



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EVERTON GOMEDE

**UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA AO
PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS**

Londrina
2014

EVERTON GOMEDE

**UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA AO
PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ciência da Computação do Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Miranda de Barros.

Londrina
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

G633a Gomedede, Everton.
Uma abordagem multicritério aplicada ao problema de seleção de portfólio de projetos/ Everton Gomedede. – Londrina, 2014.
94 f.: il.

Orientador: Rodolfo Miranda de Barros.
Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2014.
Inclui bibliografia

1. Estruturas de dados (Computação) – Teses. 2. Pesquisa operacional – Teses. 3. Algoritmos de computador – Teses. 4. Portfólios (Pesquisa operacional) – Teses. 5. Projeto de sistemas – Teses. I. Barros, Rodolfo Miranda de. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. III. Título.

CDU 519.68.021

EVERTON GOMEDE

**UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA AO PROBLEMA
DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ciência da Computação do Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

BANCA EXAMINADORA

Orientador. Prof. Dr. Rodolfo Miranda de Barros
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Mario Lemes Proença Jr.
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Bruno Bogaz Zarpelão
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Saulo Fabiano Amâncio Vieira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 24 de Setembro de 2014.

Dedicado à Karla e Mariana.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Jandira e Sergio Gomedede, por me *ensinarem valores* que não pude aprender com os livros.

Aos meus amigos, que sempre me *ajudam* muito mais do que eu os ajudo.

Aos colegas, que proporcionaram boas trocas de *experiências* durante os créditos.

Aos colaboradores do Departamento de Computação, pelo *apoio* administrativo.

Aos professores, Mario Lemes Proença Jr., Pedro Paulo Ayrosa, Jacques Duílio Brancher e Jandira Guenka Palma; aprendi *valiosas lições* com cada um deles.

Em especial ao orientador, referência e amigo Rodolfo Miranda de Barros pelas duas coisas mais importantes, em minha opinião, que uma pessoa pode oferecer a outra; *conhecimento* e *oportunidade*. Conhecimento sem oportunidade pode ser frustrante; oportunidade sem conhecimento pode ser perigosa.

À Central das Cooperativas de Crédito do Estado do Paraná, Sicoob Central Paraná, representada pelas pessoas Aguinaldo Reis Beneciotto e Hélio Catuyama, por ceder os importantes *recursos* de tempo e espaço.

Por fim, ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual de Londrina pela *formação de qualidade*.

“Imagine que o mundo seja algo como uma gigantesca partida de xadrez sendo disputada pelos deuses, e que nós fazemos parte da audiência. Não sabemos quais são as regras do jogo; podemos apenas observar seu desenrolar. Em princípio, se observarmos por tempo suficiente, iremos descobrir algumas das regras. As regras do jogo são o que chamamos de física.”
- ou, de forma mais abrangente, ciência (nota do autor).
– Richard P. Feynman, lectures on physics

GOMEDE, Everton. **Uma abordagem multicritério aplicada ao problema de seleção de portfólio de projetos**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2014.

RESUMO

O Problema de Seleção de Portfólio de Projetos (PSPP) objetiva combinar os projetos disponíveis para aumentar o retorno e diminuir o risco da carteira resultante, ao mesmo tempo que respeita um conjunto de restrições. Este problema é considerado, portanto, um problema de otimização multiobjetivo. A literatura especializada discute o PSPP somente no contexto de disciplina, sendo que o método fica sob a responsabilidade da implementação. Alguns autores abordam o problema sem uma formulação matemática adequada, sem um algoritmo de âmbito multiobjetivo e sem um método estruturado para a decisão pós-otimização. Isto faz com que os resultados da Seleção de Portfólio de Projetos tenham pouca precisão. Este trabalho propõe e avalia uma abordagem multicritério para a solução do PSPP. A abstração matemática do problema é descrita em termos das funções risco e retorno. As restrições são discutidas e adequadas ao modelo matemático e um método de covariação de riscos é proposto. Esta abordagem é composta de duas fases: busca e decisão. A primeira utiliza o algoritmo multiobjetivo *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) para obter uma aproximação da Fronteira de Pareto. A segunda utiliza o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com uma hierarquia de critérios baseada em uma revisão bibliográfica. Dentre os resultados obtidos pode-se destacar: (i) a Fronteira Eficiente com o conjunto de portfólios disponíveis para a fase de decisão, (ii) um método para a escolha de um portfólio com informações qualitativas (iii) e uma forma de covariação de riscos, que reduz o grau de exposição do portfólio aos riscos específicos dos projetos que o compõem. A abordagem mostrou-se útil, avaliada por meio de um estudo de caso, nos seguintes aspectos: (i) permite a simulação de cenários, (ii) facilita a utilização de informação qualitativa, (iii) estrutura o processo de decisão e (iv) reduz as interferências no julgamento sobre quais projetos devem compor o portfólio.

Palavras-Chave: Algoritmo Multiobjetivo; *Analytic Hierarchy Process*; Portfólio de Projetos.

GOMEDE, Everton. **A Multicriteria Approach to Project Portfolio Selection.** 2014. 94 f. Dissertation (Master's Degree) - State University of Londrina, Londrina. 2014.

ABSTRACT

The objective of the Project Portfolio Selection Problem (PPSP) is to combine available projects to increase return and reduce risk of portfolio resulting, while respecting a set of constraints. Therefore, it is a multiobjective optimization problem. Technical literature discusses PPSP only in context of discipline, and method is under responsibility of implementation. Some authors address the problem without adequate mathematical formulation, without a multiobjective algorithm, and without a structured framework for post-optimization decision method, which causes poor accuracy results. This paper presents and evaluates a multicriteria approach for solution of the PPSP. A mathematical abstraction of the problem is described in terms of risk and return functions. Constraints are discussed and suited to the mathematical model and a method of covariance risk is proposed. This approach consists of two phases: search and decision. In the first one, the multi-objective Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) is used to obtain an approximation of Pareto Front. In the second one the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used with a hierarchy of criteria based on a literature review. The following results can be highlighted: (i) the Efficient Frontier with set of portfolios available to decision phase, (ii) a method for selecting a portfolio with qualitative information and (iii) a form to covariate risk, which reduces the degree of exposure of the portfolio to the specific risks of the projects that compose it. The approach proved useful evaluated through a case study, in the following aspects: (i) allows the simulation of scenarios, (ii) facilitates the use of qualitative information, (iii) structure the decision process and (iv) reduces interference in the trial about which projects should compose portfolio.

Keywords: Multi-objective Algorithm; Analytic Hierarchy Process; Project Portfolio.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – O conceito da Fronteira de Pareto	23
Figura 2.2 – O conceito de Dominância de Pareto	24
Figura 2.3 – Abordagens para busca e otimização	26
Figura 2.4 – Estrutura de dados e terminologia de um indivíduo de um MOEA	28
Figura 2.5 – Iteração de um algoritmo evolutivo	29
Figura 2.6 – Operações de ordenação, cálculo da distância e seleção	35
Figura 2.7 – A-posteriori ou tomada de decisão depois da busca	37
Figura 2.8 – Estrutura do <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)	38
Figura 2.9 – Revisão bibliográfica de Metaxiotis - Evolução	40
Figura 2.10–Revisão bibliográfica de Metaxiotis - Características	41
Figura 3.1 – A Fronteira Eficiente	44
Figura 3.2 – Diferenças entre seleção de projetos e seleção de portfólio de projetos	47
Figura 3.3 – O problema de seleção multiobjetivo no contexto do PSPP	48
Figura 3.4 – Exemplo de um fluxo de caixa para um projeto	50
Figura 3.5 – Matriz de probabilidade e impacto	52
Figura 3.6 – A correlação obtida utilizando-se os dados da Tabela 3.4	52
Figura 3.7 – As possíveis correlações entre variáveis	54
Figura 4.1 – A estrutura da abordagem multicritério composta de duas fases	56
Figura 4.2 – Correlações entre variáveis	60
Figura 4.3 – A Fronteira Eficiente resultante da simulação	61
Figura 4.4 – Fluxograma do NSGA-II	62
Figura 4.5 – Peso relativo de cada critério endógeno	66
Figura 4.6 – Peso relativo de cada critério exógeno	67
Figura 5.1 – O processo utilizado para o estudo de caso	68
Figura 5.2 – Lista de projetos utilizados no estudo de caso	69
Figura 5.3 – Exemplo de uma solução decodificada	71
Figura 5.4 – Hierarquia de critérios utilizada no estudo de caso	72
Figura 5.5 – Cenário isolado para ponderação de critérios e alternativas	73
Figura 5.6 – Cenário compartilhado para ponderação de critérios e alternativas	74
Figura 5.7 – Alguns dos resultados gerados pela ferramenta <i>Expert Choice</i>	75
Figura 5.8 – A Fronteira Eficiente calculada pelo método heurístico	76
Figura 5.9 – Resultado da sessão de ponderação	77
Figura 5.10–Portfólio por média e mediana	77
Figura 5.11–Risco e retorno dos projetos disponíveis e dos projetos do portfólio <i>C</i>	78
Figura 5.12–Média e mediana dos riscos e retornos dos projetos	78
Figura 5.13–Comparação entre os riscos dos projetos e os riscos do portfólio escolhido	79

Figura 5.14–Investimento por projetos contidos no portfólio <i>C</i>	80
Figura 5.15–Correlação de risco entre alguns projetos do portfólio <i>C</i>	80
Figura 5.16–Portfólio escolhido pela abordagem	81
Figura A.1–Lista de genótipos gerados	91
Figura B.1–O contexto organizacional do gerenciamento de portfólio de projetos . .	92
Figura C.1–Processo para Gerenciamento de Portfólio de Projetos (GPP)	93
Figura D.1– <i>Software</i> para Gerenciamento de Portfólio	94

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Índice de consistência aleatória (RI)	38
Tabela 2.2 – Uma comparação entre trabalhos correlatos	43
Tabela 3.1 – Dados de entrada necessários para a utilização desta abordagem	46
Tabela 3.2 – Um exemplo de solução enumerativa para o PSPP	48
Tabela 3.3 – Um exemplo de exposição aos riscos de um portfólio	50
Tabela 3.4 – Um exemplo de exposição aos riscos adequado ao modelo do PMI	52
Tabela 3.5 – Resumo dos atributos do PSPP	55
Tabela 4.1 – Exemplos dos dados de entrada para o cálculo das funções objetivo	58
Tabela 4.2 – Exemplos dos dados de entrada para o cálculo da correlação de Pearson	59
Tabela 4.3 – Resultado da simulação enumerativa	60
Tabela 4.4 – Critérios endógenos	65
Tabela 4.5 – Critérios exógenos	66
Tabela 5.1 – Parâmetros utilizados no MOEA	70
Tabela 5.2 – Participantes do estudo de caso	73
Tabela 5.3 – Resultado da sessão de ponderação	76
Tabela 5.4 – Média e mediana dos riscos e retornos dos projetos	78
Tabela 5.5 – Pontos fortes e fracos da abordagem	82

Lista de siglas e abreviaturas

GPP	<i>Gerenciamento de Portfólio de Projetos</i>
PP	<i>Portfólio de Projetos</i>
TIC	<i>Tecnologia da Informação & Comunicação</i>
SWEBOK	<i>Software Engineering Body of Knowledge</i>
EUP	<i>Enterprise Unified Process</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integration</i>
MPS.BR	<i>Melhoria de Processos do Software Brasileiro</i>
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure Library</i>
COBIT	<i>Control Objectives for Information and Related Technology</i>
MPS	<i>Melhoria de Processo de Software e Serviços</i>
P3M3	<i>Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model</i>
PRINCE2	<i>Projects in Controlled Environments, version 2</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
NSGA-II	<i>Nondominated Sorting Genetic Algorithm II</i>
MOEA	<i>Multiobjective Evolutionary Algorithm</i>
ITSM	<i>Information Technology Service Management</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
PSPP	<i>Problema de Seleção de Portfólio de Projetos</i>
ISO/IEC	<i>International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission</i>
MPS-SW	<i>Melhoria de Processo do Software Brasileiro</i>
MPS-SV	<i>Melhoria de Processo de Software e Serviços</i>
MOP	<i>Multiobjective Optimization Problem</i>
PO	<i>Pesquisa Operacional</i>

MPX	<i>Multiple Parent Crossover</i>
PMX	<i>Partially Matched Crossover</i>
UX	<i>Uniform Crossover</i>
SX	<i>Stress-Based Crossover</i>
1PX	<i>One-Point Crossover</i>
NP-Hard	<i>Non-Deterministic Polynomial-Time Hard</i>
VPL	<i>Valor Presente Líquido</i>
TIR	<i>Taxa Interna de Retorno</i>

Lista de símbolos e convenções

Na notação das equações, as seguintes convenções foram utilizadas:

- letras minúsculas em negrito expressam vetores, exemplo: \mathbf{x} e \mathbf{p} ;
- letras maiúsculas em negrito expressam matrizes, exemplo: \mathbf{X} ;

Os seguintes símbolos serão utilizados:

Símbolo	Descrição
σ	Desvio padrão
σ^2	Variância
μ	Média
ρ	Coefficiente de correlação de Pearson
W	Percentual do projeto no portfólio
$COV_{x,y}$	Covariação entre x e y
R_p	Risco do portfólio
$E(R)_p$	Retorno do portfólio
RI	Índice de consistência aleatória
CI	Índice de consistência aleatória
CR	Taxa de consistência
x	Vetor de decisão
y	Vetor objetivo
X	Espaço de decisão
Y	Espaço de busca
T	Transposição de vetor coluna para vetor linha
P	População inicial
Q	População descendente
R	População total
F	Fronteira de dominância
λ_{max}	Valor principal Eigen
\prec	Dominância
\mathcal{PF}	Fronteira de Pareto

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO E TRABALHOS CORRELATOS	22
2.1	Fundamentação	22
2.1.1	Problemas de Otimização Multiobjetivo	22
2.1.1.1	Conceitos Básicos e Terminologia	22
2.1.1.2	Variáveis de Decisão	25
2.1.1.3	Restrições	25
2.1.1.4	Comensurável x Não-Comensurável	25
2.1.1.5	Atributos, Critérios, Objetivos e Metas	25
2.1.2	Métodos de Otimização Multiobjetivo	26
2.1.3	Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo	28
2.1.3.1	Indivíduos	29
2.1.3.2	Populações	30
2.1.3.3	Avaliação	31
2.1.3.4	Operador de Seleção	31
2.1.3.5	Operador de Cruzamento	32
2.1.3.6	Operador de Mutação	33
2.1.3.7	Atualização	33
2.1.3.8	Critério de Parada	34
2.1.3.9	Principais Objetivos	34
2.1.4	<i>Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)</i>	34
2.1.5	Tipos de Métodos de Otimização Multiobjetivo	36
2.1.6	Método de Análise Hierárquica <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	37
2.2	Trabalhos Correlatos	39
3	PROBLEMA DE PESQUISA	44
3.1	O Problema de Seleção de Portfólio de Projetos (PSPP)	44
3.1.1	Definições	46
3.1.1.1	Projeto	46
3.1.1.2	Portfólio de Projetos	46
3.1.1.3	Seleção de Portfólio de Projetos	47
3.2	Descrição do Problema	47
3.2.1	Função de Retorno	49
3.2.2	Função de Risco	50
3.2.2.1	Método de Correlação de Riscos Entre Projetos	53

3.2.3	Restrições	53
4	ABORDAGEM MULTICRITÉRIO.....	56
4.1	Abordagem Multicritério - Visão Geral	56
4.2	Fase I - Obtendo um Conjunto de Soluções (Busca)	57
4.2.1	Modelo para Avaliação Numérica.....	57
4.2.1.1	Simulação Enumerativa	57
4.2.1.2	Função de Retorno	58
4.2.1.3	Função de Risco	59
4.2.1.4	Correlação Entre Projetos	59
4.2.1.5	Tabulação dos Resultados	60
4.2.2	Modelo Heurístico.....	61
4.2.2.1	NSGA-II Aplicado ao PSPP	61
4.2.2.2	Representação de um Indivíduo	61
4.2.2.3	População Inicial	63
4.2.2.4	Avaliação da População	63
4.2.2.5	Seleção	63
4.2.2.6	Reprodução	63
4.2.2.7	Mutação	63
4.2.2.8	Critério de Parada	63
4.3	Fase II - Obtendo uma Única Solução (Decisão)	64
4.3.1	Definição do Problema	64
4.3.2	Hierarquia de Critérios	64
4.3.2.1	Critérios Endógenos	65
4.3.2.2	Critérios Exógenos	66
4.3.3	Considerações	67
5	AVALIAÇÃO E RESULTADOS.....	68
5.1	Estudo de Caso.....	68
5.1.1	Fase I - Busca	69
5.1.1.1	Projetos Disponíveis.....	69
5.1.1.2	Parâmetros	70
5.1.1.3	Execução do Algoritmo	70
5.1.1.4	Decodificando as Soluções.....	71
5.1.2	Fase II - Decisão	71
5.1.2.1	Hierarquia de Critérios.....	71
5.1.2.2	Participantes.....	72
5.1.2.3	Sessão de Ponderação	73
5.1.2.4	Análise dos Resultados.....	74
5.2	Resultados.....	75

5.2.1	Resultados da Fase I - Busca	75
5.2.2	Resultados da Fase II - Decisão	76
5.3	Considerações	80
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	83
	Referências	87
	ANEXO A – GENÓTIPOS GERADOS	91
	ANEXO B – CONTEXTO ORGANIZACIONAL	92
	ANEXO C – PROCESSO PARA GPP	93
	ANEXO D – SOFTWARE PARA GPP	94

1 INTRODUÇÃO

O Gerenciamento de Portfólio de Projetos (GPP) é um tema relevante para as organizações que pretendem estabelecer um processo de seleção e priorização de projetos focado no alinhamento às estratégias corporativas. Isto significa gerir o conjunto de projetos permitindo a alocação adequada de recursos, sejam eles financeiros, humanos ou tecnológicos, possibilitando assim, uma gestão integrada de investimentos [1].

O GPP inclui atividades como identificação, avaliação, seleção, priorização e balanceamento de projetos que deverão compor o portfólio, sendo que estas atividades devem suportar a consistência da estratégia organizacional alinhadas à visão, missão e valores [2]. A seleção de portfólios objetiva combinar um conjunto de projetos, considerando não somente as restrições e características individuais de cada um, mas também as relações existentes entre estes, otimizando um ou mais objetivos. Isto permite com que os projetos corretos sejam escolhidos para compor o portfólio da organização aumentando portanto, as chances de uma correta implementação da estratégia organizacional [3].

Selecionar os projetos que deverão ser executados por uma organização é o maior componente do GPP [1, 2, 3]. Levine [3] afirma que muitas empresas se esforçam para fazer com que seus projetos tenham sucesso, sem saber se estes são os projetos certos a serem realizados. Outro aspecto, abordado pelo autor, é o fato de que as empresas assumem projetos com riscos excessivos ou continuam executando projetos que, provavelmente, não alcançarão seus objetivos. Portanto, recursos são despendidos desnecessariamente, sendo que estes poderiam estar direcionados para projetos mais interessantes para a organização.

Uma descrição do Problema de Seleção de Portfólio de Projetos (PSPP) pode ser dada pela declaração: em um determinado cenário, um gerente possui vários projetos, cada deles com uma expectativa de criação de valor (retorno) para a organização. O gerente tem uma previsão de investimento associada à cada projeto e percebe que não tem orçamento suficiente para financiar todos. Contudo, ele quer selecionar um portfólio de projetos que maximize o valor resultante para os recursos financeiros empregados [4].

Assim sendo, uma análise exaustiva de todos os possíveis portfólios, partindo de um portfólio vazio, no qual nenhum projeto é financiado e nenhum retorno é obtido, até um portfólio completo, em que requer-se que todos os projetos sejam financiados, poderia ser impraticável, mesmo que o número de opções disponíveis não fosse tão grande. Por exemplo, 20 projetos gerariam um pouco mais de um milhão de portfólios, precisamente $2^n = 2^{20} = 1.048.576$, no qual n é o número de projetos disponíveis.

Todavia, uma estratégia prática seria priorizar os projetos em uma ordem decrescente de investimento/retorno e ir incluindo-os até o orçamento disponível ser

esgotado. O portfólio selecionado por esta abordagem produz o maior retorno para o recurso financeiro utilizado, mas não produz o máximo retorno para o recurso financeiro disponível.

Alternativamente, uma abordagem de otimização poderá ser utilizada. Esta consiste em combinar os projetos para obter o portfólio com o maior retorno, ao mesmo tempo que a soma do investimento necessário em cada projeto, contido no portfólio, não ultrapasse a restrição orçamentária [4]. Em termos matemáticos, o objetivo é maximizar a função de retorno $f(y)$ sujeito a $\sum_{i=0}^n p_i \leq \theta$, sendo p_i o investimento necessário para o projeto p em i , n o número de projetos que estão no portfólio e θ o orçamento disponível.

No entanto, maximizar o retorno é um dos objetivos que deve ser alcançado. Segundo Markowitz [5], a outra função que deve ser otimizada é o risco, neste caso sendo minimizada *ao mesmo tempo* em que o retorno tende a ser maximizado. Este é, portanto, um típico Problema de Otimização com Múltiplos Objetivos [4, 6, 7].

Existem publicações que apontam a necessidade da seleção do gerenciamento de portfólios de projetos. Estas publicações abrangem assuntos relacionados à computação (Engenharia de *Software* e Gerenciamento de Serviços de Tecnologia da Informação & Comunicação (TIC)) e à administração (Gerenciamento de Projetos). Dentre elas, destacam-se:

- *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK Guide)* [8];
- *ISO/IEC 12207:2008 - System and Software Engineering* [9];
- *Enterprise Unified Process (EUP)* [10];
- *Capability Maturity Model Integration (CMMI)* [11];
- *Melhoria de Processos de Software Brasileiro (MPS-SW)* [12];
- *Information Technology Infrastructure Library (ITIL) - Service Strategy* [13];
- *Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT)* [14];
- *Melhoria de Processo de Software e Serviços (MPS-SV)* [15];
- *Portfolio, Programme, and Project Management Maturity Model (P3M3)* [16];
- *The Standard for Portfolio Management (PMI)* [2].

Estas publicações poderão ser utilizadas como guias, sendo que algumas possuem tal definição no título [2, 8], em que o conteúdo apresenta o *que* deve ser feito (disciplina) e o *como* deve ser feito (método), geralmente, fica a cargo da implementação. Por exemplo, o guia para o gerenciamento de portfólio do PMI afirma que a seleção

dos projetos que irão compor um portfólio deve ser feita visando a gestão integrada dos recursos [2]. Porém, o mesmo guia não aponta um método de como a seleção deve ser executada. Cabe a organização escolher um método adequado para realização desta tarefa. O mesmo cenário é válido para os demais guias citados anteriormente. Portanto, o elemento *selecionar*, presente, direta ou indiretamente, em todas estas publicações, necessita de uma abordagem para solucioná-lo.

Adicionalmente, as pesquisas publicadas que propõem soluções para o PSPP (ou seja, o método), utilizando técnicas de otimização multiobjetivo, encontram-se em um estágio inicial [7]. Estas pesquisas abordam o problema com as funções objetivo risco e retorno, gerando a Fronteira Eficiente [5], mas não mostram como a correlação de riscos entre os projetos é obtida, não apontam nenhum método pós-otimização e não apresentam um arcabouço que permita a estruturação do processo decisório, necessário para a escolha de um único portfólio de projetos [2].

Neste contexto, a principal motivação deste trabalho é obter uma *abordagem* que permita selecionar um único portfólio de projetos que maximize o resultado dos recursos investidos, ao mesmo tempo que diminui a exposição do portfólio aos riscos envolvidos e, respeite as restrições impostas. Esta abordagem deve suprir as limitações das soluções atuais e fornecer um método para que as organizações possam selecionar um portfólio ótimo de projetos, considerando critérios quantitativos e qualitativos em um cenário com múltiplos objetivos, várias restrições e um número elevado de combinações possíveis. O escopo deste trabalho foi dividido, para efeito de pesquisa, em duas classificações:

Pesquisa exploratória: utilizada para realizar um estudo preliminar do principal objetivo da pesquisa que será realizada, ou seja, familiarizar-se com o fenômeno que está sendo investigado, de modo que a pesquisa subsequente possa ser concebida com uma maior compreensão e precisão. A pesquisa exploratória é realizada sobre um problema ou questão de pesquisa que geralmente são assuntos com pouco ou nenhum estudo anterior a seu respeito. A finalidade deste tipo de estudo é procurar padrões, ideias ou hipóteses [17].

Neste aspecto, o objetivo deste trabalho é definir o PSPP termos de um problema de otimização multiobjetivo. Obter uma definição das funções objetivo que devem ser otimizadas e analisar as restrições envolvidas.

Pesquisa aplicada: utiliza o conhecimento da pesquisa básica para resolver problemas relacionados a aplicações concretas. Este tipo de pesquisa procura resolver problemas práticos [17]. Também pode ser o processo pelo qual novos produtos, equipamentos, processos de produção e distribuição de bens e serviços, e métodos gerenciais se introduzem em nível macro na economia [18].

Nesta perspectiva, o objetivo é propor e avaliar uma abordagem para a solução do PSPP, utilizando as definições obtidas na pesquisa exploratória e a fundamentação teórica relacionada. Estes dois elementos nortearam os objetivos deste trabalho, que podem ser divididos como segue:

- Objetivo Geral:
 - Propor e avaliar uma abordagem multicritério para o problema de seleção de portfólio de projetos (PSPP).
- Objetivos Específicos:
 - Propor e avaliar uma função $f(y)$ de retorno para um portfólio de projetos;
 - Propor e avaliar uma função $f(x)$ de risco para um portfólio de projetos;
 - Propor e avaliar um algoritmo multiobjetivo para obter os melhores portfólios;
 - Propor e avaliar um método para covariância de projetos dentro do portfólio;
 - Propor e avaliar uma hierarquia de critérios para seleção de um único portfólio;
 - Propor e avaliar um método para comparação dos critérios e alternativas para seleção de um único portfólio de projetos.

A organização deste trabalho está como segue. Neste primeiro capítulo foram apresentados os norteadores da pesquisa e uma contextualização composta de uma descrição do problema, sua relevância e as motivações em solucioná-lo. No Capítulo 2, serão apresentadas uma revisão bibliográfica e uma fundamentação teórica utilizada no trabalho, considerando-se os conhecimentos relacionados à otimização multiobjetivo: métodos exatos e heurísticos, juntamente com trabalhos publicados recentemente sobre o tema. No Capítulo 3, as características do problema de pesquisa serão apresentadas em detalhes, bem como sua aplicação na área de Gerenciamento de Portfólio de Projetos. No Capítulo 4, será apresentada uma definição matemática para o problema, propondo um algoritmo evolutivo multiobjetivo para obter-se a Fronteira Eficiente e um método para escolha de um único portfólio, juntamente com uma hierarquia de critérios. No Capítulo 5, serão apresentadas: uma avaliação da abordagem, os resultados e análises obtidas por meio de um estudo de caso. Por fim, no Capítulo 6, serão apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO E TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo, os princípios relacionados à otimização com múltiplos objetivos são apresentados e os conceitos básicos são formalmente definidos. Isto é seguido por uma discussão sobre as tradicionais abordagens para aproximação das soluções Pareto-Ótimas e suas principais vantagens. Na sequência, os algoritmos evolutivos são apresentados juntamente com as principais características que os levam para a solução de problemas da natureza do PSPP. Apresenta-se, também, a fundamentação relacionada ao *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como método empregado para a resolução do *trade-off* pós-otimização. Por fim, apresentam-se os trabalhos relacionados que mostram abordagens de outros autores para a solução do PSPP.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO

2.1.1 Problemas de Otimização Multiobjetivo

Observa-se que problemas de otimização multiobjetivo são comuns e surgem de uma maneira natural para situações que envolvem a tomada de decisões, sendo que a maior parte destes problemas possuem objetivos conflitantes [19, 20]. Apesar de alguns problemas do mundo real poderem ser reduzidos a um único objetivo (ou função objetivo), muitas vezes é difícil definir todos os aspectos em termos de uma única função.

