



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MANOEL LUCAS SOUSA RIBEIRO

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA AVALIAÇÃO HOLÍSTICA PARA A REDUÇÃO
DO NÚMERO DE CICLOS NO MÉTODO FITRADEOFF**

RECIFE

2023

MANOEL LUCAS SOUSA RIBEIRO

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA AVALIAÇÃO HOLÍSTICA PARA A REDUÇÃO
DO NÚMERO DE CICLOS NO MÉTODO FITRADEOFF**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Produção.

Orientador (a) : Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida

Coorientador (a) : Prof^a. Dra. Eduarda Asfora Frej

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Ribeiro, Manoel Lucas Sousa.

Análise da contribuição da avaliação holística para a redução do número de ciclos no método FITradeoff / Manoel Lucas Sousa Ribeiro. - Recife, 2023.
79 : il., tab.

Orientador(a): Adiel Teixeira de Almeida

Cooorientador(a): Eduarda Asfora Frej

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Produção - Bacharelado, 2023.

1. Elicitação por decomposição. 2. Avaliação holística. 3. Método FITradeoff. 4. MCDM/A. 5. Simulação. I. Almeida, Adiel Teixeira de . (Orientação). II. Frej, Eduarda Asfora. (Coorientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)

MANOEL LUCAS SOUSA RIBEIRO

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA AVALIAÇÃO HOLÍSTICA PARA A REDUÇÃO
DO NÚMERO DE CICLOS NO MÉTODO FITRADEOFF**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Produção.

Aprovado em: 27/04/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dra. Danielle Costa Morais

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que a mim foi dada, reconheço que, infelizmente, nem todas as pessoas tem acesso a instituições de nível superior de tamanha qualidade.

Agradeço à minha família, pai, avós, irmãs e em especial a minha mãe Lusía, sem dúvidas, ela foi quem mais lutou para que eu pudesse chegar até aqui, desde a educação básica, até os dias atuais, ela sempre fez questão de que eu pudesse ter as oportunidades que ela não teve.

Agradeço aos meus amigos que fizeram esta caminhada mais bonita e alegre, em especial a Yan Ribeiro, Larissa Barcellos, Paolla Polla, Adriana Marques, Yara Ginane, e vários outros amigos que fiz nessa jornada, vocês foram os melhores companheiros que eu poderia ter. Amo-vos!

Agradeço aos meus professores, nas pessoas do Professor Adiel, Professora Eduarda e Professora Lúcia, que se dispuseram a me orientar e dar suporte neste processo. Seus ensinamentos e sua disponibilidade em me apoiar foram essenciais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Tenho certeza que o trabalho por vocês realizado trará muitos frutos para a sociedade.

Gostaria ainda de agradecer a Professora Cleide Martins, que me disse um dia que a resolução de problemas complexos requer mais que o apego a umas poucas contas, que é necessário visualizar e entender o espaço. Bem, não sei se foi proposital, mas seus conselhos e a maneira direta de me dizer que eu estava errando, me ajudaram a desenvolver qualidades muito importantes que me fizeram chegar aqui: resiliência, curiosidade e confiança em mim mesmo.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Pernambuco, que me assistiu durante o período da graduação, fornecendo suporte financeiro e garantindo a minha permanência na universidade, bem como os órgãos de fomento à pesquisa, CNPq e FACEPE, que também disponibilizaram bolsas neste período.

RESUMO

No mundo real existe uma gama de problemas que requerem a avaliação de múltiplos objetivos que frequentemente podem apresentar conflitos entre si. A este tipo de problema pode-se aplicar as ferramentas de apoio a decisão multicritério desenvolvidas e apresentadas na literatura relacionada a área de MCDM/A (Multicriteria Decision Making/Aiding). Um método de apoio a decisão multicritério que merece destaque é o FITradeoff (Flexible and Interactive Tradeoff), que permite a elicitación das constantes de escala do Modelo Aditivo com base em informação parcial. O método em si representa uma inovação em relação a outros métodos aditivos e, recentemente, passou a incorporar, além da tradicional elicitación por decomposição, a possibilidade de realização de avaliações holísticas, o que configura uma nova fonte de informação para o modelo além de se tratar de mais uma inovação. Apesar de diversos trabalhos apontarem o potencial desta combinação de paradigmas de modelagem de preferências para o aumento da eficiência do FITradeoff, nenhum trabalho teve como foco avaliar se, de fato, a avaliação holística contribui significativamente para a redução do número de ciclos da elicitación de preferências. Assim sendo, o presente trabalho utiliza técnicas de simulação para avaliação da contribuição promovida pela realização de avaliações holísticas para a diminuição do número de perguntas feitas ao decisor no FITradeoff para problemática de escolha, inclusive analisando a influência de variáveis como o número de critérios, o número de alternativas, a distribuição dos pesos, bem como o tipo de procedimento realizado (seleção ou eliminação). Nas observações realizadas, foi possível concluir que a avaliação holística contribui de forma relevante para o aumento da eficiência do método, além disso, essa contribuição é afetada pelas variáveis estudadas. Dentre as limitações da pesquisa, destaca-se o curto período de tempo, que não permitiu incluir no escopo da pesquisa o estudo referente à problemática de ordenação e o estudo da estatística inferencial com base na amostra obtida.

Palavras-chave: Elicitación por decomposição, Avaliação holística, Método FITradeoff, MCDM/A, Simulação.

ABSTRACT

In the real world, several problems imply the necessity of evaluating multiple and often conflicting objectives. To solve that kind of problems, the literature on MCDM/A (Multicriteria Decision Making/Aiding) present a series of valuable methods. The FITradeoff method (Flexible and Interactive Tradeoff) stands out for supporting the elicitation of the additive model scaling constants while asking the decision maker (DM) to provide partial/incomplete information. The method itself already is innovative, and it keeps being improved. Recently it was proposed the combination of two different paradigms for preference elicitation in the FITradeoff, which are the elicitation by decomposition and the possibility of performing holistic evaluations. Such combination not only incorporates a new source of information to the model, but also promotes an increase in the method's efficiency. Although many authors discuss about the benefits of that combination, no other work in literature focused on the investigation of the reduction of question cycles after stating holistic judgments. Having said that, this work applies simulation techniques to the analysis of holistic evaluation contribution for reducing the question cycles in FITradeoff for choice problematic. For that purpose, it is also analyzed the influence of variables such as the number of criteria and alternatives, the weights distribution, besides the procedure performed (selecting the best alternative, or eliminating the worst one). From the observations, it is possible to conclude that the holistic evaluations in fact makes the elicitation process faster, besides, this contribution is affected by all the variables studied. The main limitation of this research is that the study focus only on the descriptive statistics and the results are analyzed considering only the FITradeoff for choice problematic.

Keywords: Decomposition elicitation, Holistic evaluation, FITradeoff method, MCDM/A, Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Consequências Hipotéticas na Elicitação por Decomposição	22
Figura 2. - Exemplos de Visualização para a Avaliação Holística.....	23
Figura 3 - Exemplos de Distribuições de Pesos	42
Figura 4. - Fluxograma das etapas realizadas na simulação.....	45
Figura 5 - Número de Alternativas Potencialmente Ótimas Após a Ordenação das Constantes de Escala Obtidas nas Simulações.....	48
Figura 6 - Número de Alternativas Comparadas Através de Avaliações Holísticas	49
Figura 7 – Taxa de Redução Dado o Número de Alternativas do Problema.....	54
Figura 8 - Taxa de Redução Dado o Número de Critérios e Alternativas (Seleção).....	56
Figura 9 - Taxa de Redução Dado o Número de Critérios e Alternativas (Eliminação).....	57
Figura 10 – Percentual de Redução Dado o Número de Alternativas Comparadas na Avaliação Holística.....	58
Figura 11 – Percentual de Redução Dado o Número de Critérios do Problema	58
Figura 12 – Taxa de Redução Dado a Razão Entre o Maior e o Menor Peso	59
Figura 13 – Número de APOs eliminadas pelo procedimento de seleção.....	61
Figura 14 – Número de APOs eliminadas pelo procedimento de eliminação.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenários simulados.....	43
Tabela 2 - Percentual de redução do número de perguntas em cada cenário	50
Tabela 3 – Resumo das observações da QP1	51
Tabela 4 - Percentual de Redução do Número de Ciclos por Cenário de Seleção	52
Tabela 5 - Percentual de Redução do Número de Ciclos por Cenário de Eliminação	53
Tabela 6 - Proporção de casos em que houve redução (R) e casos em que não houve redução (N) ao se realizar uma Avaliação Holística	62
Tabela 7 – Resumo dos Resultados Obtidos	63

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	13
1.2.1. Objetivo geral.....	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1.1. Problemas de Decisão Multicritério	15
2.1.2. Modelo Aditivo Determinístico	16
2.1.3. Flexible and Interactive Tradeoff.....	18
2.1.4. Combinação dos Paradigmas para Elicitação de Preferências no Método FITradeoff.....	21
2.2. REVISÃO DA LITERATURA	24
2.2.1. Métodos de Apoio a Decisão com Informação Parcial	24
2.2.2. Procedimentos de Elicitação de Preferências	26
2.2.3. Uso de Técnicas de Simulação para Avaliação de Métodos Multicritério	29
2.2.4. Aplicações do Método FITradeoff para resolução de problemas de decisão	30
2.3. SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO	35
2.4. QUESTÕES DE PESQUISA	36
2.4.1. QP1: Qual o percentual de redução do número de perguntas realizadas no método FITradeoff para a problemática de escolha ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?... 36	36
2.4.2. QP2: Dentre os procedimentos de seleção e eliminação na avaliação holística, qual destes apresenta uma maior contribuição para a redução do número de perguntas?	36
2.4.3. QP3: O aumento no número de alternativas do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?	38
2.4.4. QP4: O aumento no número de critérios do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?	38
2.4.5. QP5: Como a distribuição dos pesos afeta a performance da avaliação holística para redução do número de perguntas?	39
2.4.6. QP6: Qual o percentual médio de redução do número de alternativas potencialmente ótimas ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?	39
3. METODOLOGIA E DESENHO DO EXPERIMENTO	40

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	40
3.2. DESIGN DO EXPERIMENTO	40
3.2.1. Definição do número de critérios e alternativas	41
3.2.2. Definição dos padrões de pesos utilizados para as simulações	41
3.2.3. Cenários simulados.....	43
3.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO	44
4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	48
4.1. RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS DE PESQUISA.....	49
4.1.1. QP1: Qual o percentual de redução do número de perguntas realizadas no método FITradeoff para a problemática de escolha ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?... 50	
4.1.2. QP2: Dentre os procedimentos de seleção e eliminação na avaliação holística, qual destes apresenta uma maior contribuição para a redução do número de perguntas?	52
4.1.3. QP3: O aumento no número de alternativas do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?	54
4.1.4. QP4: O aumento no número de critérios do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?	58
4.1.5. QP5: Como a distribuição dos pesos afeta a performance da avaliação holística para redução do número de perguntas?	59
4.1.6. QP6: Qual o percentual médio de redução do número de alternativas potencialmente ótimas ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?	60
4.2. RESUMO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
5.1 CONCLUSÕES	67
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

No âmbito da Pesquisa Operacional, são desenvolvidos diversos modelos e técnicas para auxiliar na resolução de problemas reais, fornecendo um importante suporte a tomada de decisão. Apesar de, neste contexto, muitos problemas terem sido analisados através de uma única dimensão, frequentemente financeira, existem muitas situações que requerem a avaliação de múltiplas dimensões/objetivos afim de se tomar decisões adequadas (De Almeida, 2013).

Problemas de localização de instalação, seleção de projetos e gestão de portfólio, seleção de fornecedores, definição de estratégias para ações públicas (campanhas de vacinação, campanhas de conscientização e combate de endemias, etc.), avaliação de aspectos da qualidade de produtos e serviços, entre outros, são exemplos de situações que requerem a avaliação de múltiplos objetivos, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas que possibilitem a melhoria do processo decisório também nestes contextos.

O Método FITradeoff (De Almeida et al, 2016) tem grande relevância dentre os métodos de critério único de síntese no contexto da Teoria do Valor Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976) por auxiliar o decisor na tomada de decisão de maneira flexível e interativa. O método se apresentou como uma importante inovação ao demonstrar forte estrutura axiomática e promover a redução do esforço cognitivo do decisor.

Agora, o método agrega mais uma inovação, a combinação de dois paradigmas distintos para a eliciação de preferências que até então eram utilizados de maneira separada pelos métodos de decisão, a avaliação holística e a eliciação por decomposição (De Almeida, Frej & Roselli, 2021). Da Silva *et al* (2021) discorrem que poucos métodos utilizam a avaliação holística para a eliciação de preferências junto ao decisor, o FITradeoff, todavia, não só permite sua utilização, como apresenta a flexibilidade de alternar entre as avaliações holísticas e a informação de preferências a partir da decomposição.

De acordo com De Almeida, Frej & Roselli, (2021) a combinação dos dois paradigmas para a eliciação de preferências apresenta duas principais contribuições, a primeira se trata da inclusão de uma fonte alternativa de informação para o modelo multicritério enquanto a segunda se refere ao aumento da eficiência do método FITradeoff gerado pela aceleração do processo de eliciação das preferências.

O conceito de eficiência abordado neste trabalho, se refere especificamente à quantidade de perguntas respondidas para que se obtenha a solução do problema de decisão, desta forma, o aumento da eficiência do método representa acelerar a eliciação das preferências do decisor.

Em se tratando da aceleração do processo de elicitación, tal contribuição pode ser explicada a partir da restrição adicional que é incluída no modelo de programação linear utilizado para a avaliação das alternativas. Como no FITradeoff se utiliza uma escala intervalar para a realização de perguntas na elicitación por decomposição, a informação obtida através deste procedimento relaciona um par de constantes de escala. Em se tratando da informação obtida através da avaliação holística, a restrição incluída no modelo relaciona todas as constantes de escala de maneira simultânea, podendo limitar mais o espaço de pesos.

Além disso, vale ressaltar que como a avaliação holística é realizada utilizando-se alternativas reais do problema, cada avaliação realizada implica necessariamente a redução do número de potenciais alternativas ótimas na problemática de escolha (De Almeida et al, 2016). A holística pode, portanto, ser utilizada para fornecer informação adicional ao modelo ou para finalizar o processo, quando a finalização depende do estabelecimento da relação de dominância entre as alternativas avaliadas ou mesmo quando a informação adicionada for suficiente para restringir o espaço de tal forma que já se possa obter a solução do problema (De Almeida, Frej & Roselli, 2021).

Em se tratando do número de perguntas realizadas na elicitación por decomposição no FITradeoff, Mendes *et al* (2020) conduziram um estudo de simulação para investigar a performance do método quando comparado com o *benchmarking* de $3(N - 1)$, que seria o número médio de perguntas para obtenção da solução através do Tradeoff (Keeney & Raiffa, 1976), entretanto, até o presente momento, nenhum trabalho com foco na investigação da contribuição da avaliação holística para a aceleração do processo de elicitación de preferências com o método FITradeoff foi encontrado na literatura.

Sendo assim, o presente trabalho busca analisar os benefícios da combinação dos paradigmas do ponto de vista da eficiência para a convergência aos resultados, promovendo insights relevantes que podem ser avaliados por analistas e pesquisadores da área.

Além disso, esta pesquisa busca responder uma série de questões tais como: qual a redução do número de ciclos na elicitación de preferências promovido pela avaliação holística para a problemática de escolha? Qual o efeito do aumento no número de critérios e alternativas sobre a performance da avaliação holística para redução do número de ciclos da decomposição? A performance da avaliação holística para a redução do número de ciclos é afetada pela distribuição dos valores das constantes de escala? Existe diferença significativa nos efeitos proporcionados pelas avaliações realizadas para seleção e eliminação?

A metodologia utilizada para tanto se baseia em um estudo de simulação computacional para a observação do fenômeno estudado e coleta de dados. Uma série de variáveis são estudadas para que se possa explicar a ocorrência do fenômeno da redução do número de ciclos da elicitación de preferências, tais como o número de critérios, o número de alternativas, a distribuição dos pesos, bem como o tipo de avaliação realizada que pode envolver a seleção da melhor alternativa dentro de um subconjunto de alternativas potencialmente ótimas (APOs) ou a eliminação da pior alternativa do conjunto.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1. Objetivo geral

A pesquisa tem por objetivo geral a avaliação do impacto promovido pela realização de avaliações holísticas na elicitación de preferências no método FITradeoff para a aceleração da convergência para os resultados na problemática de escolha.

1.2.2. Objetivos específicos

Com vistas a alcançar o objetivo do trabalho, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar o percentual de redução no número de perguntas da elicitación por decomposição ao realizar a eliminação e seleção de alternativas por avaliação holística;
- Comparar a eficiência dos procedimentos de seleção e eliminação para redução do número de perguntas necessárias para a convergência da solução;
- Verificar se a eficiência da avaliação holística para redução do número de perguntas é ou não afetada pela distribuição dos pesos, que representam as preferências do decisor;
- Analisar o impacto na eficiência da avaliação holística causado pelo aumento de critérios e alternativas do problema;
- Analisar a razoabilidade da afirmação de que a avaliação holística acelera o processo de elicitación de preferências no método FITradeoff na problemática de escolha.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos. O capítulo primeiro apresenta uma breve introdução ao tema abordado neste trabalho, destacando os objetivos pretendidos com a realização da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, discutindo os conceitos fundamentais para a compreensão do trabalho, bem como a revisão da literatura, que tem por objetivo avaliar o que tem sido produzido na área, inclusive buscando *insights* metodológicos. Este capítulo é finalizado com a síntese do estado da arte e o posicionamento deste trabalho, bem como as questões de pesquisa levantadas observando-se o *gap* presente na literatura.

O capítulo 3 descreve em detalhes a metodologia utilizada para que seja possível a replicação do estudo a qualquer tempo. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com o experimento de simulação bem como discute os resultados obtidos, dando destaque às observações mais relevantes da pesquisa.

Por fim, o capítulo 5 destaca as conclusões obtidas com o trabalho e traça uma perspectiva de trabalhos futuros que podem contribuir para o conhecimento acerca do tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que é essencial para a compreensão do trabalho realizado, bem como a revisão bibliográfica que ajuda a posicionar este trabalho na literatura.

2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção é destinada à apresentação das referências nas quais o presente trabalho se baseia, servindo, assim, como uma breve introdução aos temas. O entendimento dos quatro temas apresentados a seguir é fundamental para a compreensão do presente trabalho

2.1.1. Problemas de Decisão Multicritério

De acordo com De Almeida (2013) um problema multicritério pode ser caracterizado pela presença de alternativas a serem avaliadas com o propósito de atender a um conjunto específico de objetivos de maneira integrada. Neste contexto, os objetivos representam a razão pela qual se tem interesse na situação/problema e sua identificação requer dedicação e tempo por parte dos interessados (Keeney, 1992).

Segundo Keeney (1992) para que a mensuração do nível de satisfação dos objetivos seja possível, estes devem ser associados a atributos ou critérios de avaliação, que são variáveis a serem mensuradas, e devem ser igualmente aplicáveis para a avaliação de todas as alternativas do problema.

