LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

PRIORIZAÇÃO DE PASSAGENS AÉREAS: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO ATRAVÉS DO MÉTODO PROMETHEE II

Andréia Kaori Io Imai Gomes
Programa de Pós-graduação em Pesquisa Operacional - PPG-PO (UNIFESP – ITA)
São José dos Campos - SP, Brasil
andreia.kaori@outlook.com

Arsênio Martins Gomes Neto
Grupo de Pesquisa MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Núcleo de Tecnologia, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco,
Caruaru-PE, 55014-900, Brasil.
arseniomgn@gmail.com

Hévilla Souza Oliveira
Grupo de Pesquisa MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Núcleo de Tecnologia, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco,
Caruaru-PE, 55014-900, Brasil.
hevillasouza09@gmail.com

Jônatas Araújo de Almeida
Grupo de Pesquisa MAPS - Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy
Núcleo de Tecnologia, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco,
Caruaru-PE, 55014-900, Brasil.
jonatasaa@yahoo.com.br

RESUMO

O modal aeroviário é amplamente utilizado por sua velocidade e segurança. Nessa perspectiva, o processo de compras de passagens aéreas não é simples, visto que há diversos fatores que influenciam sobre a escolha. Desse modo, este trabalho apresenta um modelo multicritério para a priorização de passagens aéreas, considerando critérios como “Custo total”, “Quantidade de escalas”, “Tempo de duração do voo”, entre outros. Para tal, o método PROMETHEE II foi utilizado para gerar uma ordenação total. Após obtenção da pré-ordem total, os dados de entrada da matriz de consequência foram submetidos ao processo de análise de sensibilidade, o qual mostrou que o modelo possui uma boa robustez.

PALAVRAS-CHAVE: MCDA. Passagens aéreas. PROMETHEE II.

Tópicos ADM – Apoio à Decisão Multicritério

ABSTRACT

The airway modal is widely used for its speed and safety. In this perspective, the process of purchasing air tickets is not simple, since there are several factors that influence the choice. Thus, this work presents a multicriteria model for the prioritization of air tickets, considering criteria such as "Total cost", "Amount of stopovers", "Duration of flight", within others. For this, the PROMETHEE II method was used to generate a total sort. After obtaining the total pre-order, the data input of the consequence matrix was submitted to the sensitivity analysis process, which showed that the model has a good robustness.

KEYWORDS. MCDA. Airline tickets. PROMETHEE II.

Paper topics ADM - Support for Multicriteria Decision

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

1. Introdução

Atualmente, em um mundo cada vez mais globalizado e conectado, a necessidade de deslocamento para lugares distantes é mais evidente e frequente no cotidiano das pessoas. Para tal, é fundamental contar com um meio de transporte que atenda a essas demandas e possibilite viagens que desempenham um papel vital na promoção da conectividade global. O transporte aéreo se destaca nesse sentido, sendo reconhecido pela sua segurança e rapidez.

O modal aeroviário é um método de transporte popularizado devido à desregulamentação do setor no Brasil nos anos 90, seguido pela introdução de diversas inovações tecnológicas nos anos 2000, a qual revolucionou como a população se desloca entre cidades, estados e países, proporcionando uma mobilidade mais rápida, eficiente e segura [Ferreira 2018]. O transporte aéreo, ao longo dos anos, tornou-se não apenas uma ferramenta essencial para o funcionamento eficiente e interligando o mundo moderno, mas também um indicador significativo do desenvolvimento socioeconômico de uma nação [Barat 2010].

Atualmente, o transporte aéreo brasileiro experimentou um notável aumento, registrando 112,6 milhões de passageiros em 2023, representando um aumento de 15,3% comparado ao ano de 2022, conforme dados da Agência Nacional de Aviação Civil -ANAC [ANAC 2024], encerrando o ano de 2023 com 112,6 milhões de passageiros em voos. Ainda em relação aos dados da ANAC, o país testemunhou um ressurgimento no transporte aéreo internacional, atingindo um pico de 2,31 milhões de passageiros em janeiro de 2024, indicando uma recuperação para os níveis pré-pandêmicos frente aos 2,24 milhões de passageiros em janeiro de 2022.

Entretanto, o crescimento promissor do transporte aéreo não está isento de desafios. As passagens aéreas, elemento vital nesse cenário, experimentaram um aumento expressivo de 47% ao longo de 2023 [IBGE 2024]. Dessa forma, a escolha da passagem ideal tornou-se um desafio complexo, visto que o mercado conta com dezenas de opções de companhias aéreas com variações de preços, disponibilidade de passagens com quantidades distintas de escalas e tempo de duração de voo, dentre outros aspectos.

Diante desse panorama desafiador, a presente pesquisa propõe implementar uma abordagem multicritério na tomada de decisão relacionada à escolha de passagens aéreas. Esta implementação visa garantir transparência e análise criteriosa dos fatores envolvidos na seleção da passagem ideal, focando na maximização da flexibilidade e personalização para atender às necessidades e preferências individuais do decisor.