Assim, definir múltiplos objetivos muitas vezes dá uma ideia melhor do problema a ser solucionado. Por exemplo, considere-se o projeto de um *hardware* para um dispositivo móvel. O custo é um objetivo que tende a ser minimizado enquanto o desempenho (processamento, armazenamento, etc.) tende a ser maximizado. Este projeto poderá, também, envolver algumas restrições, como peso e *time-to-market*.

Sabe-se que a otimização multiobjetivo está disponível há cerca de duas décadas, e sua aplicação em problemas do mundo real é continuamente crescente. Contudo, em contraste com o grande número de técnicas disponíveis para a otimização de um único objetivo, relativamente poucas técnicas foram desenvolvidas para a otimização multiobjetivo [19].

2.1.1.1 Conceitos Básicos e Terminologia

Um problema de otimização multiobjetivo, também chamado de otimização multicritério, multiperformance ou problema de otimização vetorial, pode ser definido, em palavras, como um problema de encontrar um vetor de variáveis de decisão (*trade-off*) que satisfaçam as restrições, enquanto otimiza uma função vetorial cujos elementos representam as funções objetivo. Estas funções formam uma descrição matemática de critérios de desempenho que, geralmente, estão em conflito uns com os

outros. Assim, o termo *otimizar* significa encontrar uma solução que retorna os valores de todas as funções objetivo aceitáveis para o tomador de decisão [19].

Como mostrado na Figura 2.1, uma solução poderá ser melhor, pior e também indiferente a outras soluções, nem dominadora ou dominada, em relação aos objetivos do problema. Uma solução dominadora é uma solução que é melhor em pelo menos uma função objetivo que as demais soluções.

Portanto, uma solução ótima é aquela que não é dominada por qualquer outra solução no espaço de busca. Tal solução ideal é chamada de Ótimo de Pareto e o conjunto de tais soluções é chamado de Conjunto Pareto-Ótimo, ou mais comumente, como Fronteira de Pareto, ou *Pareto Front* (\mathcal{PF}). Como é evidente, em uma situação real, um processo de tomada de decisão é necessário para se escolher uma das soluções.

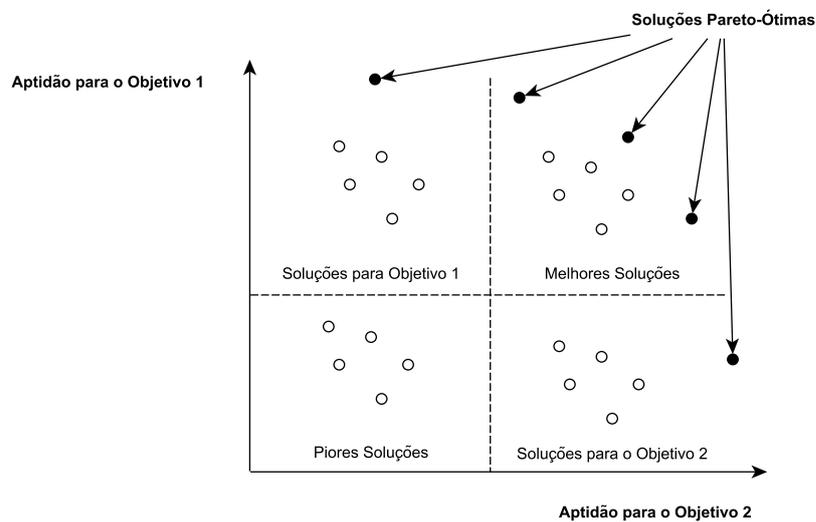


Figura 2.1 – O conceito da Fronteira de Pareto [21].

Apesar de existirem várias maneiras de abordar um problema de otimização multiobjetivo, a maioria dos trabalhos está concentrada na aproximação da Fronteira de Pareto [21].

Um problema de otimização multiobjetivo pode ser escrito na forma otimizar ¹ um vetor $F(x)$ de funções objetivo, sujeitas a várias restrições de igualdade e desigualdade. Formalmente, este problema pode ser definido como segue:

Definição 1: Um Problema de Otimização Multiobjetivo, ou *Multiobjective Optimization Problem* (MOP) consiste em obter um conjunto de soluções, que satisfaçam um conjunto de restrições, enquanto otimiza uma função constituída por um conjunto de funções objetivo [19, 20].

¹ O sentido da palavra otimização, utilizada neste trabalho, está relacionada com a ideia de minimizar e/ou maximizar funções objetivo.

$$\text{Otimizar } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \quad (2.1)$$

$$\text{sujeito a } e(x) = (e_1(x), e_2(x), \dots, e_m(x)) \leq 0 \quad (2.2)$$

$$\text{no qual } x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \quad (2.3)$$

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Y \quad (2.4)$$

Sendo x o vetor de decisão e y o vetor objetivo. X é denotado como espaço de decisão e Y é chamado espaço objetivo. As restrições $e(x) \leq 0$ determinam o conjunto de soluções viáveis. Para problemas de minimização ou maximização/maximização, as definições são similares.

Definição 2: Soluções Viáveis são definidas como o conjunto X_f de soluções x que satisfazem as restrições $e(x)$.

Definição 3: Vetor Ideal é definido como o ponto mínimo/máximo atingível para todas funções objetivo, assumindo que este ponto possa ser encontrado.

Definição 4: Pareto-Ótimo é o conjunto de soluções no qual não existem maneiras de melhorar algum critério sem piorar pelo menos um outro.

Definição 5: Dominância de Pareto. Dadas duas soluções x e y , diz-se que x domina a y , denotado como $x \prec y$, se as seguintes condições são satisfeitas:

- A solução x é pelo menos igual a y em todas funções objetivo;
- A solução x é superior a y em pelo menos uma função objetivo.

Este conceito é mostrado pela Figura 2.2. A solução x domina z e todas as soluções contidas na área destacada, assumindo que as funções $f_1(x)$ e $f_2(x)$ devam ser minimizadas.

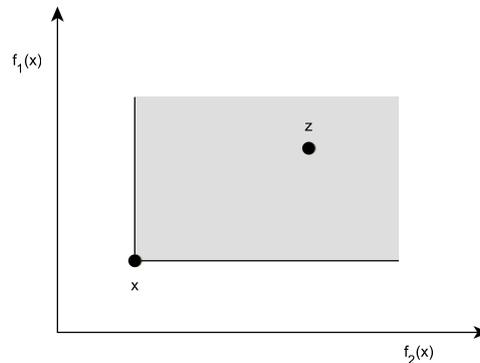


Figura 2.2 – O conceito de Dominância de Pareto [22].

2.1.1.2 Variáveis de Decisão

Variáveis de decisão são os valores que deverão ser escolhidos em um problema de otimização. Estes valores são indicados como x_j , $j = 1, 2, \dots, n$. Um vetor x com n decisões é representado pela Equação 2.5

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (2.5)$$

no qual T indica a transposição do vetor coluna ao vetor linha.

2.1.1.3 Restrições

Observa-se que, na maior parte dos problemas de otimização, as restrições são impostas por recursos de ambiente ou por recursos disponíveis, como por exemplo: limitações físicas, restrições de tempo, restrições de custo, entre outras. Estas restrições devem ser satisfeitas para uma determinada solução ser considerada aceitável. Tais restrições são expressas em forma de desigualdades matemáticas, mostradas pela Equação 2.6

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

e igualdades, mostradas pela Equação 2.7

$$h_j(x) = 0 \quad j = 1, \dots, p \quad (2.7)$$

É importante notar que p , o número de restrições de igualdade, deve ser menor do que n , o número de variáveis de decisão. Se $p = n$ o problema é considerado como *overconstrained*, já que não há graus de liberdade deixados para otimização (em outras palavras, haveria mais incógnitas que equações). O número de graus de liberdade é dado por $n - p$.

2.1.1.4 Comensurável x Não-Comensurável

A fim de saber o quão boa é uma dada solução, é necessário a utilização de critérios para avaliá-la. Estes critérios são expressos como funções computáveis das variáveis de decisão, chamadas funções objetivo. Em problemas do mundo real, algumas funções estão em conflito umas com as outras, sendo que algumas devem ser minimizadas enquanto outras, maximizadas. Estas funções objetivo podem ser *comensuráveis*, medidas nas mesmas unidades, ou *não-comensuráveis* medidas em diferentes unidades [19].

2.1.1.5 Atributos, Critérios, Objetivos e Metas

Em Pesquisa Operacional (PO), uma prática comum é diferenciar atributos, critérios, objetivos e metas. Os atributos são, muitas vezes, considerados como

aspectos, propriedades ou características de alternativas ou consequências. Critérios, geralmente, denotam medidas avaliativas, dimensões ou escalas contra quais alternativas poderão ser aferidas, qualitativa ou quantitativamente. Os objetivos são, por vezes, vistos da mesma maneira, mas também podem designar os níveis desejados a serem atingidos. Metas, geralmente, indicam uma das últimas noções. Uma distinção, geralmente, adotada em PO, é utilizar o objetivo para designar níveis potencialmente atingíveis e metas para designar níveis dificilmente atingíveis [19].

A convenção adotada, neste trabalho, é a mesma assumida por vários pesquisadores, de usar atributos e critérios para representar metas ou objetivos de um MOP, ou seja, funções matemáticas distintas [19].

2.1.2 Métodos de Otimização Multiobjetivo

Segundo Coello [19], técnicas de busca e otimização são classificadas em três categorias: enumerativas, deterministas ou estocásticas. Embora técnicas enumerativas sejam determinísticas, a distinção entre elas é dada pelo emprego de heurísticas. A Figura 2.3 mostra exemplos comuns de cada tipo.

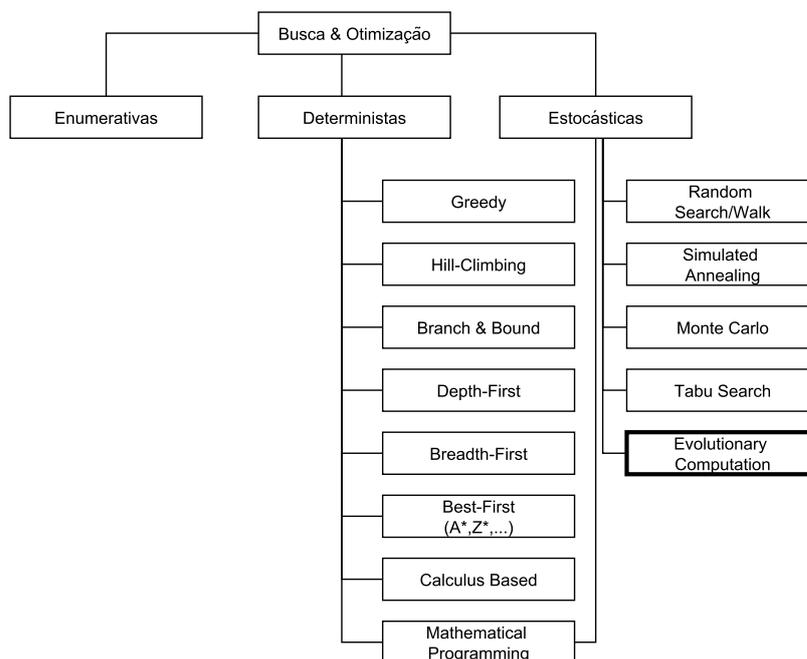


Figura 2.3 – Abordagens para busca e otimização [19].

Observa-se que técnicas enumerativas são as mais simples [19]. Com um espaço de busca finito, cada solução é avaliada. Entretanto, esta técnica mostra-se ineficiente ou mesmo inviável, quando o espaço de busca torna-se muito grande.

Assim, algoritmos determinísticos, que façam uso de heurísticas, poderão ser empregados. No entanto, estes algoritmos têm a necessidade de incorporar informações

sobre o domínio do problema. Segue uma descrição resumida dos algoritmos mostrados na Figura 2.3.

- Algoritmos do tipo *Greedy* fazem escolhas de ótimos locais, assumindo que estas levem a solução ótima global. Em alguns casos, estes algoritmos ficam presos a ótimos locais não retornando a solução global.
- *Hillclimbing* é uma técnica simples de busca local, não armazena o caminho percorrido até a solução corrente e sim a solução como estado. Uma desvantagem deste método é a possibilidade de ficar preso em um máximo ou mínimo local que possua uma região de vizinhança muito grande, ou seja, a efetividade do método depende muito da função em que está sendo aplicado.
- *Branch & Bound* enumera as soluções (*branch*) e elimina as soluções de menor qualidade (*bound*), utilizando uma estratégia dividir para conquistar.
- A busca em amplitude (*breadth-first search*) consiste em construir uma árvore de estados a partir do estado inicial, aplicando, a cada momento, todas as regras possíveis aos estados do nível mais baixo da árvore, gerando todos os estados sucessores de cada um destes. Assim, a busca por um estado final se dá por níveis no grafo do problema.
- Enquanto a busca em amplitude procura analisar todos os nós em um determinado nível da árvore antes de partir para o nível seguinte, a busca em profundidade (*depth-first search*) faz exatamente o contrário. O algoritmo de busca em profundidade procura explorar completamente cada ramo da árvore antes de tentar o ramo vizinho.
- O algoritmo de busca *best-first* usa a função heurística $F(n) = h(n)$ de procura do nó de destino. Esta procura tenta expandir o nó que é mais próximo ao objetivo, acreditando numa condução rápida ao objetivo.
- O algoritmo A^* (Z^* , entre outros) é um algoritmo de busca em grafos que encontra um caminho entre um dado nó de origem e um dado nó de destino. Ele emprega uma heurística que classifica cada nó pela estimativa de melhor rota, passando pelo mesmo nó, até o nó destino. É garantido que o A^* sempre encontra um caminho entre origem e destino, caso haja um, e mais que isso, ele sempre encontra o caminho com menor custo.
- Finalmente, os métodos *calculus-based search* utilizam uma abordagem determinista para encontrar soluções de um problema de otimização.

Portanto, para problemas de otimização multiobjetivo, as estratégias evolutivas são as abordagens mais naturais, pois suas soluções tendem a ser uma boa aproximação das soluções ótimas [19, 21].

2.1.3 Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo

Os Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo, Multiobjective Evolutionary Algorithms (MOEA), têm sido explorados para solução de problemas de otimização [6, 7]. A aplicação de um MOEA, para este tipo de problema, apresenta três vantagens [19]:

- Não introduzem parâmetros adicionais ao problema;
- Trabalham com várias funções, usando o conceito de dominância de Pareto;
- Um conjunto de soluções poderá ser encontrado apenas em uma execução.

Tipicamente, um MOEA é composto de um indivíduo que representa uma solução codificada para um determinado problema. Este é representado como uma cadeia de caracteres, correspondendo a um genótipo no contexto da biologia. Este genótipo define um indivíduo, quando este é decodificado em um fenótipo. Um genótipo é composto de um ou mais cromossomos, sendo que cada cromossomo é composto de genes separados, nos quais carregam certos valores (alelos) de um determinado alfabeto genético. Um locus identifica a posição do gene no cromossomo. Finalmente, um dado conjunto de cromossomos é chamado de população. Estes conceitos são mostrados na Figura 2.4.

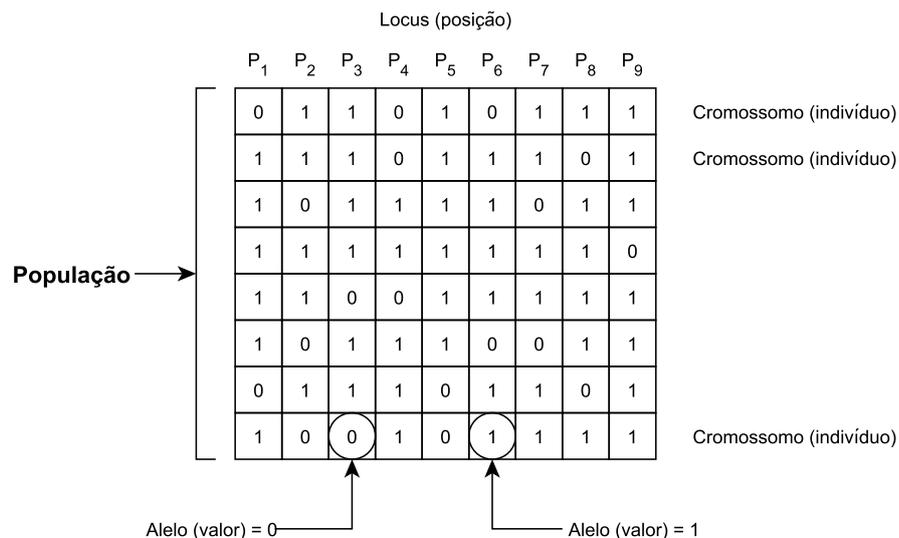


Figura 2.4 – Estrutura de dados e terminologia de indivíduo utilizado no MOEA [19].

Assim como na natureza, os operadores utilizados nos MOEA trabalham, sob uma população com o objetivo de produzir soluções com uma melhor aptidão a cada

ou geração. Indivíduos acima da média são selecionados para tornarem-se membros de uma próxima geração, com uma probabilidade maior do que os indivíduos abaixo da média. No início de sua execução, o MOEA cria uma população inicial que é submetida a um processo evolutivo, composto pelas seguintes etapas:

- Avaliação: análise da aptidão dos indivíduos (soluções) em relação ao problema;
- Seleção: seleção dos indivíduos para reprodução;
- Cruzamento: operação para gerar novos indivíduos;
- Mutação: responsável por dar variedade à população;
- Atualização: os indivíduos gerados são inseridos na próxima geração;
- Finalização: verifica se a condição de parada foi encontrada.

Esta sequência de passos, em conjunto com o processo iterativo, é mostrada pela Figura 2.5. As etapas seleção, cruzamento e mutação estão contidas na atividade reproduzir.

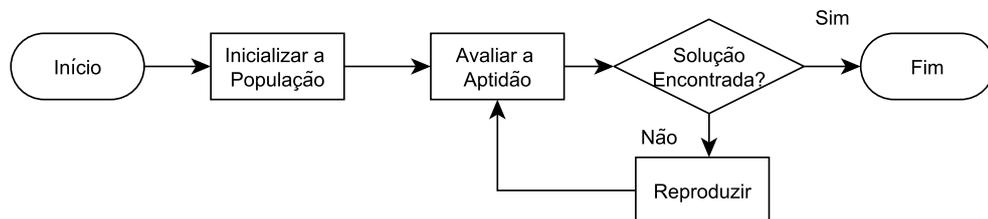


Figura 2.5 – Iteração de um algoritmo evolutivo [21].

Estes algoritmos foram classificados por Coello [19] e Ajith [21], em dois grupos:

Elitistas: são aqueles que empregam alguma forma de elitismo, isto é, as melhores soluções são preservadas e passadas para as próximas iterações.

Não elitistas: são aqueles que não utilizam alguma forma de elitismo em suas iterações.

2.1.3.1 Indivíduos

Para permitir a manipulação da solução pelo MOEA, esta precisa ser codificada e, ao término do processo evolutivo, decodificada. A escolha da codificação do indivíduo é um ponto importante do algoritmo, uma vez que será responsável pelo desempenho do MOEA e também pela complexidade de implementação [21]. A escolha do tipo de codificação depende diretamente do problema a ser resolvido.

As representações mais utilizadas são a binária e a de números reais. Na representação binária os indivíduos são compostos por sequências de 0 e 1. Já, na representação de números reais cada indivíduo é composto por um número real [19, 21, 22]. As características mais importantes são:

- Genótipo: estrutura de dados para codificação dos indivíduos;
- Fenótipo: valor resultante da decodificação do indivíduo;
- Grau de Aptidão, ou *fitness*: grau de resposta do indivíduo ao problema.

As características Genótipo e Fenótipo são as estruturas de dados do algoritmo. Estas devem ser escolhidas cuidadosamente para o problema em questão, pois afetam o desempenho e conseqüentemente o tempo de convergência [19]. O Grau de Aptidão, apesar de não fazer parte da estrutura de dados, mas sim do comportamento do algoritmo, também afeta o desempenho e deve ser escrito de maneira otimizada [19, 21].

2.1.3.2 Populações

A evolução das soluções manipuladas pelo MOEA é dada pela dinâmica populacional [19, 21, 22]. Esta dinâmica propaga características importantes à gerações seguintes (cruzamento), enquanto novas são testadas (mutação). As características das populações são:

- Geração: número de vezes que a população passou pelo processo de evolutivo;
- Média de Aptidão: média da aptidão de todos indivíduo da população (Equação 2.8). No caso de várias funções f_0, f_1, \dots, f_n a média é calculada da mesma forma, gerando uma população com médias para f_0, f_1, \dots, f_n [19];

$$\frac{\sum_{i=1}^n f_o(i)}{n} \quad (2.8)$$

- Grau de Convergência: representa o quão próximo a média de aptidão da geração atual está em relação as gerações anteriores. O MOEA é responsável pela convergência da população para um valor ótimo de aptidão. A população poderá sofrer de convergência prematura, que ocorre quando ela converge para uma média de aptidão sub-ótima e não consegue sair devido a baixa diversidade [19];
- Diversidade: variação entre os genótipos da população. Ela é fundamental para ampliar o espaço de busca. Um valor baixo de diversidade está relacionado à convergência prematura [21];
- Elite: melhores indivíduos da população. Uma técnica comum nos MOEA, sendo os m melhores indivíduos, preservados para a próxima geração.

A inicialização consiste na criação de uma população inicial de soluções. Geralmente, esta etapa é realizada por meio de técnicas aleatórias, com o objetivo de obter uma maior diversidade. Os operadores de inicialização mais comuns são [19, 21, 22]:

- Inicialização Aleatória Uniforme: para cada gene do indivíduo é atribuído um valor do conjunto de alelos, sorteado de forma aleatoriamente uniforme;
- Inicialização Aleatória não Uniforme: a escolha do valor a ser atribuído ao gene depende da frequência dele em relação aos demais valores;
- Inicialização Aleatória com *Dope*: indivíduos otimizados são inseridos na população. A presença destes indivíduos otimizados poderá guiar o MOEA a uma convergência prematura;
- Inicialização Parcialmente Enumerativa: indivíduos são inseridos de tal forma que a população comece o processo evolutivo, possuindo todos os elementos possíveis de um determinado conjunto.

O operador de inicialização frequentemente utilizado é a Inicialização Aleatória Uniforme. Este é indicado quando não se tem um conhecimento prévio dos indivíduos otimizados e também fornece um amplo espaço inicial de busca [19].

2.1.3.3 Avaliação

Nesta etapa, cada indivíduo é avaliado com o objetivo de determinar seu *fitness*. Esta avaliação é realizada por meio da função objetivo do problema. O cálculo da função objetivo é realizado repetidamente ao longo do processo evolutivo. Dependendo da complexidade desta, o custo de processamento poderá ser alto. Em tais situações, é comum o uso de funções não determinísticas, que avaliam apenas parte das características dos indivíduos [22].

2.1.3.4 Operador de Seleção

Este operador é responsável pela propagação das melhores características para as próximas gerações. Seleção é um processo dirigido, pois opera de forma determinística ou próxima disso, sendo, também, um processo cumulativo, pois os benefícios gerados em uma geração são mantidos para outra geração [19]. Na seleção os indivíduos mais aptos são escolhidos para a etapa de cruzamento. Esses indivíduos são selecionados com base em sua aptidão. Os principais métodos de seleção são [21]:

- *Ranking*: os indivíduos são organizados em um *ranking* de acordo com a sua aptidão. A probabilidade de escolha é atribuída conforme a posição que ocupam no *ranking*;

- Roleta: calcula-se o somatório dos *fitness* da população; sorteia-se um valor i tal que $i \in [0; \text{total}]$; seleciona-se o indivíduo x que localiza-se na faixa do somatório correspondente ao valor i ;
- Torneio: sorteia-se, aleatoriamente, dois ou mais k indivíduos que competem entre si, sendo selecionado o mais apto. Quanto maior o valor de k , maior a pressão de seleção do MOEA;
- Uniforme: todos os indivíduos possuem igual probabilidade de serem escolhidos. Consequentemente, a taxa de convergência é lenta.

Apesar do operador de seleção Roleta ser o mais empregado nos algoritmos genéticos, o operador de Torneio demonstra maior simplicidade de implementação [19].

2.1.3.5 Operador de Cruzamento

Com os indivíduos já selecionados, estes são submetidos ao cruzamento, ou *crossover*. Nesta etapa, os indivíduos selecionados são agrupados em pares e os genes de cada um são utilizados para formação de um novo indivíduo. Os operadores de cruzamento mais conhecidos são [19]:

- *Crossover* de um ponto (*1PX*): nesse tipo de cruzamento escolhe-se um ponto de corte nos cromossomos pais e parte de cada um é entregue aos filhos. Dado dois cromossomos, x e y , com comprimentos l_x e l_y , respectivamente, sorteia-se um número p tal que $0 < p < l_y$. O filho f_0 herdará todos os genes, de 1 até p , de x e todos os genes de $p+1$ até l_y de y . O filho f_1 herdará todos os genes, de $p+1$ até l_x , de x e todos os genes, de 1 até p de y ;
- *Crossover* multiponto (*MPX*): semelhante ao cruzamento de um ponto, com a diferença que são escolhidos n pontos de corte, sendo n um número fixo;
- *Crossover* segmentado (*SX*): semelhante ao cruzamento multiponto. Entretanto, o número n de pontos de corte é alterado toda vez que é executado;
- *Crossover* uniforme (*UX*): neste cruzamento é sorteado, para cada gene, de qual pai este será herdado. Geralmente, utiliza-se uma máscara de 0 e 1 construída para cada cruzamento. Nesta, 1 indica que o gene virá de um pai e 0 virá de outro. Para construir o segundo filho, inverte-se o padrão;
- *Crossover* de dois pontos (*PMX*): dois pontos de corte são escolhidos. Os filhos herdam os genes que estão entre os pontos de corte de ambos os pais. Os genes restantes são preenchidos com valores considerados mais adequados para cada filho.

Estes operadores devem ser escolhidos de acordo com o problema em questão. Os operadores *MPX*, *SX* e *UX* adicionam uma aleatoriedade maior ao algoritmo e devem ser balanceados com a taxa de mutação [19]. Os operadores *1PX* e *PMX* tem um comportamento estático, mas de simples implementação.

2.1.3.6 Operador de Mutação

Consiste em introduzir pequenas alterações na estrutura dos indivíduos. Estas alterações são condicionadas a uma probabilidade de ocorrência do operador. A mutação garante diversidade da população, o que permite uma maior exploração do espaço de busca. Porém, uma taxa muito alta de mutação poderá fazer com que a população perca características fundamentais [22]. Alguns exemplos de mutação são:

- Mutação *flip*: o gene a ser mutado tem o seu valor alterado por outro sorteado aleatoriamente, dentro dos valores válidos. No caso da representação binária, esse operador troca o valor do gene de 0 para 1 e vice-versa;
- Mutação por troca: n pares de genes são sorteados e os valores de cada par são trocados entre si;
- Mutação *creep*: um valor aleatório é somado ou subtraído ao gene a ser mutado.

O operador *flip* tem uma implementação mais simples e tende a ser uma boa escolha para representações binárias. Os operadores por troca e *creep* adicionam maior complexidade à implementação e devem ser usados com representações de números inteiros ou reais [21].

2.1.3.7 Atualização

Esta etapa tem a responsabilidade de atualizar a população atual com a próxima geração. Esta atualização depende da estratégia adotada pelo MOEA. Na forma tradicional, o número de indivíduos da população se mantém fixo. O número de indivíduos gerados na etapa de cruzamento é igual ao número de indivíduos da população original. Todos os novos indivíduos substituem o indivíduos da população anterior [19, 21].