Tendo-se definido o conjunto de critérios e alternativas do problema de decisão, constrói-se uma matriz contendo a performance de cada alternativa em cada critério considerado, estas performances representam as consequências ou *payoffs* que, por sua vez, se associam aos benefícios obtidos ao se escolher cada uma das alternativas. As consequências das alternativas, conforme discutido por De Almeida (2013), podem ser determinísticas, quando se tem uma condição de certeza associada as consequências, ou probabilísticas, quando se reconhece a dependência destes *payoffs* aos estados da natureza, sendo diferentes métodos aplicáveis a cada uma destas situações.

Ainda segundo De Almeida (2013), o tratamento dos problemas de decisão multicritério envolvem a identificação de certos fatores, conforme apresentado a seguir:

Atores do processo decisório: são as pessoas envolvidas no processo de tomada de decisão, aqueles interessados no resultado do processo. Dentre os possíveis atores pode-se citar o

decisor, uma ou mais pessoas responsáveis pela decisão, o analista, que auxilia ao longo do processo de estruturação, modelagem e resolução do problema, os especialistas, que fornecem informações relevantes ao processo, além dos *stakeholders*, que não têm poder de decisão, mas tentam influenciar no processo;

- Problemática de decisão: se relaciona ao propósito da resolução do problema, mas especificamente, trata do formato dos resultados. Segundo a literatura, as problemáticas são escolha, se deseja identificar a melhor alternativa do conjunto, ordenação, deseja-se construir o *ranking* das alternativas, classificação, onde se deseja alocar as alternativas em diferentes classes, descrição, em que se deseja descrever o espaço de ações, e portfólio, quando se deseja selecionar um conjunto de alternativas dentro do espaço de ações;
- Estrutura de preferência e racionalidade do decisor: a estrutura de preferências do decisor diz respeito às comparações que podem ser realizadas entre as alternativas, dentre as relações pode-se elencar a preferência estrita (P), preferência fraca (Q), indiferença (I), incomparabilidade (R), entre outras. A racionalidade, por outro lado, diz respeito à possibilidade de haver compensação entre os critérios. Estes dois aspectos são muito relevantes para a escolha do método a ser utilizado (se compensatório ou não compensatório).

Tendo-se identificado estes fatores, torna-se possível a escolha do método que possibilitará a resolução do problema evitando, desta maneira, a aplicação equivocada de procedimentos e métodos de apoio a decisão.

2.1.2. Modelo Aditivo Determinístico

Um modelo é uma representação simplificada de uma situação real com base no qual se pode obter aprendizados e direcionar a tomada de decisão. Nesse sentido, o modelo de agregação aditivo é um modelo matemático bastante utilizado por métodos apresentados na literatura para o apoio a decisão multicritério (De Almeida, 2013) que objetiva representar as preferências de um decisor no que se refere ao contexto de decisão multicritério.

No modelo aditivo determinístico, as alternativas do problema são avaliadas em termos de seu valor global que é obtido através da soma ponderada das consequências (Eq. 2.1) em cada critério e dos pesos ou constantes de escala dos critérios do problema (De Almeida, Frej & Roselli, 2021; De Almeida 2013).

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a_{ij}) \quad (2.1)$$

Na equação 2.1, $V(A_i)$ representa o valor global da alternativa A_i , $v_j(a_{ij})$ é a imagem da função valor marginal do critério j quando avaliada na consequência a da alternativa i no critério j , e por sua vez, representa o grau de satisfação obtido pelo decisor com a consequência a_{ij} , além disso, k_j representa a constante de escala ou o peso atribuído ao critério j .

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1 \quad (2.2)$$

Vale ressaltar que a soma das constantes de escala deve ser igual a um, conforme apresentado na Eq. 2.2.

Com base no valor global é possível realizar a escolha da melhor alternativa de ação (De Almeida et al, 2016), elaborar um ranking contendo as mesmas (Frej et al, 2019), aloca-las em classes segundo as preferências do decisor (Kang, Frej e De Almeida, 2020) ou mesmo realizar a seleção de um conjunto de alternativas para a composição de um portfólio (Marques, Frej & De Almeida, 2022; Frej, Ekel & De Almeida; 2021).

De Almeida (2013) argumenta que a simplicidade do modelo aditivo favorece sua ampla utilização, apesar disso, erros podem ocorrer em decorrência da associação das constantes de escala somente com o grau de importância dos critérios. Segundo o autor, elas também têm uma função de transformação de escala, além de representarem a taxa de compensação existente entre os critérios, assim sendo, sua determinação deve levar em consideração o intervalo/amplitude dos valores das consequências do problema estudado.

De acordo com Keeney & Raiffa (1996), a existência de uma função de agregação adicionada está condicionada a verificação da condição de independência preferencial entre os critérios, que de forma simplificada, implica dizer que o nível de performance observado em um critério, não influencia o nível de satisfação atribuído às performances observadas em cada um dos demais critérios. Segundo De Almeida (2013), nem sempre é possível verificar esta condição.

2.1.3. Flexible and Interactive Tradeoff

O FITradeoff – *Flexible Interactive Tradeoff* proposto por De Almeida *et al* (2016) é um método que se destaca no contexto da elicitacão de preferências uma vez que requer apenas informação parcial por parte do decisor, o que reduz o seu esforço cognitivo. Ademais, o método é flexível, o decisor escolhe o momento de parar o processo e como deseja fornecer informações (De Almeida, Frej & Roselli, 2021), além de ser interativo, permitindo que o decisor entenda o efeito de cada nova informação prestada na recomendação o que, segundo a literatura, pode aumentar a confiança do decisor no processo e promover um processo de aprendizado ao longo da elicitacão (Da Silva *et al*, 2021; Dutta *et al*, 2021).

O método se baseia no procedimento tradicional do Tradeoff (Keeney & Raiffa, 1976), entretanto, incorpora o conceito de elicitacão flexível com informação parcial, de forma que não se faz necessária a obtenção de pontos de indiferença para que se possa gerar uma recomendação. Apesar da utilização de informação parcial, reduzindo o esforço cognitivo do decisor, o método mantém uma forte estrutura axiomática, o que permite a utilização de funções valor lineares e não lineares, permitindo modelar as preferências do decisor de forma mais fidedigna.

O FITradeoff foi originalmente concebido para a resolução de problemas na problemática de escolha, que consiste em selecionar a melhor alternativa dadas as preferências do decisor, para tanto, avalia a potencial otimalidade das alternativas a cada iteração, o que separa as alternativas nos seguintes grupos (De Almeida *et al*, 2016):

- Alternativas potencialmente ótimas: são alternativas que apresentam valor global maior ou igual ao valor global de todas as demais alternativas de forma simultânea para pelo menos um vetor de pesos contido no espaço;
- Alternativa dominada: é toda alternativa que tenha seu valor global menor que o de uma outra alternativa qualquer para todos os vetores de pesos contidos no espaço;
- Alternativa ótima: é a alternativa que possui valor global maior que o valor global de todas as alternativas simultaneamente para todo vetor de pesos contido no espaço de pesos obtidos.

O cálculo do valor global é feito seguindo o Modelo Aditivo Determinístico, apresentado na seção 2.1.2, entretanto, como o método não requer a definição de indiferenças, não é possível obter um sistema de equações, mas sim um sistema de inequações contendo infinitas soluções. Dessa forma existirão inúmeras funções de agregação aditiva (representadas

pelos vetores de peso) que satisfazem o sistema e a medida que novas informações vão sendo incorporadas ao modelo, é possível reduzir o conjunto de possíveis soluções.

A cada iteração o método roda um problema de programação linear (PPL) para cada alternativa potencialmente ótima (APO) com o objetivo de testar sua potencial otimalidade, caso a alternativa ainda seja potencialmente ótima, a mesma permanece na avaliação, caso contrário, a mesma é eliminada do conjunto. A solução do problema é, portanto, obtida quando restar apenas uma alternativa (ótima) ou um conjunto de alternativas que sejam consideradas equivalentes de acordo com as preferências do decisor.

No início da elicitación de preferências, o método roda pela primeira vez os problemas de programação linear considerando apenas a informação da ordenação das constantes de escala do modelo. Ao resolver estes PPLs já é possível reduzir o conjunto de soluções potencialmente ótimas e em alguns casos, a própria solução ótima já pode ser obtida. O modelo (denotado nesta pesquisa por modelo I) inicialmente tem inicialmente a seguinte estrutura (De Almeida, Frej & Roselli, 2021):

$$\text{Max} \quad V(A_i) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{ij}) \quad (2.3)$$

s/t

$$k_1 \geq k_2 \geq \dots \geq k_m \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{tj}) \quad i \neq t \quad (2.5)$$

$$k_j \geq 0 \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^m k_j = 1 \quad (2.7)$$

$$j = 1, \dots, m \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

A equação 2.3 representa a função objetivo a ser maximizada, que consiste no valor global da alternativa i . É importante ressaltar que existirão funções de agregação aditivas que podem aumentar ou reduzir o valor de cada alternativa, de forma que se ao selecionar a função valor que maximiza o valor global da alternativa i , a mesma não conseguir superar as demais alternativas, então ela não é mais uma candidata a alternativa ótima.

A inequação 2.4 inclui no modelo a informação da ordenação das constantes de escala, provida pelo decisor no início da elicitação de preferências.

O conjunto de inequações representado em 2.5 configura as restrições de potencial otimalidade da alternativa i , em que se busca um vetor de pesos que faça a alternativa o valor global da alternativa i maior ou igual ao valor global de todas as demais alternativas do conjunto de após, caso não seja possível atender a estas restrições, a alternativa i deixa de ser considerada uma APO e passa para o conjunto de alternativas dominadas.

Por fim, a expressões 2.6 diz respeito ao domínio das variáveis de decisão, a 2.7 garante a normalização dos pesos, enquanto as expressões em 2.8 apresentam os possíveis valores para os índices das variáveis.

À medida que o decisor avança na elicitação de preferências, novas inequações são incluídas no modelo. Estas inequações são responsáveis por modelar as preferências do decisor, uma vez que elas restringirão o espaço de soluções viáveis do problema. Com isso, o modelo (denotado aqui por modelo II) passa a ter a seguinte forma:

$$\text{Max } V(A_i) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{ij}) \quad (2.9)$$

s/t

$$k_1 \geq k_2 \geq \dots \geq k_m \quad (2.10)$$

$$k_j v_j(x'_j) > k_{j+1} \quad (2.11)$$

$$k_j v_j(x''_j) < k_{j+1} \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{tj}) \quad i \neq t \quad (2.13)$$

$$\sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{zj}) > \sum_{j=1}^m k_j v_j(a_{lj}) \quad z \neq l \quad (2.14)$$

$$k_j \geq 0 \quad (2.15)$$

$$\sum_{j=1}^m k_j = 1 \quad (2.16)$$

$$j = 1, \dots, m \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, n \quad (2.17)$$

Além das inequações e da função objetivo já apresentadas no modelo I, o modelo II apresenta as inequações 2.11 e 2.12, que introduzem as relações obtidas ao longo da elicitação por decomposição (este procedimento será discutido na seção 2.1.4).

Além das inequações representadas em 2.14, que são obtidas através de avaliações holísticas, e representam uma fonte alternativa de informação para o modelo, sendo mais amplamente discutidas na seção 2.1.4. De antemão, vale ressaltar que estas inequações relacionam os valores globais das alternativas avaliadas holisticamente, e levam à eliminação de uma delas do conjunto de APO.

2.1.4. Combinação dos Paradigmas para Elicitação de Preferências no Método FITradeoff

De Almeida, Frej & Roselli (2021) geraram mais uma inovação ao combinar dois paradigmas distintos para a elicitação de preferências no método FITradeoff, o que possibilita ao tomador de decisão alternar entre dois procedimentos distintos de elicitação ao longo do processo.

A elicitação por decomposição foi o procedimento de elicitação de preferências inicialmente incluído ao método FITradeoff e consiste num procedimento semelhante ao discutido por Keeney & Raiffa (1976), ilustrado na figura 1, em que duas consequências são apresentadas ao decisor e este deve escolher aquela que lhe traga maior satisfação.

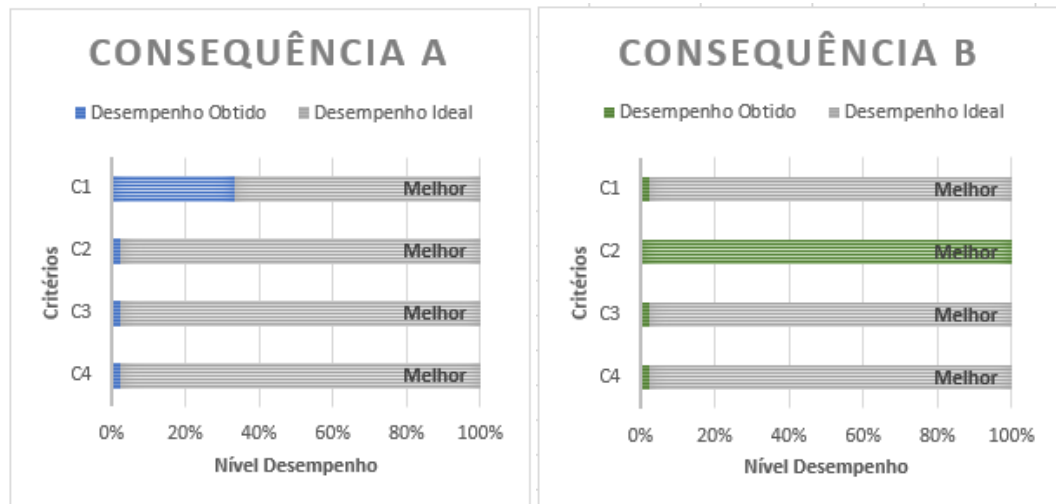
No FITradeoff, a primeira etapa após a introdução dos dados é a realização da avaliação intracritério, que tem por finalidade não somente transformar os valores das consequências para uma escala comum, permitindo sua agregação e gerando a matriz de avaliação (De Almeida, 2013), mas também capturar o nível de satisfação/aspiração do decisor em relação a cada consequência da matriz. Os valores são então transformados e avaliados considerando-se uma escala intervalar, em que para a consequência menos desejável atribui-se o valor 0 e atribui-se o valor 1 para a consequência mais desejável.

Conforme apresentado na figura 1, as perguntas da elicitação por decomposição sempre apresentam uma consequência para a qual se tem uma performance intermediária em um dos critérios e a consequência menos desejável para todos os demais, consequência esta que representa 0% da faixa em se tratando da escala intervalar. A segunda consequência apresenta o desempenho mais preferível em um critério (diferente daquele que tem o desempenho intermediário na primeira consequência), representando 100% da faixa, e o pior desempenho avaliado em todos os demais critérios.

Uma vez que o decisor exprima uma relação de preferência estrita (sendo possível expressar uma indiferença, caso o decisor assim se sinta confiante) por uma das consequências apresentadas, é possível obter uma nova (in)equação para o modelo. Como a escala considerada é intervalar, ao se avaliar o valor global das alternativas hipotéticas, as parcelas que multiplicam

as constantes de escala (ou pesos) referentes aos critérios em que se observam o pior desempenho são multiplicados por zero, devido a escala utilizada na avaliação intracritério, gerando, portanto, in(equações) que relacionam pares de constantes de escala, conforme apresentado nas expressões 2.5 e 2.6.

Figura 1 - Consequências Hipotéticas na Elicitação por Decomposição



Fonte: Adaptado de De Almeida et al (2016)

Como já mencionado, as informações contribuem para a redução do espaço de pesos, consequentemente reduzindo o número de possíveis funções de agregação das preferências do decisor e possibilitando reduzir o conjunto de APOs no problema. Além disso, vale ressaltar que neste procedimento a elicitação de preferências é conduzida no espaço de consequências.

Desde sua proposição inicial, o método já permitia a realização de avaliações holísticas para a finalização do problema, quando o decisor optava por não prosseguir com a elicitação das preferências por já dispor de um resultado parcial satisfatório, agora, o decisor pode optar por intercalar o processo entre os dois procedimentos. Poucos métodos utilizam avaliações holísticas para a elicitação de preferências (Da Silva *et al*, 2021), sendo o FITradeoff o primeiro método a combinar estes dois paradigmas.

Na avaliação holística o decisor tem a possibilidade de comparar alternativas reais do problema e expressar relações de preferência envolvendo as mesmas. Uma vez que os procedimentos de elicitação interativos podem contribuir para a aprendizagem do decisor sobre suas próprias preferências (Da Silva *et al*, 2021; De Almeida, 2013), o decisor pode vir a se

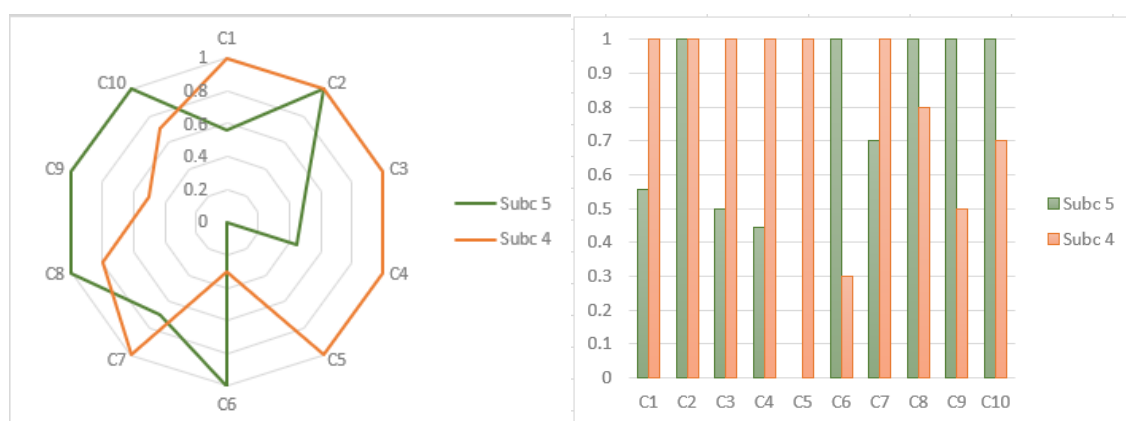
sentir confiante para expressar suas preferências, sendo estas incluídas no modelo de programação linear.

Para que a avaliação holística possa ser realizada, o FITradeoff apresenta quatro tipos distintos de visualização, sendo estas: tabular, gráfico de barras, bolhas e radar (a figura 2 apresenta exemplos de visualização para serem usadas na avaliação holística). O decisor deve então escolher um conjunto de alternativas as quais deseja avaliar holisticamente bem como a visualização com a qual se sinta mais confiante para expressar suas preferências.

Na problemática de escolha, a avaliação holística pode ser conduzida através de dois procedimentos distintos, sendo estes seleção e eliminação. O procedimento de seleção pode ser realizado quando, ao avaliar o subconjunto de alternativas, o decisor se sinta confiante para apontar a melhor alternativa contida no subconjunto avaliado. O procedimento de eliminação, por outro lado, pode ser realizado quando decisor, ao selecionar e avaliar um subconjunto com mais de duas alternativas, se sinta confiante para apontar a pior alternativa daquele subconjunto.

