

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

**Modelo Multicritério para Seleção de Portfólio de Projetos de
Sistemas de Informação**

TESE SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE DOUTOR
POR

JONATAS ARAUJO DE ALMEIDA

Orientador: Profa. Ana Paula Cabral Seixas Costa, DSc

Co-Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, JUNHO / 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Raquel Cortizo, CRB-4 664

A447m Almeida, Jonatas Araujo de.

Modelo multicritério para seleção de portfólio de projetos de sistema de informação / Jonatas Araujo de Almeida. - Recife: O Autor, 2012.

xii, 115 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof^a. Dra: Ana Paula Cabral Seixas Costa

Co-orientador: Pof.Dr. Adiel Teixeira de Almeida

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2012.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia de Produção 2.Planejamento de sistemas de informação. 3.Métodos multicritério 4.PROMETHEE. 5.Portfólios c-ótimosI. Costa, Ana Paula Cabral Seixas (orientadora). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE

BCTG/2012-187



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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DE

JÔNATAS ARAÚJO DE ALMEIDA

**“MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS DE
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato **JÔNATAS ARAÚJO DE ALMEIDA APROVADO**.

Recife, 12 de junho de 2012.

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

Profª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Prof. MARCOS GALINDO LIMA, PhD (UFPE)

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (UFPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a capacidade e saúde para concluir o curso de doutorado.

Aos meus professores do curso de doutorado pelo conhecimento transmitido, mas especialmente à minha orientadora, a professora Ana Paula Cabral Seixas Costa e ao meu co-orientador, Adiel Teixeira de Almeida, pela confiança, apoio, conselhos e orientações, que muito me ajudaram a alcançar esta conquista.

Aos meus pais, Adiel Teixeira de Almeida e Maria Stella Tavares de Araújo, por todo o amor, confiança e ensinamentos que foram fundamentais em toda a minha vida.

Aos meus irmãos, Adiel Filho, Ana Carolina e Luciana, pela amizade inabalável que há entre nós.

A André Gardi por todo apoio durante a elaboração de parte dos programas (em Delphi) que rodaram um dos modelos da tese, fundamentais para alguns dos testes necessário neste trabalho, além de nossas discussões muito proveitosas sobre estes procedimentos.

Aos amigos que fiz antes do doutorado, que tanto me ajudaram e diversas fases de minha vida, em especial Isabel, Alexsandro, Adriana, André, João Paulo, e tantos outros sem o apoio dos quais dificilmente teria forças para alcançar meus objetivos.

Aos amigos que fiz no doutorado, que mesmo que a convivência seja durante algum tempo, tenho certeza que são amizades que durarão a vida toda. Em especial, Marcele, Thárcylla e Carol.

Agradeço também aos obstáculos que surgiram neste período, pois a maior parte deles se tornou aprendizado para mim e todos tornaram mais saborosa a conquista obtida.

Agradeço ao CNPq pela bolsa que me auxiliou durante o curso de doutorado.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para a seleção de portfólios de sistemas de informação que integra a visão estratégica da organização ao planejamento de SI. O método multicritério PROMETHEE V possui uma abordagem voltada para seleção de portfólios, porém possui problemas devido às suas transformações de escala, distorcendo o resultado. Foi testado então um modelo que utiliza o conceito de portfólios c-ótimos, para eliminar tais distorções devido a mudanças de escalas. O modelo baseado no PROMETHEE V com conceitos de portfólios c-ótimos foi aplicado a um problema realístico, sendo realizada também uma análise de robustez sobre o resultado. Foram verificadas, porém, distorções oriundas do próprio método PROMETHEE V. Uma análise aprofundada do método mostrou uma fonte destas distorções, oferecendo uma prova matemática da inadequação do PROMETHEE V. Um novo modelo foi proposto, como alternativa que utiliza a racionalidade não-compensatória do PROMETHEE sem apresentar as distorções verificadas no PROMETHEE V, para encontrar a solução do problema. O novo modelo aplica o método PROMETHEE II sobre os portfólios ao invés de projetos, para isto foi utilizado um procedimento de geração de portfólios de fronteira descrito na literatura, realizando sobre este procedimento uma adaptação que aumenta a sua eficiência. O novo modelo proposto foi aplicado a problemas simulados, sendo feita uma comparação que mostra que sua recomendação supera e podendo inclusive dominar a recomendação do modelo com PROMETHEE V.

Palavras-chaves: Planejamento de sistemas de informação, Métodos multicritério, PROMETHEE, Portfólios c-ótimos, Seleção de portfólios de SI.