Para ilustrar a aplicação dessa metodologia, consideraremos um trecho internacional utilizado com frequência por uma brasileira residente na Alemanha com origem no Aeroporto de Berlim (BER) e destino no Aeroporto de Guarulhos (GRU). Ao definir critérios específicos e ponderações adequadas, aplicaremos o método PROMETHEE II para estabelecer um *ranking* de priorização das melhores opções disponíveis no mercado em um determinado período, contribuindo assim para uma melhor experiência de viagem e eficácia nas tomadas de decisão. Assim, é importante destacar que, embora este modelo seja aplicado a um caso específico, ele pode ser facilmente adaptado para outras decisões relacionadas à escolha de passagens aéreas, levando em conta as preferências e necessidades de cada usuário.

Esta pesquisa abrange seis seções, sendo inicializada com uma contextualização na Seção 1. A Seção 2 contemplará uma breve fundamentação teórica sobre a seleção de passagens aéreas internacionais, tomada de decisão multicritério e exemplos de estudos semelhantes. A Seção 3 seguirá com a estrutura metodológica proposta, sendo demonstrado a utilização do modelo na Seção 4, por meio de um estudo de caso. Já na Seção 5, serão realizadas análises e discutidas as principais observações dos resultados encontrados. O estudo finalizará na Seção 6 com as contribuições da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

2. Referencial teórico

2.1 Decisão Multicritério

A tomada de decisão está presente no cotidiano de todos e são tão antigas quanto o próprio ser humano [Köksalan et al. 2016]. As resoluções de alguns problemas são mais simples e

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

objetivas, entretanto há situações mais complexas e geralmente implicam em um maior grau de dificuldade na tomada de decisão. Segundo [de Almeida 2013], um problema de decisão multicritério consiste em uma situação, em que se enfrenta a necessidade de escolher entre pelo menos duas alternativas, visando alcançar múltiplos objetivos.

O processo de tomada de decisão é composto por múltiplas etapas que abrangem desde a coleta de dados, passando pela construção do modelo de decisão, escolha do método multicritério, aplicando-o conforme a problemática, avaliação das alternativas e critérios, revisão das etapas até a obtenção de um resultado que atenda às necessidades e preferências do decisor [de Almeida, 2013]. Um modelo de decisão corresponde a uma representação formal e simplificada da realidade que seja útil ao decisor(a) [de Almeida, 2013].

Para selecionar o método multicritério mais apropriado, é imperativo coletar uma variedade de aspectos do problema e compreender as preferências do tomador(a) de decisão [Baydas et al. 2022]. É relevante salientar que a inferência de critérios desempenha um papel fundamental na compreensão do problema e na priorização das alternativas. Essa modelagem de decisão multicritério do problema é responsável por incorporar parâmetros de avaliação tanto qualitativos (não métricos, categorias ou qualificações) quanto quantitativos (métricos, com contagem ou mensuração), [Macharis e Bernadini 2015].

Segundo [Bell e Keeney 1977], quando se trata de critérios qualitativos, é necessário desenvolver escalas apropriadas implicando na avaliação dos critérios com base em sua importância e potencial impacto no problema em questão. Como consequência desse processo, emergem *scores* (ou pesos) de critérios que representam seus valores relativos e facilitam a aplicação de modelos multicritério de tomada de decisão [de Almeida Filho *et al.* 2018].

O conceito de racionalidade também desempenha um papel fundamental em processos multicritério. Em decisões com racionalidade compensatória, como explicado por [de Almeida 2013], um desempenho insatisfatório de uma alternativa em um critério pode ser compensado por um desempenho positivo em outro critério. Por outro lado, em decisões com racionalidade não compensatória, não há compensação entre critérios, conforme discutido por [Roy 1996].

Além disso, analisa-se os atores que podem influenciar e/ou impactar a tomada de decisão. Conforme apresentam [Roy 1996] e [de Almeida 2013], são eles:

- Decisor: responsável por estabelecer a racionalidade e preferências, agregando o julgamento de valores importantes para a modelagem do problema;
- Especialista: detentor de conhecimento específico sobre o viés do problema;
- Analista: o responsável por analisar, estruturar o problema e construir a modelagem;
- Cliente: ator que pode agir em nome do decisor;
- *Stakeholders:* atores que sofrem as reverberações da decisão e podem afetar as escolhas do decisor.

2.2 Passagens aéreas

Atualmente, o Brasil é conectado nacional e internacionalmente através das diversas companhias aéreas que oferecem a disponibilidade dos voos através da oferta de passagens aéreas por diferentes canais de compras (*internet*, agência de viagens, balcão do aeroporto, dentre outros), em que os preços podem variar conforme o canal de comercialização. No processo de compra e venda de passagens, as empresas apresentam o valor com a discriminação de todas as taxas, tributos e itens inclusos, a quantidade de bagagem despachada inclusa em cada tipo de bilhete, a quantidade de escalas e conexões do voo, tempo total de viagem, horário de decolagem e de aterrissagem [ANAC 2017].

Um voo internacional é um formato do voo comercial na aviação civil onde o local de partida e chegada ocorrem em países diferentes. Aeroportos que servem voos internacionais são conhecidos como aeroportos internacionais e o principal e maior aeroporto internacional brasileiro é o Aeroporto Internacional de Guarulhos - Governador André Franco Montoro (GRU), na Grande São Paulo, sendo a principal porta de entrada do país e o mais movimentado da América Latina em número de passageiros [DECEA 2023].