Conforme mencionado, a avaliação holística na problemática de escolha pode ser realizada considerando subgrupos contendo tantas alternativas quanto o decisor desejar avaliar. Em todos os casos, expressões semelhantes as apresentadas em 2.8 serão incluídas no modelo de programação linear, de forma que somente funções de agregação que respeitem tais restrições serão consideradas, reduzindo assim o espaço de pesos viáveis.

Figura 1. - Exemplos de Visualização para a Avaliação Holística



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Há de se considerar que ao realizar a avaliação holística na problemática de escolha, automaticamente se observará uma redução no número de APOs. Com a avaliação holística, a

elicitação de preferências é conduzida no espaço de ações do problema, uma vez que há a exploração das preferências através da avaliação das alternativas reais do problema.

De Almeida, Frej & Roselli (2021) ressaltam que a avaliação holística apresenta duas contribuições principais, a de prover uma fonte adicional de informação para o modelo, que aumenta a flexibilidade do método, e a de acelerar processo de elicitação de preferências uma vez que novas restrições envolvendo todas as constantes de escala simultaneamente são incluídas no modelo, além do impacto direto na redução do conjunto de APOs. Além disso, a avaliação holística pode ser realizada com o intuito de prover informação adicional ao modelo, ou mesmo finalizar o processo.

2.2. REVISÃO DA LITERATURA

2.2.1. Métodos de Apoio a Decisão com Informação Parcial

Ao longo do tempo foram desenvolvidos diversas metodologias e procedimentos que visam fornecer auxílio ao decisor nos mais diferentes contextos e problemáticas, geralmente estes métodos requerem diferentes formas de informação e apresentam um bom desempenho no que concerne à geração de recomendações aos decisores. Atualmente, se observa uma crescente preocupação no que tange à aplicabilidade dos métodos considerando as limitações cognitivas e de tempo dos decisores (Da Silva *et al*, 2021).

Conforme discutido por De Almeida (2013) ao tratar dos problemas de decisão nas organizações, nem sempre os decisores dispõem de tempo hábil para o processo de estruturação e utilização de métodos para resolução de problemas de decisão, gerando assim, uma demanda por procedimentos que não consumam demasiado tempo destes gestores, ademais, o decisor pode não ser capaz de fornecer suas preferências de forma integral e consistente, gerando a necessidade de métodos que apresentem procedimentos estruturados de elicitação e que facilitem este processo (Weber, 1987).

Tendo em vista a dificuldade cognitiva dos decisores em prover informações e parâmetros necessários para os modelos existentes até então, diversos autores se propuseram a desenvolver novos métodos que requerem informações parciais ou incompletas permitindo a melhoria das recomendações a partir da redução de inconsistências envolvidas no processo de modelagem e elicitação de preferências (Da Silva *et al*, 2021; Edward & Barron, 1994).

Edward & Barron (1994) propuseram os métodos SMARTS e SMARTER que buscam permitir a utilização do modelo aditivo para a resolução de problemas multicritério, entretanto

estes métodos têm ênfase na redução de inconsistências ao realizar o *trade-off* entre os erros de modelagem e elicitación. O método SMARTER especificamente, requer apenas que o decisor informe uma ordem para as constantes de escala, não sendo necessário definir pontos de indiferença entre elas nem informar um vetor de pesos.

Tendo sido inicialmente desenvolvido para a problemática de escolha, o FITradeoff (De Almeida *et al*, 2016) se mostrou não somente aplicável a diferentes contextos, mas bastante eficiente no que concerne a geração de recomendações. Rodriguez *et al* (2021) realizam um estudo para a seleção de fornecedores comparando os resultados obtidos através da utilização do procedimento clássico do Tradeoff proposto por (Keeney & Raiffa, 1976) e o FITradeoff, o estudo mostrou que o FITradeoff é capaz de retornar o mesmo resultado utilizando informação parcial.

Outros avanços metodológicos foram desenvolvidos para estender a aplicabilidade do Método FITradeoff para outros contextos. Frej *et al* (2019) apresentam uma versão do método para a problemática de ordenação, Kang, Frej & De Almdeida (2020) utilizam uma versão do método para a resolução de problemas de classificação, já Frej, Ekel & De Almeida (2021) e Marques, Frej e De Almeida (2022) tratam de apresentar versões do método para a resolução de problemas de seleção de portfólio.

Ainda segundo Da Silva *et al* (2021), uma fragilidade dos métodos de informação parcial se refere à dificuldade de sua utilização devido a necessidade de ferramentas sofisticadas como programação matemática para a realização de recomendações, o que poderia ser prontamente tratado a partir do desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão (SAD) que permitam os decisores realizarem a aplicação dos métodos de forma prática.

Uma vantagem do método FITradeoff é a existência de sistemas que operacionalizam o método e se encontram em constante melhoria. Roselli & De Almeida (2021) apresentam um conjunto de regras para auxiliar na decisão de utilizar ou não determinadas visualizações para a realização de avaliações holísticas. Tais recomendações foram geradas com base em uma distribuição de probabilidade obtida através de experimentos de neurociências e de acordo com os autores, tais recomendações serão, em breve, disponibilizadas no SAD do método.

Pessoa, Roselli & De Almeida (2021) realizaram um estudo para avaliação de aspectos ligados ao desempenho da avaliação holística em seus dois procedimentos, eliminação e seleção, sob a ótica da neurociência, os resultados apontaram que apesar da taxa de acerto não

apresentar uma diferença significativa, observou-se uma melhor performance no procedimento de eliminação no que se refere ao esforço cognitivo.

Outras formas de tratar os problemas de decisão multicritério com informação parcial, também podem ser encontradas na literatura. Liu, Li & Liang (2020) apresentam uma nova forma de calcular pesos substitutos e discutem a respeito de outras técnicas já consolidadas na literatura a partir de um estudo comparativo envolvendo problemas reais. Eles ainda apresentam um modelo de programação não linear no qual o decisor pode introduzir informações imprecisas para a obtenção de pesos substitutos que estejam mais alinhados com suas preferências.

Dutta *et all* (2021) discutem acerca de um modelo para a manipulação estratégica de pesos para alcançar o consenso em decisões com múltiplos decisores. Eles argumentam que a técnica pode ser utilizada para tratar a dificuldade de definir um *set* de pesos pelo decisor, de forma que se pode iniciar com um chute inicial e a partir de informações acerca do ranking gerado, manipula-se a informação dos pesos considerando o range de posições que cada alternativa pode ocupar.

De forma geral pode-se perceber que diversos trabalhos vêm sendo realizados para dar suporte ao tomador de decisão com base em informação parcial, seja para tratar da dificuldade cognitiva em fornecer parâmetros, informação fundamental aos modelos e métodos de decisão, seja para tornar os métodos de decisão mais aplicáveis no dia-a-dia considerando-se as peculiaridades de cada cenário. Sendo assim, observa-se a existência de um alto potencial para inovação e avanços nos estudos referentes a decisão com informação parcial.

2.2.2. Procedimentos de Elicitação de Preferências

Discussões acerca de maneiras eficientes de conduzir o processo de elicitação de preferências têm sido observadas na literatura (De Almeida, Frej & Roselli 2021; De Almeida *et all* 2016; Keeney, 1996; Edwards & Barron, 1994; Keeney & Raiffa, 1976). A literatura referente aos métodos de apoio a decisão multicritério destaca duas maneiras de obtenção dos parâmetros dos modelos de decisão, a primeira se baseia na informação direta destes parâmetros e a segunda envolvendo uma elicitação indireta, também chamada de desagregação de (Kadziński, Ciomek & Słowiński, 2014).

A informação direta das preferências requer que o decisor informe diretamente os parâmetros do modelo utilizado, entretanto, em muitos casos essa se torna uma tarefa difícil

para o decisor. Tomando o modelo aditivo (Keeney & Raiffa, 1976) como exemplo, as suas constantes de escala não significam apenas o grau de importância dos critérios, mas também a taxa com a qual uma melhor consequência em um critério consegue compensar uma pior consequência em outro, levando em conta, portanto, o range de consequências de cada critério (De Almeida, 2013).

Não é incomum que os decisores no dia-a-dia tenham pouco ou mesmo nenhum conhecimento sobre os métodos de apoio a decisão, ao que De Almeida *et al* (2015) chama a atenção para a importância da presença de um analista para auxiliar no processo. Neste sentido, é possível que os decisores não tenham total compreensão do real significado de tais parâmetros, podendo gerar inconsistências e erros na modelagem das suas preferências.

No que se refere a especificação indireta das preferências, diferentes paradigmas podem ser observados na literatura, estes incluem a elicitação por decomposição e avaliações holísticas.

No primeiro paradigma é feita a desagregação das consequências e o decisor expressa suas preferências a partir da comparação destas, no segundo, o decisor deve comparar alternativas avaliando o seu desempenho em todos os critérios de forma integrada (Belton and Stewart, 2002). Em ambos os casos, é possível obter informações acerca das preferências do decisor, auxiliando na especificação dos parâmetros do modelo.

O procedimento do Tradeoff foi proposto por Keeney & Raiffa (1976) como uma forma de decompor um complexo problema de decisão em tarefas menores e tratáveis. O procedimento em si além de possuir uma forte estrutura axiomática, permitindo a utilização de funções valor lineares e não lineares, elimina a necessidade de especificar diretamente os pesos do modelo.

No Tradeoff o decisor é questionado acerca de suas preferências ao avaliar consequências que apresentam diferenças de performance em pares de critério, no momento que este define relações de indiferença envolvendo os pares de critério adjacentes, é possível solucionar um sistema de equações lineares para se obter o valor das constantes de escala. Desse modo, é necessário que sejam feitas pelo menos $n - 1$ perguntas (supondo que o decisor vá expressar as indiferenças nas primeiras perguntas para cada relação, caso contrário mais perguntas deverão ser feitas), sendo n o número de critérios do problema (De Almeida *et al*, 2016).

No que se refere ao uso de julgamentos holísticos, diversos autores sugerem o seu uso como uma fonte relevante de informação para o modelo de decisão. Jacquet-Lagrece & Siskos (1982) defendem o uso de avaliações holísticas envolvendo alternativas do problema como restrições para a obtenção de funções de utilidade aditivas.

Kadziński, Ciomek & Słowiński (2014) apresentam formas de modelar restrições para problemas de classificação obtidas através de comparações par a par entre alternativas a serem classificadas. Silva, Ferreira & Almeida-Filho (2020) também realizam um trabalho considerando a problemática de classificação, desta vez, propondo uma nova versão do método TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981), em que tanto as classes como os pesos do modelo são obtidos através de problemas de programação não linear sujeitos a avaliações holísticas feitas por especialistas.

O uso de avaliações holísticas para a elicitación de preferências pode ser bastante benéfico uma vez que os decisores podem tomar como referência alternativas as quais eles possuem um bom nível de conhecimento (Silva, Ferreira & Almeida-Filho, 2020; Kadziński, Ciomek & Słowiński, 2014; Greco, Słowiński & Zielniewicz, 2013). Por outro lado, é extremamente importante que tais julgamentos não estejam desassociados dos *trade-offs* envolvendo os critérios, caso contrário, estes julgamentos não devem ser considerados (Keeney, 1996).

É importante ressaltar que no caso dos métodos iterativos, a avaliação holística pode ser usada com dois objetivos. O primeiro objetivo trata da finalização do processo de elicitación, enquanto o segundo visa prover informação adicional ao modelo e a elicitación é continuada até que se obtenha uma solução satisfatória (Belton & Stewart, 2002).

Li & Yao (2019) apresentam um exemplo de utilização de avaliações holísticas para inclusão de informação adicional. Em seu trabalho os autores propõem uma metodologia para resolução de problemas de programação multiobjetivo em que as avaliações holísticas direcionam a busca pelas soluções, contribuindo para o aprendizado do decisor e para a obtenção de melhores soluções.

No tocante a utilização de ambos os paradigmas de maneira integrada, Aubert & Lienert (2018) utilizaram ambos os paradigmas em uma pesquisa online. O propósito da pesquisa era avaliar a contribuição da gamificação para aumentar o engajamento dos participantes no processo de elicitación de preferências. Neste contexto, os paradigmas foram utilizados separadamente apenas como forma de avaliar a consistência das informações providas.

De Almeida, Frej & Roselli (2021), por outro lado, propõem a combinação de ambos os paradigmas para a elicitación de preferências e consequentemente para a parametrização do modelo aditivo. Em sua abordagem, a utilização dos paradigmas aumenta a flexibilidade e aceleram o processo de elicitación no método FITradeoff, além disso, a proposição vislumbra a possibilidade de ocorrência de inconsistências entre as informações e apresentam uma proposta para a resolução de tais inconsistências, o que do ponto de vista do aprendizado por parte do decisor, tem muito a contribuir com o processo.

Considerar a forma como cada método conduz a elicitación de preferências é sem dúvidas um ponto importante a se considerar ao selecionar um método de apoio a decisão (Cinelli *et al.*, 2021), afinal, o decisor deve se sentir capaz de realizar tais procedimentos. Além disso, vale salientar que diferentes procedimentos podem incorrer em diferentes níveis de esforço demandado do decisor, conforme discutido por Da Silva, Costa & De Almeida (2022).

2.2.3. Uso de Técnicas de Simulação para Avaliação de Métodos Multicritério

De acordo com Saaty & Ergu (2015) a existência de muitos métodos de apoio a decisão multicritério cria um outro importante problema de decisão: qual método usar? Por essa razão, estudos voltados para a avaliação e comparação dos métodos passam a ter uma importante contribuição, contribuindo para a compreensão dos aspectos lógicos, matemáticos, práticos e sociais que fazem um método se destacar em relação a outro em determinado contexto.

Alfares & Duffuaa (2015) argumentam que o uso de técnicas de simulação para a condução de estudos para avaliação da performance dos métodos de apoio a decisão é bastante flexível e confiável, uma vez que se torna possível a geração e avaliação de uma quantidade significativa de dados, além de permitir a avaliação de diversos cenários distintos.

Os próprios autores, Alfares & Duffuaa (2015), conduzem um estudo para avaliar a performance de métodos de geração de pesos baseados no *ranking* dos critérios que se baseia na realização de simulações. No estudo, considera-se cenários em que são variados o número de critérios, o número de alternativas, a distribuição dos pesos (uniforme, normal ou exponencial) e cinco métodos são avaliados (RS, RR, ROC, GW, VSL). O resultado do estudo mostra que nenhum método de geração de pesos consegue se sair melhor que os demais em todos os cenários, mas o trabalho pode gerar *insights* interessantes sobre a escolha do método uma vez que se tenha noção sobre a distribuição dos pesos.

Tučník & Bureš (2016) avaliaram a aplicabilidade de quatro métodos multicritério para futuras aplicações em grandes modelos de simulação baseados em múltiplos agentes. Neste

estudo, a principal métrica para comparação dos métodos foi o tempo demandado para rodar o método durante a simulação e apesar de todos os métodos demonstrarem ser aplicáveis, o método VIKOR se destacou dos demais. As simulações foram realizadas utilizando diferentes configurações de hardware.

Mehdi *et al* (2018) realizam um estudo de simulação para investigar o fenômeno da reversão de ordem nos métodos TOPSIS e EDAS, estabelecendo uma análise comparativa entre os métodos. De acordo com os autores, a reversão de ordem é um fenômeno indesejável que ocorre da inclusão de novas características ao problema anteriormente resolvido, gerando mudanças no ranking das alternativas. O estudo considerou múltiplos cenários e três indicadores de performance.

Mendes *et al* (2020) também estudaram a eficiência de um método multicritério através de um estudo de simulação, desta vez, o método avaliado foi o FITradeoff. Nos estudos os autores buscaram avaliar a performance do método quando comparado aos *benchmarks* estabelecidos para o Tradeoff. Dentre as conclusões geradas pelo estudo se destaca a conclusão de que em 81% dos casos o método consegue reduzir o espaço de ações para 5 alternativas potencialmente ótimas apenas ao informar a ordenação das constantes de escala.

Outras conclusões obtidas por Mendes *et al* (2020) se refere a baixa influência do aumento no número de alternativas para aumento/redução do número de perguntas realizadas na elicitación por decomposição no método. Em contrapartida, o número de critérios e a distribuição dos pesos tiveram uma influência bem mais significativa na performance observada.

2.2.4. Aplicações do Método FITradeoff para resolução de problemas de decisão

O FITradeoff vem sendo largamente aplicado para resolução de problemas de decisão nos mais diversos contextos, essas aplicações demonstram o grande potencial do método de contribuição para a sociedade, uma vez que se tenha melhores decisões que por sua vez impactarão na vida das pessoas em geral.

Recentemente foi publicado um *special issue* na Revista Brasileira de Pesquisa Operacional com o foco nas aplicações realizadas com o FITradeoff:

De Almeida *et al* (2023) apresentam um sumário contendo a evolução do método FITradeoff desde a sua proposição para a problemática de escolha, até os mais recentes avanços metodológicos e de design propostos a partir dos estudos na área de neurociência, bem como

as tendências futuras. Os autores ainda realizam uma compilação de diversas aplicações do método para resolução de problemas reais, alguns dos quais são apresentados a seguir.

Rodriguez *et al* (2023) utilizaram o FITradeoff para decisões sobre terceirização de atividades em uma companhia de pesquisas relacionadas à agricultura, o estudo considerou a participação de múltiplos decisores. Santos *et al* (2023) também utilizaram o FITradeoff para dar suporte a uma decisão em grupo, neste caso a aplicação se deu na marinha brasileira, possibilitando um aumento de 15% na eficiência da utilização dos recursos escassos.

Oliveira, Morais & Siebert, (2023) utilizaram o FITradeoff em conjunto com o VFT (Keeney, 1992) para a identificação e posterior priorização de alternativas para a melhoria da mobilidade urbana na cidade de Olinda. Czekajski, Wachowicz & Frej (2023) realizaram a avaliação de produtos culturais da cidade polonesa de Czeladź, os autores exploraram a combinação dos paradigmas para a elicitação de preferências e reportaram que o uso da avaliação holística reduziu o processo de elicitação das preferências.

Lugo *et al* (2023) ordenaram nove alternativas de solução de economia circular para a indústria alimentícia considerando critérios referentes ao uso da terra e seus impactos tanto na esfera ambiental, como social e financeira. Cyreno & Roselli (2023) selecionaram 5 alternativas através do FITradeoff para portfólio com a razão benefício-custo para dar suporte à problemas ligados a logística reversa de uma grande empresa, buscando a eliminação de perdas associados ao retrabalho.

Crises como a pandemia de COVID 19 podem gerar a interrupção de fornecimento na cadeia de suprimentos, considerando este fato, Carvalho, Roselli & Figueira (2023) realizaram um estudo para a ordenação das matérias primas mais críticas em uma empresa que produz itens de alimentação animal, como resultado, obteve-se um *ranking* possibilitando o planejamento para evitar problemas da falta desta matéria prima.

Zanazzi, Zanazzi & Pontelli (2023) combinaram a ferramenta de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) e o FITradeoff para priorização das ações de mitigação dos modos de falha de forma participativa. Schramm, Damasceno & Schramm (2023) aplicaram o FITradeoff no contexto de uma empresa de desenvolvimento de *software* para seleção do melhor modelo ágil com base em um conjunto amplo de critérios. A aplicação contou com a participação de um gestor bastante experiente.