ABSTRACT

This work presents a methodology for selection of information system portfolios that integrates the strategic view of the organization to the IS planning. The multi-criteria method PROMETHEE V has an approach that aims the portfolio selection, but it has problems due to its changes in scale that distorts the result. A model that uses the concept of c-optimo portfolios has been tested then, in order to eliminate these distortions caused by changes in scale. The PROMETHEE V with the c-optimo portfolio concept has been used in a realistic problem, an analysis of robustness has also been done. However, distortions from the PROMETHEE V method have been verified. A deep analysis of the method has showed a source of these distortions, offering a mathematical proof of the PROMETHEE V inadequacy. A new model has been proposed as an alternative that uses the non compensatory rationality of the PROMETHEE, without presenting the distortions verified on the PROMETHEE V, in order to find solutions to the problem. The new model applies the PROMETHEE II method on the portfolios instead on the projects. With this aim, was used a boundary portfolio generation procedure, described in literature, changing this procedure to increase its efficiency. The new model proposed was applied to simulated problems, and in a comparison of results, its recommendation was better and even dominates the PROMETHEE V recommendation.

Keywords: Informations systems planning, multi-criteria methods, PROMETHEE, c-optimo portfolio, IS portfolio selection.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Relevância e contribuição do estudo	2
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivos Gerais	2
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Método de Pesquisa	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Fundamentação Teórica	5
2.1.1	Portfólio	5
2.1.2	Decisão Multicritério	6
2.1.3	Sistemas de Informação	15
2.1.4	Planejamento de Sistemas de Informação	19
2.2	Revisão Bibliográfica sobre Seleção de Portfólio de Sistemas de Informação	27
2.2.1	Seleção de sistema de informação sem uso de portfólio	28
2.2.2	Uso de portfólio para seleção de sistemas de informação	29
2.2.3	Métodos multicritério para seleção de portfólio de sistemas de informação	31
2.2.4	Principais Critérios considerados para seleção de portfólio de SI	31
2.2.5	Método PROMETHEE V	32
2.3	Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho	33
3	MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO PARA SISTEMA DE INFORMAÇÃO	35
3.1	Descrição do Modelo Multicritério para Seleção de Portfólio de Projetos de SI	35
3.1.1	Desenvolvimento dos MSIs e avaliação de suas contribuições em cada critério	36
3.2	Seleção de Portfólio de Projetos baseado em PROMETHEE V com o conceito de portfólio c- ótimo	42
3.2.1	Aplicação do PROMETHEE V ao modelo de seleção de portfólio de projetos de SI	42

3.2.2	Utilização do conceito de portfólio c-ótimo	44
3.3	Aplicação do Modelo Baseado em PROMETHEE V com o Conceito de Portfólio c- ótimo	47
3.3.1	Descrição do problema	48
3.3.2	Aplicação do PROMETHEE V com c-ótimo	55
3.3.3	Discussão dos resultados do PROMETHEE V com c-ótimo	57
3.4	Análise de Robustez do Modelo Baseado em PROMETHEE V com o Conceito de Portfólio c- ótimo	60
3.5	Considerações sobre inadequação do PROMETHEE V Clássico para Seleção de Portfólio	71
3.5.1	Ilustração com exemplo numérico	76
3.6	Alternativas para uso do PROMETHEE II na Seleção de Portfólio	82
4	ALGORITMO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO	84
4.1	Descrição do Modelo para busca e seleção de portfólios viáveis	84
4.2	Procedimento do modelo proposto para seleção de portfólios de projetos	91
4.3	SAD com modelo proposto	91
4.4	Aplicação do Modelo	92
4.5	Considerações sobre o modelo proposto	104
5	CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS	106
5.1	Conclusões	106
5.2	Trabalhos Futuros	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Critério usual (fonte: Brans, 1982)	12
Figura 2.2: Critério U (fonte: Brans, 1982).....	12
Figura 2.3: Critério V (fonte: Brans, 1982).....	12
Figura 2.4: Critério em nível (fonte: Brans, 1982).....	13
Figura 2.5: Critério linear (fonte: Brans, 1982).....	13
Figura 2.6: Critério Gaussiano(fonte: Brans, 1982)	14
Figura 2.7: Sistema de informação como um sistema de produção (Baseado em Almeida & Ramos, 2002).....	16
Figura 2.8: Filtro do processo cognitivo (Baseado em Davis, 1974)	18
Figura 2.9: Modelo de três estágios do planejamento de SI (Baseado em Davis, 1974)	20
Figura 2.10: Classificação do Ambiente da organização pela difusão e infusão dos SI's (Baseado em Almeida & Ramos, 2002)	22
Figura 2.11: Visão da metodologia BSP (Almeida & Costa, 2002).....	23
Figura 3.1: Valor dos portfólios c-ótimos por critério.....	57
Figura 3.2: Gráfico bolha representando a contribuição dos portfólios P5 original e P5(18)em cada critério analisados juntos com os pesos de cada critério.....	71
Figura 3.3: Gráfico de coluna representando a contribuição dos portfólios P5, A e B em cada critério e a soma dos fluxos	81
Figura 3.4: Gráfico bolha representando a contribuição dos portfólios P5 e A em cada critério analisados juntos com os pesos de cada critério.....	81
Figura 4.1: Estrutura de árvore para a geração dos portfólios viáveis (Vetschera, 1994).....	85
Figura 4.2: Exemplo de aplicação do procedimento de geração de portfólios viáveis de Vetschera (1994).	88
Figura 4.3: Aplicação do procedimento proposto de geração de portfólios viáveis.....	90
Figura 4.4: Visualização das avaliações de P2 (PROMETHEE II) e P5 (PROMETHEE V), de acordo com os critérios do problema simulado de 15 alternativas.....	96
Figura 4.5: Visualização das avaliações de P2 e P5 através de gráfico bolha para o problema simulado de 15 alternativas.	97
Figura 4.6: Visualização das avaliações de P2 (PROMETHEE II) e P5 (PROMETHEE V), de acordo com os critérios do problema simulado de 20 alternativas.....	101

