



**MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL APLICADA NO
PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA
PRIORIZAÇÃO DE PORTFÓLIO EM UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

**MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL MODELING APPLIED TO THE
MULTICRITERIA DECISION-MAKING PROCESS FOR PORTFOLIO
PRIORITIZATION IN A SMALL BUSINESS**

**MODELADO MATEMÁTICO Y COMPUTACIONAL APLICADO AL PROCESO
DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO PARA LA PRIORIZACIÓN DE
CARTERA EN UNA PEQUEÑA EMPRESA**



<https://doi.org/10.56238/levv17n58-026>

Data de submissão: 10/02/2026

Data de publicação: 10/03/2026

Leonardo Silva Nunes

Graduado Ciência da Computação

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: Leonardo.nunex@gmail.com

Edilson Marques Magalhães

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: magalhaes@ufpa.br

RESUMO

Este trabalho buscou desenvolver e aplicar um modelo computacional para a priorização de alternativas em um portfólio de serviços, utilizando o método PROMETHEE II como base de decisão multicritério. A metodologia foi implementada em Python, fazendo uso de bibliotecas especializadas. O experimento foi conduzido em ambiente computacional com suporte a GPU, visando melhor desempenho. A base de dados analisada contemplou 12 alternativas de serviços que compõem o portfólio da empresa. Nos resultados os valores de score atribuídos a cada alternativa refletiram seu alinhamento com os critérios propostos, os quais consideraram objetivos de maximização e minimização. A alternativa S9 (Consultorias) obteve a maior pontuação (0,7636), indicando melhor desempenho segundo os critérios definidos. S10 (Suporte e Manutenção) e S2 (Análise de Infraestrutura) também se destacaram, com pontuações positivas. Em contraste, S11 (Criação de Websites) e S12 (Telediagnóstico) tiveram valores negativos, apontando menor alinhamento com os objetivos do modelo. Conclui-se que o modelo desenvolvido pode ser uma ferramenta auxiliar eficaz no processo de decisões.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Tomada de Decisão Multicritério. Priorização de Portfólio. Sistemas de Apoio à Decisão. Pequenas Empresas.

ABSTRACT

This work aimed to develop and apply a computational model for prioritizing alternatives in a service portfolio, using the PROMETHEE II method as a multi-criteria decision basis. The methodology was implemented in Python, using specialized libraries. The experiment was conducted in a computational environment with GPU support, aiming for better performance. The analyzed database included 12 service alternatives that make up the company's portfolio. In the results, the score values assigned to each alternative reflected its alignment with the proposed criteria, which considered maximization and minimization objectives. Alternative S9 (Consulting) obtained the highest score (0.7636), indicating better performance according to the defined criteria. S10 (Support and Maintenance) and S2 (Infrastructure Analysis) also stood out, with positive scores. In contrast, S11 (Website Creation) and S12 (Teliagnosis) had negative values, indicating less alignment with the model's objectives. It is concluded that the developed model can be an effective auxiliary tool in the decision-making process.

Keywords: Mathematical Modeling. Multicriteria Decision Making. Portfolio Prioritization. Decision Support Systems. Small Businesses.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar y aplicar un modelo computacional para la priorización de alternativas en una cartera de servicios, utilizando el método PROMETHEE II como base para la toma de decisiones multicriterio. La metodología se implementó en Python, utilizando bibliotecas especializadas. El experimento se llevó a cabo en un entorno computacional con soporte de GPU, buscando un mejor rendimiento. La base de datos analizada incluyó 12 alternativas de servicios que conforman la cartera de la empresa. En los resultados, las puntuaciones asignadas a cada alternativa reflejaron su alineamiento con los criterios propuestos, que consideraron objetivos de maximización y minimización. La alternativa S9 (Consultoría) obtuvo la puntuación más alta (0,7636), lo que indica un mejor desempeño según los criterios definidos. Las alternativas S10 (Soporte y Mantenimiento) y S2 (Análisis de Infraestructura) también destacaron, con puntuaciones positivas. Por el contrario, las alternativas S11 (Creación de Sitios Web) y S12 (Teliagnóstico) presentaron valores negativos, lo que indica un menor alineamiento con los objetivos del modelo. Se concluye que el modelo desarrollado puede ser una herramienta auxiliar eficaz en el proceso de toma de decisiones.

Palabras clave: Modelado Matemático. Toma de Decisiones Multicriterio. Priorización de Portafolios. Sistemas de Soporte de Decisiones. Pequeñas Empresas.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Em meio às complexidades que permeiam o ambiente organizacional moderno, um dos desafios mais relevantes é a capacidade de realizar escolhas embasadas e alinhadas à estratégia da empresa. Tomar decisões coerentes em contextos dinâmicos pode representar um obstáculo significativo. A aplicação estruturada de métodos multicritério auxilia na construção de decisões mais robustas e justificáveis, especialmente quando há múltiplos fatores em jogo [1].

Nesse sentido, a categorização de projetos ou serviços dentro de um portfólio exige uma análise criteriosa da relação entre custo e benefício, tornando-se essencial para o sucesso e a sustentabilidade das organizações [2]. Focalizando ainda mais esse contexto, estatísticas revelam que o planejamento futuro é crucial para a sobrevivência de pequenos negócios. Embora 58% busquem expandir suas atividades, muitos enfrentam dificuldades: 24% encerraram operações por falta de capital e lucro, e 15% por problemas de gestão. Além disso, 73% dos empreendedores utilizam apenas recursos próprios ou familiares para iniciar seus negócios, o que limita investimentos e dificulta o planejamento estratégico [3].

No contexto empresarial, as deliberações muitas vezes envolvem a priorização de projetos ou iniciativas em um portfólio, visando otimizar recursos e alcançar os objetivos estratégicos da empresa. No entanto, essa tarefa pode se tornar desafiadora quando múltiplos critérios devem ser considerados, levando em conta diferentes perspectivas e restrições [4]. A modelagem matemática e computacional têm se consolidado como ferramentas essenciais no apoio à tomada de decisão multicritério, especialmente diante da crescente complexidade dos contextos organizacionais. Essa abordagem permite estruturar problemas, avaliar alternativas e priorizar ações com base em múltiplos critérios, refletindo diferentes dimensões e objetivos do problema [5].

Dessa forma, esta pesquisa tem como proposta explorar a aplicação da modelagem matemática e computacional como ferramentas a serviço da tomada de decisão multicritério para a priorização de portfólio em uma empresa de pequeno porte. Para isso, será desenvolvido um modelo em Python utilizando o método PROMETHEE II, conhecido por sua capacidade de ordenar alternativas de forma eficaz em contextos com múltiplas variáveis e incertezas. A fundamentação teórica será baseada em autores renomados como Saaty [6], criador do AHP, e Roy [7], idealizador dos métodos ELECTRE e PROMETHEE. Espera-se que esta dissertação contribua para o avanço do conhecimento na área de decisão multicritério e ofereça recomendações práticas para pequenas empresas que buscam aprimorar seus processos de priorização de portfólio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AÇÃO DE DECIDIR

A tomada de decisão é uma ação cíclica e comum no cotidiano profissional. No entanto, em determinadas circunstâncias, tomar decisão se torna um ato de alta complexidade, principalmente pelo fato de que o processo decisório, em sua grande maioria, sofre influência de diversas variáveis internas ou externas ao problema. Diante da complexidade e incerteza dos ambientes organizacionais, é cada vez mais raro encontrar decisões baseadas em uma racionalidade perfeita. Para lidar com essa limitação, os indivíduos recorrem a modelos teóricos e dados estruturados que auxiliam na escolha da alternativa mais adequada ao problema [1].

2.1.1 A gestão de portfólio

Gerenciar portfólio é uma atividade estratégica que envolve selecionar projetos, serviços ou produtos alinhados aos objetivos organizacionais, respeitando os limites de recursos e considerando fatores como riscos, retorno financeiro, valor agregado e sinergia entre iniciativas [2]. A importância da gestão eficaz de projetos, produtos ou serviços exige que os tomadores de decisão priorizem e selecionem empreendimentos com base em critérios estratégicos, considerando a escassez de recursos e os riscos envolvidos. O processo de seleção pode ser estruturado em fases como análise preliminar, avaliação individual e seleção inicial, realizadas antes da deliberação formal do comitê decisório [3].

A relevância do gerenciamento de portfólio está diretamente ligada à necessidade de selecionar projetos que maximizem o valor estratégico da organização, considerando recursos limitados e múltiplos critérios de decisão. Para isso, recomenda-se uma abordagem estruturada e baseada em evidências, que permita alinhar os projetos aos objetivos institucionais e otimizar o uso dos recursos disponíveis [4]. Por esse motivo, é aconselhável utilizar uma abordagem científica, imparcial e metódica, capaz de avaliar de forma apropriada a natureza multicritério da seleção de projetos que farão parte do portfólio.

2.1.2 Problemáticas na análise multicritério de decisão

No contexto do processo decisório, compreender a natureza do problema e caracterizar sua complexidade são etapas fundamentais para uma análise criteriosa. A literatura destaca a importância de identificar e classificar as problemáticas no contexto multicritério, de modo a permitir um tratamento adequado que facilite a escolha da melhor alternativa pelo decisor [5][6]. Essas problemáticas podem ser agrupadas em categorias distintas:

Seleção ($P\alpha$): orientação para escolha de uma única alternativa ótima;

Classificação ($P\beta$): triagem ou ordenação das alternativas em categorias;

Ordenação ($P\gamma$): reorganização das alternativas segundo preferências do decisor;

Descrição (Pδ): análise descritiva das alternativas e suas consequências.