Além destes trabalhos, diversos outros foram encontrados na literatura conforme descrito a seguir:

Sabe-se que os problemas de localização de instalações apresentam grande relevância no contexto das organizações, uma vez que envolvem grande quantidade de recurso e apresentam grande inércia, o que significa dizer que os efeitos desta decisão são percebidos a longo prazo. Neste contexto, o método FITradeoff oferece um importante suporte à tomada de decisão:

Ribeiro *et al.* (2021) utilizaram o FITradeoff para definir a localização mais adequada para um shopping center no nordeste brasileiro, tendo como alternativas as cidades em desenvolvimento, localizadas no interior de cada estado. De Lacerda *et al.* (2021) também aplicaram o método no contexto de localização, mas neste caso, os autores buscavam escolher uma localização para uma estação de gás natural.

Dell'Ovo, Oppio, & Capolongo (2020) propõem a combinação de Sistemas de Informação Geográfica e o o FITradeoff para a localização de unidades de saúde, enquanto Dell'Ovo *et al.* (2018) aplicaram o método para localizar um novo hospital na cidade de Milão, tendo seis alternativas de possíveis localizações. Barbosa, Da Fonte & De Almeida (2018) utilizaram o FITradeoff para a localização de um centro comunitário na cidade do Recife.

O problema de seleção de fornecedores é bastante discutido na literatura e envolve um impacto significativo na performance da cadeia de suprimentos, nestes casos, decidir com base apenas no custo simplesmente não é mais uma opção, sendo o FITradeoff uma importante ferramenta para a agregação e análise dos objetivos conflitantes:

De Araujo *et al.* (2022) aplicaram o FITradeoff para a seleção de fornecedores no processo licitatório da aeronáutica, em seu estudo os autores discorrem a respeito de importância de se considerar múltiplos objetivos em processos licitatórios para evitar diversos problemas no fornecimento que são frequentemente observados em instituições públicas.

Santo *et al.* (2020) aplicaram o método FITradeoff para a seleção de fornecedores em uma companhia de atacado e varejo, em seu estudo, os autores já fizeram a utilização da etapa de elicitação intracritério, atualmente disponível no sistema de apoio à decisão do método, permitindo uma modelagem mais precisa das preferências do decisor.

Rodrigues *et al.* (2020) combinaram o VFT proposto por Keeney (1992) e o FITradeoff na problemática de ordenação para estruturação e avaliação dos fornecedores de uma indústria têxtil com respeito à critérios tanto financeiros como de qualidade, relacionamento, produtividade, *leadtime* e lote de compra.

A aplicação de Frej *et al.* (2017) para a seleção de um fornecedor na indústria alimentícia destaca tanto a eficiência do FITradeoff para a obtenção da solução do problema, como a importância da utilização de métodos multicritério para tomada de decisão, já que no estudo os autores chegaram à conclusão de que a melhor alternativa não era o fornecedor de menor preço.

Decisões envolvendo saúde e combate a endemias possuem grande relevância para a sociedade e também podem ser suportadas pelos métodos multicritério:

Dos Santos *et al.* (2022) utilizou o método para a priorização de ações de combate ao *Aedes Aegypti* na cidade de Natal, Frazão *et al.* (2021) propõem a utilização do método para priorização de pacientes que buscam atendimento do SAMU 192 uma vez que nem sempre é possível atender a todos. Camilo *et al.* (2020), por sua vez, utiliza o método para escolha de um protocolo de triagem para unidades de saúde.

Aplicações voltadas ao setor de energia também foram reportadas na literatura: Fossile *et al.* (2020) conduziram uma análise relativa ao tipo de energia renovável mais adequada para os portos brasileiros, Kang *et al.* (2018) analisaram diferentes tecnologias de geração de energia elétrica, candidatas a serem incorporadas na matriz energética nacional.

O FITradeoff foi utilizado ainda para suportar decisões governamentais como a definição das ações a serem realizadas para lidar com problemas referentes ao abastecimento de água no perímetro urbano da cidade de Olinda em Pernambuco (Monte & Morais, 2019), além da identificação de trechos críticos de vias que necessitavam receber atenção (Martins *et al.*, 2020).

Além dos contextos já mencionados, o FITradeoff foi utilizado para dar suporte a decisão em uma gama de decisões gerenciais:

Morais *et al.* (2022) fez uma aplicação no setor da agroindústria envolvendo uma decisão em grupo do tipo de cultura a ser realizada em uma nova unidade. Pessoa, Roselli & De Almeida, (2022) aplicaram o método para priorização de ações para o combate de fraudes em tempos de crise, De Oliveira *et al.* (2022) aplicaram *Balanced ScoreCard* em conjunto com o FITradeoff para o desenvolvimento e priorização de indicadores no contexto da cadeia de suprimentos.

Silva & Morais (2022) fizeram uma classificação de atividades ligadas à economia circular para serem terceirizadas no contexto de pequenas indústrias têxteis. Poleto *et al.* (2020), por outro lado, buscaram suportar decisões ligadas a terceirização na área de TI.

Correia *et al.*, (2021) investigaram as estações de trabalho que deveriam ser priorizadas para serem melhoradas em termos de ergonomia em uma fábrica de calçados, Shukla & Dubey (2021) utilizaram o método para a seleção de uma celebridade para participar em campanhas de marketing, Fernandes *et al.* (2021) estudaram alternativas para o gerenciamento de desperdícios de equipamentos elétricos e eletrônicos.

Pergher *et al.* (2020) utilizaram o método para suporte ao *scheduling* das atividades em uma fábrica de calçados.

De Macedo, Mota & Sola (2018) analisaram alternativas para a substituição de motores em uma indústria química, buscando a maximização da eficiência energética. Gusmão & Medeiros (2018) aplicaram o FITradeoff para a seleção de um sistema de informação dentre o conjunto de possíveis aquisições.

O FITradeoff também foi tema de sessões especiais no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, que é promovido pela Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, durante 6 anos no SBPO 2016, 2017, 2018, 2020, 2021 e 2022.

Ao longo destes anos, diversos trabalhos foram apresentados na sessão especial do FITradeoff:

Macedo & Mota (2016) aplicaram o FITradeoff de escolha para a priorização de uma tecnologia a ser substituída com vistas à adequação do sistema aos requisitos de eficiência energética impostos pela legislação. Vieira & Ferreira (2017) aplicaram o método para alocação de recursos em uma instituição de ensino técnico. Fontana, Silva & Garcez (2018) utilizaram o método para a resolução de um problema de atribuição de locais em armazém com o intuito de melhorar a eficiência das operações no armazém.

Aragão & Wanderley (2020) utilizaram o FITradeoff de ordenação para a priorização de estratégias voltadas para a segurança pública, visando o suporte à decisão e avaliação de múltiplos objetivos. Os critérios considerados envolveram o tempo de implementação, o impacto na redução de homicídios, o nível de investimento e o impacto na percepção de segurança da população.

Velôzo, Suruagy & Lins (2021) aplicaram o FITradeoff de ordenação para geração de um ranking de projetos de inovação que levam à contratação de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) por instituições públicas. Já Mariotti, Mendes & Humberto (2022) realizaram um estudo para curadoria de projetos que compõem o portfólio de uma empresa de beneficiamento de borracha com base no FITradeoff de portfólio com análise benefício-custo.

2.3. SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

Sendo o método FITradeoff tão aplicável aos problemas reais de decisão, se justificam os estudos e esforços que vem sendo realizados para a melhoria contínua do método, proporcionando melhores ferramentas para a tomada de decisão, bem como aumentando a sua eficiência.

No que concerne aos paradigmas para a eliciação de preferências, apesar já serem consolidados e utilizados em diversos métodos, nenhum outro método combina ambos os paradigmas para a eliciação de preferências de forma completamente integrada, permitindo ao decisor escolher como deseja prover suas preferências a cada interação.

Uma consideração relevante é que os estudos na área de neurociência norteiam a utilização de cada paradigma a partir do ponto de vista do esforço cognitivo e do risco de errar ao fazer a escolha da melhor ou da pior alternativa (De Almeida, Frej & Roselli, 2021; Roselli & De Almeida, 2021), entretanto, nenhum trabalho foi encontrado na literatura objetivando a avaliação da contribuição da combinação dos paradigmas para acelerar a eliciação de preferências, tampouco foi estudada a diferença de performance entre os procedimentos de seleção e eliminação os quais podem ser conduzidos no processo, para este fim.

Do ponto de vista da utilização de técnicas de simulação para avaliação da performance dos métodos multicritério, apesar de já se encontrarem trabalhos nesta linha, os mesmos ainda são poucos quando comparados com a ampla gama de novos trabalhos envolvendo os métodos multicritério. Além disso, vale ressaltar que estes trabalhos têm muito a contribuir no sentido de direcionar novos esforços de melhoria e dar base para a escolha e utilização dos métodos com melhor destaque em cada contexto

Assim sendo, verifica-se que o presente trabalho apresenta um alto potencial de inovação por se tratar de um estudo novo que vai permitir a avaliação dos benefícios práticos trazidos pela combinação dos paradigmas para eliciação de preferências em um método consolidado e bastante utilizado.

Além disso, verifica-se que compreensão acerca do efeito da combinação dos paradigmas será importante tanto para a geração de conhecimento, podendo estimular o desenvolvimento de novos avanços na área de multicritério, como para o direcionamento no dia-a-dia da utilização do método, uma vez que os decisores e analistas poderão ter uma maior

compreensão do efeito da informação prestada em cada paradigma, permitindo entre outras coisas avaliações de esforço e benefício (aceleração esperada) obtido no processo.

2.4. QUESTÕES DE PESQUISA

Neste tópico, serão detalhadas as perguntas que orientaram a realização do trabalho, chamadas aqui como QP (Questão de Pesquisa).

2.4.1. QP1: Qual o percentual de redução do número de perguntas realizadas no método FITradeoff para a problemática de escolha ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?

Conforme já mencionado, De Almeida, Frej & Roselli (2021) defendem que a realização de avaliações holísticas no método FITradeoff tornam o método mais eficiente, uma vez que se reduz número de ciclos de interações realizadas junto ao decisor para a obtenção da solução ótima.

Neste sentido, essa pergunta de pesquisa está voltada para a verificação desta afirmação, mais especificamente buscando verificar qual o percentual médio de redução do número de perguntas realizadas ao decisor dada a realização de uma avaliação holística em diferentes cenários.

2.4.2. QP2: Dentre os procedimentos de seleção e eliminação na avaliação holística, qual destes apresenta uma maior contribuição para a redução do número de perguntas?

Os estudos em neurociência mostram que existe diferença do ponto de vista cognitivo ao se realizar cada um dos procedimentos (Pessoa, Roselli & De Almeida, 2021). Estes mesmos estudos mostram que apesar de não haverem diferença na taxa de sucesso ao se realizar cada um dos procedimentos, a holística de eliminação tem um melhor desempenho em se tratando de tempo de resposta do decisor e acuracidade das respostas, que por sua vez é definida como o tempo até que o decisor dê uma resposta correta (que seja consistente com as preferências).

Sabe-se ainda que do ponto de vista do problema de programação linear e do efeito da avaliação holística sobre o conjunto de APOs, cada procedimento gera diferentes restrições e consequentemente apresentam diferentes efeitos.

Suponha que em uma avaliação holística sejam comparadas n alternativas, sendo estas avaliadas em respeito aos m critérios do problema. Caso o procedimento de seleção seja realizado e a alternativa i seja escolhida como a melhor alternativa contida naquele subgrupo, serão incluídas $n-1$ restrições no PPL, levando a eliminação das $n-1$ alternativas do conjunto das APOs. Por outro lado, se o procedimento de eliminação é realizado e a alternativa i é dita a menos preferível do subgrupo, $n-1$ restrições também serão inclusas no PPL, porém neste caso somente a alternativa i é eliminada do subconjunto de APOs.

A partir desta simples observação, é possível intuitivamente pensar que o procedimento de seleção trará uma maior contribuição para a redução do número de ciclos, entretanto, deve-se ter em mente as seguintes situações:

A alternativa i apresenta exímia performance nos critérios em geral, neste caso surgem duas possibilidades:

Se a alternativa i é selecionada como a melhor do subgrupo, pode-se esperar que tal avaliação tenha uma relativa baixa contribuição para a redução do espaço de pesos e consequentemente para o ciclo de perguntas, afinal, existiriam muitas funções de agregação que corroboram com tal resultado. Neste caso, talvez a exploração de outras relações entre as alternativas poderia trazer um maior nível de informação, porém ao eliminar as $n-1$ alternativas, essas relações não poderão mais ser exploradas através da avaliação holística;

- a) Se a alternativa i é eliminada, pode-se esperar um maior nível de informação, afinal, a menos que as demais alternativas apresentem um desempenho excepcional em todos os critérios, há uma expectativa de que existam menos funções de agregação que façam que as $n-1$ alternativas sejam simultaneamente melhores que a alternativa i que já é muito boa.
- b) A alternativa i apresenta uma pobre performance nos critérios em geral, neste caso, também duas possibilidades podem ser analisadas:
- c) Se a alternativa i é selecionada como a melhor do subgrupo, pode-se esperar que tal avaliação tenha uma relativa alta contribuição para a redução do espaço de pesos, afinal, se a alternativa apresenta um desempenho mais pobre nos critérios como um todo, existirão menos funções de agregação que farão com que tal alternativa supere as demais, devendo então o modelo concentrar valor nas constantes de escala dos critérios para os quais a alternativa i se sobressaia às demais;

- d) Se a alternativa i é eliminada, pode-se esperar um menor nível de informação, afinal, a alternativa apresenta uma relativa baixa performance nos critérios e portanto, espera-se que haja um conjunto também relativamente maior de funções valor que corroborem com esta avaliação.

Sendo assim, esta pergunta visa investigar se, ao considerar os múltiplos cenários, um procedimento consegue se sobressair em relação ao outro no tocante à redução do número de ciclos.

2.4.3. QP3: O aumento no número de alternativas do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?

Responder a esta pergunta tem uma dupla relevância, a primeira tem a ver com a compreensão do efeito do aumento ou da redução do número de alternativas na performance da avaliação holística.

Mendes *et al* (2020) mostrou que o aumento no número de alternativas no problema teve um efeito pouco significativo na performance do método FITradeoff, considerando apenas a eliciação por decomposição. Para o caso da avaliação holística, por outro lado, há uma expectativa de que haja sim uma diferença de performance, uma vez que o número de alternativas influencia o número de alternativas potencialmente ótimas, que consequentemente limita o número de alternativas que podem ser avaliadas holisticamente.

A segunda relevância relacionada a resposta para essa pergunta diz respeito à compreensão do comportamento da avaliação holística dada a redução do número de potencialmente ótimas, ou seja, à medida que o número de APOs é reduzido se tem um aumento ou redução na performance da avaliação holística? Essa compreensão poderá, portanto, contribuir para a definição de estratégias para a utilização dos paradigmas.

2.4.4. QP4: O aumento no número de critérios do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?

Esta pergunta busca entender o efeito do aumento ou redução do número de critérios na performance da avaliação holística para redução do número de ciclos. Em seu trabalho De Almeida, Frej & Roselli (2021) discutem que a existência de muitos critérios a serem considerados pode dificultar a realização da avaliação holística tendo como referencial o processo cognitivo.

Nesta pergunta, esta pesquisa observa o problema tendo como referencial o ganho de se realizar uma avaliação holística tendo-se uma quantidade relativamente maior de critérios, em outras palavras, qual o prejuízo relacionado a não utilização da avaliação holística nesses casos?

2.4.5. QP5: Como a distribuição dos pesos afeta a performance da avaliação holística para redução do número de perguntas?

Como já é sabido, a depender do decisor é possível observar diferentes distribuições de pesos que irão representar suas preferências em cada contexto. Pelo estudo desenvolvido por Roselli & De Almeida (2021) a distribuição dos pesos tem um papel significativo na chance de acerto ao se realizar a avaliação holística. Além disso, Mendes *et al* (2020) mostra que essa distribuição também afeta o número de perguntas realizadas no método FITradeoff.

Esta pergunta, portanto, visa a compreensão do efeito das mudanças na distribuição dos pesos para a performance da avaliação holística, ou seja, o efeito da distribuição dos pesos para o ganho obtido da realização de uma holística para a redução do número de ciclos.

2.4.6. QP6: Qual o percentual médio de redução do número de alternativas potencialmente ótimas ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?

Mendes *et al* (2020) estuda a redução do número de APOs a partir da ordenação das constantes como uma métrica relevante para a performance do método FITradeoff. Essa consideração torna também relevante a compreensão do percentual de redução do número de alternativas potencialmente ótimas ao se realizar uma avaliação holística.

3. METODOLOGIA E DESENHO DO EXPERIMENTO

Neste capítulo a metodologia utilizada é caracterizada e discutida.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O método científico relacionado à presente pesquisa pode ser definido como o hipotético-dedutivo ou falsificacionismo pois busca realizar testes para o falseamento de uma hipótese (Cauchick Miguel, 2011), que neste caso trata da hipótese observada na literatura de que a combinação dos paradigmas para elicitación de preferências acelera o processo de elicitación das preferências junto ao decisor.

Uma pesquisa pode ser caracterizada quanto à sua finalidade, quanto à natureza, quanto ao objetivo e quanto aos dados. Neste sentido, a presente pesquisa se caracteriza como básica por se propor a gerar um conhecimento novo sem o compromisso de aplicação prática dos resultados obtidos (Nascimento & Sousa, 2015).

É uma pesquisa quantitativa, pois se preocupa com a mensurabilidade, estuda relações de causa e efeito entre as variáveis, busca garantir a replicabilidade, além de buscar a generalização dos resultados, conforme discutido por Cauchick Miguel (2011). Esta pesquisa se baseia no modelo utilizado por Mendes *et al* (2020) para a definição das variáveis e cenários de simulação, e por se tratar de um estudo com base em pesquisa em laboratório, têm-se que a técnica de pesquisa é a documentação direta (Lakatos & Marconi, 2003).

É uma pesquisa explicativa, pois tem o foco voltado para o estudo das relações de causa e efeito entre as variáveis independentes (Gil, 2002), neste caso, número de critérios, número de alternativas e distribuição dos pesos, com o fenômeno estudado, sendo este o percentual de redução do número de ciclos na elicitación de preferências no FITradeoff para problemática de escolha.

Por fim, é uma pesquisa experimental, pois nela serão realizadas manipulações nas variáveis de entrada para observar o efeito ocasionado no fenômeno de interesse (Cauchick Miguel, 2011).

3.2. DESIGN DO EXPERIMENTO

Neste tópico, serão detalhados os aspectos relevantes relativos ao experimento de simulação realizado.

3.2.1. Definição do número de critérios e alternativas

A definição do número de critérios e de alternativas se baseia no trabalho realizado por Mendes *et al* (2020) que realizam uma busca de trabalhos na literatura observando de forma empírica o número de critérios e alternativas mais comumente observados.

De acordo com os autores o conjunto de números de critérios $M = \{3, 4, 5, 7, 10, 15\}$ e o conjunto de números de alternativa $N = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$ são adequados para a realização do estudo de simulação.