Figura 4.7: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE II e com PROMETHEE V clássico através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.....	102
Figura 4.8: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE II e com PROMETHEE V classe (c6) através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.....	103
Figura 4.9: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE V clássico e com PROMETHEE V na classe (c6) através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Representação dos MSIs a partir dos AGIs e TSIs (Almeida e Ramos, 2002)	27
Tabela 3.1: Agrupamento de sistemas de informação (AGIs)	48
Tabela 3.2: Relação dos macro-processos com os critérios estratégicos (R)	49
Tabela 3.3: Avaliação dos macro-processos de acordo com critérios de processos P	50
Tabela 3.4: MSIs disponíveis para a companhia	52
Tabela 3.5: Pesos dos critérios adotados	53
Tabela 3.6: Avaliação dos MSIs para cada critério (x100) e os custos de implementação de cada projeto (em \$1,00)	54
Tabela 3.7: Portfólios selecionados	55
Tabela 3.8: Performance dos portfólios para cada critério	56
Tabela 3.9: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V clássico	61
Tabela 3.10: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V no portfólio c1	62
Tabela 3.11: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V no portfólio c2	63
Tabela 3.12: Índices de concordância de sobreclassificação sobre a solução clássica original maiores que 0,5	64
Tabela 3.13: Novos custos de implementação de cada projeto (em \$1,00)	65
Tabela 3.14: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V clássico para o problema com restrição alterada	65
Tabela 3.15: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V no portfólio c1 para o problema com restrição alterada	67
Tabela 3.16: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V no portfólio c2 para o problema com restrição alterada	69
Tabela 3.17: Índices de concordância de sobreclassificação sobre a solução clássica original maiores que 0,5 para o problema com a restrição alterada (Considerando a matriz de conseqüências e pesos originais)	70
Tabela 3.18: Comparação, em cada critério da soma das contribuições dos projetos presentes na solução clássica original e na variação P5(18)	70
Tabela 3.19: Critérios do exemplo numérico	76