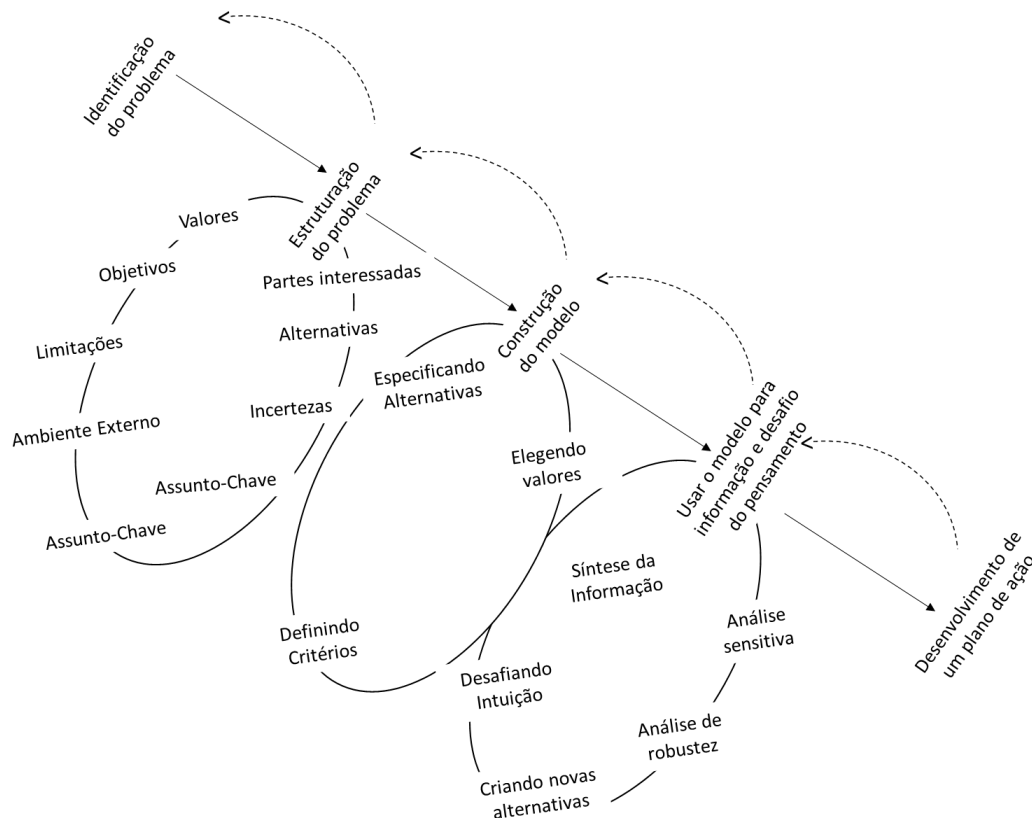
A compreensão dessas categorias oferece uma base sólida para a aplicação de abordagens multidimensionais na tomada de decisão, considerando as complexidades inerentes ao processo de seleção de alternativas.

2.2 MODELOS MULTICRITÉRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO (MCDA)

A metodologia MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) continua sendo uma ferramenta estratégica no apoio à tomada de decisão em contextos complexos, nos quais múltiplos critérios muitas vezes conflitantes precisam ser considerados. Ao estruturar o processo decisório, ela permite maior transparência, racionalidade e alinhamento com os objetivos organizacionais, especialmente quando abordagens intuitivas se mostram insuficientes [7].

O MCDA é compreendido como um processo metodológico que visa apoiar o decisor na integração de aspectos objetivos e subjetivos do processo decisório, sem necessariamente buscar uma solução ótima. Esse processo é estruturado em etapas macro, como a identificação e estruturação do problema, a construção do modelo e a formulação de recomendações, permitindo maior alinhamento entre os objetivos organizacionais e os critérios de decisão [8].

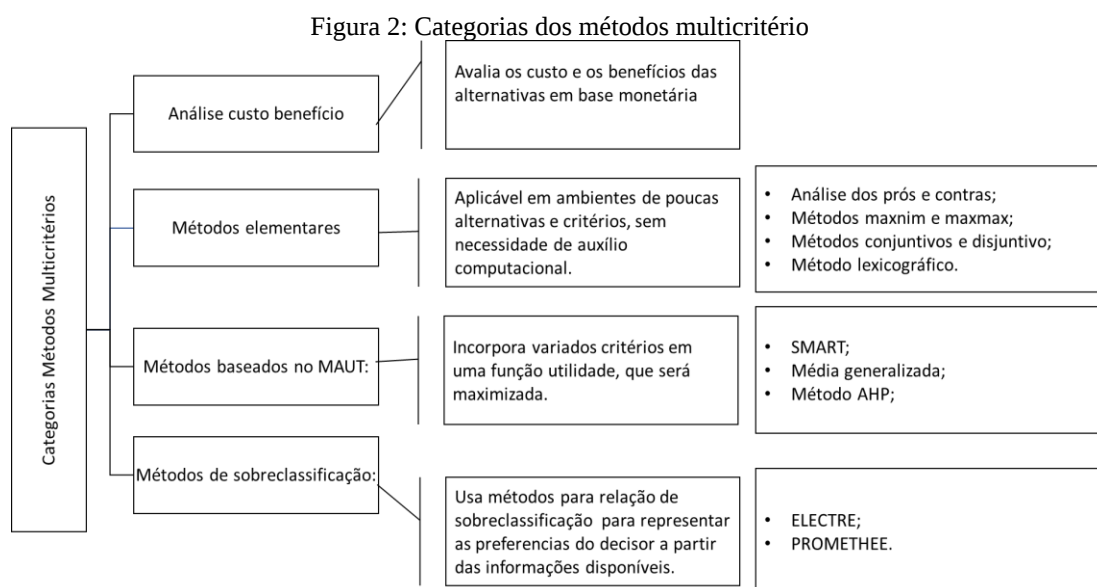
Figura 1: O processo MCDA



Fonte: Adaptado de Gonçalves et al., 2023

A escolha do método mais apropriado para tratar um problema decisório exige uma análise contextual detalhada, levando em conta tanto o ambiente quanto os atores envolvidos. A estrutura de preferência e a visão dos tomadores de decisão são elementos centrais para garantir a coerência e a eficácia do processo [9].

Nesse contexto, os métodos multicritério podem ser agrupados em quatro categorias principais, como demonstrado na Figura 2 a seguir:



Fonte: Adaptado de Ayala & Frank, 2019

Com o intuito de atingir os objetivos desta pesquisa, torna-se necessário implementar computacionalmente uma modelagem multicritério no processo de priorização de portfólio em uma empresa de pequeno porte. Assim, optou-se por excluir as categorias baseadas em custo-benefício e métodos elementares, priorizando abordagens com notações computacionais e foco em múltiplas dimensões decisórias. O objetivo é empregar ferramentas tecnológicas que tornem o processo mais robusto e dinâmico.

2.2.1 SMART

Antes de se discutir o conceito do SMART, é relevante uma compreensão mais abrangente do MAUT. De forma objetiva, o MAUT (Método de Análise de Utilidade Multiatributo) baseia-se na integração entre a Teoria da Utilidade e a Teoria da Decisão, permitindo representar matematicamente as preferências do decisor. Por meio da função utilitária, é possível atribuir valores às alternativas com base em múltiplos critérios, facilitando a comparação estruturada entre elas e apoiando a escolha mais coerente com os objetivos do processo decisório [10].

No contexto dos métodos MAUT, o SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) destaca-se por sua simplicidade e aplicabilidade, atribuindo diretamente um valor de classificação a

cada alternativa com base em uma média ponderada dos critérios avaliados. Essa característica permite uma análise estruturada mesmo em cenários com recursos limitados e múltiplos atributos. Abordagens mais recentes ao modelo SMART têm incorporado critérios de ponderação diferenciada e amplitude de valores, o que torna o processo decisório mais sensível às preferências dos decisores e à variabilidade entre alternativas, ampliando, assim, sua aplicabilidade em contextos organizacionais e operacionais [11].

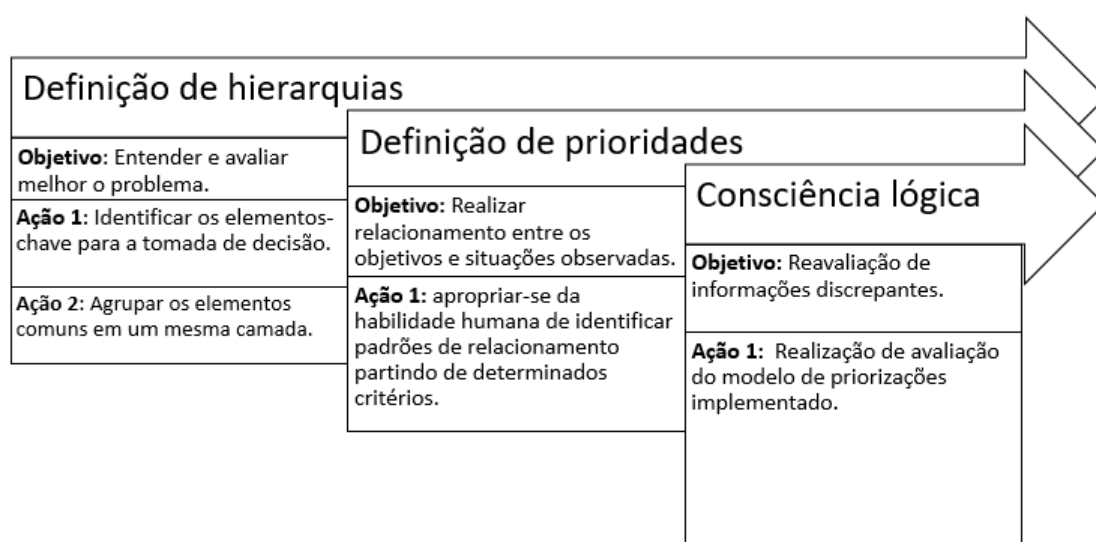
2.2.2 Média Generalizada

A Média Generalizada é empregada como técnica de agregação ponderada em modelos de apoio à decisão multicritério, combinando diferentes formas de média como a aritmética, geométrica e harmônica, conforme a natureza dos critérios e pesos envolvidos. Essa abordagem contribui para representar o desempenho das alternativas de forma estruturada, respeitando a influência de cada critério no processo decisório [12].

