabilidade e a robustez das decisões em diferentes condições.

Figura 21: Análise de sensibilidade parte 1.

**PROMETHEE**  
BENEFIT-TO-COST

SI-PXBMM WF1

<< Back

### Sensitivity Analysis

Please, select below which criteria you want to vary:

Criteria	Preference Direction	Lower Limit (%)	Upper Limit (%)
<input checked="" type="checkbox"/> ROI	Maximizar	15	30
<input type="checkbox"/> A. Estratégico	Maximizar	-	+
<input type="checkbox"/> Risco	Minimizar	-	+
<input checked="" type="checkbox"/> Tempo Imp.	Minimizar	25	50
<input type="checkbox"/> Rec. Necessários	Minimizar	-	+

Enable sensitivity analysis for the unit costs of the alternatives

Please, select below which weight you want to vary:

Criteria	Weights	Variation (%)
<input type="checkbox"/> ROI	0.456666666666667	%
<input checked="" type="checkbox"/> A. Estratégico	0.09	34
<input type="checkbox"/> Risco	0.04	%
<input checked="" type="checkbox"/> Tempo Imp.	0.256666666666667	23
<input type="checkbox"/> Rec. Necessários	0.156666666666667	%

Redefine Save

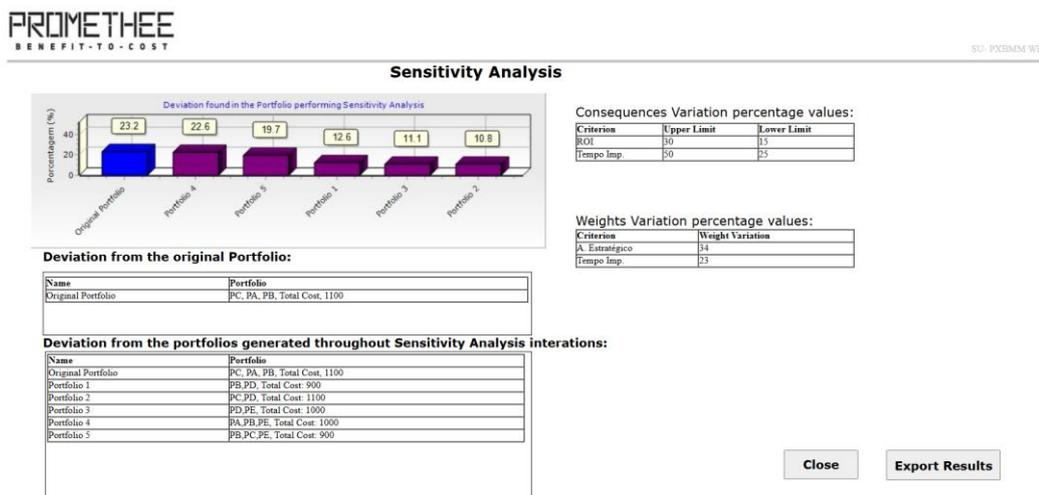
Run Sensitivity Analysis

inct Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
INSID Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Decisão  
CDSID UFPE Centro de Desenvolvimento de Software e Informação em Saúde

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Na tela de resultados da análise de sensibilidade (Figura 22), o sistema apresenta os impactos das variações nos critérios e pesos sobre os portfólios gerados. No topo, um gráfico de barras exibe a porcentagem de desvio encontrada em relação ao portfólio original, com cada barra representando um portfólio e destacando os desvios percentuais. À direita, duas tabelas mostram os valores de variação utilizados: a tabela "consequences variation percentage values" apresenta os limites superiores e inferiores definidos para os critérios, enquanto a tabela "weights variation percentage values" indica as variações percentuais atribuídas aos pesos dos critérios. Ao centro, uma tabela exibe o portfólio original, com os projetos selecionados e o custo total, permitindo comparações diretas com os portfólios gerados. Logo abaixo, outra tabela lista os portfólios gerados durante as interações da análise, detalhando os projetos selecionados e seus custos totais. Na parte inferior, os botões Close e Export Results permitem encerrar a interface ou exportar os resultados. Essa tela possibilita ao usuário avaliar como as variações nos critérios e pesos impactam os portfólios gerados, auxiliando na compreensão da robustez e confiabilidade das decisões.

Figura 22: Resultado da análise de sensibilidade.



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

#### 4.1.2.1 Camada de processamento

A camada de processamento do SAD irá coordenar o processamento dos dados, a aplicação e a execução das regras de decisão e algoritmos para selecionar os portfólios. Sendo encarregada de transformar os dados brutos em resultados que irão auxiliar na decisão. O sistema faz uso de algoritmos matemáticos e computacionais que processam as informações inseridas pelo usuário. Esses algoritmos incluem:

- Método PROMETHEE II: Que faz comparações par a par entre alternativas em relação a cada critério e calcula seus fluxos de saída (positivo) e de entrada (negativo). Esses fluxos são posteriormente utilizados para calcular o fluxo líquido.
- Aplicação das funções de preferência: Essas funções de preferência intra-critério são aplicadas para capturar as nuances das preferências do decisor. Essas funções irão determinar como as diferenças entre alternativas são tratadas em termos de preferência.
- Procedimentos de elicitação de pesos: O sistema possui os procedimentos de Avaliação Direta, ROC e Procedimento de Ratio para elicitar pesos dos critérios.
- Cálculo do *Cost-Benefit Ratio* (BCR): Que é realizado para cada alternativa, onde é comparado o custo de implementação com o benefício esperado. O BCR é usado

para priorizar aquelas alternativas que vão oferecer o maior benefício por unidade de custo.

- Seleção de alternativas baseada no orçamento: Onde o sistema aplica restrições orçamentárias para garantir que as alternativas selecionadas não ultrapassem o orçamento disponível. As alternativas serão ordenadas pelo CRB e selecionadas até que o orçamento seja totalmente alocado.
- Análise de Sensibilidade: Permite testar como as variações nos critérios e nos pesos impactam o ranking das alternativas. Essas variações são aplicadas aos dados, e rankings novos são gerados para avaliar a robustez das decisões.

Para o fluxo de dados, o SAD segue um caminho estruturado, que garante a integridade e a consistência das informações desde a entrada até os resultados finais:

