

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

TAKANNI HANNAKA ABREU KANG

PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO COM O FITRADEOFF E ALOCAÇÃO DE
RECURSOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

RECIFE

2018

TAKANNI HANNAKA ABREU KANG

PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO COM O FITRADEOFF E ALOCAÇÃO DE
RECURSOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Sóstenes Luiz Soares Lins.

RECIFE

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

K16P Kang, Takanni Hannaka Abreu.
Problemática de classificação com o FITradeoff e alocação de recursos em sistemas de energia elétrica / Takanni Hannaka Abreu Kang. – 2018.
85 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.
Coorientador: Prof. Dr. Sóstenes Luiz Soares Lins.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Alocação de Recursos. 3. Decisão Multicritério. 4. Informação Parcial. 5. Problemática de Classificação. 6. Portfólio de Projetos. I. Almeida, Adiel Teixeira de. (Orientador). II. Lins, Sóstenes Luiz Soares (Coorientador). III. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2018-127

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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

TAKANNI HANNAKA ABREU KANG

**“Problemática de Classificação com o FITradeoff e Alocação de Recursos
em Sistemas de Energia Elétrica”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata TAKANNI HANNAKA ABREU KANG **APROVADA**.

Recife, 20 de fevereiro de 2018.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof. SÓSTENES LUIZ SOARES LINS, PhD (UFPE)

Profa. ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutora (UFPE)

Prof. MARTÍN GÓMEZ RAVETTI, PhD (UFMG)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua graça e por todas as experiências vividas que me conduziram até aqui. Agradeço em especial pelos conhecimentos adquiridos, pelas pessoas ao meu redor e pelas oportunidades durante o período de realização do curso de mestrado, bem como pela capacidade e força recebidas para enfrentar todas as situações.

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, Fatima Abreu, e à minha avó, Nadeje Oliveira, por minha educação e por todo amor e apoio recebidos.

Agradeço a todos os professores que contribuíram com minha trajetória até o mestrado, desde o ensino básico até a graduação.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por auxiliarem minha inserção na área da pesquisa operacional e decisão multicritério. Em especial agradeço ao meu orientador, professor Adiel Teixeira de Almeida, pela confiança em mim depositada, pelas oportunidades a mim concedidas, pelo aprendizado e por seu tempo e dedicação destinados à minha formação e desenvolvimento.

Agradeço também ao professor Sóstenes Lins pela coorientação deste trabalho e por suas contribuições e disponibilidade.

Agradeço aos queridos colegas do Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID) por tantas lembranças felizes dos nossos dias juntos. Em especial agradeço às companheiras de sala Eduarda Asfora (Duda), Jenny Milena e Maria Isabel Suassuna (Bebel) pela companhia, amizade e trabalho em equipe.

Agradeço também a Isabela Vilaça e Giovanna Aidar por suas contribuições ao SAD FITradeoff, e a Damaris Viveiros, cujas melhorias realizadas permitiram a elaboração da Figura 3.3 deste trabalho.

Agradeço à professora Danielle Morais pela disposição em esclarecer minhas dúvidas relacionadas aos aspectos burocráticos do programa, desde a reunião de esclarecimento até a entrega deste trabalho.

Agradeço a Juliane (Ju), Fernanda Oliveira, Ingrid Rafaelly e Tereza Bezerra pelo apoio durante esse período.

Agradeço à UFPE e ao PPGEP por me proporcionarem as condições necessárias para que eu realizasse este trabalho.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro recebido ao longo do curso.

Finalmente, agradeço aos amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse nesta etapa e para que este trabalho fosse realizado.

“The pleasure we found in working together made us exceptionally patient; it is much easier to strive for perfection when you are never bored.”

(Daniel Kahneman)

RESUMO

O conjunto de projetos de uma organização constitui o portfólio de projetos, cuja seleção busca maximizar benefícios a partir dos recursos disponíveis. A fim de auxiliar decisores nesse contexto, o problema de seleção de portfólio de projetos é tratado neste trabalho em duas etapas, nas quais se pressupõe informação parcial ao invés de completa, buscando soluções robustas para uma gama de valores de parâmetros viáveis. Na primeira etapa, realiza-se uma pré-seleção ou triagem do conjunto inicial de projetos, a fim de eliminar aqueles que pouco contribuem para o atingimento dos objetivos da organização, bem como manter a etapa posterior de seleção de portfólio dentro de um tamanho gerenciável, dado o caráter combinatório do problema. Uma extensão do método multicritério de informação parcial FITradeoff é proposta para tratar a problemática de classificação, combinando modelos de programação linear e regras de decisão. O método é aplicado à pré-seleção de projetos a fim de classificá-los o mais rápido possível e com o mínimo de informação do decisor. Na segunda etapa, a partir do conjunto de projetos pré-selecionados, avalia-se o problema de seleção de portfólio propriamente dito através de uma abordagem baseada em informação parcial e nos conceitos de dominância absoluta e portfólio potencialmente ótimo, buscando uma solução através de modelos de programação linear cujas restrições refletem as preferências do decisor. Um problema de seleção de portfólio de projetos em sistemas de energia elétrica é apresentado e utilizado a fim de ilustrar a aplicabilidade tanto do método FITradeoff para classificação dos projetos na etapa de pré-seleção, quanto da abordagem para seleção de portfólio sob informação parcial na etapa posterior.

Palavras-chave: Alocação de recursos. Decisão multicritério. Informação parcial. Problemática de classificação. Portfólio de projetos.

ABSTRACT

The set of projects of an organization constitutes the portfolio of projects, whose selection seeks to maximize benefits from the available resources. In order to assist decision makers in this context, the project portfolio selection problem is treated in this work in two steps, in which partial rather than complete information is presupposed, searching for robust solutions given a range of feasible parameter values. In the first step, a pre-selection or screening of the initial set of projects is carried out, in order to both eliminate those that contribute little to the achievement of the organization's objectives, and to maintain the subsequent portfolio selection step within a manageable size, given the combinatorial nature of the problem. An extension of FITradeoff, a multicriteria method that uses partial information, is proposed to deal with the sorting problematic, combining linear programming models and decision rules. The method is applied to the project pre-selection step, so as to sort all the projects as soon as possible, requiring minimum information from the decision maker. In the second step, based on the set of pre-selected projects, the portfolio selection problem itself is evaluated through an approach based on partial information and the concepts of absolute dominance and potentially optimal portfolio, seeking a solution through linear programming models whose constraints reflect the preferences of the decision maker. A project portfolio selection problem related to electric power systems is presented and used to illustrate the applicability of both the FITradeoff method for project sorting in the pre-selection step and the portfolio selection approach under partial information in the subsequent step.

Keywords: Resource allocation. Multicriteria decision-making. Partial information. Sorting problematic. Project portfolio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 2.1 – Mapeamento de Alternativas em Consequências</i>	22
<i>Figura 2.2 – Estrutura do SAD FITradeoff</i>	27
<i>Figura 2.3 – Pares de Alternativas Hipotéticas</i>	30
<i>Figura 3.1 – Valores de Fronteira q_r que Definem Categorias</i>	39
<i>Figura 3.2 – Processo de Classificação com o FITradeoff</i>	43
<i>Figura 3.3 – Gráfico de Resultados Parciais – Ciclo “6”</i>	54
<i>Figura 4.1 – Etapas da Abordagem para Seleção de Portfólio sob Informação Parcial</i>	62
<i>Figura 4.2 – Árvore de Enumeração Explícita dos Portfólios Possíveis</i>	63
<i>Figura 4.3 – Procedimento para Verificação do Conjunto de Portfólios Não Dominados</i> <i>S_{ND}</i>	67
<i>Figura 4.4 – Dominância e Potencial Optimalidade</i>	69

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 – Matriz de Consequências</i>	23
<i>Tabela 2.2 – Algumas Relações de Preferência</i>	24
<i>Tabela 2.3 – Problemáticas do Processo Decisório</i>	24
<i>Tabela 3.1 – Definição de Categorias de acordo com Valores de Fronteira q_r</i>	39
<i>Tabela 3.2 – Critérios do Problema</i>	46
<i>Tabela 3.3 – Matriz de Consequências do Problema Estudado</i>	47
<i>Tabela 3.4 – Limites do Espaço de Consequências para Cada Critério</i>	49
<i>Tabela 3.5 – Definição das Categorias do Problema</i>	50
<i>Tabela 3.6 – Perguntas da Elicitação para Classificação com Método FITradeoff</i>	51
<i>Tabela 3.7 – Resultados Parciais Obtidos Através do FITradeoff</i>	52
<i>Tabela 3.8 – Análise de Sensibilidade para Critérios Críticos – Projetos Não Classificados</i>	56
<i>Tabela 4.1 – Conjunto de Portfólios Possíveis dados m Projetos</i>	63
<i>Tabela 4.2 – Matriz de Consequências Normalizada</i>	70
<i>Tabela 4.3 – Custo de cada Projeto</i>	71
<i>Tabela 4.4 – Inequações Obtidas a Cada Ciclo</i>	72
<i>Tabela 4.5 – Portfólios Não Dominados</i>	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1.....	25
Equação 2.2.....	32
Equação 2.3.....	32
Equação 3.1.....	41
Equação 3.2.....	41
Equação 3.3.....	49
Equação 4.1.....	65
Equação 4.2.....	66
Equação 4.3.....	66
Equação 4.4.....	68
Equação 4.5.....	70
Equação 4.6.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Analytic Network Process*

ELECTRE – *ELimination et Choix Traduisant la RÉalité*

FITradeoff – *Flexible and Interactive Tradeoff*

LPP – *Linear Programming Problem*

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*

MAVT – *Multi-Attribute Value Theory*

MCDM/A – *Multicriteria Decision-Making/-Aiding*

MVP – *Mean-Variance Portfolio*

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PROBE – *Portfolio Robustness Evaluation*

PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*

RPM – *Robust Portfolio Modeling*

SAD – Sistema de Apoio à Decisão

SMARTS – *Simple Multi-Attribute Rating Technique*

TI – Tecnologia da Informação

UTADIS – *UTilités Additives DIScriminantes*

VFT – *Value Focused Thinking*

LISTA DE SÍMBOLOS

n :	Número de critérios de um problema
F :	Conjunto composto por n critérios
i :	Índice que representa os critérios de um problema ($i = 1, \dots, n$)
m :	Número inicial de alternativas (projetos) de um problema
A :	Conjunto composto pelas m alternativas (projetos) iniciais do problema
j :	Índice que representa as alternativas (projetos) de um problema ($j = 1, \dots, m$)
a_j :	Alternativa pertencente ao conjunto A
$x_i^{a_j}$:	Valor de consequência ou performance da alternativa a_j no critério i
\mathbf{x}^{a_j} :	Vetor de consequências n -dimensional da alternativa a_j
w_i :	Valor de consequência que corresponde à pior performance possível no critério i dado o espaço de consequências
b_i :	Valor de consequência que corresponde à melhor performance possível no critério i dado o espaço de consequências
\succ :	Indica relação de preferência estrita de uma alternativa sobre outra
\sim :	Indica relação de indiferença entre duas alternativas
v :	Função valor que atribui índice de preferência (global) a uma alternativa a_j
v_i :	Função valor marginal que mapeia o <i>range</i> de valores de consequência de cada critério em uma nova escala
k_i :	Constante de escala de um critério i , no contexto do modelo aditivo
h :	Alternativa hipotética do processo de elicitación flexível do método FITradeoff
x_i^I :	Valor de consequência tal que há indiferença entre um par de alternativas hipotéticas, dados dois critérios $i, i + 1$ adjacentes na ordenação
$(\underline{x}_i, \bar{x}_i)$:	Intervalo que contém o valor de consequência de uma das alternativas de um par de alternativas hipotéticas no critério i tal que há relação de indiferença entre essas alternativas
φ^n :	Espaço de pesos (conjunto de valores viáveis que cada constante de escala de critério pode assumir)
k :	Número de categorias predefinidas para um problema de classificação
r :	Índice que representa uma das k categorias do problema ($r = 1, \dots, k$)

C_r :	Categoria predefinida do problema
q_r :	Valor de fronteira que define as categorias
\underline{C} :	Categoria menos desejável, dado um espaço de pesos, à qual uma alternativa poderia vir a ser atribuída
\overline{C} :	Categoria mais desejável, dado um espaço de pesos, à qual uma alternativa poderia vir a ser atribuída
C :	Conjunto de categorias viáveis, dado um espaço de pesos, às quais uma alternativa poderia vir a ser atribuída
p_j :	Projeto pertencente ao conjunto A (alternativa a_j no contexto de projetos)
$S_i^{p_j}$:	Valor de consequência de p_j no critério i gerado aleatoriamente durante análise de sensibilidade
y_j :	Variável binária usada para indicar se um projeto p_j está ou não incluído em um portfólio
S_P :	Conjunto composto por todos os portfólio (combinações) possíveis dado o conjunto de projetos candidatos a compor o portfólio
t :	Número de portfólios viáveis do problema
S_F :	Conjunto de portfólios viáveis do problema
S_{ND} :	Conjunto de portfólios não dominados absolutamente, dado um espaço de pesos
S_{PO} :	Conjunto de portfólios potencialmente ótimos, dado um espaço de pesos
w :	Índice que representa os portfólios de um problema
P_w :	Representa um portfólio do problema
V :	Função valor que atribui índice de preferência (global) a um portfólio P_w

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1.1	Decisão Multicritério e Problemáticas de Referência.....	21
2.1.2	Teoria do Valor Multiatributo e Método FITradeoff.....	25
2.1.3	Alocação de Recursos e Problemática de Portfólio.....	31
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
2.2.1	Métodos Multicritério Aplicados ao Setor Elétrico/Energético.....	33
2.2.2	Problemática de Classificação	33
2.2.3	Seleção de Portfólio de Projetos e Uso de Informação Parcial	34
2.3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTA TRABALHO.....	36
3	CLASSIFICAÇÃO COM MÉTODO FITRADEOFF E SEU USO PARA PRÉ-SELEÇÃO DE PROJETOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	38
3.1	CLASSIFICAÇÃO COM O MÉTODO FITRADEOFF.....	38
3.1.1	Modelos de Programação Linear	40
3.1.2	Regras de Decisão	41
3.1.3	Propriedades do Método FITradeoff para Problemática de Classificação	44
3.2	MÉTODO FITRADEOFF PARA PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO APLICADO À PRÉ-SELEÇÃO DE PROJETOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA	45
3.2.1	Contexto do Problema	45
3.2.2	Categorias para Pré-Seleção de Projetos	49
3.2.3	Elicitação Flexível de Preferências	50
3.2.4	Análise de Sensibilidade	54

3.2.5	Discussão dos Resultados Obtidos a partir da Classificação com o Método FITradeoff	57
3.3	LIMITAÇÕES DO MÉTODO	58
4	ABORDAGEM PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS SOB INFORMAÇÃO PARCIAL E SUA APLICAÇÃO A SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA	59
4.1	PONTOS CRÍTICOS ENCONTRADOS NA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS	59
4.1.1	Problemas de Escala	59
4.1.2	Caráter Combinatório do Problema de Seleção de Portfólio de Projetos	60
4.2	ABORDAGEM PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS SOB INFORMAÇÃO PARCIAL.....	61
4.2.1	Geração dos Conjuntos de Portfólios Possíveis e Viáveis.....	62
4.2.2	Verificação de Soluções Robustas.....	64
4.2.2.1	Restrições do Espaço de Pesos.....	64
4.2.2.2	Portfólios Não Dominados.....	65
4.2.2.3	Portfólios Potencialmente Ótimos.....	67
4.3	SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS EM EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA	69
4.3.1	Conjunto de Projetos Candidatos.....	69
4.3.2	Conjunto de Portfólios Possíveis.....	71
4.3.3	Conjunto de Portfólios Viáveis	71
4.3.4	Preferências do Decisor	72
4.3.5	Conjunto de Portfólios Não Dominados e Portfólio Potencialmente Ótimo	73
4.3.6	Discussão dos Resultados Obtidos a partir da Seleção de Portfólio com a Abordagem Proposta.....	74
4.4	LIMITAÇÕES DA ABORDAGEM PROPOSTA	74
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
5.1	CONCLUSÕES	76
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das organizações se envolve em algum tipo de orçamento regular de capital ou processo de seleção de portfólio de projetos (KLEINMUNTZ, 2007). Por um lado, os projetos têm profundo impacto na organização moderna visto que sua seleção ou formulação inadequada pode levar a desperdício de recursos, limitando seu potencial de crescimento e prejudicando sua posição competitiva (NOWAK, 2013). Por outro, os projetos disponíveis para seleção em geral competem por recursos financeiros, de mão de obra e de instalações, havendo uma disparidade entre a quantidade de boas ideias e os recursos disponíveis para concretizá-las (SOWLATI; PARADI; SULD, 2005). É necessário então selecionar o conjunto de projetos que agrega mais benefícios (EILAT; GOLANY; SHTUB, 2006), tarefa complexa, visto que estes raramente são expressos na forma de um único objetivo a ser alcançado (PHILLIPS; BANA E COSTA, 2007).

Há que se considerar ainda que ao lidar com diversos projetos podem existir interdependências entre estes, tais como sinergias, dependências dinâmicas e correlações, o que pode afetar o valor e o custo de cada projeto para a organização (LIESIÖ; MILD; SALO, 2008; KEISLER, 2011). Dessa forma, o conjunto de projetos selecionados pode ter um valor com respeito ao atingimento das estratégias organizacionais diferente daquele de seus componentes individuais, sendo necessário considerar os benefícios ou perdas decorrentes das interações entre projetos (KEISLER, 2011; NOWAK, 2013). O conjunto de projetos realizados sob custeio e/ou gerenciamento de uma determinada organização constitui o portfólio de projetos (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). Nesse tipo de problema, uma fase inicial pode ser desenvolvida para identificar quais são os projetos relevantes e que devem ser considerados em uma fase subsequente, a fim de manter o número de portfólios viáveis dentro de um tamanho gerenciável (STUMMER; HEIDENBERGER, 2003).

A análise de decisão pode ser útil nesse contexto para auxiliar as organizações a obter o máximo benefício de seus recursos limitados (KLEINMUNTZ, 2007). Decisões que envolvem alocação de recursos, como a seleção de portfólio de projetos, requerem que gerentes considerem múltiplas dimensões para os benefícios (LOURENÇO; MORTON; BANA E COSTA, 2012). Tais considerações podem ser refletidas através de avaliações de desempenho em diversos critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos (NOWAK, 2013). Dessa forma, é desejável um procedimento de avaliação multicritério de portfólio que combine matematicamente as qualidades técnicas dos vários itens no portfólio proposto com

respeito ao atingimento das dimensões preestabelecidas, orientando assim a seleção do melhor portfólio de projetos (GOLABI; KIRKWOOD; SICHERMAN, 1981).

Com o intuito de tratar o problema de seleção de portfólio de projetos e mantê-lo dentro de um tamanho gerenciável, dado seu caráter combinatório, bem como evitar que gerentes dispendam muito tempo analisando projetos que pouco contribuem para o atingimento dos objetivos da organização, neste trabalho propõe-se a extensão do método multicritério FITradeoff para a problemática de classificação, aplicável à fase de pré-seleção de projetos. A fim de auxiliar gerentes em uma fase posterior de seleção de portfólio de projetos, isto é, quando se avalia a escolha do portfólio mais adequado a partir do conjunto de projetos pré-selecionados, propõe-se abordagem multicritério para seleção de portfólio de projetos sob informação parcial. Tal abordagem utiliza os conceitos de dominância absoluta e portfólio potencialmente ótimo a fim de reduzir o número de portfólios viáveis, levando em consideração as preferências do decisor em um contexto multicritério.

1.1 JUSTIFICATIVA

A classificação de alternativas a categorias predefinidas em um contexto multicritério é um problema de grande interesse prático e científico encontrado com frequência em situações reais (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Embora muitos métodos tenham sido propostos para lidar com esse tipo de problema (DOUMPOS *et al.* 2009), a maior parte das técnicas são *ad hoc* (BOUYSSOU; MARCHANT, 2007) ou requerem informação completa para chegar a uma recomendação. Obter esse tipo de informação, no entanto, pode ser um processo demorado e cognitivamente oneroso para o decisor (SALO; KEISLER; MORTON, 2011), sendo aconselháveis métodos baseados em informação parcial que busquem soluções robustas dados intervalos de valores viáveis que os parâmetros do problema podem assumir (LIESIÖ; MILD; SALO, 2007).