2.2.3 AHP (Analytic Hierarchy Process)

A abordagem multicritério do método AHP tem por objetivo selecionar alternativas em um processo considerando vários critérios de avaliação. Essa abordagem é fundamentada nos três princípios do pensamento analítico: estabelecimento de hierarquias, definição de prioridades e aplicação lógica, conforme representado na Figura 3.

Figura 3: Princípios de pensamento analítico



Fonte: Adaptado de Silva Filho et al., 2007

Para aplicar o método AHP de forma eficaz, é essencial definir claramente o objetivo geral, identificar as alternativas disponíveis e selecionar critérios relevantes que estejam alinhados com os propósitos da decisão. Esses elementos devem ser organizados em uma estrutura hierárquica lógica,

permitindo que o processo de comparação e priorização ocorra de maneira consistente e transparente [13].

Após a definição inicial do problema, o método AHP avança por etapas estruturadas que incluem: (1) a construção da hierarquia decisória, organizando o objetivo principal, os critérios, subcritérios e alternativas; (2) a coleta de dados para julgamento, com comparações par a par entre os elementos da hierarquia; e (3) a validação da consistência dos julgamentos, utilizando índices específicos para garantir a coerência das preferências expressas pelos especialistas [13].

Dando prosseguimento à estruturação do modelo decisório, após a consolidação da matriz de julgamento e avaliação da consistência, procede-se à conjugação das informações fornecidas pelos especialistas envolvidos. Para tanto, pode-se adotar o recurso da média aritmética entre as diversas matrizes individuais. Entretanto, em casos de divergência significativa, recomenda-se a média geométrica, que proporciona uma representação mais harmônica das relações entre critérios e alternativas.

A geração da matriz da média geométrica refina os resultados agregados e amplia a aderência ao referencial teórico da abordagem multicritério. Por fim, a análise de consistência, por meio do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), assegura a integridade metodológica do processo decisório.

2.2.4 ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité)

O ELECTRE é um método de sobreclassificação criado por Bernard Roy (1991), composto por uma família de seis variações: ELECTRE I, II, III, IV, IS e TRI. Embora compartilhem fundamentos semelhantes, diferem em suas aplicações operacionais:

- **ELECTRE I e IS:** voltados para escolha de uma ou mais alternativas preferidas.
- **ELECTRE II, III e IV:** utilizados para ordenação de alternativas.
- **ELECTRE TRI:** classifica alternativas em categorias predefinidas, com base em perfis de referência e limiares de preferência, veto e sobreclassificação [14].

Tabela 1: Família ELECTRE × Problemas de decisão

FAMÍLIA ELECTRE	PROBLEMA DE DECISÃO
ELECTRE I, IS	Escolha
ELECTRE II, III, IV	Ordenação
ELECTRE TRI	Classificação

Fonte: Adaptado de Infante et al., 2023

Para estabelecer a relação de superação entre alternativas, o método ELECTRE considera os índices de **concordância** e **discordância**. A concordância representa o grau de apoio dos critérios à preferência por uma alternativa, enquanto a discordância avalia a oposição significativa em algum

critério. A superação ocorre quando há concordância suficiente e ausência de discordância forte, respeitando os limites de intolerância definidos para cada critério [15][16].

2.2.5 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)

O PROMETHEE é um modelo de sobreclassificação que busca assegurar ao decisor a escolha das alternativas ao problema, a partir de critérios considerados por ele [17]. Para isso, são realizadas comparações em pares entre as opções e, posteriormente, é feita uma medição da intensidade ($P_j(a, b)$) de preferência entre elas, partindo de um critério (g_j), por intermédio de uma função de preferência ($F_j(d_j(a, b))$), onde ($d_j(a, b)$) representa a diferença nos julgamentos ($g_j(a) - g_j(b)$). Por exemplo, se ($P_j(a, b) = 0$), não há preferência da opção (a) sobre (b); se ($P_j(a, b) = 1$), há forte preferência de (b) sobre (a); valores entre 0 e 1 indicam preferência fraca.

A execução do método envolve quatro fases principais:

1. Determinação do tipo de critério generalizado associado ao critério (g_j), representado por ($\{g_j(\cdot), P_j(a, b)\}$);
2. Determinação da relação de superação;
3. Avaliação de preferência;
4. Exploração do valor da relação de superação [18].

2.2.5.1 Determinação do Tipo de Critério Generalizado

Brans et al. [19] identificaram seis tipos de critérios generalizados e ilustradas na Figura 4:

Figura 4: Tipos de critério generalizado

	Restrição	Valor da função	Parâmetros
Critério Usual	$d > 0$ $d \leq 0$	$P(a,b) = 1$ $P(a,b) = 0$	-
Quase-Critério	$d > q$ $d \leq q$	$P(a,b) = 1$ $P(a,b) = 0$	q
Preferência Linear	$-p \leq d \leq p$ $d > p$ $d < -p$	$P(a,b) = d/p$ $P(a,b) = 1$	p
Pseudocritério	$ d > p$ $q < d \leq p$ $ d \leq q$	$P(a,b) = 1$ $P(a,b) = 1/2$ $P(a,b) = 0$	p, q
Preferência linear / Área de indiferença	$ d > p$ $q < d \leq p$ $ d \leq q$	$P(a,b) = 1$ $P(a,b) = (d - q)/(p - q)$ $P(a,b) = 0$	p, q
Critério Gaussiano	$d > 0$ $d \leq 0$	$P(a,b) = 1 - \exp\{-d^2/2\sigma^2\}$	σ

Fonte: Adaptado de Brans, Vincke e Mareschal, 1986

Com as funções de preferência definidas, as diferentes relações de superação podem ser determinadas.

2.2.5.2 Determinação da Relação de Superação

Nesta etapa, busca-se classificar as alternativas da melhor para a pior, considerando:

- **Índice de preferência:**

Para cada critério (g_j), associa-se uma função de preferência (P_j) e um peso relativo (w_j). Para cada par ordenado ((a, b)), define-se o índice de preferência:

$$[\pi(a,b) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot P_j(a,b) \quad] \quad [\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad] \tag{2.2}$$

Onde:

- ($\pi(a, b)$): índice de preferência entre as opções (a) e (b);
- (m): número total de critérios;
- (w_j): importância relativa do critério (j);
- ($P_j(a, b)$): valor da função de preferência para o critério (j) entre (a) e (b).
- **Fluxo de superação:**

Define-se três fluxos para análise das alternativas e ilustradas na Figura 5:

Figura 5: Fluxos de superação

Fluxos de Superação	Fluxo de Saída	Permite medir a peso de uma alternativas contra das demais.	$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum x \in A^{\pi(a,x)}$
	Fluxo de Entrada	Permite medir a fraqueza das alternativas contra as demais	$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum x \in A^{\pi(a,x)}$
	Fluxo Líquido	Permite analisar as diferenças entre os fluxo de entrada e saída.	$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$

Fonte: Adaptado de Brans, Vincke e Mareschal, 1986

Esses fluxos são utilizados em dois modelos principais:

- **PROMETHEE I:** classificação parcial
- **PROMETHEE II:** ranking completo das alternativas

2.2.5.3 Subcategorias do Modelo PROMETHEE

As subcategorias do modelo PROMETHEE, conhecidas como **Família PROMETHEE**, são apresentadas por Morais e Almeida [20] e ilustradas na Figura 6.

Figura 6: Família PROMETHEE

Família PROMETHEE	PROMETHEE I	Pré-ordem parcial, problemática de escolha.
	PROMETHEE II	Pré-ordem completa, problemática de ordenação.
	PROMETHEE III	Pré-ordem completa, com amplificação da noção de indiferença, fornece ordenação por intervalos.
	PROMETHEE IV	Pré-ordem completa ou parcial, conjunto contínuo de soluções. Generaliza o método PROMÉTHER II para o caso infinito de números de alternativas
	PROMETHEE V	Pré-ordem completa, com restrições de segmentos. Utilizado para identificar um número de alternativas, dado um conjunto de restrições.
	PROMETHEE VI	Pré-ordem completa ou parcial. Problemáticas de escolhas e ordenamento. Destinado a situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
	PROMETHEE GAIA	Extensão dos resultados do PROMÉTHER, através de um procedimento visual e iterativo.

Fonte: Adaptado de Ferreira, 2013

Com base nos objetivos desta pesquisa, optou-se pela implementação computacional do modelo PROMETHEE em Python. Dentre as subcategorias, destaca-se o **PROMETHEE II**, ideal para cenários que exigem ordenação completa das alternativas. Além disso, será utilizado o **PROMETHEE GAIA**, um módulo complementar que permite a visualização geométrica dos resultados, facilitando a análise e interpretação de dados conflitantes [21].

Com o modelo matemático definido, o próximo passo é a escolha da linguagem de programação para o desenvolvimento da solução proposta.

2.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO E MODELAGEM COMPUTACIONAL

Existe atualmente uma grande diversidade de linguagens de programação voltadas à modelagem computacional com foco em dados. Para implementar uma aplicação nesse contexto, é essencial compreender essa variedade. A linguagem Python destaca-se como uma das mais utilizadas, devido à sua sintaxe simples, ampla comunidade de suporte e vasta gama de bibliotecas voltadas à ciência de dados, estatística e inteligência artificial. Sua versatilidade permite aplicações que vão desde análises estatísticas até construção de modelos matemáticos complexos, sendo uma escolha estratégica tanto no meio acadêmico quanto no mercado profissional [22].