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

A decisão de seleção de passagens aéreas possui múltiplos objetivos intrínsecos e extrínsecos e pode ser atrelado a um problema de decisão multicritério, por possuir diversos fatores considerados pelos passageiros antes de fazerem sua escolha final. Nesse sentido, observam-se alguns estudos na área como o de [Dožić 2019], que destaca a importância dos métodos multicritérios para auxiliar os tomadores de decisão e discute como a decisão de compra de passagens aéreas está relacionada a investimentos significativos, ressaltando a importância de melhorar essa decisão para obter economias e benefícios adicionais.

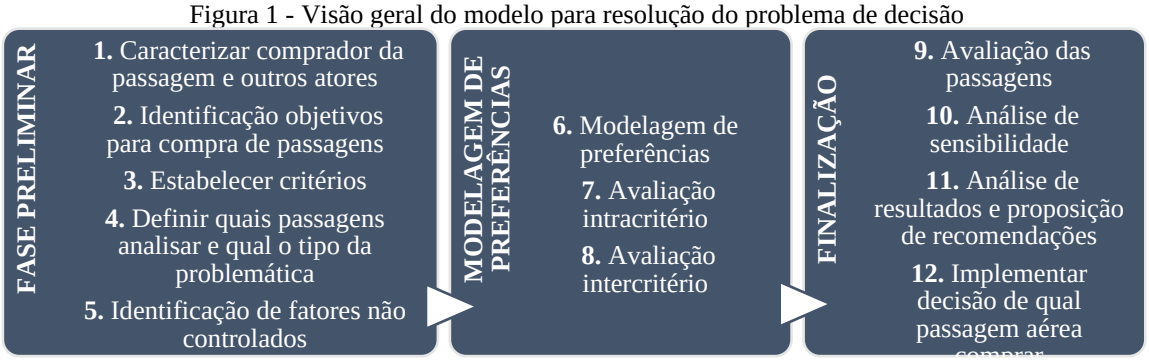
[Truong et al. 2019] discute que a decisão de passageiros do Sudeste Asiático ao escolher uma companhia aérea de baixo custo é influenciada por múltiplos critérios, não se limitando somente ao preço do bilhete. Nesse sentido, eles analisam que os passageiros consideram a qualidade do serviço, a segurança da companhia aérea, sua reputação, juntamente com o preço do bilhete ao decidir. Os autores reforçam a importância de compreender os diversos critérios considerados pelos passageiros ao escolher uma companhia aérea de baixo custo, para que as empresas aéreas desenvolvam estratégias de marketing eficazes e melhor atenderem às necessidades e preferências dos passageiros nesse mercado competitivo.

A decisão multicritério apresenta-se de forma versátil e pode ser aplicada também para avaliar e classificar o desempenho operacional de companhias aéreas como apresentado por [Kulakli e Şahin 2023].

3. Descrição do modelo

O modelo multicritério desse estudo foi baseado no *framework* para resolução de problemas de decisão desenvolvido por [de Almeida 2013], composto por 3 (três) fases: “Fase preliminar”, “Modelagem de preferências” e “Finalização”. A Figura 1 apresenta o modelo adaptado, composto por 12 (doze) etapas.

Figura 1 - Visão geral do modelo para resolução do problema de decisão



Fonte: Adaptado de [de Almeida 2013]

A primeira fase “Fase preliminar” é composta por 5 (cinco) etapas. Inicialmente, tem-se a definição dos atores do processo (Etapa 1), dentre eles o decisor e o analista do problema. Na Etapa 2, devem ser identificados os objetivos explicitados pelos valores e preferências do decisor. Na Etapa 3, para cada objetivo estabelecido na etapa anterior (Etapa 2), serão construídos critérios ou atributos que os representem no processo de modelagem quantitativa. Na etapa seguinte (Etapa 4) deve ser estabelecida a caracterização do conjunto de possíveis passagens aéreas que são atrativas para compra. Uma vez definida a forma do conjunto de alternativas, tem-se que determinar o tipo de problemática, que, para este estudo, foi considerada de ordenação, posto que o decisor buscava uma priorização de passagens aéreas. Na Etapa 5, analisam-se fatores não controlados que podem reverberar sob a solução do modelo.

A segunda fase “Modelagem de Preferências” inicia-se com a Etapa 6, analisando-se a racionalidade do decisor entre compensatória, em que uma alternativa com uma pior avaliação em um critério pode ter seu desempenho compensado por uma melhor avaliação em outro critério, ou

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

não compensatória, na qual o decisor infere que essa compensação não ocorre. A partir disso, tem-se a escolha do método mais apropriado, que, na pesquisa em questão, foi aplicado o método PROMETHEE II, ao ser identificado através das preferências do decisor que o problema é de racionalidade não compensatória, com informações totais sobre os *scores* dos critérios e o tipo de problemática é de ordenação das melhores passagens aéreas.