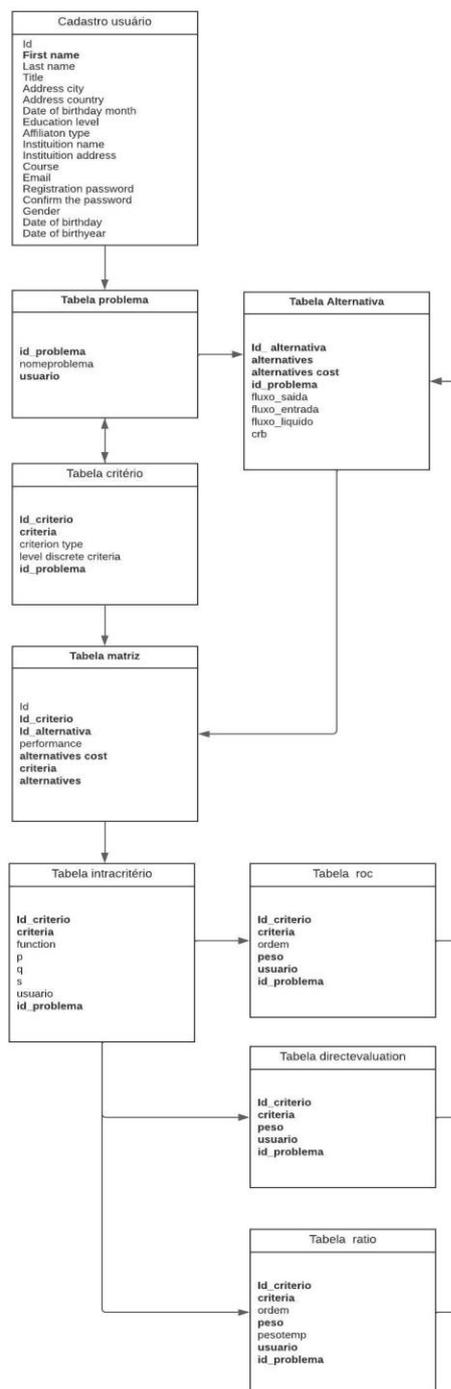
- Entrada de Dados: Os dados são inseridos pelo usuário através de planilhas ou manualmente, incluindo informações sobre alternativas, critérios, e os parâmetros de decisão. Esses dados são armazenados no banco de dados, onde são organizados por tabelas.
- Processamento: Após a entrada de dados, os algoritmos de decisão processam as informações para calcular fluxos, BCR, e rankings de alternativas. Se o usuário optar por realizar uma análise de sensibilidade, os dados são processados novamente com as variações aplicadas para gerar novos cenários.
- Geração de Resultados: Os resultados exibem o ranking das alternativas, os cálculos de CRB, e os fluxos líquidos. Sendo apresentados ao usuário, que pode exportá-los ou realizar análises adicionais, como a análise de sensibilidade. Desta forma o usuário tem o controle total sobre os dados e resultados, permitindo uma análise detalhada e uma tomada de decisão informada.

#### 4.1.3.1 Camada de dados

Esta camada armazena e gerencia todas as informações que são necessárias para a operação do sistema, abaixo está detalhado os principais componentes e funções.

*Figura 23: Diagrama entidade-relacionamento (ER)*

Promethee custo beneficio



Fonte: Esta pesquisa, 2024.

O diagrama acima (Figura 23) enfatiza as principais entidades do sistema e como se relacionam. Cada tabela é representada com seus atributos e as relações entre elas são indicadas por linhas que as conectam.

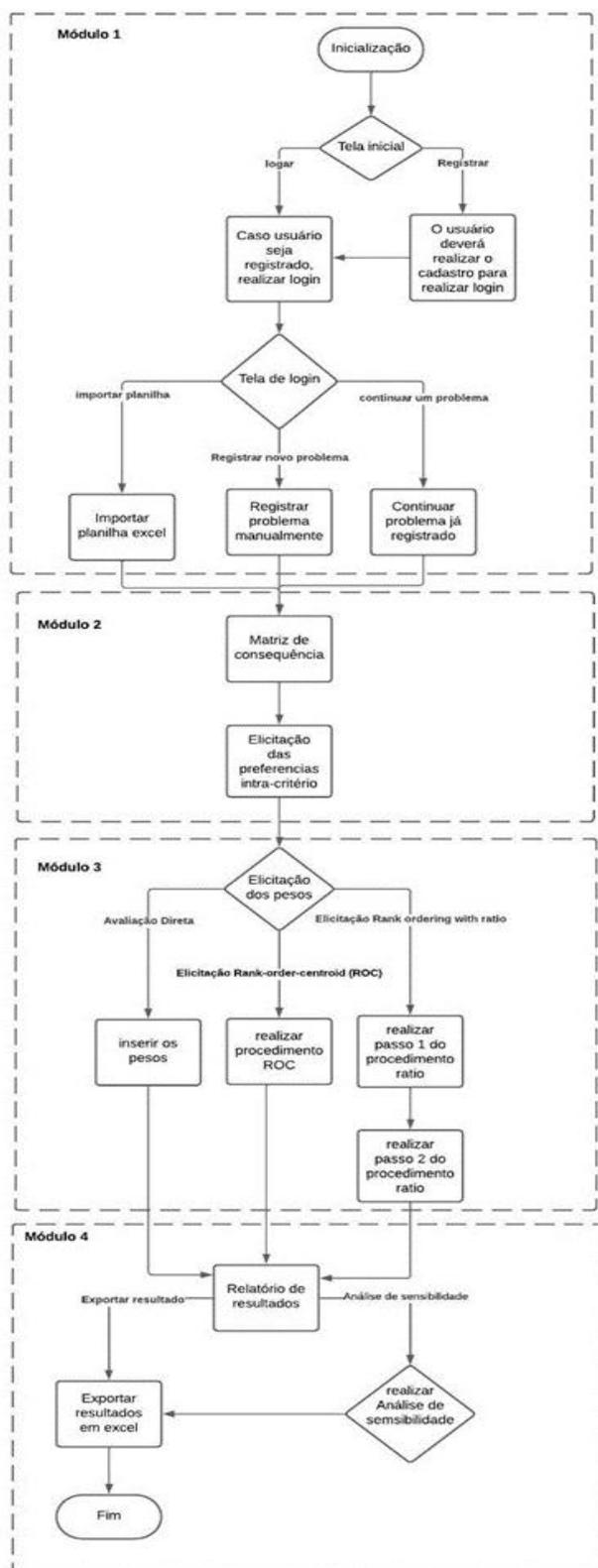
O modelo de dados que foi adotado é o relacional que é adequado para representar e consultar as complexidades das inter-relações entre alternativas, critérios e usuário, essenciais para a análise de custo-benefício. O SAD foi desenvolvido no Ambiente Delphi 2010, utilizando a linguagem de programação Object Pascal sendo gerenciadas por um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional MySQL, que facilita a execução de consultas e garante a integridade dos dados.

O sistema inclui triggers (funções que são ativados automaticamente em resposta a eventos específicos) e procedimentos armazenados que realizam cálculos e atualizações nas tabelas que são baseados em condições, como por exemplo a inserção de novos dados ou modificação de registros existentes.

## **4.2 Módulos do SAD**

O fluxograma abaixo (Figura 24) representa uma visão estruturada de como o sistema guia o usuário abrangendo as principais funcionalidades que dão suporte ao processo decisório.

Figura 24: Módulos do sistema



Fonte: Esta pesquisa, 2024

A seguir é apresentado a sequência das atividades em 4 principais módulos, descritos abaixo:

Módulo 1: O sistema inicia e apresenta a tela inicial, onde o usuário pode escolher entre login ou registro, caso o usuário já esteja registrado, ele prossegue para a tela de login, se ele não estiver registrado, será direcionado para a tela de cadastro para criar uma conta.

Após o login o usuário tem três opções importar a planilha Excel, registrar o problema manualmente ou continuar o problema já registrado no sistema.