Tabela 2: Linguagens de Programação

Linguagem de Programação	Descrição Atualizada	Relevância Acadêmica e Técnica
Python	Linguagem de alto nível, de fácil leitura e escrita, amplamente utilizada na construção de modelos matemáticos, IA e ciência de dados.	Ampla aplicação em educação, pesquisa e mercado [22]
Java	Linguagem orientada a objetos, robusta e multiplataforma, com forte uso em sistemas corporativos e aplicações industriais.	Predominante em infraestrutura tecnológica
R	Ambiente especializado para análise estatística e visualização gráfica, com recursos avançados de modelagem numérica.	Valorizada em pesquisa científica e estatística aplicada

Fonte: Adaptado de Silva, Didier e Bonfim, 2021

2.3.1 Linguagem de Programação Python

Python é uma linguagem multiparadigma, permitindo implementações procedurais, funcionais e orientadas a objetos. Inclui estruturas de dados como listas, tuplas, dicionários e strings, promovendo ganho de performance e produtividade. Por ser um projeto de código aberto, está disponível para uso acadêmico sem necessidade de autorização prévia. Possui bibliotecas específicas para manipulação de dados, como demonstrado na Tabela 3 [23].

Tabela 3: Bibliotecas Python

Bibliotecas	Descrição
Numpy	Cálculos matemáticos e estatísticos
Pandas	Análise e manipulação de dados
Matplotlib	Criação de gráficos
Plotly	Visualizações interativas

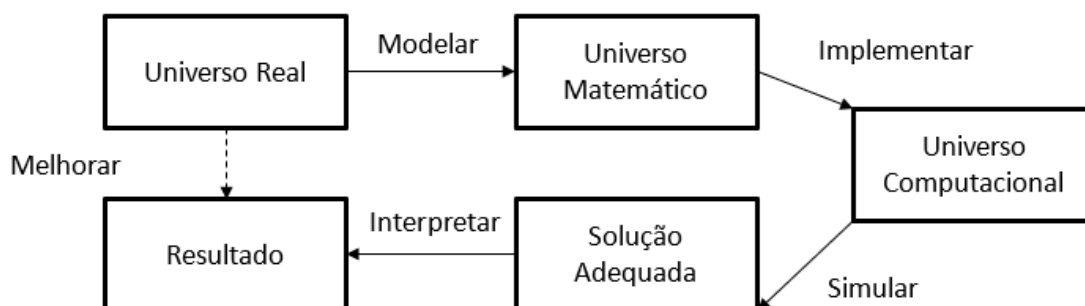
Fonte: próprio autor

Direcionado pelos pontos descritos, definiu-se que Python será a linguagem utilizada para implementação do sistema computacional necessário ao alcance dos objetivos propostos nesta investigação.

2.3.2 Modelagem Computacional

Com a definição da linguagem, é possível compreender a importância da modelagem computacional no contexto desta pesquisa. Essa abordagem permite representar sistemas complexos em ambientes virtuais, viabilizando simulações, análises e testes que seriam impraticáveis em condições reais. A modelagem envolve a construção de modelos matemáticos e algoritmos que descrevem o comportamento dos sistemas, sendo amplamente utilizada para previsão, otimização e tomada de decisão em diversas áreas [22].

Figura 7: Fluxo da Modelagem Computacional



Fonte: próprio autor

2.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Scarpati et al. [24] destacam a importância de posturas ágeis na gestão de operações de MPes, impulsionadas por tendências de mercado. O estudo propõe um modelo matemático para auxiliar a tomada de decisão gerencial.

Franklin e Priscila [25] demonstram que métodos multicritério podem beneficiar gestores de pequenas e médias empresas, oferecendo uma análise profunda das vantagens e limitações de cada abordagem, contribuindo para decisões mais eficazes.

Oliveira e Almeida [26] exploram a aplicação de técnicas de modelagem matemática na tomada de decisão multicritério em pequenas empresas, utilizando programação linear e estudos de caso para apoiar gestores na seleção de soluções adequadas.

Mendes e Costa [27] investigam a integração de modelos computacionais na tomada de decisão em uma empresa de pequeno porte, utilizando técnicas de otimização e simulação para identificar alternativas eficientes e sustentáveis.

Esses trabalhos evidenciam diferentes abordagens de como a modelagem matemática e computacional pode interagir com modelos de decisão em pequenas empresas. Neste trabalho, propõe-se uma análise focada na aplicação de técnicas de modelagem matemática e computacional com ênfase em métodos multicritério. O modelo desenvolvido integra ferramentas de otimização e simulação adaptadas à realidade operacional das MPes, oferecendo suporte estratégico aos gestores na avaliação de alternativas e na escolha de soluções eficazes. A abordagem considera os desafios específicos enfrentados por esse segmento, como restrições de recursos, dinamicidade do mercado e necessidade de decisões ágeis e fundamentadas, contribuindo para maior eficiência e competitividade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

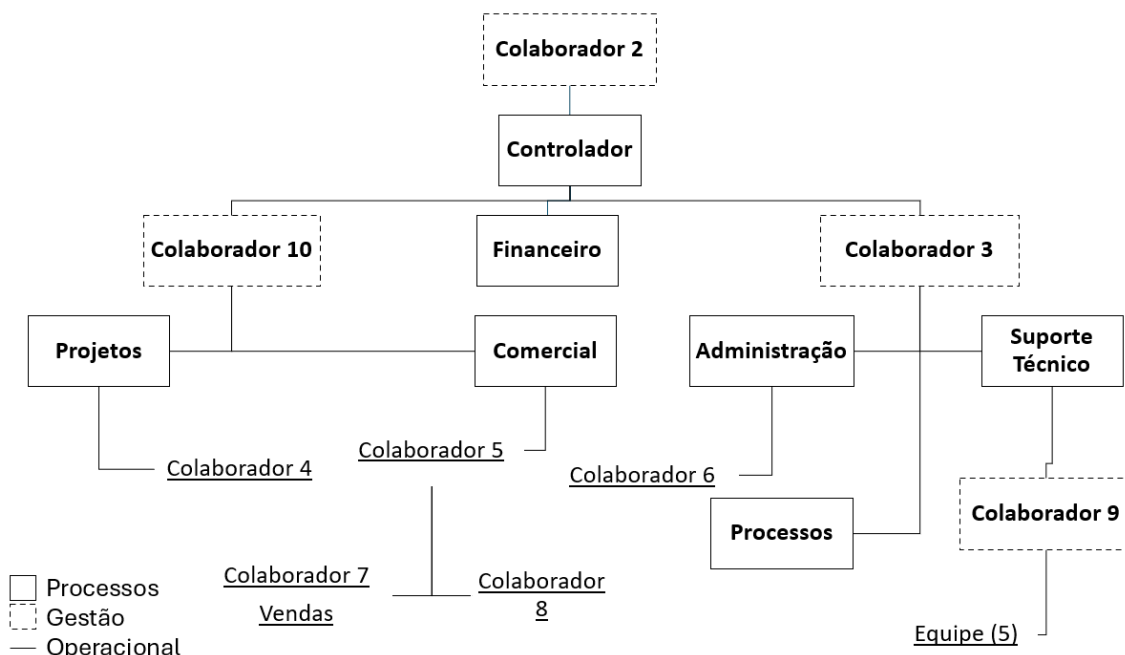
3.1 CENÁRIO ATUAL

O estudo de caso foi realizado em uma empresa especializada em Infraestrutura e Sistemas de Informação voltados para o setor da saúde. A matriz da empresa está localizada na cidade de São Luís – MA, com operações também nos estados do Piauí e Pernambuco.

Durante entrevistas realizadas in loco, foi possível avaliar os processos internos da empresa, analisar o portfólio de produtos e coletar informações organizacionais desde sua fundação até o momento atual. Esses dados fundamentaram a modelagem matemática que orientou a implementação computacional da solução para o problema de priorização de portfólio.

A empresa adota uma estrutura organizacional vertical, com gestão baseada em processos. No entanto, as decisões estratégicas são centralizadas nos sócios, que se apoiam nas informações fornecidas pelas equipes de gestão finanças, projetos, comercial, administração, suporte técnico e processos. A Figura 8 apresenta o organograma da organização.

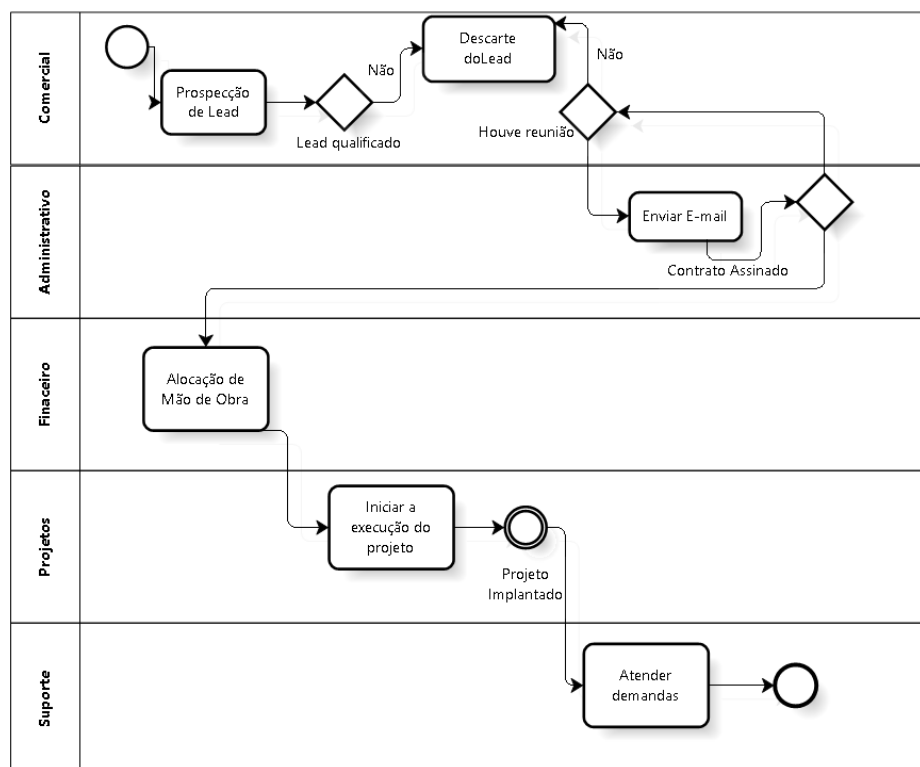
Figura 8: Organograma do objeto em estudo



Fonte: próprio autor

Com base na estrutura de processos e nas interações entre os setores, foi possível aprofundar a compreensão das dinâmicas organizacionais. Para fins desta pesquisa, foi selecionado um processo específico que exemplifica a comunicação eficaz e a transferência de responsabilidades entre setores. A Figura 9 apresenta o macrofluxo entre os processos analisados.