O método FITradeoff (de ALMEIDA *et al.*, 2016) é interativo, flexível e utiliza informação parcial obtida através de relações de preferência estrita fornecidas pelo decisor a fim de encontrar uma solução para a problemática de escolha. Essas características favoráveis do método indicam que sua extensão à problemática de classificação poderia trazer benefícios ao lidar com problemas em um contexto determinístico sob a suposição de racionalidade compensatória do decisor. Neste trabalho propõe-se uma extensão do método FITradeoff à problemática de classificação. O método desenvolvido é aplicado à pré-seleção de projetos em

uma fase inicial do processo de seleção de portfólio, algo de grande interesse nas organizações.

A premissa de disponibilidade de informação completa durante o processo decisório também é uma questão relevante no contexto de seleção de portfólio de projetos, uma vez que obter esse tipo de informação pode ser algo cognitivamente difícil para o decisor. Dessa forma, a fim de tratar esse problema, neste trabalho propõe-se uma abordagem para seleção de portfólio de projetos baseada em informação parcial.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor extensão do método FITradeoff para tratar problemas multicritério de classificação de alternativas a categorias predefinidas, e sugerir abordagem para tratar a problemática de portfólio utilizando informação parcial do decisor.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Propor modelos de programação linear e regras de decisão que suportem a extensão do método FITradeoff à problemática de classificação;
- Empregar o método proposto em uma aplicação numérica de pré-seleção de projetos do setor elétrico;
- Analisar o comportamento dos resultados obtidos na etapa de pré-seleção diante de variações nos valores de desempenho dos projetos nos critérios, bem como na definição das categorias preestabelecidas;
- Propor modelos de programação linear para verificar relações de dominância absoluta entre portfólios e portfólios potencialmente ótimos na abordagem para seleção de portfólio sob informação parcial;
- Com base nos projetos do setor elétrico pré-selecionados através do método proposto, aplicar a abordagem sugerida a fim de elaborar recomendação para o problema de seleção de portfólio de projetos analisado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos organizados conforme descrito a seguir:

O Capítulo I introduz o tema estudado, apresentando as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho, bem como os objetivos que se quer alcançar.

O Capítulo II apresenta a fundamentação teórica que dá suporte aos desenvolvimentos contidos nos Capítulos III e IV. Apresentam-se conceitos básicos em decisão multicritério e explicações acerca da Teoria do Valor Multiatributo e do método FITradeoff para problemática de escolha. São apresentados também conceitos referentes a alocação de recursos e problemática de portfólio no contexto de projetos. A fim de situar e diferenciar a proposta deste trabalho de outras abordagens encontradas na literatura, o Capítulo II apresenta ainda uma revisão bibliográfica voltada a métodos MCDM/A para as problemáticas de classificação e portfólio, em especial aqueles que fazem uso de informação parcial.

No Capítulo III propõe-se a extensão do método FITradeoff para tratar a problemática de classificação utilizando informação parcial obtida a partir das preferências do decisor. Para ilustrar sua utilização, o método proposto é aplicado à pré-seleção de projetos em sistemas de energia elétrica. Realiza-se ainda uma análise de sensibilidade para verificar o comportamento dos resultados obtidos diante de certas mudanças no cenário inicial.

O Capítulo IV é destinado à seleção de portfólio de projetos sob informação parcial. São explorados aspectos críticos encontrados nesse contexto, e apresenta-se uma abordagem baseada em relações de dominância absoluta e potencial optimalidade para lidar com as dificuldades levantadas. Os resultados obtidos a partir da pré-seleção de projetos realizada na aplicação do capítulo anterior são utilizados no Capítulo IV para selecionar um portfólio de projetos do setor elétrico que otimize os recursos disponíveis com respeito aos critérios considerados.

Finalmente, o Capítulo V apresenta as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base conceitual utilizada para este trabalho é apresentada a seguir e consiste em fundamentos de decisão multicritério, uma vez que se supõe um contexto determinístico em que vários objetivos conflitantes devem ser considerados; Teoria do Valor Multiatributo e método FITradeoff, cujos pressupostos serão utilizados como base para o método e para a abordagem propostos; e, por fim, alocação de recursos e problemática de portfólio, temas explorados na aplicação numérica (Capítulos III e IV) e na abordagem apresentada no Capítulo IV.

2.1.1 Decisão Multicritério e Problemáticas de Referência

Problemas de decisão em um contexto multicritério envolvem mais de um objetivo a serem considerados simultaneamente na tomada de decisões (de ALMEIDA *et al.*, 2015). As abordagens MCDM/A ajudam indivíduos ou grupos a explorarem suas decisões de forma a alcançar objetivos distintos e muitas vezes conflitantes (BELTON; STEWART, 2002), isto é, objetivos tais que a melhoria em um deles só é alcançada em detrimento do desempenho dos outros (KEENEY; RAIFFA, 1993). É necessário, portanto, ponderar a respeito das possíveis consequências associadas a uma alternativa em cada uma das dimensões analisadas.

Os critérios, conhecidos também como atributos ou medida de eficácia ou performance, medem o grau com que os objetivos do problema são contemplados pelas possíveis alternativas (KEENEY, 1992). Keeney & Raiffa (1993) sugerem duas propriedades desejáveis para que um critério seja útil ao decisor: inteligibilidade e mensurabilidade. De acordo com os autores, um critério é inteligível se, ao conhecer seu nível dada uma situação particular, o decisor é capaz de compreender claramente a medida com que o objetivo associado é atingido, isto é, não há ambiguidade na descrição das consequências em termos dos critérios, bem como na interpretação dessas consequências (KEENEY, 1992). Um critério será mensurável se o decisor for capaz de expressar suas preferências relativas com respeito a seus diferentes níveis (KEENEY, 1992). Em problemas de decisão multicritério os n critérios constituem um conjunto ou família F .

O conjunto A de alternativas ou ações em um problema de decisão multicritério pode ser contínuo ou discreto. De acordo com de Almeida *et al.* (2015), em muitos problemas de decisão gerenciais nas organizações esse conjunto é discreto, sendo composto pelas possíveis alternativas do problema. Keeney (1996), em seu trabalho sobre a abordagem do pensamento focado no valor (VFT), adverte que as alternativas não devem ser tratadas como a essência do problema de decisão, mas sim como meios para alcançar valores. Sob essa perspectiva, a decisão deve ser tomada com base nas consequências das possíveis alternativas, isto é, devem-se avaliar quais as consequências mais desejáveis de acordo com as preferências do decisor (de ALMEIDA *et al.*, 2015).

Sejam A um conjunto discreto composto por m alternativas e F uma família de n critérios. A cada alternativa $a_j \in A$ associamos n índices de valor que mapeiam um ponto do espaço de ações em um ponto no espaço n -dimensional de consequências (Figura 2.1). Dessa forma, cada alternativa pode ser avaliada por seu vetor de consequências $\mathbf{x}^{a_j} = (x_1^{a_j}, \dots, x_i^{a_j}, \dots, x_n^{a_j})$ (KEENEY; RAIFFA, 1993). Na Tabela 2.1 apresentamos uma matriz de decisão $D_{m \times n}$ em que cada elemento corresponde ao desempenho de uma combinação de alternativa e critério.

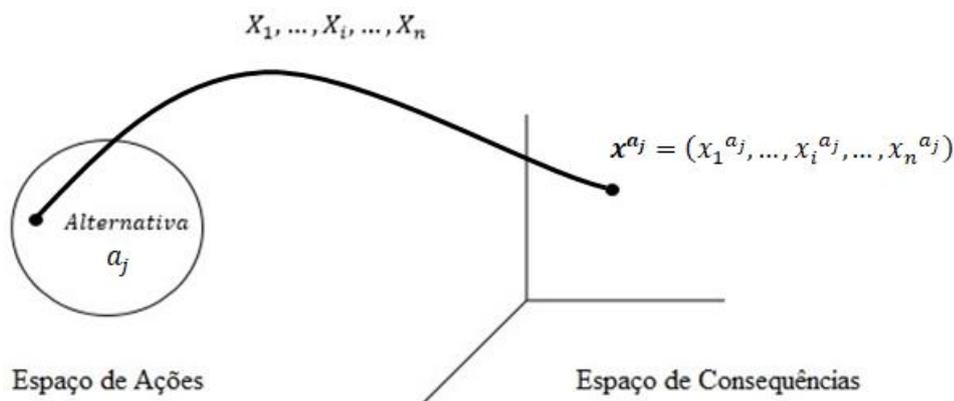


Figura 2.1 – Mapeamento de Alternativas em Consequências

Fonte: Adaptada de Keeney & Raiffa (1993, p. 67)

De posse de informações a respeito dos desempenhos das alternativas nos critérios, um passo importante a ser realizado no processo de decisão multicritério é a agregação desses valores, realizada através de um método MCDM/A. Para escolher o método a ser empregado é necessário considerar alguns pontos relacionados ao contexto da decisão, tais como a estrutura de preferências do decisor com respeito a sua racionalidade (se é compensatória ou

não compensatória) (de ALMEIDA *et al.*, 2015) e as relações de preferência que devem ser admitidas.

Tabela 2.1 – Matriz de Consequências

Alternativas	Critérios				
	1	...	i	...	n
a_1	$x_1^{a_1}$	...	$x_i^{a_1}$	...	$x_n^{a_1}$
...
a_j	$x_1^{a_j}$	...	$x_i^{a_j}$	...	$x_n^{a_j}$
...
a_m	$x_1^{a_m}$	...	$x_i^{a_m}$	...	$x_n^{a_m}$

Fonte: Adaptada de de Almeida (2013, p. 33)

Quando se faz a agregação dos desempenhos de uma alternativa em cada critério pode existir uma compensação, isto é, um menor desempenho da alternativa em certo critério pode ser compensado por melhores desempenhos nos outros, permitindo uma interação entre os valores da alternativa em questão nos vários critérios (de ALMEIDA, 2013). A existência ou não de compensação na agregação dos critérios pode ser considerada um tipo de racionalidade, dividindo os métodos MCDM/A em dois grupos: os compensatórios e os não compensatórios (de ALMEIDA *et al.*, 2015).

Em um método não compensatório, dadas duas alternativas $a_j, a_z \in A$, os valores exatos de desempenho de a_j e a_z em um critério i não são relevantes, sendo suficiente observar informações relativas entre essas alternativas, como por exemplo, se o desempenho de a_j supera o de a_z em i , ou o contrário. Em métodos compensatórios, por outro lado, é importante considerar em quanto uma alternativa supera/é superada por outra, informação que será utilizada no modelo de agregação para obter o valor global de cada alternativa (de ALMEIDA *et al.*, 2015).

Como mencionado, as relações de preferência admitidas também devem ser levadas em consideração ao escolher um método MCDM/A, pois são usadas na modelagem de preferências, uma etapa fundamental do processo decisório (de ALMEIDA, 2013; VINCKE, 1992). Ao comparar duas alternativas, a_j e a_z , o decisor pode reagir de três maneiras diferentes: (i) preferir uma delas (relação de preferência estrita \succ); (ii) ser indiferente entre

elas (relação de indiferença \sim); ou (iii) se recusar a responder por ser incapaz ou não desejar fazê-lo (relação de incomparabilidade R) (VINCKE, 1992). Essas relações básicas têm algumas propriedades, como mostra a Tabela 2.2 $\forall a_j, a_z, a_y \in A$.

Tabela 2.2 – Algumas Relações de Preferência (VINCKE, 1992; de ALMEIDA, 2013)

Relação de Preferência	Observações	Propriedades		
$>$	Aplica-se quando o decisor tem razões claras para preferir um elemento a outro.	$a_j \not\sim a_j$ (Não reflexiva)	$a_j > a_z \Rightarrow a_z \not\sim a_j$ (Assimétrica)	$a_j > a_z$ e $a_z > a_y \Rightarrow a_j > a_y$ (Transitiva)
\sim	Aplica-se quando o decisor tem razões claras que justificam a equivalência entre dois elementos.	$a_j \sim a_j$ (Reflexiva)	$a_j \sim a_z \Rightarrow a_z \sim a_j$ (Simétrica)	$a_j \sim a_z$ e $a_z \sim a_y \Rightarrow a_j \sim a_y$ (Transitiva)
R	Aplica-se quando o decisor não tem razões claras que justifiquem relações de preferência ou indiferença.	$a_j \not\sim a_j$ (Não reflexiva)	$a_j R a_z \Rightarrow a_z R a_j$ (Simétrica)	$a_j R a_z$ e $a_z R a_y \Rightarrow a_j \not\sim a_y$ (Não transitiva)

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Finalmente, a escolha do método MCDM/A a ser utilizado também deve considerar a problemática em questão, isto é, deve-se avaliar a maneira através da qual se pretende auxiliar o decisor e que resultados espera-se obter do processo decisório. Na Tabela 2.3 são apresentadas as quatro problemáticas de referência em MCDM/A definidas por Roy (1996).

Tabela 2.3 – Problemáticas do Processo Decisório (ROY, 1996)

Problemática	Modo como auxilia o decisor
Escolha	Gera um subconjunto que deve ser tão pequeno quanto possível a ponto de que uma única alternativa venha eventualmente a ser escolhida.
Ordenação	Ranqueia todas as alternativas do conjunto A , ou aquelas consideradas mais atrativas.
Classificação	Atribui as alternativas do conjunto A a categorias predefinidas.
Descrição	Desenvolve uma descrição das alternativas e suas consequências.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

2.1.2 Teoria do Valor Multiatributo e Método FITradeoff

A Teoria do Valor Multiatributo (MAVT) é a mais utilizada para auxiliar a resolução de problemas de decisão multicritério (WEBER; BORCHERDING, 1993). De acordo com essa teoria, um modelo é construído de forma a associar a cada item (alternativa) do conjunto A um índice de preferência, obtido através de uma função valor v , criando assim uma base comum para comparação desses itens (KEENEY; RAIFFA, 1993; KEENEY; von WINTERFELDT, 2007).

Duas relações de preferência são admitidas em MAVT, as relações de preferência estrita e de indiferença (VINCKE, 1992). O índice de preferência associado a cada item deve refletir essas relações, portanto é desejável que a função valor v possua as seguintes propriedades $\forall a_j, a_z \in A, a_j \neq a_z$:

$$v(x^{a_j}) > v(x^{a_z}) \Leftrightarrow x^{a_j} \succ x^{a_z}$$

$$\text{e } v(x^{a_j}) = v(x^{a_z}) \Leftrightarrow x^{a_j} \sim x^{a_z}$$

O modelo aditivo é um dos mais conhecidos e utilizados em MAVT, sendo usado como base para diversos métodos como o AHP, o SMARTS e o MACBETH (de ALMEIDA *et al.*, 2015). Nesse modelo, a função valor v assume a seguinte forma (EUM; PARK; KIM, 2001; KEENEY; RAIFFA, 1993):

$$v(x^{a_j}) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i^{a_j}) k_i \tag{2.1}$$

v – função valor

v_i – função valor marginal para o critério i

k_i – constante de escala associada ao critério i

x^{a_j} – vetor de consequências da alternativa a_j

$x_i^{a_j}$ – valor da consequência ou performance da alternativa a_j no critério i

Em que os valores v e v_i pertencem ao intervalo $[0, 1]$, $k_i > 0$ e $\sum_{i=1}^n k_i = 1$.

Um ponto crucial ao empregar o modelo aditivo é a elicitacão dos valores das constantes de escala dos critérios (k_i), o que não é uma tarefa simples para o decisor (EUM; PARK; KIM, 2001). Alguns procedimentos têm sido propostos para lidar com essa questão, como o procedimento de elicitacão por *tradeoffs* (tradeoff tradicional) e o swing (KEENEY; von WINTERFELDT, 2007). Apesar de o procedimento de elicitacão baseado em *tradeoffs* estar fundamentado em uma forte estrutura axiomática, sendo considerado o procedimento com maior rigor (WEBER; BORCHERDING, 1993; de ALMEIDA, 2013), não é amplamente utilizado porque o decisor encontra dificuldades em estabelecer diretamente o ponto de indiferença entre vetores de consequências e/ou responder muitas perguntas, apresentando inconsistências em suas respostas. Já o procedimento de obteno das constantes de escala por *swing* (EDWARDS; BARRON, 1994), a fim de facilitar o processo de elicitacão e diminuir a taxa de inconsistências, simplifica a modelagem em detrimento de possuir uma estrutura axiomática consolidada (de ALMEIDA, 2013).

Muitos desses procedimentos requerem informao completa do decisor a fim de obter as constantes de escala dos critérios. No entanto, fornecer esse tipo de informao pode representar uma pesada carga cognitiva para o decisor. Ao invés de valores exatos, há situaes em que o decisor pode apenas fornecer relaes lineares que expressam informaes imprecisas, também chamadas de incompletas ou parciais (EUM; PARK; KIM, 2001; ATHANASSOPOULOS; PODINOVSKI, 1997). O método FITradeoff, proposto por de Almeida *et al.* (2016), utiliza informao parcial com respeito às constantes de escala dos critérios no contexto MAVT. Esse método foi desenvolvido tomando como base a forte estrutura axiomática do tradeoff tradicional (KEENEY; RAIFFA, 1993), no entanto, não requer que o decisor estabeleça valores exatos de indiferença entre vetores de consequências de alternativas hipotéticas. Ao invés disso, o FITradeoff utiliza as relaes de preferência estrita fornecidas pelo decisor a fim de encontrar uma soluço para a problemática de escolha.

A Figura 2.2 apresenta a estrutura do SAD do método FITradeoff para problemática de escolha. A partir de um input composto por informaes sobre os conjuntos de alternativas e critérios e os desempenhos de cada alternativa no formato de uma matriz de consequências semelhante  apresentada na Tabela 2.1, o SAD realiza três etapas para então finalizar o processo com a recomendao encontrada e exportar os resultados.

A primeira etapa corresponde  elicitacão das funes valor marginais v_i de cada critério. Essas funes são monotnicas e mapeiam o *range* de valores de consequência em cada critério (espaço de consequências) em uma nova escala cujo pior desempenho

encontrado é associado ao valor zero (0), e o melhor ao valor um (1). Assume-se o uso de uma escala local, em que os limites do espaço de consequências são estabelecidos de acordo com o conjunto A de alternativas do problema (MONAT, 2009). Assim, para dado critério i , os valores b_i e w_i das alternativas com melhor e pior desempenho nesse critério serão, respectivamente, associados aos valores 1 e 0: $v_i(b_i) = 1$ e $v_i(w_i) = 0$, de acordo com o procedimento de normalização intervalar utilizado.

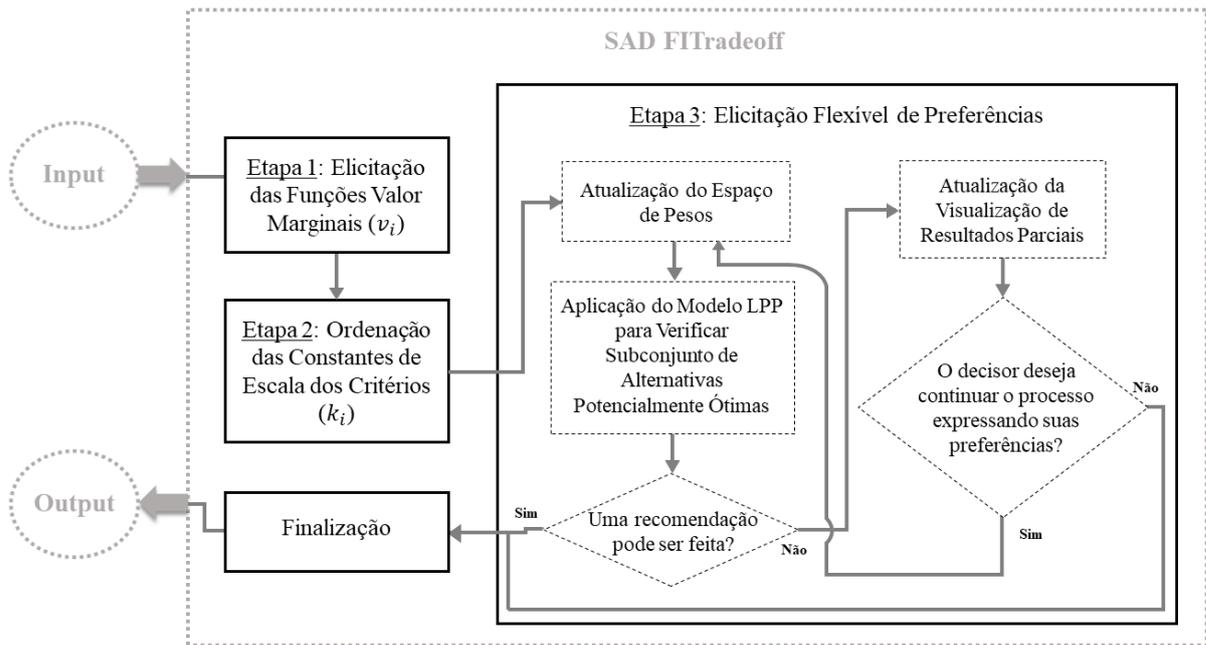


Figura 2.2 – Estrutura do SAD FITradeoff

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O objetivo da etapa subsequente é obter uma ordem das constantes de escala dos critérios, informação que será utilizada na etapa seguinte, iniciando o processo de elicitacão flexível. Durante esse processo, o método FITradeoff apresenta pares de alternativas hipotéticas com respeito às quais espera-se que o decisor expresse suas preferências, a fim de que a cada interação o nível de informação disponível seja atualizado, contribuindo com a busca por uma solução.