No caso dos critérios, um número de critérios menor que três, além de pouco comum na literatura, poderia representar um problema demasiado simples, por outro lado, a medida que o número de critérios aumenta, aumenta também a possibilidade de que haja dependência preferencial ou mesmo redundâncias entre os critérios e/ou os objetivos mensurados por eles, o que segundo Keeney (1992) deve ser evitado.

Em se tratando do número de alternativas, conjuntos que envolvem um número muito grande de alternativas apresentam grandes chances de incluir alternativas dominadas.

3.2.2. Definição dos padrões de pesos utilizados para as simulações

A definição dos padrões de pesos a serem utilizados também se baseia no trabalho de Mendes *et al* (2020) por se considerar representativo de diferentes distribuições de pesos. Os autores definem 4 tipos de padrões que buscam representar desde distribuições mais uniformes até mesmo distribuições mais marcadamente diferentes. Em todos os casos, considera-se que a soma dos pesos seja igual a 1 e m é o número de critérios do problema.

Pesos iguais:

$$k_j = \frac{1}{m} \quad (3.1)$$

Pesos aleatórios e similares:

$$\frac{k_1}{k_m} = 1,5 \quad (3.2)$$

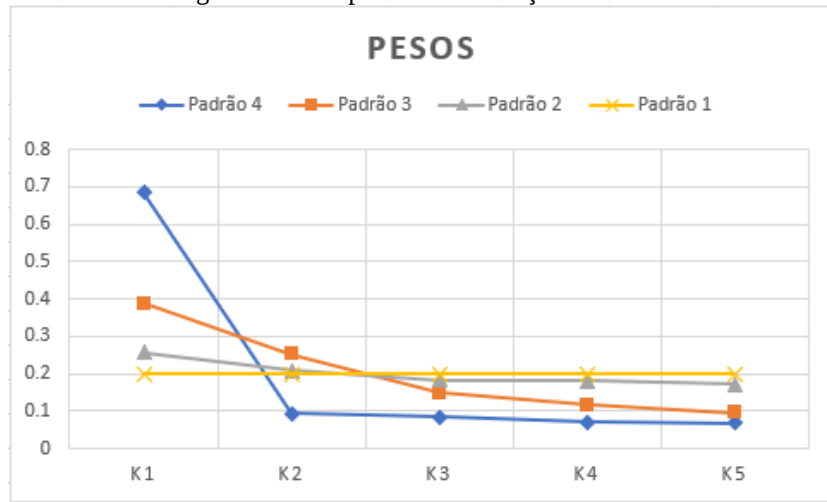
Pesos aleatórios e distintos:

$$\frac{k_1}{k_m} = 4 \quad (3.3)$$

Pesos aleatórios e marcadamente distintos:

$$\frac{k_1}{k_m} = 10 \quad (3.4)$$

Figura 3 - Exemplos de Distribuições de Pesos



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

O procedimento para geração dos pesos é feito seguindo os seguintes passos:

Passo 1: Gera um valor aleatório u , contido no intervalo $]0; 1]$ e atribui a maior constante de escala;

$$u \leftarrow \text{aleatório}$$

$$k_1 \leftarrow u$$

Passo 2: calcula o valor da última constante de escala de acordo com a constante $a = \{1, 1,5, 4, 10\}$;

$$k_m \leftarrow \frac{k_1}{a}$$

Passo 3: para cada constante de escala compreendida entre a maior e a menor constante, atribui um valor calculado com base no valor aleatório u que está compreendido no intervalo $]0; 1]$;

para cada j em $2: (n - 1)$

$$k_j \leftarrow k_m + u \times (k_{j-1} - k_m)$$

Passo 4: normaliza os pesos gerados dividindo pela somatória de todos os pesos para garantir que seu somatório será igual a 1;

$$soma \leftarrow \sum_{j=1}^n k_j$$

para cada j em $1:m$

$$k_j \leftarrow \frac{k_j}{soma}$$

3.2.3. Cenários simulados

Tendo sido definidos o número de alternativas, o número de critérios e os padrões de peso a serem considerados, foi possível estabelecer os cenários de simulação a serem realizados. A presente pesquisa seguiu a sugestão feita por Mendes *et al* (2020) eliminando os cenários com muitas alternativas e muitos critérios e os cenários com poucas alternativas e poucos critérios com o objetivo de eliminar possíveis vieses na investigação.

Assim sendo, foram definidos os seguintes cenários:

Tabela 1 - Cenários simulados

		Critério					
		3	4	5	7	10	15
Alternativas	5	-	-	1000	1000	1000	1000
	10	-	-	1000	1000	1000	1000
	15	-	-	1000	1000	1000	1000
	20	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	30	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	50	1000	1000	1000	-	-	-
	70	1000	1000	1000	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

A tabela 1 apresenta os cenários considerados para a simulação destacando o número de instâncias resolvidas para cada cenário. Vale salientar que cada instância em cada um dos cenários foi resolvida considerando-se cada um dos padrões de pesos, dessa forma, os cenários gerados pela combinação de número de critérios, número de alternativas e padrões de pesos equivalem a 120, como 1000 instâncias foram resolvidas para cada cenário, têm-se um total de 120.000 instâncias resolvidas, o que foi considerado adequado para o presente estudo considerando o *trade-off* entre o quantitativo de amostras e o tempo necessário para gerá-las e resolvê-las.

Com isso, considerando que uma observação do fenômeno estudado equivale a resolver o problema apenas através da elicitación por decomposição, em seguida, resolvê-lo através da combinação dos paradigmas, computa-se um total de 11.321.972 (onze milhões, trezentos e vinte um mil, novecentos e setenta e duas) observações do fenômeno redução do número de ciclos da elicitación de preferências feitas nas simulações.

Em cada observação foram simulados o efeito da seleção e da eliminação, assim sendo, o total de avaliações holísticas realizadas, portanto, foi de 22.643.944 (vinte e um milhões, quatrocentos e oitenta e dois mil, quatrocentos e cinquenta e seis).

3.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Para a realização do experimento de simulação foi necessário o desenvolvimento de um sistema baseado no SAD do FITradeoff para escolha. Esse é responsável pela geração das instâncias aleatórias, geração dos pesos, resolução do problema considerando a realização de avaliações holísticas e também sem a realização destas, além do armazenamento dos dados gerados em um banco de dados.

O desenvolvimento deste sistema se deu em ambiente Delphi que utiliza a linguagem de programação Pascal-*Object*, bem como fez a utilização do MySQL para o armazenamento dos dados gerados e do pacote LP Solve para a resolução da programação linear.

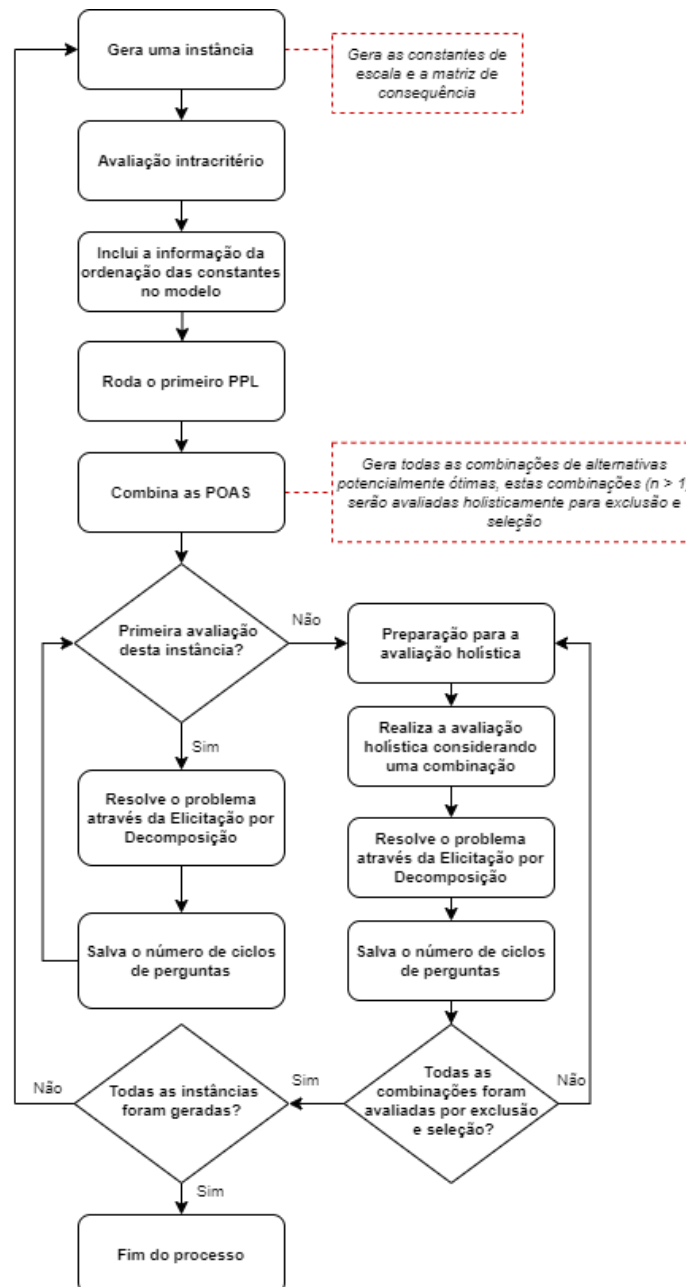
O fluxograma apresentado na figura 4 ilustra as etapas realizadas pelo sistema. Inicialmente o sistema gera a matriz de consequências de maneira aleatória considerando uma distribuição contínua uniforme e o *setup* relativo ao cenário que está sendo considerado (Número de Critérios, Número de Alternativas).

Para esta etapa foi realizada uma parametrização que define uma probabilidade de 80% para critérios de escala natural e 20% para escala construída, além disso a direção de preferências bem como o número de níveis da escala construída são definidas aleatoriamente. Esta parametrização foi definida devido ao fato de é recomendável utilizar critérios de escala natural sempre que possível, uma vez que apresentam um maior nível de informação, devendo-se criar escalas somente quando não for possível utilizar um critério natural (De Almeida, 2013).

Nesta etapa, ainda são gerados quatro vetores de pesos que seguem os padrões apresentados anteriormente. Feito isso, o sistema realiza a avaliação intracritério em que se considera uma função valor marginal linear para todos os critérios, com isso, é possível rodar

pela primeira vez o PPL considerando apenas a ordenação das constantes de escala, o que permite a identificação das alternativas potencialmente ótimas do problema.

Figura 4. - Fluxograma das etapas realizadas na simulação



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

A partir deste momento, são geradas todas as combinações de alternativas potencialmente ótimas, ou seja, são obtidos subgrupos contendo de 2 até o número de alternativas potencialmente ótimas.

Na sequência, inicia-se o processo de resolução do problema que é feito separadamente para cada padrão de pesos com o objetivo de avaliar a performance da avaliação holística sujeita a diferentes perfis de decisores. A etapa de resolução do problema é composta pelos seguintes passos:

- I. Resolução do problema considerando apenas a elicitación por decomposição, deve-se, portanto, armazenar o número de perguntas realizadas até a obtenção da solução do problema;
- II. Reinicia as variáveis da elicitación mantendo apenas a ordenação das constantes, realiza a avaliação holística de seleção considerando o subgrupo k dentre aqueles gerados na combinação das alternativas potencialmente ótimas e resolve o problema utilizando apenas a elicitación por decomposição, na sequência, armazena o número de perguntas realizadas e o número de APOs após a avaliação holística.;
- III. Reinicia as variáveis da elicitación mantendo apenas a ordenação das constantes, realiza a avaliação holística de eliminação considerando o subgrupo k dentre aqueles gerados na combinação das alternativas potencialmente ótimas e resolve o problema utilizando apenas a elicitación por decomposição, na sequência, armazena o número de perguntas realizadas e o número de APOs após a avaliação holística. Os passos II e III são repetidos até que todos os subgrupos tenham sido avaliados holisticamente;
- IV. Passa para a próxima instância quando todos os subgrupos de combinação das APOs tiverem sido avaliados holisticamente.

Como os pesos são gerados a priori, a avaliação holística é sempre consistente, não tendo sido explorada a possibilidade de inconsistência neste estudo. Como é possível observar, o estudo realizado envolve uma relativa grande complexidade devido à natureza combinatória da geração de subgrupos para a avaliação holística, o que justifica a resolução de menos instâncias do que aquelas consideradas por Mendes *et al* (2020), isso não significa que o número de observações do fenômeno (redução do número de ciclos) foi pequeno.

Pode-se ainda observar que um ponto positivo de se considerar todas as combinações de APOs para o estudo é evitar vieses que poderiam ser incluídos ao se considerar somente alternativas muito próximas (aumentam o grau de dificuldade da avaliação para o decisor, mas

há uma expectativa de maior nível de informação) ou somente alternativas muito distintas entre si (que apresentam um nível menor de esforço para que sejam comparadas, mas que se tem uma expectativa de baixa contribuição para a redução do espaço de pesos).

Vale ainda ressaltar, que o estudo considera apenas a realização de uma avaliação holística ao longo da elicitación, que é realizada após incluir somente a informação da ordenação das constantes no modelo, entretanto, na prática, o decisor tem a opção de realizar tantas avaliações holísticas quanto queira, de forma que o número de perguntas observadas na elicitación por decomposição possa ser ainda mais reduzido.

Por fim, a etapa de computação e análise dos dados gerados foi realizado exportando-se os dados do banco de dados no formato csv e posteriormente utilizando o auxílio do RStudio.

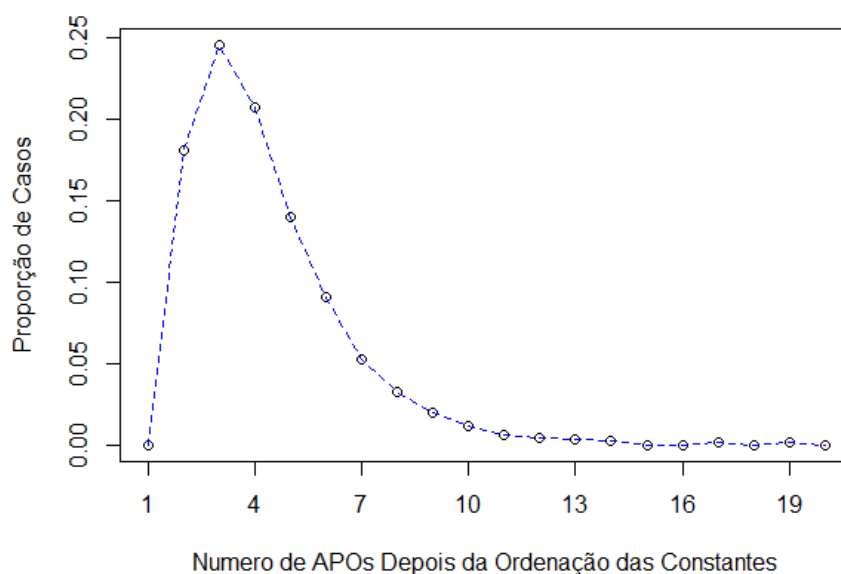
4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Neste capítulo, serão discutidos os resultados obtidos à luz das perguntas de pesquisa. Inicialmente, o número de alternativas potencialmente ótimas após a ordenação das constantes será analisado buscando estabelecer comparações com os trabalhos encontrados na literatura; na sequência, busca-se responder cada pergunta de pesquisa com base na análise dos resultados das simulações.

A observação do número de alternativas potencialmente ótimas é relevante no contexto desta pesquisa pois o número de subconjuntos de alternativas a serem avaliadas através dos procedimentos da avaliação holística é afetado diretamente por este conjunto, caso um número grande de APOs seja observado, haverá um número maior de subconjuntos e muitos deles poderão conter um número grande de alternativas, e que na prática poderiam dificultar a avaliação por parte do decisor.

A figura 5 apresenta a proporção com que conjuntos de APOs de tamanhos definidos foram observados. Conforme se pode observar na imagem, conjuntos envolvendo 5 alternativas potencialmente ótimas ou menos, são muito mais frequentemente observadas, o que é considerado um ponto positivo, já que há uma tendência maior a gerar subconjuntos para avaliação holística com poucas alternativas.

Figura 5 - Número de Alternativas Potencialmente Ótimas Após a Ordenação das Constantes de Escala Obtidas nas Simulações



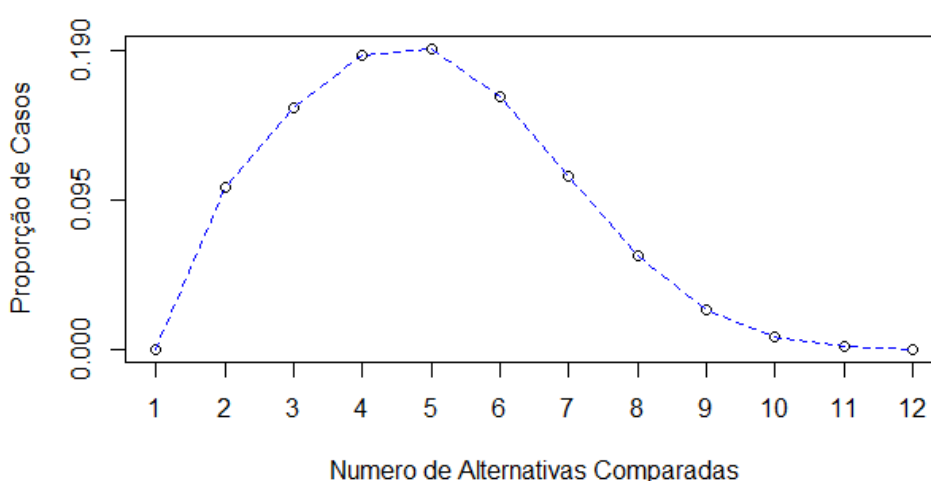
Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Nos cenários simulados, para 77,33% dos casos o número de APOs foi menor ou igual a 5, já para 86,41% dos casos este número foi menor que 6, valores estes bastante próximos aos encontrados por Mendes *et al* (2020), porém com uma pequena diferença, a qual pode ser explicada pelo número de instâncias distintas criadas.

Além disso, deve-se mencionar neste estudo só foram consideradas as observações para as quais ao menos um par de alternativas potencialmente ótimas foi encontrado, pois caso após a ordenação das constantes somente uma alternativa permaneça no conjunto, esta já é a solução do problema, não cabendo novas perguntas na decomposição ou avaliação holística.

A figura 6 dá uma ideia do número de alternativas mais frequentemente avaliadas através da holística. Para 63,41% dos casos o número de alternativas consideradas na avaliação holística foi menor ou igual a 5; para 25,6% das observações, o número de alternativas avaliadas holisticamente não passou de 3.

Figura 6 - Número de Alternativas Comparadas Através de Avaliações Holísticas



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Apesar de na prática haver uma dificuldade associada à análise de subconjuntos envolvendo muitas alternativas, as observações realizadas do número de APOs e o número de alternativas consideradas nas avaliações holísticas foram consideradas satisfatória, já que a presente pesquisa visa a obtenção da compreensão do fenômeno de maneira geral.

4.1. RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS DE PESQUISA

A seguir, as perguntas de pesquisa serão respondidas com base nos resultados obtidos.

4.1.1. QP1: Qual o percentual de redução do número de perguntas realizadas no método FITradeoff para a problemática de escolha ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?