Figura 9: Macrofluxo entre os processos



Fonte: próprio autor

Fluxo dos principais setores:

- **Comercial:** recepção de oportunidades, elaboração de propostas e formalização de contratos.
- **Administração:** gestão de suprimentos e verificação de recursos.
- **Financeiro:** aprovação e agendamento de pagamentos.
- **Projetos:** criação, planejamento, execução e análise de desempenho de projetos.
- **Suporte Técnico:** atendimento a chamados, testes e aplicação de soluções.

A análise dos fluxos permitiu examinar a diversidade do portfólio da empresa, que inclui desde sistemas de radiologia até serviços de telediagnóstico, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Portfólio de Serviços/Produtos

Código	Serviço
S1	Sistemas de Radiologia
S2	Análise de Infraestrutura
S3	Elaboração de Projeto Tecnológico
S4	Instalação de Servidor de Virtualização
S5	Instalação de Servidor para Arquivos
S6	Instalação de Servidor de Segurança Firewall
S7	Projeto de Redes de Computadores
S8	Criação de Regras de Segurança Digital
S9	Consultorias
S10	Suporte e Manutenção
S11	Criação de Websites
S12	Telediagnóstico

Fonte: próprio autor

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A empresa enfrenta o desafio constante de definir quais projetos ou investimentos devem ser priorizados para otimizar recursos financeiros e aumentar sua competitividade. Atualmente, as decisões são tomadas de forma subjetiva, com base apenas no retorno financeiro estimado e na viabilidade de curto prazo, negligenciando critérios como inovação, impacto ambiental e alinhamento estratégico. Essa limitação compromete a sustentabilidade e o crescimento da organização no longo prazo.

3.3 METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO DE CASO

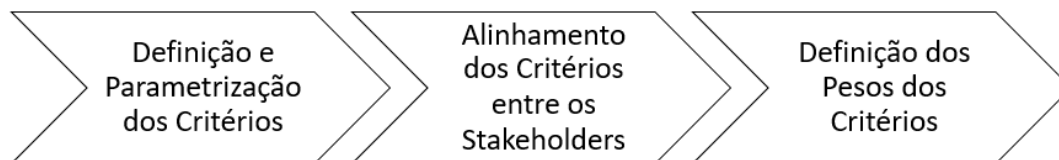
A metodologia foi dividida em duas fases principais:

- **Fase 1:** Levantamento de dados
- **Fase 2:** Implementação do método PROMETHEE II

3.3.1 Fase de Levantamento dos Dados

Esta fase é composta por três etapas, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Macrofluxo de levantamento de dados



Fonte: próprio autor

3.3.1.1 Definição e Parametrização dos Critérios

- Reuniões com stakeholders para identificar expectativas e requisitos
- Revisão da literatura e benchmarks do setor
- Consideração de critérios qualitativos e quantitativos

3.3.1.2 Alinhamento dos Critérios entre os Stakeholders

- **Workshops:** discussões colaborativas sobre critérios e indicadores
- **Questionários:** coleta de percepções individuais
- **Entrevistas:** aprofundamento das prioridades de cada parte interessada

3.3.1.3 Definição dos Pesos dos Critérios

- **Pontuação Simples:** atribuição direta de valores
- **Comparação Par a Par:** análise relativa entre critérios
- **Pesos Diretos:** distribuição de pontos entre os critérios

3.3.2 Fase de Implementação do Método PROMETHEE II

Esta fase compreende cinco etapas de entrada de dados e uma de visualização gráfica:

- Entrada do número de critérios e alternativas
- Entrada da matriz de performance
- Entrada da matriz de parâmetros dos critérios
- Entrada da matriz de objetivos dos critérios
- Entrada da matriz de referência
- Geração do gráfico de ranking das alternativas

Para isso, o algoritmo em Python foi estruturado em três funções computacionais:

- **Função de Preferência:** captura das preferências entre alternativas

- **Função de Classificação e Representação Gráfica:** ordenação e visualização dos resultados
- **Função do Modelo PROMETHEE II:** implementação do método propriamente dito

Figura 11: Macrofluxo de implementação do método PROMETHEE II



Fonte: próprio autor

Essa estrutura modular permitiu uma abordagem organizada e eficiente, garantindo que cada componente cumprisse sua função no sistema de apoio à decisão. As próximas seções detalharão os módulos computacionais e os ajustes realizados para contextualização ao problema da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

4.1.1 Fase de Levantamento dos Dados

A partir da coleta de dados realizada por meio de reuniões presenciais com os colaboradores da empresa estudada, foi possível identificar os principais critérios para avaliação dos projetos. Esses critérios, juntamente com suas respectivas metas e unidades de medida, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Critérios para avaliação de projetos

Código	Critério	Meta	Unidade
CT1	Investimento na Implantação	Minimização	R\$/mil
CT2	Preço de Homem-Hora	Minimização	R\$/h
CT3	Investimentos Sociais	Maximização	% do Investimento
CT4	Necessidade de Mão de Obra	Minimização	Quantidade
CT5	Impacto Ambiental na Implantação do Projeto	Minimização	—

Fonte: próprio autor

O critério CT1 foi selecionado por sua relevância na viabilidade financeira dos projetos. O CT2 e o CT4, relacionados ao custo de mão de obra, também foram incluídos por influenciarem diretamente nos custos operacionais. Já os critérios CT3 e CT5 foram escolhidos por refletirem aspectos de sustentabilidade e responsabilidade social, alinhando-se aos objetivos estratégicos da empresa.

4.1.2 Alinhamento dos Critérios entre os Stakeholders

Com o objetivo de quantificar a percepção dos sócios sobre a importância relativa dos critérios, foi elaborada uma matriz de comparação par a par. Utilizou-se uma escala de 1 a 5, onde 1 representa menor importância e 5, a maior. Cada sócio avaliou individualmente os critérios, permitindo identificar convergências e divergências nas preferências.

Tabela 5: Alinhamento entre os critérios

Código	Critério	Sócio 1	Sócio 2	Prioridade Média
CT1	Investimento na Implantação	5	5	5,0
CT2	Preço de Homem-Hora	5	5	5,0
CT4	Necessidade de Mão de Obra	5	4	4,5
CT5	Impacto Ambiental na Implantação do Projeto	4	4	4,0
CT3	Investimentos Sociais	3	4	3,5

Fonte: próprio autor

Esse alinhamento foi essencial para compreender a dinâmica decisória entre os sócios e garantir que os critérios refletissem as prioridades coletivas da organização.

4.1.3 Definição dos Pesos dos Critérios

A atribuição de pesos aos critérios foi realizada com base na relevância percebida por parte dos stakeholders. Critérios financeiros (CT1 e CT2) receberam pesos mais elevados, enquanto os critérios sociais e ambientais (CT3, CT4 e CT5) foram ponderados com valores médios, refletindo sua importância estratégica.

Tabela 6: Definição dos pesos

Código	Critério	Peso
CT1	Investimento na Implantação	5
CT2	Preço de Homem-Hora	4
CT3	Investimentos Sociais	4
CT4	Necessidade de Mão de Obra	3
CT5	Impacto Ambiental na Implantação do Projeto	3

Fonte: próprio autor

Além disso, foram estabelecidas restrições importantes para a seleção dos projetos:

- Seleção entre 5 e 9 projetos
- Investimento total não pode ultrapassar R\$ 10.000,00
- Diversificação obrigatória entre os tipos de projetos
- Orçamento global limitado a 65% do apoio financeiro disponível

Tabela 7: Dados de composição do portfólio

Código	Serviço	CT1 (R\$/mil)	CT2 (R\$/h)	CT3 (%)	CT4 (Qtd.)	CT5
S9	Consultorias	800	98	0,5	2	1
S10	Suporte e Manutenção	1000	80	0,5	5	2
S2	Análise de Infraestrutura	1200	100	0,5	1	1
S5	Servidor para Controle de Arquivos	1000	175	0,5	2	1
S8	Regras de Segurança Digital	1400	150	0,5	1	2
S6	Servidor de Segurança Firewall	1000	200	0,5	2	1
S4	Servidor de Virtualização	1000	175	0,5	2	2
S1	Sistemas de Radiologia	1500	75	0,5	3	3
S3	Projeto Tecnológico	2000	250	0,5	1	1
S7	Redes de Computadores	10000	250	0,5	1	1
S12	Telediagnóstico	2000	80	0,5	5	3
S11	Criação de Websites	4000	200	0,5	2	1

Fonte: próprio autor

Tabela 8: Relação entre critérios e parâmetros de preferência

Critério	Peso	P	Q
CT1	5	1000	700
CT2	5	—	175
CT3	4	0,3	0,2
CT4	4	—	1
CT5	3	—	—

Fonte: próprio autor

As funções de preferência foram definidas para ajustar a sensibilidade da análise conforme os limites de indiferença (Q) e preferência (P) estabelecidos. Isso permite que o modelo PROMETHEE II reflita com maior precisão as nuances das decisões reais.