Uma alternativa hipotética h é tal que seu vetor de consequências $\mathbf{x}^h = (x_1^h, \dots, x_n^h)$ apresenta, de acordo com a escala local utilizada, os piores desempenhos possíveis em todos os critérios com exceção de um. O conjunto H é composto pelas alternativas hipotéticas que atendem a essa condição. O par de alternativas $h_1, h_2 \in H$ apresentado ao decisor a cada interação do FITradeoff é definido de acordo com a ordem (ou ranking) das constantes de

escala dos critérios obtida na etapa 2. Uma dessas alternativas tem um valor de desempenho intermediário em um critério i melhor posicionado no ranking, enquanto a outra tem o melhor desempenho possível no critério $i + 1$ adjacente a i no ranking, dado que $k_i > k_{i+1}$. Espera-se que o decisor expresse suas preferências com respeito a pares de vetores de consequências correspondentes a essas alternativas.

Considere a situação em que, dado um par de alternativas hipotéticas $h_1, h_2 \in H$, o valor de consequência de h_2 no critério $i + 1$ é o melhor possível ($x_{i+1}^{h_2} = b_{i+1}$). Por definição, os desempenhos de h_2 nos demais critérios serão os piores possíveis. Se para a outra alternativa do par, h_1 , o valor de consequência em i fosse também o melhor possível ($x_i^{h_1} = b_i$), consequentemente com piores desempenhos nos demais critérios, teríamos a seguinte relação:

$$\begin{aligned} v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(b_i)k_i + v_{i+1}(w_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \\ > v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(w_i)k_i + v_{i+1}(b_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \Leftrightarrow x^{h_1} > x^{h_2} \end{aligned}$$

Dado que o procedimento de normalização intervalar é utilizado, de forma que $v_i(b_i) = 1$ e $v_i(w_i) = 0$, $i = 1, \dots, n$, obtém-se a seguinte relação, consistente com a ordenação das constantes de escala dos critérios:

$$k_i > k_{i+1} \Leftrightarrow x^{h_1} > x^{h_2}$$

Portanto, na situação apresentada, a alternativa h_1 seria preferível a h_2 , de acordo com o ranking das constantes de escala dos critérios definido na etapa 2 do método. No entanto, uma vez que se assume uma racionalidade compensatória do decisor, existe algum valor $w_i < x_i^{h_1} < b_i$ tal que o decisor será indiferente entre os vetores de consequências de h_1 e h_2 . Isto é, a redução de desempenho de h_1 em i é tal que essa alternativa se torna tão preferível quanto h_2 , cujo desempenho em i é o pior possível, contudo possui o melhor desempenho possível no próximo critério da ordenação $i + 1$, mantendo-se os desempenhos nos demais critérios iguais para ambas alternativas. Nessa situação $x_i^{h_1}$, denotado por x_i^I , será o ponto de indiferença dados os critérios i e $i + 1$ adjacentes na ordenação.

No método FITradeoff não há necessidade de estabelecer valores exatos de consequências tais que sejam encontradas essas indiferenças entre as alternativas apresentadas: utilizam-se intervalos de valores para os pontos de indiferença a fim de obter

soluções robustas. Assim, para cada par de critérios adjacentes $i, i + 1, i = 1, \dots, n - 1$, há um intervalo de valores viáveis $(\underline{x}_i, \bar{x}_i)$, $v_i(\underline{x}_i) < v_i(\bar{x}_i)$, que contém o valor de consequência x_i^l tal que haja indiferença entre \mathbf{x}^{h_1} e \mathbf{x}^{h_2} .

As Figuras 2.3(a) e 2.3(b) apresentam pares de alternativas hipotéticas h_1 e h_2 cujos desempenhos são os piores possíveis em todos os critérios, com exceção de i e $i + 1$. Na Figura 2.3(a), h_1 tem desempenho $x_i' > x_i^l$ no critério i . Nesse caso, seu vetor de consequências, \mathbf{x}^{h_1} , é preferível ao da alternativa h_2 , \mathbf{x}^{h_2} . Aplicando-se o modelo aditivo, a inequação $v_i(x_i^{h_1})k_i > k_{i+1}$ é obtida, indicando que para consequências melhores ou tão boas quanto $x_i^{h_1} = x_i'$, há preferência por \mathbf{x}^{h_1} e, portanto, o ponto de indiferença deve estar contido no intervalo (\underline{x}_i, x_i') . Dessa forma, atualiza-se o limite superior do intervalo (\bar{x}_i) com a consequência x_i' . A Figura 2.3(b) ilustra o caso em que h_1 tem desempenho $x_i'' < x_i^l$ em i . Nesse caso tem-se que \mathbf{x}^{h_2} é preferível a \mathbf{x}^{h_1} , obtendo-se $v_i(x_i^{h_1})k_i < k_{i+1}$. O limite inferior \underline{x}_i passará então a ter o valor x_i'' . Inicialmente os limites \underline{x}_i e \bar{x}_i para cada critério i correspondem aos limites do espaço de consequências.

Dessa forma, a informação obtida com as respostas dadas pelo decisor, isto é, suas preferências com respeito a pares de vetores de consequências, é interpretada na forma de restrições que limitam os valores que as constantes de escala dos critérios podem assumir. A cada nova informação, o modelo de programação linear (LPP) proposto por de Almeida *et al.* (2016) é empregado para verificar quais alternativas ainda são potencialmente ótimas considerando o nível de informação atual. Caso o decisor esteja disposto a fornecer informações a respeito de suas preferências, esse processo iterativo acontecerá até que reste apenas um elemento no subconjunto, isto é, até que a solução seja encontrada.

O método FITradeoff também é flexível, uma vez que não requer que o decisor siga uma sequência fixa de perguntas. Ao invés disso, ele pode pular perguntas com respeito às quais não sinta segurança em responder, sendo possível também interromper o processo. O método permite ainda que o decisor visualize os resultados parciais obtidos para o nível de informação atual. Isso é feito através de gráficos, e pode ajudá-lo a ter uma visão comparativa entre as alternativas concorrentes e chegar a uma solução mais rapidamente.

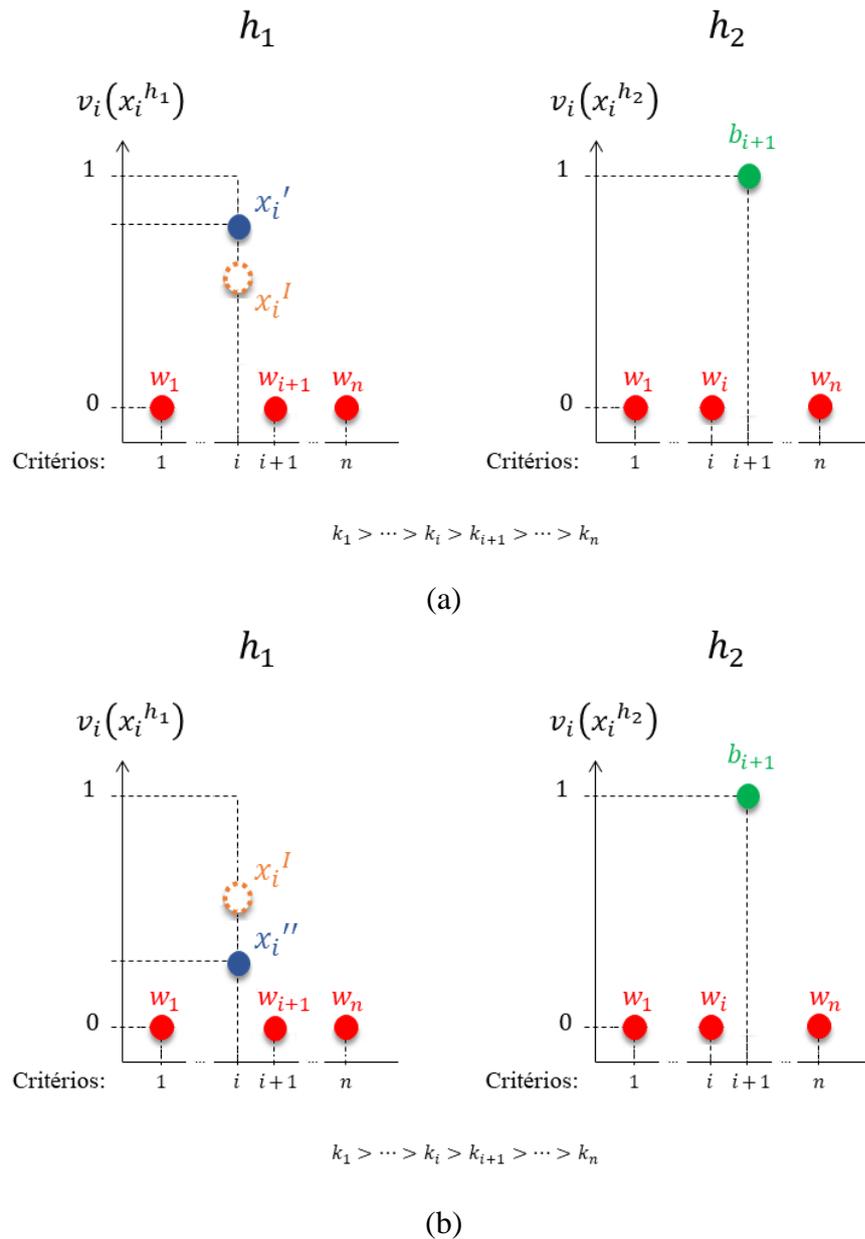


Figura 2.3 – Pares de Alternativas Hipotéticas: (a) $x_i' > x_i^I \Rightarrow x^{h1} > x^{h2}$; (b) $x_i'' < x_i^I \Rightarrow x^{h2} > x^{h1}$

Fonte: Adaptada de de Almeida (2013, p. 72)

Apesar de esse método ter sido originalmente formulado para lidar com a problemática de escolha, suas características de interatividade, flexibilidade e uso de informação parcial do decisor para explorar soluções robustas, indicam que a extensão do FITradeoff para outras problemáticas poderia trazer benefícios.

2.1.3 Alocação de Recursos e Problemática de Portfólio

Problemas de alocação de recursos tornam-se complexos à medida que envolvem *tradeoffs* entre objetivos conflitantes e incertezas quanto ao resultado gerado por uma determinada política de alocação (KEEFER, 1978). Os modelos multiatributo fornecem um template para um processo de alocação de recursos eficiente que considere uma gama completa de objetivos organizacionais, incluindo aqueles que não são adequadamente avaliados através de métricas financeiras padronizadas, proporcionando um meio direto para que a organização considere os *tradeoffs* entre objetivos financeiros e não financeiros (KLEINMUNTZ, 2007).

No contexto de portfólio de projetos, o gerenciamento do portfólio é realizado de forma a priorizar a alocação de recursos e colaborar com as estratégias organizacionais (PMI, 2013). O portfólio deve ser selecionado a partir de propostas de projetos disponíveis e projetos atualmente em andamento que atendem aos objetivos da organização de forma desejável sem exceder os recursos disponíveis ou violar outras restrições (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999). A realização de escolhas consistentes, no entanto, pode ser comprometida se um número grande de projetos é considerado desnecessariamente, sendo recomendável uma etapa de pré-seleção ou triagem a fim de eliminar projetos que contribuam de forma deficiente com os objetivos que se quer alcançar (ARCHER; GHASEMZADEH, 1999; STUMMER; HEIDENBERGER, 2003). Em uma etapa subsequente, os projetos considerados relevantes seriam então avaliados como candidatos a compor o portfólio.

A seleção de portfólio de projetos está incluída em uma problemática de decisão distinta das quatro tradicionais apresentadas por Roy (1996) (VETSCHERA; de ALMEIDA, 2012). O objetivo da chamada problemática de portfólio é auxiliar o decisor através da escolha de um subconjunto do conjunto finito de m projetos A que atenda aos objetivos numa situação em que determinadas restrições, tais como fundos, mão de obra e instalações, têm que ser respeitadas (EILAT; GOLANY; SHTUB, 2006; de ALMEIDA, 2013).

De acordo com o modelo linear aditivo para seleção de portfólio proposto por Golabi, Kirkwood & Sicherman (1981), cada projeto em A deve ser avaliado com respeito a uma família F composta por n critérios, a fim de mensurar o desempenho de um projeto em atingir os objetivos dos quais os critérios derivam (de ALMEIDA, 2013). Um valor global pode ser atribuído a cada projeto $p_j \in A$ através da Equação (2.2).

$$v(\mathbf{x}^{p_j}) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i^{p_j}) k_i \quad (2.2)$$

v – função valor

v_i – função valor marginal para o critério i

k_i – constante de escala associada ao critério i

\mathbf{x}^{p_j} – vetor de consequências do projeto p_j

$x_i^{p_j}$ – desempenho do projeto p_j no critério i

Seja y_j uma variável binária que assume valor 1 se e somente se o projeto p_j estiver incluído no portfólio, e 0 caso contrário. O valor global do portfólio P_w pode ser calculado pela soma dos valores globais de cada projeto incluído:

$$V(P_w) = \sum_{j=1}^m v(\mathbf{x}^{p_j}) y_j \quad (2.3)$$

V – função que associa um valor global ao portfólio P_w

v – função valor (associa valor global a cada projeto p_j)

\mathbf{x}^{p_j} – vetor de consequências do projeto p_j

y_j – variável binária que recebe valor 1 caso o projeto p_j faça parte do portfólio, e valor 0 caso contrário

A Equação (2.3) é então tratada como função objetivo a ser maximizada usando técnicas de programação linear inteira, sujeita a restrições de recursos.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir apresenta-se revisão da literatura relacionada a este trabalho. Esta se encontra dividida em métodos MCDM/A voltados ao setor elétrico/energético, abordagens multicritério para tratar a problemática de classificação, e aplicações de seleção de portfólio de projetos, com foco em métodos que fazem uso de informação parcial.

2.2.1 Métodos Multicritério Aplicados ao Setor Elétrico/Energético

Métodos MCDM/A são amplamente utilizados no contexto de projetos do setor energético (BÜYÜKÖZKAN; KARABULUT, 2017). Como exemplo, podem ser citados os trabalhos de: Golabi (1987), em que se utiliza o modelo aditivo para selecionar projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados a energia solar fotovoltaica, com constantes de escala dos critérios determinadas através de pontos exatos de indiferença estabelecidos pelo decisor; García-Melón, Poveda-Bautista & DelValle (2015), em que o método ANP é utilizado para tratar o problema de seleção portfólio de projetos em uma companhia de eletricidade venezuelana; de Lima, Clemente & de Almeida (2016), em que se propõe modelo multicritério para priorizar localidades para instalação de reguladores de tensão, utilizando modelo aditivo com veto para agregar preferências; Lourenço, Soares & Bana e Costa (2017), no qual se apresenta aplicação do método PROBE para selecionar o melhor portfólio de projetos em uma empresa de energia elétrica; Jano-Ito & Crawford-Brown (2017), que combina MAUT e MVP para avaliar a opção de portfólio energético mais apropriada ao contexto elétrico mexicano; e Büyüközkan & Karabulut (2017) e Aly, Jensen & Pedersen (2017), em que o método AHP é combinado a outras metodologias. Outras abordagens multicritério no setor elétrico podem ser encontradas em (BERREDO *et al.*, 2011; MEDJOU DJ; AISSANI; HAIM, 2013; STRANTZALI *et al.*, 2017).

Embora abordagens MCDM/A venham sendo aplicadas a esse contexto, não é expressiva a presença de métodos utilizando informação parcial com respeito às preferências do decisor, uma questão relevante em situações práticas.

2.2.2 Problemática de Classificação

Problemas multicritério nos quais se quer classificar alternativas em categorias predefinidas são encontrados com frequência em situações reais, e isso tem motivado pesquisadores a desenvolverem metodologias que auxiliem a tomada de decisão nessas situações. Diversos métodos MCDM/A têm sido propostos a fim de auxiliar decisores nesse contexto. Dentre estes, aqueles baseados em funções utilidade/valor ou relações de sobreclassificação têm sido utilizados com mais frequência (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004).

Aplicações de métodos baseados em funções valor/utilidade a problemas de classificação podem ser encontradas em (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2001; BOUYSSOU; MARCHANT, 2010; KADZIŃSKI; TERVONEN, 2013; SOYLU; AKYOL, 2014; KARTAL *et al.*, 2016). Desenvolvimentos metodológicos, como o método UTADIS (JACQUET-LAGRÈZE, 1995; ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 1999), que considera funções utilidade aditivas para classificar alternativas com base em problemas de programação linear em um processo iterativo, o algoritmo baseado em oito passos e funções utilidade lineares desenvolvido por Köksalan & Ulu (2003), e o método proposto por Greco, Mousseau & Słowiński (2010) baseado em um conjunto de funções valor aditivas, também são encontrados. No entanto, muitas das metodologias propostas foram construídas sobre uma base *ad hoc* (BOUYSSOU; MARCHANT, 2007).

Dentre os métodos de sobreclassificação propostos para lidar com a problemática de classificação, o mais utilizado é o ELECTRE TRI (YU, 1992; ROY; BOUYSSOU, 1993). Uma variante desse método, o ELECTRE SORT, foi recentemente desenvolvida (ISHIZAKA; NEMERY, 2014). O método de sobreclassificação PROMETHEE também foi estendido para essa problemática (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004; BRANS; de SMET, 2016). Apesar de esses métodos serem bastante aplicados para solucionar problemas de classificação multicritério, o decisor pode encontrar dificuldades em estimar a grande quantidade de parâmetros requerida (DOUMPOS *et al.*, 2009).

Uma maneira de reduzir as dificuldades encontradas com a estimação desses parâmetros é fazer uso de informação parcial fornecida pelo decisor. No entanto, com respeito à problemática de classificação, poucas abordagens considerando esse tipo de informação são encontradas na literatura (DEMBCZYŃSKI; GRECO; SŁOWIŃSKI, 2009; CAI; LIAO; WANG, 2011).

2.2.3 Seleção de Portfólio de Projetos e Uso de Informação Parcial

Problemas de seleção de portfólio de projetos podem ocorrer em diversas áreas, tais como engenharia militar e desenvolvimento industrial (ZHANG *et al.*, 2016); setor de óleo e gás (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015; LOPES; de ALMEIDA, 2015); TI (CHO; SHAW, 2013); P&D (HASSANZADEH; NEMATI; SUN, 2014; GUTJAHR *et al.* 2010); e em decisões envolvendo questões ambientais (LAHTINEN; HÄMÄLÄINEN; LIESIÖ, 2017).

Métodos MCDM/A têm sido desenvolvidos para apoiar decisores na seleção do portfólio mais adequado considerando-se múltiplos critérios.

Os métodos de sobreclassificação têm relevância para a problemática de portfólio quando a racionalidade do decisor é não compensatória, no entanto relativamente poucas publicações ligadas ao tema têm sido encontradas, visto que problemas de seleção de portfólio são frequentemente abordados utilizando-se métodos compensatórios, tais como os que realizam agregação aditiva (VETSCHERA; de ALMEIDA, 2012).

Diversos métodos interativos têm sido propostos para resolver problemas de seleção de portfólio num contexto multiobjetivo (HASSANZADEH; NEMATI; SUN, 2014). Esses métodos, no entanto, diferem das outras abordagens multicritério porque nenhuma regra de agregação definitiva é explicitada, baseando-se em uma sequência *ad hoc* de julgamentos (ROY, 1996; VANDERPOOTEN; VINCKE, 1989). Algumas dificuldades tais como o efeito de ancoragem podem ser encontradas ao utilizar esses métodos (VANDERPOOTEN; VINCKE, 1989).

Os métodos de agregação aditiva são os mais usados nesse contexto (LIESIÖ; PUNKKA, 2014). Muitos, no entanto, fazem uso de informação completa para chegar a uma recomendação, o que pode demandar um processo demorado e cognitivamente oneroso para o decisor (SALO; KEISLER; MORTON, 2011). Dessa forma, são aconselháveis métodos baseados em informação parcial que busquem soluções robustas para uma gama de valores de parâmetros viáveis (LIESIÖ; MILD; SALO, 2007).