Existem alternativas da abordagem de atualização do MOEA tradicional. O número de indivíduos gerados poderá ser menor do que o tamanho da população, o tamanho da população poderá variar a cada geração e o critério de inserção de novos indivíduos poderá variar. Neste último, por exemplo, os indivíduos são inseridos, somente, se o *fitness* do filho for melhor do que o do pai, ou todos são inseridos mas são mantidos n melhores indivíduos pais (elitismo) [19, 22].

2.1.3.8 Critério de Parada

O critério de parada não é um operador genético, é apenas um passo que indica o término da execução do algoritmo. Os critérios de parada variam desde o número de gerações realizadas até o grau de convergência da população atual e dependem do problema a ser resolvido [22].

2.1.3.9 Principais Objetivos

Os principais desafios, em um ambiente de otimização multiobjetivo, são: (i) aproximar as soluções da Fronteira de Pareto e (ii) maximizar a diversidade do conjunto soluções. Um bom conjunto de Pareto poderá ser obtido pela condução adequada do processo de busca, por meio de um cuidadoso projeto de operadores de reprodução e estratégias corretas de atribuição de *fitness*. Para obter diversificação, um cuidado especial deverá ser tomado no processo de seleção. Cuidados especiais, também, deverão ser tomados, para evitar que soluções não-dominadas sejam perdidas [19, 21, 22]. Portanto, os principais objetivos de um MOEA são:

- Preservar as soluções não-dominadas no espaço objetivo e associar a solução a pontos no espaço de decisão;
- Fazer o algoritmo progredir na direção da Fronteira de Pareto, dentro do espaço das funções objetivo;
- Manter a diversidade das soluções sobre a Fronteira de Pareto;
- Prover ao tomador de decisão um número suficiente, mas limitado de pontos para seleção.

2.1.4 *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II)

O *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) é um algoritmo evolutivo multiobjetivo, fundamentado em uma classificação de fronteiras hierárquicas de dominância. Neste método é empregada uma estratégia elitista de reinserção da população, para garantir que se alguma solução do conjunto ótimo de Pareto for encontrada, em qualquer geração, ela será conservada até a população final [23]. O NSGA-II trabalha com uma população pai P para gerar uma população descendente Q , similar aos MOEAs convencionais. Na primeira iteração, gera-se uma população P_0 que é submetida à classificação de dominância. Cada solução tem um valor de aptidão igual ao nível de sua fronteira. Utilizando-se os operadores de seleção por torneio, cruzamento e mutação obtém-se a população descendente Q_0 . Tanto P_0 quanto Q_0 são de tamanho N . Ambas as populações, P_0 e Q_0 , são unidas em uma população total $R_0 = 2N$.

Para as gerações seguintes ($t = 1, 2, \dots, n$), o algoritmo trabalha com a população total R_t . A cada geração é realizada a classificação em fronteiras hierárquicas de dominância e são obtidas as fronteiras F_1, F_2, \dots, F_n sendo F_1 a primeira fronteira, com todas as soluções não dominadas da R_t corrente. A reinserção da população total R_t , em uma nova população de pais P_{t+1} , é feita de forma a selecionar as N soluções de R_t que estejam em um nível mais elevado de dominância. Assim, a formação de P_{t+1} começa pelas soluções em F_1 , seguido pelas soluções F_2 e assim por diante.

Cada conjunto F_i deve ser inserido na sua totalidade em P_{t+1} enquanto o $P_{t+1} + |F_i| < N$. Ao inserir as soluções de uma fronteira F_j , tal que $|F_j| > N - P_{t+1}$, o algoritmo escolhe as soluções de F_j que estejam mais bem espalhadas, ou seja, a reinserção da população de uma geração para outra é feita considerando-se os melhores indivíduos dentre os pais e os descendentes. Estes indivíduos são classificados em fronteiras de dominância e a nova população é formada selecionando-se os indivíduos das primeiras fronteiras até se atingir o tamanho da população. Esta quantificação é dada pela distância da multidão [23]. A Figura 2.6 mostra o funcionamento do NSGA-II.

A distância de multidão de uma solução i (d_i), representa a estimativa do perímetro formado pelo cubóide cujos vértices são os seus vizinhos mais próximos. Quanto maior o cubo em i , mais afastada se encontra a solução i dos seus vizinhos. As soluções extremas em cada objetivo terão um cubóide de tamanho infinito. A Figura 2.6 (b) mostra a distância de multidão para a solução i .

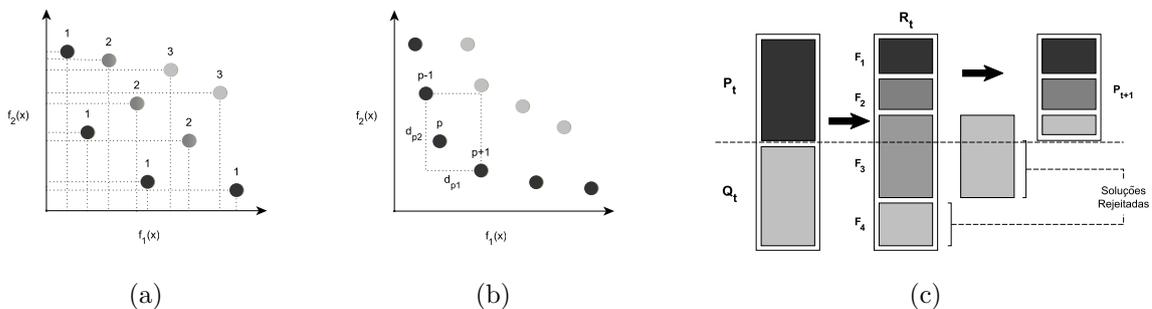


Figura 2.6 – Operações de (a) ordenação por fronteiras, (b) cálculo da distância de multidão e (c) seleção por comparação de multidão [19].

Uma vez obtida a distância de multidão de todos os indivíduos, os conjuntos F_j são ordenados decrescentemente em relação as suas distâncias. Por fim, gera-se $|Q_{n+1}|$ a partir de $|P_{n+1}|$ usando os operadores de seleção de torneio por multidão, cruzamento e mutação [23].

A seleção multiobjetivo no NSGA-II é realizada pelo torneio de multidão. O NSGA-II possui uma modificação no método de seleção por torneio (*crowding tournament*) [23]. Uma solução i é considerada vencedora de um torneio contra uma solução j , se:

- A solução i possui um maior nível de não-dominância: fronteira de $i <$ fronteira de j ;
- Se ambas as soluções estiverem na mesma fronteira, mas i tem uma distância de multidão maior que j , ou seja, $d_i > d_j$.

Posteriormente, são aplicados os operadores de cruzamento e mutação, como os empregados nos MOEAs. Ao final de cada geração, as populações P_t e Q_t são inseridas, conforme explicado anteriormente (Figura 2.6), com uma estratégia elitista para obter a nova população de pais P_{t+1} . Após atingir a condição de parada, o algoritmo é interrompido e a fronteira de soluções não-dominadas da população corrente é retornada como solução final.

2.1.5 Tipos de Métodos de Otimização Multiobjetivo

Na solução de problemas multiobjetivo, duas características devem ser notadas: busca de soluções e tomada de decisões [19, 23]. A primeira refere-se ao processo de otimização, que deve ser guiado para o encontro da Fronteira de Pareto (\mathcal{PF}). A segunda, de tomada de decisões, consiste na seleção de um ou vários critérios apropriados, para a escolha de uma solução desta fronteira. Este(s) critério(s) será(ão) utilizado(s) pelo responsável da tomada de decisão, ponderando entre diferentes soluções conflitantes.

Para Coello [19], os tipos de métodos de otimização podem ser classificados em três categorias, considerando-se as características apresentadas anteriormente:

A-priori ou tomada de decisão antes da busca. O decisor poderá atribuir elementos de preferência antes da busca ser iniciada, geralmente, associando alguma ponderação aos objetivos do problema;

A-posteriori ou tomada de decisão depois da busca. Neste caso, a decisão é feita após a realização da busca de soluções ótimas, mantendo a mesma relevância para cada objetivo do problema. A Figura 2.7 mostra o seu funcionamento. A informação de alto nível geralmente está associada com informações qualitativas [19, 23];

Método iterativo ou tomada de decisão durante a busca. Neste método há uma interferência durante o processo de busca das soluções, subordinando as preferências, para nortear a busca em regiões onde existam soluções relevantes.

A-posteriori é o método utilizado neste trabalho. O primeiro passo é composto pelo MOEA NSGA-II. Já, para o segundo passo, com o objetivo de transformar informações qualitativas [19, 23] em informações quantitativas, utilizou-se o método explicado a seguir (Seção 2.1.6).

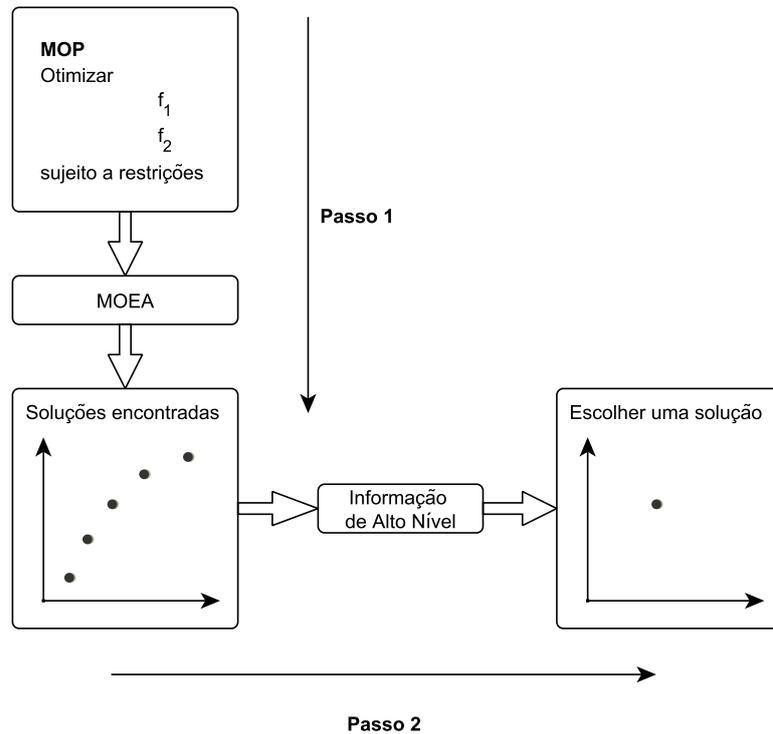


Figura 2.7 – A-posteriori ou tomada de decisão depois da busca.

2.1.6 Método de Análise Hierárquica *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi inicialmente proposto por Thomas L. Saaty [24] e sua principal característica é a comparação pareada de uma hierarquia de critérios e alternativas. Ele é frequentemente utilizado para tomadas de decisão multicritério [25, 26]. O AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém a participação destas, menores na decisão global, fazendo com que a estrutura do problema seja decomposta em uma hierarquia.

Saaty [24] afirma que uma hierarquia é a abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. A parte mais criativa de tomadas de decisão, e que tem efeito significativo no resultado, é a modelagem do problema [24]. No método AHP, o problema é estruturado como hierarquia que, posteriormente, é utilizada em um processo de comparação. Esta estrutura é mostrada na Figura 2.8.

A comparação pareada (*pairwise comparison*) é um componente importante do AHP. Dois critérios são comparados usando uma escala de nove pontos, em que um (1) significa importância igual, três (3) a importância é baixa, cinco (5) indica claramente superior, sete (7) é muito importante e nove (9) denota extremamente importante. Os números pares (2, 4, 6, 8) podem ser utilizados para indicar valores intermediários, se necessário. Se existem n critérios a considerar, então $n(n-1)/2$

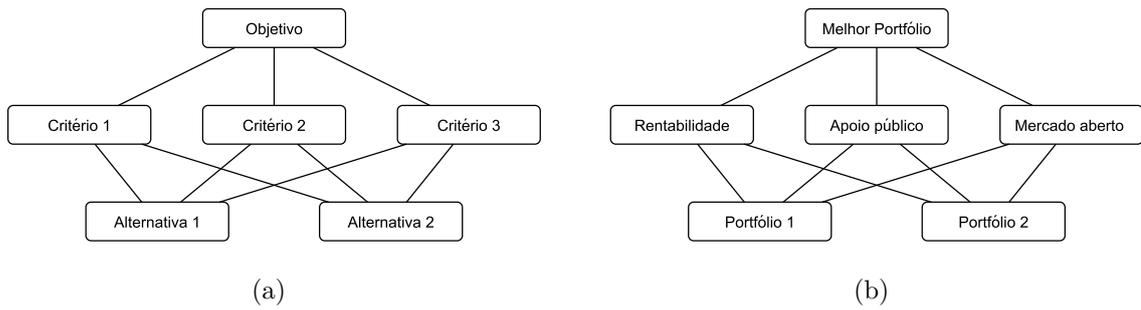


Figura 2.8 – Estrutura do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) [24]. Em (a) tem-se o conceito. Em (b) tem-se um exemplo de utilização.

comparações de pares devem ser feitas. Depois disso, uma matriz $n \times n$ é construída e os pesos de cada entidade (local e global) são obtidos [25, 26].

A consistência da matriz resultante pode ser verificada por meio dos índices: índice de consistência (CI) e taxa de consistência (CR). Estes são definidos nas Equações 2.9 e 2.10 com λ_{max} , sendo o valor principal (*Eigen*) e RI, o índice de consistência aleatória, como mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Índice de consistência aleatória (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

O vetor de Eigen apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido por meio da média aritmética dos valores de cada um dos critérios. O índice de consistência tem como base o número principal de Eigen. Ele é calculado através do somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original. Os índices CI e CR devem ser inferiores a 0,1 para a análise AHP ser considerada consistente [25, 26].

$$CI = \frac{\lambda_{max}}{n - 1} \quad (2.9)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.10)$$

Segundo Saaty [24], o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações pareadas são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer algumas vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema poderá ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia, também, permite

a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde critérios de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. Finalmente, os modelos hierárquicos são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; já flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho [24, 25, 26].

2.2 TRABALHOS CORRELATOS

Existem trabalhos clássicos na literatura que tratam sobre o tema de seleção de portfólio de projetos. De acordo com Wang [27], estes trabalhos podem ser classificados em:

- Modelos de Pontuação: Permitem que o conjunto de projetos em análise seja pontuado, ranqueado e priorizado de acordo com sua média esperada de desempenho;
- Modelos Matemáticos: É estruturado para selecionar uma única alternativa, considerada ótima;
- Modelos de Índices Financeiros: Métodos de análise de investimentos que possibilitam verificar a viabilidade de projetos, como o de produtos, ou a ordenação de projetos concorrentes em termos de seu retorno;
- Modelos Probabilísticos: Consiste em supor que tais valores considerados exatos não o sejam, com valores probabilísticos associados a probabilidades de ocorrência;
- Teoria de Precificação de Opções: Técnica incorporada ao orçamento de capital que permite enxergar o projeto como uma possibilidade futura e avaliá-lo por meio de técnicas utilizadas pelas opções financeiras;
- Abordagens Estratégicas: Combinam medidas operacionais e estratégicas. Auxiliam no alinhamento da organização com sua estratégia;
- Abordagens Hierárquicas: Decompõem o problema em uma hierarquia de critérios e alternativas;

Nos últimos anos, os métodos heurísticos vêm sendo empregados para a solução do problema. Iamratanakul [28] publicou uma revisão bibliográfica relacionada ao tema, classificando os modelos de seleção de portfólio em uma taxonomia que compreende diferentes tipos de abordagens, sendo uma delas a abordagem heurística.

Já, Metaxiotis [7] aborda o crescimento de algoritmos multiobjetivo aplicados a solução de diversos problemas e, também, aplicados ao problema de seleção de portfólio. É importante ressaltar que, este trabalho abrange não somente o contexto de portfólio de projetos, mas um contexto mais amplo, tendo entre os artigos publicados

trabalhos relacionados à finanças. A evolução destes trabalhos é mostrada na Figura 2.9. O número total de publicações é comparada com o número de publicações relacionadas ao tema.

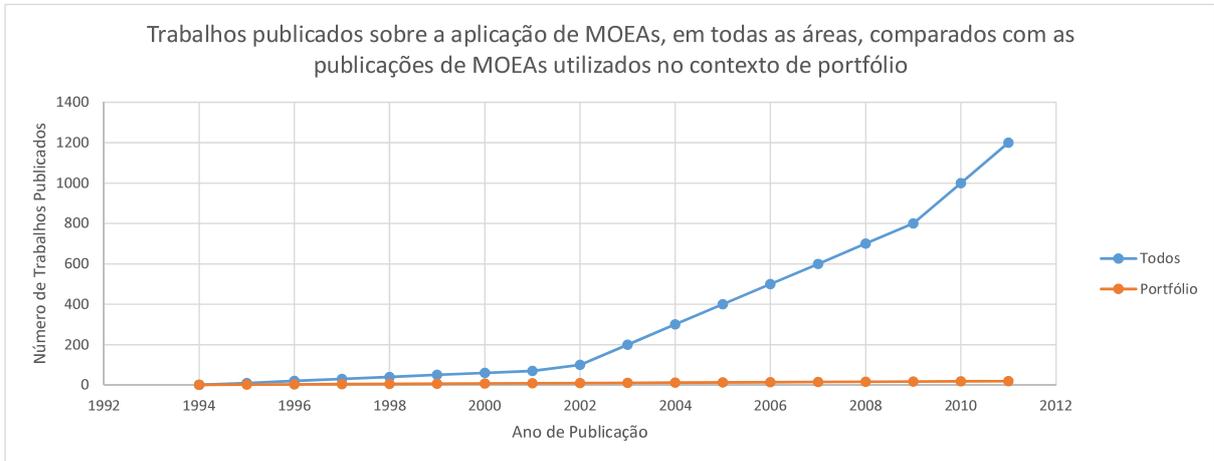


Figura 2.9 – Revisão bibliográfica de Metaxiotis [7].

O trabalho de Metaxiotis [7] mostra, também, os objetivos mais populares para a otimização de portfólios, sendo eles:

- Média: a média representa o retorno esperado do portfólio. Este objetivo aparece em aproximadamente 39% dos trabalhos publicados. No trabalho, apresentado nesta dissertação, utiliza-se a mesma equação dos trabalhos revisados, com uma pequena alteração no cálculo do percentual. Este cálculo será detalhado na Seção 3.2.1;
- Variância: a variância representa o risco do portfólio. Este objetivo aparece em aproximadamente 36% dos trabalhos publicados. No trabalho, apresentado nesta dissertação, utiliza-se a mesma equação dos trabalhos revisados, alterando somente o método como a covariância ocorre. Este método será detalhado na Seção 3.2.2.

O trabalho apresentado nesta dissertação está relacionado com os trabalhos revisados por Metaxiotis nos seguintes aspectos:

- Número de funções objetivo: como mostrado na Figura 2.10 (b), a maior parte dos trabalhos utilizam duas funções objetivo;
- Tipos de funções objetivo: da mesma maneira, a maior parte dos trabalhos utilizam as mesmas funções objetivo, risco e retorno;
- Aplicação de MOEA: todos os trabalhos utilizam algoritmos evolutivos para a aproximação da Fronteira de Pareto;
- Restrições: o número de restrições utilizadas, neste trabalho, foram 5, enquadrando-se nas características dos demais trabalhos publicados (Figura 2.10 (a));

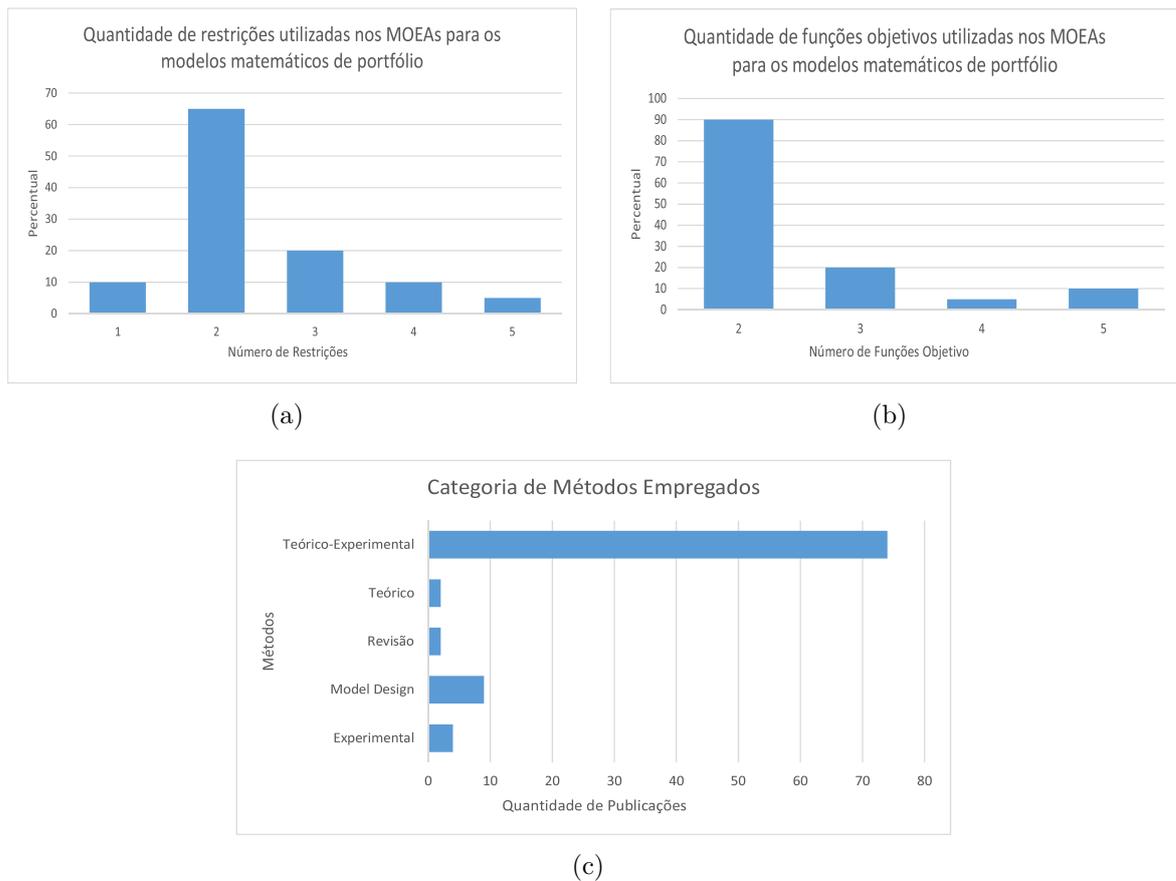


Figura 2.10 – Revisão bibliográfica de Metaxiotis [7].

- Por fim, este é um trabalho Teórico-Experimental, que apresenta um modelo a ser avaliado (Figura 2.10 (c)).

Dos trabalhos recentes (2010 – 2014), pode-se citar: Barros e Costa [29] propõem uma abordagem de busca heurística multiobjetivo para apoiar uma técnica de seleção de portfólio de projetos em cenários com um grande número de projetos candidatos. Dentre as características semelhantes ao trabalho apresentado nesta dissertação, pode-se citar: (i) é apoiado pela Moderna Teoria de Portfólio [5], (ii) utiliza duas funções objetivo (risco e retorno) e (iii) utiliza o algoritmo NSGA-II. No entanto, os autores não citam nenhuma restrição e, também, nenhum aspecto relacionado à decisão pós-otimização.

Já, Danmei e Tie [30] propõem uma alternativa que utiliza lógica *fuzzy* com uma heurística para escolher um portfólio ótimo. Os mesmos autores apresentam uma variação desta alternativa em [31], adicionando um subsistema de *data mining*. O trabalho destes autores sugere um mecanismo para a classificação do projeto, utilizando a Teoria de Opções e com um único objetivo a ser encontrado. Isto caracteriza uma seleção de projetos e não uma seleção de portfólio (mais detalhes serão fornecidos no Capítulo 3). Outros fatores que não considerados pelos autores, são: (i) restrições e (ii) características *NP-Hard*.

O trabalho apresentado por Kremmel *et al.* [6] utiliza um algoritmo evolucionário para seleção de um portfólio ótimo, baseado em uma única função objetivo. Este trabalho possui quase todas as características apresentadas nesta dissertação, exceto (i) otimização multiobjetivo e (ii) solução pós-otimização.

Lourenço e Costa [4] propõem uma ferramenta que identifica um conjunto de portfólios (Fronteira de Pareto) dentro de um intervalo de custo, permitindo a realização de análises interativas. Este é o trabalho que mais se aproxima do trabalho desta dissertação, exceto pela utilização de uma função objetivo de custo, ao invés do risco e não possuir um método pós-otimização.

Mira *et al.* [32, 33] apresentaram uma ferramenta que implementa um algoritmo baseado na metaheurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP). O trabalho dos autores contém vários elementos do trabalho desta dissertação, como (i) restrições, (ii) busca heurística e um (iii) modelo matemático. Entretanto, os autores utilizam somente uma função objetivo (risco) não gerando, portanto, um conjunto de soluções na etapa de otimização. Outro aspecto importante do trabalho destes autores é a utilização de elementos de balanceamento de portfólio, como por exemplo *scheduling*, fazendo com que um projeto seja selecionado e balanceado ao longo do tempo por questões de disponibilidade de recursos [2].

Alguns pontos que podem ser considerados como diferenciais, no trabalho desta dissertação, se comparado com os dos demais autores são:

- A utilização das mesmas funções objetivo (risco e retorno), que são mais estudadas [7] entre os trabalhos. Além disto, estas funções são baseadas em um conhecido e aceito modelo matemático para otimização de portfólios [5];
- A geração da Fronteira de Pareto que permite a um decisor escolher um portfólio entre alguns disponíveis;
- Um método para estruturar a decisão pós-otimização [24];
- Um método para correlacionar os riscos de projetos dentro de um portfólio de projetos.

O Capítulo 5 apresentará alguns resultados que evidenciam estes pontos. O Capítulo 6 discutirá as limitações e vantagens da utilização desta abordagem. A Tabela 2.2 mostra a comparação entre trabalhos relacionados com esta abordagem.

Tabela 2.2 – Uma comparação entre trabalhos correlatos

Critério ^a	Trabalhos Relacionados ^b						
	[29]	[30]	[31]	[6]	[4]	[32, 33]	Este
Funções Objetivo	●	○	○	○	●	○	●
Conjunto de Restrições				●	●	●	●
Busca Heurística	●			●	●	●	●
Conjunto Ótimo	●	○	○	○			●
Decisão Estruturada							●
Seleção Pós-Otimização							●
Seleção de Portfólio	●			●	●	●	●
Conjunto de Critérios							●
Processo em Fases							●
<i>NP-Hard</i>	●			●	●	●	●

^a Critérios desenvolvidos de acordo com elementos presentes nas publicações [29, 30, 31, 6, 4, 32, 33].

^b ● Atende fortemente, ○ atende parcialmente e sem símbolo, não atende.

Como mostrado na Tabela 2.2, este trabalho tem como objetivo suprir as lacunas existentes entre os últimos, e relevantes, trabalhos publicados.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

Neste capítulo, apresenta-se a descrição do problema de pesquisa. Descrevem-se as funções objetivo, as restrições utilizadas e os conceitos subjacentes. Os tópicos incluem as definições de projeto, portfólio de projeto, risco, retorno, covariância e fronteira eficiente.

3.1 O PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS (PSPP)

A seleção de um portfólio de projetos é um problema com dois objetivos, no qual duas medidas incomensuráveis e conflitantes, (risco & retorno) definem os portfólios mais eficientes. O risco deve ser minimizado, enquanto o retorno deve ser maximizado. Portanto, tem-se interesse em portfólios que defendam o máximo retorno para um determinado nível de risco ou, em uma perspectiva oposta, que incorram em um menor risco, mas que defendam um certo retorno. Os portfólios mais eficientes formam uma curva disposta em um plano cartesiano risco \times retorno. A decisão sobre qual, entre estes portfólios, escolher, depende da vontade dos decisores a aceitar mais risco em troca de mais retorno [4, 5, 29]. Existem outros objetivos a serem alcançados no PSPP como custo, tempo de retorno e interdependências. No entanto, estes são considerados como restrições que devem ser respeitadas, limitando assim as possíveis combinações de projetos [27]. A Figura 3.1 mostra estes conceitos, conhecidos como Fronteira Eficiente [5].