Na Etapa 7, para a avaliação intracritério, o decisor pode representar suas preferências utilizando a forma mais adequada para cada critério. Os critérios gerais empregados para identificar a intensidade da preferência representam um limiar de diferença e um limiar de preferência, onde há uma preferência estrita. Para o modelo em questão foi usado o critério usual do PROMETHEE para todos os critérios do problema, o qual pode ser observado na Equação 1. Nessa Equação, $F_i(a,b)$ é a função da diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$ entre o desempenho das alternativas para cada critério, sendo $g_i(a)$ o desempenho na alternativa a e $g_i(b)$ o desempenho na alternativa b.

$$\begin{cases} se\ g_i(a) - g_i(b) > 0, & F_i(a,b) = 1 \\ se\ g_i(a) - g_i(b) \leq 0, & F_i(a,b) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Na Etapa 8, a elicitação da importância relativa de cada critério da avaliação intercritério inicia-se com a determinação de *score* aos critérios, a qual foi realizada através da Equação 2, em que k'_j representa o *score* normalizado do critério, k_j o valor da pontuação definida ao critério j inferida pelo decisor e n é o total de critérios.

$$k'_j = \frac{k_j}{\sum_{j=1}^{n} k_j} \quad (2)$$

A partir disso, iniciamos a fase de "Finalização" com a avaliação das alternativas (Etapa 9), conforme o método PROMETHEE II. Para tal, utilizamos a Equação 3 para calcularmos o índice de preferência $\pi(a,b)$ através de uma comparação pareada entre as alternativas a e b.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{n} F_j(a,b) \cdot k_j \quad (3)$$

Sequencialmente, calculamos o fluxo de sobreclassificação positivo (Equação 4), o qual indica o quanto aquela alternativa sobreclassifica as demais e o fluxo de sobreclassificação negativo (Equação 5), que indica o quanto aquela opção é sobreclassificada pelas demais.

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

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a,b) \quad (5)$$

Por conseguinte, calculamos o fluxo de sobreclassificação líquido, a partir da Equação 6.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (6)$$

Por fim, estabelecemos relações de preferência estrita ou indiferença entre as alternativas. As condições para isso podem ser observadas na Equação 7.

$$\begin{cases} aPb, se\ \Phi(a) > \Phi(b) \\ aIb, se\ \Phi(a) = \Phi(b) \end{cases} \quad (7)$$

Sequencialmente, aplicamos a análise de sensibilidade (Etapa 10), a qual consiste em variar os dados de entrada de parâmetros que possuem incerteza em sua inferência. Com isso, realizamos a análise de resultados, para assim deduzir uma proposição de recomendações (Etapa 11) para o decisor poder realizar a implementação da decisão (Etapa 12).

4. Aplicação do Modelo

O modelo foi utilizado para resolver o problema de seleção de passagens aéreas de um brasileiro que possui residência fixa atualmente na capital da Alemanha, Berlim e realiza com frequência viagens entre os aeroportos: BER e GRU. Portanto, ele foi caracterizado como o decisor do problema e também como especialista, por ter buscado os dados factuais utilizados.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

Por meio das preferências do decisor, foram identificados os objetivos do problema (Etapa 2), os quais eram: reduzir o custo pago em passagens, reduzir o número de escalas durante o voo, realizar a viagem em um horário melhor, diminuir o tempo total dela, viajar em uma companhia aérea bem avaliada e ter acesso a um bom serviço de bordo. Com base nesses desejos, determinou-se os critérios (Etapa 3). A Tabela 1 apresenta os critérios, as definições, as unidades de medidas, as direções, os tipos de escalas, bem como o *score* de cada um dos seis critérios.

Tabela 1 - Descrição dos critérios do estudo de caso

Critério	Definição	Unidade de medida	Direção	Tipo de Escala
Custo total	Valor total do custo da passagem com despache de uma mala de 23 quilos	€ (euro)	Minimização	Natural
Escalas/conexões do voo	Quantidade total de escalas e/ou conexões do voo	Quantidade de escalas	Minimização	Natural
Horário da decolagem	Escala ordinal crescente dos horários de decolagem do voo em 6 níveis de preferência	-	Minimização	Construída (ordinal)
Tempo total de viagem	Somatória do tempo total de voo e tempo de espera entre escalas e/ ou conexões	Minutos	Minimização	Natural
Reclamação da companhia aérea	Quantidade de reclamação a cada 1000 passageiros que a companhia aérea obteve no 2º semestre de 2023	Quantidade de reclamações	Minimização	Construída
Qualidade do serviço de bordo	Classificação por companhia aérea de acordo com uma consultoria inglesa	Quantidade de estrelas (1 a 5)	Maximização	Natural

Fonte: Autores (2024)

Para o critério "Horário da decolagem", foi estabelecida a escala ordinal crescente construída de seis níveis, conforme mostrado na Tabela 2. Essa escala foi elaborada com base nas preferências do decisor. Isso significa que voos com decolagem entre os horários 20:01 às 00:00 são os mais preferíveis pelo decisor por estarem no primeiro nível, já o segundo intervalo preferível é entre 17:01 e 20:00 e assim sequencialmente. Como o primeiro nível é preferível que o segundo, sendo mais desejado que o terceiro e assim por diante, este critério mostra direcionamento de minimização, ou seja, quanto mais próximo do primeiro nível, mais desejável é o horário de decolagem.