Tabela 3.20: Matriz de conseqüências do exemplo numérico.....	77
Tabela 3.21: Ordenação de todas as alternativas do exemplo numérico com o fluxo líquido e o fluxo adaptado ao PROMETHEE V.....	78
Tabela 3.22: Composição dos portfólios P5, A e B.	79
Tabela 3.23: Contribuição dos portfólios P5, A e B em cada critério e soma dos fluxos obtidos com o PROMETHEE V.	80
Tabela 4.1: Custo dos projetos do exemplo de Vetschera (1994).	86
Tabela 4.2: Nova ordenação dos projetos do exemplo de Vetschera (1994) a serem analisados pelo procedimento de geração de portfólio proposto.	86
Tabela 4.3: Matriz de conseqüências dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.	92
Tabela 4.4: Pesos relativos dos critérios considerados no problema simulado de 15 alternativas.....	93
Tabela 4.5: Custos dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.....	93
Tabela 4.6: Recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios do problema simulado de 15 alternativas.....	95
Tabela 4.7: Recomendação do PROMETHEE V para o problema simulado de 15 alternativas.	95
Tabela 4.8: Avaliação das recomendações do PROMETHEE 2 e do PROMETHEE 5, de acordo com os critérios do problema simulado de 15 alternativas.....	96
Tabela 4.9: Matriz de conseqüências dos projetos do problema simulado de 20 alternativas.	97
Tabela 4.10: Pesos relativos dos critérios considerados no problema simulado de 15 alternativas.....	98
Tabela 4.11: Custos dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.....	98
Tabela 4.12: Recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios do problema simulado de 20 alternativas.	99
Tabela 4.13: Recomendação do PROMETHEE V clássico e para os c-ótimos viáveis para o problema simulado de 20 alternativas.	100
Tabela 4.14: Avaliação das recomendações do PROMETHEE 2 e do PROMETHEE 5 com conceito c-ótimo, de acordo com os critérios do problema simulado de 20 alternativas.....	101

LISTA DE SIGLAS

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*

BSP – *Business System Planning*

SI – Sistema de Informação

TSI – Tipo de Sistema de Informação

AGI – Agrupamento de dados

MSI – Módulo de Sistema de Informação

SIT – Sistema de Informação transacional

SIG – Sistema de Informação Gerencial

SAD – Sistema de Apoio a Decisão

SIE – Sistema de Informação Executivas

SAP – Sistema de Automação da Produção

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as organizações se encontram em um ambiente onde os processos se inovam continuamente. Em algumas áreas como as relacionadas à tecnologia, os requisitos sobre os produtos e serviços mudam com muita rapidez. O cliente possui o dinheiro que movimenta a organização e sua produção, e ele já não quer mais algo bom, ele quer o melhor. A concorrência permite a ele que escolha entre as empresas, qual a que ele irá alimentar com seus recursos. Para isto as empresas precisam melhorar seus produtos, administrar melhor seus recursos diminuindo os custos, aumentar a eficiência da produção, enxergar a sua estratégia e direcionar os processos sob esta visão.

Com este objetivo, os sistemas de informação atuam nas organizações aumentando a eficiência de suas operações, tornando mais fácil visualizar como a produção está atuando em relação ao planejado e direcionando a organização de acordo com suas estratégias.

Desta forma, os processos em todos os níveis da organização devem ter total apoio. Estes processos se baseiam em decisões que são tomadas constantemente. Elas podem ser simples como “O produto está em conformidade com os requisitos de qualidade?” até decisões mais complexas como “Onde será instalada a nova fábrica?”.

Decisões são tomadas apoiadas por informações. Sem informação, o decisor perde sua capacidade de escolha, a situação foge de seu controle e o que devia ser uma decisão passa a ser um jogo de azar.

Decisões tomadas de forma ineficiente têm seus efeitos refletidos sobre os processos e prejudicam a empresa tanto quanto importante ele for.

Sistemas de informação fornecem o apoio necessário para a tomada de decisão durante a execução dos processos. Para isto eles devem estar adequados, fornecendo a informação necessária e da forma correta. Um planejamento de informação bem elaborado dá origem a SI's que apoiem a organização em todos os níveis, aumentando a sua eficiência global.

1.1 Relevância e contribuição do estudo

As organizações têm dificuldades para realizar um bom planejamento, se preocupando mais com a execução das operações. Desta maneira, até mesmo os próprios sistemas de informação são muitas vezes negligenciados, pois os gerentes não conseguem enxergar seus benefícios.

O planejamento de sistemas de informações auxilia os decisores na visualização da organização em termos de processos e negócios, tornando mais fácil descobrir como o sistema de informação pode apoiar a organização, e quais as melhores opções para a organização.

A motivação deste trabalho está na busca pela visão estratégica durante a seleção de sistemas de informações, bem como o entendimento de seus benefícios e o aperfeiçoamento dos planejamentos de SI, buscando aumentar os benefícios trazidos às organizações na forma de vantagem competitiva.