Com a finalização da etapa de levantamento e estruturação dos dados, passou-se à execução do método PROMETHEE II, conforme será detalhado na próxima seção.

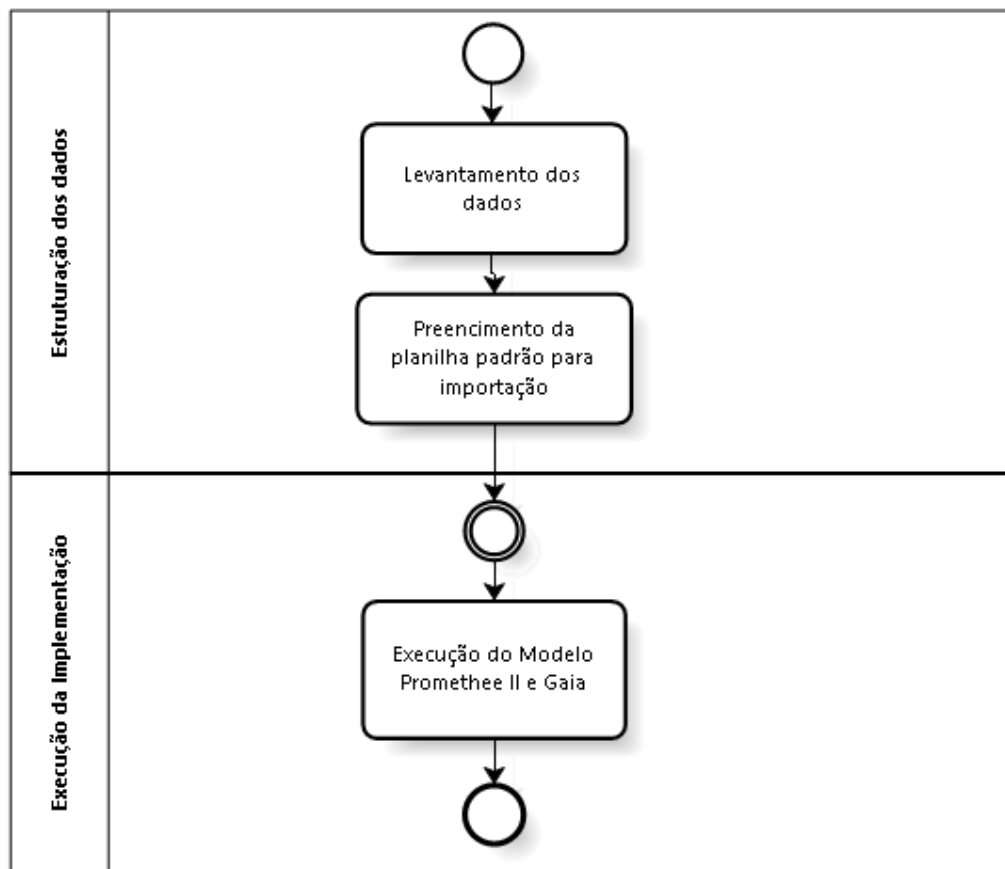
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE II

Conforme discutido anteriormente, esta pesquisa incorpora a aplicação do método PROMETHEE II aliado à modelagem computacional, por meio do desenvolvimento e teste de uma implementação em linguagem de programação específica. O procedimento executado seguiu duas etapas principais:

- **Estruturação dos dados:** levantamento das informações e preenchimento da planilha padrão para importação.
- **Execução da implementação:** aplicação do modelo PROMETHEE II e análise GAIA.

Para viabilizar essa implementação, foram utilizados como base os scripts desenvolvidos por Papathanasiou e Ploskas (2018), previamente validados e amplamente aplicados em contextos de análise multicritério. No entanto, foram necessárias modificações específicas para adequar a lógica do modelo ao contexto de gestão de portfólio da empresa e aprimorar a experiência de uso da solução computacional.

Figura 12: Fluxo de execução da implementação



Fonte: próprio autor

Entre as inovações introduzidas, destaca-se o procedimento padronizado de entrada de dados por meio de uma planilha eletrônica estruturada. O usuário informa o número de critérios, alternativas e respectivos valores de avaliação. Os dados são automaticamente importados, validados e processados pelo script, garantindo flexibilidade, reprodutibilidade e eficiência.

O protocolo lógico utilizado na validação da aplicação foi descrito sem expor o algoritmo completo, pois o foco está na aplicabilidade e flexibilidade do modelo. As melhorias incorporadas incluem:

- Tradução e adaptação dos parâmetros das funções
- Criação de rotinas para entrada de dados via interface
- Virtualização de interface gráfica orientada ao preenchimento correto
- Validação das entradas com mensagens de alerta e correção

4.3 TESTE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados levantados na empresa, foi possível testar a aplicação desenvolvida.

4.3.1 Entrada do Número de Critérios e Alternativas

O programa realiza a leitura automática do número de alternativas e critérios definidos na planilha padrão. Essa etapa é essencial para configurar a base da análise multicritério e garantir a adaptação do método PROMETHEE II a diferentes contextos.

Figura 13 Quantidade de alternativas e critérios

```
#### Definição quantitativas de alternativas e critérios ####  
-----  
Digite o número de alternativas: 12  
Digite o número de critérios: 5  
-----
```

Fonte: próprio autor

4.3.2 Entrada da Matriz de Performance

Nesta etapa, os valores dos critérios para cada alternativa são inseridos na matriz de performance. Essa matriz permite visualizar o desempenho das alternativas, identificar padrões e fornecer a base para a análise e classificação.

Figura 14: Matriz de performance

```
#### Definição quantitativas de alternativas e critérios #####
-----
Digite o número de alternativas: 12
Digite o número de critérios: 5
-----
#### Entrada da Matriz de Performance #####
Digite os valores para a matriz de desempenho: (1, 1): 1500
Digite os valores para a matriz de desempenho: (1, 2): 75
Digite os valores para a matriz de desempenho: (1, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (1, 4): 3
Digite os valores para a matriz de desempenho: (1, 5): 3
Digite os valores para a matriz de desempenho: (2, 1): 1200
Digite os valores para a matriz de desempenho: (2, 2): 100
Digite os valores para a matriz de desempenho: (2, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (2, 4): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (2, 5): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (3, 1): 2000
Digite os valores para a matriz de desempenho: (3, 2): 250
Digite os valores para a matriz de desempenho: (3, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (3, 4): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (3, 5): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (4, 1): 1000
Digite os valores para a matriz de desempenho: (4, 2): 175
Digite os valores para a matriz de desempenho: (4, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (4, 4): 2
Digite os valores para a matriz de desempenho: (4, 5): 2
Digite os valores para a matriz de desempenho: (5, 1): 1000
Digite os valores para a matriz de desempenho: (5, 2): 175
Digite os valores para a matriz de desempenho: (5, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (5, 4): 2
Digite os valores para a matriz de desempenho: (5, 5): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (6, 1): 10000
Digite os valores para a matriz de desempenho: (6, 2): 250
Digite os valores para a matriz de desempenho: (6, 3): 0.5
Digite os valores para a matriz de desempenho: (6, 4): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (6, 5): 1
Digite os valores para a matriz de desempenho: (7, 1): 1400
Digite os valores para a matriz de desempenho: (7, 2): 150
```

Fonte: próprio autor

4.3.3 Entrada da Matriz de Parâmetros dos Critérios

A matriz de parâmetros incorpora os valores de indiferença (q) e preferência (p) para cada critério, conforme definidos anteriormente.

Figura 15: Matriz de parâmetros dos critérios

```
#### Entrada da Matriz de parâmetros dos critérios (p , q) #####
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(1, 1): 1000
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(1, 2): 700
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(1, 3): 0
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(1, 4): 175
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(1, 5): 0.3
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(2, 1): 0.2
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(2, 2): 0
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(2, 3): 1
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(2, 4): 0
Digite os valores parâmetros dos critérios (p , q)(2, 5): 0
processando...
```

Fonte: próprio autor

4.3.4 Entrada da Matriz de Objetivo dos Critérios

Nesta etapa, o usuário define se cada critério será maximizado ou minimizado, utilizando os comandos "max" ou "min". A interface exige precisão na entrada dos dados, com validação automática e mensagens de erro em caso de inconsistência.

Figura 16: Matriz de objetivo dos critérios

```
##### Entrada da Matriz de objetivo para os critérios min (0) or max (1) - Otimização #####
Digite o valor para o critério 1: 0
Digite o valor para o critério 2: 0
Digite o valor para o critério 3: 1
Digite o valor para o critério 4: 0
Digite o valor para o critério 5: 0
processando...
Imprimindo para validação...
0.0
0.0
1.0
0.0
0.0
```

Fonte: próprio autor

4.3.5 Entrada da Matriz de Referência para os Critérios

Por fim, são definidos os critérios generalizados. Para este estudo, foi adotado o critério de preferência linear com área de indiferença para todas as opções.