Módulo 2: Neste módulo, o sistema irá gerar uma matriz de consequências, que vai relacionar as alternativas e os critérios, apresentando a performance (consequência) de cada alternativa em cada critério, após a criação da matriz, o usuário realiza a elicitacão intracritério com a definição das funções de preferências e seus respectivos parâmetros.

Módulo 3: O sistema apresenta três procedimentos para a elicitacão e decisão dos pesos que estão associados aos critérios, sendo eles: avaliação direta onde o usuário insere diretamente os pesos dos critérios; uso do procedimento ROC (*Rank Order Centroid*) para determinar os pesos dos critérios e aplicacão do procedimento Ratio que realiza a ordenacão dos critérios, sendo dividido em dois passos.

Módulo 4: O sistema compila os resultados e permite ao usuário escolher entre exportar resultados em excel para análise e arquivamentos posteriores ou/e realizar a análise de sensibilidade para avaliar como as variações nos pesos e nos critérios impactam o resultado final, por fim o processo é finalizado encerrando a análise.

### 4.3 Aplicacão

Nesta seccão, serão apresentadas aplicacões do modelo desenvolvido a três casos da literatura com objetivo de demonstrar a eficácia e a utilidade do modelo em situações práticas, comparando seus resultados com os estudos originais. Para isso, serão utilizadas as mesmas configurações e parâmetros dos casos, como critérios, alternativas, custos, orçamentos e pesos, para garantir que as análises sejam o mais próximo possível do que foi relatado nas referências.

#### 4.3.1 Primeira aplicacão: Frej, Ekel e de Almeida (2021)

O primeiro exemplo é o de Frej, Ekel e de Almeida (2021) que é um problema de seleccão de portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no setor de energia elétrica no

Brasil envolvendo uma concessionária e aborda a formação de um portfólio de projetos considerando uma ampla gama de critérios, tanto estratégicos quanto operacionais.

Os autores definiram um total de 15 critérios que foram divididos em 5 categorias sendo elas:

- Critérios impostos pela ANEEL: Originalidade, Aplicabilidade, Relevância prática e estrutura de custos.
- Critérios estratégicos: Conformidade com os objetivos da concessionária, Integração entre os segmentos da empresa, Cobertura de novas tecnologias.
- Critérios de mercado: Expansão de mercado e integração com o ecossistema de inovação.
- Critérios de equipe: Qualificação técnica da equipe e qualidade da apresentação do projeto.
- Critérios sociais, econômicos e ambientais: Contribuição para eficiência operacional, qualificação de pessoas e desenvolvimento socioambiental.

Além disso foram avaliados 46 projetos com base nos critérios acima, onde utilizou-se uma escala de Likert de cinco pontos, onde 1 representava o pior desempenho e 5, o melhor desempenho. O custo de implementação de cada projeto também foi considerado.

A seguir, a Tabela 3 reúne as informações dos critérios, categorias, os valores atribuídos aos projetos e os custos envolvidos.

Tabela 3: Matriz de consequência aplicação 1

Alternativa/Critério	Custo da alternativa (\$)	A			B			C			D		E			
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
PA1-1	4.000,000	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	3
PA1-2	3.850,000	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	5	4	4	4	3
PA1-3	5.400,000	4	5	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
PA1-4	5.200,000	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3
PA1-5	3.600,000	4	4	3	5	2	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3
PA1-6	4.100,000	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3
PA1-7	4.300,000	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3
PA2-1	5.000,000	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4	3	4	5
PA2-2	6.200,000	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4
PA3-1	8.500,000	4	5	4	2	4	5	4	4	3	4	4	3	4	3	3
PA3-2	5.800,000	5	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3

PA3-3	6.600,000	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3
PA3-4	8.400,000	4	4	4	1	3	3	4	3	3	3	3	3	3	2	3
PA3-5	6.000,000	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	1	3	2	3
PA4-1	8.400,000	4	4	4	3	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	4
PA4-2	6.800,000	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	3
PA4-3	5.800,000	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3
PA4-4	6.400,000	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3
PA4-5	5.500,000	3	4	4	4	1	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
PA4-6	5.400,000	4	1	3	4	3	3	3	4	3	3	2	3	3	3	3
PA4-7	6.300,000	3	3	2	3	4	1	2	3	3	3	2	3	2	3	3
PA4-8	6.400,000	4	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	1	2	3
PA4-9	5.400,000	3	3	2	4	4	3	3	2	2	2	3	2	3	1	2
PA4-10	6.200,000	3	3	2	3	3	3	3	2	1	2	1	3	3	2	3
PA4-11	5.200,000	3	3	1	4	3	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3
PA4-12	6.200,000	1	2	2	3	3	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2
PA5-1	6.500,000	5	5	5	3	4	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4
PA5-2	7.800,000	5	5	5	2	5	4	4	4	3	4	5	5	5	4	3
PA5-3	6.400,000	5	4	5	3	5	4	4	3	3	3	5	4	4	3	3
PA5-4	6.200,000	5	4	4	3	5	4	4	3	3	3	5	5	3	3	3
PA5-5	7.600,000	5	4	4	2	4	4	4	3	4	3	5	4	3	4	3
PA5-6	7.700,000	4	5	4	2	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3
PA5-7	5.600,000	4	4	4	4	3	3	1	3	3	3	4	3	3	2	3
PA5-8	6.400,000	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	3	2	1
PA6-1	7.700,000	4	4	4	2	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3
PA6-2	5.500,000	5	4	4	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3
PA6-3	4.900,000	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3
PA6-4	5.700,000	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3
PA6-5	7.800,000	4	3	4	2	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3
PA6-6	5.600,000	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3
PA6-7	5.400,000	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3
PA6-8	4.800,000	3	3	4	5	4	3	3	2	3	2	3	3	4	3	3
PA6-9	5.700,000	3	3	4	3	4	4	3	4	2	2	2	3	3	3	3
PA6-10	5.500,000	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	4	3	3
PA6-11	4.700,000	3	2	3	4	3	3	3	3	4	3	2	2	3	3	3
PA6-12	5.500,000	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	4	3

Fonte: Adaptado de Frej, Ekel e de Almeida (2021)

O processo de elicitación foi realizado de forma interativa com um sistema de decisão. O decisor respondeu a questões sobre trade-offs entre os critérios resultando na seguinte ordem:  $kA1 > kA2 > kA3 > kA4 > kB1 > kC1 > kE1 > kD1 > kB2 > kC2 > kD2 > kB3 > kE2 > kC3 > kE3$ , empregando princípios do FITradeoff para estruturar e refinar as preferências do decisor de forma eficaz.