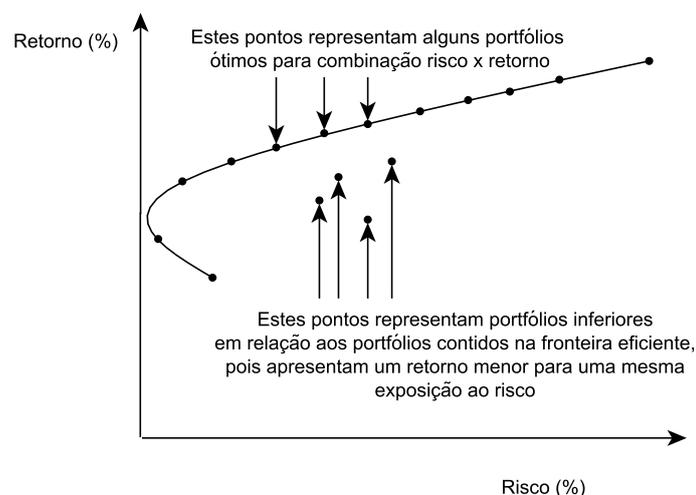


Figura 3.1 – A Fronteira Eficiente [5].

Os pontos abaixo da curva representam portfólios que não deveriam ser considerados, pois apresentam um retorno menor para uma mesma exposição ao risco. Cada um destes pontos contém um conjunto de projetos $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Segundo Markowitz ¹ [5], as duas características fundamentais de um portfólio são: (i) o seu retorno esperado e (ii) a sua variância, esta última representando o risco do portfólio. Outro aspecto relacionado ao problema é o fato de que a busca pelo melhor resultado de ambos objetivos, geralmente está condicionada a um conjunto de restrições [27, 33]. Portanto, o PSPP pode ser classificado como um problema de otimização multiobjetivo [27]. Problemas desta natureza apresentam grande dificuldade em seu tratamento pelos seguintes motivos:

Complexidade computacional. Os problemas de otimização combinatória são da classe *NP-Hard*, o que quer dizer que a partir de um tamanho razoável dos dados de entrada torna-se impossível explorar todo espaço de busca. Além disso, métodos que façam uso de heurísticas para limitar este espaço não podem garantir que sempre encontrarão uma resposta ótima [33].

Critérios conflitantes. Dois objetivos estão em conflito quando o incremento na realização de um implica uma redução na obtenção do outro [27].

Diferentes tipos de projetos. Geralmente os projetos disponíveis para a composição de um portfólio são dos mais variados tipos, sendo que a comparação entre eles torna-se difícil [34].

Interdependência entre projetos. Os projetos não estão isolados. Eles poderão depender de outros projetos, ou a seleção de um implica na exclusão de outro [30, 31].

Grande número de projetos disponíveis. Projetos têm como objetivo concretizar a estratégia corporativa [2]. Esta abordagem, usualmente, traduz indicadores para projetos, fazendo com que um grande número de projetos candidatos seja gerado.

Riscos excessivos. Um projeto isolado poderá estar exposto a um conjunto de riscos. Entretanto, um conjunto de projetos poderá ter uma correlação positiva, gerando um portfólio com um risco específico muito alto [35].

Critérios qualitativos e quantitativos. Os critérios quantitativos, geralmente, são simples de serem comparados. Já os critérios qualitativos, dependem de julgamento humano, o que poderá gerar ruídos e inconsistências durante a decisão [35].

Restrições. Podem ser limitações orçamentárias, recursos humanos, tecnológicos, tempo e de relacionamento [27].

Questões legais. Alguns projetos podem ser mandatórios, sendo incorporados automaticamente ao portfólio [27].

¹ Harry Markowitz foi laureado com o Prêmio de Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel de 1990 e o pioneiro na formulação matemática do problema (inicialmente aplicado ao contexto de finanças).

3.1.1 Definições

3.1.1.1 Projeto

Um projeto é definido, segundo o PMI, como um empreendimento colaborativo, temporário e planejado para alcançar um objetivo particular [2]. As principais características dos projetos são:

- Temporários, possuem um início e um fim definidos;
- Planejados, executados e controlados;
- Entregam produtos, serviços ou resultados exclusivos;
- Desenvolvidos em etapas com uma elaboração progressiva;
- Realizados por pessoas;
- Com recursos limitados.

Existem diversas entradas de dados para compor um projeto. Várias delas podem ser observadas nas áreas de conhecimento, classificadas pelo PMI [2]. No entanto, obter todos estes dados para selecionar os projetos que devam ser levados adiante poderá, na maioria das vezes, ser custoso ou até mesmo inviável. A Tabela 3.1 mostra a quantidade de dados necessários para a utilização da abordagem proposta neste trabalho.

Tabela 3.1 – Dados de entrada necessários para a utilização desta abordagem

Dados	Descrição
ID	Identificação exclusiva para o projeto na organização
Custo	Custo total do projeto
Retorno	Percentual de retorno sobre o investimento
Riscos do Projeto	Riscos dos quais o projeto está exposto durante sua execução
Excludências	Quais projetos serão excluídos ao selecionar este projeto
Dependências	Quais projetos serão incluídos ao selecionar este projeto
Mandatário	Este projeto tem obrigação legal

Estes dados foram escolhidos por estarem presente em planos de projeto e serem quantificáveis [2].

3.1.1.2 Portfólio de Projetos

O Portfólio de Projetos (PP) de uma organização é um conjunto de projetos e/ou programas que objetiva atingir as estratégias da empresa. Portanto, é preciso fazer escolhas certas, para selecionar os projetos que agreguem valor e que façam jus aos investimentos destinados [2].

3.1.1.3 Seleção de Portfólio de Projetos

Devido a utilização de técnicas de seleção de projetos estarem associadas ao contexto do PSPP [31], é necessário estabelecer uma distinção entre seleção de projetos e seleção de portfólio de projetos. A seleção de projetos objetiva escolher um sub-conjunto do conjunto de projetos disponíveis, considerando as características individuais de cada um e, possivelmente, as restrições impostas. Por outro lado, a seleção de portfólio de projetos objetiva compor uma carteira, ou seja, destina-se a agrupar um conjunto de projetos, levando em consideração não só as restrições e características individuais dos projetos, mas também as relações existentes entre estes [2, 4, 29, 33, 35, 36]. A Figura 3.2 ilustra o problema com diferentes soluções. Em (a) os projetos são *selecionados* de acordo com critério(s) de seleção. Em (b) os projetos são *combinados* para obter a melhor solução, respeitando um conjunto de restrições.

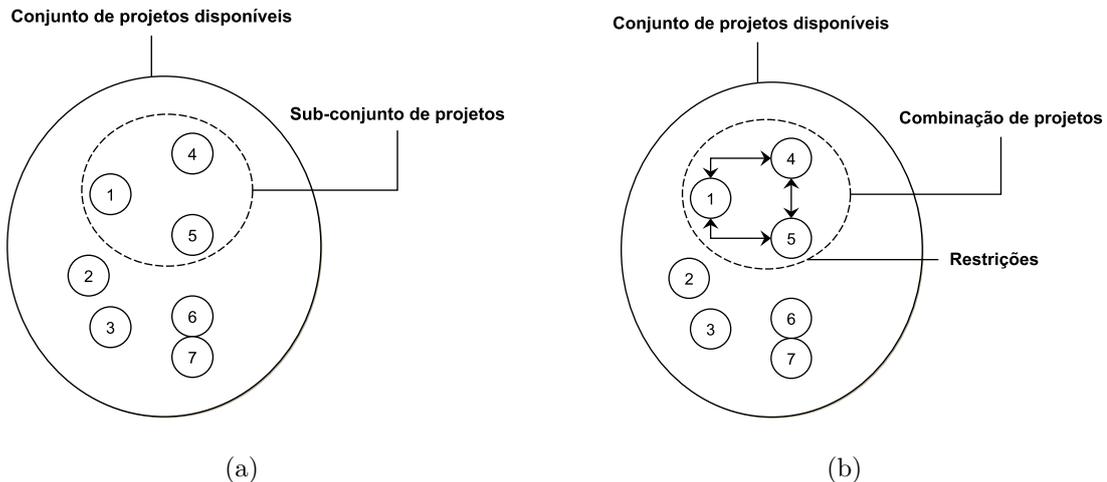


Figura 3.2 – Diferenças entre seleção de projetos e seleção de portfólio de projetos.

Portanto, a atividade de seleção portfólios possui características diferentes da seleção de projetos [4, 36]. Selecionar um portfólio tem o objetivo de combinar ativos, neste caso projetos, da melhor maneira possível, aumentando o retorno e reduzindo o risco, considerando um conjunto de restrições, como: orçamento, tempo, entre outras.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O PSPP faz parte de um grupo de problemas conhecidos como *NP-Hard*, sendo similar ao problema da mochila ² [4, 6, 7, 35]. O objetivo é encontrar

² O problema da mochila (em inglês, Knapsack Problem) é um problema de otimização combinatória. O nome dá-se a uma situação em que é necessário preencher uma mochila com objetos de diferentes pesos e valores. O objetivo é que se preencha a mochila com o maior valor possível, não ultrapassando o peso máximo.

uma combinação de projetos, de um conjunto de projetos candidatos, otimizando um grupo de funções objetivo e verificando se uma determinada solução viola alguma restrição imposta. Adicionalmente, determinados projetos podem ser considerados como mandatórios, devendo estar presentes em todos os portfólios. Outros devem ser adicionados por dependência (por exemplo, $A \rightarrow B$). Por fim, um projeto poderá não permitir que um projeto faça parte do portfólio, por uma conta de uma determinada relação de excludência (por exemplo, $A \oplus B$). A Figura 3.3 ilustra o problema. Em (a), tem-se a situação inicial: projetos candidatos com as suas dependências. Em (b), tem-se a situação pós-otimização: a combinação de projetos que otimizam as funções objetivo sujeita a um conjunto de restrições.

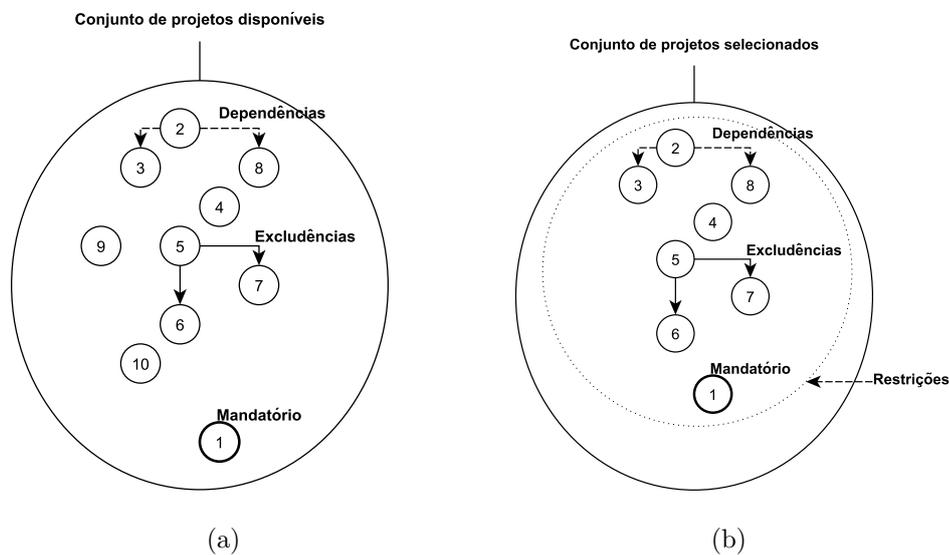


Figura 3.3 – O problema de seleção multiobjetivo no contexto do PSPP.

Deve-se notar que o ponto principal do problema é a *combinação* dos projetos, para criar o melhor portfólio. Este problema de análise combinatória poderá ser resolvido de forma enumerativa, quando o número de opções disponíveis é pequeno. Um exemplo de utilização deste método é mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Um exemplo de solução enumerativa para o PSPP

p_1	p_2	p_3	Portfólio	f_1	f_2	Restrição
0	0	0	$P_1 = \emptyset$	0%	0%	0
1	0	0	$P_2 = (p_1)$	11%	11%	0
1	1	0	$P_3 = (p_1, p_2)$	13%	11%	0
1	1	1	$P_4 = (p_1, p_2, p_3)$	14%	13%	1
1	0	1	$P_5 = (p_1, p_3)$	16%	14%	1
0	1	1	$P_6 = (p_2, p_3)$	12%	12%	0
0	0	1	$P_7 = (p_3)$	14%	11%	0
0	1	0	$P_8 = (p_2)$	11%	10%	0

Os portfólios P_1 e P_4 representam, respectivamente, os extremos das soluções, sendo que P_1 não contém nenhum projeto e P_4 contém todos os projetos. O número de possíveis soluções é dado por 2^n , em que n é o número de projetos disponíveis. As funções objetivo f_1 e f_2 representam, respectivamente, o risco e o retorno esperado para cada portfólio (Seção 3.1). A coluna *Restrição* informa se o portfólio contém uma combinação de projetos que infringem as restrições impostas ao problema.

Outro aspecto a ser notado é que, de maneira enumerativa, torna-se inviável resolver o PSPP quando o número de projetos disponíveis é elevado. Para exemplificar, um cenário com 50 projetos para serem avaliados e combinados, resultará em $2^n = 2^{50} = 1.125.899.906.842.624$ soluções possíveis, desconsiderando-se as restrições impostas ao problema. Se fosse possível computar uma solução por segundo, levariam aproximadamente 35 milhões de anos para se obter todas as soluções possíveis.

3.2.1 Função de Retorno

A Equação 3.1 representa a função objetivo que deve ser maximizada [4, 5, 29]. A primeira característica do portfólio, seu retorno esperado \bar{R}_p , é dado pela média ponderada dos retornos dos projetos individuais que o compõe,

$$\bar{R}_p = \sum_{i=1}^n X_i \cdot E(R)_i \quad (3.1)$$

no qual:

- X_i é o percentual investido no projeto i ;
- $E(R)_i$ é o retorno esperado do projeto i .

O percentual investido X_i em cada projeto é dado pela Equação 3.2.

$$X_i = \frac{\text{Investimento no Projeto}}{\text{Investimento no Portfólio}} \quad (3.2)$$

O cálculo do retorno esperado dos *projetos* $E(R)_i$ poderá variar de acordo com as preferências do tomador de decisão ou ativos de processos organizacionais disponíveis. O importante é que todos os projetos sejam avaliados pela mesma técnica. Algumas, das técnicas conhecidas, são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), entre outras [2].

Um aspecto importante, que deve ser destacado, é o comportamento do retorno esperado sobre o investimento do projeto. Os investimentos são, geralmente, desembolsados no início do projeto e o retorno ocorre ao final do mesmo. A Figura 3.4 exhibe um característico comportamento de fluxo de caixa de um projeto [2]. As linhas verticais abaixo da linha representam os investimentos. As linhas verticais acima da linha representam os retornos.

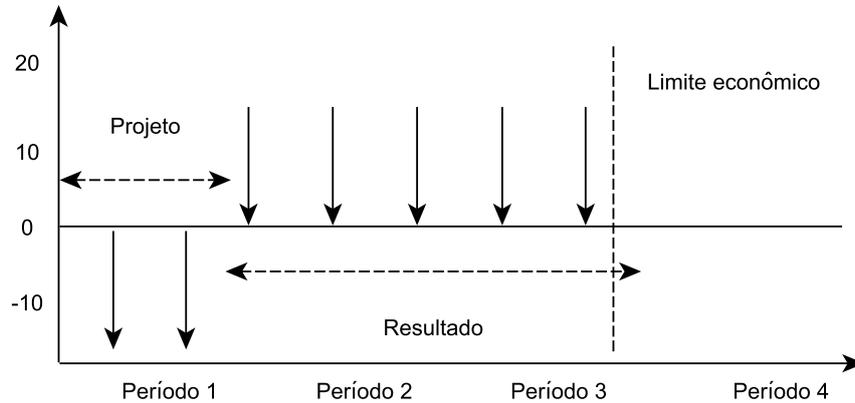


Figura 3.4 – Exemplo de um fluxo de caixa para um projeto [2].

3.2.2 Função de Risco

O risco de um projeto é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo, também chamados de oportunidades e ameaças, respectivamente, em um ou mais objetivos, tais como: escopo, cronograma, custo e qualidade. Um risco poderá ter uma ou mais causas e, se acontecer, poderá ter um ou mais impactos [2].

O risco de um portfólio de projetos tende a ser diferente dos riscos associados a projetos isolados. Um projeto, geralmente, está exposto a um conjunto de riscos, mas um portfólio, constituído de dois ou mais projetos, está exposto a um cenário, no qual todos os riscos, de todos os projetos, devam ser considerados [2, 5, 35]. A Tabela 3.3 mostra esta relação.

Tabela 3.3 – Um exemplo de exposição aos riscos de um portfólio

Projetos		
Riscos	p_x	p_y
r_1	1	1
r_2	1	0
r_3	0	1

Ambos os projetos p_x e p_y estão expostos, de maneira booleana, aos riscos r_1, r_2, r_3 . Neste caso, existe uma alteração no comportamento do risco do portfólio [5], sendo expresso pela Equação 3.3.

$$\sigma_p = [(W_x^2 \cdot \sigma_x^2) + (W_y^2 \cdot \sigma_y^2) + 2 \cdot W_x \cdot W_y \cdot COV_{x,y}]^{1/2} \quad (3.3)$$

no qual:

- W_x, W_y representam, respectivamente, a participação do projeto x e y no portfólio;
- σ_x^2, σ_y^2 representam a variância dos projetos x e y , respectivamente;
- $COV_{x,y}$ covariância entre os projetos x e y .

Os percentuais de cada projeto, x e y , são calculados de acordo com a Equação 3.2, vista anteriormente. As variâncias, σ_x e σ_y , representam o risco total dos projetos, x e y , respectivamente. A covariação da Equação 3.3, proposta por Markowitz [5], considera a covariação dos riscos dos ativos ao longo de um período. No entanto, para projetos que, por definição, são únicos [2], não se pode aplicar a mesma estratégia. Portanto, um outro método faz-se necessário.

Existem poucas publicações que tratam o tema. A publicação que mais se aproxima é a de Barros e Costa [29], discutida na Seção 2.2, com um método subjetivo para a correlação de riscos. O método proposto, nesta dissertação, utiliza-se da exposição de riscos, exemplificada na Tabela 3.3, para criar a correlação entre projetos e seus respectivos riscos. Este método baseia-se nas seguintes premissas:

- Os riscos que podem ser considerados dentro do portfólio, são os riscos aos quais os projetos estão expostos durante a execução;
- Os riscos devem ser os mesmos, somente variando a probabilidade e impacto, para que se possa compará-los;
- A matriz de risco deve ter o comprimento igual ao maior número de riscos dos projetos que compõem o portfólio.

No entanto, os riscos ao qual um portfólio está exposto provavelmente não terão um comportamento booleano, conforme mostrado na Tabela 3.3. Existem vários modelos para classificação de riscos, desde simulações, como a de Monte Carlo, até ponderações de análises qualitativas [2].

Assim, com o objetivo de reduzir a complexidade e a subjetividade ao se classificar um risco de um projeto, utilizou-se o modelo sugerido pelo PMI. A matriz da Figura 3.5 mostra como os riscos de um projeto podem ser classificados, em termos de probabilidade e impacto. A área em vermelho representa alto risco; a área em amarelo representa riscos moderados; a área em verde representa os riscos mais baixos. Em geral, as regras de classificação de riscos são especificadas pelas organizações e incluídas nos ativos de processos organizacionais [2].

Probabilidade	Ameaças					Oportunidades				
	0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09
0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03
0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05 / Muito baixo	0,10 / Baixo	0,20 / Moderado	0,40 / Alto	0,80 / Muito Alto	0,80 / Muito Alto	0,40 / Alto	0,20 / Moderado	0,10 / Baixo	0,05 / Muito baixo

Figura 3.5 – Matriz de probabilidade e impacto no qual os riscos são considerados independentes [2].

Desta forma, adequando a Tabela 3.3 para o modelo do PMI, poderá se obter uma matriz de comportamento de riscos por projeto como a mostrada pela Tabela 3.4. Estes dados são mostrados, graficamente, na Figura 3.6.

Tabela 3.4 – Um exemplo de exposição aos riscos adequado ao modelo do PMI

Riscos	Projetos	
	p_x	p_y
r_1	0,10	0,00
r_2	0,20	0,05
r_3	0,28	0,07

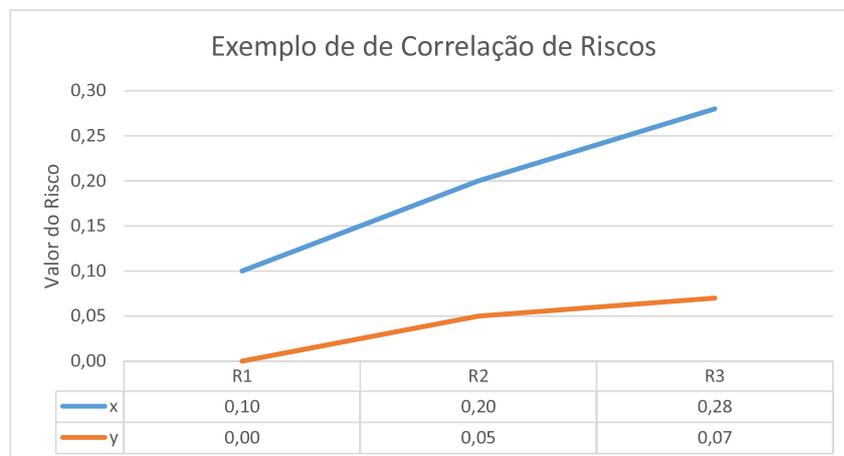


Figura 3.6 – A correlação obtida utilizando-se os dados da Tabela 3.4.

Por fim, para calcular-se a correlação, utilizou-se o mesmo método empregado por Markowitz [5] e Barros e Costa [29]. Este método é explicado em detalhes na próxima seção.

3.2.2.1 Método de Correlação de Riscos Entre Projetos

Em probabilidade e estatística, correlação, também chamada de coeficiente de correlação, indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No uso estatístico geral, correlação se refere à medida da relação entre duas variáveis, embora correlação não implique causalidade [37].

Sabe-se que vários coeficientes são utilizados para situações diferentes. O mais conhecido é o coeficiente de correlação de Pearson, que é obtido, dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão (Equação 3.4).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.4)$$

Já em estatística descritiva, o coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de coeficiente de correlação produto-momento ou simplesmente de ρ de Pearson, mede o grau da correlação e a direção desta correlação (positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de razão). Este coeficiente, normalmente representado por ρ , assume apenas valores entre -1 e 1 , ou seja:

- $\rho = 1$ significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis;
- $\rho = -1$ significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui;
- $\rho = 0$ significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado $\rho = 0$ deve ser investigado por outros meios.

A Figura 3.7 mostra alguns tipos de correlações. A correlação entre os riscos, geralmente, não é estática, ou seja, ela pode mudar ao longo do tempo e deve ser monitorada durante o ciclo de vida do portfólio [27]. Para controlar os riscos, existe a necessidade de análises de variações e tendências geradas durante a execução dos projetos [2]. Este trabalho não tem como objetivo propor um modelo de cálculo e controle de riscos, mas um modelo de como os mesmos se correlacionam dentro de um portfólio.

Em (a) tem-se a correlação positiva perfeita, em que A e B possuem o mesmo comportamento. Em (b) A e B possuem comportamentos opostos. Em (c) não existe uma correlação, A e B têm comportamentos independentes.

3.2.3 Restrições

As restrições comumente utilizadas, segundo Wang e Shou [27], são divididas em cinco categorias: recursos, demanda, relação, tempo e outras.

1. Restrições de recursos não renováveis: a mais comuns das restrições. Em geral é expressa por valores monetários.
2. Restrições de recursos renováveis: caso um portfólio seja implementado em várias etapas, recursos como mão de obra e equipamentos, podem ser alocados e deslocados.
3. Restrições de demandas: alguns exemplos podem ser, (i) um portfólio deve retornar no mínimo $x\%$ de um determinado valor; (ii) o *payback* deve ser menor que y .
4. Restrições de tempo: algum(ns) projeto(s) do portfólio deve(m) ser implementado(s) até uma data limite.
5. Restrições de relação:
 - a) Excludência: ao selecionar um projeto, deve-se excluir 1 ou n projetos.
 - b) Dependência: ao selecionar um projeto, deve-se selecionar também 1 ou n projetos.
 - c) Contingência: um projeto pode ser selecionado, se um ou um conjunto de projetos for previamente selecionado; pode ser do tipo *AND* ou *OR*.
 - d) Precedência: um projeto deve ser terminado antes de um projeto começar.

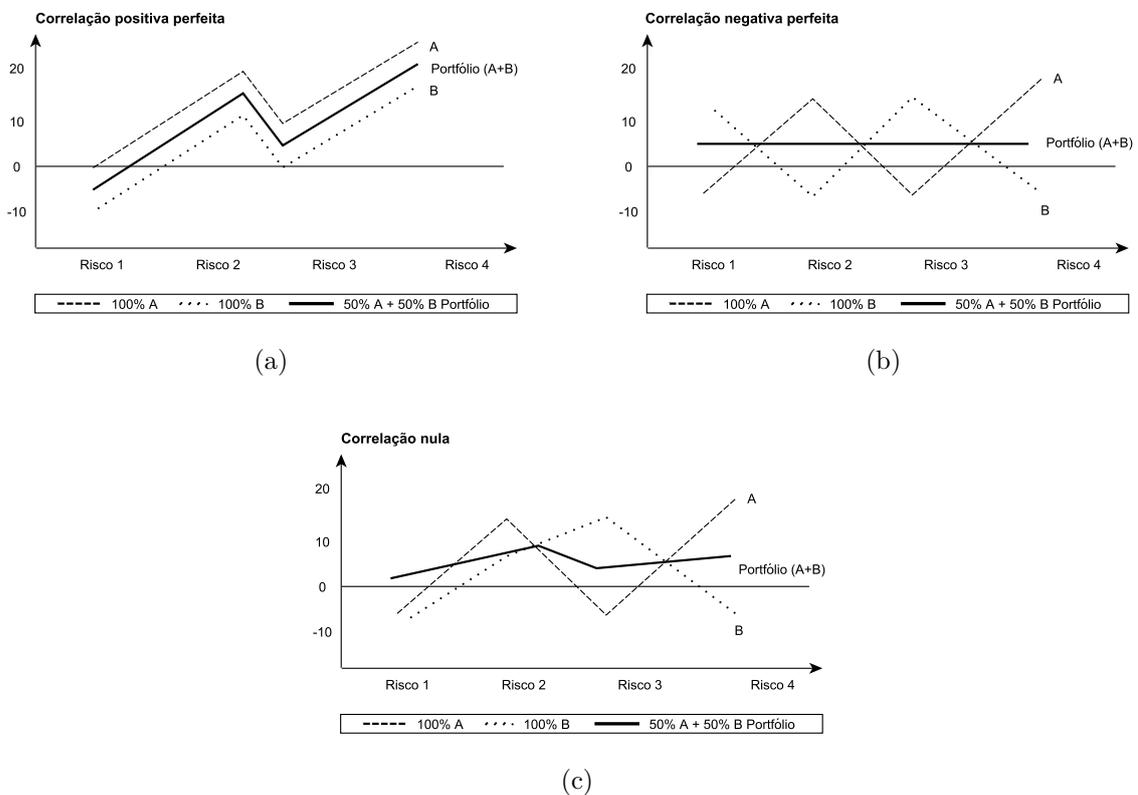


Figura 3.7 – As possíveis correlações entre variáveis.