Antes de responder a essa pergunta, deve-se ressaltar que em todos os cenários simulados a avaliação holística foi realizada logo após a ordenação das constantes de escala, e que somente uma avaliação holística foi realizada em cada observação. Esta observação é importante pois esclarece que os resultados aqui apresentados dizem respeito ao efeito de apenas uma avaliação holística, podendo a realização de um número maior de avaliações resultar em diferentes efeitos.

A partir da análise dos dados, foi possível observar que para 33,13% das observações a holística conseguiu promover alguma redução no número de ciclos. Das observações em que houve redução, em 49% dos casos o problema foi finalizado logo após a avaliação holística (ou seja, não foram necessárias perguntas na elicitação por decomposição), o que representa 16,4% do total de observações (incluindo os casos com e sem redução).

No que se refere ao percentual médio de redução do número de ciclos, observou-se que a holística reduziu o número de perguntas 26,6 %, ao analisar as observações totais (casos com e sem redução) e especificamente 80,3% se analisarmos somente os casos em que houve redução (desconsiderando os casos em que o percentual de redução foi nulo).

Tabela 2 - Percentual de redução do número de perguntas em cada cenário

Percentual de Redução do Número de Perguntas por Cenário							
Instâncias	Critério						
	3	4	5	7	10	15	
Alternativas	5	-	-	35.58%	30.99%	27.16%	22.26%
	10	-	-	27.16%	19.7%	16.19%	14.04%
	15	-	-	29.25%	17.66%	14.97%	12.525%
	20	56.81%	41.96%	33.77%	19.7%	14.47%	12.58%
	30	58.91%	48.78%	30.29%	23.42%	14.83%	12.26%
	50	52.47%	36.73%	26.28%	-	-	-
	70	48%	28.95%	19.95%	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

A média de redução do número de ciclos não foi a mesma para todos os cenários, dessa forma, a tabela 2 apresenta o percentual médio obtido ao se avaliarem os cenários de simulação de maneira isolada. As cores da tabela indicam os casos em que se observou um maior

percentual de redução do número de ciclos (em tons de verde), aos cenários em que se observaram uma menor redução (tons de vermelho).

Cabe ainda ressaltar que devido ao número de observações em cada cenário ter sido diferente, por depender do número de combinações de alternativas potencialmente ótimas obtidas problema a problema, a média geral do percentual de redução não coincide com a média dos percentuais médios de cada cenário. Isso explica ainda o fato de a média geral ter sido “puxada” para baixo, já que cenários com maior número de alternativas e maior número de critérios tendem a gerar um maior número de potencialmente ótimas e consequentemente, um maior número de combinações, gerando assim, um maior número de observações naqueles cenários.

Este resultado mostra que apesar da média geral ter ficado relativamente baixa, ao analisar os cenários de maneira individual observamos médias maiores. Um ponto que merece destaque é o fato de que nos casos em que houve redução, esta redução foi bastante significativa, de forma que faz sentido dar razão à afirmação de que a holística contribui de forma relevante para a aceleração do processo de elicitação de preferências.

Tabela 3 – Resumo das observações da QP1

Resumo	
Percentual de casos em que a holística reduziu o número de perguntas	33,13%
Percentual geral de casos simulados em que a holística solucionou o problema	16,4%
Percentual relativo de casos simulados em que a holística solucionou o problema (desconsiderando as observações onde a redução foi nula)	49%
Percentual geral de redução do número de perguntas	26,6%
Percentual relativo de redução do número de perguntas (desconsiderando as observações onde a redução foi nula)	80,3%

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

4.1.2. QP2: Dentre os procedimentos de seleção e eliminação na avaliação holística, qual destes apresenta uma maior contribuição para a redução do número de perguntas?

Ao analisar os dados foi possível observar que o percentual de redução avaliado a partir do procedimento da seleção foi consideravelmente maior que o da eliminação em todos os cenários analisados. No cenário geral a avaliação holística de seleção apresentou um percentual médio de redução de 33,31%, enquanto a avaliação holística no procedimento de eliminação teve uma performance média de 19,9%.

A tabela 4 apresenta o percentual médio de redução do número de ciclos ao realizar o procedimento de seleção da melhor alternativa do subconjunto avaliado, observa-se que o intervalo do percentual de redução vai de 18,99% no cenário que considera 30 alternativas e 15 critérios, até 65,27% no cenário em que os problemas consideram 30 alternativas sendo avaliadas em respeito a 3 critérios.

Tabela 4 - Percentual de Redução do Número de Ciclos por Cenário de Seleção

	Instâncias	Critério					
		3	4	5	7	10	15
Alternativas	5	-	-	44.17%	40.07%	36.26%	31.45%
	10	-	-	36.26%	27.64%	24.68%	21.74%
	15	-	-	36.72%	25.46%	22.29%	20.05%
	20	62.6%	48.42%	40.43%	26.81%	21.33%	19.43%
	30	65.27%	54.71%	37.1%	30.05%	22.11%	18.99%
	50	58.28%	42.34%	33.08%	-	-	-
	70	55.36%	35.28%	25.96%	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

A tabela 5 apresenta o percentual médio de redução do número de ciclos ao realizar o procedimento de eliminação da pior alternativa do subconjunto avaliado, observa-se que o intervalo do percentual de redução vai de 5% no cenário que considera 15 alternativas e 15 critérios, até 52,54% no cenário em que os problemas consideram 30 alternativas sendo avaliadas em respeito a 3 critérios.

Tabela 5 - Percentual de Redução do Número de Ciclos por Cenário de Eliminação

Percentual de Redução Total por Cenário (Eliminação)							
Instâncias	Critério						
	3	4	5	7	10	15	
Alternativas	5	-	-	26.98%	21.91%	18.06%	13.08%
	10	-	-	18.06%	11.76%	7.71%	6.35%
	15	-	-	21.79%	9.86%	7.65%	5%
	20	51.02%	35.5%	27.11%	12.59%	7.61%	5.72%
	30	52.54%	42.86%	23.48%	16.78%	7.55%	5.53%
	50	46.66%	31.12%	19.47%	-	-	-
	70	40.64%	22.62%	13.95%	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Considerando apenas os casos em que cada procedimento conseguiu promover alguma redução no número de ciclos, a média de redução foi de 80,8% para seleção e 79,4% para eliminação. Isso de forma alguma representa uma equivalência entre os procedimentos tanto por conta das diferenças analisadas cenário a cenário, como pelo fato de que enquanto a holística de seleção promoveu redução em 41,2% dos casos, a holística de eliminação promoveu reduções no número de ciclos em 25% dos casos totais.

Estes resultados mostram que o procedimento de seleção tem uma maior contribuição para a redução do número de ciclos na elicitação de preferências, o que estabelece uma relação interessante com o trabalho de Pessoa, Roselli & De Almeida (2021), que apontam que o procedimento de eliminação apresenta uma maior acuracidade e um menor tempo de resposta.

Em seu trabalho, os autores apresentam que a diminuição do tempo de resposta durante o procedimento da eliminação poderia estar correlacionada com o cansaço devido à atividade realizada e a perda da motivação em seguir realizando o exercício. Mas se analisarmos o fato de que mesmo mais cansados e menos diligentes os participantes conseguiram apresentar uma taxa de sucesso que não se diferencia estatisticamente da taxa associada ao procedimento de seleção, poder-se-á considerar que o procedimento de eliminação apresentaria uma maior eficiência em termos de tempo e taxa de acerto.

Além disso, os autores observaram que o esforço cognitivo ao realizar o procedimento de seleção pode ser considerado maior. Com isso, as observações realizadas nesta pesquisa apontam para o *trade-off* entre esforço cognitivo e a redução esperada no número de ciclos.

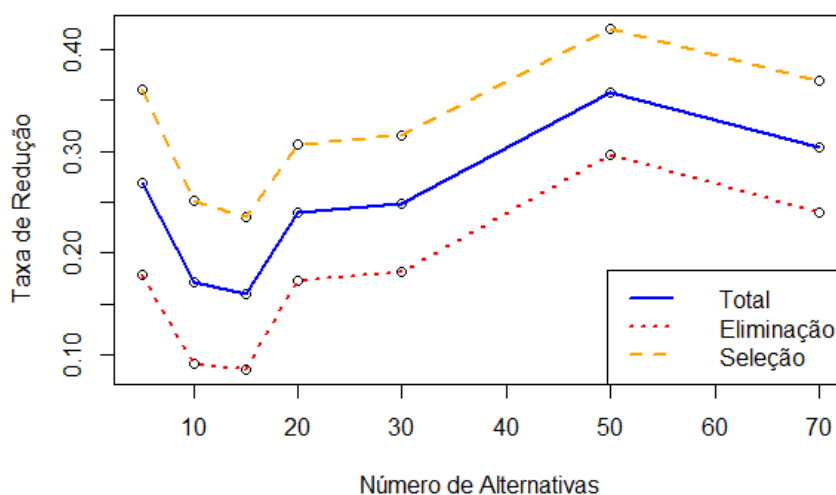
4.1.3. QP3: O aumento no número de alternativas do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?

Dados os resultados, observou-se um comportamento não monotônico do percentual médio de redução do número de ciclos na elicitación de preferências. A figura 7 apresenta os percentuais médios observados em cada caso.

No gráfico é possível observar que o cenário em que o percentual de redução é mínimo ocorre com 15 alternativas, já o máximo é observado no cenário em que o problema contém 50 alternativas. Para observar o comportamento do percentual médio de redução, deve-se lembrar que para o número de alternativas menor ou igual a 15, os problemas são avaliados com base em 5,7,10 e 15 critérios, o que parece “puxar” a média de redução para baixo.

Os casos em que 20 e 30 alternativas são avaliadas, todos os números de critério são considerados. Estes casos apresentam um desempenho intermediário bastante próximo à média calculada de redução do número de ciclos promovida pela avaliação holística que foi respectivamente para seleção, eliminação e total, 33,31%, 19,9% e 26%.

Figura 7 – Taxa de Redução Dado o Número de Alternativas do Problema



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Já para os casos em que o número de alternativas é maior que 30, somente problemas com 3,4 5 critérios são considerados. Apesar do número elevado de alternativas, o problema se torna mais simples, já que muitas destas alternativas já tenderão a ser dominadas.

Com isso, o número de alternativas do problema, a princípio, poderia não ter um efeito determinante para o aumento ou diminuição do percentual médio de redução do número de

ciclos, já que nos únicos casos em que se tem o número de alternativas sendo avaliadas em respeito a todos os conjuntos de critérios, o valor da média permaneceu quase constante, sugerindo que a diferença em termos do número de critérios avaliados para cada caso poderia ser responsável por essa variação do percentual de redução.

Sendo assim, as únicas evidências de que o número de alternativas do problema pode afetar a performance da holística seria o valor elevado da média para 5 alternativas e a queda relativa ao se observar 70 alternativas, pois estas observações apresentam um desvio em relação ao que seria esperado se a variação observada fosse explicada somente pelo número de critérios (5 alternativas foram avaliadas em respeito a 5, 7, 10 e 15 critérios e deveria apresentar um percentual relativamente baixo, já o caso das 70 alternativas não deveria ter uma queda em relação a 50 pois neste caso o mesmo número de critérios foi avaliado 3, 4 e 5 critérios).

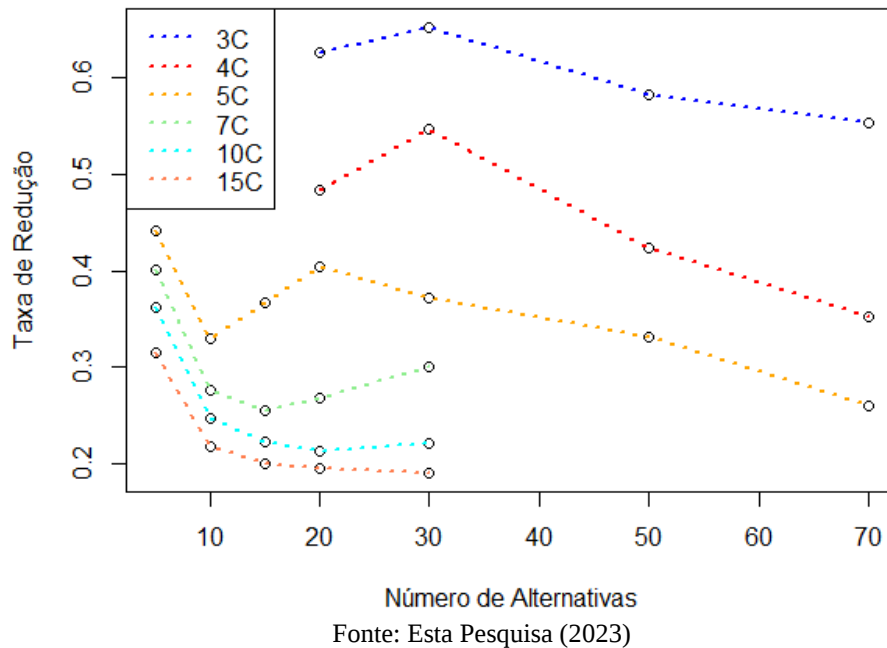
Com o objetivo de entender melhor a influência do aumento no número de alternativas do problema, foram plotados mais dois gráficos. Em ambos se busca avaliar a taxa de redução do número de perguntas com o aumento do número de alternativas dado o número de critérios, em outras palavras, cada curva plotada representa a variação da taxa de redução ao se fixar o número de critérios e variar somente o número de alternativas.

Os gráficos das figuras 8 e 9 apresentam respectivamente as informações contidas nas tabelas 4 e 5. A visualização gráfica destas informações permite verificar que o aumento no número de alternativas do problema parece diminuir a taxa de redução do número de perguntas.

A observação de tal diminuição da taxa se justifica, pois, ao fixar o número de critérios, pode-se observar uma variação na taxa de redução que na maior parte dos casos é um decrescimento da taxa. Como o efeito do número de critérios está sendo isolado, esta variação observada dever-se-á a algum outro fator, de forma que este fator possa de fato ser o número de alternativas do problema de decisão.

Conforme é possível observar, a taxa de redução dado o aumento no número de alternativas e fixando-se os critérios em 3C e 4C apresenta um comportamento bastante semelhante tanto para o procedimento de seleção como para o de eliminação. Ao fixar o número de critérios em 7C, 10C e 15C, também se observa um comportamento semelhante ao se aumentar o número de alternativas em ambos os procedimentos. Já ao fixar o número de critérios em 5C, observa-se um comportamento parecido com o de 7C, 10C e 15C no começo da escala, um comportamento próprio no meio (entre 15 e 30 alternativas) e depois o comportamento da taxa se assemelha ao de 3C e 4C.

Figura 8 - Taxa de Redução Dado o Número de Critérios e Alternativas (Seleção)



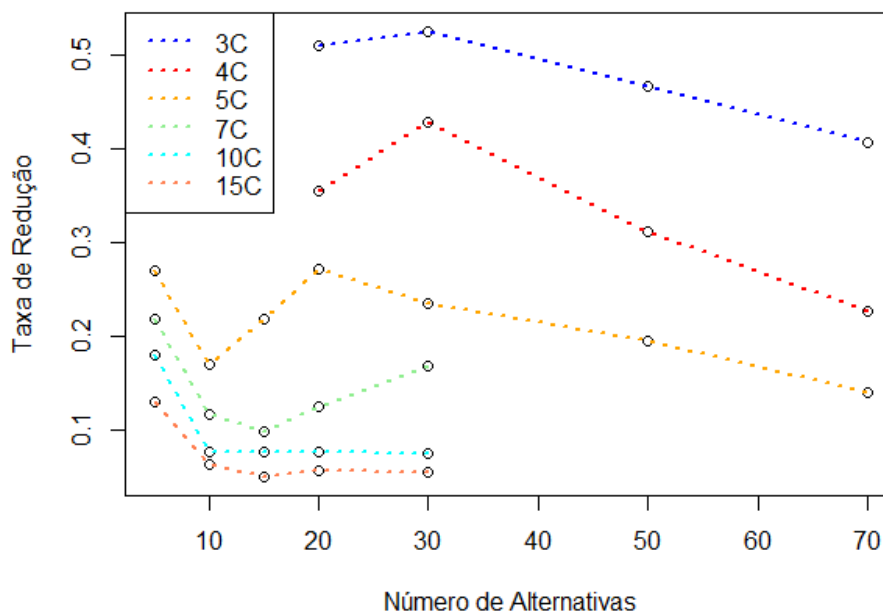
Apesar de não monotônico, o comportamento da taxa de redução do número de perguntas dado o aumento no número de alternativas ao se fixar os critérios demonstra ser sistemático, o que sugere que de fato possa haver uma correlação entre a variação do número de alternativas e a redução do número de ciclos na elicitação de preferências.

Apesar de inicialmente não ser uma das perguntas de pesquisa, foi feito o plote do percentual de redução do número de ciclos dado o número de alternativas simultaneamente avaliadas em uma avaliação holística. A figura 10 apresenta o comportamento observado da redução do número de ciclos ao se aumentar o número de alternativas incluídas na avaliação.

Uma observação interessante da figura 10 é que, enquanto a holística de seleção cresce com uma forma que parece ter uma sutil concavidade para cima, a redução promovida pela holística de eliminação parece se estabilizar com o aumento de alternativas comparadas quase como se existisse uma reta assintótica próximo de $y = 0,4$, que a medida que o número de alternativas comparadas aumenta, o percentual de redução se aproxima desse valor.

Nota-se ainda que como a redução promovida pela holística de seleção segue crescente, a contribuição geral (ou total) da avaliação holística para redução do número de ciclos também continua crescendo (não parece se estabilizar), porém numa taxa menor. Vale ressaltar que era de se esperar que a medida que o número de alternativas comparadas crescesse a holística de seleção também crescesse até chegar aos 100%.

Figura 9 - Taxa de Redução Dado o Número de Critérios e Alternativas (Eliminação)

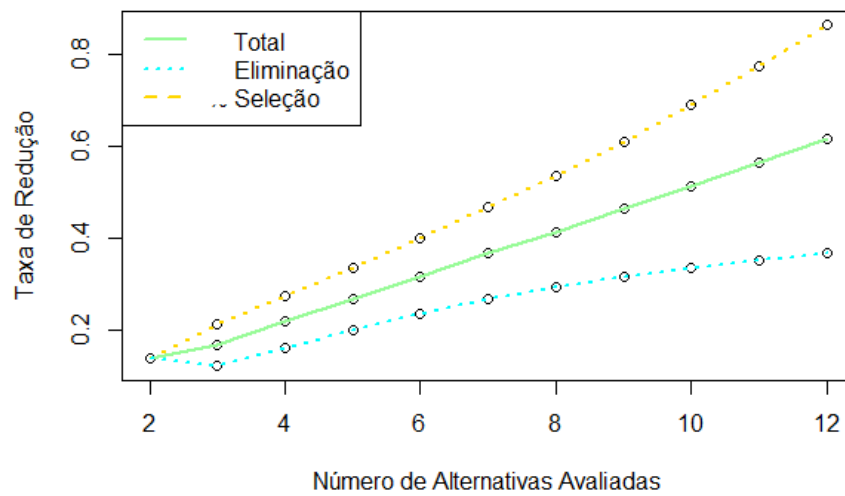


Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Por fim, tendo-se observado os resultados têm-se que para avaliações holísticas envolvendo pares o percentual total observado foi de 14,04%, avaliações envolvendo trios teve uma contribuição de 16,84%, quartetos 22% e quintetos 27%. Dessa forma, a contribuição média para subgrupos de até 5 alternativas foi de 21%.