Por fim ao final do processo foram obtidos os seguintes resultados:

Figura 25: projetos ranqueados por custo-benefício

Ranking	Projects	Cost (R\$)	Cumulative cost (R\$)
1	[P A1-1]	4,000,000	4,000,000
2	[P A1-2]	3,850,000	7,850,000
3	[P A1-5]	3,600,000	11,450,000
4	[P A1-6], [P A2-1]	9,100,000	20,550,000
5	[P A1-3], [PA1-7], [P A6-3], [P A5-1]	21,100,000	41,650,000
6	[P A6-2]	5,500,000	47,150,000
7	[P A1-4]	5,200,000	52,350,000
8	[P A3-2], [P A4-2], [P A4-3], [P A5-3], [P A5-4], [P A6-8]	35,800,000	88,150,000
9	[P A6-4], [P A6-6]	11,300,000	99,450,000
10	[P A5-2], [P A5-7], [P A6-11], [P A4-5], [P A6-7], [P A2-2], [P A4-4]	41,600,000	141,050,000
11	[P A4-1], [P A4-6], [P A5-5], [P A6-9], [P A6-10], [P A3-3]	39,200,000	180,250,000
12	[P A3-5], [P A6-1], [P A5-6]	21,400,000	201,650,000
13	[P A3-1], [P A4-9], [P A6-5], [P A6-12], [P A4-11], [P A5-8]	38,800,000	240,450,000
14	[P A4-7], [P A4-8]	12,700,000	253,150,000
15	[P A3-4], [P A4-10]	14,600,000	267,750,000
16	[P A4-12]	6,200,000	273,950,000

Fonte: Frej, Ekel e De almeida (2021).

Esse conjunto de projetos selecionados totalizou aproximadamente R\$ 99,450,000, ficando dentro do orçamento de R\$ 120 milhões. Como ainda restavam cerca de R\$ 20,550,000 no orçamento, o decisor poderia escolher mais projetos da 10ª posição para completar o portfólio.

Em contraste com os mesmos autores, que utilizaram uma abordagem compensatória, foi aplicado o método PROMETHEE custo-benefício, com racionalidade não compensatória. Esse método difere do anterior, pois, ao contrário da compensação de critérios, no PROMETHEE, um desempenho ruim em um critério não pode ser compensado por um desempenho superior em outro.

Sendo assim, foram utilizados os mesmos critérios, alternativas, custos e pesos do caso em questão. Para garantir a consistência na avaliação, os pesos foram elicitados utilizando o método Rank-Order Centroid (ROC), o que permitiu manter a mesma ordenação dos critérios empregada no estudo original. Dessa forma, assegura-se a coerência na priorização dos critérios, refletindo o grau de importância atribuído a cada um deles. Entretanto, a utilização do PROMETHEE custo-benefício resulta em uma seleção de projetos que reflete a racionalidade

não compensatória. Assim como no estudo de Frej, Ekel e de Almeida, o PROMETHEE II também ordena as alternativas com base na relação custo-benefício, garantindo que os projetos com maior benefício em relação ao custo sejam priorizados na alocação de recursos. Deste modo, a Tabela 4 apresenta a lista de projetos selecionados pelo método PROMETHEE custo-benefício.

Tabela 4 Portfólio resultante 1 do PROMETHEE custo-benefício.

Ranking	Alternativa	Custo (\$)	BCR
1	PA1-1	4000000	1
2	PA5-1	6500000	0.78087
3	PA5-2	7800000	0.71898
4	PA5-3	6400000	0.56512
5	PA6-2	5500000	0.54280
6	PA1-3	5400000	0.46730
7	PA5-4	6200000	0.42782
8	PA4-2	6800000	0.42336
9	PA5-5	7600000	0.37966
10	PA3-1	8500000	0.32002
11	PA4-1	8400000	0.23100
12	PA1-2	3850000	0.22967
13	PA5-6	7700000	0.21689
14	PA3-2	5800000	0.20193
15	PA6-1	7700000	0.19982
16	PA2-1	5000000	0.17428
17	PA6-3	4900000	0.16996
18	PA4-4	6400000	0.13764
19	PA1-4	5200000	0.09070
<b>Custo total: \$ 119.650,000</b>			
<b>Orçamento: \$ 120.000,000</b>			

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Ao observar os resultados, percebe-se que alguns projetos selecionados pelo método PROMETHEE custo-benefício coincidem com os escolhidos pelo método FITtradeoff. Essa coincidência, no entanto, deve ser entendida apenas como um ponto de referência exploratória e não como uma validação comparativa dos métodos, uma vez que cada abordagem reflete princípios de decisão e racionalidades distintas.

Um ponto de destaque é que o projeto PA1-1 foi considerado o mais vantajoso em ambas as metodologias, sugerindo que, independentemente da forma como os critérios são compensados ou não, ele apresenta características que o tornam uma escolha prioritária em diferentes cenários de decisão. Isso demonstra que certos projetos podem se sobressair em avaliações com perspectivas distintas.

Além disso, o método PROMETHEE custo-benefício apresentou um aproveitamento ligeiramente superior do orçamento. Enquanto o FITradeoff deixou uma margem de aproximadamente R\$ 20.550.000 dentro do limite orçamentário de R\$ 120 milhões, o PROMETHEE praticamente esgotou o orçamento, atingindo um custo total de R\$ 119.650.000, com uma margem residual de apenas R\$ 350.000.

É importante reforçar que o propósito aqui não é comparar diretamente os métodos, mas sim explorar as características e o comportamento de cada abordagem dentro de suas respectivas lógicas decisórias. A presença de coincidências entre os projetos selecionados não implica em qualquer conclusão sobre a superioridade de um método sobre o outro, mas apenas revela que determinadas alternativas podem se destacar sob diferentes perspectivas de análise.

#### 4.3.2 Segunda aplicação: Barbati et al. (2023)

Barbati et al. (2023) aplicam um método multicritério chamado "Priority-Based Portfolio Selection" (PBPS), que utiliza a metodologia ELECTRE TRI-nC (Fernandez, Figueira, Navarro & Roy, 2017) para analisar e priorizar um conjunto de projetos para preservação do patrimônio cultural na cidade de Nápoles, Itália. O objetivo da aplicação é selecionar projetos que melhorem a conservação e reutilização do patrimônio cultural, levando em consideração diversos critérios e restrições orçamentárias.

O processo de tomada de decisão considerou 20 projetos potenciais, incluindo intervenções em diversos pontos históricos da cidade, como castelos, teatros e igrejas.

Os projetos avaliados são:

- Murazione Aragonese di Porta Capuana (A1)
- Castel Capuano (A2)
- Complesso ex-ospedale di Santa Maria della Pace (A3)
- Complesso S. Lorenzo Maggiore (A4)
- Complesso S. Gregorio Armeno ed ex Asilo Filangieri (A5)
- Insula del Duomo – Area archeologica (A6)

- Complesso di S. Lorenzo maggiore (Area archeologica)(A7)
- Teatro antico di Neapolis (A8)
- Chiesa SS. Cosma e Damiano (A9)
- Castel dell'Ovo (A10)
- Complesso dei Girolamini (A11)
- San Gioacchino a Pontenuovo (A12)
- Sant'Aniello a Caponapoli (A13)
- Complesso Trinità' delle Monache (A14)
- Mercatino S. Anna Di Palazzo (A15)
- Chiesa San Giovanni Battista delle Monache (A16)
- Complesso Santa Maria della Fede (A17)
- Carminiello al Mercato (A18)
- Complesso di S. Paolo Maggiore (A19)
- Villa Ebe alle rampe di Lamont Young (A20)

Para analisar os projetos, foram utilizados os seguintes oito critérios:

- Compatibilidade do projeto com o patrimônio cultural tangível (C1): Avaliação qualitativa sobre a compatibilidade do projeto com o local histórico.
- Aumento da usabilidade do patrimônio tangível (C2): Percentual de melhoria da usabilidade do local.
- Promoção do artesanato tradicional e conhecimento (C3): Impacto do projeto na promoção de conhecimentos e práticas tradicionais.
- Promoção do empreendedorismo e negócios locais (C4): Potencial do projeto para promover negócios e empreendedorismo locais.
- Promoção do turismo (C5): Capacidade do projeto em atrair visitantes e promover o turismo.
- Manutenção de espaços urbanos (C6): Área total, em metros quadrados, de espaços urbanos mantidos ou restaurados pelo projeto.
- Enriquecimento da oferta cultural (C7): Aumento na oferta de atividades culturais e conscientização pública.
- Coesão social (C8): Contribuição para a coesão social e fortalecimento da identidade cultural local.