Figura 17: Matriz de referência para os critérios

```
##### Entrada da Matriz referência para os critérios (u, us, vs, le, li ou g) #####
Digite a preferência para o critério 1 ('u', 'us', 'vs', 'le', 'li' ou 'g'): li
Digite a preferência para o critério 2 ('u', 'us', 'vs', 'le', 'li' ou 'g'): li
Digite a preferência para o critério 3 ('u', 'us', 'vs', 'le', 'li' ou 'g'): li
Digite a preferência para o critério 4 ('u', 'us', 'vs', 'le', 'li' ou 'g'): li
Digite a preferência para o critério 5 ('u', 'us', 'vs', 'le', 'li' ou 'g'): li
Desempenho Global = [-0.2364  0.5818 -0.3273 -0.0546  0.2182  0.0364 -0.4636  0.1273  0.7636
0.6727 -0.7364 -0.5818]
```

Fonte: próprio autor

Com a finalização da entrada de dados, o sistema gera automaticamente o resultado do desempenho das alternativas, permitindo a tomada de decisão com base no ranking gerado pelo PROMETHEE II.

4.3.6 Gráficos de Visualização do Ranking de Classificação das Alternativas

O modelo computacional proposto apresenta um conjunto de gráficos que viabilizam uma análise visual dos resultados, permitindo a visualização simultânea das alternativas associadas à condição multicritério. Inicialmente, é apresentado o ranking de classificação das alternativas, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18: Gráfico de visualização do ranking de classificação das alternativas



Fonte: próprio autor

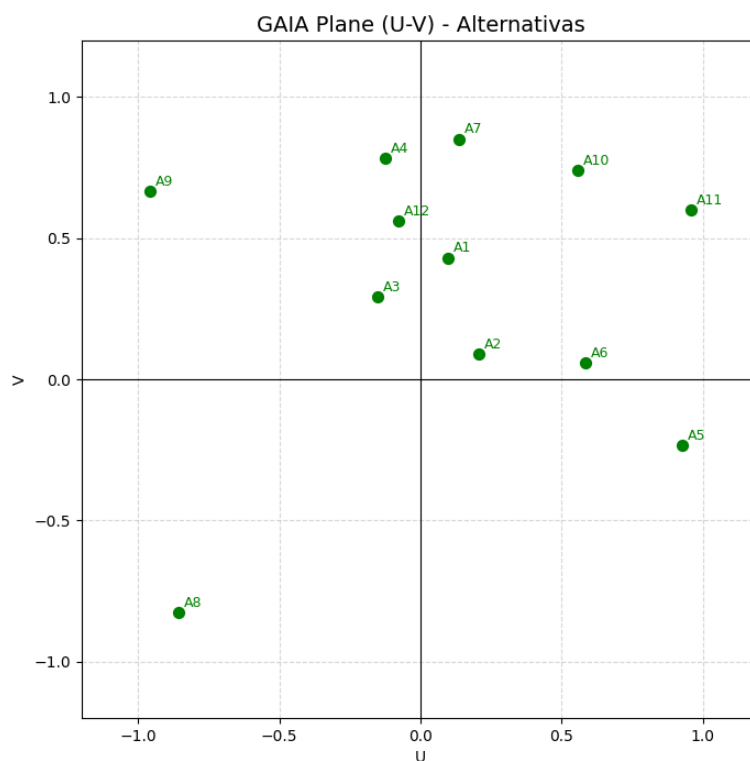
A variação dos valores de resultado do método PROMETHEE II reflete o alinhamento de cada alternativa com os critérios estabelecidos, considerando os pesos e objetivos (minimização ou maximização) atribuídos a cada critério. Essa variação ocorre em função da eficiência com que cada alternativa atende aos critérios, resultando em um score que pode variar de valores positivos a negativos, conforme a preferência relativa.

Na análise dos resultados obtidos após a aplicação do método PROMETHEE II, no contexto de priorização de portfólio para as 12 alternativas que compõem os serviços da empresa, observou-se que a alternativa **S9 – Consultorias** obteve o valor mais alto de preferência, com pontuação de **0,7636**. Isso indica que essa alternativa atende de forma mais eficiente aos critérios relevantes, especialmente no que se refere ao custo-benefício e ao impacto positivo sobre os objetivos estratégicos da organização.

As alternativas **S10, S2, S5, S8 e S6** também apresentaram pontuações positivas, o que indica que são preferíveis em diferentes graus. A alternativa **S10 – Suporte e Manutenção**, por exemplo, obteve a segunda maior pontuação (**0,6767**), demonstrando forte alinhamento com os critérios de minimização de custos e maximização de benefícios.

Por outro lado, as alternativas **S4, S1, S3, S7, S12 e S11** apresentaram pontuações negativas. Isso significa que, de acordo com o modelo, essas alternativas são menos preferíveis em comparação com aquelas que obtiveram pontuações positivas. Essa análise pode ser visualizada na Figura 19.

Figura 19: Gráfico de distribuição das pontuações das alternativas



Fonte: próprio autor

4.3.7 Gráficos de Visualização do Ranking de Classificação das Alternativas

O modelo computacional proposto apresenta um conjunto de gráficos que viabilizam uma análise visual dos resultados, permitindo a visualização simultânea das alternativas associadas à condição multicritério. Inicialmente, é apresentado o ranking de classificação das alternativas, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Gráfico de visualização do ranking de classificação das alternativas



Fonte: próprio autor

A variação dos valores obtidos pelo método PROMETHEE II reflete o alinhamento de cada alternativa com os critérios estabelecidos, considerando os pesos e objetivos (minimização ou maximização) atribuídos. Essa pontuação varia de positiva a negativa, indicando o grau de preferência relativa.

Tabela 9: Classificação do portfólio após execução de priorização

Ordem	Alternativa	Resultado PROMETHEE II
1º	S9 – Consultorias	0,7636
2º	S10 – Suporte e Manutenção	0,6727
3º	S2 – Análise de Infraestrutura	0,5818
4º	S5 – Servidor para Controle de Arquivos	0,2182
5º	S8 – Regras de Segurança Digital	0,1273
6º	S6 – Servidor de Segurança Firewall	0,0364
7º	S4 – Servidor de Virtualização	-0,0546
8º	S1 – Sistemas de Radiologia	-0,2364
9º	S3 – Projeto Tecnológico	-0,3273
10º	S7 – Redes de Computadores	-0,4636
11º	S12 – Telediagnóstico	-0,5818
12º	S11 – Criação de Websites	-0,7364

Fonte: próprio autor

4.3.8 Análise dos Fluxos Líquidos

Uma análise mais aprofundada dos resultados, permitindo observar não apenas a posição relativa, mas também a magnitude das diferenças entre as alternativas (Δ) e a dispersão dos resultados em relação ao desvio padrão calculado (0,47).

- **Alternativas prioritárias:** A9 (Consultorias), A10 (Suporte e Manutenção) e A2 (Análise de Infraestrutura) superam a linha de desvio padrão, consolidando-se como as opções mais robustas.
- **Grupo intermediário:** A5, A8 e A6 apresentam valores positivos, porém abaixo do desvio padrão. Suas diferenças pequenas ($\Delta \approx 0,09$) indicam homogeneidade e potencial como reservas estratégicas.
- **Alternativas negativas:** A1, A3, A7, A12 e A11 estão abaixo da média. A11 (Criação de Websites) destaca-se negativamente com -0,7364. A4, com -0,0546, está em posição limítrofe, sensível a ajustes.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

Foram desenvolvidos estudos e aplicações que proporcionaram soluções voltadas à melhoria da tomada de decisão estratégica em empresas, por meio da utilização de métodos multicritério.

Realizou-se o levantamento teórico, a escolha e a implementação do modelo matemático PROMETHEE II, com o objetivo de apoiar a priorização de projetos com base em múltiplos critérios definidos pelos stakeholders.

Os resultados desta pesquisa evidenciaram as vantagens da abordagem multicritério na análise de alternativas, considerando restrições reais da organização, como capacidade produtiva, recursos disponíveis e demandas específicas. O modelo implementado em Python permitiu simular diferentes cenários e demonstrar sua aderência ao contexto da empresa estudada, mesmo em situações de incerteza e volatilidade, como variações nos pesos dos critérios.

Nos cenários testados, observou-se ganhos significativos em termos de consistência e confiabilidade dos resultados, fortalecendo a argumentação técnica para decisões mais robustas. A análise de sensibilidade mostrou que o modelo responde adequadamente às mudanças nas condições de avaliação, ampliando seu potencial de uso como ferramenta prática de apoio à decisão.

Destaca-se que, embora fundamentado em princípios acadêmicos, o modelo matemático possui elevada aplicabilidade no ambiente empresarial, desde que integrado a ferramentas computacionais acessíveis. Para além da técnica, é essencial que os gestores se apropriem da abordagem e a incorporem ao planejamento estratégico, transformando dados em ações efetivas que promovam o crescimento sustentável da organização.

5.2 SUGESTÕES

Com base nos resultados obtidos e nas possibilidades de evolução do tema, são sugeridas as seguintes direções para estudos futuros:

- **Desenvolvimento de interface gráfica:** aprimorar a experiência do usuário com a aplicação, proporcionando maior autonomia e usabilidade.
- **Expansão para a família PROMETHEE:** implementar o modelo computacional para outras variantes (I, III, IV, TRI, GAIA), ampliando a capacidade de avaliação em diferentes cenários decisórios.
- **Tratamento das alternativas não priorizadas:** desenvolver métodos para requalificação e potencialização das alternativas menos favorecidas no ranking.
- **Avaliação comparativa de eficiência:** realizar estudos comparativos entre o PROMETHEE II e outras abordagens estatísticas e multicritério, como AHP, ELECTRE e MAUT, visando validar e aprimorar a robustez da metodologia.