Considerando os mesmos casos, porém avaliando a contribuição da holística de seleção, observaram-se 14,04% para pares, 21,34% para trios, 28% para quartetos, 37% para quintetos, sendo uma média de 26% para avaliações com até 5 alternativas. No caso da eliminação observou-se 14,04% para pares, 12,31% para trios, 16,34% para quartetos, 20,7% para quintetos, sendo uma média de 16,15% para avaliações com até 5 alternativas.

Figura 10 – Percentual de Redução Dado o Número de Alternativas Comparadas na Avaliação Holística

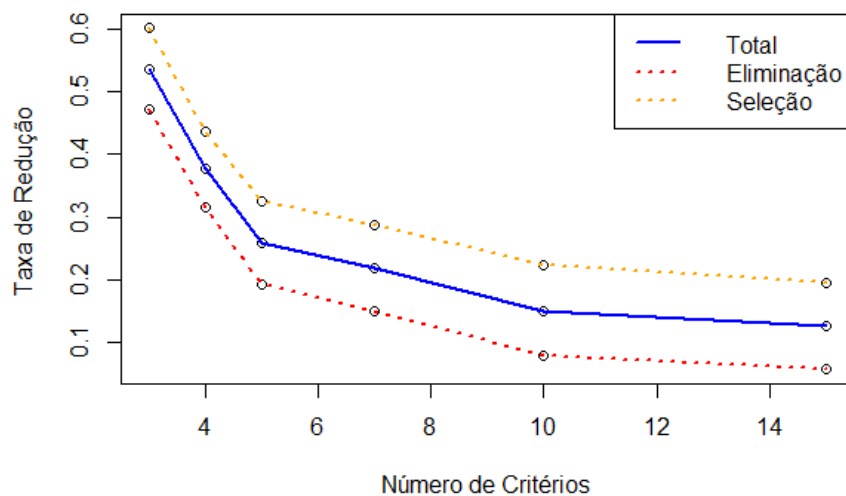


Fonte: Esta Pesquisa (2023)

4.1.4. QP4: O aumento no número de critérios do problema afeta a performance da avaliação holística para a redução do número de perguntas?

Através da figura 11 é possível observar que a quantidade de critérios do problema afeta diretamente o percentual de redução promovido pela avaliação holística. Esse resultado era esperado, uma vez que o aumento do número de critérios eleva a complexidade do problema de decisão, aumentando assim a quantidade de informação necessária para a sua resolução.

Figura 11 – Percentual de Redução Dado o Número de Critérios do Problema



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

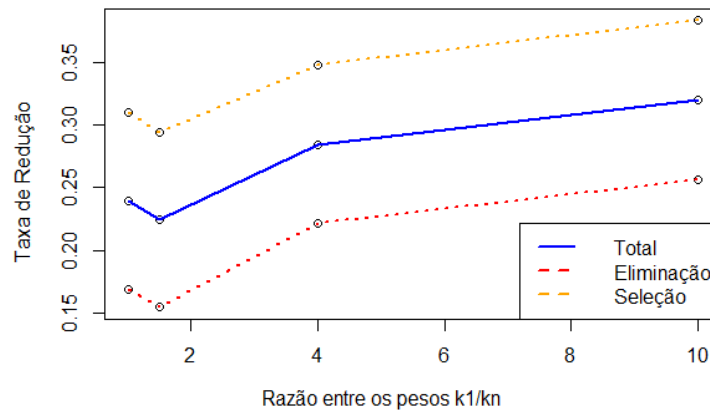
Da figura 11, é possível supor que a média do percentual de redução do número de ciclos decresce exponencialmente à medida que o número de critérios do problema aumenta. Neste caso é possível ainda observar que tanto a holística de seleção, quanto a de eliminação apresentam o mesmo padrão de comportamento.

A partir deste resultado e considerando a discussão feita por Roselli & De Almeida (2021) é possível afirmar que avaliações holísticas para cenários envolvendo muitos critérios requerem uma atenção especial por parte dos analistas, uma vez que apresentam um esforço cognitivo consideravelmente maior, com um risco de erro mais elevado e com um percentual de contribuição para a redução do número de ciclos bastante baixo, quando comparada com cenários menores.

4.1.5. QP5: Como a distribuição dos pesos afeta a performance da avaliação holística para redução do número de perguntas?

Conforme se observa na figura 12, o comportamento observado da taxa média de redução do número de ciclos é não monotônico com o crescimento da razão entre a maior e a menor constante de escala, tendo o seu menor valor para $\frac{k_1}{k_m} = 1.5$ e seu máximo valor para $\frac{k_1}{k_m} = 10k_n$.

Figura 12 – Taxa de Redução Dado a Razão Entre o Maior e o Menor Peso



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Este resultado sugere que a contribuição da avaliação holística para redução do número de ciclos da elicitación de preferências é maior no caso de haver pesos marcadamente diferentes.

Este é um resultado interessante uma vez que de acordo com Mendes *et al* (2020) a performance do FITradeoff na elicitación por decomposição foi melhor para o padrão de pesos em que $\frac{k_1}{k_m} = 1.5$.

Desta forma, a performance da avaliação holística complementa a eficiência do FITradeoff especialmente nestes casos (padrões $\frac{k_1}{k_m} = 4$ e $\frac{k_1}{k_m} = 10$) em que são esperados um maior número de perguntas na decomposição.

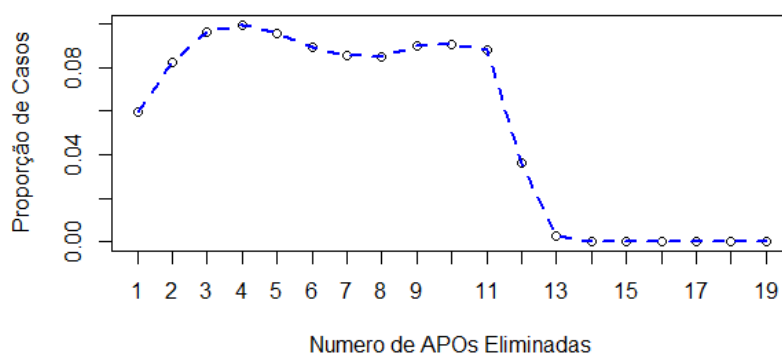
Vale ressaltar que diferente do trabalho de Mendes *et al* (2020), no caso em que a distribuição dos pesos era tal que todos os pesos tinham igual valor, esta informação não foi diretamente incluída na ordenação das constantes por algumas razões que são apresentadas a seguir:

- I. Caso o decisor já tivesse ciência a respeito da indiferença entre os valores das constantes de escala (constantes com valores iguais), não seria necessária a realização da elicitación de preferências para a avaliação intercritério, o mesmo poderia aplicar diretamente o modelo aditivo;
- II. Caso a informação fosse incluída na ordenação das constantes, o problema seria automaticamente finalizado, conforme apresentado por Mendes *et al* (2020), não permitindo a observação do fenômeno de interesse desta pesquisa;
- III. O padrão de pesos iguais foi propositalmente mantido para representar a situação em que o valor dos pesos é bastante próximo uns dos outros, mas que inicialmente o decisor não tinha clareza, representando um conjunto de problemas reais em que ocorre o aprendizado ao longo da elicitación.

4.1.6. QP6: Qual o percentual médio de redução do número de alternativas potencialmente ótimas ao se realizar uma avaliação holística após a ordenação das constantes de escala?

Em média, a realização de holísticas de seleção eliminaram 63% das alternativas contidas no subgrupo inicial de alternativas potencialmente ótimas, já as avaliações holísticas de eliminação reduziram o conjunto de APOs em 49,15%. O número mínimo de APOs eliminadas foi 1 e o máximo 19, o número máximo de APOs excluídas do conjunto ocorreu ao avaliar 2, 15 e 17 alternativas em ambos os procedimentos.

Figura 13 – Número de APOs eliminadas pelo procedimento de seleção

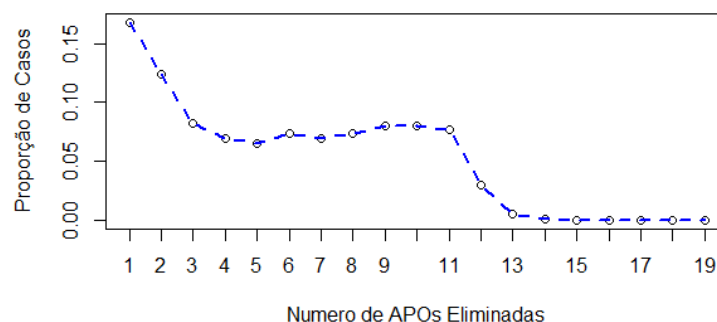


Fonte: Esta Pesquisa (2023)

As figuras 13 e 14 apresentam a proporção de casos em que subgrupos de tamanho $n = 1, \dots, 19$ foram eliminados do conjunto inicial de APOs. No gráfico referente ao procedimento de seleção, observamos uma concentração da proporção de casos na eliminação de 4 APOs (aproximadamente 10%), além disso, se considerarmos o trecho que vai da eliminação de duas APOs até 11 APOs, a proporção de casos em que a eliminação destes subconjuntos é aproximadamente uniforme. Já para subgrupos contendo 13 ou mais APOs, a proporção de ocorrência é quase nula.

No caso do gráfico referente ao procedimento da eliminação, observa-se uma concentração de ocorrências de eliminação de apenas uma APO (aproximadamente 17% dos casos). Considerando o trecho que vai de 3 a 11 APOs eliminadas, pode-se considerar que a distribuição da proporção da ocorrência destes casos é aproximadamente uniforme. Assim como no caso anterior, a proporção de casos em que houve a eliminação de 13 ou mais APOs foi quase nula.

Figura 14 – Número de APOs eliminadas pelo procedimento de eliminação



Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Os resultados mostram que a holística contribui de forma relevante para a redução do número de alternativas potencialmente ótimas afinal, em cada observação apenas uma holística foi realizada tendo somente a informação da ordenação das constantes sido incluída no modelo.

A observação da redução do número de alternativas potencialmente ótimas, por sua vez, é importante pois um espaço menor de ações pode facilitar a realização de outras avaliações holísticas que contribuirão para acelerar a conclusão do problema.

4.2. RESUMO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando os resultados explanados na sessão anterior, pode-se observar que a avaliação holística mostrou um melhor desempenho nos cenários envolvendo um menor número de critérios, chegando a aproximadamente uma média de redução de 59,9% no caso de três critérios e tendo a pior performance no cenário envolvendo 15 critérios, tendo como média 12,26%.

Observou-se que a holística promoveu a redução do número de ciclos da elicitação de preferências em 33,13% dos casos, sendo que em 49% destes casos houve a finalização do problema somente com a informação da ordenação das constantes seguida pela avaliação holística realizada. Isso sugere, e deve ser testado em estudos futuros, que a probabilidade de finalizar o problema dado que a holística reduz o número de ciclos é de aproximadamente 49%.

A tabela 6 apresenta a proporção observada de casos em que a holística promoveu redução no número de ciclos, considera-se tanto o procedimento de seleção, quanto de eliminação.

As células em amarelo na tabela 6 apresentam a maior e a menor proporção da observação de redução do número de ciclos. Vale ressaltar que os dados da tabela podem ser vistos como resultantes de um experimento de Bernoulli (Hines & Montgomery, 1990) em que $R = p$ que representa a probabilidade de que a avaliação holística reduza o número de ciclos, enquanto $N = (1-p)$ representando o evento complementar. Com isso, é possível estimar a probabilidade de que a primeira holística realizada reduza o número de ciclos da elicitação.

Tabela 6 - Proporção de casos em que houve redução (R) e casos em que não houve redução (N) ao se realizar uma Avaliação Holística

	Critério
--	----------

		3	4	5	7	10	15
Alternativas	5	-	-	R: 41,8% N: 58,2%	R: 26,8% N: 73,2%	R: 33,6% N: 66,4%	R: 28,3% N: 71,7%
	10	-	-	R: 31,7% N: 68,3%	R: 26,1% N: 73,9%	R: 22,8% N: 77,2%	R: 20,6% N: 79,4%
	15	-	-	R: 35,6% N: 64,4%	R: 24,7% N: 75,3%	R: 22% N: 78%	R: 19,1% N: 80,9%
	20	R: 61,1% N: 38,9%	R: 46,9% N: 53,1%	R: 39,8% N: 60,2%	R: 25,9% N: 74,1%	R: 22,7% N: 77,3%	R: 20,5% N: 79,5%
	30	R: 62,9% N: 37,1%	R: 53,4% N: 46,6%	R: 36,7% N: 63,3%	R: 30,1% N: 69,9%	R: 22,2% N: 77,8%	R: 20,2% N: 79,8%
	50	R: 57,9% N: 42,1%	R: 42,5% N: 57,5%	R: 32,5% N: 67,5%	-	-	-
	70	R: 51,8% N: 48,2%	R: 36,6% N: 63,4%	R: 26,8% N: 73,2%	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Conforme apresentado, verificou-se que a performance no procedimento de seleção conseguiu superar a contribuição do procedimento de eliminação em todos os cenários e considerando todos os padrões de pesos. Essa é uma observação relevante, já que estudos de neurociência apontam que o procedimento de eliminação é menos custoso para o decisor.

Os dados sugerem que pode haver alguma correlação entre o aumento do número de alternativas no problema e o percentual médio de redução dos ciclos promovido pela holística, todavia, é necessário realizar um estudo mais atento buscando analisar essa influência ao remover a influência do número de critérios.

Do ponto de vista do aumento no número de alternativas avaliadas, é de se esperar que quanto maior o conjunto sendo avaliado, maior a redução. Entretanto, uma observação importante é que, no procedimento de eliminação, a curva que representa o percentual de redução do número de ciclos parece ter uma tendência a se estabilizar à medida que o número de alternativas comparadas se torna grande.

Tabela 7 – Resumo dos Resultados Obtidos

Resumo dos Resultados

Questão Pesquisa	Fator Observado	Constatação
QP1	Percentual de redução do número de perguntas ao realizar uma holística	Em 33% dos casos a holística reduziu o número de perguntas e quando isso ocorreu, o número de perguntas foi reduzido em 80,3%,.
QP2	Contribuição dos procedimentos de seleção e eliminação para a redução do número de perguntas	O procedimento de seleção teve uma média de redução maior para todos os cenários avaliados do que o procedimento de eliminação.
QP3	Efeito do aumento/redução do número de alternativas do problema	A análise da taxa de redução com o aumento do número de alternativas ao se fixar o número de critérios sugere que ao aumentar o número de alternativas, têm-se, majoritariamente, um efeito de redução da contribuição da avaliação holística para a redução do número de ciclos, apesar da não monotonicidade da relação. Com relação ao número de alternativas consideradas na avaliação, no procedimento de seleção, o percentual de redução do número de ciclos cresce à medida que o número de alternativas avaliadas holisticamente aumenta (podendo chegar a 100% de eliminação ao se avaliar todas as APOs), já para o procedimento de eliminação, o percentual de redução cresce até aproximadamente 40% à medida que o número de alternativas avaliadas cresce, não passando deste valor mesmo ao comparar todas as APOs do problema.

QP4	Efeito do aumento/redução do número de critérios do problema	O percentual médio de redução do número de perguntas decresce com o aumento no número de critérios
QP5	Efeito da distribuição dos pesos	O maior valor de percentual médio de redução do número de perguntas foi observado para a distribuição $\frac{k_1}{k_m} = 4$ e o menor percentual médio de redução para a distribuição $\frac{k_1}{k_m} = 1.5$ em ambos os procedimentos (seleção e eliminação).
QP6	Redução do número de APOs ao realizar uma holística.	Redução considerável do número de APOs apresentando uma distribuição da proporção de ocorrência aproximadamente uniforme na eliminação de subconjuntos de 2 a 11 APOs para a seleção e de 3 a 11 APÓS na eliminação. Enquanto no procedimento da seleção a eliminação de apenas 1 APO é menos frequente do que a eliminação de 2 a 11 APÓS, no procedimento da eliminação, a eliminação de apenas 1 APO ocorre com mais frequência do que qualquer outro caso.

Fonte: Esta Pesquisa (2023)

Diferente do número de alternativas, é possível ver claramente um padrão decrescente do percentual médio de redução do número de ciclos à medida que o número de critérios do problema aumenta. Esse resultado lança luz a discussões levantadas na área de neurociência, já que os dados mostraram que holísticas envolvendo muitos critérios além de elevar o nível de complexidade da avaliação, têm contribuição relativamente menor para a aceleração do processo.

No que se refere aos diferentes padrões de peso, foi possível observar que quanto maior a razão entre a maior e a menor constante de escala, maior a contribuição observada da holística. Este é, por sua vez, um importante resultado já que complementa a eficiência do método

FITradeoff que, conforme Mendes *et al* (2020), apresentou uma eficiência relativamente menor para estes casos em sua versão sem holísticas.

Por fim, é possível observar que a holística demonstrou ter uma significativa contribuição para a redução do número de APOs, este resultado também é importante tanto porque um menor número de APOs pode facilitar a realização de novas holísticas, como porque nem sempre o decisor necessitará finalizar o processo de elicitação, podendo encontrar um resultado parcial que já seja satisfatório para os seus objetivos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões, os desafios enfrentados, bem como sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo a investigação do impacto promovido pela realização de avaliações para o aumento da eficiência do método FITradeoff. Tal eficiência é compreendida neste trabalho como representada pelo o número de ciclos da elicitación de preferências junto ao decisor até a obtenção da solução, de forma que, quanto menor o número de perguntas, maior a eficiência, já que a solução poderá ser encontrada com um menor esforço.

A metodologia para a condução da análise incluiu a realização de experimentos de simulação que foram realizados em ambiente Delphi considerando diferentes cenários, fruto da combinação das variáveis número de critérios, número de alternativas, bem como o padrão de pesos que representa as preferências do decisor na parametrização do Modelo Aditivo.

Um total de 11.321.972 (onze milhões, trezentos e vinte um mil, novecentos e setenta e duas) observações do fenômeno “redução do número de ciclos da elicitación de preferências” foi obtido para cada um dos procedimentos (seleção e eliminação) a partir das simulações, e foram posteriormente analisados através do RStudio, que é um programa *opensource* que conta com uma série de bibliotecas para análises estatísticas.

Dentre os principais resultados obtidos, se destacam a redução média de 26% do número de ciclos promovido pela avaliação holística de maneira geral, 33,31% da holística de seleção e 19,9% da holística de eliminação. Analisando somente os casos em que houve redução no número de ciclos, o percentual de redução foi de 80,3% do número de perguntas.

Observou-se que a análise dos cenários de maneira separada pode trazer uma melhor precisão para o valor médio de redução que foi mais elevado para os cenários envolvendo um menor número de critérios.