Os pesos dos critérios foram definidos por meio do método Simos–Roy–Figueira (SRF) em um grupo de foco com especialistas. Os pesos finais atribuídos foram:

- C1: 20.0
- C2 e C4: 8.0
- C3 e C7: 14.0
- C5: 2.0
- C6 e C8: 17.0

Essa ponderação reflete as prioridades dos stakeholders na seleção dos projetos culturais. Na Tabela 5, encontra-se a matriz de consequências, que apresenta os valores atribuídos a cada projeto em relação aos critérios avaliados.

Tabela 5: Matriz de consequência aplicação 2

<i>Alternativa/critério</i>	<i>Custo da alternativa (€)</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>
A1	1500	1	80	9	2	3	5650	10	3
A2	5000	4	25	3	2	3	3500	11	4
A3	7000	1	80	11	3	3	9750	16	3
A4	3000	3	20	4	1	2	2000	10	4
A5	1100	3	30	8	1	3	2400	10	4
A6	1500	3	50	1	1	3	0	6	1
A7	1000	3	25	1	1	3	0	11	2
A8	6000	3	60	7	2	4	3600	16	3
A9	900	3	100	2	1	1	1700	11	4
A10	1500	3	60	6	2	4	0	11	2
A11	7700	4	100	11	2	3	12000	16	3
A12	400	3	70	2	1	2	1700	10	2
A13	1000	3	50	2	1	3	0	15	2
A14	13600	2	70	7	2	3	2100	10	4
A15	500	3	100	13	4	1	360	1	4
A16	500	3	50	4	1	2	200	9	2
A17	2000	3	90	7	1	2	3500	9	4
A18	4000	2	30	9	4	1	1500	6	3
A19	4000	3	50	3	2	3	5200	15	3
A20	4100	2	100	6	3	4	600	7	2

Fonte: Adaptado de Barbati et al. (2023)

A Tabela 6, apresenta o portfólio resultante para o cenário B1.

Tabela 6: Portfólio resultante Barbati et al. (2023)

<i>Alternativa</i>	<i>Custo (€)</i>
Murazione Aragonesa di Porta Capuana (A1)	1.500,00
Castel Capuano (A2)	5.000,00
Complesso ex-ospedale di Santa Maria della Pace (A3)	7.000,00
Complesso S. Lorenzo Maggiore (A4)	3.000,00
Complesso S. Gregorio Armeno ed ex Asilo Filangieri (A5)	1.100,00
Insula del Duomo – Area archeologica (A6)	1.500,00
Complesso di S. Lorenzo maggiore (A7)	1.000,00
Teatro antico di Neapolis (A8)	6.000,00
Chiesa SS. Cosma e Damiano (A9)	900,00
Castel dell’Ovo (A10)	1.500,00
Complesso dei Girolamini (A11)	7.700,00
Complesso Santa Maria della Fede (A17)	2.000,00
Complesso di S. Paolo Maggiore (A19)	4.000,00
Villa Ebe alle rampe di Lamont Young (A20)	4.100,00
<b>Custo total: \$ 46.300,00</b>	
<b>Orçamento: \$ 52.240,00</b>	

Fonte: Adaptado de Barbati et al (2023).

O portfólio resultante para o cenário B1 inclui 14 projetos selecionados. Os quais abrangem diferentes aspectos, como castelos e áreas arqueológicas. Para essa seleção dos projetos foram considerados critérios como compatibilidade com o patrimônio cultural, promoção do turismo, coesão social, e manutenção de espaços urbanos. Como resultado o portfólio foi composto de forma que o seu custo total ficasse em € 46.300, respeitando o orçamento disponível de € 52.240.

Ao aplicar o método PROMETHEE juntamente com a heurística de custo-benefício, foi possível selecionar o portfólio ideal de projetos, respeitando o orçamento disponível de €

52.240. Como resultado, 15 projetos foram incluídos, conforme mostrado na Tabela 7, com base em uma avaliação da relação custo-benefício de cada alternativa.

Tabela 7: Portfólio resultante 2 do PROMETHEE custo-benefício

Ranking	Alternativa	Custo (€)	BCR
1	A15	500,00	1
2	A5	1.100,00	0.53964
3	A9	900,00	0.46637
4	A11	7.700,00	0.46573
5	A17	2.000,00	0.45805
6	A2	5.000,00	0.41830
7	A8	6.000,00	0.40212
8	A1	1.500,00	0.38671
9	A19	4.000,00	0.38250
10	A3	7.000,00	0.38049
11	A14	1.3600,00	0.31060
12	A13	1.000,00	-0.22974
13	A7	1.000,00	-0.45281
14	A12	400,00	-0.8369
15	A16	500,00	-1
<b>Total Cost: € 52200</b>			
<b>Budget: € 52240</b>			

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

O portfólio resultante do método PROMETHEE com a heurística do custo-benefício alcançou um custo total de € 52.200, ficando muito próximo do orçamento disponível de € 52.240, o que demonstra uma alocação eficiente dos recursos. Essa abordagem permitiu a construção de um portfólio diversificado que respeita as restrições orçamentárias e maximiza os benefícios conforme os critérios estabelecidos, proporcionando uma solução eficaz para a seleção dos projetos.

#### 4.3.3 Terceira aplicação: Mavrotas et al. (2006)

Nesta aplicação, Mavrotas et al. (2006) aborda a priorização de projetos sob restrições políticas e orçamentárias se concentrando na seleção de empresas que estão solicitando apoio financeiro do 3º Quadro Comunitário de Apoio (CSF), que oferece fundos para melhorar a competitividade de empresas gregas, foram apresentadas 20 empresas e seis critérios foram utilizados para avaliação, sendo eles:

- C1: Crescimento de vendas (2000/1999) – Indicador de crescimento da empresa com base nas vendas.

- C2: Crescimento no número de empregados (2000/1999) – Indicador do potencial de criação de empregos da empresa.
- C3: Margem de lucro bruto/vendas (2000) – Indicador de lucratividade relacionado ao lucro bruto.
- C4: Lucro líquido/patrimônio (2000) – Indicador de lucratividade baseado no lucro líquido.
- C5: Vendas/empregados (2000) – Indicador de produtividade que relaciona a produção com o número de empregados.
- C6: Qualidade da aplicação – Indicador qualitativo de 1 a 10 atribuído pelos especialistas que avaliam a proposta da empresa.