Liesiö, Mild & Salo (2007) propõem a metodologia RPM para seleção de portfólios utilizando informação parcial. Eles tomam como base o conceito de portfólio não dominado e definem para cada projeto um índice para auxiliar o decisor a fornecer informações que levem à redução do número de portfólios não dominados. Os autores, no entanto, chamam atenção para dois pontos: 1) trabalhar com informação parcial pode levar a um número grande de portfólios não dominados; e 2) a utilização dos índices por eles propostos para reduzir o número desses portfólios pode favorecer em uma etapa portfólios que podem vir a ser superados por outros em uma etapa futura, dado um conjunto de valores viáveis para os parâmetros.

Tervonen, Liesiö & Salo (2017) utilizam a metodologia RPM como base e modificam a definição do índice inicialmente proposto por Liesiö, Mild & Salo (2007). Na nova abordagem o conceito de portfólio não dominado é substituído pelo de portfólio potencialmente ótimo. No entanto, a proposta de RPM modificado apresentada por Tervonen, Liesiö & Salo (2017)

não possui um protocolo definido para elicitación das preferências do decisor que dão origem às restrições das constantes de escala dos critérios. Trata-se apenas de inferir essas restrições a partir da inclusão/exclusão de projetos pelo decisor.

Como apresentado, diversos métodos MCDM/A têm sido propostos a fim de facilitar o processo de seleção de portfólio. No entanto, percebe-se que não há uma abordagem nesse contexto que de forma simultânea ofereça um protocolo definido para elicitación das preferências do decisor, trabalhe com informação parcial e soluções robustas dada uma faixa de valores viáveis para parâmetros do problema e trate seu caráter combinatório.

2.3 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

A revisão da literatura indica as seguintes lacunas com respeito ao uso de métodos MCDM/A baseados em informação parcial:

- i. Embora esses métodos ofereçam vantagens em situações reais, reduzindo o número de parâmetros a serem estimados pelo decisor, não têm sido significativamente aplicados ao contexto de seleção de projetos no setor elétrico/energético.
- ii. Os problemas de classificação são encontrados em muitas situações práticas. Mais uma vez, no entanto, poucas abordagens utilizando informação parcial têm sido encontradas na literatura.
- iii. Problemas de seleção de portfólio são em geral abordados assumindo-se uma racionalidade compensatória. Nesses casos, o modelo aditivo tem sido aplicado através de métodos de informação completa. No entanto, são aconselháveis métodos baseados em informação parcial que busquem soluções robustas para uma gama de valores de parâmetros viáveis.

Com respeito à seleção de portfólio de projetos, notam-se os seguintes pontos críticos:

- i. Em muitas situações faz-se necessária uma etapa de pré-seleção dos projetos candidatos a compor o portfólio. É necessário auxiliar decisores nesse processo de triagem.
- ii. São necessárias soluções para contornar a natureza combinatória do problema, evitando dificuldades de custo computacional e de visualização de resultados.
- iii. Faz-se necessário ainda um protocolo definido para elicitación das preferências do decisor.

Para abordar os pontos levantados, este trabalho propõe um método multicritério interativo e flexível para classificação de alternativas a categorias predefinidas, utilizando informação parcial, aplicável à fase de pré-seleção de projetos do setor elétrico/energético. Propõem-se também abordagem para tratar a problemática de portfólio utilizando informação parcial do decisor a fim de selecionar o portfólio mais adequado a partir de um conjunto de projetos pré-selecionados.

3 CLASSIFICAÇÃO COM MÉTODO FITRADEOFF E SEU USO PARA PRÉ-SELEÇÃO DE PROJETOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Como supracitado, o FITradeoff (de ALMEIDA *et al.*, 2016) foi desenvolvido inicialmente para tratar a problemática de escolha, mas suas características de interatividade, flexibilidade e uso de informação parcial sugerem que seria factível estendê-lo a outras problemáticas. A seguir propõe-se extensão do método para a problemática de classificação, aplicando-a posteriormente à pré-seleção de projetos em sistemas de energia elétrica.

3.1 CLASSIFICAÇÃO COM O MÉTODO FITRADEOFF

O método FITradeoff para problemática de classificação se destina a problemas de decisão multicritério em que se quer atribuir m alternativas de um conjunto A a k categorias previamente estabelecidas. As categorias são definidas de maneira que $C_k > C_{k-1} > \dots > C_1$, implicando que as alternativas contidas em C_k são mais desejáveis do que aquelas classificadas em C_{k-1} e assim por diante (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2002). Para lidar com essa problemática, muitas abordagens fazem uso de alternativas fictícias para estabelecer perfis de referência com respeito aos quais cada alternativa em A deve ser comparada. No entanto, isso nem sempre pode ser realizado de forma clara (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004). No método proposto (KANG; de ALMEIDA; FREJ, 2017) faz-se uso de valores de fronteira, isto é, valores q_r que definem categorias consecutivas do problema de decisão multicritério de forma que cada alternativa seja atribuída a uma única categoria.

Os valores q_r representam índices de desempenho global, de acordo com o modelo aditivo (Equação (2.1)), e devem ser estabelecidos de tal forma que $q_k = 1 > q_{k-1} > \dots > q_1 > q_0 = 0$. A Tabela 3.1 mostra a relação entre as fronteiras q_r , os valores globais $v(x^{a_j})$ de uma alternativa $a_j \in A$ e sua atribuição a uma das categorias. Para que as k categorias consecutivas sejam definidas, o decisor deve especificar $k - 1$ valores q_r .

Para definir os valores q_r o decisor pode pensar em termos de porcentagens do intervalo de 0 a 1, como mostra a Figura 3.1. Nesse intervalo, 0 corresponde ao desempenho global de uma alternativa com pior performance em todos os critérios, e 1 ao desempenho de uma alternativa avaliada com melhor performance possível em todos os critérios, de acordo com o modelo aditivo. Por exemplo, os valores q_1 e q_2 definem a categoria C_2 , que inclui

alternativas com valor global entre $100q_1\%$ e $100q_2\%$ do intervalo 0–1. O item 3.2.2 deste trabalho exemplifica a definição de três categorias através de valores de fronteira em uma aplicação voltada à pré-seleção de projetos do setor elétrico.

Tabela 3.1 – Definição de Categorias de Acordo com Valores de Fronteira q_r

Categoria	Definição
C_k	$q_{k-1} < v(x^{aj}) \leq q_k$
C_{k-1}	$q_{k-2} < v(x^{aj}) \leq q_{k-1}$
\vdots	\vdots
C_r	$q_{r-1} < v(x^{aj}) \leq q_r$
\vdots	\vdots
C_1	$q_0 \leq v(x^{aj}) \leq q_1$

Fonte: Adaptada de Kang & de Almeida (2017)

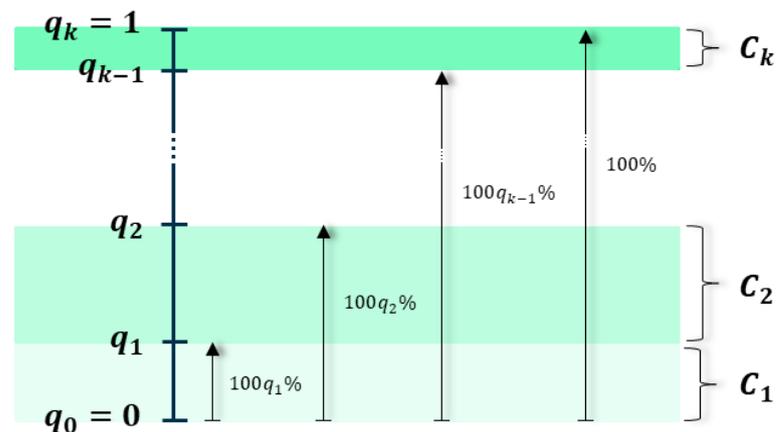


Figura 3.1 – Valores de Fronteira q_r que Definem Categorias

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Uma vez que o método FITradeoff trabalha com intervalos de valores viáveis para as constantes de escala dos critérios ao invés de requerer do decisor informação completa para obter esses parâmetros de forma exata, não se pode calcular o valor global $v(x^{aj})$ de uma alternativa a_j , e portanto não é possível realizar sua atribuição a uma categoria da forma que a Tabela 3.1 sugere. A seguir são apresentados os modelos LPP e as regras de decisão propostos para a classificação com o método FITradeoff.

3.1.1 Modelos de Programação Linear

Para realizar a atribuição de alternativas a categorias únicas considerando-se um espaço de pesos φ^n , isto é, um conjunto de valores viáveis que cada constante de escala de critério pode assumir, dois modelos de programação linear foram propostos com o objetivo de obter soluções robustas válidas em toda a gama de valores de parâmetros viáveis.

Um ponto $\mathbf{k} \in \varphi^n$ deve atender às restrições obtidas a partir das preferências do decisor com respeito aos pares de alternativas hipotéticas apresentados durante a etapa de elicitacão flexível (item 2.1.2) bem como às restrições do modelo aditivo de normalização e de não negatividade das constantes de escala. Essas condições são inseridas nos modelos LPP 1 e LPP 2 (Equações (3.1) e (3.2)) como restrições. Dentre os pontos que satisfazem essas condições, $\mathbf{k}^{I*} = (k_1^{I*}, \dots, k_i^{I*}, \dots, k_n^{I*}) \in \varphi^n$ minimiza o valor global de a_j em LPP 1, e $\mathbf{k}^{II*} = (k_1^{II*}, \dots, k_i^{II*}, \dots, k_n^{II*}) \in \varphi^n$ maximiza o valor global de a_j em LPP 2. Assim, dado um espaço de pesos φ^n , as soluções dos modelos LPP 1 e LPP 2 correspondem aos valores globais minimizado (v_{min}) e maximizado (v_{max}) de uma alternativa a_j .

Nos modelos LPP apresentados ε corresponde a uma constante positiva pequena utilizada para permitir que as desigualdades estritas sejam tratadas computacionalmente. As soluções v_{min} e v_{max} obtidas para cada alternativa $a_j \in A$ a cada interação com o decisor são empregadas em regras de decisão para verificar se de acordo com φ^n é possível realizar a atribuição de a_j a uma única categoria.

LPP 1:

$$v_{min} = \min \sum_{i=1}^n v_i(x_i^{a_j})k_i$$

s. a.

$$v_i(\underline{x}_i)k_i + \varepsilon \leq k_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1$$

$$v_i(\bar{x}_i)k_i - \varepsilon \geq k_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

(3.1)

LPP 2:

$$v_{max} = \max \sum_{i=1}^n v_i(x_i^{a_j})k_i$$

s. a.

$$v_i(\underline{x}_i)k_i + \varepsilon \leq k_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1$$

$$v_i(\bar{x}_i)k_i - \varepsilon \geq k_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

(3.2)

3.1.2 Regras de Decisão

As seguintes regras de decisão são aplicadas a cada alternativa $a_j \in A$ sempre que o espaço de pesos φ^n é atualizado:

Se $v_{min} > q_{k-1}$ e $v_{max} \leq q_k$

Então a_j deve ser atribuída a C_k

Caso contrário

Se $v_{min} > q_{k-2}$ e $v_{max} \leq q_{k-1}$

Então a_j deve ser atribuída a C_{k-1}

Caso contrário

...

Caso contrário

Se $v_{min} \geq q_0$ e $v_{max} \leq q_1$

Então a_j deve ser atribuída a C_1

Caso contrário

Com base no espaço de pesos atual não é possível atribuir a_j a uma única categoria

Se para dado espaço de pesos φ^n as soluções v_{min} e v_{max} para a_j são tais que não é possível classificá-la em uma única categoria, e se o decisor estiver disposto a fornecer mais informações a respeito de suas preferências durante o processo de elicitacão flexível, o espaço viável de pesos φ^n será reduzido a $\varphi^{n'} \subseteq \varphi^n$. Assim, para o novo espaço de pesos $\varphi^{n'}$ novas soluções v_{min} e v_{max} serão calculadas e a_j poderá vir a ser classificada em uma única categoria. Quando todas as alternativas em A são classificadas a categorias únicas, ou quando o decisor não é capaz ou não está mais disposto a continuar o processo de elicitacão, ou ainda quando os resultados parciais obtidos dado certo espaço de pesos são considerados suficientes para apoiar a tomada de decisão, o processo é finalizado. A Figura 3.2 ilustra o processo de classificacão com o FITradeoff.

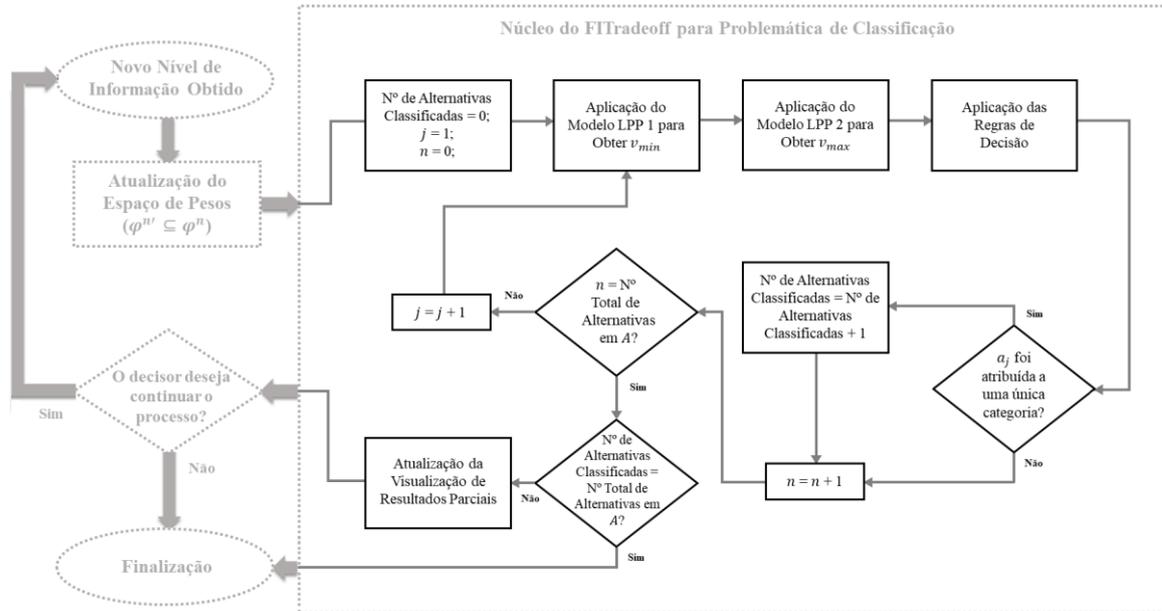


Figura 3.2 – Processo de Classificação com o FITradeoff

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A partir dos modelos LPP e das regras de decisão, pode-se afirmar o seguinte $\forall a_j \in A$:

- i. Se $r = \min_{s=1, \dots, k}(s)$ tal que a solução v_{min} do modelo LPP 1 condiz com $v_{min} > q_{r-1}$, $q_{r-1} > 0$, ou $v_{min} \geq q_{r-1}$ para $q_{r-1} = 0$, então a categoria menos desejável (\underline{C}) à qual a_j pode ser atribuída é C_r .
- ii. De modo semelhante, se $r = \max_{s=1, \dots, k}(s)$ tal que a solução do modelo LPP 2 é tal que $v_{max} \leq q_r$, então a categoria mais desejável (\bar{C}) à qual a_j pode ser atribuída é C_r .
- iii. Se $\underline{C} = \bar{C}$ então a_j é atribuída a uma única categoria.
- iv. Se para certo espaço de pesos φ^n as soluções v_{min} e v_{max} associadas a a_j são tais que tanto \underline{C} quanto \bar{C} , $\underline{C} \neq \bar{C}$, são categorias viáveis para a_j , então categorias entre \underline{C} e \bar{C} também são categorias viáveis para a_j . Para φ^n , há um conjunto $C = \{\bar{C}, \dots, \underline{C}\}$ de categorias viáveis às quais a_j pode vir a ser atribuída.
- v. Se existe um conjunto C de categorias viáveis associado a a_j dado φ^n , então em uma próxima interação com o decisor, dado $\varphi^{n'} \subseteq \varphi^n$, a_j terá um conjunto $C' \subseteq C$ de categorias viáveis.

3.1.3 Propriedades do Método FITradeoff para Problemática de Classificação

As principais propriedades do método FITradeoff para problemática de classificação são descritas a seguir:

- *Propriedade 1 (Monotonicidade)*: Se para cada critério i em F o desempenho de uma alternativa a_j é tão bom quanto ou superior ao de uma outra alternativa a_z em A , isto é, $v_i(x_i^{a_j}) \geq v_i(x_i^{a_z}) \forall i, i = 1, \dots, n$, então a_j será classificada em uma categoria pelo menos tão desejável quanto a categoria à qual a_z for atribuída.

Prova: Uma vez que $v_{min}(a_z) \leq v_{min}(a_j)$ e $v_{max}(a_z) \leq v_{max}(a_j)$, tem-se que $\underline{C}(a_z) \leq \underline{C}(a_j)$ e $\overline{C}(a_z) \leq \overline{C}(a_j)$ (as notações $\underline{C}(a_j)$ e $\overline{C}(a_j)$ são usadas respectivamente para se referir às categorias viáveis menos e mais desejáveis para uma alternativa a_j). Quando a_j e a_z são atribuídas a categorias únicas, $\underline{C}(a_j) = \overline{C}(a_j) = C(a_j)$ e $\underline{C}(a_z) = \overline{C}(a_z) = C(a_z)$. Então $C(a_j) \geq C(a_z)$.

- *Propriedade 2 (Independência)*: A atribuição de uma alternativa a_j a uma categoria C_r não depende da atribuição das outras alternativas em A .

Prova: A atribuição de a_j a uma categoria é realizada de acordo com regras de decisão (item 3.1.2). Seus valores globais minimizado e maximizado (v_{min} e v_{max}) são comparados a valores de fronteira q_r predeterminados. Dessa forma, a_j não é comparada às outras alternativas em A e sua atribuição a uma categoria independe delas.

- *Propriedade 3 (Homogeneidade)*: Duas alternativas que têm seus valores globais minimizado e maximizado localizados dentro do mesmo intervalo possuem conjuntos iguais de categorias viáveis.

Prova: Como as regras de decisão são baseadas em comparações com valores de fronteira previamente estabelecidos, ao comparar os valores globais minimizado e maximizado de diferentes alternativas em A que residem em um mesmo intervalo, as regras de decisão indicarão o mesmo conjunto de categorias viáveis para essas alternativas, e, dependendo do espaço de pesos φ^n , à mesma categoria.

- *Propriedade 4 (Unicidade)*: Cada alternativa em A é atribuída a uma única categoria.

Prova: De acordo com as regras de decisão e uma vez que os valores de fronteira são definidos de tal forma que $q_k > q_{k-1} > \dots > q_0$, uma alternativa só pode ser atribuída

a uma única categoria. Se para um espaço de pesos φ^n há mais do que uma categoria viável para uma alternativa, então com base no nível de informação disponível uma atribuição não pode ser realizada.

3.2 MÉTODO FITRADEOFF PARA PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO APLICADO À PRÉ-SELEÇÃO DE PROJETOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Para ilustrar a utilização do método proposto, nesta seção aplica-se o FITradeoff para problemática de classificação à pré-seleção de projetos do setor elétrico. A fase de pré-seleção de projetos foi tratada como um problema de classificação ao invés de ordenação dado o objetivo de eliminar projetos que pouco contribuem para o atingimento dos objetivos da organização, evitando que gerentes dispendam muito tempo analisando-os. Nesse caso, a atribuição dos projetos a categorias previamente estabelecidas de acordo com as características do problema mostrou-se mais adequada. Além disso, destaca-se o fato de que apesar da ordenação fornecer mais informação acerca da importância dos projetos, sua atribuição a categorias ordenadas provê resultados mais robustos (KARASAKAL; AKER, 2017).

3.2.1 Contexto do Problema

A aplicação numérica foi realizada utilizando dados adaptados dos trabalhos desenvolvidos por López & de Almeida (2014) e Martins *et al.* (2017). O problema consiste em pré-selecionar 58 projetos que serão considerados para compor o portfólio anual de uma empresa do setor elétrico brasileiro. Os projetos têm diversas origens, tais como demandas de TI e do órgão regulador, P&D, e planejamento estratégico. A etapa de pré-seleção é realizada a fim de definir quais dentre esses projetos são pertinentes e têm potencial para agregar valor ao negócio da companhia (MARTINS *et al.*, 2017).