REFERÊNCIAS

- [1] M. H. Alencar and A. T. de Almeida, “Assigning priorities to actions in a pipeline transporting hydrogen based on a multicriteria decision model,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 3610–3619, 2010.
- [2] A. T. Almeida, *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.
- [3] A. T. de Almeida et al., “Multiobjective and Multicriteria Problems and Decision Models,” in *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*, Springer, 2015, pp. 1–22.
- [4] J. V. B. Andrade, J. P. V. Madeiro, and F. O. M. Carneiro, “Análise de decisão multicritério: aplicação do método ELECTRE I para seleção de equipamentos críticos ao processo produtivo industrial,” Univ. da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, CE, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4921/1/JORGE%20VLEBERTON%20BESSA%20DE%20ANDRADE%20%20TCC.pdf>
- [5] N. F. Ayala and A. G. Frank, “Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas,” Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. [Online]. Available: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/196504/000903880.pdf>
- [6] R. Barnat, V. Gonzalez-Romá, and J. M. Peiró, “The role of managers in fostering team creativity: A mediation model,” *J. Appl. Behav. Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 5–25, 2018.
- [7] L. F. Bastos and A. A. Longaray, “Meta-heurísticas para a tomada de decisão multicritério: revisão sistemática da literatura e oportunidades de pesquisa,” *Innovar*, vol. 35, no. 78, pp. 45–62, Jan.–Mar. 2025.
- [8] L. S. Batista, “Teoria da utilidade multiatributo,” Univ. Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. [Online]. Available: <http://www.cpdee.ufmg.br/~lusoba/disciplinas/ele088/slides/07-metodos-maut.pdf>
- [9] BRASIL. Tribunal de Contas da União, “Portaria-TCU nº 121, de 28 de junho de 2023,” Brasília, DF, 2023. [Online]. Available: <https://btcu.apps.tcu.gov.br/api/obterDocumentoPdf/74013272>
- [10] J. P. Brans and B. Mareschal, “Geometrical representations for MCDA,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 69–77, 1988.
- [11] J. Brans and Ph. Vincke, “A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM,” *Manage. Sci.*, vol. 31, no. 6, pp. 647–656, 1985.
- [12] J. P. Brans and B. Mareschal, *PROMÉTHÉE-GAIA: une méthodologie d’aide à la décision en présence de critères multiples*. Bruxelles: Éditions de L’Université de Bruxelles, 2002.
- [13] J. P. Brans and Y. De Smet, “PROMETHEE methods,” in *Multiple Criteria Decision Analysis*, Springer, New York, NY, 2016, pp. 187–219.
- [14] R. F. Calili, H. G. Costa, O. L. G. Quelhas, and R. C. Souza, “Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica: utilização dos métodos

multicritério TOPSIS, ELECTRE e AHP,” in *4th Int. Conf. Ind. Eng. Ind. Manage.*, 2010, pp. 362–371.

[15] M. Cinelli, M. Kadziński, M. Gonzalez, and R. Słowiński, “How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy,” *Omega*, vol. 96, p. 102261, 2020.

[16] R. T. Clemen and T. Reilly, *Making Hard Decisions With Decision Tools*. Pacific Grove: Duxbury, 2001.

[17] E. C. Colin, *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*, 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[18] R. G. Cooper, S. J. Edgett, and E. J. Kleinschmidt, “New Problems, New Solutions: Making Portfolio Management more effective,” *Res.-Technol. Manage.*, vol. 43, no. 2, 2015.

[19] C. A. B. Costa and J. C. Vasnick, “A Fundamental Criticism to Saaty’s Use of the Eigenvalue Procedure to Derive Priorities,” Working Paper, Dept. of Operational Research, London School of Economics and Political Science, Londres, 2001.

[20] H. G. Costa and R. M. da Silva, “Modelagem matemática e média generalizada em decisões multicritério,” *Rev. Bras. Gestão Desenv. Reg.*, vol. 17, no. 2, pp. 118–134, Apr.–Jun. 2021. [Online]. Available: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/6623>

[21] G. Crawford and C. Williams, *The Analysis of Subjective Judgement Matrices*, The Rand Corporation R-2572-1-AF, USA, 1985.

[22] L. M. C. Dias, L. M. A. T. Almeida, and J. C. N. Clímaco, *Apoio Multicritério à Decisão*. Coimbra: Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, 1996.

[23] B. E. Ilbahar, C. Selcuk, and C. Kahraman, “A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making,” *Energy Strategy Rev.*, vol. 25, pp. 18–33, 2019.

[24] R. G. Ferreira, “Priorização de Portfólio de Projetos de Geração de Energia Renovável utilizando o Método PROMÉTHÉE V,” M.Sc. dissertation, Fac. de Economia e Finanças, IBMEC, Rio de Janeiro, 2013.

[25] L. F. A. M. Gomes, C. F. S. Gomes, and A. T. Almeida, *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*, 3ª ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2009.

[26] T. J. M. Gonçalves et al., “Proposta de uma abordagem multicriterial baseada na MCDA-C para a avaliação de desempenho,” *Exacta*, vol. 21, no. 3, pp. 456–472, Jul.–Sep. 2023. [Online]. Available: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/20165>

[27] F. S. Hillier and G. Lieberman, *Introdução à Pesquisa Operacional*, 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

[28] C. Jesus, B. Santana, and R. Bittencourt, “Oficinas de Aprendizagem de Programação com Scratch e Python em um Curso de Engenharia de Computação,” in *Anais do XXVII Workshop sobre Educação em Computação*, SBC, 2019, pp. 31–40.

[29] R. L. Keeney and H. Raiffa, *Decisions With Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. New York, NY: John Wiley & Sons, 1976.

- [30] A. Kumar and M. K. Dash, “A hybrid MCDM approach for project portfolio selection in the IT sector,” *J. Model. Manage.*, vol. 16, no. 2, pp. 456–478, 2021.
- [31] J. Manyika et al., “Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.” [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Big-data%3A-The-next-frontier-for-innovation%2C-and-Manyika/91b63db746becca15090963a8990dfe2b5103799>
- [32] D. C. Morais and A. T. Almeida, “Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água,” *Pesq. Operacional*, vol. 26, no. 3, pp. 567–584, Sep.–Dec. 2006.
- [33] D. A. Moreira, “Etapas de uma dissertação de mestrado,” *Administração On Line*, vol. 2, no. 3, Jul.–Sep. 2001.
- [34] M. A. Moreira, “Modelos científicos, modelos mentais, computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e aspectos para o ensino,” *Rev. Bras. Ens. Ciênc. Tecnol.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–20, 2014.
- [35] G. R. Neves, A. C. Galhardi, and W. C. Lucato, “Aplicação e comparação de métodos de apoio à decisão multicritério: AHP, TODIM e PROMETHEE II,” *Exacta*, vol. 20, no. 1, pp. 218–233, Jan.–Mar. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17531>
- [36] J. Papathanasiou and N. Ploskas, *Multiple Criteria Decision Aid Methods, Examples and Python Implementations*. Springer, 2018. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/7393>
- [37] H. M. Pires, M. Santos, A. C. L. Cândido, and F. H. M. Queiroz, “Sono adequado para uma performance de excelência: classificação de dispositivos de monitorização do sono mediante o método ELECTRE TRI,” in *Congr. Nac. Excelência em Gestão*, XVII, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/376103876>
- [38] F. Provost and T. Fawcett, “Data Science and its Relationship to Big Data and Data-Driven Decision Making,” *Big Data*, vol. 1, no. 1, pp. 51–59, Mar. 2013. [Online]. Available: <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/big.2013.1508>
- [39] J. A. Ramos Filho, M. J. Atamanczuk, and R. F. M. Marçal, “Seleção de técnicas de manutenção para processo de armazenagem pelo método de análise hierárquica,” *Rev. Produção Online*, vol. 10, no. 1, pp. 142–166, 2010.
- [40] B. Roy, “The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods,” *Theory Decis.*, vol. 31, pp. 49–73, 1991.
- [41] B. Roy, “Decision science or decision-aid science?,” *Eur. J. Oper. Res.*, no. 66, pp. 184–203, 1993.
- [42] B. Roy et al., “Paradigms and Challenges,” in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds. Boston: Springer, 2005.
- [43] T. L. Saaty and L. G. Vargas, *Models, Methods, Concepts & Applications Of The Analytic Hierarchy Process*, Int. Ser. Oper. Res. Manage. Sci., vol. 175, Springer, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-3597-6_2
- [44] T. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 48, pp. 9–26, 1990.

- [45] SEBRAE, “Retrato do Empreendedorismo no Brasil em 2023,” Curitiba: Sebrae/PR, 2023. [Online]. Available: <https://sebraepr.com.br/impulsiona/retrato-do-empreendedorismo-no-brasil-em-2023>
- [46] R. M. da Silva, H. G. Costa, and R. H. de Lima, “Critérios para seleção de métodos multicritério: uma análise contextualizada,” *Rev. Bras. Gestão Inovação*, vol. 10, no. 2, pp. 112–130, Apr.–Jun. 2021. [Online]. Available: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rbgi/article/view/2021>
- [47] A. A. Silva, M. Â. C. Didier, and S. C. Bonfim, “Construção de modelos matemáticos com o Python: uma motivação para o estudo de cálculo diferencial e lógica matemática,” *Rev. Sergipana Matemática Educ. Matemática*, vol. 9, no. 1, pp. 1–24, Jan.–Jun. 2021. [Online]. Available: <https://periodicos.ufs.br/ReviSe/article/download/16811/15422/64727>
- [48] L. A. Silva et al., “Modelagem computacional na engenharia de processos atual: do micro ao macro, modernidade e interdisciplinaridade,” *ResearchGate*, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/363184672>
- [49] H. A. Simon, *Comportamento Administrativo*. Rio de Janeiro: FGV, 1979.
- [50] A. S. Solino and W. A. El-Aouar, “O processo de tomada de decisões estratégicas: entre a intuição e a racionalidade,” *Rev. Gestão Estratégica*, vol. 8, no. 3, pp. 22–38, Apr.–Jun. 2024.