Todas essas informações, incluindo os critérios e a avaliação das empresas, estão melhor detalhadas conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Matriz de consequências aplicação 3

<i>Alternativa/critério</i>	<i>Custo da alternativa (\$)</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>
A	356	1,02	0,84	0,36	0,56	42	4
B	256	1,04	0,91	0,17	0,35	28	3
C	189	1,1	0,97	0,14	0,27	16	2
D	203	1,37	1,1	0,26	0,22	25	5
E	380	1,09	1,01	0,3	2,31	19	4
F	114	2,19	1,2	0,04	0,11	32	5
G	121	1,36	1,41	0,22	1,08	48	8
H	376	1,74	1,4	0,17	0,88	34	9
I	494	1,64	0,84	0,21	0,71	26	6
J	116	1,04	1	0,02	0,07	33	2
K	94	1,62	2	0,39	2,85	49	10
L	116	1,11	1,82	0,21	0,77	16	6
M	225	1,01	2,23	0,34	0,91	89	8
N	1117	1,24	0,94	0,09	0,41	48	5
O	475	1,1	1	0,27	0,72	32	5
P	583	1,14	1,58	0,5	1,9	32	10
Q	416	1,25	0,77	0,39	0,48	24	6
R	156	1,16	1,12	0,26	0,65	44	6

<i>S</i>	99	2,84	1,94	0,2	2,02	29	9
<i>T</i>	1021	1,2	0,94	0,31	1,34	61	7

Fonte: Adaptado de Mavrotas et al. (2006).

Os pesos atribuídos a cada critério foram de 0,14 para os critérios de C1 a C5 e de 0,30 para o critério C6. Após a aplicação da metodologia de programação inteira paramétrica, o modelo selecionou as 13 melhores empresas que atendiam às restrições orçamentárias e políticas, respeitando o limite de orçamento de 4 milhões de euros, sendo elas: **C, D, G, H, I, K, L, M, P, Q, R, S, T**, resultando em um orçamento final de 3949 milhões de euros.

A seleção final com o método PROMETHEE custo-benefício resultou em um portfólio formado pelas seguintes alternativas: K, S, G, M, H, P, R, T, A, D, F, B, C, J, que totaliza um custo de 3909 milhões, respeitando o budget de 4 milhões, como podemos ver na Tabela 9.

Tabela 9: Portfólio resultante 3 do PROMETHEE custo-benefício.

Ranking	Alternativa	Custo (\$)	BCR
1	K	94	1
2	S	99	0.44484
3	G	121	0.26192
4	M	225	0.042586
5	H	376	-0.08054
6	P	583	-0.09095
7	R	156	-0.11920
8	T	1021	-0.20180
9	A	356	-0.33754
10	D	203	-0.35245
11	F	114	-0.44559
12	B	256	-0.54982
13	C	189	-0.7308
14	J	116	-1
<b>Custo total: \$ 3909 milhões</b>			
<b>Orçamento: \$ 4 milhões</b>			

Fonte: Esta pesquisa, 2024.

Embora o portfólio gerado possua diferenças em relação ao original de Mavrotas et al. (2006) – no qual foram selecionadas as alternativas I, L, e Q em vez de J, B, F, e A – o presente método se diferencia por uma abordagem direta e eficaz.

A seleção das alternativas foi realizada com base no custo-benefício de cada projeto, onde prioriza-se aquelas que oferecem o melhor retorno dentro do orçamento disponível. Ao contrário do método original, que utilizou um modelo de programação matemática, o PROMETHEE custo benefício demonstrou que é possível obter um portfólio competitivo e viável, maximizando o valor sem a necessidade de otimização complexas. Isso realça a eficácia e simplicidade do método proposto, que ainda conseguiu respeitar as limitações orçamentárias e incluir uma alternativa adicional, sem comprometer a eficiência geral do portfólio.

O Capítulo 4 apresentou o desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão (SAD), demonstrando sua estrutura e suas funcionalidades para implementar o modelo de seleção de portfólios. Ao combinar o método PROMETHEE II com uma abordagem de custo-benefício, o SAD oferece um ambiente de apoio à decisão ao analisar múltiplos critérios e restrições de maneira integrada e eficiente. A organização modular do sistema e suas interfaces intuitivas proporcionam um processo de decisão mais claro e fundamentado, contribuindo para escolhas estratégicas mais alinhadas com os objetivos organizacionais. Com essa estrutura, o SAD se estabelece como uma ferramenta robusta para a gestão de portfólios, trazendo maior clareza e precisão nas alocações de recursos, auxiliando os decisores na escolha das melhores alternativas dentro das limitações orçamentárias.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido, bem como algumas sugestões para futuras pesquisas. A seção de conclusões discute os resultados obtidos com a aplicação do modelo de seleção de portfólios, combinando o método PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício. Já as sugestões para trabalhos futuros buscam expandir as possibilidades de aplicação do modelo, considerando diferentes contextos e melhorias metodológicas.

### 5.1 Conclusões

De acordo com o que foi discutido inicialmente, a seleção de portfólios é uma tarefa complexa, que exige o equilíbrio entre os múltiplos critérios e a alocação eficiente de recursos. A heurística de custo-benefício foi proposta como uma solução para reduzir o esforço computacional do método PROMETHEE V, mantendo a precisão e a eficácia na priorização de projetos com base na relação entre custo e benefício. Apesar da eficácia do PROMETHEE V, a literatura carece de estudos que explorem a combinação da heurística de custo-benefício com métodos multicritério, especialmente em contextos de racionalidade não-compensatória. Conforme discutido por Salo et al. (2024), há uma necessidade de abordagens que integrem múltiplos critérios de forma estratégica e eficiente, sem recorrer a modelos complexos de otimização.

Neste estudo, foi proposta uma abordagem inovadora que integra o PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício, resultando em uma seleção de portfólios eficaz, que aprimora a alocação de recursos e proporciona decisões robustas mesmo em cenários complexos. Essa combinação alia a simplicidade computacional da heurística à capacidade analítica do PROMETHEE II, oferecendo uma alternativa prática e eficiente para a seleção de portfólios.

O desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) permitiu a aplicação prática dessa metodologia, oferecendo aos decisores uma ferramenta ágil para a gestão de portfólios. Outro ponto importante é a inclusão da análise de sensibilidade, que proporciona uma visualização clara sobre o comportamento do modelo em face de pequenas mudanças nos critérios e nos pesos. Essa análise permite verificar se o portfólio selecionado é robusto, ou seja, se ele se mantém consistente e eficaz mesmo diante de variações nas condições iniciais. Assim,

o processo de decisão torna-se mais confiável, e proporciona uma base sólida para que os gestores façam escolhas fundamentadas.