As restrições utilizadas, neste trabalho, são as que limitam a escolha dos tomadores de decisão, para compor um portfólio (itens 1, 3, 4, 5a e 5b). As demais restrições poderão ser usadas no contexto do balanceamento do portfólio (itens 2, 5c e 5d) [2]. A Tabela 3.5 apresenta um resumo dos atributos do PSPP.

Tabela 3.5 – Resumo dos atributos do PSPP

Atributo	Solução	Comentário
Retorno	$\bar{R}_p = \sum_{i=1}^n X_i \cdot E(R)_i$	A função de retorno é a média ponderada dos investimentos e retorno realizados em cada projeto.
Risco	$\sigma_p = [(W_x^2 \cdot \sigma_x^2) + (W_y^2 \cdot \sigma_y^2) + 2 \cdot W_x \cdot W_y \cdot COV_{x,y}]^{1/2}$	Esta função é a de maior custo computacional, crescendo proporcionalmente a quantidade de projetos e riscos, no qual o portfólio resultante está exposto.
Correlação	$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$	Quanto mais próximo de -1 , menor a exposição do portfólio aos riscos específicos.
Restrições	Recursos não renováveis Demandas Tempo Excludência Dependência	Estas são as restrições que limitam as opções de escolha de quais projetos podem compor o portfólio.

4 ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Neste capítulo, a abordagem multicritério proposta neste trabalho é apresentada e os detalhes de seu funcionamento são mostrados. Estes detalhes são compostos de um modelo de avaliação numérica do problema, um modelo heurístico para a criação das soluções ótimas, uma estrutura de critérios, fundamentados em uma revisão bibliográfica e um processo para auxiliar a escolha da melhor solução do conjunto ótimo.

4.1 ABORDAGEM MULTICRITÉRIO - VISÃO GERAL

Considerando as diferentes etapas do processo de seleção de portfólio de projetos definidas por Abbassi [35], tem-se uma estrutura de decisão de duas fases, que tem como objetivo gerar um conjunto de soluções ótimas e permitir que uma das soluções seja selecionada por meio de um método estruturado. A Figura 4.1 mostra a visão geral da abordagem multicritério composta de duas fases.

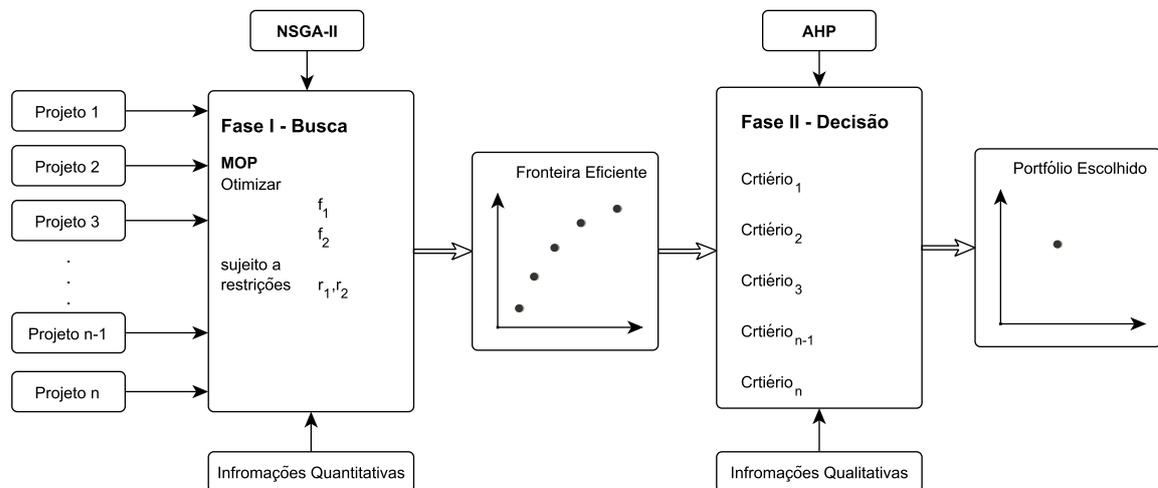


Figura 4.1 – A estrutura da abordagem multicritério composta de duas fases.

A primeira fase (busca) utiliza o algoritmo NSGA-II com as funções objetivo e restrições, explicadas anteriormente, para gerar um conjunto de soluções ótimas (Fronteira de Pareto, que no contexto do problema é chamada de Fronteira Eficiente). Após esta fase, uma estrutura hierárquica é utilizada para selecionar uma única solução (decisão) considerando-se um conjunto de critérios previamente estruturados.

A primeira fase utiliza somente informações *quantitativas* para excluir as combinações que não atendam o conjunto de restrições e obter o maior retorno, enquanto procura pela combinação de projetos que resulte no menor risco. Estas informações foram explicadas anteriormente na Seção 3.1.1.1.

A segunda fase faz uso de informações *qualitativas* [23], sendo que estas são transformadas em ponderações numéricas e poderão possuir uma variabilidade maior, dependendo da(s) preferência(s) do(s) decisor(es). A Seção 2.1.6 possui mais detalhes sobre o método.

4.2 FASE I - OBTENDO UM CONJUNTO DE SOLUÇÕES (BUSCA)

4.2.1 Modelo para Avaliação Numérica

A solução do PSPP consiste em determinar de que maneiras os projetos disponíveis poderão ser combinados para maximizar o retorno, levando em consideração um conjunto de restrições, ao mesmo tempo em que minimiza os riscos envolvidos [35].

Harry Markowitz [5] determina as duas características fundamentais de um portfólio: o seu retorno esperado e a sua variância, esta última representando o risco do portfólio. Formalmente, o PSPP pode ser definido como:

$$\text{Maximize } \bar{R}_p = \sum_{i=0}^n X_i E(R)_i \quad (4.1)$$

$$\text{Minimize } \sigma_p = \left[\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n W_i W_j \rho_{i,j} \sigma_i \sigma_j \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=0}^n \text{investimento}_i \leq \text{investimento}_p \quad (4.3)$$

$$P_i \text{ inclui } P \in (i, n) \quad (4.4)$$

$$P_i \text{ exclui } P \in (i, n) \quad (4.5)$$

$$P_i \in P \quad (4.6)$$

$$\bar{R}_p \geq 0 \quad (4.7)$$

A Equação 4.1 representa a função objetivo que deve ser maximizada: o retorno sobre o investimento. A Equação 4.2 representa a função que deve ser minimizada: o risco. A Equação 4.3 garante que o investimento total no portfólio não seja maior do que o esperado [35]. As Equações 4.4 e 4.5 exibem as dependências e excludências entre projetos. Isto significa que ao selecionar um projeto, deve-se selecionar, também, seus dependentes e/ou eliminar os mutuamente excludentes [35]. Já a Equação 4.6, garante que um projeto deve existir somente uma vez dentro do portfólio. Por fim, a Equação (4.7) garante que o retorno final seja maior que zero [35]. O espaço de busca é dado por 2^n , em que n é a quantidade de projetos disponíveis para seleção.

4.2.1.1 Simulação Enumerativa

Considerando a Tabela 4.1 como entrada de dados, uma simulação enumerativa será calculada para ilustrar a determinação das funções de retorno e risco.

Esta tabela contém projetos fictícios com seus respectivos custos, retornos e riscos. Deve-se notar que o risco total do projeto poderá ser calculado de diversas formas [2]. O importante é que para todos os projetos, a técnica empregada seja a mesma.

Tabela 4.1 – Exemplos dos dados de entrada para o cálculo das funções objetivo

Projeto	Investimento	Retorno	Risco	Riscos		
				R ₁	R ₂	R ₃
A	10.000,00	11%	39%	0,05	0,40	0,72
B	15.000,00	13%	21%	0,18	0,36	0,08
C	12.000,00	10%	14%	0,09	0,10	0,24

4.2.1.2 Função de Retorno

Dado um portfólio com 2 projetos (A, B), sendo o investimento necessário para financiar cada um, 10.000,00 e 15.000,00, respectivamente, e supondo que ambos os projetos estejam contidos no portfólio, o investimento total do mesmo é dado pela Equação 4.8.

$$\begin{aligned}
 \text{Custo Portfólio} &= \sum_{i=0}^n \text{investimento}(P_i) \\
 &= \text{investimento}(A) + \text{investimento}(B) \\
 &= 10.000,00 + 15.000,00 \\
 &= 25.000,00
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Para calcular o retorno sobre o investimento do portfólio composto pelos projetos A e B , divide-se o investimento do projeto A pelo investimento total do portfólio e multiplica-se o resultado pelo retorno do projeto A . O mesmo cálculo é repetido para o projeto B . Assim, o retorno do portfólio é dado pela Equação 4.9.

$$\begin{aligned}
 \bar{R}_p &= \sum_{i=0}^n X_i \cdot E(R)_i \\
 &= \left(\frac{10.000,00}{25.000,00} \cdot 11\% \right) + \left(\frac{15.000,00}{25.000,00} \cdot 13\% \right) \\
 &= (4\%) + (8\%) \\
 &= 12\%
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Neste caso tem-se que o retorno do portfólio, composto dos projetos A e B , é de 12%.

4.2.1.3 Função de Risco

O cálculo da função de risco exige um custo computacional maior se comparado com o custo da função de retorno. Isso se deve ao fato de existirem mais operações matemáticas envolvidas e uma função dentro de outra função que retorna a covariância dos projetos (COV). O cálculo do risco do portfólio pode ser visto na Equação 4.10.

$$\begin{aligned}
 \sigma_p^2 &= (W_x^2 \cdot \sigma_x^2) + (W_y^2 \cdot \sigma_y^2) + 2 \cdot W_x \cdot W_y \cdot COV_{x,y} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \\
 &= [(0,4^2 \cdot 0,39^2) + (0,6^2 \cdot 0,20^2) + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot (-0,32808) \cdot 0,39 \cdot 0,20]^{1/2} \\
 &= [(0,16 \cdot 0,1521) + (0,36 \cdot 0,04) + (-0,01228)]^{1/2} \\
 &= [0,02645]^{1/2} \\
 &= 0,16264 \\
 &= 16\%
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

Ou seja, o risco do portfólio é 16%. O cálculo de $COV_{x,y}$ pode ser visto na Seção 4.2.1.4. Deve-se notar que as variáveis x e y estão representando os projetos A e B , respectivamente.

4.2.1.4 Correlação Entre Projetos

A correlação de A, B é dada pela Equação 4.11.

$$\rho = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}} \tag{4.11}$$

Os dados para o cálculo da correlação de Pearson foram obtidos dos riscos dos projetos apresentados na Tabela 4.1. Os dados calculados são mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Exemplos dos dados de entrada para o cálculo da correlação de Pearson

	P_A	P_B	P_A^2	P_B^2	$P_A \cdot P_B$
R_1	0,05	0,18	0,003	0,032	0,0090
R_2	0,40	0,36	0,160	0,130	0,1440
R_3	0,72	0,08	0,518	0,006	0,0576
Σ	1,17	0,62	0,68	0,17	0,21

Desta forma, tem-se que a correlação é dada pela Equação 4.12.

$$\rho = \frac{3 \cdot 0,21 - (1,17) \cdot (0,62)}{\sqrt{3 \cdot 0,68 - (1,17)^2} \cdot \sqrt{3 \cdot 0,17 - (0,68)^2}}$$

$$\rho = \frac{-0,0954}{0,8208 \cdot 0,3475}$$

$$\rho = -0,32808$$
(4.12)

Graficamente, este resultado é mostrado pela Figura 4.2 (a), indicando uma baixa correlação negativa. Em (b) pode-se observar (em uma simulação) uma forte correlação positiva. Cada ponto no gráfico representa um risco.

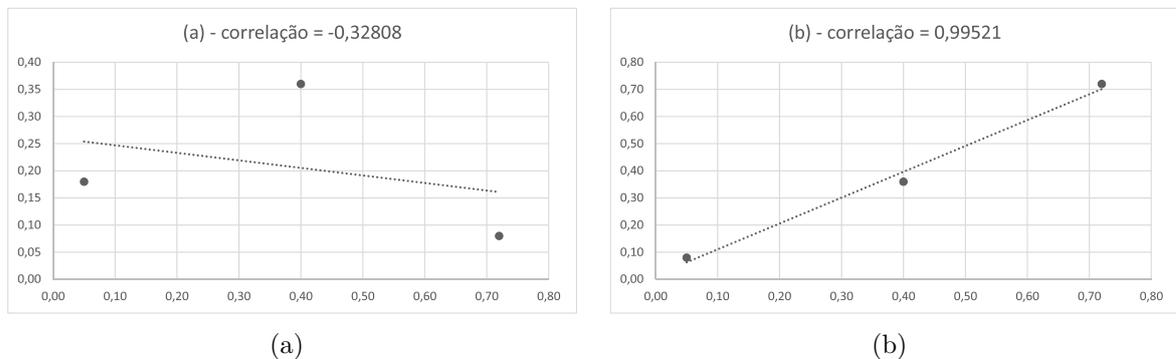


Figura 4.2 – Correlações entre variáveis. Em (a) tem-se a correlação utilizada no exemplo anterior. Em (b) uma simulação com os valores de P_B alterados.

4.2.1.5 Tabulação dos Resultados

A Tabela 4.3 exibe todos os portfólios que podem ser construídos com os dados de entrada da Tabela 4.1. A Figura 4.3 exibe os dados de forma gráfica.

Tabela 4.3 – Resultado da simulação enumerativa

Portfólio	A	B	C	E(r)	R(e)	Restrição	Resultado
1	0	0	0	∅	∅	1	∅
2	1	0	0	11%	39%	0	A
3	0	1	0	13%	20%	0	B
4	0	0	1	10%	14%	0	C
5	1	1	0	12%	16%	0	A, B
6	1	0	1	10%	24%	0	A, C
7	0	1	1	12%	8%	0	B, C
8	1	1	1	11%	19%	1	A, B, C

A Fronteira Eficiente [5] pode ser vista, com somente dois pontos contidos na curva devido à pequena entrada de dados, na Figura 4.3. O conjunto $fe = (7, 3)$ contém as soluções não-dominadas. A partir desta etapa, o(s) tomador(es) de decisão, pode(em)

realizar sua(s) escolha(s), optando pelos *trade-offs* gerados. As relações de dominância são $7 \prec 4, 8, 6, 2$, $5 \prec 8, 6, 2$, e assim por diante. Neste exemplo existem 4 fronteiras de dominância, sendo $F_1 = 7, 5, 3$, $F_2 = 4$, $F_3 = 8$ e $F_4 = 6, 2$.

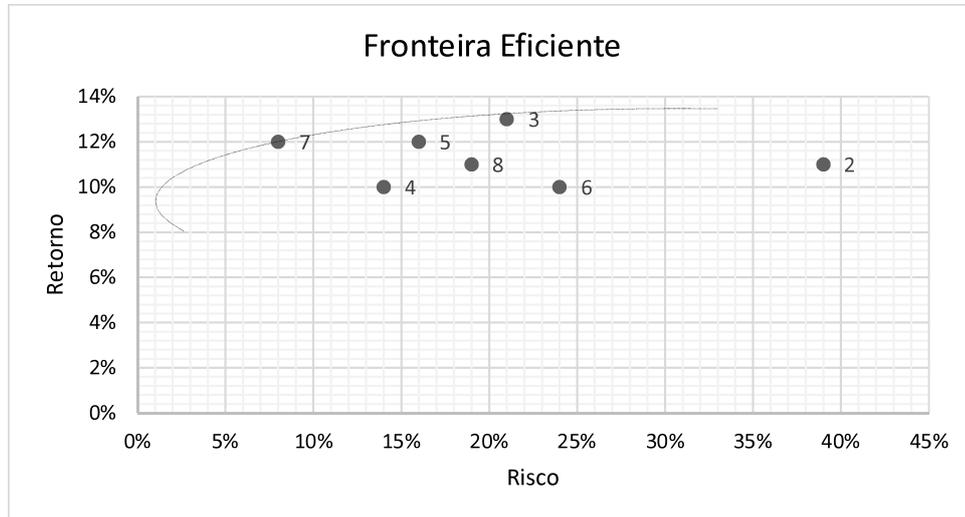


Figura 4.3 – A Fronteira Eficiente [5]. O pontos 7 e 3 estão sobre a curva que representam os portfólios ótimos.

Deve-se notar que cada portfólio contém uma combinação de projetos que maximiza o retorno, minimiza o risco e respeita todas as restrições impostas ao problema.

4.2.2 Modelo Heurístico

O exemplo da Seção 4.2.1 será utilizado para a construção do algoritmo evolutivo. Em outras palavras, o processo enumerativo (determinístico) utilizado, será transformado em um processo estocástico, que permite uma boa aproximação da Fronteira Eficiente, quando o número de projetos disponíveis torna-se grande [19, 20, 23].

4.2.2.1 NSGA-II Aplicado ao PSPP

A implementação do algoritmo evolutivo é baseada no NSGA-II. Manteve-se toda a estrutura sugerida por Deb [23], sendo as únicas alterações, relacionadas aos parâmetros de execução. O funcionamento geral deste algoritmo é mostrado pela Figura 4.4.

4.2.2.2 Representação de um Indivíduo

No problema de seleção abordado, cada indivíduo é representado por uma sequência binária, em que cada posição representa se o projeto está presente ou não. Um possível indivíduo pode ser dado por $S = [0, 1, 1, 0, 1]$. Esta representação foi apresentada, anteriormente, na Seção 2.1.3. A escolha desta representação está fundamentada nos seguintes aspectos:

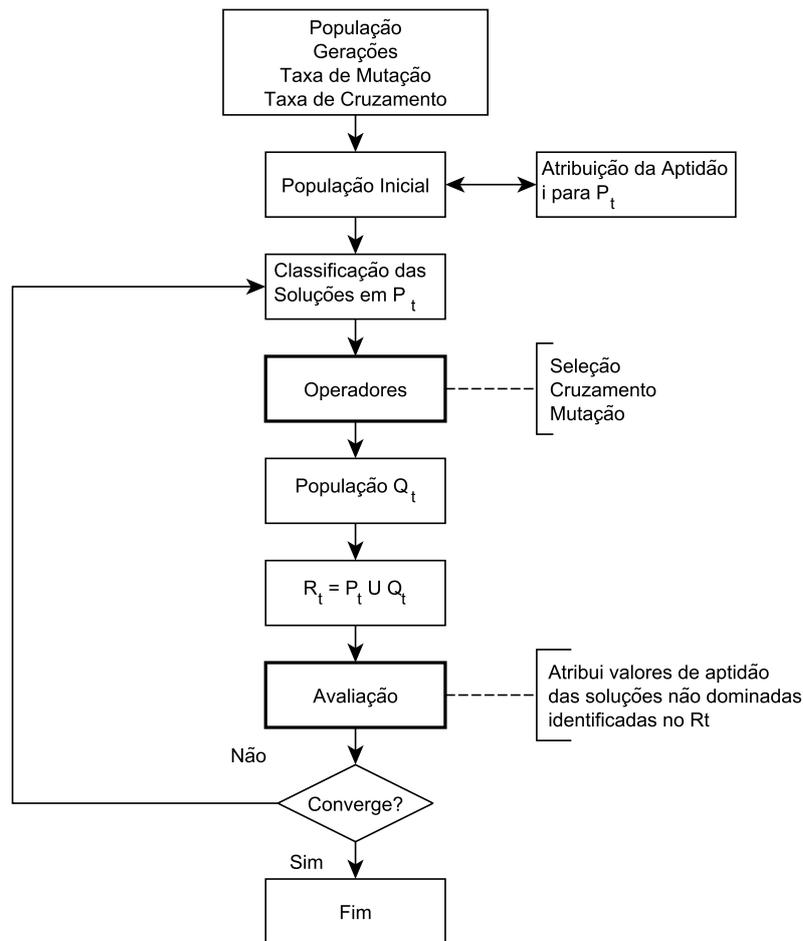


Figura 4.4 – Fluxograma do NSGA-II [23].

- O problema possui um domínio discreto, ou seja, um projeto pertence ou não a um portfólio;
- A utilização de um outro tipo de codificação acrescentaria o custo de transformação, visto que a identificação do projeto é dada por um número inteiro e único;
- A ordem dos projetos dentro do portfólio não é importante;
- Estrutura do problema similar ao Problema da Mochila [19];
- Impacta diretamente nos operadores de recombinação e mutação em termos de custo computacional [19, 20, 21].

Uma característica deste tipo de codificação está relacionada ao tamanho da matriz gerada. A largura é dada pela quantidade de projetos disponíveis para avaliação (n), enquanto a altura é dada pela quantidade de indivíduos na população (m). Resultando portanto em uma matriz $n \times m$.

4.2.2.3 População Inicial

O tamanho inicial da população foi estimado de maneira empírica, iniciando com 100 indivíduos, aumentando em 100 até que o resultado do algoritmo não fosse mais alterado, chegando ao número de 1000 indivíduos. Este tamanho foi mantido para a população durante as iterações. Para garantir a diversidade e uma boa qualidade do conjunto de soluções iniciais, a população inicial do NSGA-II foi gerada de forma aleatória [19, 20, 21].

4.2.2.4 Avaliação da População

A avaliação da população foi feita por meio dos cálculos de dominância e distância de população, explicados anteriormente na Seção 2.1.4.

4.2.2.5 Seleção

A seleção foi feita por meio do torneio de multidão [23] sem nenhuma variação. Os conceitos relacionados a este operador foram explicados anteriormente, na Seção 2.1.4.

4.2.2.6 Reprodução

Para a reprodução, utilizou-se o operador de cruzamento $1PX$ (Seção 2.1.3.5). O ponto que foi escolhido para cruzamento está no meio do cromossomo, ou seja, se o cromossomo possuir o tamanho $i = 40$, o ponto de corte está em $i/2$. O tamanho do cromossomo está vinculado à quantidade de projetos que serão avaliados. Se este tamanho for *ímpar*, então, o ponto de corte será dado por $(i - 1)/2$.

4.2.2.7 Mutação

Utilizou-se a mutação *flip* (Seção 2.1.3.6), com a probabilidade de 0,001%. A utilização da mutação *flip* foi devido a facilidade de implementação e ao tipo de codificação utilizada, no caso a codificação binária. A taxa de mutação utilizada foi a recomendada pelos autores Coello, Zitzler e Ajith [19, 20, 21]. A taxa de mutação não deve ser alta (próxima de 100%) pois isto torna a busca heurística essencialmente aleatória [19]. Da mesma forma, não pode ser baixa (menor que 0,9%) pois assim dificilmente este operador adicionará um novo indivíduo no espaço de busca [21].

4.2.2.8 Critério de Parada

O critério de parada do algoritmo genético pode variar de acordo com a opção do usuário. Uma das formas é (i) definir uma quantidade de gerações que devem ser criadas. Outra forma é (ii) executá-lo até que se encontre uma população em que

os indivíduos tenham a função de avaliação que se deseja alcançar [19, 23]. O critério utilizado foi o de (iii) convergência, ou seja, não ocorre melhora significativa na solução durante um dado número de gerações.

4.3 FASE II - OBTENDO UMA ÚNICA SOLUÇÃO (DECISÃO)

4.3.1 Definição do Problema

Posteriormente à fase de otimização, um conjunto de soluções é obtida. No entanto, somente um único portfólio é desejado. Para a escolha, o mesmo pode utilizar a informação de maior nível de abstração, ou seja, critérios qualitativos [22, 23, 35]. Tais critérios podem variar de acordo com o cenário e preferências do(s) decisor(es) [24, 25, 26]. Com o objetivo de ter um arcabouço de critérios, para auxiliar na criação da hierarquia e prover ideais para a criação de novos critérios, uma base foi proposta.

4.3.2 Hierarquia de Critérios

O trabalho publicado por Abbassi *et al.* [35] apresentou uma compilação dos critérios mais utilizados para avaliação de portfólio de projetos. Estes critérios foram organizados em dois grupos:

- Critérios Endógenos, com foco na criação de valor interno para a organização (esses critérios devem expressar fatores que estão dentro do controle da organização);
- Critérios Exógenos, intrinsecamente relacionados com ambiente e estando além do controle da organização.

Os autores obtiveram a importância relativa de cada critério, utilizando um questionário baseado no método Delphi (com uma apresentação do conceito de portfólio de projetos e o método de pesquisa). Este questionário foi enviado a um conjunto de 20 participantes, sendo eles gerentes experientes e/ou especialistas com formação técnica. Cada critério recebeu a nota de uma escala que variou de 1 (não importante) a 10 (muito importante).

Os autores, também, realizaram o processo em três etapas para minimizar as discrepâncias observadas entre os resultados e para se obter o consenso. Os participantes avaliaram os 34 critérios e os desvios padrão foram aceitáveis na maior parte do tempo (cerca de 2,0, segundo os autores). Os resultados em ambos os grupos endógenos e exógenos são como se segue:

Critérios mais importantes: critérios com a média maior que 7,0 e com o desvio padrão próximo de 1,0;

Critério importantes: critérios com a média entre 6,0 e 7,0;

Critérios de pouca importância: critérios com a média menor que 6,0;

Critérios questionáveis: critérios com o desvio-padrão próximo de 3,0.

A média e o desvio-padrão para cada um dos 34 critérios são apresentados por ordem decrescente nas Tabelas 4.4 e 4.5. Para reduzir a complexidade e melhorar a qualidade dos critérios de avaliação, Abbassi *et al.* [35] sugerem que os critérios a serem utilizados são os com a média maior que 7,0. Estes critérios foram destacados em negrito em ambas as tabelas.

4.3.2.1 Critérios Endógenos

Estes são os critérios que estão relacionados com a geração de valor interno para uma organização. É importante notar que alguns deles são comuns em cenários de seleção de projetos, como: rentabilidade, adequação de custo, adequação de tempo [35]. A Tabela 4.4 mostra os critérios endógenos classificados por Abbassi *et al.*

Tabela 4.4 – Critérios endógenos [35]

ID	Critério	Média	Desvio
1	Alinhamento com os objetivos estratégicos	9,2	0,9
2	Rentabilidade	8,4	1,0
3	Capacidade da equipe	8,4	1,0
4	Capacidade de financiamento	8,0	1,2
5	Melhoria & Inovação	7,8	1,5
6	Qualidade do plano de projeto	7,8	1,2
7	O resultado servirá como infraestrutura	7,8	2,6
8	Interoperabilidade com a infraestrutura atual	7,8	2,0
9	Extensibilidade dos resultados	7,4	1,5
10	Adequação de custo	7,2	2,2
11	Exige equipamentos de apoio	7,2	1,9
12	Adequação de tempo	7,1	2,1
13	Impacto na produtividade	7,0	2,3
14	Avanço da tecnologia relacionada	6,8	1,8
15	Está relacionado com o core business	6,6	2,0
16	Melhoria da qualidade	6,2	2,5
17	Impacto no aprendizado e crescimento	6,0	1,6
18	Tem experiência acumulada em campo	5,4	1,1
19	Tem sinergia com outros projetos	5,0	1,0

A Figura 4.5 mostra a comparação entre o peso médio de cada critério, comparado ao seu desvio padrão.

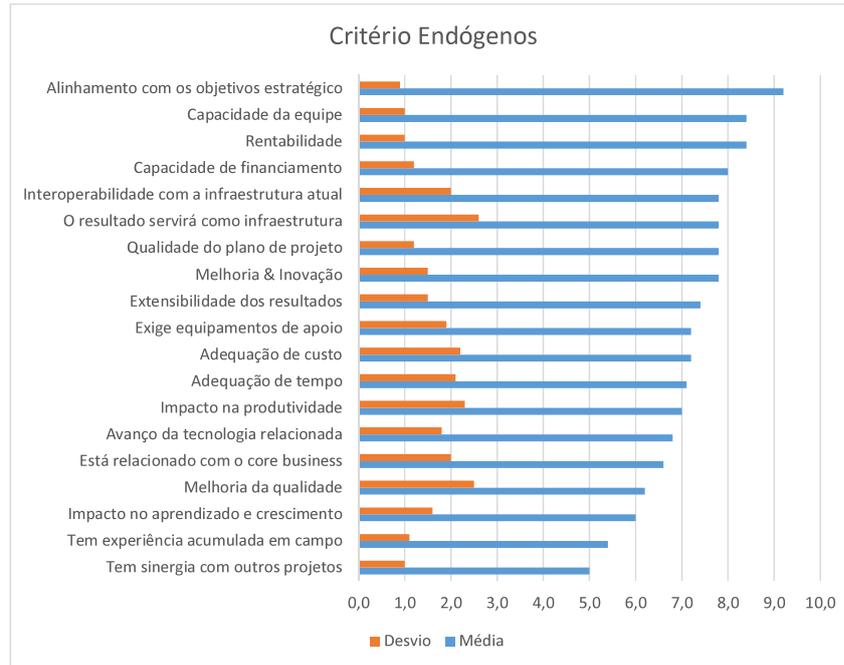


Figura 4.5 – Peso relativo de cada critério endógeno [35].