Outras constatações envolvem a observação de uma maior contribuição da avaliação holística em cenários envolvendo uma distribuição de pesos menos uniforme, além da observação de um percentual razoavelmente grande de casos em que dado que a avaliação holística promoveu alguma redução no número de ciclos, o problema foi finalizado apenas com a holística e a ordenação das constantes.

Vale ressaltar que o estudo envolveu a realização de apenas uma avaliação holística ao se resolver cada problema, isso significa que o efeito combinado de múltiplas avaliações holística poderá trazer ainda mais eficiência para o processo de elicitación de preferências no método FITradeoff.

De maneira geral, os resultados demonstraram que é bastante razoável afirmar que a avaliação holística aumenta a eficiência do método FITradeoff. Além disso, os *insights* gerados por esta pesquisa podem ser utilizados por analistas em conjunto com as recomendações advindas dos estudos em neurociência para que se tenha uma maior compreensão do custo cognitivo versus o benefício em termos de ganho de eficiência ao se realizar uma holística.

Os desafios encontrados para a realização deste trabalho se relacionaram majoritariamente ao processo de simulação propriamente dito, afinal, este é um processo demorado que envolve a utilização de relativa grande capacidade computacional, ainda mais levando em consideração a característica combinatória dos subconjuntos de alternativas potencialmente ótimas gerados para análise.

Foram necessários quatro computadores ACER com 4GB de memória RAM, processador Core i5-6200U 2.3GHz com turbo *boost* para até 2.8 GHz para a obtenção dos dados.

Além disso, é possível destacar como limitações desta pesquisa a não realização de testes estatísticos para possibilitar a inferência com base nas observações, além disso, fica em aberto a realização de estudos similares para a avaliação da combinação dos paradigmas na problemática de ordenação, que apesar de não fazer parte do escopo desta pesquisa, tem muito a contribuir para a geração de novos conhecimentos.

Outra limitação diz respeito à não diferenciação/investigação de problemas com 100% dos critérios sendo de escala natural e contínua e problemas envolvendo apenas critérios de escala construída. Essa investigação seria interessante, uma vez que o número de perguntas que podem ser feitas na elicitación por decomposição em cada um destes cenários se difere substancialmente, de forma que a redução promovida pelas avaliações holísticas possa apresentar diferentes percentuais de redução.

Pode-se ainda levantar como limitação deste trabalho o fato de se considerar apenas uma avaliação holística em cada observação, na prática o decisor pode realizar tantas avaliações quantas se sentir confiante. Novos estudos envolvendo múltiplas avaliações holísticas podem ser conduzidos para investigação do efeito combinado das mesmas.

Este trabalho apresentou significativa contribuição para a literatura ao discutir questões ainda não abordadas, possibilitando o entendimento da taxa de redução do número de perguntas promovido pela realização de uma avaliação holística na eliciação de preferências do FITradeoff.

Conforme discutido, os resultados apontam que há relação entre o aumento/diminuição da taxa de redução do número de ciclos e todas as variáveis estudadas, o que pode proporcionar *insights* no momento da utilização dos paradigmas de eliciação. Além disso, o presente trabalho fornece apoio para as afirmações feitas por diversos autores.

Por fim, é válido afirmar que os objetivos dessa pesquisa foram alcançados, uma vez que os resultados permitiram trazer luz às questões levantadas, até então não abordadas na literatura.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros é altamente recomendado avançar com esta pesquisa adentrando o campo inferencial para que seja possível prover ainda mais informação factual para os analistas no que se refere à utilização dos paradigmas na resolução dos problemas de decisão multicritério com o método FITradeoff.

O estudo do efeito da avaliação holística para a redução do número de perguntas em problemas com predominância de critérios de escala construída pode trazer ainda mais luz a questão, uma vez que no caso de critérios deste tipo, passa a existir um número finito e reduzido ($N^{\circ} \text{ perguntas} = NL - 2$, sendo NL o número de níveis da escala) de perguntas que podem ser realizadas, diferenciando-os dos critérios de escala natural e contínua.

Estudar o efeito combinado de múltiplas avaliações holísticas para a redução do número de perguntas é uma outra abordagem que pode ajudar a entender se haverá ou não uma redução significativamente maior do que a redução promovida por apenas uma avaliação holística. Uma sugestão seria usar como base as regras desenvolvidas por Roselli & De Almeida (2020) para que o sistema decida se fará ou não cada avaliação holística, este estudo poderá aproximar ainda mais a simulação do comportamento natural dos decisores.

Outra sugestão que apresenta grande potencial de contribuição é a condução deste mesmo estudo para a análise da contribuição da combinação dos paradigmas na problemática de ordenação, uma vez que muitos problemas de decisão do dia-a-dia requerem a ordenação

das alternativas ao invés de apenas selecionar a melhor de todas. Devido à limitação de tempo, esta pesquisa não pôde envolver estes aspectos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, J.P.S.; WANDERLEY, M.C.G. Apoio à decisão multicritério para priorização de estratégias de segurança pública: uma aplicação do método fitradeoff de ordenação. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2020, João Pessoa. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2020.

BARBOSA R.; DA FONTE, M.I.S.; DE ALMEIDA A.T. Utilização do FITradeoff Web-Based para Escolha de Localização de um Centro Comunitário na Cidade do Recife. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2018, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2018.

BELTON V, STEWART T. Multiple criteria decision analysis: An integrated approach. Berlin, **Springer**, 2002.

CAMILO, D.G.G.; SOUZA, R.P.; FRAZÃO, T. C.; COSTA JUNIOR, J.F. Multi-criteria analysis in the health area: selection of the most appropriate triage system for the emergency care units in natal. **Bmc Medical Informatics And Decision Making**, [S.L.], v. 20, n. 1, 21 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12911-020-1054-y>.

CARVALHO, R.C.L.C; ROSELLI, L.R.P.; FIGUEIRA, J.R. Assigning priorities for raw material of a large pet food producer in the context of supply disruption. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 1-15, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263605>.

CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org.). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2ed. Rio de Janeiro, **Elsevier**, 2011.

CORREIA, L.M.A.M.; SILVA, J. M. N. da; LEITE, W.K.S.; LUCAS, R.E.C.; COLAÇO, G.A. A multicriteria decision model to rank workstations in a footwear industry based on a FITradeoff-ranking method for ergonomics interventions. **Operational Research**, [S.L.], v. 22,

n. 4, p. 3335-3371, 23 ago. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12351-021-00671-0>.

CYRENO, M.W.; ROSELLI, L.R.P. Application of the FITradeoff method in a portfolio problem in the context of reverse logistics for wholesale. *Pesquisa Operacional*, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263604>.

CZEKAJSKI, M.; WACHOWICZ, T.; FREJ, E.A. Exploring the combination of holistic evaluation and elicitation by decomposition in FITradeoff: prioritizing cultural tourism products in poland. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263454>.

DA SILVA, L.B.L., FREJ, E.A., DE ALMEIDA, A.T., FERREIRA, R.J.P., MORAIS, D.C., A review of partial information in additive multicriteria methods, **IMA Journal of Management Mathematics**, 2022. Doi: 10.1093/imaman/dpab046.

DE ALMEIDA, A.T.; FREJ, E.A.; ROSELLI, L.R.P.; COSTA, A.P.C.S. A summary on FITradeoff method with methodological and practical developments and future perspectives. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00268356>.

DE ALMEIDA, A.T., FREJ, E.A. & ROSELLI, L.R.P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. **Central European Journal of Operations Research** 29, 7–47, 2021.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, p. 179-191, 2016.

DE Almeida, A.T.; Cavalcante, C.A.V.; Alencar, M.H.; Ferreira, R.J.P.; DE Almeida-Filho, A.T.; Garcez, T.V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and

Maintenance Decision Analysis. **International Series in Operations Research & Management Science**. New York, v. 231, 2015, Springer.

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

DE ARAUJO, Y.P.G., FREJ, E.A., ROSELLI, L.R.P., MACHADO, A.J. Uso do método FITradeoff para seleção de fornecedores em um processo licitatório com base na modalidade pregão. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2022, Juiz de Fora. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2022.

DELL'OVO, M.; OPPIO, A; CAPOLOGO, S. Approaching the Location of Healthcare Facilities: how to model the decision problem. **Decision Support System For The Location Of Healthcare Facilities**, [S.L.], p. 53-79, 2020. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-50173-0_3.

DELL'OVO, M. ; FREJ, E.A. ; OPPIO, A.; CAPOLOGO, S.; MORAIS, D.C.; DE ALMEIDA, A.T. FITradeoff Method for the Location of Healthcare Facilities Based on Multiple Stakeholders' Preferences. **Lecture Notes In Business Information Processing**, [S.L.], p. 97-112, 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-92874-6_8.

DE MACEDO, P.P.; MOTA, C.M.M.; SOLA, A.V.H. Meeting the Brazilian Energy Efficiency Law: a flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 41, p. 822-832, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.020>.

DE OLIVEIRA, A.C.; SILVA, W.D.O.; MORAIS, D.C. Developing and prioritizing lean key performance indicators for plastering supply chains. **Production**, [S.L.], v. 32, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20220054>.

DOS SANTOS, L. A.; SANTOS, A.F.A.; ASSIS, A.G.; COSTA JÚNIOR, J.F.; SOUZA, R.P. Model to support intervention prioritization for the control of *Aedes aegypti* in Brazil: a multi-

criteria approach. **Bmc Public Health**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 932, 10 maio 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12889-022-13006-1>.

DUTTA, B.; DAO, S.D.; MARTÍNEZ, L.; GOH, M. An evolutionary strategic weight manipulation approach for multi-attribute decision making: topsis method. **International Journal Of Approximate Reasoning**, [S.L.], v. 129, p. 64-83, fev. 2021. Elsevier BV. Doi: 10.1016/j.ijar.2020.11.004.

FRAZÃO, T.D. C.; SANTOS, A.F.A. dos; CAMILO, D.G.G.; DA COSTA JÚNIOR, J.F.; DE SOUZA, R.P. Priority setting in the Brazilian emergency medical service: a multi-criteria decision analysis (mcda). **Bmc Medical Informatics And Decision Making**, [S.L.], v. 21, n. 1, 6 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12911-021-01503-z>.

FREJ, E.A.; EKEL, P.; DE ALMEIDA, A.T. A benefit-to-cost ratio based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. **Information Sciences**, [S.L.], v. 545, p. 487-498, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2020.08.119>.

FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. **Operational Research**, 2019. Doi: 10.1007/s12351-018-00444-2.

FREJ, E.A.; ROSELLI, L.R.P.; ALMEIDA, J.A.; DE ALMEIDA, A.T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2017, p. 1-9, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/4541914>.

FREJ, E.A.; ROSELLI, L.R.P.; ALMEIDA, J.A.; DE ALMEIDA, A.T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2017, p. 1-9, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/4541914>.

FONTANA, M.E.; SILVA, W.D.O.; GARCEZ, T.V. Solução do problema de atribuição de locais em armazém através do método multicritério aditivo de elicitação flexível e interativo de tradeoff. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2018, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2018.

FOSSILE, D.K.; FREJ, E.A.; COSTA, S.E.G.; LIMA, E.P.; ALMEIDA, A.T. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 260, p. 121107, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121107>.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002. 176 p.

GUSMÃO, A.P.H.; MEDEIROS, C.P. A Model for Selecting a Strategic Information System Using the FITradeoff. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2016, p. 1-7, 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7850960>.

Hines, W.W., Montgomery, D.C. **Probability and Statistics in Engineering and Management Science**. NewYork, Wiley, 1990.

Hwang C.L., Yoon K. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. In Springer, Heidelberg, 1981.

KANG, T.H.A. ; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T. Flexible and interactive tradeoff elicitation for multicriteria sorting problems. **Asia-Pacific Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 37, n. 05, p. 2050020, 17 set. 2020. World Scientific Pub Co Pte Lt. Doi: 10.1142/s0217595920500207.

KANG, T.H.A; SOARES JÚNIOR, A.M.C.; DE ALMEIDA, A.T. Evaluating electric power generation technologies: a multicriteria analysis based on the fitradeoff method. **Energy**, [S.L.], v. 165, p. 10-20, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.165>.

KEENEY, R. L. **Value-focused thinking: A Path to Creative Decisionmaking**. Harvard University Press, 1992.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decision analysis with multiple conflicting objectives**. New York, Wiley & Sons, 1976.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo : Atlas, 2003.

LIU, D.; LI, T.; LIANG, D. An integrated approach towards modeling ranked weights. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 147, p. 106629-106645, set. 2020. Elsevier BV. Doi: 10.1016/j.cie.2020.106629.

LUGO, S.D.R.; DU, B.; ALMEIDA, J.A.; NISHINO, N. A circular food economy multicriteria decision problem based on the FITradeoff method. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263528>.

Macedo, P.P., Mota, C.M.M. Aplicação do método FITradeoff no apoio à tomada de decisão: adequação a lei de eficiência energética brasileira. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2016, Vitória. **Anais eletrônicos**.

MARIOTTI, D.J.; MENDES, J.A.J.; HUMBERTO, J.S. Curadoria em portfólio de projetos com abordagem de análise multicritério. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2022, Juiz de Fora. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2022.

MARQUES, A.C.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T. Multicriteria decision support for project portfolio selection with the FITradeoff method. **Omega**, [S.L.], v. 111, p. 102661-102673, set. 2022. Elsevier BV. Doi: 10.1016/j.omega.2022.102661.

MARTINS, M.A.; GARCEZ, T.V.; GUSMÃO, A.P.H.; SILVA, L.G.O.; ALMEIDA, J.A. de. Multicriteria Model Based on FITradeoff Method for Prioritizing Sections of Brazilian Roads by Criticality. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2020, p. 1-15, 29 dez. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/8894402>.

MENDES, J.A.J.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T., ALMEIDA, J.A. Evaluation of flexible and interactive tradeoff method based on numerical simulation experiments. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 40, p. 1-25. 2020. Doi: 10.1590/0101-7438.2020.040.00231191.

MONTE, M.B.; MORAIS, D.C. A Decision Model for Identifying and Solving Problems in an Urban Water Supply System. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 33, n. 14, p. 4835-4848, nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-019-02401-w>.

MORAIS, D.C.; ARAÚJO, A.M.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T. de. Group Decision Process for Evaluating a Mango Variety to Be Planted in New Agricultural Farms. **Collective Decisions: Theory, Algorithms And Decision Support Systems**, [S.L.], p. 247-264, 14 out. 2021. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-84997-9_11.

NASCIMENTO, F.P. D., SOUSA, F.L.L. **Metodologia da pesquisa científica - teoria e pratica**. 1ed. Brasília, Thesaurus Editora, 2015.

OLIVEIRA, R.S.M; MORAIS, D.C.; SIEBERT, J. Developing and evaluating new alternatives for urban mobility: a case study of a brazilian city. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 1-15, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263440>.

PERGHER, I; FREJ, E.A.; ROSELLI, L.R.P.; DE ALMEIDA, A.T. Integrating simulation and FITradeoff method for scheduling rules selection in job-shop production systems. **International Journal Of Production Economics**, [S.L.], v. 227, p. 107669, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107669>.

PESSOA, M.E.B.T.; ROSELLI, L.R.P.; DE ALMEIDA, A.T. Using the FITradeoff Decision Support System to Support a Brazilian Compliance Organization Program. **Information Systems Frontiers**, [S.L.], p. 1-15, 2 jun. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10796-022-10290-5>.

PESSOA, M.E.B.T, ROSELLI L.R.P, DE ALMEIDA, A.T. Neuroscience Experiment to improve the new feature of the FITradeoff Method. ICDSSST, **Decision Support Systems**, Analytics and Technologies in response to Global Crisis Management, 2021.

POLETO, T.; CLEMENTE, T.R.N.; GUSMÃO, A.P.H.; SILVA, M.M.; COSTA, A.P.C.S. Integrating value-focused thinking and FITradeoff to support information technology outsourcing decisions. **Management Decision**, [S.L.], v. 58, n. 11, p. 2279-2304, 7 jul. 2020. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/md-09-2019-1293>.

RIBEIRO, M.L.S.; ROSELLI, L.R.P.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T.; MORAIS, D.C. Using the FITradeoff method to solve a shopping mall location problem in the northeastern countryside of Brazil. **Control And Cybernetics**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 109-126, 1 mar. 2021. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/candc-2021-0007>.

RODRIGUES, L.V.S.; CASADO, R.S.G.R.; CARVALHO, E.N.; SILVA, M.M.; SILVA, L.C. e. Using FITradeoff in a ranking problem for supplier selection under TBL performance evaluation: an application in the textile sector. **Production**, [S.L.], v. 30, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20190032>.

RODRIGUEZ, J.M.M.; KANG, T.H.A.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T. Decision-making in the purchase of equipment in agricultural research laboratories: a multiple-criteria approach under partial information. **Decision Science Letters**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 451-462, 2021. Growing Science. Doi: 10.5267/j.dsl.2021.7.004.

RODRÍGUEZ, J.M.M; FREJ, E.A.; KANG, T.H.A.; DE ALMEIDA, A.T. Outsourcing laboratory services from a colombian agricultural research company using the FITradeoff method under multiple stakeholders analysis. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00258518>.

ROSELLI, L.R.P., & DE ALMEIDA, A.T. The use of the success-based decision rule to support the holistic evaluation process in FITradeoff. **International Transactions in Operational Research**, 2021. Doi:10.1111/itor.12958

SANTO P.P.P.E., FREJ E.A., DE ALMEIDA A.T. Improving the Elicitation Process for Intracriterion Evaluation in the FITradeoff Method. In: Innovation for Systems Information and Decision. **Lecture Notes in Business Information Processing**, vol 435. Springer, Cham, 2021.

SANTOS, A.G.; PESSÔA, L.A.M.; MOTA, C.M.M; FREJ, E.A.. A FITradeoff-based approach for strategic decisions on military budget. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00262789>.

SCHRAMM, V. B.; DAMASCENO, A. C.; SCHRAMM, F. Supporting the choice of the best-fit agile model using FITradeoff. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00264750>.

SILVA, W.D.O; MORAIS, D.C. Impacts and insights of circular business models' outsourcing decisions on textile and fashion waste management: a multi-criteria decision model for sorting circular strategies. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 370, p. 133551, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133551>.

SHUKLA, Shekhar; DUBEY, Ashish. Celebrity selection in social media ecosystems: a flexible and interactive framework. **Journal Of Research In Interactive Marketing**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 189-220, 9 jul. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jrim-04-2020-0074>.

VELÔZO, R., SURUAGY, T., RIBEIRO, L., LINS, I.D. Análise multicritério para escolha de projetos de inovação em encomenda tecnológica usando o método FITradeoff de ordenação. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2021, João Pessoa. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2021.

VIEIRA, A. C. A.; Ferreira, R. J. P. Apoio multicritério a decisão em alocação de recursos de capital em instituição pública de ensino técnico com base no método FITradeoff. In: Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2017, Blumenau-SC. **Anais eletrônicos**.

WEBER, M. Decision making with incomplete information. **European Journal of Operational Research**, 28, 44–57, 1987.

ZANAZZI, J.F.; ZANAZZI, J.L.; PONTELLI, D. Prioritization of improvement actions in industrial production: application of the FITradeoff method to order improvement actions identified through the failures modes and effects analysis (fmea). **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 43, n. 1, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043spe1.00263696>.