A comparação com métodos tradicionais de otimização mostrou que o PROMETHEE custo-benefício oferece resultados comparáveis em termos de qualidade, mas com um esforço computacional significativamente menor. O modelo proposto demonstrou flexibilidade, rapidez e precisão, sendo uma alternativa eficaz em cenários onde a alocação de recursos precisa ser feita de forma criteriosa e eficiente. Além disso, ao considerar tanto os critérios quantitativos quanto os qualitativos e ao fornecer uma estrutura de decisão robusta, a metodologia desenvolvida preenche uma lacuna apontada na literatura, que aponta a necessidade de integrar o PROMETHEE com uma heurística de custo-benefício. Essa integração permite superar as limitações computacionais, facilitando a identificação de portfólios viáveis de forma prática e eficiente.

#### 5.1.1 Impactos da pesquisa

O método proposto, ao combinar o PROMETHEE II com a heurística de custo-benefício, traz impactos positivos em várias áreas:

- **Impacto Econômico:** A seleção de portfólios com foco na maximização do uso do recurso disponível permite que as organizações destinem seus recursos de forma mais eficiente e eficaz. A aplicação prática do método pode auxiliar empresas a reduzir custos e a otimizar a alocação de recursos em projetos que gerem maior valor agregado. Além disso, ao embasar as decisões em uma relação custo-benefício, o método contribui para uma gestão financeira mais consciente e alinhada aos objetivos organizacionais.
- **Impacto Social:** Em setores como saúde, educação e políticas públicas, onde a alocação de recursos afeta diretamente a vida das pessoas, o método proporciona uma ferramenta robusta para a priorização de projetos. Por meio de uma melhor seleção de portfólios, é possível garantir que os recursos sejam direcionados para projetos que atendam de maneira mais eficaz às necessidades da sociedade, promovendo a implementação de iniciativas que gerem impacto positivo e melhorem a qualidade de vida da população.
- **Impacto Ambiental:** A metodologia pode ser estrategicamente aplicada em contextos de sustentabilidade, onde é essencial equilibrar fatores econômicos e

ecológicos. Ao apoiar a escolha de projetos ambientalmente responsáveis, o método facilita a priorização de alternativas que promovam o desenvolvimento sustentável, ajudando as organizações a cumprirem seus compromissos ambientais e a adotarem práticas que minimizem os impactos negativos ao meio ambiente.

- **Impacto Organizacional:** Ao facilitar a tomada de decisões através do SAD, o método melhora a transparência e a eficiência no processo de decisão, apoiando os decisores de forma prática e informada. A flexibilidade do modelo e sua interface amigável permite o uso em diferentes setores organizacionais.

Esses impactos demonstram a capacidade do método de influenciar as práticas organizacionais, ao passo que promove decisões estratégicas que afetam o desempenho financeiro, social e ambiental de forma positiva.

### 5.1.2 Limitações

Apesar das contribuições significativas deste trabalho, é importante reconhecer algumas limitações específicas. Em abordagens multicritério, os resultados dependem diretamente da precisão e consistência dos dados inseridos, especialmente em relação aos critérios e pesos estabelecidos. Diante disso, inconsistências ou definições imprecisas podem comprometer a confiabilidade das análises e influenciar as decisões geradas. Embora o modelo tenha demonstrado eficácia no contexto analisado, sua aplicação não foi amplamente explorada em diferentes setores ou em problemas de maior escala, onde a complexidade e a quantidade de critérios e alternativas podem variar significativamente.

## 5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Sugere-se, para investigações futuras, o aprimoramento da análise de sensibilidade, com o objetivo de avaliar de forma mais rigorosa o impacto das variações nos critérios e pesos sobre a robustez das decisões. Esse aprimoramento proporcionaria uma compreensão mais aprofundada acerca da estabilidade das escolhas realizadas, mesmo diante de alterações nos parâmetros iniciais. Ademais, recomenda-se a ampliação do modelo para contemplar restrições adicionais, como restrições, prioridades estratégicas e limitações operacionais, aumentando, assim, sua capacidade de lidar com cenários decisórios mais complexos e realistas. Dessa

forma, essas direções de pesquisa têm o potencial de contribuir significativamente para o desenvolvimento e a expansão das aplicações da metodologia apresentada.

**REFERÊNCIAS**

ABUTALEB, A. S.; MARESCHAL, B. Water quality management using the promethee multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, V. 82, N. 3, P. 283-290, 1995.

AL-RASHDAN, D.; AL-KLOUB, B.; DEAN, A.; AL-SHEMMERI, T. environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. *European Journal of Operational Research*, V. 118, N. 1, P. 30-45, 1999.

AMARAL, T. M.; BELÉM, M. M.; AMARAL, F. M.; PEREIRA, A. F. C. Evaluation of leather products in agroindustry using multiple criteria decision analysis [Avaliação de carteira de produtos na agroindústria a partir da análise de decisão multicritério]. DOI: 10.17765/2176-9168.2023v16n2e10140, 2023.

BANAYOUN, R., ROY, B., SUSSMAN, N., *Manual de Reference du Programme Electre (French) [Electre Program Reference Manual]. Note de Synthèse et Formation 25. Direction Scientifique SEMA, Paris, 1966.*

BARBATI, M.; CANDELORO, P.; D'ADDONA, D. M.; IODICE, P. A multiple criteria methodology for priority-based portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, v. 305, n. 3, p. 1133-1152, 2023. DOI: 10.1016/j.ejor.2022.10.019.

BERTONCINI, M.; BOGGIO, A.; DELL'ANNA, F.; BECCHIO, C.; BOTTERO, M. An application of the PROMETHEE II method for the comparison of energy requalification strategies to design Post-Carbon Cities. *Energy Reports*, 2022. <https://doi.org/10.3934/energy.2022028>.

BOARDMAN, A. E.; GREENBERG, D. H.; VINING, A. R.; WEIMER, D. L. *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 5. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

BRANS, J.-P.; DE SMET, Y. PROMETHEE methods. In *Multiple Criteria Decision Analysis* (pp. 187-219). Springer, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6).

BRYSON, N., MOBOLURIN, A., & NGWENYAMA, O. Modelling pairwise comparisons on ratio scales. *European Journal of Operational Research*, 83(3), 542-556. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)E0151-M](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)E0151-M), 1995.

CAPRARO, V.; JORDAN, J. J.; RAND, D. G. Heuristics guide the implementation of social preferences in one-shot Prisoner's Dilemma experiments. *Scientific Reports*, 4: 6790, 2014. <https://doi.org/10.1038/srep06790>.

CAVAGNETTO, A. R.; HAND, B.; PREMO, J. Supporting student agency in science. *Theory Into Practice*, 59(2): 128-138, 2020. <https://doi.org/10.1080/00405841.2019.1702392>.

CAUCHICK, P. P. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora GEN | LTC, 2018.

CONVERTINO, M.; ANNIS, A.; NARDI, F. Information-theoretic portfolio decision model for optimal flood management. *Environmental Modelling & Software*, 120: 104481, 2019. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.06.013.

DE ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Editora Atlas, 2013. (Cap. 5, pp. 125-126).

DE ALMEIDA, A. T.; DUARTE, M. D. O. A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies. *Pesquisa Operacional*, 31(2): 241-262, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382011000200006>.

DE ALMEIDA, A. T.; VETSCHERA, R. A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research*, 2012. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.12.034.