A empresa almeja alcançar quatro objetivos com a implementação dos projetos: 1) contribuir com o atingimento de estratégias; 2) aumentar a produtividade; 3) manter os indicadores de qualidade; e 4) promover crescimento sustentável. Seis (6) critérios foram escolhidos a fim de representar esses objetivos, como mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Critérios do Problema

Índice do Critério	Nome do Critério	Escala Verbal		Escala Não Verbal
		Contribuição do Projeto no Critério	Valor Numérico Correspondente	
1	Impacto no Resultado	Muito Baixa	1	-
		Baixa	2	
		Razoável	3	
		Alta	4	
		Muito Alta	5	
2	Alinhamento Estratégico	Muito Baixa	1	
		Baixa	2	
		Razoável	3	
		Alta	4	
		Muito Alta	5	
3	Melhoria de Indicadores Regulados	Muito Baixa	1	
		Baixa	2	
		Razoável	3	
		Alta	4	
		Muito Alta	5	
4	Contribuição para Satisfação dos Clientes	Baixa	1	
		Razoável	2	
		Alta	3	
5	Probabilidade de Sucesso	-		Porcentagem (%)
6	Complexidade	Muito Baixa	5	-
		Baixa	4	
		Razoável	3	
		Alta	2	
		Muito Alta	1	

Fonte: Adaptada de Martins et al. (2017, p. 1368)

As alternativas do problema constituem um conjunto de 58 projetos candidatos. Para avaliar cada um deles com respeito aos critérios estabelecidos, fez-se uso de escalas verbais e não verbais. Na Tabela 3.2 encontram-se os níveis verbais definidos para avaliar os projetos nos critérios impacto no resultado, alinhamento estratégico, melhoria de indicadores regulados, contribuição para satisfação dos clientes e complexidade, bem como o valor numérico associado a cada nível. O critério probabilidade de sucesso corresponde a uma

porcentagem e é avaliado através de uma escala não verbal. Apenas o critério complexidade é de minimização, por isso os valores numéricos associados à contribuição dos projetos nesse critério estão invertidos, isto é, os valores 5 e 1 correspondem, respectivamente, a projetos de complexidade muito baixa e muito alta. Para todos os critérios, quanto maior o valor de um projeto associado a um critério, melhor será sua contribuição para alcançar os objetivos da empresa. A partir dessas escalas, cada projeto foi avaliado com respeito aos critérios, levando aos dados apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Matriz de Consequências do Problema Estudado

Projetos	Índice do Critério					
	1	2	3	4	5	6
p_1	2	5	2	1	0,35	4
p_2	3	2	1	1	0,85	5
p_3	5	1	5	3	0,6	5
p_4	5	3	5	3	0,6	1
p_5	4	5	1	1	0,35	1
p_6	2	5	1	1	0,85	4
p_7	1	1	1	1	0,6	5
p_8	1	4	2	2	0,6	3
p_9	1	5	1	1	0,85	2
p_{10}	1	5	1	1	0,6	5
p_{11}	1	1	3	1	0,6	4
p_{12}	3	1	4	1	0,6	3
p_{13}	4	1	2	1	0,6	5
p_{14}	3	3	4	1	0,6	2
p_{15}	1	1	1	2	0,6	1
p_{16}	4	4	2	1	0,85	1
p_{17}	2	5	5	3	0,6	5
p_{18}	3	2	1	1	0,85	5
p_{19}	5	3	3	2	0,85	4
p_{20}	1	4	4	1	0,6	1
p_{21}	1	1	3	1	0,6	5
p_{22}	3	5	2	2	0,35	1
p_{23}	1	5	3	1	0,6	2
p_{24}	5	5	5	1	0,6	5
p_{25}	2	4	4	1	0,85	4

p_{26}	1	5	1	3	0,85	3
p_{27}	1	5	1	3	0,85	2
p_{28}	1	5	3	3	0,6	3
p_{29}	1	2	1	1	0,85	1
p_{30}	1	1	1	1	0,6	1
p_{31}	1	1	1	1	0,85	1
p_{32}	1	5	1	1	0,85	1
p_{33}	1	5	1	2	0,6	1
p_{34}	1	5	1	1	0,85	1
p_{35}	3	5	1	1	0,85	1
p_{36}	4	3	4	1	0,6	3
p_{37}	5	5	1	1	0,85	5
p_{38}	2	1	2	1	0,85	1
p_{39}	4	5	1	3	0,6	1
p_{40}	5	2	3	1	0,6	4
p_{41}	2	3	1	3	0,6	3
p_{42}	1	4	1	2	0,85	1
p_{43}	1	5	4	1	0,6	1
p_{44}	3	5	2	1	0,6	5
p_{45}	1	1	3	1	0,85	1
p_{46}	5	5	4	2	0,6	5
p_{47}	1	5	1	1	0,85	1
p_{48}	1	2	1	1	0,85	1
p_{49}	2	5	2	1	0,85	3
p_{50}	5	5	1	2	0,85	2
p_{51}	1	3	1	1	0,6	1
p_{52}	3	5	1	3	0,85	1
p_{53}	4	5	1	2	0,85	4
p_{54}	2	4	1	3	0,6	5
p_{55}	5	5	1	1	0,85	5
p_{56}	5	5	3	1	0,6	3
p_{57}	5	5	1	1	0,85	4
p_{58}	1	1	1	1	0,35	1

Fonte: Adaptada de Martins et al. (2017, p. 1369)

Os elementos da matriz $D_{58 \times 6}$ (Tabela 3.3) são mapeados em valores no intervalo $[0, 1]$ através das funções valor marginais (v_i) dos critérios. Para esta etapa de pré-seleção

assumem-se funções lineares, expressas através da Equação (3.3) (procedimento de normalização intervalar):

$$v_i(x_i^{p_j}) = \frac{x_i^{p_j} - w_i}{b_i - w_i} \quad (3.3)$$

v_i – função valor marginal que associa o espaço de consequências do critério i a valores no intervalo $[0, 1]$

$x_i^{p_j}$ – desempenho do projeto p_j no critério i

w_i e b_i – limites do espaço de consequências do critério i

Em que os limites do espaço de consequências são dados pelo menor e maior desempenhos obtidos pelos projetos em um critério. A Tabela 3.4 apresenta os limites do espaço de consequências para cada critério i .

Tabela 3.4 – Limites do Espaço de Consequências para Cada Critério

Limites do Espaço de Consequências	Índice do Critério					
	1	2	3	4	5	6
w_i	1	1	1	1	0,35	1
b_i	5	5	5	3	0,85	5

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

3.2.2 Categorias para Pré-Seleção de Projetos

Para fins da pré-seleção de projetos, os valores de fronteira que definem as categorias foram estabelecidos considerando-se o intervalo de 0 a 1, em que 0 corresponde ao desempenho global de um projeto com pior performance em cada um dos seis critérios, e 1 ao desempenho de um projeto avaliado com melhor performance possível em todos os critérios, de acordo com o modelo aditivo. A categoria C_3 deve conter os projetos mais desejáveis. Estes foram definidos como aqueles cujo valor global é superior a 60% do intervalo. Já a categoria C_2 corresponde a projetos de desempenho global intermediário, que foram definidos nesta aplicação como aqueles cujo valor global varia de 30% a 60% do intervalo. Os projetos

correspondentes à última faixa, isto é, com desempenho de até 30% do intervalo, devem ser atribuídos à categoria C_1 . Assim, se para certo espaço de pesos φ^6 os valores globais minimizado e maximizado de um projeto p_j , $j = 1, \dots, 58$, pertencem ao intervalo $(0,6,1]$, então p_j é atribuído à categoria mais preferível C_3 ; se os valores globais pertencem a $(0,3,0,6]$, então p_j é atribuído à categoria C_2 ; finalmente, se os valores globais pertencem a $[0,0,3]$, então a atribuição do projeto é feita à categoria menos preferível C_1 . Os valores de fronteira estabelecidos foram, portanto, $q_0 = 0$, $q_1 = 0,3$, $q_2 = 0,6$ e $q_3 = 1$. A Tabela 3.5 apresenta as definições de cada categoria.

Tabela 3.5 – Definição das Categorias do Problema

Categoria	Definição em Termos do Intervalo 0–1 (Modelo Aditivo)	Definição em Termos da Pré-Seleção de Projetos
C_3	Projetos com valor global superior a 60% do intervalo 0–1.	Projetos que devem com certeza ser considerados numa etapa futura de seleção de portfólio de projetos.
C_2	Projetos com valor global de 30% a 60% do intervalo 0–1.	Projetos que podem ou não ser considerados na próxima etapa (podem ser considerados, dispensados ou postergados).
C_1	Projetos com valor global correspondente a até 30% do intervalo 0–1.	Projetos que devem ser excluídos do processo, não sendo considerados candidatos ao portfólio de projetos.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

3.2.3 Elicitação Flexível de Preferências

Antes de iniciar as perguntas da etapa de elicitación flexível do FITradeoff, considera-se a informação disponível a partir da ordenação das constantes de escala dos critérios, que no problema estudado foi $k_1 > k_2 > k_3 > k_4 > k_5 > k_6$. Para o espaço de pesos associado a esse nível de informação, 17 dos 58 projetos foram atribuídos a categorias únicas. Uma pergunta adicional é feita ao decisor com respeito a um par de alternativas hipotéticas. A primeira alternativa possui desempenho intermediário no primeiro critério da ordenação (critério 1) e pior desempenho possível nos demais, ao passo que a segunda alternativa tem melhor desempenho possível no critério posicionado na última colocação do ranking das

constantes de escala (critério 6) e pior desempenho nos critérios restantes. Essa pergunta adicional é definida por de Almeida *et al.* (2016) como pergunta da heurística do FITradeoff. Após responder essa pergunta, mais um projeto foi classificado. Na Tabela 3.6 a seguir, as linhas indicadas pelos ciclos “Após Ordenação” e “0” correspondem a esses passos que antecedem as perguntas da elicitación flexível propriamente dita. Para cada ciclo na tabela subentende-se um nível de informação diferente obtido a partir das preferências do decisor.

Tabela 3.6 – Perguntas da Elicitación para Classificação com Método FITradeoff

Ciclo	Alternativa h_1	Alternativa h_2	Preferência do Decisor	Informação Obtida	Nº de Projetos Classificados
Após Ordenação	-	-	-	-	17
0	$x_1^{h_1} = 3$	$b_6 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	-	18
1	$x_1^{h_1} = 3$	$b_2 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_1 = 3$	21
2	$x_2^{h_1} = 3$	$b_3 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_2 = 3$	23
3	$x_3^{h_1} = 3$	$b_4 = 3$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_3 = 3$	29
4	$x_4^{h_1} = 2$	$b_5 = 0,85$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_4 = 2$	30
5	$x_5^{h_1} = 0,6$	$b_6 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_5 = 0,6$	35
6	$x_1^{h_1} = 4$	$b_2 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_1 = 4$	40
7	$x_2^{h_1} = 4$	$b_3 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	$\bar{x}_2 = 4$	51
8	$x_3^{h_1} = 4$	$b_4 = 3$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$\underline{x}_3 = 4$	55
9	$x_5^{h_1} = 0,725$	$b_6 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	$\bar{x}_5 = 0,725$	58

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A partir do ciclo “1” na Tabela 3.6 inicia-se a comparação entre pares de alternativas hipotéticas, conforme descrito no item 2.1.2 deste trabalho. No início dessa etapa há 40 projetos não classificados. Após 9 ciclos, isto é, após o decisor expressar suas preferências com respeito a 10 pares de alternativas hipotéticas $h_1, h_2 \in H$, todos os projetos foram classificados. Para os ciclos dessa etapa, na coluna “Alternativa h_1 ” são mostrados os valores $x_i^{h_1}$ do vetor de consequências de h_1 ; os melhores desempenhos possíveis b_{i+1} do vetor de consequências da outra alternativa do par são mostrados na coluna “Alternativa h_2 ”. As colunas “Preferência do Decisor” e “Informação Obtida” mostram ainda as respostas do decisor diante de cada pergunta apresentada, e a atualização, a cada pergunta respondida, dos

limites do intervalo de valores viáveis $(\underline{x}_i, \bar{x}_i)$ que contém o valor de consequência tal que haja indiferença entre o par de alternativas em questão.

A Tabela 3.7 a seguir apresenta o conjunto de categorias viáveis às quais cada projeto poderia vir a ser atribuído a depender do espaço de pesos atualizado a cada ciclo. O gráfico da Figura 3.3 ilustra os resultados parciais no ciclo “6”, em que há 18 projetos ainda não classificados. O eixo horizontal está dividido em três intervalos que correspondem às categorias C_1 , C_2 e C_3 de acordo com os valores de fronteira q_r . As barras em verde indicam as categorias viáveis às quais um projeto pode vir a ser atribuído.

As informações a respeito dos resultados parciais são atualizadas a cada novo ciclo e ficam disponíveis ao decisor, permitindo que ele acompanhe a evolução dos resultados a cada pergunta respondida.

Tabela 3.7 – Resultados Parciais Obtidos Através do FITradeoff

Projetos	Ciclo										
	Após Ordenação	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_1	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2
p_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3
p_4	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3
p_5	$C_1/C_2/C_3$	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2	C_2
p_6	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_7	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1
p_8	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_9	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_{10}	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2
p_{11}	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1
p_{12}	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_{13}	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_{14}	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2	C_2
p_{15}	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1	C_1
p_{16}	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2	C_2
p_{17}	$C_1/C_2/C_3$	$C_1/C_2/C_3$	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3

p_{52}	C_2/C_3	C_3										
p_{53}	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3
p_{54}	C_1/C_2	C_1/C_2	C_2	C_2								
p_{55}	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3								
p_{56}	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3								
p_{57}	C_2/C_3	C_3	C_3	C_3								
p_{58}	C_1	C_1										

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

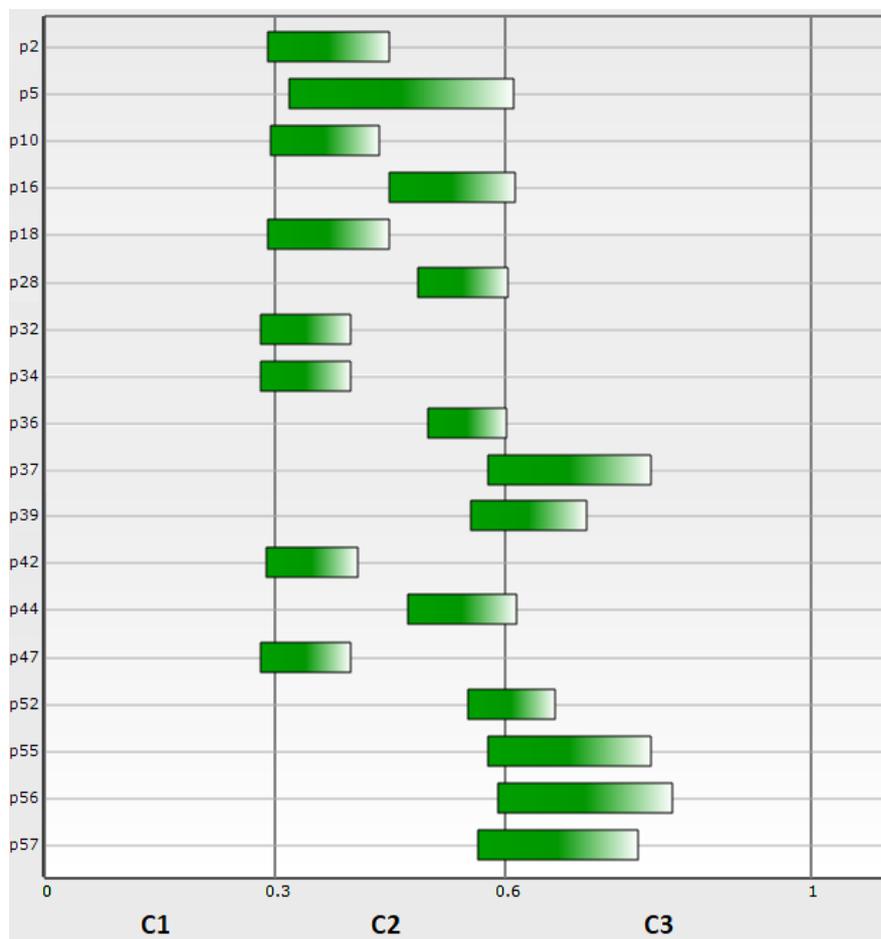


Figura 3.3 – Gráfico de Resultados Parciais – Ciclo "6"

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

3.2.4 Análise de Sensibilidade

Os resultados obtidos através da aplicação de um método multicritério estão fortemente relacionados aos dados de input fornecidos, tais como matriz de consequências e parâmetros

do modelo (WOLTERS; MARESCHAL, 1995), sendo relevante verificar a sensibilidade das conclusões obtidas quanto à variação desses dados (INSUA; FRENCH, 1991). A análise de sensibilidade diz respeito ao estudo e análise do impacto que tais variações de entrada provocam na saída do modelo (de ALMEIDA, 2013) e pode ser vista como um meio para geração de insight e reflexão, fazendo com que o decisor pense mais atentamente sobre seu problema (JIMÉNEZ; RÍOS-INSUA; MATEOS, 2006).

No contexto de avaliação de projetos, no período em que a decisão está sendo tomada é possível que se tenha apenas valores estimados das consequências de cada projeto nos critérios (SALO; KEISLER; MORTON, 2011). Dessa forma, a entrada de dados é constantemente revisada à medida que os decisores entendem as implicações desses dados (INSUA; FRENCH, 1991). Para a aplicação estudada, realizou-se análise de sensibilidade através de simulação de incertezas nos valores de consequência atribuídos a projetos com respeito a dois critérios críticos: impacto no resultado e probabilidade de sucesso de um projeto. Com base nas informações já obtidas, o resultado foi simulado 100.000 vezes gerando-se aleatoriamente valores de consequência S_i^{pj} para cada projeto p_j nesses critérios, a fim de verificar a sensibilidade dos resultados obtidos na Tabela 3.7 e obter insights a respeito da pré-seleção de projetos.

Os valores S_i^{pj} foram gerados aleatoriamente variando-se em $\pm 10\%$ o valor de consequência nominal x_i^{pj} (Tabela 3.3). Assim, para os critérios considerados, obtiveram-se valores S_1^{pj} e S_5^{pj} tais que $0,9x_1^{pj} \leq S_1^{pj} \leq 1,1x_1^{pj}$ e $0,9x_5^{pj} \leq S_5^{pj} \leq 1,1x_5^{pj}$. Os valores S_1^{pj} e S_5^{pj} são tais que os limites w_i e b_i dos espaços de consequências nominais dos critérios são mantidos.

Cerca de 67% dos projetos foram classificados em suas categorias nominais (ciclo “9” da Tabela 3.7) em todas as simulações realizadas. Para os projetos restantes, em alguns casos foi possível atribuí-los à sua categoria nominal, e em outros a atribuição não pôde ser realizada de acordo com o nível de informação disponível, obtendo-se apenas o conjunto de categorias viáveis às quais esses projetos poderiam vir a ser atribuídos. Na Tabela 3.8 encontram-se os resultados obtidos para esses projetos, explicitando as porcentagens do número total de simulações referentes ao evento de classificação ou não. Para os casos em que um projeto não pôde ser atribuído a uma categoria única, mostra-se seu conjunto de categorias viáveis. Nota-se que sempre que houve classificação, a atribuição foi feita à categoria nominal, isto é, não houve casos de mudança de categoria nas simulações realizadas.

Para verificar o comportamento do resultado diante de variações nos valores de fronteira q_r , também se realizaram 100.000 simulações nas quais limites q_1 e q_2 foram gerados aleatoriamente. Na aplicação, q_1 e q_2 correspondiam respectivamente aos valores 0,3 e 0,6. Nas simulações esses valores foram variados em $\pm 20\%$ de forma a gerar novos limites q_1' e q_2' tais que $0,24 \leq q_1' \leq 0,36$ e $0,48 \leq q_2' \leq 0,72$. Como resultado da análise de sensibilidade, verificou-se que aproximadamente 86% dos projetos foram classificados nas mesmas categorias da solução nominal, e não houve mudança de categorias, pois os projetos restantes não puderam ser atribuídos a uma categoria única com base no nível de informação, estando disponíveis apenas seus conjuntos de categorias viáveis.