Tabela 2 – Níveis do critério "Horário da Decolagem"

Nível	Intervalo de horário
1º	20:01 às 00:00
2º	17:01 às 20:00
3º	13:01 às 17:00
4º	09:01 às 13:00
5º	07:01 às 09:00
6º	00:01 às 07:00

Fonte: Autores (2024)

Já para o critério "Reclamação da companhia aérea" foi necessário realizar o cálculo para cada uma das 9 companhias aéreas presentes nas alternativas da matriz de consequências, empresas estas que realizam voos para os trechos BER-GRU. Para a base do cálculo foi utilizado a quantidade total de reclamações que a respectiva companhia recebeu na ANAC, através do portal <consumidor.gov.br> dividido pela quantidade total de passageiros no mesmo período, números disponibilizados no relatório de demanda e oferta. O período considerado foi entre 01 de julho de 2023 a 31 de dezembro de 2023, como podemos ver na Tabela 3 [ANAC 2024].

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

Tabela 3 – Detalhes do percentual de reclamações das companhias aéreas

Companhia Aérea	Quantidade total de passageiros	Quantidade total de reclamações finalizadas	Percentual de reclamações por companhia aérea	Quant. de reclamações a cada 1000 passageiros
Cia Aérea 1	18186977	16533	0,09%	0,91
Cia Aérea 2	1016356	1650	0,16%	1,62
Cia Aérea 3	371073	279	0,08%	0,75
Cia Aérea 4	222900	163	0,07%	0,73
Cia Aérea 5	167767	245	0,15%	1,46
Cia Aérea 6	159801	175	0,11%	1,10
Cia Aérea 7	144721	705	0,49%	4,87
Cia Aérea 8	128761	162	0,13%	1,26
Cia Aérea 9	119091	72	0,06%	0,61

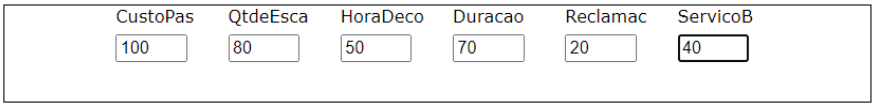
Fonte: Autores (2024)

Para o critério "Qualidade do serviço de bordo" foi utilizado a classificação disponibilizada por uma consultoria inglesa que realiza a auditoria e análise do mercado de aviação desde 1999 para companhias aéreas do mundo todo. A consultoria aplica classificações entre 1 estrela e 5 estrelas, que consistem em avaliar aspectos considerando desde o conforto do assento, a qualidade de refeições, limpeza do banheiro, qualidade das refeições, entre outros.

A matriz de consequência do problema foi elaborada consoante a disponibilidade das passagens nos *sites* das próprias 9 companhias aéreas que realizam a viagem com origem em BER para o destino em GRU. As informações de cada opção foram obtidas através de uma pesquisa padronizada para uma viagem simulada no dia 01 de novembro de 2024, para uma pessoa adulta, na classe econômica, com direito a uma mala de 23Kg despachada inclusa no valor, como pode ser visto na Tabela 5. É importante ressaltar que as informações foram coletadas e inferidas no mesmo dia com proximidade de tempo para todas as companhias aéreas. Além disso, esta tabela contempla a análise de alternativas dominadas, em que houve a eliminação de alternativas que eram piores em todos os critérios em relação à outra melhor, resultando em 50 alternativas finais. Ademais, o peso normalizado obtido para o *score* de cada critério também pode ser visualizado na Tabela 5.

O score com pesos normalizados foi obtido através da priorização refletida pelas preferências do decisor através da elicitação direta, estabelecendo pontuações para cada critério de acordo com as preferências do decisor, como podemos ver na figura 2.

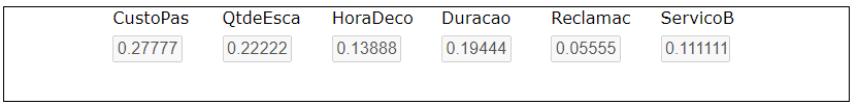
Figura 2 – Elicitação direta dos pesos de cada critério



Fonte: Autores (2024)

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) utilizado para a aplicação do modelo normalizou os pesos, como podemos analisar na Figura 3.

Figura 3 – Normalização dos pesos dos critérios



Fonte: Autores (2024)