DE ALMEIDA, A. T.; VETSCHERA, R.; DE ALMEIDA, J. A. Scaling Issues in Additive Multicriteria Portfolio Analysis. In F. Dargam et al. (Eds.), *Decision Support Systems III -*

Impact of Decision Support Systems for Global Environments (pp. 149-164). Springer, Cham, 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-11364-7\_12.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. DOI: 10.1006/obhd.1994.1087, 1994.

FERNÁNDEZ, E.; GARCÍA-LAPRESTA, J. L.; MARTÍN-GAMBOA, M. Online multi-criteria portfolio analysis through compromise programming models built on the underlying principles of fuzzy outranking. *Information Sciences*, 588: 120–134, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.12.018>.

Fernández, E., Figueira, J. R., Navarro, J., & Roy, B. ELECTRE TRI-nB: A new multiple criteria ordinal classification method. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.048>, 2017.

FREJ, E. A.; EKEL, P.; ALMEIDA, A. T. de. A benefit-to-cost ratio-based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00270580>, 2021.

GEORGANTAS, A.; DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. Robust optimization approaches for portfolio selection: A comparative analysis. *Annals of Operations Research*, 2021.

GUO, P.; KOU, G.; LI, T.; WU, W.; HERRERA-VIEDMA, E. Handling imperfect information in multiple criteria decision-making through a comprehensive interval outranking approach. *European Journal of Operational Research*, 303(3): 1117–1131, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.011>.

HESS, K. T.; SCHMIDT, K. D.; ZOCHER, M. Multivariate loss prediction in the multivariate additive model. *Insurance: Mathematics and Economics*, 39(2): 185–191, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2006.02.004>.

JUNG, C. F. Metodologia para Pesquisa e Desenvolvimento. 1. ed. São Paulo: Editora Axcel, 2004.

JUNQUEIRA, J. R.; SERRAO-NEUMANN, S.; WHITE, I. Developing a cost-effectiveness ranking index for green infrastructure under climate change scenarios. *Journal of Environmental Management*, 341: 118298, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118298>, 2023.

KANDAKOGLU, M.; WALTHER, G.; BEN AMOR, S. The use of multi-criteria decision-making methods in project portfolio selection: a literature review and future research directions. *Annals of Operations Research*, DOI: 10.1007/s10479-023-05564-3, 2024.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. DOI: 10.1017/CBO9781139174084.

KLEINMUNTZ, D. N. *Resource Allocation Decisions*. Cambridge University Press, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611308.021>.

LIESIÖ, J.; PUNKKA, A. Baseline value specification and sensitivity analysis in multiattribute project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 2014. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.02.009.

MAGHSOODI, A. I. Cryptocurrency portfolio allocation using a novel hybrid and predictive big data decision support system. *Omega*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102787>.

MLADINEO, N.; PIVAC, S. Use of PROMETHEE method for decision making in agribusiness. *International Transactions in Operational Research*, v. 4, n. 5-6, p. 465-473, 1997.

MARCONDES, G. A. B. Project Portfolio Selection Considering Return-risk Evaluation and Multiple-Criteria Decision Analysis, 2019. DOI: 10.5220/0007350802640269.

MARQUES, A. C.; FREJ, E. A.; ALMEIDA, A. T. DE. Multicriteria decision support for project portfolio selection with the FITradeoff method. *Omega*, 111: 102661, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102661>.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection: efficient diversification of investments. New York: John Wiley & Sons, 1959. 344 p.

MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, 171(2): 570-586, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.069>.

Marzouk, M.M., ELECTRE III model for value engineering applications. *Automation in Construction*. 20(5), 596-600, 2011.

MISHAN, E. J.; QUAH, E. Cost–Benefit Analysis. 5. ed. Milton Park, Abingdon: Routledge, 2007.

MORTON, A. Measurement issues in the evaluation of projects in a project portfolio. *European Journal of Operational Research*, 2015. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.03.037.

OLIVEIRA, A. C. B.; SANTOS, C. A. B.; FLORENCIO, R. R. Métodos e Técnicas de Pesquisa em Educação. *RIOS - Revista Científica da Faculdade Sete de Setembro*, 13(21), 2019.

PALMOWSKI, Z.; STETTNER, Ł.; SULIMA, A. Optimal Portfolio Selection in an Itô–Markov Additive Market. *Risks*, 7(1): 34, 2019. <https://doi.org/10.3390/risks7010034>.

PATANAKUL, P. Key attributes of effectiveness in managing project portfolios. *International Journal of Project Management*, 33(5): 1084-1097, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.004>.

PEARCE, D.; ATKINSON, G.; MOURATO, S. Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2006.

PHELPS, C.; MADHAVAN, G. Resource allocation in decision support frameworks. *Journal of Data Science*, 16(1): 47–59, 2018. DOI: 10.1186/s12962-018-0128-5.

PHILLIPS, L. D.; BANA E COSTA, C. A. Transparent prioritization, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154: 51–68, 2007. DOI: 10.1007/s10479-007-0183-3.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. *Aide multicritere a la decision: methodes et cas*. Paris: Economica, 1993.

ŠARIĆ, F.; BEGUŠIĆ, S.; MERČEP, A.; KOSTANJČAR, Z. Statistical arbitrage portfolio construction based on preference relations. *Expert Systems with Applications*, 238: 121906, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121906>.

SHARMA, S. K. A Bhattacharyya Triangular Intuitionistic Fuzzy Sets with a OWA Operator-based Decision Making for Optimal Portfolio Selection in Saudi Exchange. *AIMS Mathematics*, 9(10): 27247–27271, 2024. DOI: 10.3934/math.20241324.

SIQUEIRA, B. O.; COSTA, A. P. C. S.; FREJ, E. A. Seleção de portfólio com base no método PROMETHEE utilizando heurística do custo benefício. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO), 7., 2024. Anais do SBPO. 2024.

VÁRMA, K.; KUMAR, K. S. Criteria Analysis Aiding Portfolio Selection Using Dematel, 2012. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.06.421.

VETSCHERA, R.; DE ALMEIDA, A. T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers and Operations Research*, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.019>.

VINCKE, P. *Multicriteria Decision-Aid*. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.

XIDONAS, P.; DOUKAS, H.; SARMAS, E. A Python-based multicriteria portfolio selection DSS. *RAIRO - Operations Research*, 55: S3009-S3034, 2021.

WANG, X.; GENG, N.; QIU, J.; JIANG, Z.; ZHOU, L. A cost-effectiveness analysis of a health intervention using Markov models and heuristic methods. *Applied Intelligence*, 49(8): 3045-3059, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01459-8>.

ZAPLETAL, F. How to select the portfolio of suppliers using the outranking multi-attribute decision-making method, 2019.

ZAPLETAL, F.; TRUMIC, R.; LENORT, R. Modified PROMETHEE V Method for Supplier Portfolio Selection. *Acta Logistica*, 9(3): 310, 2022. DOI: 10.22306/al.v9i3.310.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. A Multicriteria Decision Aid Methodology for Sorting Decision Problems: The Case of Financial Distress. *Computational Economics*, 14(3): 197-218, 1999.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M.; KOSMIDOU, K. An interactive three-stage model for mutual funds portfolio selection. *Omega*, 33(5): 385-400, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.01.006>