Tabela 3.8– Análise de Sensibilidade para Critérios Críticos – Projetos Não Classificados

Projeto	Classificação			Não Classificação	
	% Classificação	% Categoria da Solução Nominal	% Mudança de Categoria	% Não Classificação	Categorias Viáveis
p_2	68,218	100	0	31,782	C_1/C_2
p_5	83,037	100	0	16,963	C_2/C_3
p_{12}	83,006	100	0	16,994	C_1/C_2
p_{13}	92,764	100	0	7,236	C_1/C_2
p_{16}	65,684	100	0	34,316	C_2/C_3
p_{18}	68,654	100	0	31,346	C_1/C_2
p_{22}	98,856	100	0	1,144	C_2/C_3
p_{28}	71,372	100	0	28,628	C_2/C_3
p_{32}	70,201	100	0	29,799	C_1/C_2
p_{34}	69,918	100	0	30,082	C_1/C_2
p_{36}	79,378	100	0	20,622	C_2/C_3
p_{37}	74,604	100	0	25,396	C_2/C_3
p_{39}	49,985	100	0	50,015	C_2/C_3
p_{44}	67,096	100	0	32,904	C_2/C_3
p_{47}	70,040	100	0	29,960	C_1/C_2
p_{52}	33,181	100	0	66,819	C_2/C_3
p_{55}	74,480	100	0	25,520	C_2/C_3
p_{56}	90,718	100	0	9,282	C_2/C_3
p_{57}	37,608	100	0	62,392	C_2/C_3

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

3.2.5 Discussão dos Resultados Obtidos a partir da Classificação com o Método FITradeoff

Na aplicação numérica, já no ciclo de ordenação das constantes de escala dos critérios, 17 dos 58 projetos haviam sido atribuídos a categorias únicas. Por exemplo, na Tabela 3.7 observa-se que os projetos p_4 e p_7 foram classificados respectivamente nas categorias C_3 e C_1 com base nesse nível de informação. Dessa forma, de acordo com as definições da Tabela 3.5, p_4 seria considerado em uma etapa futura como projeto concorrente ao portfólio, ao passo que p_7 seria desconsiderado por não contribuir satisfatoriamente com os objetivos da organização. Nota-se que à medida que o espaço de pesos é reduzido, esses projetos permanecem classificados nas mesmas categorias, o que está de acordo com o que foi estabelecido no item 3.1.2 deste trabalho.

Verifica-se também que no ciclo 4, após 5 perguntas a respeito de preferências estritas entre alternativas hipotéticas terem sido respondidas, mais da metade dos projetos já havia sido classificada, e para aqueles ainda não classificados havia conjuntos de categorias viáveis às quais eles poderiam ser atribuídos em ciclos futuros. Tomando o projeto p_{17} como exemplo, de acordo com o nível de informação disponível no ciclo 4 havia duas categorias viáveis às quais ele poderia ser atribuído nos próximos ciclos, as categorias C_2 e C_3 . Portanto, conforme a Tabela 3.5, nesse ciclo já se sabia que p_{17} não seria descartado diretamente, podendo ser considerado com certeza como candidato à próxima etapa ou requerer uma reavaliação gerencial. Quando o nível de informação disponível foi atualizado no ciclo 5, p_{17} foi atribuído à categoria C_3 (Tabela 3.7).

Por fim, no ciclo 9 todos os projetos foram classificados em categorias únicas, após 10 perguntas terem sido respondidas pelo decisor. Dos 58 projetos, 14 foram atribuídos a C_3 , 32 a C_2 e 12 a C_1 , contribuindo para que gerentes dispensem menos tempo analisando projetos que pouco contribuem para o atingimento dos objetivos preestabelecidos.

A análise de sensibilidade realizada pela variação tanto das consequências dos projetos nos critérios críticos, quanto dos limites que definem as categorias mostrou que não houve alteração na atribuição original dos projetos às categorias. Em algumas situações, no entanto, o nível de informação disponível não foi suficiente para realizar a classificação, e, de acordo com o estabelecido pelas regras de decisão (item 3.1.2), apenas um conjunto de categorias viáveis para esses projetos estava disponível, sendo necessário nesses casos obter mais informações a fim de classificar os projetos a categorias únicas. Todavia nota-se que o

conjunto de categorias viáveis para cada projeto na Tabela 3.8 inclui a categoria à qual este foi atribuído na solução nominal (Tabela 3.7).

Com base nos resultados da aplicação do método FITradeoff para problemática de classificação e da análise de sensibilidade, 20 projetos foram pré-selecionados e serão considerados em uma fase posterior (Capítulo IV) como possíveis candidatos a compor o portfólio de projetos da companhia. O conjunto de projetos candidatos é composto pelos 14 projetos classificados originalmente na categoria mais preferível C_3 , e por 6 projetos originalmente classificados em C_2 mas que em alguns casos durante a análise de sensibilidade não foram classificados em categoria única, tendo contudo C_3 como uma das categorias viáveis. Na aplicação numérica do Capítulo IV será considerado, portanto, o conjunto $A = \{p_3, p_4, p_5, p_{16}, p_{17}, p_{19}, p_{22}, p_{24}, p_{28}, p_{36}, p_{37}, p_{39}, p_{44}, p_{46}, p_{50}, p_{52}, p_{53}, p_{55}, p_{56}, p_{57}\}$.

3.3 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

A extensão proposta do método FITradeoff para a problemática de classificação, diferente de muitas abordagens, não utiliza alternativas fictícias para estabelecer perfis de referência e definir as categorias, visto que se baseia em informação parcial do decisor. Apesar de saber-se que a utilização de tais alternativas fictícias nem sempre é clara para o decisor (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004), a definição dos valores de fronteira em termos de porcentagens no intervalo 0–1, como o método pressupõe, pode também ser difícil de se realizar em situações práticas. A dificuldade quanto à incerteza gerada com a definição desses valores de fronteira poderia ser reduzida através da realização de análise de sensibilidade que simule o comportamento dos resultados diante de variações nesses parâmetros.

Além disso, em problemas com muitas categorias pré-definidas, pode ser necessário obter mais informações de preferência do decisor afim de fazer a atribuição a categorias únicas, a depender de outras características do problema, como número de critérios, alternativas e distribuição das consequências das alternativas nos critérios.

4 ABORDAGEM PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS SOB INFORMAÇÃO PARCIAL E SUA APLICAÇÃO A SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo uma abordagem para seleção de portfólio de projetos sob informação parcial é proposta e aplicada ao problema de seleção de portfólio de projetos em sistemas de energia elétrica, considerando-se o conjunto composto por 20 projetos candidatos pré-selecionados no Capítulo III.

4.1 PONTOS CRÍTICOS ENCONTRADOS NA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS

A seguir são apresentados alguns pontos críticos encontrados no contexto de seleção de portfólio de projetos que devem ser levados em consideração.

4.1.1 Problemas de Escala

Uma das abordagens mais utilizadas no contexto de seleção de portfólio de projetos é o modelo linear aditivo proposto por Golabi, Kirkwood & Sichertman (1981), em que uma função valor aditiva agrega os desempenhos de cada projeto nos critérios, gerando *scores* para os vários projetos individualmente, e o valor do portfólio é dado pela soma dos valores globais dos projetos nele incluídos (LIESIÖ; PUNKKA, 2014) (Equações (2.2) e (2.3)).

De acordo com Morton (2015), uma prática comum em problemas de seleção de portfólio é definir funções valor marginais com base em um escala intervalar, implicitamente assumindo que o valor de um projeto p_j não incluído no portfólio (variável binária y_j igual a zero na Equação (2.3)), corresponde à inclusão no portfólio de um projeto com os piores desempenhos possíveis em todos os critérios, o que pode levar a recomendações incorretas (CLEMEN; SMITH, 2009).

Embora a utilização de escala intervalar no modelo aditivo seja consistente no processo de avaliação individual de projetos, tendo sido inclusive adotada no Capítulo III deste trabalho na fase de pré-seleção de projetos do setor elétrico (Equação (3.3)), quando se trata da seleção de um conjunto de projetos, a interação entre transformação linear (normalização intervalar) e uso da regra de combinação aditiva para computar os valores globais dos

portfólios pode levar a problemas de reversão de ordem nos resultados (CLEMEN; SMITH, 2009; MORTON, 2015). Portanto, ao utilizar o modelo aditivo para seleção de portfólio, alguns requisitos com respeito às escalas de medição devem ser atendidos (de ALMEIDA; VETSCHERA; ALMEIDA, 2014).

Para superar esses problemas, Clemen & Smith (2009) defendem o estabelecimento de valores apropriados, com respeito a cada critério, à ação de não incluir um projeto no portfólio. Nesse caso, a seleção do portfólio de projetos é realizada com base na maximização do valor incremental total do portfólio levando em consideração tanto os valores de realização quanto de não realização dos projetos. As técnicas para especificar esses valores requerem que o decisor escolha um vetor de consequências tal que ele se sinta indiferente entre implementar e não implementar um projeto com tal vetor de consequências (LIESIÖ; PUNKKA, 2014), como sugerido em por Golabi, Kirkwood & Sicherman (1981).

Essas técnicas funcionam bem quando se utiliza escala intervalar no modelo aditivo, no entanto, mesmo que os valores sugeridos por Clemen & Smith (2009) sejam definidos, a aplicação de diferentes classes de funções para normalização dos desempenhos dos projetos nos critérios pode levar ainda ao problema de reversão de ordem. Portanto, Morton (2015) defende que os problemas de reversão de ordem que podem ocorrer com a aplicação do modelo aditivo para seleção de portfólio não são causados pelas suposições a respeito do valor de não realização de um projeto, mas sim por utilizar certos tipos de transformações matemáticas. Morton (2015) então sugere que sejam utilizadas transformações que associem um valor ao desempenho original de um projeto em um critério através da multiplicação por um fator de escala, como acontece, por exemplo, quando se utiliza uma escala de razão.

Dessa forma, na abordagem para seleção de portfólio de projetos sob informação parcial proposta neste trabalho assumimos o uso de escala de razão para normalizar os desempenhos dos projetos nos critérios.

4.1.2 Caráter Combinatório do Problema de Seleção de Portfólio de Projetos

Um portfólio é um subconjunto do conjunto A formado por m itens disponíveis. Dessa forma, o conjunto S_P de todos os possíveis portfólios, isto é, todos os subconjuntos formados pelos itens de A , tem 2^m elementos. Tipicamente, o conjunto S_P é reduzido ao conjunto S_F formado pelos portfólios de S_P que atendem às restrições do problema. Apesar disso, a enumeração completa dos elementos do conjunto S_F torna-se intratável à medida que o

número de itens cresce (LIESIÖ; MILD; SALO, 2007). Por exemplo, em organizações onde são executados muitos projetos em paralelo, o número de portfólios possíveis pode ser muito grande, tornando-se um problema de natureza combinatória (NOWAK, 2013). Isso leva a problemas de custo computacional (LIESIÖ; MILD; SALO, 2007) e de visualização dos resultados pelo decisor (SALO; KEISLER; MORTON, 2011), e deve ser tratado ao trabalhar nesse contexto.

4.2 ABORDAGEM PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS SOB INFORMAÇÃO PARCIAL

Devido a limitações de conhecimento, tempo disponível para desenvolvimento do processo decisório, dentre outros, frequentemente o decisor só é capaz ou está disposto a fornecer informações incompletas acerca de suas preferências (WEBER, 1987). Dada essa particularidade encontrada em situações reais de elicitación de preferências, neste trabalho propõe-se abordagem baseada em informação parcial para seleção de portfólio de projetos. A Figura 4.1 ilustra as etapas envolvidas nessa abordagem.

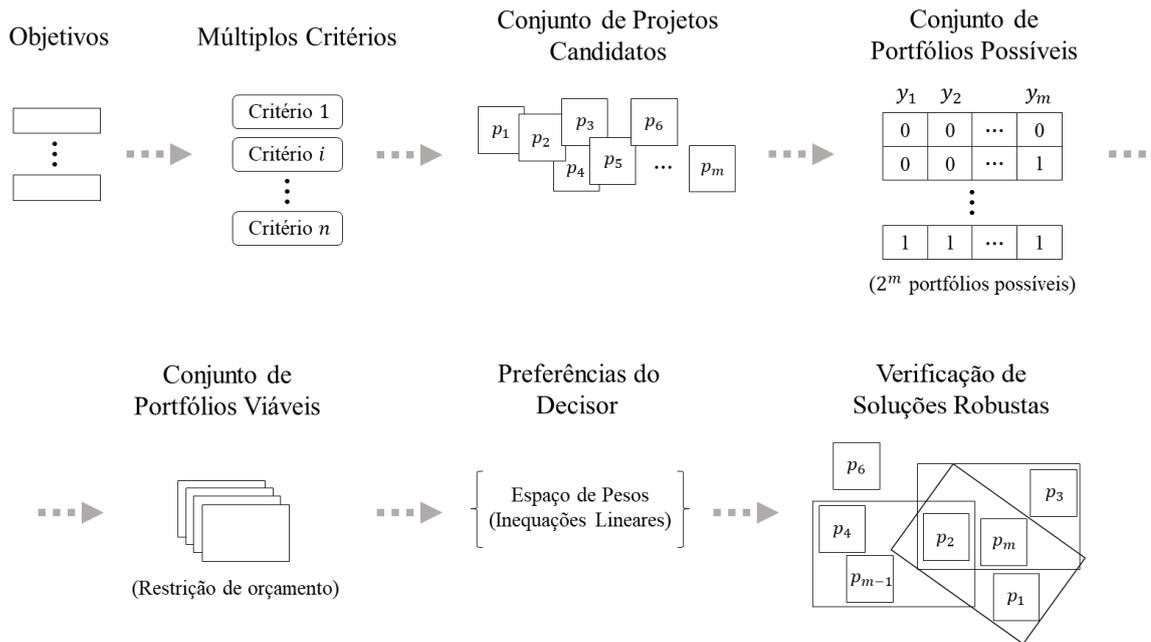


Figura 4.1 – Etapas da Abordagem para Seleção de Portfólio sob Informação Parcial

Fonte: Adaptada de Lahtinen, Hämäläinen & Liesiö (2017, p. 76)

Dado um problema de decisão multicritério com objetivos, critérios e um conjunto de projetos candidatos a compor o portfólio, obtêm-se os conjuntos de portfólios possíveis e viáveis, levando-se em consideração as restrições do problema. A fim de refinar o conjunto de possíveis soluções para o problema, a abordagem pressupõe o uso de informação incompleta do decisor. Neste trabalho, assume-se que essa informação é obtida a partir das perguntas da elicitacão flexível do método FITradeoff (de ALMEIDA *et al.*, 2016). Finalmente, verificam-se soluções robustas através de procedimentos para verificacão de portfólios não dominados e potencialmente ótimos, conforme abordado nos itens a seguir.

4.2.1 Geraçã dos Conjuntos de Portfólios Possíveis e Viáveis

Uma proposta inicial para geraçã dos 2^m elementos do conjunto de portfólios possíveis S_P , é realizar enumeraçã explícita. A Figura 4.2 exemplifica esse processo de geraçã através da árvore de enumeraçã explícita de portfólios possíveis, em que os nós representam os projetos e os arcos conectando dois nós representam a decisã de incluir ou não o projeto no portfólio. Cada portfólio gerado pode ser representado em uma linha da matriz $D_{2^m \times m}$, como ilustra a Tabela 4.1, em que y_j representa a variável binária associada a cada projeto

$p_j \in A$. y_j assume valor 1 se e somente se o projeto p_j estiver incluído no portfólio, e 0 caso contrário.

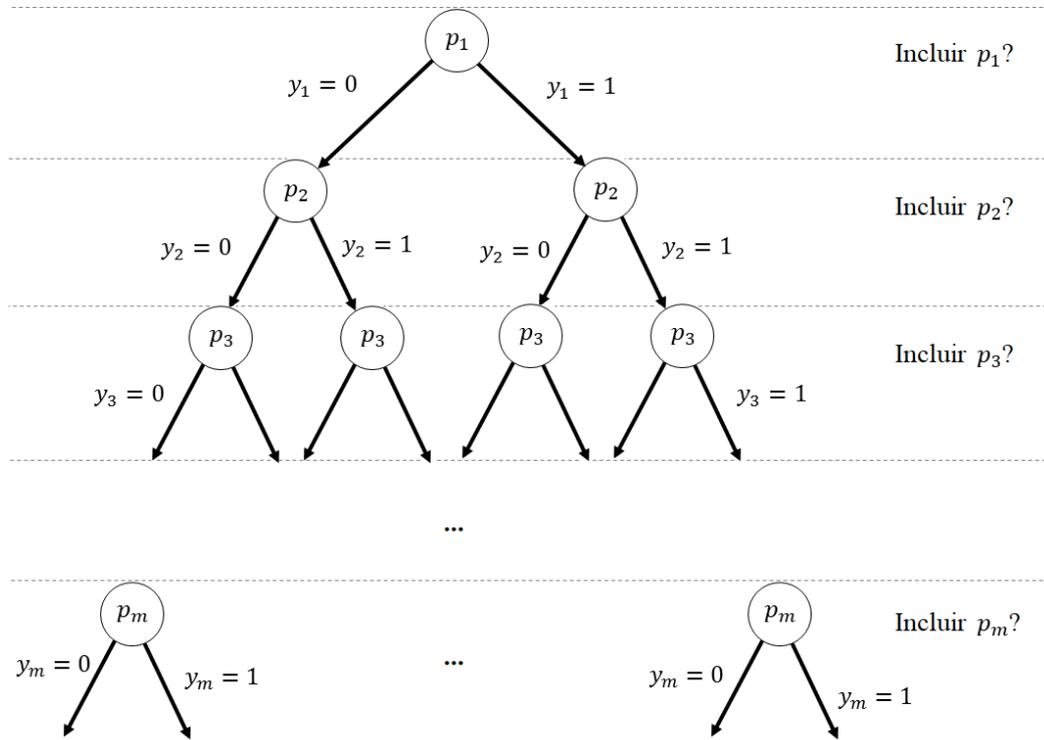


Figura 4.2 – Árvore de Enumeração Explícita dos Portfólios Possíveis

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Tabela 4.1 – Conjunto de Portfólios Possíveis dados m Projetos

Portfólios Possíveis	Projetos Incluídos ou Não no Portfólio				
	y_1	y_2	y_3	...	y_m
P_1	0	0	0	...	0
P_2	0	0	0	...	1
...
P_2^m	1	1	1	...	1

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O conjunto de portfólios viáveis S_F é então gerado a partir de S_P aplicando-se as restrições do problema.

4.2.2 Verificação de Soluções Robustas

Com informação parcial a respeito das preferências do decisor, a combinação de projetos que maximiza o valor global dado pela Equação (2.3) pode ser diferente para diferentes pontos $k \in \varphi^n$ (TERVONEN; LIESIÖ; SALO, 2017). Assim, propõem-se a verificação dessas soluções, dados intervalos de valores viáveis para as constantes de escala dos critérios do problema, através de verificações de dominância absoluta entre portfólios e potencial optimalidade.

Uma vez que a informação parcial a respeito das preferências do decisor é obtida através das perguntas da elicitación flexível do método FITradeoff (de Almeida *et al.*, 2016), realiza-se neste trabalho uma reformulação do modelo LPP proposto para a verificação de alternativas potencialmente ótimas, no contexto da problemática de seleção, para o contexto de portfólio de projetos, considerando-se ainda questões referentes aos problemas de escala associados.

4.2.2.1 Restrições do Espaço de Pesos

A fim de evitar os problemas de escala que podem ocorrer quando o modelo aditivo é aplicado à seleção de portfólio de projetos, a abordagem proposta pressupõe o uso de escala de razão para normalizar os desempenhos dos m projetos em cada um dos n critérios. Dessa forma, as relações de preferência estrita obtidas a partir da interação com o decisor devem ser adaptadas à nova escala utilizada. Através das preferências do decisor diante das perguntas da etapa de elicitación flexível apresentadas pelo método FITradeoff (de Almeida *et al.*, 2016), pode-se obter a relação a seguir caso o decisor prefira x^{h1} a x^{h2} :

$$\begin{aligned} x^{h1} > x^{h2} &\Leftrightarrow v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(x_i^{h1})k_i + v_{i+1}(w_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \\ &> v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(w_i)k_i + v_{i+1}(b_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \end{aligned}$$

Caso contrário, isto é, se o decisor preferir x^{h2} a x^{h1} , então tem-se que:

$$\begin{aligned} x^{h2} > x^{h1} &\Leftrightarrow v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(x_i^{h1})k_i + v_{i+1}(w_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \\ &< v_1(w_1)k_1 + \dots + v_i(w_i)k_i + v_{i+1}(b_{i+1})k_{i+1} + \dots + v_n(w_n)k_n \end{aligned}$$

O método FITradeoff assume funções valor marginais v_i tais que os limites do espaço de consequências de cada critério i são associados aos valores zero (0) e um (1), de forma que $v_i(w_i) = 0$ e $v_i(b_i) = 1$. Assim, obtém-se a inequação $v_i(x_i^{h_1})k_i > k_{i+1}$ quando o decisor prefere x^{h_1} a x^{h_2} , ou $v_i(x_i^{h_1})k_i < k_{i+1}$ quando x^{h_2} é preferível a x^{h_1} . Com a mudança de escala intervalar para escala de razão na abordagem para seleção de portfólio, e supondo que a obtenção de preferências do decisor segue o processo de elicitação proposto por de Almeida *et al.* (2016), se o decisor preferir x^{h_1} a x^{h_2} , obtém-se a inequação $v_i(x_i^{h_1})k_i + v_{i+1}(w_{i+1})k_{i+1} > v_i(w_i)k_i + v_{i+1}(b_{i+1})k_{i+1}$; caso contrário, obtém-se $v_i(x_i^{h_1})k_i + v_{i+1}(w_{i+1})k_{i+1} < v_i(w_i)k_i + v_{i+1}(b_{i+1})k_{i+1}$. Dessa forma, o espaço de pesos originalmente proposto por de Almeida *et al.* (2016) é modificado, como mostra a Equação (4.1).

$$\varphi^n = \left\{ \begin{array}{l} [v_i(\underline{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} + \varepsilon \leq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ [v_i(\bar{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} - \varepsilon \geq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ \sum_{i=1}^n k_i = 1 \\ k_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \end{array} \right\} \quad (4.1)$$

4.2.2.2 Portfólios Não Dominados

Weber (1987) define relações de dominância a fim deduzir preferências com respeito a pares de alternativas quando a informação disponível é parcial. Estendemos as definições de relações de dominância entre alternativas apresentadas por Weber (1987) para relações de dominância entre portfólios.