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

Tabela 5 – Matriz de Consequências

Cia Aérea	Custo Passagem	Quant. de escala	Horário da decolagem (escala)	Duração da viagem (em minutos)	Quant. de reclamação a cada 1000 passageiros	Qualida de do serviço de bordo
Pesos normalizados	0,277	0,222	0,138	0,194	0,055	0,111
Cia aérea 1 - opção 1	EUR 513,87	2	1	1620	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 10	EUR 799,38	2	3	1110	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 11	EUR 807,19	2	2	1575	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 12	EUR 870,30	2	6	1035	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 13	EUR 941,87	1	2	920	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 14	EUR 1.231,51	1	4	1275	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 15	EUR 1.240,79	1	5	1560	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 2	EUR 591,54	2	1	1615	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 3	EUR 593,55	2	1	1560	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 4	EUR 619,78	2	3	1630	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 5	EUR 628,10	1	5	1025	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 6	EUR 629,46	2	1	1605	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 7	EUR 638,23	2	1	1620	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 8	EUR 663,89	1	2	915	0,91	3
Cia aérea 1 - opção 9	EUR 666,21	2	5	1060	0,91	3
Cia aérea 2 - opção 1	EUR 554,54	1	6	1085	1,62	3
Cia aérea 2 - opção 2	EUR 594,54	1	2	1800	1,62	3
Cia aérea 2 - opção 3	EUR 639,54	1	4	2060	1,62	3
Cia aérea 2 - opção 4	EUR 684,54	2	2	1040	1,62	3
Cia aérea 2 - opção 5	EUR 754,54	1	4	1300	1,62	3
Cia aérea 3 - opção 1	EUR 650,00	1	5	920	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 2	EUR 700,00	1	4	1365	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 3	EUR 705,00	1	5	1695	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 4	EUR 712,00	1	1	895	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 5	EUR 730,00	1	2	1010	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 6	EUR 742,00	1	3	1165	0,75	4
Cia aérea 3 - opção 7	EUR 759,00	1	1	1560	0,75	4
Cia aérea 4 - opção 1	EUR 665,00	1	6	1020	0,73	4
Cia aérea 4 - opção 2	EUR 686,00	1	1	1550	0,73	4
Cia aérea 4 - opção 3	EUR 704,00	2	6	1170	0,73	4
Cia aérea 4 - opção 4	EUR 715,00	2	3	1120	0,73	4
Cia aérea 4 - opção 5	EUR 715,00	2	1	1505	0,73	4
Cia aérea 4 - opção 6	EUR 800,00	2	3	1240	0,73	4
Cia aérea 5 - opção 1	EUR 607,00	2	3	1190	1,46	4
Cia aérea 5 - opção 2	EUR 733,00	2	3	1140	1,46	4
Cia aérea 5 - opção 3	EUR 742,00	1	4	1305	1,46	4
Cia aérea 5 - opção 4	EUR 784,00	1	3	1020	1,46	4
Cia aérea 5 - opção 5	EUR 834,00	1	2	975	1,46	4
Cia aérea 5 - opção 6	EUR 878,00	1	3	1125	1,46	4
Cia aérea 6 - opção 1	EUR 734,87	1	2	850	1,10	4
Cia aérea 6 - opção 2	EUR 751,63	2	3	1085	1,10	4
Cia aérea 6 - opção 3	EUR 752,71	2	3	1025	1,10	4
Cia aérea 7 - opção 1	EUR 655,00	1	2	920	4,87	4
Cia aérea 7 - opção 2	EUR 677,00	2	2	1040	4,87	4
Cia aérea 7 - opção 3	EUR 746,00	1	5	935	4,87	4
Cia aérea 8 - opção 1	EUR 940,05	1	2	1870	1,26	4
Cia aérea 8 - opção 2	EUR 945,05	1	3	2155	1,26	4
Cia aérea 8 - opção 3	EUR 1.105,05	1	4	2090	1,26	4
Cia aérea 9 - opção 1	EUR 722,70	1	2	960	0,61	4
Cia aérea 9 - opção 2	EUR 725,70	1	2	895	0,61	4

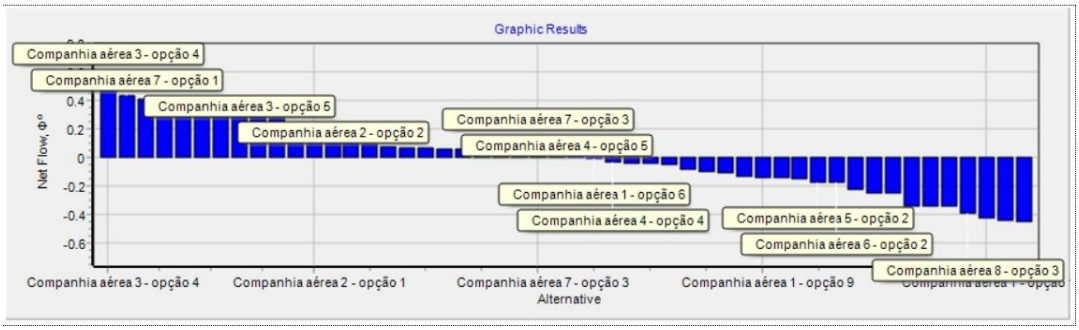
Fonte: Autores (2024)

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

5. Discussão dos Resultados

A matriz de consequências acima foi utilizada como base para a aplicação do PROMETHEE II com o auxílio do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) oferecido pelo INCT – INSID (Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Decisão dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia) e o CDSID-UFPE (*Center of Decision Systems and Information Development* da Universidade Federal de Pernambuco), disponível em <http://www.cdsid.org.br>, que forneceu como resultado a ordenação completa, como podemos visualizar na Figura 4.

Figura 4 – Ordenação completa das alternativas do método PROMETHEE II



Fonte: Autores (2024)

Avaliando a Figura 4, podemos perceber que a ordenação das alternativas se deu pelo resultado do cálculo do fluxo líquido, em que quanto maior o valor do fluxo líquido, melhor é a posição da alternativa. As três alternativas melhor colocadas foram respectivamente: 1ª: "Companhia aérea 3 – opção 4", 2ª: "Companhia aérea 7 – opção 1" e 3ª: "Companhia aérea 9 – opção 2", como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – As três melhores alternativas e os respectivos fluxos líquidos