4.3.2.2 Critérios Exógenos

Os critérios exógenos estão focados no ambiente externo ao da organiza o. Estes avaliam o(s) resultado(s) do(s) projeto(s) em termos de impacto no contexto em que a organiza o possui pouco, ou nenhum controle [35]. A Tabela 4.5 mostra estes critérios.

Tabela 4.5 – Critérios exógenos [35]

ID	Cr�terio	Média	Desvio
1	Posi�o da tecnologia	9,0	1,0
2	Considera�o ambiental e segurança	8,4	0,9
3	Lidar com san�oes internacionais	8,4	1,2
4	Apoio público	8,2	0,9
5	Barreiras para copiar ou imitar	7,8	2,8
6	Volume de mercado aberto	7,8	2,3
7	Intensidade da concorrência	7,6	1,5
8	Benefícios para a vida humana	7,4	1,0
9	Impacto no prestígio empresa	7,2	2,0
10	Potencial para o progresso	7,2	3,0
11	Dinâmica do mercado	6,0	1,4
12	Potencial de crescimento do produto	5,8	1,1
13	Impacto no quadro societário	5,6	1,0
14	Número de stakeholders	5,2	1,3
15	Impacto da tecnologia sobre a concorrência	5,0	1,2

Da mesma forma, a Figura 4.6 mostra a compara o entre o peso médio de cada critério, comparado ao seu desvio padrão.

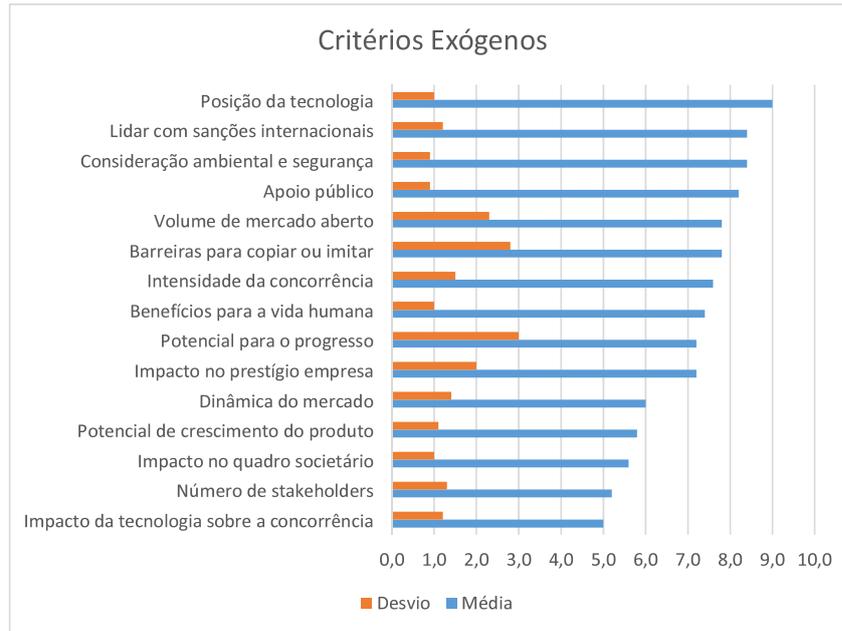


Figura 4.6 – Peso relativo de cada critério exógeno [35].

4.3.3 Considerações

Deve-se notar que estes critérios são apenas um arcabouço para permitir a criação da hierarquia utilizada pelo AHP. Estes critérios poderão ser alterados, removidos e/ou terem novos critérios associados aos mesmos, dependendo do cenário e/ou participantes.

Um outro ponto importante a ser destacado é a ponderação para cada critério. Esta ponderação é o peso relativo do critério comparado com outro. Tal ponderação permite que informações qualitativas possam ser quantificadas e testadas, permitindo que a decisão, torne-se estruturada, reproduzível e auditável [25, 26].

Por fim, estes critérios devem ser utilizados considerando-se, todos os aspectos apresentados na Seção 2.1.6, gerando uma estrutura consistente, que facilite a comunicação, melhore a compreensão do problema e faça que a decisão final (pós-otimização) tenha uma qualidade melhor se comparada a uma decisão desestruturada [24, 25, 26].

5 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo, um estudo de caso para a avaliação da abordagem é apresentado. Os detalhes da configuração do mesmo são discutidos e descritos, bem como as restrições e o cenário no qual este foi aplicado. Os resultados obtidos também são apresentados e discutidos. Estas discussões abrangem os aspectos da solução e os aspectos do estudo de caso, como por exemplo, restrições e recomendações para a utilização da abordagem.

5.1 ESTUDO DE CASO

Segundo Yin [38], o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, coleta e análise de dados. Pode incluir tanto um estudo de caso único quanto múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa. Este estudo de caso foi planejado pelos autores e executado de acordo com o processo mostrado pela Figura 5.1.

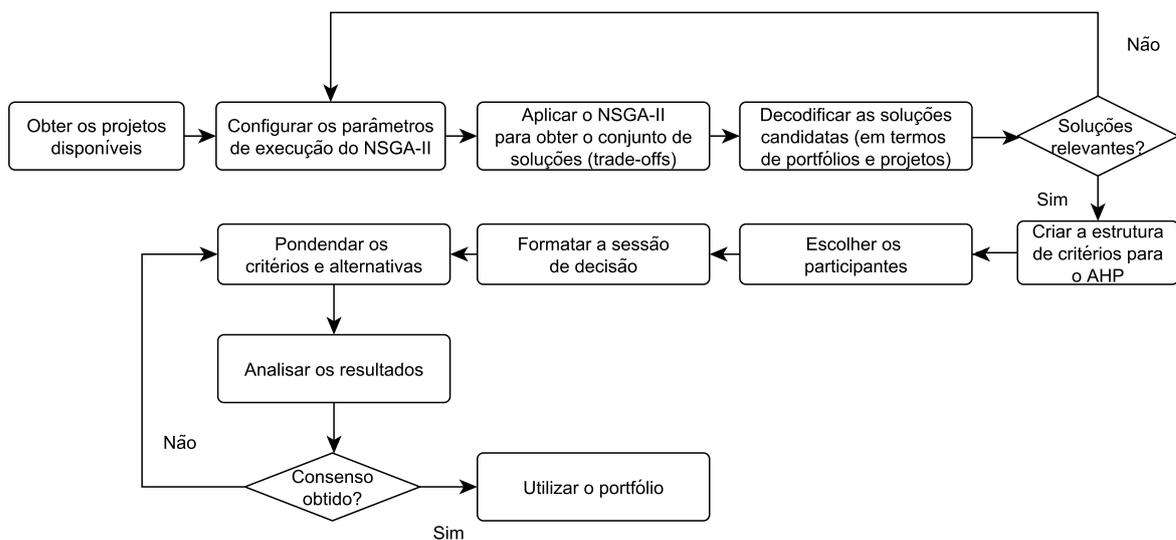


Figura 5.1 – O processo elaborado pelos autores e utilizado para o estudo de caso.

O objetivo principal, deste estudo de caso, é avaliar a abordagem proposta neste trabalho. Adicionalmente, alguns objetivos secundários também foram analisados, sendo eles:

- Identificar os pontos fortes e fracos da abordagem;
- Identificar a qualidade dos resultados gerados e a aceitação dos mesmos, pelos participantes;

- Comparar o resultado com modelo utilizado atualmente.

Uma explicação mais detalhada de cada atividade é fornecida nas próximas seções.

5.1.1 Fase I - Busca

Esta etapa tem por objetivo obter um conjunto limitado, mas suficiente, de soluções que estejam contidas na Fronteira Eficiente.

5.1.1.1 Projetos Disponíveis

Este estudo de caso foi executado em um cenário de uma empresa de médio porte, do setor financeiro, que com um planejamento estratégico criado, obteve um conjunto de 40 projetos. Estes projetos são mostrados na Figura 5.2. O investimento é dado em valores monetários. As colunas retorno, risco e riscos ($R1, R2, \dots, Rn$) são dadas em percentuais.

Projeto	Investimento	Retorno	Risco	Mandatário	Includências	Excludências	Riscos										
							R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
1	10000	0,13	0,19	0			2	0,05	0,09	0,16	0,36	0,72	0,02	0,00	0,03	0,20	0,28
2	15000	0,15	0,12	0				0,07	0,10	0,06	0,12	0,24	0,02	0,03	0,00	0,00	0,56
3	20000	0,11	0,12	0				0,09	0,14	0,00	0,00	0,05	0,56	0,04	0,18	0,08	0,01
4	30000	0,10	0,14	0				0,56	0,10	0,20	0,24	0,00	0,00	0,03	0,05	0,08	0,12
5	12000	0,13	0,18	0				0,28	0,56	0,00	0,00	0,20	0,00	0,07	0,72	0,00	0,00
6	15000	0,12	0,13	0				0,09	0,00	0,03	0,00	0,01	0,06	0,12	0,40	0,00	0,56
7	12000	0,16	0,10	0				0,18	0,36	0,00	0,14	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18	0,05
8	13000	0,14	0,15	0				0,20	0,28	0,56	0,18	0,09	0,08	0,03	0,02	0,01	0,06
9	16000	0,09	0,16	0				0,04	0,00	0,18	0,00	0,36	0,72	0,18	0,00	0,10	0,00
10	40000	0,08	0,28	0				0,02	2,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,12	0,03	0,05	0,40
11	15000	0,11	0,15	0				0,00	0,05	0,36	0,14	0,56	0,07	0,24	0,12	0,00	0,00
12	18000	0,12	0,10	0				0,10	0,20	0,14	0,07	0,18	0,00	0,07	0,00	0,28	0,00
13	19000	0,13	0,14	0				0,03	0,00	0,05	0,00	0,04	0,09	0,36	0,72	0,10	0,00
14	80000	0,14	0,13	0				0,08	0,00	0,01	0,00	0,05	0,18	0,36	0,56	0,00	0,02
15	90000	0,15	0,09	1				0,07	0,36	0,14	0,03	0,10	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00
16	50000	0,16	0,13	0				0,05	0,10	0,12	0,02	0,10	0,00	0,18	0,10	0,56	0,10
17	70000	0,17	0,11	0				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,72	0,14	0,24	0,00
18	23000	0,13	0,09	0				0,03	0,36	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,28	0,12	0,01
19	21000	0,11	0,12	0				0,56	0,00	0,24	0,02	0,03	0,09	0,07	0,00	0,18	0,02
20	56000	0,12	0,19	0				0,10	0,12	0,00	0,36	0,05	0,00	0,00	0,72	0,56	0,01
21	35000	0,08	0,20	0				0,24	0,00	0,08	0,24	0,00	0,00	0,12	0,56	0,72	0,00
22	20000	0,09	0,12	0				0,08	0,04	0,01	0,36	0,09	0,36	0,28	0,00	0,00	0,00
23	40000	0,10	0,11	0				0,00	0,10	0,02	0,02	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00	0,72
24	45000	0,21	0,22	0				0,24	0,24	0,04	0,01	0,36	0,10	0,72	0,06	0,40	0,00
25	50000	0,18	0,13	0				0,08	0,05	0,05	0,00	0,12	0,01	0,18	0,05	0,06	0,72
26	60000	0,19	0,08	1				0,56	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04	0,04	0,01
27	70000	0,13	0,18	0				0,72	0,05	0,10	0,36	0,05	0,01	0,09	0,01	0,40	0,03
28	80000	0,19	0,20	0				0,00	0,24	0,72	0,72	0,24	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01
29	20000	0,15	0,10	0				0,10	0,00	0,00	0,01	0,56	0,07	0,18	0,03	0,07	0,00
30	21000	0,16	0,11	0		32		0,07	0,08	0,02	0,02	0,72	0,01	0,04	0,14	0,00	0,00
31	12000	0,17	0,10	0				0,04	0,24	0,00	0,02	0,00	0,28	0,00	0,28	0,05	0,10
32	13000	0,20	0,13	0				0,28	0,02	0,03	0,05	0,01	0,14	0,10	0,09	0,03	0,56
33	15000	0,10	0,11	0				0,24	0,05	0,00	0,09	0,02	0,20	0,20	0,28	0,01	0,00
34	21000	0,11	0,10	0				0,18	0,00	0,00	0,01	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,72
35	25000	0,12	0,17	0				0,20	0,36	0,01	0,00	0,09	0,24	0,10	0,10	0,56	0,00
36	23000	0,13	0,09	0				0,00	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,08	0,03	0,56	0,00
37	28000	0,14	0,11	0				0,18	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,72
38	27000	0,15	0,09	0				0,72	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,10
39	21000	0,16	0,10	0				0,07	0,03	0,02	0,72	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10
40	15000	0,11	0,11	0				0,04	0,02	0,01	0,00	0,09	0,09	0,00	0,72	0,03	0,11

Figura 5.2 – Lista de projetos utilizados no estudo de caso.

De acordo com a Figura 5.2, pode-se notar que a entrada de dados é relativamente pequena, composta de: (i) uma identificação única para o projeto, (ii) o valor do investimento, (iii) o retorno do projeto, (iv) os riscos (total e individuais), (v) relações (incluências e/ou excludências) e (vii) mandatório, sendo este último booleano. Todas estas entradas são quantitativas. Isto pode ser considerado como um ponto forte dessa abordagem. A Tabela 5.5 exibe um resumo dos pontos (fortes e fracos) encontrados.

5.1.1.2 Parâmetros

Os conceitos utilizados para a criação dos parâmetros foram explicados, anteriormente, no Capítulo 2. A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos parâmetros utilizados no NSGA-II.

Tabela 5.1 – Parâmetros utilizados no MOEA

Parâmetro	Valor
Quantidade de Projetos	40 (Figura 5.2)
População Inicial	Inicialização Aleatória Uniforme
Tamanho da População	1.000 indivíduos
Função a ser Maximizada	Retorno esperado $E(R)$ (Equação 4.1)
Função a ser Minimizada	Risco esperado $R(\sigma)$ (Equação 4.2)
Restrições	Equações (4.3 \leq 1.000.000, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7)
Esquema de Representação	Codificação binária
Operador de Seleção	Torneio de multidão [23]
Operador de Cruzamento	<i>Crossover</i> de um ponto (1PX)
Operador de Mutação	Mutação <i>flip</i>
Taxa de Mutação	0,001%
Critério de Parada	100.000 gerações sem melhora no <i>fitness</i> geral

As definições de cada parâmetro foram explicadas, anteriormente, no Capítulo 4.

5.1.1.3 Execução do Algoritmo

O custo computacional do algoritmo está relacionado a dois fatores:

- A função objetivo de risco: a Equação 3.3 possui um alto custo devido aos elementos:
 - Composição da Equação 5.1 que cresce proporcionalmente à quantidade de projetos dentro do portfólio.

$$\begin{aligned}
 \sigma_p^2 = & (W_x^2 \cdot \sigma_x^2) + (W_y^2 \cdot \sigma_y^2) + (W_z^2 \cdot \sigma_z^2) \\
 & + 2 \cdot W_x \cdot W_y \cdot COV_{x,y} \\
 & + 2 \cdot W_x \cdot W_z \cdot COV_{x,z} \\
 & + 2 \cdot W_y \cdot W_z \cdot COV_{y,z}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

- Cálculo de correlação: A Equação 4.11 que efetua a comparação entre a quantidade de riscos ao qual o portfólio está exposto.
- A classificação em fronteiras de dominância: quanto maior o número de soluções candidatas, maior o tempo consumido para avaliar a população R_t e classificar os indivíduos.

Estes itens poderão ser considerados como pontos fracos dessa abordagem, pois quanto maior a quantidade de projetos disponíveis e a maior quantidade de risco avaliados, maior o tempo de convergência.

5.1.1.4 Decodificando as Soluções

Esta atividade decodifica um cromossomo (genótipo) contido na fronteira F_1 para um portfólio (fenótipo). Um exemplo desta decodificação é mostrado na Figura 5.3.

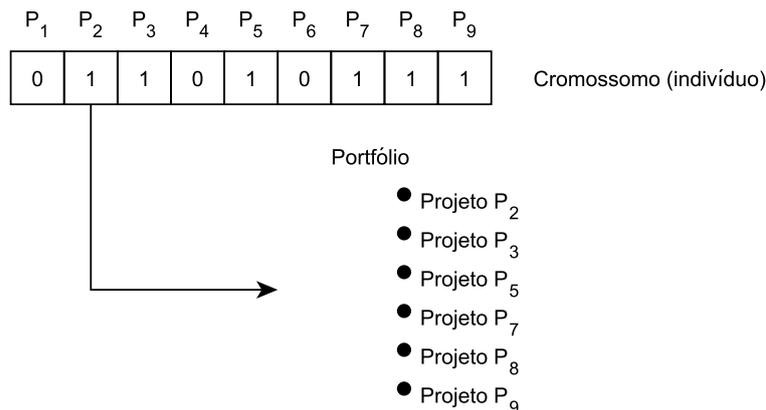


Figura 5.3 – Exemplo de uma solução decodificada.

As soluções codificadas e decodificadas podem ser vistas no Anexo A. Caso estas soluções sejam consideradas satisfatórias (ou seja, atingiu-se o critério de parada), elas podem ser classificadas como soluções candidatas à etapa de pós-otimização.

5.1.2 Fase II - Decisão

5.1.2.1 Hierarquia de Critérios

Para a construção da hierarquia de critérios foram utilizados os critérios apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5. Esta hierarquia poderá ser vista na Figura 5.4.

Até este momento, a configuração da abordagem poderá ser feita por uma única pessoa, inclusive a criação da hierarquia. Isto pode ser considerado como um

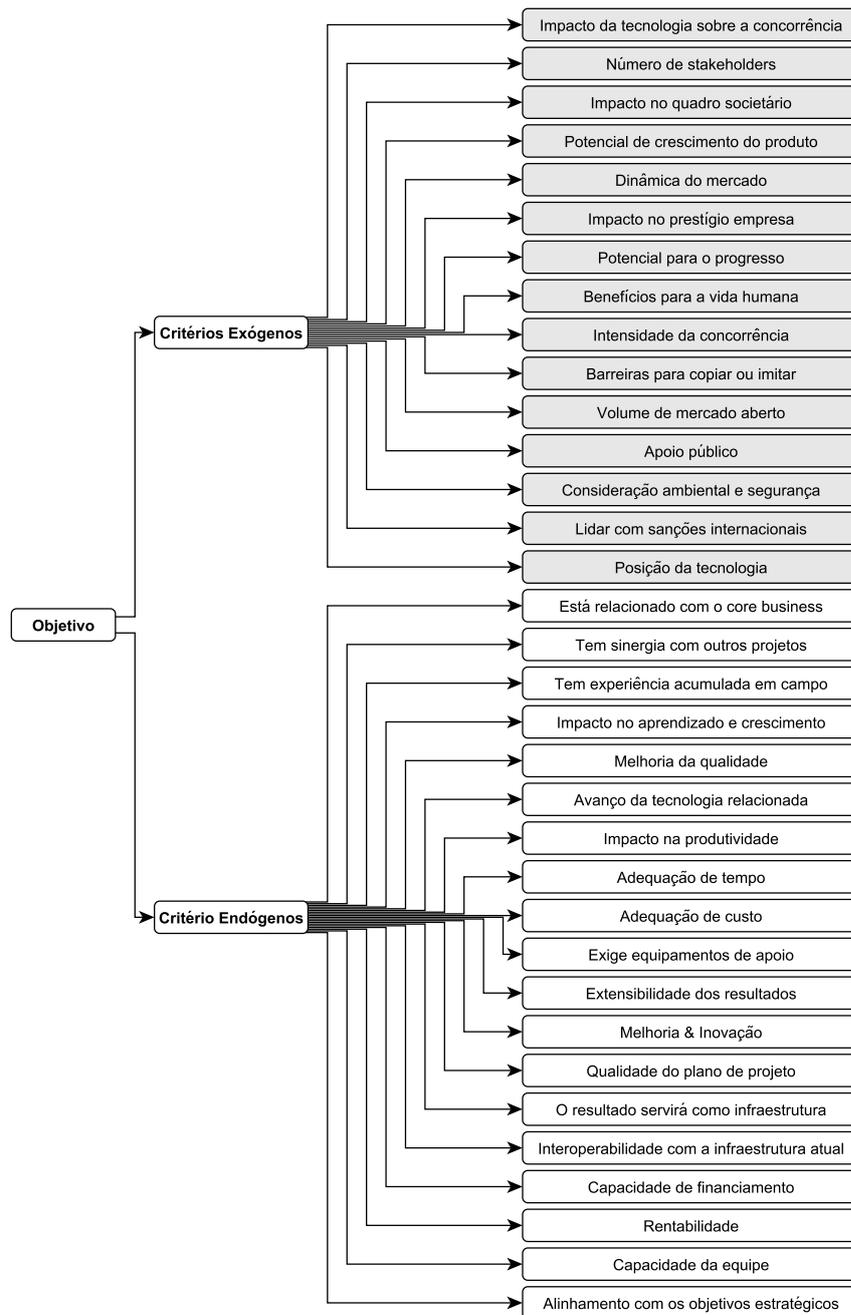


Figura 5.4 – Hierarquia de critérios utilizada no estudo de caso.

ponto forte, pois reduz a quantidade de envolvidos no processo. Durante o estudo de caso não se notou a necessidade de alguma personalização antes da chamada dos participantes.

5.1.2.2 Participantes

Os participantes foram selecionados de acordo com seus interesses e tempo de experiência em projetos (e/ou resultados de projetos) similares. Tais participantes foram: (i) 2 gerentes de projeto, (ii) 3 gerentes de operação, (iii) 2 diretores e (iv) alguns líderes de projeto. Todos os participantes tinham conhecimento sobre 1 ou

n projetos. A Tabela 5.2 mostra os participantes envolvidos no estudo de caso.

Tabela 5.2 – Participantes do estudo de caso

Função	Experiência	Formação
Gerente de Projeto 1	9 anos	Administração
Gerente de Projeto 2	10 anos	Computação
Gerente de Operação 1	5 anos	Economia
Gerente de Operação 2	7 anos	Administração
Gerente de Operação 3	5 anos	Contabilidade
Diretor 1	30 anos	Administração
Diretor 2	25 anos	Economia

Os líderes de projeto não foram adicionados na Tabela 5.2, pois a atividade dos mesmos foi consultiva e de apoio. Um cuidado foi tomado ao selecionar os participantes, para evitar consensos forçados ou artificiais. Consensos forçados podem ser gerados, principalmente, se os respondentes aceitarem a opinião dos demais participantes. Consensos artificiais podem ser gerados por uma baixa diversidade de opiniões [25, 26].

5.1.2.3 Sessão de Ponderação

Esta sessão foi feita, utilizando a técnica *Wideband Delphi*, para evitar problemas de interferência da decisão dos participantes. Esta técnica é, especialmente, recomendável quando não se dispõe de dados quantitativos [25, 26]. As ponderações foram feitas por meio do *software Expert Choice*¹, sendo que os participantes tinham conhecimento de quem eram os outros. Esta sessão teve uma duração de 2 horas. Os critérios foram ponderados e, na sequência, as alternativas foram comparadas aos critérios. O cenário para ponderação de critérios e alternativas é mostrado na Figura 5.5.

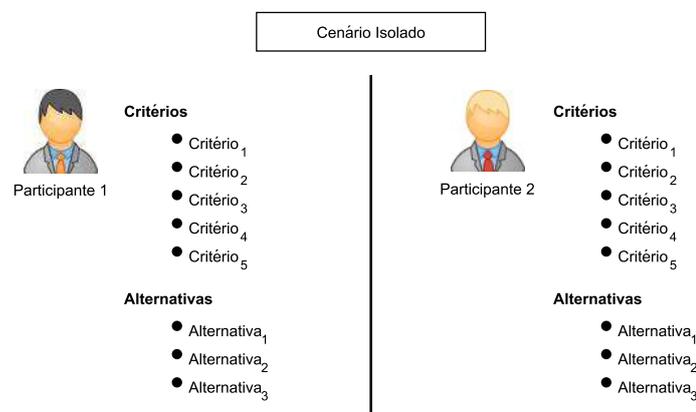


Figura 5.5 – Cenário isolado para ponderação de critérios e alternativas.

¹ O *Expert Choice* é um *software* utilizado para o cálculo do AHP que facilita a entrada de dados e permite um conjunto de análises dos resultados gerados. Mais detalhes podem ser vistos em <http://expertchoice.com/>

Neste, tanto os pesos dos critérios, quanto os pesos das alternativas (comparadas aos critérios), foram feitos de maneira isolada, sem que as informações de um participante interferissem nas informações dos demais.

O cenário isolado permite uma execução mais rápida, com menor ruídos e com uma aderência maior a técnica Delphi. Contudo, uma alternativa a este cenário é mostrada na Figura 5.6. Este, por sua vez, utiliza a ponderação resultante de todos os participantes para a comparação de alternativas. Isto pode ser interessante, pelos motivos:

- permite a normalização dos pesos relativos de cada critério;
- permite o consenso em 2 etapas: uma para os critérios e outra para as alternativas.

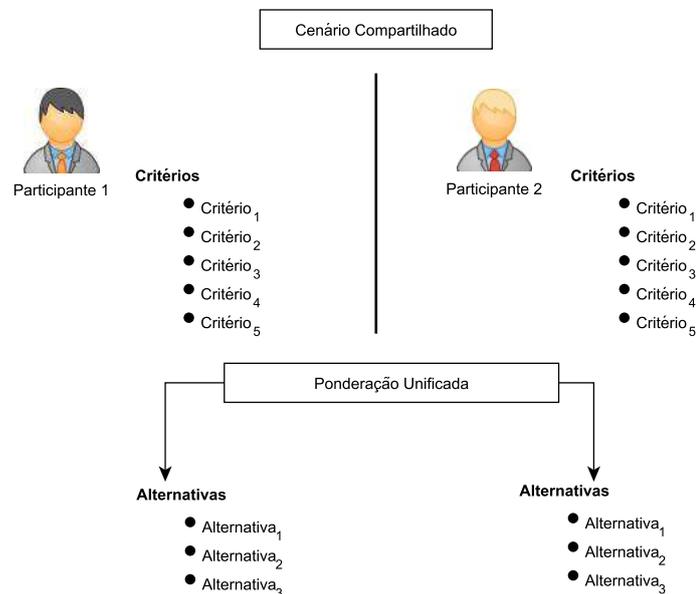


Figura 5.6 – Cenário compartilhado para ponderação de critérios e alternativas.

Neste cenário os critérios são normalizados e disponibilizados para a comparação de alternativas. Embora esta estratégia tenha suas vantagens, optou-se por utilizar o cenário isolado para manter as propriedades do método Delphi. Nota-se que a utilização de um *software* é necessária, dependendo do volume de critérios e alternativas geradas. Isto pode ser considerado um ponto fraco da abordagem, pois manualmente, é inviável calcular todas as ponderações e comparações.

5.1.2.4 Análise dos Resultados

Após todas as ponderações efetuadas, os resultados finais foram apresentados aos participantes para a obtenção do consenso. Neste estudo de caso, somente uma sessão foi necessária. Pode-se notar (Figura 5.7 (c)) que o portfólio *C* teve o maior número de critérios aderente (6 critérios). O portfólio *A* teve pouca

representatividade e o C ficou como uma solução intermediária, mesmo tendo um grande número de critérios aderentes (5 critérios). Deve-se notar que a solução está condicionada, não somente a aderência do portfólio aos critérios, mas, também, ao peso de cada um deles [25, 26].