Na dominância absoluta, os valores globais das alternativas (portfólios) são calculados de forma independente. Um portfólio P_w domina outro portfólio P_z absolutamente com respeito a um espaço de pesos φ^n , $P_w \succ_{DA} P_z$, se o menor valor global de P_w dado φ^n é maior do que o maior valor global que pode ser associado a P_z dado o mesmo espaço de pesos. De acordo com essa definição de dominância, o conjunto de portfólios não dominados é $S_{ND} = \{P_w \in S_F \mid \nexists P_z \in S_F \text{ tal que } P_z \succ_{DA} P_w\}$.

A partir dessa definição, os modelos LPP 3 e LPP 4 (Equações (4.2) e (4.3)) foram propostos a fim de verificar se cada portfólio P_w no subconjunto sob análise pertence a S_{ND} ,

dado um espaço de pesos φ^n . Dessa forma, espera-se reduzir o número de portfólios viáveis através da verificação de relações de dominância absoluta.

LPP 3:

$$V_{min}(P_w) = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_j v_i(x_i^{a_j}) k_i$$

s. a.

$$\begin{aligned} [v_i(\underline{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} + \varepsilon &\leq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ [v_i(\bar{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} - \varepsilon &\geq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ \sum_{i=1}^n k_i &= 1 \\ k_i &\geq 0, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (4.2)$$

LPP 4:

$$V_{max}(P_w) = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_j v_i(x_i^{a_j}) k_i$$

s. a.

$$\begin{aligned} [v_i(\underline{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} + \varepsilon &\leq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ [v_i(\bar{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} - \varepsilon &\geq 0, i = 1, \dots, n-1 \\ \sum_{i=1}^n k_i &= 1 \\ k_i &\geq 0, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (4.3)$$

Em que ε corresponde a uma constante positiva pequena utilizada para permitir que as desigualdades estritas sejam tratadas computacionalmente.

A Figura 4.3 apresenta o procedimento para verificação de relações de dominância absoluta entre portfólios viáveis, em que t corresponde ao número de portfólio viáveis no subconjunto sob análise. Se um nível maior de informação for obtido do decisor, de forma que o espaço viável de pesos φ^n é reduzido a $\varphi^{n'} \subseteq \varphi^n$, com base nos modelos LPP 3 e LPP 4 e no procedimento apresentado tenta-se reduzir cada vez mais o número de portfólios viáveis.

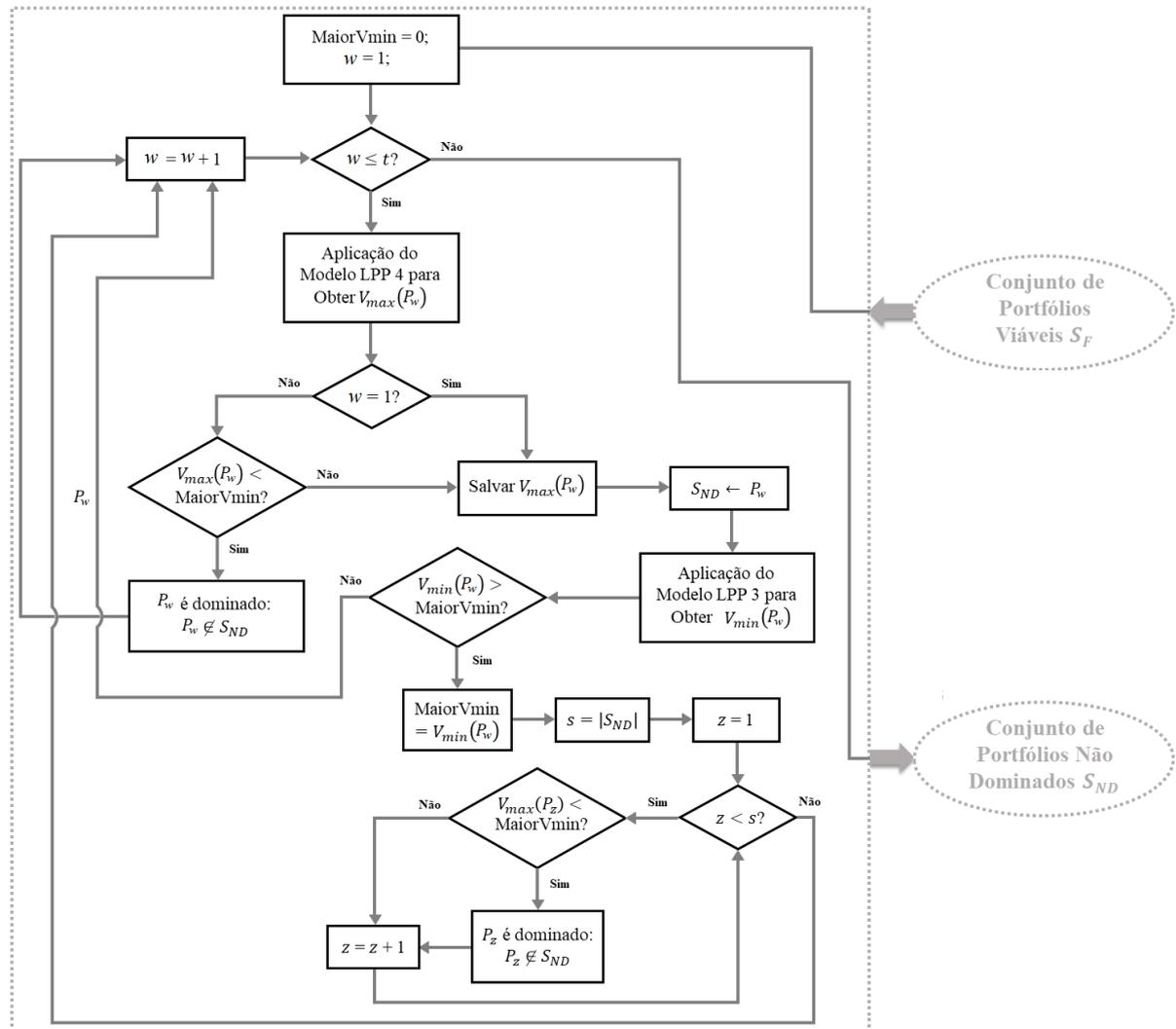


Figura 4.3 – Procedimento para Verificação do Conjunto de Portfólios Não Dominados S_{ND}

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

4.2.2.3 Portfólios Potencialmente Ótimos

Um portfólio P_w é potencialmente ótimo com respeito a um espaço de pesos φ^n se existe algum ponto $\mathbf{k} \in \varphi^n$ tal que o valor global de P_w , dado pela Equação (2.3), é maior ou igual ao de todos os outros portfólios. Os portfólios potencialmente ótimos podem ser verificados solucionando-se o problema de viabilidade representado pelo modelo LLP 5 na Equação (4.4), em que S_{PO} corresponde ao conjunto de portfólios potencialmente ótimos dado um espaço de pesos.

LPP 5:

$$\max V(P_w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_j v_i(x_i^{a_j}) k_i$$

s. a.

$$V(P_w) \geq V(P_z), z = 1, \dots, |S_{PO}|, z \neq w$$

$$[v_i(\underline{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} + \varepsilon \leq 0, i = 1, \dots, n-1 \quad (4.4)$$

$$[v_i(\bar{x}_i) - v_i(w_i)]k_i + [v_{i+1}(w_{i+1}) - v_{i+1}(b_{i+1})]k_{i+1} - \varepsilon \geq 0, i = 1, \dots, n-1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

ε corresponde a uma constante positiva pequena utilizada para permitir que as desigualdades estritas sejam tratadas computacionalmente.

Um portfólio pode ser não dominado mesmo que não seja potencialmente ótimo para nenhum ponto (combinação de constantes de escala) em φ^n (TERVONEN; LIESIÖ; SALO, 2017). Na Figura 4.4, por exemplo, o portfólio P_2 domina absolutamente o portfólio P_3 e não é dominado absolutamente por nenhum dos outros portfólios. No entanto, P_2 não é potencialmente ótimo, pois não há ponto $\mathbf{k} \in \varphi^n$ tal que o valor global de P_2 seja maior ou igual aos de todos os outros portfólios.

Dessa forma, a fim de reduzir o conjunto de soluções robustas para o problema, a abordagem proposta verifica também os portfólios potencialmente ótimos. Ressalta-se que, ao comparar as duas verificações de soluções robustas, isto é, a dominância absoluta e a potencial optimalidade, a primeira mostra-se especialmente útil para tratar o conjunto inicial de portfólios viáveis, pois, ao contrário da verificação de potencial optimalidade, seus modelos LPPs associados não requerem como restrições comparações com todos os outros portfólios viáveis do conjunto.

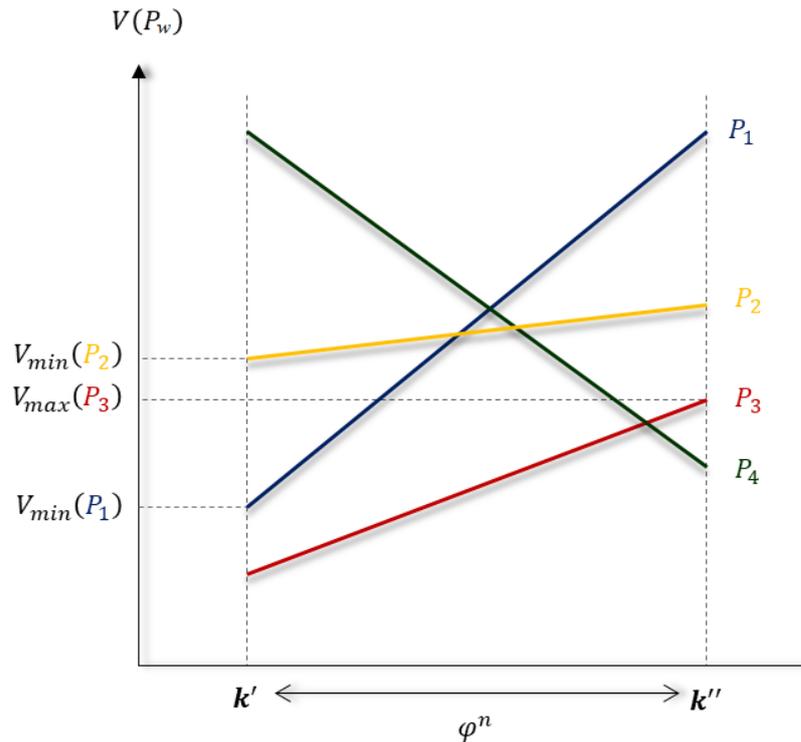


Figura 4.4 – Dominância e Potencial Optimalidade

Fonte: Adaptada de Weber (1987, p. 47)

4.3 SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS EM EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA

A abordagem proposta no item anterior é aplicada à etapa de seleção de portfólio de projetos em uma empresa brasileira do setor elétrico. O contexto do problema foi apresentado no Capítulo III deste trabalho, e a partir da aplicação do método FITradeoff para problemática de classificação, bem como dos resultados da análise de sensibilidade realizada, 20 dos 58 projetos foram pré-selecionados como projetos candidatos a compor o portfólio da empresa.

Os itens a seguir exploram as etapas da abordagem para seleção de portfólio conforme a Figura 4.1.

4.3.1 Conjunto de Projetos Candidatos

Na aplicação numérica, considera-se o conjunto de projetos $A = \{p_3, p_4, p_5, p_{16}, p_{17}, p_{19}, p_{22}, p_{24}, p_{28}, p_{36}, p_{37}, p_{39}, p_{44}, p_{46}, p_{50}, p_{52}, p_{53}, p_{55}, p_{56}, p_{57}\}$ a partir do qual

deseja-se selecionar o subconjunto que melhor contribui para alcançar os objetivos estabelecidos pela empresa, respeitando a restrição de orçamento.

Os desempenhos dos projetos em cada um dos seis critérios estabelecidos encontram-se na Tabela 3.3. A Tabela 4.2 apresenta esses desempenhos normalizados através da Equação (4.5), a fim de evitar os problemas de escala destacados no item 4.2. Os limites superiores b_i do espaço de consequências de cada critério i encontram-se na Tabela 3.4. Apesar de a etapa de pré-seleção ter reduzido o conjunto inicial de projetos, os limites dos espaços de consequências permaneceram inalterados.

$$v_i(x_i^{p_j}) = \frac{x_i^{p_j}}{b_i} \quad (4.5)$$

v_i – função valor marginal do critério i

$x_i^{p_j}$ – desempenho do projeto p_j no critério i

b_i – limite superior do espaço de consequências do critério i

Tabela 4.2 – Matriz de Consequências Normalizada

Projetos	Índice do Critério					
	1	2	3	4	5	6
p_3	1	0,2	1	1	0,7059	1
p_4	1	0,6	1	1	0,7059	0,2
p_5	0,8	1	0,2	0,3333	0,4118	0,2
p_{16}	0,8	0,8	0,4	0,3333	1	0,2
p_{17}	0,4	1	1	1	0,7059	1
p_{19}	1	0,6	0,6	0,6666	1	0,8
p_{22}	0,6	1	0,4	0,6666	0,4118	0,2
p_{24}	1	1	1	0,3333	0,7059	1
p_{28}	0,2	1	0,6	1	0,7059	0,6
p_{36}	0,8	0,6	0,8	0,3333	0,7059	0,6
p_{37}	1	1	0,2	0,3333	1	1
p_{39}	0,8	1	0,2	1	0,7059	0,2
p_{44}	0,6	1	0,4	0,3333	0,7059	1
p_{46}	1	1	0,8	0,6666	0,7059	1
p_{50}	1	1	0,2	0,6666	1	0,4
p_{52}	0,6	1	0,2	1	1	0,2

p_{53}	0,8	1	0,2	0,6666	1	0,8
p_{55}	1	1	0,2	0,3333	1	1
p_{56}	1	1	0,6	0,3333	0,7059	0,6
p_{57}	1	1	0,2	0,3333	1	0,8

Fonte: Adaptada de Martins et al. (2017, p. 1369)

4.3.2 Conjunto de Portfólios Possíveis

O conjunto de portfólios possíveis S_p contém $2^{20} = 1.048.576$ subconjuntos (portfólios) gerados através de enumeração explícita.

4.3.3 Conjunto de Portfólios Viáveis

Para a etapa de seleção do portfólio de projetos, considera-se um orçamento no valor de R\$ 1.600.000,00 que deve ser respeitado, isto é, a soma dos custos dos projetos incluídos no portfólio não deve ultrapassar esse valor. Na Tabela 4.2 encontram-se os custos associados a cada projeto candidato. O custo total para realização dos 20 projetos é de R\$ 3.340.291,00.

Tabela 4.3 – Custo de cada Projeto

Projetos	Custo (R\$)
p_3	11.901,00
p_4	127.311,00
p_5	81.287,00
p_{16}	24.268,00
p_{17}	56.694,00
p_{19}	264.893,00
p_{22}	170.442,00
p_{24}	244.386,00
p_{28}	213.801,00
p_{36}	220.314,00
p_{37}	285.389,00
p_{39}	213.338,00
p_{44}	287.251,00
p_{46}	199.040,00
p_{50}	111.834,00

p_{52}	117.879,00
p_{53}	116.001,00
p_{55}	261.873,00
p_{56}	171.874,00
p_{57}	160.515,00

Fonte: Adaptada de Martins et al. (2017, p. 1369)

Aplicando a restrição de orçamento, os 1.048.576 portfólios iniciais (conjunto de portfólios possíveis) foram reduzidos a 455.493 portfólios viáveis. Estes compõem o conjunto S_F .

4.3.4 Preferências do Decisor

As preferências do decisor obtidas na etapa de pré-seleção de projetos (Tabela 3.6) foram utilizadas para obter as inequações que limitam os valores que as constantes de escala podem assumir. A Tabela 4.4 apresenta as informações obtidas a cada resposta do decisor.

Tabela 4.4 – Inequações Obtidas a Cada Ciclo

Ciclo	Alternativa h_1	Alternativa h_2	Preferência do Decisor	Inequação Obtida
0	$x_1^{h_1} = 3$	$b_6 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	$v_1(3)k_1 + v_6(1)k_6 > v_1(1)k_1 + v_6(5)k_6$
1	$x_1^{h_1} = 3$	$b_2 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_1(3)k_1 + v_2(1)k_2 < v_1(1)k_1 + v_2(5)k_2$
2	$x_2^{h_1} = 3$	$b_3 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_2(3)k_2 + v_3(1)k_3 < v_2(1)k_2 + v_3(5)k_3$
3	$x_3^{h_1} = 3$	$b_4 = 3$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_3(3)k_3 + v_4(1)k_4 < v_3(1)k_3 + v_4(3)k_4$
4	$x_4^{h_1} = 2$	$b_5 = 0,85$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_4(2)k_4 + v_5(0,35)k_5 < v_4(1)k_4 + v_5(0,85)k_5$
5	$x_5^{h_1} = 0,6$	$b_6 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_5(0,6)k_5 + v_6(1)k_6 < v_5(0,35)k_5 + v_6(5)k_6$
6	$x_1^{h_1} = 4$	$b_2 = 5$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_1(4)k_1 + v_2(1)k_2 < v_1(1)k_1 + v_2(5)k_2$
7	$x_2^{h_1} = 4$	$b_3 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	$v_2(4)k_2 + v_3(1)k_3 > v_2(1)k_2 + v_3(5)k_3$
8	$x_3^{h_1} = 4$	$b_4 = 3$	$x^{h_2} > x^{h_1}$	$v_3(4)k_3 + v_4(1)k_4 < v_3(1)k_3 + v_4(3)k_4$
9	$x_5^{h_1} = 0,725$	$b_6 = 5$	$x^{h_1} > x^{h_2}$	$v_5(0,725)k_5 + v_6(1)k_6 > v_5(0,35)k_5 + v_6(5)k_6$

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Aplicando a Equação (4.5) às inequações apresentadas na Tabela 4.4 obtém-se o espaço de pesos (Equação (4.6)), com base no qual as soluções robustas para o problema são verificadas.

$$\varphi^6 = \left\{ \begin{array}{l} 0,4k_1 - 0,8k_6 - \varepsilon \geq 0 \\ k_1 - k_2 - \varepsilon \geq 0 \\ 0,6k_1 - 0,8k_2 + \varepsilon \leq 0 \\ 0,6k_2 - 0,8k_3 - \varepsilon \geq 0 \\ 0,4k_2 - 0,8k_3 + \varepsilon \leq 0 \\ k_3 - k_4 - \varepsilon \geq 0 \\ 0,6k_3 - 0,6666k_4 + \varepsilon \leq 0 \\ k_4 - k_5 - \varepsilon \geq 0 \\ 0,3333k_4 - 0,5882k_5 + \varepsilon \leq 0 \\ 0,4412k_5 - 0,8k_6 - \varepsilon \geq 0 \\ 0,2941k_5 - 0,8k_6 + \varepsilon \leq 0 \\ k_1 + \dots + k_6 = 1 \\ k_1, \dots, k_6 \geq 0 \end{array} \right. \quad (4.6)$$

4.3.5 Conjunto de Portfólios Não Dominados e Portfólio Potencialmente Ótimo

Aplicando o procedimento para verificação do conjunto de portfólios não dominados ilustrado na Figura 4.3, o conjunto de portfólios viáveis composto por 455.493 itens foi reduzido a 7 portfólios, apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Portfólios Não Dominados

Portfólios Não Dominados	Projetos Incluídos ou Não no Portfólio																			
	y ₃	y ₄	y ₅	y ₁₆	y ₁₇	y ₁₉	y ₂₂	y ₂₄	y ₂₈	y ₃₆	y ₃₇	y ₃₉	y ₄₄	y ₄₆	y ₅₀	y ₅₂	y ₅₃	y ₅₅	y ₅₆	y ₅₇
P ₁	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
P ₂	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
P ₃	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
P ₄	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
P ₅	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
P ₆	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P ₇	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Com base nesse conjunto de portfólios não dominados, aplicou-se o modelo LPP 5 (Equação (4.4)), e verificou-se que apenas o portfólio P₇ é potencialmente ótimo dado o

espaço de pesos apresentado na Equação (4.6). O portfólio P_7 é composto por 13 projetos e tem custo total de R\$ 1.593.432,00.