Posição	Cia Aérea	Custo Total (EUR)	Quant. de escala	Horário da decolagem (escala)	Duração da viagem (em minutos)	Quant. de reclamação a cada 1000 passageiros	Qualidade do serviço de bordo	Fluxo Líquido
1ª	Cia aérea 3 - opção 4	666,00	1	1	895	0,75	4	0,4938
2ª	Cia aérea 7 - opção 1	655,00	1	2	920	4,87	4	0,4331
3ª	Cia aérea 9 - opção 2	725,70	1	2	895	0,61	4	0,4099

Fonte: Autores (2024)

Com base nos resultados, podemos analisar que o método PROMETHEE II ordena as alternativas segundo as preferências do tomador de decisão, cuja priorização é estabelecida pelos fluxos líquidos resultantes de cada alternativa. Entre as alternativas classificadas em 1º e 3º lugares, observamos que, nos critérios "Quantidade de escalas", "Duração da viagem" e "Qualidade do serviço de bordo", os valores são iguais. No entanto, mesmo que a 1ª alternativa tenha uma quantidade maior de reclamações, sendo este um critério de minimização, ela não é penalizada por esse desempenho pior, dado que a racionalidade é não compensatória. Analisando o critério custo da passagem, esse é o critério com o *maior* score entre todos os outros em que, juntamente com o critério "Horário de decolagem", aumentam o grau de sobreclassificação da 1ª alternativa em relação à 3ª colocada.

A mesma linha de raciocínio pode ser aplicada para as alternativas que ficaram na 1ª posição e a 2ª posição: mesmo que a 2ª melhor alternativa traga menor preço que a 1ª posição (ou seja, um desempenho melhor), a 1ª colocada, possui horário de decolagem melhor, duração de

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

viagem menor e quantidade de reclamação menor (ou seja, melhores desempenhos), corroborando para um fluxo de sobreclassificação maior que a 2ª posição.

Já as piores alternativas apresentadas pelo PROMETHEE II foram: 48ª: "Companhia aérea 1 – opção 11", 49ª: "Companhia aérea 1 – opção 15" e 50ª: "Companhia aérea 1 – opção 12", mostradas na Tabela 7.

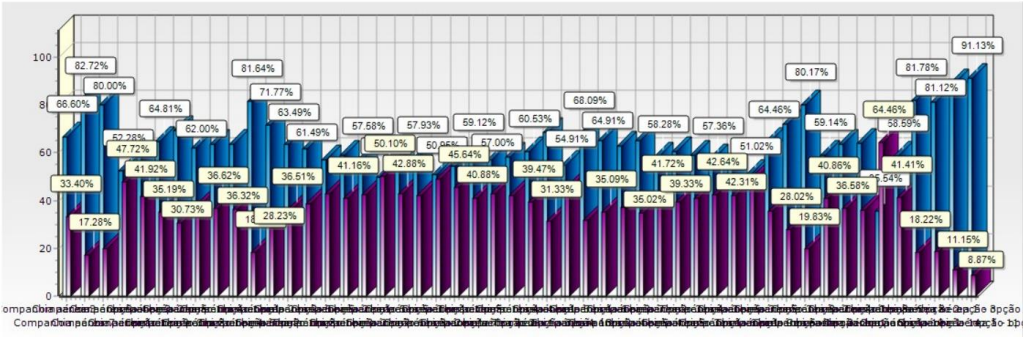
Tabela 7: As três piores alternativas e os respectivos fluxos líquidos

Posição	Cia Aérea	Custo Total	Quant. escala	Horário da decolagem	Duração da viagem	Quant. de reclamação a cada 1000 passageiros	Qualidade serviço de bordo	Fluxo Líquido
48ª	Companhia aérea 1 - opção 11	EUR 807,19	2	2	1575	0,91	3	-0,4274
49ª	Companhia aérea 1 - opção 15	EUR 1.240,79	1	5	1560	0,91	3	-0,4427
50ª	Companhia aérea 1 - opção 12	EUR 870,30	2	6	1035	0,91	3	-0,4518

Fonte: Autores (2024)

Para verificar como variações na entrada dos dados afetariam a ordenação obtida, o SAD do PROMETHEE II permite realizar a análise de sensibilidade. Para tal finalidade, foram consideradas faixas de variações de mais ou menos 10% nos valores do critério "Duração de voo", haja vista a incerteza sobre sua inferência, posto que pode haver variações no tempo de voo, devido a atrasos e fatores climáticos, e isso é um fator não controlado. Concomitantemente, variações de mais ou menos 10% sobre o *score* de todos os critérios foram realizadas, a fim de analisar se a solução do modelo possui sensibilidade em relação a variações nos dados de entrada. Desse modo, o resultado dessa análise pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Resultados da Análise de sensibilidade



Fonte: Autores (2024)

Através da análise de sensibilidade percebe-se boa robustez em relação à variação da ordenação das alternativas: a passagem da "Companhia aérea 3 – opção 4" apontada como primeiro lugar pelo PROMETHEE II ficou nesta posição em 66.60% dos mais de 1 milhão de casos distintos testados, conforme a distribuição uniforme. Já o segundo lugar com a passagem da "Companhia aérea 7 – opção 1" manteve um índice de robustez de 82,72% e o 3 colocado com a passagem da "Companhia aérea 9 – opção 2" manteve a respectiva posição em 80% dos casos. Na maioria das situações, as primeiras posições variam entre elas, indicando que o *ranking* pode variar conforme os parâmetros, porém essa variação de posições não é tão grande. É interessante analisar que as piores alternativas têm uma alta robustez, ou seja, mesmo havendo variações como realizadas na análise de sensibilidade, elas continuarão na maior parte dos cenários sendo as piores opções. Nessa perspectiva, infere-se que a solução do modelo é robusta e, a variação analisada ocorre devido à grande quantidade de alternativas.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

6. Considerações Finais

O artigo descreveu a aplicação de um modelo multicritério para apoio à tomada de decisão, utilizando o método PROMETHEE II, escolhido por sua simplicidade, clareza e estabilidade. Esse método foi utilizado para ordenar as passagens aéreas disponíveis para o trecho BER-GRU, fornecendo um *ranking* das ações.