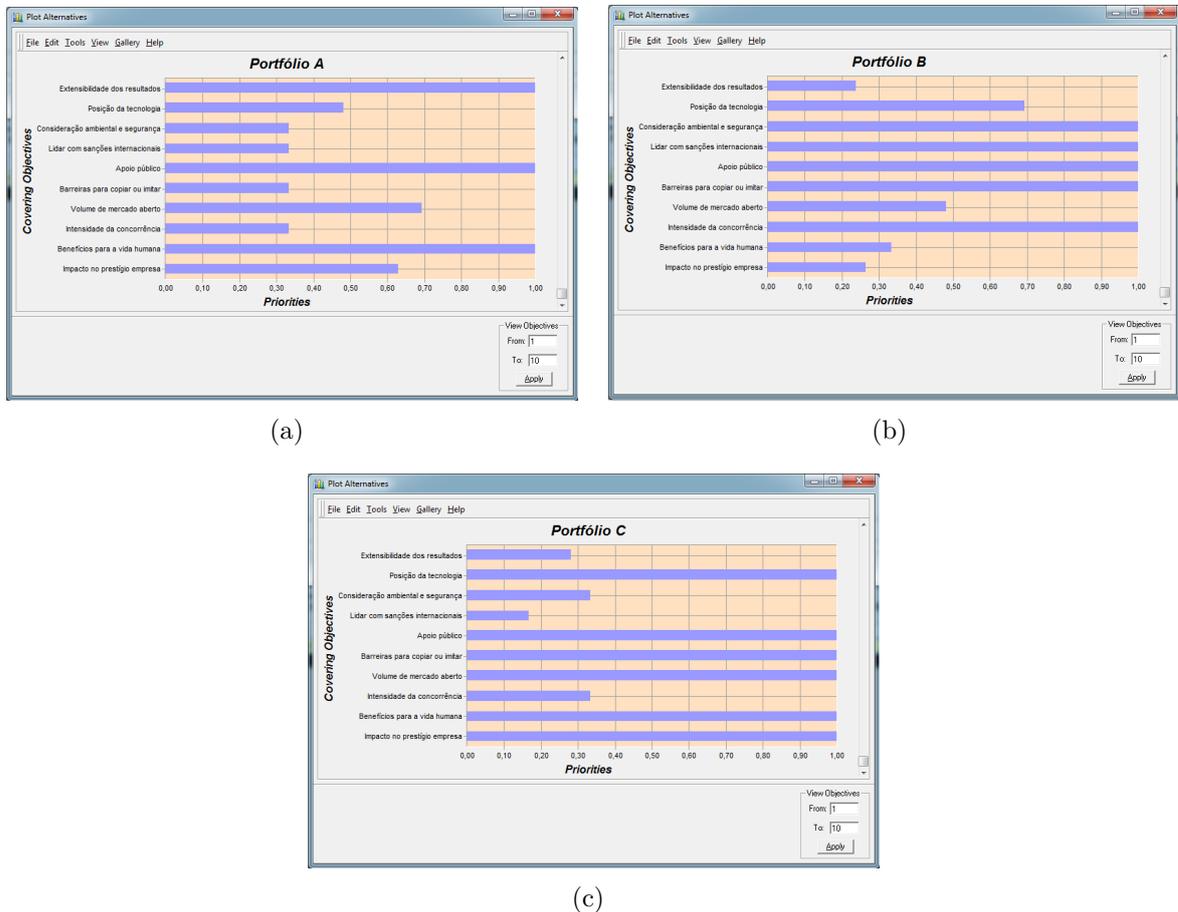


Figura 5.7 – Alguns dos resultados gerados pela ferramenta *Expert Choice*.

A Figura 5.7 (a) mostra a aderência entre do portfólio A com os critérios estabelecidos. Em (b) tem-se a aderência entre do portfólio B com os critérios estabelecidos. Por fim, a Figura (c) mostra a aderência entre do portfólio C com os critérios estabelecidos.

Esta análise permite identificar quais são os critérios mais relevantes, apontados pelos tocadores de decisão. Isto possibilita entender melhor as necessidades e pontos de vista de cada um dos envolvidos no processo de decisão.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 Resultados da Fase I - Busca

A Fronteira de Eficiente é exibida na Figura 5.8. Ela contém portfólios que foram construídos pela combinação dos projetos disponíveis, otimizando as funções

representadas pelas Equações 4.1 e 4.2 e atendendo as restrições expressadas pelas Equações 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7. As soluções contidas no conjunto podem ser consideradas ótimas (do ponto de vista de cada função objetivo). Variações nas restrições (Equação 4.3) alteram o conjunto de soluções (i) reduzindo a quantidade de portfólios disponíveis e (ii) reduzindo a fronteira eficiente (soluções de menor retorno e menor risco), confirmando a teoria de Markowitz [5].

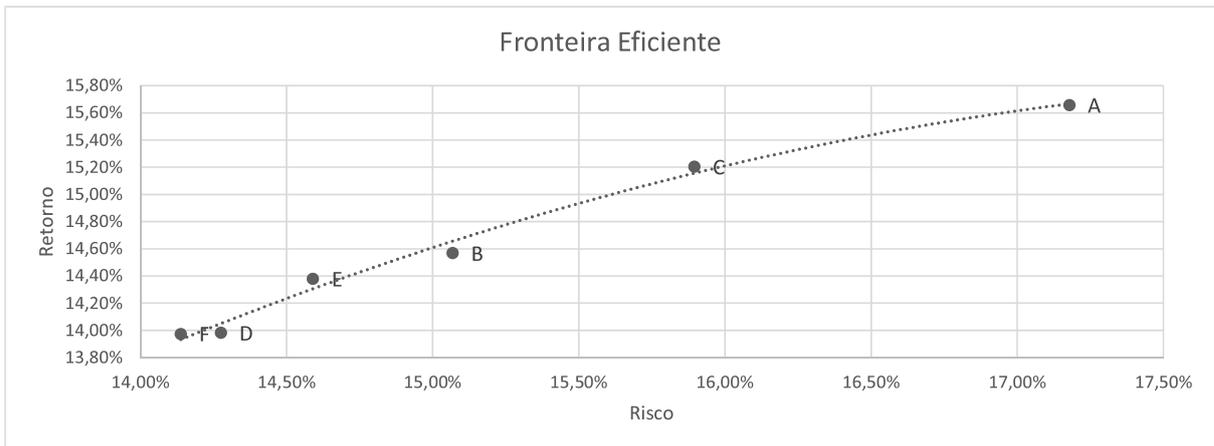


Figura 5.8 – A Fronteira Eficiente calculada pelo método heurístico.

Pode-se notar que uma boa diversidade de soluções foi obtida. Para a função de retorno obteve-se soluções entre os valores de 13% e 16%. Para a função de risco, a diversidade foi maior, com valores entre 14% e 18%.

Um ponto que pode ser considerado como forte é a possibilidade de simular cenários, com variações de restrições, projetos e relações de dependências.

5.2.2 Resultados da Fase II - Decisão

Com o conjunto de soluções gerado pela Fase I (otimização), os tomadores de decisão se reuniram para ponderar os critérios e alternativas. Como as alternativas disponíveis, o conjunto $S = (A, B, C, D, E, F)$, possuem uma concentração de soluções entre os pontos (D, E, F) , os tomadores de decisão optaram em realizar a comparação pareada somente com as soluções (A, B, C) .

A Tabela 5.3 mostra a ponderação de todos os 7 participantes. Esta tabela mostra, também, a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a mediana para cada um dos portfólios.

Tabela 5.3 – Resultado da sessão de ponderação

Portfólio	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Média	Desvio	Varição	Mediana
A	0,273	0,245	0,356	0,381	0,271	0,256	0,324	0,3009	0,0529	0,1759	0,2730
B	0,345	0,348	0,249	0,248	0,282	0,239	0,389	0,3000	0,0600	0,2000	0,2820
C	0,382	0,407	0,395	0,371	0,447	0,505	0,287	0,3991	0,0674	0,1688	0,3950
Resultado	C	C	C	A	C	C	B				

O coeficiente de variação demonstra que os dados são de baixa dispersão. Para todos os portfólios (A, B, C) os coeficientes ficaram abaixo de 25%, sendo o portfólio C escolhido por 5 entre 7 os participantes. A Figura 5.9 (a) mostra a decisão dos participantes em termos de média, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana para cada um dos portfólios. Já, a Figura 5.9 (b) mostra a escolha feita por cada um dos participantes entre os portfólios A, B, C . Tanto para a média, quanto para a mediana, o portfólio com a maior pontuação foi o C . Este por sua vez, foi o portfólio escolhido pelos participantes.

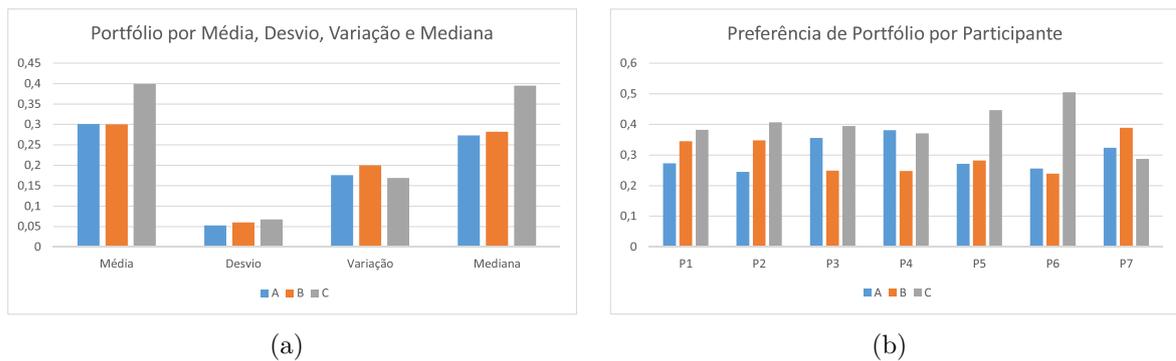


Figura 5.9 – Resultado da sessão de ponderação.

A média e a mediana das pontuações de cada portfólio são mostradas pela Figura 5.10 (a) e (b), respectivamente. Para ambas a pontuação do portfólio C ficou próxima do valor de 39%. Deve-se notar que o mesmo não aconteceu para os demais portfólios. Sendo que a média e a mediana do portfólio A tiveram a maior variação, em torno de 2,79%.

Ambas Figuras 5.9 e 5.10 são representações gráficas da Tabela 5.3.



Figura 5.10 – Portfólio por média e mediana.

Uma comparação entre os riscos e os retornos dos projetos disponíveis e dos projetos que compõem o portfólio C é mostrada na Figura 5.11 (a) e (b), respectivamente. O MOEA obteve uma combinação de projetos que otimizaram ambas funções objetivo, risco e retorno. A Figura 5.11 (a) mostra 16, dos 40 projetos, em que o

risco é maior do que o retorno. Já, a Figura 5.11 (b) mostra 7, de 25 projetos, que o risco é maior do que o retorno. Proporcionalmente, a redução do risco foi de 12%.

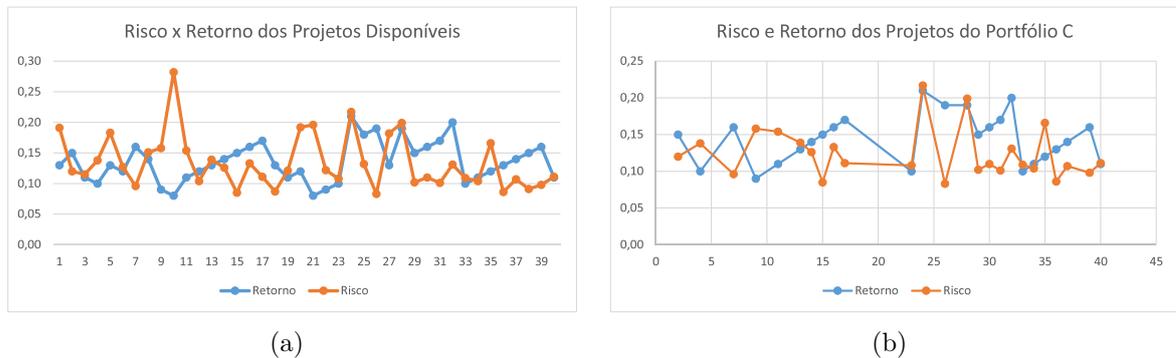


Figura 5.11 – Risco e retorno dos projetos disponíveis (a) e dos projetos do portfólio *C* (b).

Esta redução do risco pode ser evidenciada por meio de outra análise. Comparando-se a média e a mediana dos riscos de todos os projetos disponíveis com a média e a mediana dos projetos que compõem o portfólio *C*, pode-se notar que o risco foi reduzido na média. Pode-se notar, também, que o retorno foi aumentado na mediana. A Tabela 5.4 mostra esta relação. A Figura 5.12 exhibe, graficamente, estes dados.

Tabela 5.4 – Média e mediana dos riscos e retornos dos projetos

	Risco		Retorno	
	Média	Mediana	Média	Mediana
Projetos Disponíveis	13%	11%	14%	13%
Projetos do Portfólio C	12%	11%	14%	15%

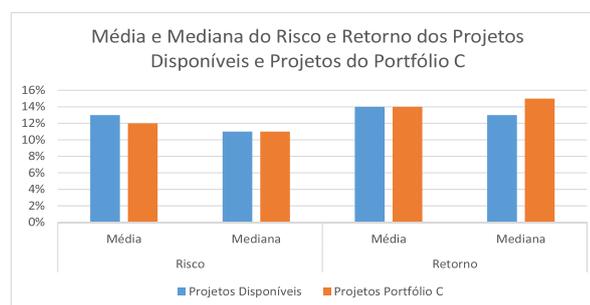


Figura 5.12 – Média e mediana dos riscos e retornos dos projetos.

Classificando os riscos dos projetos disponíveis de acordo com a matriz da Figura 3.5, pode-se notar que a média e a mediana dos riscos do Portfólio *C* são menores, na maioria dos casos, se comparados a média e mediana de todos os projetos disponíveis. Portanto, pode-se concluir que o algoritmo selecionou os projetos que resultam em um portfólio com a menor exposição ao risco. A Figura 5.13 mostra esta comparação. A média e a mediana dos projetos selecionados somente ficaram maiores para os riscos *R5*, *R6*, *R7*.

Sendo a mediana do risco $R6$ com a maior variação, de 0,04 para 0,07. Em (a) tem-se todos os projetos disponíveis. Em (b) tem-se os projetos selecionados para compor o portfólio C .

Riscos										
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
0,05	0,09	0,16	0,36	0,72	0,02	0,00	0,03	0,20	0,28	
0,07	0,10	0,06	0,12	0,24	0,02	0,03	0,00	0,00	0,56	
0,09	0,14	0,00	0,00	0,05	0,56	0,04	0,18	0,08	0,01	
0,56	0,10	0,20	0,24	0,00	0,00	0,03	0,05	0,08	0,12	
0,28	0,56	0,00	0,00	0,20	0,00	0,07	0,72	0,00	0,00	
0,09	0,00	0,03	0,00	0,01	0,06	0,12	0,40	0,00	0,56	
0,18	0,36	0,00	0,14	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18	0,05	
0,20	0,28	0,56	0,18	0,09	0,08	0,03	0,02	0,01	0,06	
0,04	0,00	0,18	0,00	0,36	0,72	0,18	0,00	0,10	0,00	
0,02	2,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,12	0,03	0,05	0,40	
0,00	0,05	0,36	0,14	0,56	0,07	0,24	0,12	0,00	0,00	
0,10	0,20	0,14	0,07	0,18	0,00	0,07	0,00	0,28	0,00	
0,03	0,00	0,05	0,00	0,04	0,09	0,36	0,72	0,10	0,00	
0,08	0,00	0,01	0,00	0,05	0,18	0,36	0,56	0,00	0,02	
0,07	0,36	0,14	0,03	0,10	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00	
0,05	0,10	0,12	0,02	0,10	0,00	0,18	0,10	0,56	0,10	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,72	0,14	0,24	0,00	
0,03	0,36	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,28	0,12	0,01	
0,56	0,00	0,24	0,02	0,03	0,09	0,07	0,00	0,18	0,02	
0,10	0,12	0,00	0,36	0,05	0,00	0,00	0,72	0,56	0,01	
0,24	0,00	0,08	0,24	0,00	0,00	0,12	0,56	0,72	0,00	
0,08	0,04	0,01	0,36	0,09	0,36	0,28	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,10	0,02	0,02	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00	0,72	
0,24	0,24	0,04	0,01	0,36	0,10	0,72	0,06	0,40	0,00	
0,08	0,05	0,05	0,00	0,12	0,01	0,18	0,05	0,06	0,72	
0,56	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04	0,04	0,01	
0,72	0,05	0,10	0,36	0,05	0,01	0,09	0,01	0,40	0,03	
0,00	0,24	0,72	0,72	0,24	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	
0,10	0,00	0,00	0,01	0,56	0,07	0,18	0,03	0,07	0,00	
0,07	0,08	0,02	0,02	0,72	0,01	0,04	0,14	0,00	0,00	
0,04	0,24	0,00	0,02	0,00	0,28	0,00	0,28	0,05	0,10	
0,28	0,02	0,03	0,05	0,01	0,14	0,10	0,09	0,03	0,56	
0,24	0,05	0,00	0,09	0,02	0,20	0,20	0,28	0,01	0,00	
0,18	0,00	0,00	0,01	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,72	
0,20	0,36	0,01	0,00	0,09	0,24	0,10	0,10	0,56	0,00	
0,00	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,08	0,03	0,56	0,00	
0,18	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,72	
0,72	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,10	
0,07	0,03	0,02	0,72	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10	
0,04	0,02	0,01	0,00	0,09	0,09	0,00	0,72	0,03	0,11	
Média	0,17	0,16	0,09	0,11	0,13	0,09	0,12	0,16	0,15	0,15
Mediana	0,09	0,08	0,03	0,02	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06	0,02

(a)

Riscos										
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
0,07	0,10	0,06	0,12	0,24	0,02	0,03	0,00	0,00	0,56	
0,56	0,10	0,20	0,24	0,00	0,00	0,03	0,05	0,08	0,12	
0,18	0,36	0,00	0,14	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18	0,05	
0,04	0,00	0,18	0,00	0,36	0,72	0,18	0,00	0,10	0,00	
0,00	0,05	0,36	0,14	0,56	0,07	0,24	0,12	0,00	0,00	
0,10	0,20	0,14	0,07	0,18	0,00	0,07	0,00	0,28	0,00	
0,03	0,00	0,05	0,00	0,04	0,09	0,36	0,72	0,10	0,00	
0,08	0,00	0,01	0,00	0,05	0,18	0,36	0,56	0,00	0,02	
0,07	0,36	0,14	0,03	0,10	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00	
0,05	0,10	0,12	0,02	0,10	0,00	0,18	0,10	0,56	0,10	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,72	0,14	0,24	0,00	
0,03	0,36	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,28	0,12	0,01	
0,56	0,00	0,24	0,02	0,03	0,09	0,07	0,00	0,18	0,02	
0,10	0,12	0,00	0,36	0,05	0,00	0,00	0,72	0,56	0,01	
0,24	0,00	0,08	0,24	0,00	0,00	0,12	0,56	0,72	0,00	
0,08	0,04	0,01	0,36	0,09	0,36	0,28	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,10	0,02	0,02	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00	0,72	
0,24	0,24	0,04	0,01	0,36	0,10	0,72	0,06	0,40	0,00	
0,08	0,05	0,05	0,00	0,12	0,01	0,18	0,05	0,06	0,72	
0,56	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04	0,04	0,01	
0,72	0,05	0,10	0,36	0,05	0,01	0,09	0,01	0,40	0,03	
0,00	0,24	0,72	0,72	0,24	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	
0,10	0,00	0,00	0,01	0,56	0,07	0,18	0,03	0,07	0,00	
0,07	0,08	0,02	0,02	0,72	0,01	0,04	0,14	0,00	0,00	
0,04	0,24	0,00	0,02	0,00	0,28	0,00	0,28	0,05	0,10	
0,28	0,02	0,03	0,05	0,01	0,14	0,10	0,09	0,03	0,56	
0,24	0,05	0,00	0,09	0,02	0,20	0,20	0,28	0,01	0,00	
0,18	0,00	0,00	0,01	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,72	
0,20	0,36	0,01	0,00	0,09	0,24	0,10	0,10	0,56	0,00	
0,00	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,08	0,03	0,56	0,00	
0,18	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,72	
0,72	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,10	
0,07	0,03	0,02	0,72	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10	
0,04	0,02	0,01	0,00	0,09	0,09	0,00	0,72	0,03	0,11	
Média	0,13	0,11	0,08	0,10	0,15	0,10	0,14	0,14	0,13	0,16
Mediana	0,07	0,07	0,02	0,02	0,05	0,07	0,04	0,05	0,04	0,01

(b)

Figura 5.13 – Comparação entre os riscos de todos os projetos e os riscos do portfólio escolhido.

Por fim, pode-se observar o comportamento dos projetos contidos no portfólio C com relação a seu respectivo investimento. A soma total dos projetos não feriu a restrição de investimento imposta e gerou um portfólio com projetos que podem ser classificados nas faixas:

- 0,00 até 30.000,00 - 17 projetos - 68% do portfólio;
- 30.000,01 até 60.000,00 - 4 projetos - 16% do portfólio;
- 60.000,01 até 100.000,00 - 4 projetos - 16% do portfólio.

Esta análise permite que os gerentes de projeto e/ou gerentes de portfólio tenham uma visão de como os investimentos podem ser desembolsados ao longo do tempo, para melhorar o fluxo de caixa dos projetos. Ela permite, também, que o investimento do



Figura 5.14 – Investimento por projetos contidos no portfólio C .

projeto seja um dos critérios para priorização da ordem de execução [2]. A Figura 5.14 mostra esta análise.

Dois exemplos de como os riscos, dos projetos contidos no portfólio C , foram correlacionados pelo MOEA são mostrados na Figura 5.15 (a) e (b). Os riscos dos projetos 2 e 4 possuem uma correlação positiva, sendo que estes estão expostos de maneira similar aos riscos do portfólio. Já, os projetos 7 e 9, possuem uma correlação que gera uma exposição menor da carteira.

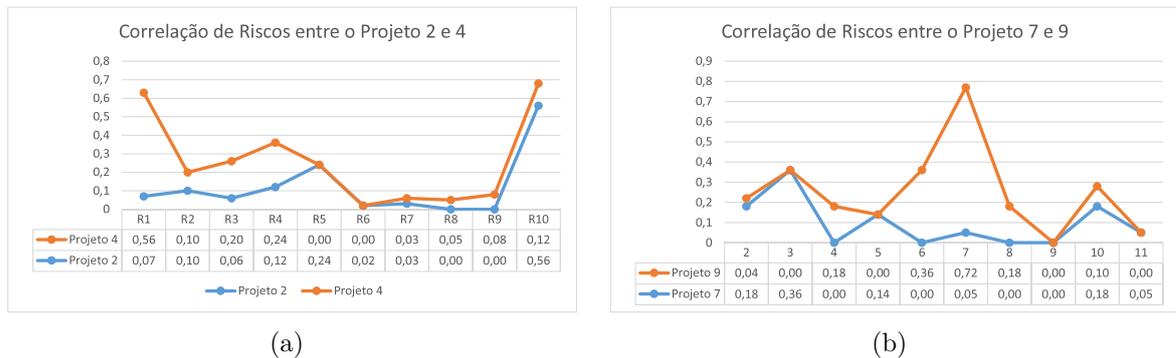


Figura 5.15 – Correlação de risco entre alguns projetos do portfólio C .

A Figura 5.16, apresenta detalhes deste portfólio, como: retorno, risco, investimento, quantidade de projetos e projetos. Deve se notar que a média e a mediana dos riscos são diferentes do risco do portfólio. Idem para o retorno.

5.3 CONSIDERAÇÕES

O processo adotado (Figura 5.1), nesse estudo de caso, organizou a tomada de decisão e facilitou o consenso entre os participantes. Uma boa comunicação e pessoas que tenham conhecimento sobre os projetos e estratégias da organização colaboram com a execução do mesmo.

Para a Fase II (pós-otimização) utilizou-se o *software Expert Choice* para realizar a comparação pareada, e análise de dados. Recomenda-se o uso de soluções similares, pois o processo de construção dos cálculos do AHP, apesar de simples, são

Portfólio C

Investimento	836.000,00
Risco	15,90%
Retorno	15,20%

Projeto	Investimento	Retorno	Risco	Mandatário	Includências	Excludências	Riscos									
							R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
2	15.000,00	0,15	0,12	0			0,07	0,10	0,06	0,12	0,24	0,02	0,03	0,00	0,00	0,56
4	30.000,00	0,10	0,14	0			0,56	0,10	0,20	0,24	0,00	0,00	0,03	0,05	0,08	0,12
7	12.000,00	0,16	0,10	0			0,18	0,36	0,00	0,14	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18	0,05
9	16.000,00	0,09	0,16	0			0,04	0,00	0,18	0,00	0,36	0,72	0,18	0,00	0,10	0,00
11	15.000,00	0,11	0,15	0			0,00	0,05	0,36	0,14	0,56	0,07	0,24	0,12	0,00	0,00
13	19.000,00	0,13	0,14	0			0,03	0,00	0,05	0,00	0,04	0,09	0,36	0,72	0,10	0,00
14	80.000,00	0,14	0,13	0			0,08	0,00	0,01	0,00	0,05	0,18	0,36	0,56	0,00	0,02
15	90.000,00	0,15	0,09	1			0,07	0,36	0,14	0,03	0,10	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00
16	50.000,00	0,16	0,13	0			0,05	0,10	0,12	0,02	0,10	0,00	0,18	0,10	0,56	0,10
17	70.000,00	0,17	0,11	0			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,72	0,14	0,24	0,00
23	40.000,00	0,10	0,11	0			0,00	0,10	0,02	0,02	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00	0,72
24	45.000,00	0,21	0,22	0			0,24	0,24	0,04	0,01	0,36	0,10	0,72	0,06	0,40	0,00
26	60.000,00	0,19	0,08	1			0,56	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04	0,04	0,01
28	80.000,00	0,19	0,20	0			0,00	0,24	0,72	0,72	0,24	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01
29	20.000,00	0,15	0,10	0			0,10	0,00	0,00	0,01	0,56	0,07	0,18	0,03	0,07	0,00
30	21.000,00	0,16	0,11	0			0,07	0,08	0,02	0,02	0,72	0,01	0,04	0,14	0,00	0,00
31	12.000,00	0,17	0,10	0			0,04	0,24	0,00	0,02	0,00	0,28	0,00	0,28	0,05	0,10
32	13.000,00	0,20	0,13	0			0,28	0,02	0,03	0,05	0,01	0,14	0,10	0,09	0,03	0,56
33	15.000,00	0,10	0,11	0			0,24	0,05	0,00	0,09	0,02	0,20	0,20	0,28	0,01	0,00
34	21.000,00	0,11	0,10	0			0,18	0,00	0,00	0,01	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,72
35	25.000,00	0,12	0,17	0			0,20	0,36	0,01	0,00	0,09	0,24	0,10	0,10	0,56	0,00
36	23.000,00	0,13	0,09	0			0,00	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,08	0,03	0,56	0,00
37	28.000,00	0,14	0,11	0			0,18	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,72
39	21.000,00	0,16	0,10	0			0,07	0,03	0,02	0,72	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10
40	15.000,00	0,11	0,11	0			0,04	0,02	0,01	0,00	0,09	0,09	0,00	0,72	0,03	0,11
Média		0,14	0,12													
Mediana		0,15	0,11													

Figura 5.16 – Portfólio escolhido pela abordagem.

volumosos e se feitos manualmente, ou com uma ferramenta não adequada, poderão gerar resultados incorretos.