4.3.6 Discussão dos Resultados Obtidos a partir da Seleção de Portfólio com a Abordagem Proposta

A abordagem proposta permite tratar o problema multicritério de seleção de portfólio de projetos utilizando informação parcial. Inicialmente, propõe-se a verificação de soluções não dominadas. Os resultados são posteriormente refinados através da verificação dos portfólios potencialmente ótimos. Na aplicação numérica realizada, com base no espaço de pesos definido de acordo com as preferências do decisor, e nos modelos de programação linear propostos, o conjunto inicial de 1.048.576 portfólios possíveis foi reduzido a apenas 1 portfólio, demonstrando o potencial da abordagem proposta para lidar com esse tipo de problema.

4.4 LIMITAÇÕES DA ABORDAGEM PROPOSTA

A fim de verificar soluções robustas para o problema de seleção de portfólio de projetos, a abordagem proposta supõe que os portfólios possíveis são gerados através de enumeração explícita. No entanto, essa abordagem limita o número m de projetos candidatos a compor o portfólio, uma vez que gerar todos os 2^m portfólios não é viável assumindo-se um esforço computacional razoável para muitos projetos (TOPPILA; SALO, 2017).

A abordagem também não considera incertezas durante o processo de seleção de portfólio. No entanto, no período em que a decisão está sendo tomada é possível que se tenha apenas valores estimados das consequências e custos de cada projeto (SALO; KEISLER; MORTON, 2011). Além disso, deve-se considerar os casos em que os gerentes não estão apenas interessados em encontrar a melhor solução dado um orçamento, mas também consideram relevante a exploração de uma faixa de valores, ou seja, quando um orçamento fixo não é conhecido no momento da análise ou é esperado que mude (LOURENÇO; MORTON; BANA E COSTA, 2012).

Outro aspecto não tratado pela abordagem proposta é o fato de que, na seleção de portfólio de projetos, os objetivos considerados na avaliação de projetos individuais podem não refletir todos os objetivos do portfólio como um todo (CHIEN, 2002). Nesse caso seria

necessário considerar critérios em nível de portfólio, isto é, critérios usados exclusivamente para avaliar o portfólio como um todo (e não seus elementos), permitindo analisar o problema de uma nova perspectiva e explorar ainda mais características específicas do portfólio como objeto de avaliação e escolha (POLYASHUK, 2005).

Ademais, o exemplo de seleção de portfólio de projetos do setor elétrico apresentado não abordou diretamente questões como interdependências entre projetos, e os resultados foram verificados apenas com base em um espaço de pesos (Equação (4.6)), não tendo sido explorada a verificação de portfólios não dominados e potencialmente ótimos a cada ciclo, de forma a ilustrar a interatividade na elicitação de preferências e a redução progressiva do conjunto de portfólios viáveis considerado.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho o método FITradeoff proposto originalmente por de Almeida *et al.* (2016) para a problemática de escolha foi estendido à problemática de classificação, e uma aplicação de pré-seleção de projetos do setor elétrico foi realizada para ilustrar sua utilização. Esse método utiliza informação parcial para tratar a problemática de classificação, dispondo de um protocolo bem definido para elicitação com base em perguntas acerca das preferências estritas do decisor, o que é cognitivamente mais fácil do que exigir o estabelecimento de pontos exatos de indiferença para chegar a uma solução. Através da combinação de modelos LPP e regras de decisão, o método verifica em que categoria cada alternativa pode ser atribuída, e busca classificar todas elas o mais rápido possível e com o mínimo de informação do decisor.

Os resultados parciais, isto é, a informação acerca dos projetos já classificados e dos conjuntos de categorias viáveis para aqueles ainda não classificados, ficam disponíveis ao decisor a cada nível de informação obtido, o que pode acelerar o processo decisório e contribuir com insights sobre o problema. A possibilidade de interromper o processo de elicitação de preferências a qualquer momento evidencia ainda a flexibilidade do método proposto, e permite que o decisor forneça apenas o nível de informação que ele deseja.

Uma abordagem para seleção de portfólio de projetos utilizando informação parcial do decisor foi proposta neste trabalho, de forma a apoiar o processo de seleção do portfólio mais adequado que contribua com as estratégias organizacionais e respeite as restrições do problema. Na aplicação numérica, a partir de um conjunto de projetos candidatos pré-selecionados, chegou-se a uma única solução potencialmente ótima. Os resultados obtidos indicam as possibilidades de aplicação da abordagem a problemas dessa natureza, sendo, contudo, necessário verificar sua aplicação a outros casos, de forma a estabelecer conclusões mais acuradas e generalizações.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros:

1. Avaliar outras formas de definir as categorias no FITradeoff para problemática de classificação, a fim de permitir maior flexibilidade ao decisor;
2. Aprimorar abordagem proposta para seleção de portfólio de projetos sob informação parcial de forma a permitir processo iterativo com o decisor, recalculando o conjunto de portfólios não dominados (ou potencialmente ótimos) a partir de cada novo nível de informação obtido do decisor;
3. Comparar a redução do conjunto de portfólios viáveis quando se faz uso dos conceitos de dominância absoluta e potencial optimalidade, através de estudo de simulação dadas diferentes configurações de consequências, número de critérios e projetos candidatos, custos dos projetos e orçamento;
4. Explorar características específicas dos portfólios, levando em consideração tanto critérios a nível de projeto, quanto a nível de portfólio;
5. Realizar estudo para avaliar a melhor maneira de apresentar o conjunto de portfólios não dominados (ou potencialmente ótimos) ao decisor para cada espaço de pesos;
6. Estudar a possibilidade de desenvolver simulação de pontos no espaço de pesos e usar essa informação para gerar recomendações (holísticas) ao decisor a partir de um conjunto de portfólios não dominados (ou potencialmente ótimos), pois é possível que em algumas situações restem muitos portfólios não dominados (ou potencialmente ótimos) a depender da informação que o decisor estiver disposto a fornecer;
7. Realizar estudo para avaliar como as perguntas da elicitación flexível devem ser formuladas, no caso da problemática de portfólio, a fim de eliminar a maior quantidade de portfólios do subconjunto;
8. Como destacado por Tervonen, Liesiö & Salo (2017), faltam estudos que comparem o esforço cognitivo e a consistência de preferências obtidas através de perguntas com relação a *tradeoffs* e preferências obtidas através de perguntas realizadas por métodos holísticos na problemática de portfólio. Estudar isso;
9. Tratar o caráter combinatório do problema de seleção de portfólio.

REFERÊNCIAS

- ALY, A.; JENSEN, S.S.; PEDERSEN, A.B. Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis. *Renewable Energy*, 113: 159–175, 2017.
- ARCHER, N.P.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4): 207–216, 1999.
- ATHANASSOPOULOS, A.D.; PODINOVSKI, V.V. Dominance and Potential Optimality in Multiple Criteria Decision Analysis with Imprecise Information. *The Journal of the Operational Research Society*, 48(2): 142–150, 1997.
- BELTON, V.; STEWART, T. *Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach*. Berlim, Springer, 2002, 372p.
- BERREDO, R.C.; EKEL, P.Y.; MARTINI, J.S.C.; PALHARES, R.M.; PARREIRAS, R.O.; PEREIRA, J.G. Decision making in fuzzy environment and multicriteria power engineering problems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(3): 623–632, 2011.
- BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. Additive conjoint measurement with ordered categories. *European Journal of Operational Research*, 203(1): 195–204, 2010.
- BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, I: The case of two categories. *European Journal of Operational Research*, 178(1): 217–245, 2007.
- BRANS, J.P.; de SMET, Y. PROMETHEE methods. In: GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J.R. (ed.) *Multiple Criteria Decision Analysis—State of the Art Surveys*, New York, Springer, 2016. cap 6, p. 187–219.
- BÜYÜKÖZKAN, G.; KARABULUT, Y. Energy project performance evaluation with sustainability perspective. *Energy*, 119: 549–560, 2017.
- CAI, F.; LIAO, X.; WANG, K. A progressive multiple criteria sorting approach based on additive utility functions considering imprecise information. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(5): 2727–2738, 2011.
- CHIEN, C.F. A portfolio-evaluation framework for selecting R&D projects. *R&D Management*, 32(5): 359–368, 2002.

- CHO, W.; SHAW, M.J. Portfolio Selection Model for Enhancing Information Technology Synergy. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, 60(4): 739–749, 2013.
- CLEMEN, R.T.; SMITH, J.E. On the choice of baselines in multiattribute portfolio analysis: a cautionary note. *Decision Analysis*, 6(4): 256–262, 2009.
- de ALMEIDA, A.T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo, Atlas, 2013, 231p.
- de ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A. de; COSTA, A.P.C.S.; de ALMEIDA-FILHO, A.T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250: 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*, v. 231 of International Series in Operations Research & Management Science. New York, Springer, 2015, 395p.
- de ALMEIDA, A.T.; VETSCHERA, R.; de Almeida, J.A. Scaling issues in additive multicriteria portfolio analysis. In: DARGAM, F. et al. (ed.) *Decision Support Systems III-Impact of Decision Support Systems for Global Environments*, Springer, 2014. p. 131–140.
- DEMBCZYŃSKI, K.; GRECO, S.; SŁOWIŃSKI, R. Rough set approach to multiple criteria classification with imprecise evaluations and assignments. *European Journal of Operational Research*, 198(2): 626–636, 2009.
- DOUMPOS, M.; MARINAKIS, Y.; MARINAKI, M.; ZOPOUNIDIS, C. An evolutionary approach to construction of outranking models for multicriteria classification: The case of the ELECTRE TRI method. *European Journal of Operational Research*, 199(2): 496–505, 2009.
- DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons. *European Journal of Operational Research*, 158(2): 378–38, 2004.
- DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. Assessing financial risks using a multicriteria sorting procedure: the case of country risk assessment. *Omega*, 29(1): 97–109, 2001.
- EDWARDS, W.; BARRON, F.H. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60: 306–325, 1994.

- EILAT, H.; GOLANY, B.; SHTUB, A. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. *European Journal of Operational Research*, 172(3): 1018–1039, 2006.
- EUM, Y.S.; PARK, K.S.; KIM, S.H. Establishing dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise weight and value. *Computers & Operations Research*, 28: 397–409, 2001.
- GARCÍA-MELÓN, M.; POVEDA-BAUTISTA, R.; DELVALLE, J.L. Using the strategic relative alignment index for the selection of portfolio projects application to a public Venezuelan Power Corporation. *International Journal of Production Economics*, 170: 54–66, 2015.
- GOLABI, K. Selecting a group of dissimilar projects for funding. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (3): 138–145, 1987.
- GOLABI, K.; KIRKWOOD, C.W.; SICHERMAN, A. Selecting a Portfolio of Solar Energy Projects Using Multiattribute Preference Theory. *Management Science*, 27(2): 174–189, 1981.
- GRECO, S.; MOUSSEAU, V.; SŁOWIŃSKI, R. Multiple criteria sorting with a set of additive value functions. *European Journal of Operational Research*, 207(3): 1455–1470, 2010.
- GUTJAHR, W.J.; KATZENSTEINER, S.; REITER, P.; STUMMER, C.; DENK, M. Multi-objective decision analysis for competence-oriented project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 205: 670–679, 2010.
- HASSANZADEH, F.; NEMATI, H.; SUN, M. Robust optimization for interactive multiobjective programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 238: 41–53, 2014.
- INSUA, D.R.; FRENCH, S. A framework for sensitivity analysis in discrete multi-objective decision-making. *European Journal of Operational Research*, 54: 176–190, 1991.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. Assigning machines to incomparable maintenance strategies with ELECTRE-SORT. *Omega*, 47: 45–59, 2014.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R & D projects. In: PARDALOS, P.M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. (ed.) *Advances in multicriteria analysis*, Springer US, 1995. cap 13, p. 203–211.

- JANO-ITO, M.A.; CRAWFORD-BROWN, D. Investment decisions considering economic, environmental and social factors: An actors' perspective for the electricity sector of Mexico. *Energy*, 121: 92–106, 2017.
- JIMÉNEZ, A.; RÍOS-INSUA, S.; MATEOS, A. A generic multi-attribute analysis system. *Computers & Operations Research*, 33: 1081–1101, 2006.
- KADZIŃSKI, M.; TERVONEN, T. Stochastic ordinal regression for multiple criteria sorting problems. *Decision Support Systems*, 55(1): 55–66, 2013.
- KANG, T.H.A.; de ALMEIDA, A.T. Método FITradeoff para problemática de classificação. In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau, 2017. *Proceedings*.
- KANG, T.H.A.; de ALMEIDA, A.T.; FREJ, E.A. *Sorting Alternatives in MCDM/A Problems Using FITradeoff Elicitation Process*. CDSID working paper, 2017.
- KARASAKAL, E.; AKER, P. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem. *Omega*, 73: 79–92, 2017.
- KARTAL, H.; OZTEKIN, A.; GUNASEKARAN, A.; CEBI, F. An integrated decision analytic framework of machine learning with multi-criteria decision making for multi-attribute inventory classification. *Computers & Industrial Engineering*, 101: 599–613, 2016.
- KEEFER, D.L. Allocation planning for R & D with uncertainty and multiple objectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (1): 8–14, 1978.
- KEENEY, R.L. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, 92: 537–549, 1996.
- KEENEY, R.L. *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. Cambridge, Harvard University Press, 1992, 432 p.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge & New York, Cambridge University Press, 1993, 569 p.
- KEENEY, R.; von WINTERFELDT, D. Practical Value Models. In: EDWARDS, W.; MILES, R.F.; von WINTERFELDT, D. (ed.) *Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. cap 13, p. 232–252.
- KEISLER, J. Portfolio decision quality. In: SALO, A.; KEISLER, J.; MORTON, A. (ed.) *Portfolio Decision Analysis*. Springer New York, 2011. cap 2, p. 29–51.

- KLEINMUNTZ, D.N. Resource Allocation Decisions. In: EDWARDS, W.; MILES, R.F.; von WINTERFELDT, D. (ed.) *Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. cap 20, p. 400–418.
- KÖKSALAN, M.; ULU, C. An interactive approach for placing alternatives in preference classes. *European Journal of Operational Research*, 144(2): 429–439, 2003.
- LAHTINEN, T. J.; HÄMÄLÄINEN, R. P.; LIESIÖ, J. Portfolio decision analysis methods in environmental decision making. *Environmental Modelling & Software*, 94: 73–86, 2017.
- LIESIÖ, J.; MILD, P.; SALO, A. Robust portfolio modeling with incomplete cost information and project interdependencies. *European Journal of Operational Research*, 190(3): 679–695, 2008.
- LIESIÖ, J.; MILD, P.; SALO, A. Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181(3): 1488–1505, 2007.
- LIESIÖ, J.; PUNKKA, A. Baseline value specification and sensitivity analysis in multiattribute project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 237: 946–956, 2014.
- de LIMA, M.A.X.; CLEMENTE, T.R.N.; de ALMEIDA, A.T. Prioritization for allocation of voltage regulators in electricity distribution systems by using a multicriteria approach based on additive-veto model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77: 1–8, 2016.
- LOPES, Y.G.; de ALMEIDA, A.T. Assessment of synergies for selecting a project portfolio in the petroleum industry based on a multi-attribute utility function. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126: 131–140, 2015.
- LÓPEZ, H.M.L.; de ALMEIDA, A.T. Utilizando PROMETHEE V para seleção de portfólio de projetos de uma empresa de energia elétrica. *Production*, 24(3): 559–571, 2014.
- LOURENÇO, J.C.; MORTON, A.; BANA E COSTA, C.A. PROBE—a multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. *Decision support systems*, 54(1): p. 534–550, 2012.
- LOURENÇO, J.C.; SOARES, J.O.; BANA E COSTA, C.A. Portfolio robustness evaluation: a case study in the electricity sector. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(1): 59–80, 2017.

- MARTINS, C.L.; LÓPEZ, H.M.L.; de ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A.; BORTOLUZZI, M.B.O. An MCDM project portfolio web-based DSS for sustainable strategic decision making in an electricity company. *Industrial Management & Data Systems*, 117(7): 1362–1375, 2017.
- MEDJOUDJ, R.; AISSANI, D.; HAIM, K.D. Power customer satisfaction and profitability analysis using multi-criteria decision making methods. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 45(1): 331–339, 2013.
- MONAT, J.P. The benefits of global scaling in multi-criteria decision analysis. *Judgment and Decision Making*, 4(6): 492–508, 2009.
- MORTON, A. Measurement issues in the evaluation of projects in a project portfolio. *European Journal of Operational Research*, 245(3): 789–796, 2015.
- MUTAVDZIC, M.; MAYBEE, B. An extension of portfolio theory in selecting projects to construct a preferred portfolio of petroleum assets. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133: 518–528, 2015.
- NOWAK, M. Project portfolio selection using interactive approach. *Procedia Engineering*, 57: 814–822, 2013.
- PHILLIPS, L.D.; BANA E COSTA, C.A. Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154(1): 51–68, 2007.
- PMI. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. USA, Project Management Institute PMI, 2013.
- POLYASHUK, M.V. A formulation of portfolio selection problem with multiple criteria. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 13(2–3): 135–145, 2005.
- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Berlin, Heidelberg, Springer Science & Business Media, 1996, 293p.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D. *Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas*. Paris, Economica, 1993, 696p.
- SALO, A.; KEISLER, J.; MORTON, A. An invitation to portfolio decision analysis. In: SALO, A.; KEISLER, J.; MORTON, A. (ed.) *Portfolio Decision Analysis*. Springer New York, 2011. cap 2, p. 29–51.
- SOWLATI, T.; PARADI, J.C.; SULD, C. Information systems project prioritization using data envelopment analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 41(11–12): 1279–1298, 2005.

- SOYLU, B.; AKYOL, B. Multi-criteria inventory classification with reference items. *Computers & Industrial Engineering*, 69: 12–20, 2014.
- STRANTZALI, E.; ARAVOSSIS, K.; LIVANOS, G.A. Evaluation of future sustainable electricity generation alternatives: The case of a Greek island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76: 775–787, 2017.
- STUMMER, C.; HEIDENBERGER, K. Interactive R&D portfolio analysis with project interdependencies and time profiles of multiple objectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2): 175–183, 2003.
- TERVONEN, T.; LIESIÖ, J.; SALO, A. Modeling project preferences in multiattribute portfolio decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 263: 225–239, 2017.
- TOPPILA, A.; SALO, A. Binary decision diagrams for generating and storing non-dominated project portfolios with interval-valued project scores. *European Journal of Operational Research*, 260(1): 244–254, 2017.
- VANDERPOOTEN, D.; VINCKE, P. Description and analysis of some representative interactive multicriteria procedures. *Mathematical and Computer Modelling: An International Journal*, 12(10–11): 122–1238, 1989.
- VETSCHERA, R.; de ALMEIDA, A.T. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research*, 39: 1010–1020, 2012.
- VINCKE, P. *Multicriteria Decision-Aid*. Wiley, 1992, 174p.
- WEBER, M. Decision making with incomplete information. *European Journal of Operational Research*, 28(1): 44–57, 1987.
- WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, 67(1): 1–12, 1993.
- WOLTERS, W.T.M.; MARESCHAL, B. Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods. *European Journal of Operational Research*, 81: 281–290, 1995.
- YU, W. Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri: Concepts, méthodes et applications. Paris, 1992. (Doutorado - Sciences de gestion: informatique et mathématiques/Université Paris-Dauphine).
- ZHANG, P.; YANG, K.; DOU, Y.; JIANG, J. Scenario-based approach for project portfolio selection in army engineering and manufacturing development. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 27(1): 166–176, 2016.

- ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 138: 229–246, 2002.
- ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Business failure prediction using the UTADIS multicriteria analysis method. *Journal of the Operational Research Society*, 50(11): 1138–1148, 1999.