Com a aplicação do modelo, estabeleceu-se uma pré-ordem total das alternativas. A partir desses resultados, obteve-se que as alternativas "Companhia aérea 3 – opção 4", "Companhia aérea 7 – opção 1" e "Companhia aérea 9 – opção 2" foram as que ficaram em melhores posições. Ao aplicar os dados de entrada no processo de análise de sensibilidade, notou-se que a solução do modelo apresenta uma boa robustez.

Através dos resultados alcançados, pode-se concluir com esse estudo, que o modelo proposto atingiu o seu objetivo e foi capaz de atender às expectativas do decisor. Por ser uma problemática de ordenação, os resultados forneceram uma pré-ordem total de modo a sugerir uma priorização de passagens aéreas.

Destaca-se que a aplicação do PROMETHEE II foi realizada por meio do SAD, permitindo uma visualização gráfica dos resultados e facilitando a compreensão pelo decisor. Além disso, os principais benefícios da utilização do SAD concernem ao fato de que ele torna mais rápido o processo de avaliação das alternativas e a realização do processo de análise de sensibilidade, a fim de analisar a robustez das alternativas.

Ademais, é importante ressaltar que o presente artigo demonstrou um modelo de apoio à decisão que pode auxiliar pessoas que buscam passagens aéreas. Desse modo, é importante destacar que a relevância desse estudo se pauta no fato que ele fornece sugestões mais adequadas para o decisor, as quais consideram múltiplos fatores e que podem auxiliar em, por exemplo, uma melhor gestão de custos de viagem e a promoção de uma viagem menos cansativa, com uma menor quantidade de escalas e em um horário melhor, conforme preferências individuais.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a adição de novos critérios relevantes ao problema, tais como: tempo de desistência da compra da passagem, percentual de atrasos e cancelamento de voos. Sugere-se também a adição de novas alternativas e a ampliação desse modelo para seleção de passagens de outros modais de transporte ou para seleção de passagens em outros aeroportos.

7. Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente apoiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. Relatório de demanda e oferta. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGRjNjdhOWUtYTJhNy00OGM2LTkzYWQtZTlmZjU3NmJlZTFlIiwidCI6ImI1NzQ4ZjZlLWI0YTQtNGIyYi1hYjJhLWVmOTUyMjM2ODM2NiIsImMiOjR9

BARAT, J. (2010). Panorama e perspectivas para o transporte aéreo no Brasil e no mundo. *IPEA-INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA. Infraestrutura econômica no Brasil: diagnósticos e perspectivas para, 2025*, 339-400.

Baydaş, M., Elma, O. E., & Pamučar, D. (2022). Exploring the specific capacity of different multi criteria decision making approaches under uncertainty using data from financial markets. *Expert Systems with Applications*, *197*, 116755.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br

Bell, D. E., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1977). *Conflicting objectives in decisions*. John Wiley & Sons.

Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.

de Almeida, A. T. (2000). *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. Editora Atlas SA.

de Almeida Filho, A. T., Clemente, T. R., Morais, D. C., & de Almeida, A. T. (2018). Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, *264*(2), 453-461.

Dožić, S. (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, *79*, 101683.

FERREIRA, J. C. (2018). *Inovação, mercado e estratégias concorrenciais na aviação comercial brasileira* (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Ciências Humanas e Sociais)–Universidade Federal do ABC, Santo André).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IPCA – Variação mensal, acumulada no ano, acumulada em 12 meses e peso mensal para o índice geral, grupos e subgrupos, itens e subitens de produtos e serviços (a partir de janeiro/2020). https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7060#/n1/all/n7/all/n6/all/v/66/p/last%201/c315/all/d/v66%204/l/,p+t+v,c315/resultado

Köksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2016). An early history of multiple criteria decision making. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 3-17.

Kulakli, A., & Şahin, Y. (2023). A Combined MCDM Approach for Improvement of Airlines' Ground Operations Performance: A Case Study from Türkiye.

Macharis, C., & Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport policy*, *37*, 177-186.

Roy, B. (2013). *Multicriteria methodology for decision aiding* (Vol. 12). Springer Science & Business Media.

SMITH, M. JR. The airline encyclopedia, 1909–2000. Lanham: The Scarecrow Press, 2002.

Truong, D., Pan, J. Y., & Buaphiban, T. (2020). Low cost carriers in Southeast Asia: how does ticket price change the way passengers make their airline selection?. *Journal of Air Transport Management*, *86*, 101836.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193791
https://proceedings.science/p/193791?lang=pt-br