Comparado ao método atual, utilizado pela empresa (Modelo de Pontuação) onde o estudo de caso foi aplicado, a abordagem mostrou-se mais efetiva pelos motivos:

- Permite a inclusão de restrições ao problema;
- Permite a combinação de projetos para criar o melhor portfólio;
- Otimiza, ao mesmo tempo, risco e retorno;
- Utiliza informações quantitativas e qualitativas;
- Permite a participação dos interessados, no processo de decisão de maneira estruturada.

O método atual não atende nenhum destes requisitos e utiliza uma abordagem de seleção de projetos, não de seleção de portfólio. Além disso, o método atual trabalha somente com um objetivo, maximizar o retorno. A abordagem multicritério permite que vários objetivos possam ser considerados.

Por fim, um resumo dos pontos fortes e fracos da abordagem, evidenciados pelo estudo de caso, são mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Pontos fortes (a) e fracos (b) da abordagem

ID	Descrição	Evidência
(a) Pontos Fortes		
1	Entrada de dados relativamente pequena e quantitativa	Seção 5.1.1.1, Figura 5.2
2	A fase de otimização pode ser feita por uma única pessoa	Seção 5.1.2.1
3	Permite a simulação de cenários, com variações de restrições, projetos, relações de dependências, etc.	Seção 5.2.1
(b) Pontos Fracos		
1	Tempo de convergência relacionados com a entrada de dados (projetos e riscos)	Seção 5.1.1.3
2	A sessão de ponderação exige um software para calcular o resultado do AHP	Seção 5.1.2.3

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os métodos e algoritmos discutidos aqui tiveram como objetivo propor e avaliar uma abordagem multicritério para o problema de seleção de portfólio de projetos. Esta abordagem apresenta um conjunto de técnicas para decisões corporativas, que são tomadas sob um portfólio de projetos, e fornece uma nova dimensão aos modelos de seleção de portfólio de projetos existentes.

A função de retorno do portfólio mostrou-se adequada pois permite que cada projeto tenha seu peso relativo dentro do portfólio, fazendo que projetos de maiores retornos sobre o investimento tenham uma participação maior no retorno do portfólio.

A função de risco apresentou um resultado favorável e permitiu que os projetos com a menor correlação entre riscos da mesma natureza, pudessem ser combinados para a composição do portfólio. Adicionalmente, isto permite que a organização tenha uma visão mais abrangente dos riscos envolvidos no portfólio de projetos possibilitando uma análise mais criteriosa dos riscos de cada projeto.

O método de covariância dos projetos dentro do portfólio auxiliou a função de risco e apresentou uma forma de correlacionar projetos dentro de um portfólio sem a necessidade de dados históricos e principalmente fornecendo uma maneira quantitativa para a determinação dos riscos de cada projeto.

O NSGA-II, adaptado ao PSPP, forneceu uma boa aproximação da Fronteira Eficiente e auxiliou na busca das melhores combinações de projetos em um tempo de execução adequado. Além disso, este algoritmo permitiu que a exploração do espaço de busca de duas funções objetivo (risco e retorno) pudessem ocorrer simultaneamente.

Os critérios utilizados para a criação de um arcabouço que permite aos tomadores de decisão escolher, modificar e derivar novos critérios foi apropriado e demonstrou-se útil, principalmente quando os tomadores de decisão não têm conhecimento prévio a respeito de tomadas de decisão utilizando múltiplos critérios.

Isto foi facilitado também pela utilização do método AHP, que permite a decomposição da decisão em uma estrutura que facilita o entendimento dos julgamentos a serem efetuados e principalmente, possibilita a tradução de informações qualitativas em dados quantitativos, que podem ser comparados e analisados.

É importante ressaltar que a tomada de decisão pressupõe um entendimento mais amplo e complexo do que o uso isolado de um método específico [25, 26]. A abordagem apresentada, neste trabalho, favorece e orienta a tomada de decisão, mas não deve ser utilizada como único critério pois ela admite que a decisão sobre um portfólio é fruto de negociação, de aspectos humanos e de análise estratégica.

Dentre as vantagens da abordagem multicritério para seleção de portfólio de projetos, pode-se citar:

- Permite a simulação de cenários por conta do modelo matemático. Neste caso as entradas de dados, restrições, funções objetivo e parâmetros do MOEA podem ser alterados. Isto permite que a organização possa verificar os portfólios resultantes em diferentes contextos.
- Permite a utilização de critérios quantitativos e qualitativos. A primeira fase da abordagem limita as opções por meio de dados quantitativos. Isto reduz a complexidade da decisão, o que permite que informações qualitativas, possam ser empregadas. Estas informações adicionam uma nova perspectiva à decisão, pois poderá fazer uso do conhecimento tácito dos decisores.
- Estrutura o processo de decisão (sobre qual portfólio escolher). Essa abordagem pode ser utilizada como um modelo de referência quando a organização tiver um problema similar.
- Reduz interferências por conta de ponderações sem fundamentação e/ou métodos. A primeira fase da abordagem trabalha com informações quantitativas, o que aumenta a precisão do resultado proporcionalmente a precisão dos dados de entrada. A segunda fase reduz os ruídos, por meio do método de ponderação pareada, ao utilizar-se informações qualitativas.

Alguns pré-requisitos devem ser atendidos para que a abordagem possa ser utilizada com uma maior efetividade. Dentre eles pode-se citar:

- Necessidade de uma boa estimativa de custos. Caso a organização não tenha maturidade para organizar os projetos que estão no portfólio, essa abordagem poderá ter pouca eficácia. Isto deve-se ao fato da entrada de dados para a primeira fase utilizar dados de custos de cada projeto. O cálculo de custo não apresenta um grande desafio, mas a obtenção dos dados sim. Isto pode ser originado pelos mais variados fatores, como: (i) dificuldade em mensurar o custo de uma atividade do projeto, (ii) complexidade em obter informações precisas sobre a fonte de financiamento, entre outros.
- Necessidade de uma abordagem quantitativa para mensuração de riscos. O cálculo dos riscos de um projeto tem alguns desafios [2]. Projeções, simulações, riscos residuais, dificuldade em quantificar um risco são uns dos vários complicadores para se obter um nível aceitável de precisão.
- Necessidade de uma boa estimativa de retorno sobre o investimento. Obter os possíveis retornos sobre um determinado projeto mesmo com a utilização de técnicas como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), entre outras, poderá ser complexo. Esta complexidade está associada ao fato dos dados disponíveis, geralmente, terem baixa precisão.

- Só faz sentido se os projetos estiverem expostos aos riscos durante o mesmo período de execução. Se os projetos não forem executados durante o período onde a correlação de riscos esteja presente, a função que retorna o risco do portfólio tende a ser prejudicada. Isto se deve ao fato de dois ou mais projetos não estarem expostos, temporalmente, ao mesmo risco.

Dentre as contribuições da abordagem para a *computação*, pode-se citar:

- Formulação matemática do problema: equacionar o problema em termos de funções objetivo $f(o) = f(1), f(2), \dots, f(n)$ e restrições para solucionar a análise combinatória 2^n , gerando portanto, um conjunto de soluções (ou *trade-off*).
- Hierarquia de critérios para seleção de portfólio: estrutura com os critérios utilizados no contexto do problema que auxiliem um decisor a escolher, de maneira organizada, um único portfólio, utilizando para isto informações qualitativas.
- Análise da correlação entre projetos (em termos de riscos). O método para apresentar a exposição de n projetos a m riscos permite ao MOEA realizar a busca da função objetivo risco para obter a combinação de projetos que resulta em um portfólio com o menor variância.
- Teste de um MOEA (NSGA-II) para a resolução de um problema específico, avaliando a eficiência e eficácia do mesmo.

Dentre as contribuições em um contexto *interdisciplinar* (administração, economia, finanças e gerenciamento de projetos), pode-se citar:

- Auxilia a tomada de decisões sobre viabilidade de possíveis mudanças no projeto envolvendo escopo, cronograma, qualidade, custos, entre outras. Isto poderá gerar um benefício para a organização, devido ao fato da abordagem ter a necessidade de um aumento do nível de maturidade em gerenciamento de projetos.
- Permite alinhar os objetivos do projeto aos objetivos da organização. Caso algum projeto que tenha sido escolhido pela fase de busca não tenha relação com os objetivos estratégicos da organização, os mesmo poderão ser identificados durante a fase de decisão. Isto faz com que o entendimento e o alinhamento entre os projetos e a estratégia sejam melhorados [2].

Por fim, uma outra contribuição, de caráter prático, é mostrada no Anexo D. Estas imagens são as interfaces de um software criado para suportar o processo de gerenciamento de portfólio de projetos (Anexo C) e facilitar a entrada de dados do MOEA.

Existem algumas questões, tanto do ponto de vista do problema quanto do ponto de vista da solução, que poderão ser pesquisadas em trabalhos futuros. Dentre as questões, do ponto de vista do problema, pode-se citar:

- Adicionar a possibilidade de selecionar a fonte de investimento do projeto, balanceando, assim, o risco. Por exemplo, a função objetivo que deve ser maximizada $E(R)$ pressupõe que a fonte de recursos para o investimento em um projeto e/ou portfólio é única. No entanto, ela pode ser combinada entre fontes de recursos *próprios* e de *terceiros*, para reduzir o risco de investimento. Dos modelos que podem ser utilizados para isto, pode-se destacar o *Weighted Average Cost of Capital* (WACC).
- A escolha de um portfólio é um processo de decisão [25, 26]. Neste trabalho, esta decisão (na primeira fase) considerou somente informações internas, ignorando informações de outros tomadores de decisão externos. Por exemplo, o que aconteceria se ao selecionar o projeto A , uma empresa concorrente resolvesse executar um projeto similar? Este campo é tratado pela *Teoria dos Jogos*.

Em termos de solução, ou seja, como a problema foi resolvido, pode-se citar algumas formas de melhorar a diversidade de soluções, bem como a Fronteira Eficiente:

- Espaços de busca altamente restritos. Neste trabalho algumas restrições foram impostas [27]. No entanto, existem outras restrições que são pertinentes ao problema de seleção de portfólio como por exemplo (i) calendário de recursos, *time-to-market* [2], entre outras.

Referências

- [1] KILLEN, C. Managing the new product development project portfolio: a review of the literature and empirical evidence. *Management of Engineering and Technology*, p. 5–9, 2007.
- [2] INSTITUTE, P. M. *The Standard for Portfolio Management*. 3st. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2013. ISBN 978-1-935589-69-3.
- [3] LEVINE, H. A. *Project Portfolio Management: A practical guide to selecting projects, managing portfolios and maximizing benefits*. 1st. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2007. ISBN 978-0-787977-54-2.
- [4] LOURENÇO, J.; MORTON, A.; COSTA, C. B. e. PROBE - A multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. *Decision Support Systems*, v. 4668, p. 534–550, 2012.
- [5] MARKOWITZ, H. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, p. 77–91, 1952.
- [6] KREMMEL, T.; KUBALIK, J.; BIFFL, S. Multiobjective evolutionary algorithm for software project portfolio optimization. *Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation - GECCO '10*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 1389, 2010.
- [7] METAXIOTIS, K.; LIAGKOURAS, K. Multiobjective Evolutionary Algorithms for Portfolio Management: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, Elsevier Ltd, v. 39, n. 14, p. 11685–11698, out. 2012. ISSN 09574174.
- [8] ELECTRICAL, T. I. of; ENGINEERS, E. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK), version 3.0*. [S.l.]: IEEE, 2014.
- [9] STANDARDIZATION, I. O. F. *System and software engineering - Software life cycle processes - ISO/IEC 12207:2008*. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 2008.
- [10] AMBLER, J. N. S. W.; VIZDOS, M. *The Enterprise Unified Process: Extending the Rational Unified Process*. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 2005.
- [11] INSTITUTE, S. E. *CMMI-DEV v1.3*. [S.l.]: SEI, 2010.
- [12] SOFTEX. *Melhoria de Processo do Software Brasileiro*. [S.l.]: SOFTEX, 2012.
- [13] COMMERCE, O. of G. *ITIL Service Strategy 2011 Edition*. [S.l.]: The Stationery Office, 2011.

- [14] ISACA. *Control Objectives for Information and Related Technology 5 Edition*. [S.l.]: ISACA, 2012.
- [15] SOFTEX. *Melhoria de Processo do Software e Serviços*. [S.l.]: SOFTEX, 2012.
- [16] COMPUTER, C.; AGENCY, T. *Projects in Controlled Environments, version 2*. [S.l.]: CCTA, 2009.
- [17] WAZLAWICK, R. S. *Metodologia de Pesquisa em Ciência da Computação*. [S.l.]: Campus, 2009.
- [18] SAENZ, T. W.; CAPOTE, E. G. *Ciência, inovação e gestão tecnológica*. [S.l.]: CNI/IEL/SENAI, ABIPTI, 2002.
- [19] COELLO, G. B. L. C. A. C.; VELDHUIZEN, D. A. V. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems 2 Edition*. [S.l.]: Springer, 2007.
- [20] ZITZLER, E.; THIELE, L. *Parallel problem solving from nature - PPSN V*, n. September, p. 292–301.
- [21] ABRAHAM, L. J. A.; GOLDBERG, R. *Evolutionary Multiobjective Optimization : Theoretical Advances and Applications*. [S.l.]: Springer, 2004.
- [22] ZBIGNIEW, M.; B, F. D. *How to Solve It: Modern Heuristics*. [S.l.]: Springer, 2004.
- [23] DEB, K.; PRATAP, A. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, v. 6, n. 2, p. 182–197, 2002.
- [24] SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. [S.l.]: McGraw-Hill International, 1980.
- [25] GOMEDE, E.; BARROS, R. M. dde. Utilizando o método analytic hierarchy process (ahp) para priorização de serviços de ti: Um estudo de caso. *VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, p. 408–419, 2012.
- [26] GOMEDE, E.; PROENCA, M. L.; BARROS, R. M. de. Networks baselines and analytic hierarchy process: An approach to strategic decisions. *IADIS International Conference Applied Computing*, p. 34–41, 2012.
- [27] WANG, C.; SHOU, Y. Application of real options in project portfolio selection. *2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications*, Ieee, p. 848–853, dez. 2011.
- [28] IAMRATANAKUL, S. Project portfolio selection: From past to present. *Management of Innovation and Technology*, Ieee, p. 287–292, set. 2008.

- [29] BARROS, M.; COSTA, H. Multiobjective optimization for project portfolio selection. *Proceedings of the fourteenth international conference on Genetic and evolutionary computation conference companion, GECCO Companion '12*, ACM Press, New York, New York, USA, p. 1541, 2012.
- [30] DANMEI, Z.; TIE, Z. A novel R&D project portfolio selection decision approach based on fuzzy logic and heuristics scheduling. *Control and Decision Conference, 2008. CCDC 2008. Chinese*, p. 144–147, 2008.
- [31] DANMEI, Z.; XINGTONG, W.; RONGRONG, R. A Heuristics R and D Projects Portfolio Selection Decision System Based on Data Mining and Fuzzy Logic. *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Ieee, p. 118–121, 2010.
- [32] MIRA, C. et al. A GRASP-based Heuristic for the Project Portfolio Selection Problem. *2012 IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering*, Ieee, p. 36–41, 2012.
- [33] MIRA, C.; FEIJAO, P.; SOUZA, M. A project portfolio selection decision support system. *Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, p. 725–730, 2013.
- [34] DUTRA, C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; CARVALHO, M. M. de. An economic-probabilistic model for project selection and prioritization. *International Journal of Project Management*, Elsevier Ltd APM and IPMA, p. 1042–1055, fev. 2014. ISSN 02637863.
- [35] ABBASSI, M.; ASHRAFI, M.; Sharifi Tashnizi, E. Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. *Technovation*, v. 34, n. 1, p. 54–63, jan. 2014. ISSN 01664972.
- [36] VILKKUMAA, E.; LIESIÖ, J.; SALO, A. Optimal strategies for selecting project portfolios using uncertain value estimates. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V., v. 233, n. 3, p. 772–783, mar. 2014. ISSN 03772217.
- [37] JR. WILLIAM C. BLACK, B. J. B. R. E. A. J. F. H.; TATHAM, R. L. *Análise Multivariada de Dados*. [S.l.]: Bookman, 2009.
- [38] YIN, R. K. *Estudo de Caso - Planejamento e Métodos*. [S.l.]: Bookman, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Genótipos Gerados

Estes são os genótipos gerados que pertencem a Fronteira Eficiente. O fenótipo representa a decodificação da sequência binária nos identificadores dos projetos. A coluna Qtde. representa a quantidade de projetos que compõem o portfólio. As colunas Invest., Risco e Retorno representam, respectivamente, o valor total a ser investido no portfólio, o risco do portfólio e o retorno do mesmo.

Genótipo	Fenótipo	Qtde.	Invest.	Risco	Retorno
'0111101100101010100001111101110100100100	2,3,4,5,7,8,11,13,15,17,22,23,24,25,26,28,29,30,32,35,38	21	697000	17,18%	15,66%
'1001000110010111110001110110011111011100	1,4,8,9,12,14,15,16,17,18,22,23,24,26,27,30,31,32,33,34,36,37,38	23	779000	15,07%	14,57%
'010100101010111110000011010111111111011	2,4,7,9,11,13,14,15,16,17,23,24,26,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,39,40	25	836000	15,90%	15,20%
'111100001011101101101010100101011011111	1,2,3,4,9,11,12,13,15,16,18,19,21,22,24,26,29,31,33,34,36,37,38,39,40	25	669000	14,28%	13,98%
'1010101110001010100011101100111111001111	1,3,5,7,8,9,13,15,17,21,22,23,25,26,29,30,31,32,33,34,37,38,39,40	24	660000	14,59%	14,38%
'0011000010111011011011010100101011011111	3,4,9,11,12,13,15,16,18,19,21,22,24,26,29,31,33,34,36,37,38,39,40	23	644000	14,14%	13,97%

Figura A.1 – Lista de genótipos gerados.

ANEXO B – Contexto Organizacional

O contexto organizacional do gerenciamento de portfólio de projetos. O objetivo principal é utilizar, de forma correta, os recursos organizacionais disponíveis para a realização da estratégia definida pela organização [2].



Figura B.1 – O contexto organizacional do gerenciamento de portfólio de projetos [2].

ANEXO C – Processo para GPP

Este é o processo para Gerenciamento de Portfólio de Projetos (GPP) recomendado pelo *Project Management Institute* (PMI) [2]. O trabalho apresentado, nesta dissertação, está relacionado com a atividade *Selecionar*, contida no grupo de processos Gerenciamento de Portfólio.

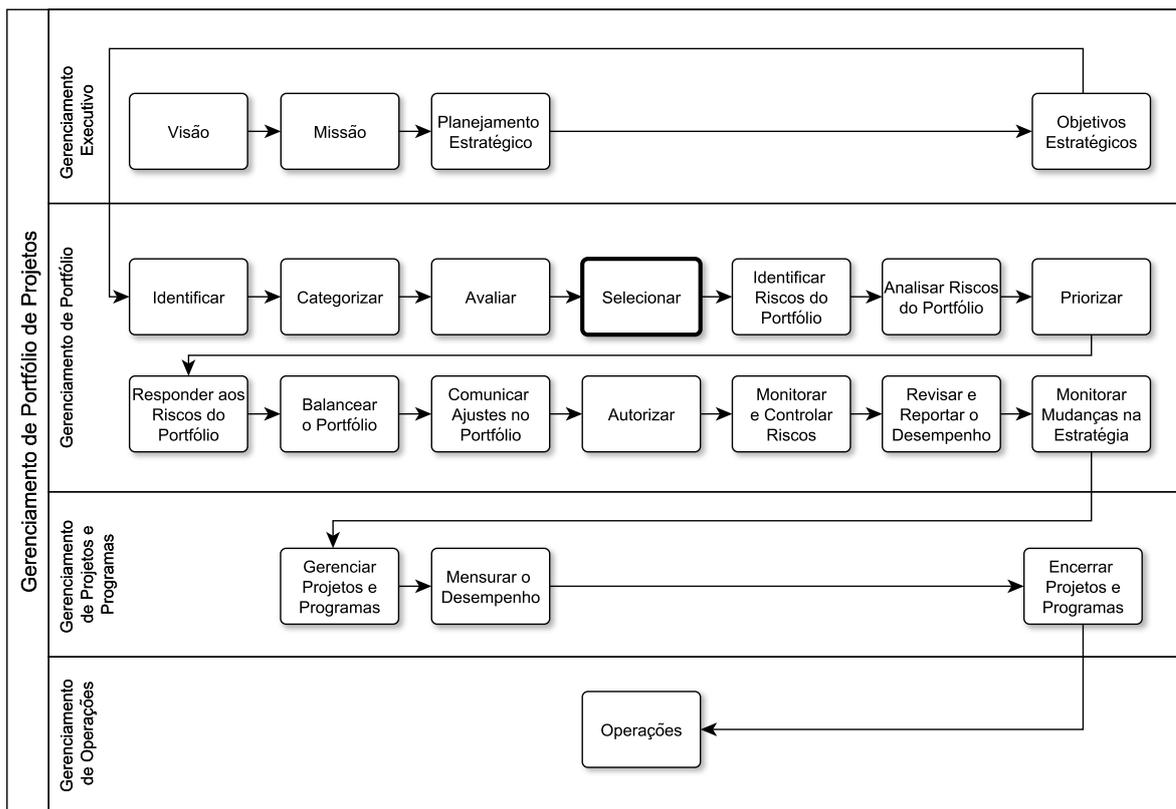


Figura C.1 – Processo para Gerenciamento de Portfólio de Projetos (GPP) recomendado pelo *Project Management Institute* (PMI) [2].

ANEXO D – *Software* para GPP

Abaixo, algumas interfaces do *software* para Gerenciamento de Portfólio são mostradas. Este *software* é uma contribuição prática resultante da pesquisa.

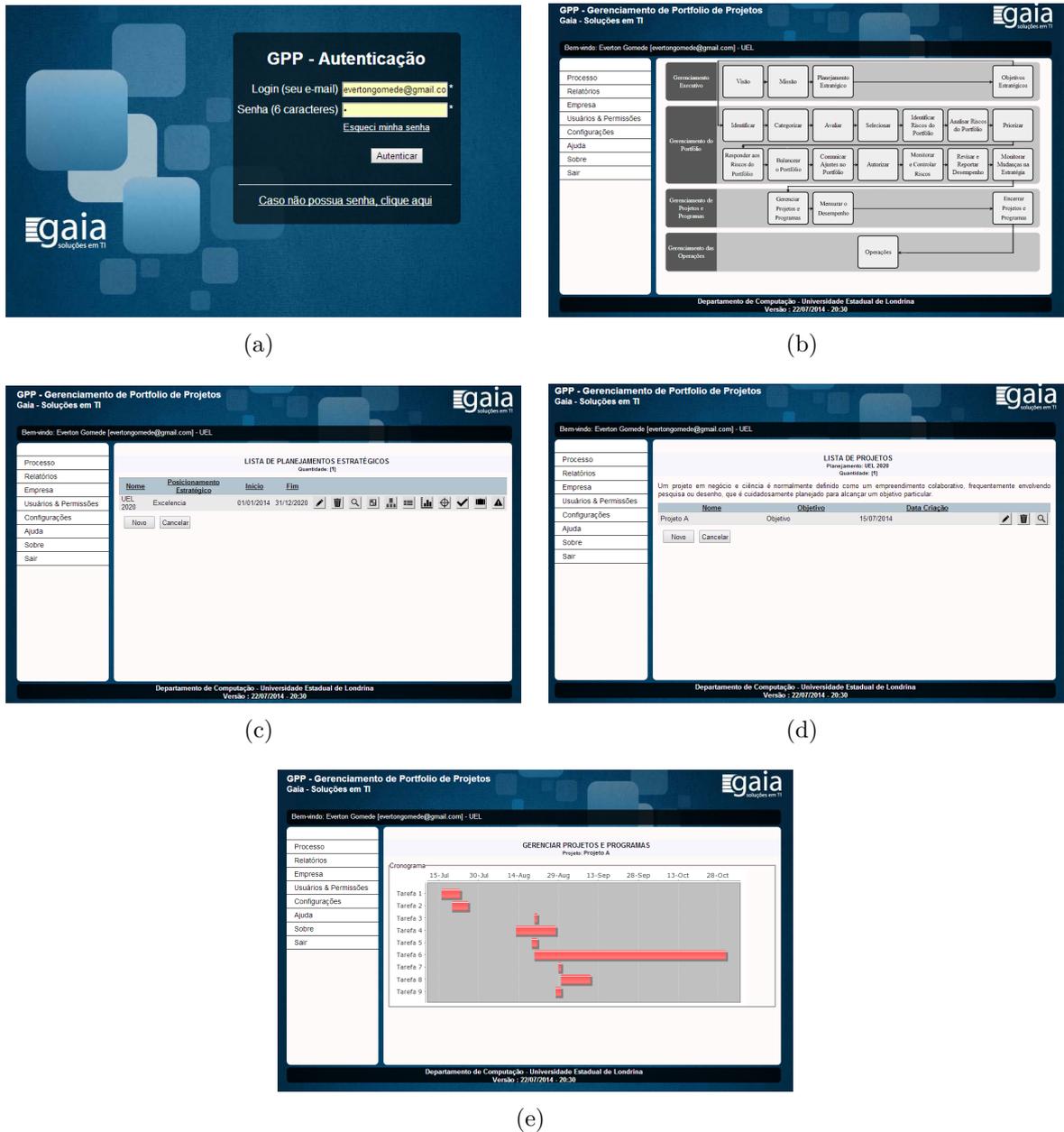


Figura D.1 – *Software* para Gerenciamento de Portfólio.

A Figura (a) mostra a interface de autenticação. A Figura (b) mostra a interface principal. A Figura (c) mostra a interface de planejamento estratégico. A Figura (d) mostra a interface de gerenciamento de projetos. A Figura (e) mostra a interface para acompanhamento de projetos.

Trabalhos publicados pelo Autor

1. **GOMEDE**, E.; BARROS, R.M.; Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2012, São Paulo. p. 408-419. (Qualis CC 2014 – B4)
2. **GOMEDE**, E.; PROENÇA JR., M.L.; BARROS, R.M.; Networks Baselines and Analytic Hierarchy Process: An Approach to Strategic Decisions. IADIS Applied Computing 2012, Madri, v. 2012. p. 31-44. (Qualis CC 2014 – B4)
3. **GOMEDE**, EVERTON ; BARROS, R.M.; Theory of Constraint Applied to Balancing of the Portfolio of Projects: A Case Study. Proceedings of 10th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management, 2013. São Paulo: TECSI. (Qualis CC 2014 – B4)
4. **GOMEDE**, E. ; BARROS, R.M.; A Non Intrusive Process to Software Engineering Decision Support Focused on Increasing the Quality of Software Development. The 25th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2013, Boston - USA. (Qualis CC 2014 – B1)
5. **GOMEDE**, E. ; BARROS, R.M.; Master Data Management e Data Warehouse - Uma Abordagem Arquitetural para a Melhoria do Processo de Decisão. 8ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação - CISTI'2013, 2013, Lisboa. (Qualis CC 2014 – B4)
6. HORITA, F.E.A.; **GOMEDE**, EVERTON ; BARROS, R.M.; H2B-MPS: Workflows Instructions for Human Resource Management to be According to MR-MPS-SW Focused on Increase the Software Quality. In: 10th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management, 2013, São Paulo: TECSI. (Qualis CC 2014 – B4)
7. **GOMEDE**, E. ; BARROS, R.M.; Uma Abordagem Multicritério Para Seleção de Portfólios de Projetos - Utilizando Otimização Multiobjetivo e Analytic Hierarchy Process. In: 9ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação - CISTI'2014, 2014, Barcelona. 9ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação - CISTI'2014, 2014. (Qualis CC 2014 – B4)
8. **GOMEDE**, E. ; BARROS, R.M.; A Multicriteria Approach to Project Portfolio Selection. In: The 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2014, Vancouver - Canada. The 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2014. (Qualis CC 2014 – B1)