A abordagem utilizada neste estudo foi a BSP (*Business system planning*) desenvolvida pela IBM (1981). A BSP analisa os processos de negócios como a base para os sistemas de informação, fazendo com que os requisitos derivados destes processos revelem as necessidades de informação. A BSP trabalha com a identificação dos SI até a seleção dos mesmos. Na etapa de seleção é realizada uma priorização que deve ser feita através de um método adequado. Neste estudo foi escolhido a família de métodos PROMETHEE para dar suporte ao problema de decisão devido a sua racionalidade não compensatória.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é propor um modelo de seleção de portfólio de sistemas de informação que incorpore uma abordagem multicritério que possua a racionalidade não-compensatória do método PROMETHEE, porém livre de inconsistências originadas das escalas bem como de outras inconsistências que métodos de sobreclassificação podem possuir para esta problemática.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fornecer uma visão sobre a abordagem BSP, de planejamento de sistemas de informação;
- Abordar conceitos sobre o planejamento de seleção de SI;
- Elaborar um modelo de seleção de portfólio de SI utilizando o método PROMETHEE V com o conceito de portfólios c-ótimos;
- Testar o modelo com PROMETHEE V com conceitos de c-ótimos;
- Realizar uma análise de robustez sobre os resultados obtidos com o modelo do PROMETHEE V com conceitos de c-ótimos, analisando possíveis inconsistências;
- Analisar matematicamente inconsistências do método PROMETHEE V;
- Propor um novo modelo com a racionalidade não compensatória da família PROMETHEE, para seleção de portfólios de SI
- Testar o modelo proposto, comparando com o PROMETHEE V.

1.3 Método de Pesquisa

A metodologia de pesquisa consiste na construção de modelos de decisão, conforme abordagem clássica em pesquisa operacional. A partir da definição do problema de decisão e sua estruturação, desenvolve-se a estruturação das variáveis básicas de representação do problema e construção do modelo de decisão, com a escolha de um método de decisão multicritério que atende às características do problema (Almeida, 2011). A partir dos estudos de robustez do modelo são desenvolvidas proposições e provas analíticas para mudanças no método de decisão multicritério.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturada em cinco capítulos a seguir:

O Capítulo I, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.

O Capítulo II apresenta a fundamentação teórica sobre sistemas de informação, métodos multicritério e seleção de portfólios, além de expor o estado da

arte sobre seleção de sistemas de informação apresentar o posicionamento do trabalho.

O Capítulo III apresenta o modelo de seleção de portfólios de projetos de Sistemas de Informação utilizando o PROMETHEE V com conceito de c-ótimos de Vetschera & Almeida (2012). Expõe os resultados de uma aplicação, bem como uma análise de robustez que revela inconsistências do método PROMETHEE V. Uma alternativa é proposta para substituir o PROMETHEE V, mantendo uma racionalidade não-compensatória para seleção de portfólios de SI, sem as inconsistências identificadas.

No Capítulo IV é apresentado o algoritmo da nova proposta, bem como aplicações da mesma, comparando os resultados com o modelo que utiliza o PROMETHEE V.

No Capítulo V são apresentadas as conclusões do trabalho bem como orientações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentação Teórica

A base conceitual utilizada para o trabalho é apresentada a seguir e consiste em três tópicos básicos:

- seleção de portfólio;
- sistema de informação; e
- métodos multicritério, com ênfase para os métodos PROMETHEE.

2.1.1 Portfólio

Primeiramente é importante não confundir o conceito de seleção de portfólio utilizado neste trabalho com o conceito utilizado por Markowitz (1952), que é aplicado a seleção de portfólio de ativos, considerando que cada investimento possui um valor esperado de retorno e uma variância sobre este valor esperado. A seleção de portfólio de Markowitz (1952) procura trabalhar com estes dois parâmetros a fim de encontrar uma carteira de investimentos que satisfaça o decisor, por exemplo, maximizar o retorno esperado, fixando a variância ou minimizando a variância para um valor esperado fixo. Este conceito de seleção de portfólio, assim como suas aplicações não estão no escopo deste trabalho.

A seleção de portfólio utilizada neste trabalho deve ser entendida como um problema onde um conjunto de projetos são considerados para implementação que buscam satisfazer objetivos da organização sem consumir mais recursos do que os disponíveis nem violar quaisquer outras restrições impostas pelo problema (Almeida & Duarte, 2011).

A seleção de portfólio deve ser entendida como uma decisão que possui um alto impacto não apenas para a estratégia da organização, como em todos os outros níveis, podendo gerar uma vantagem competitiva para a empresa.

O problema de seleção de projetos de sistemas de informação caracteriza um problema de decisão de seleção de portfólio, já que no início estão disponíveis vários projetos de SI que podem ser implementados, cada um a seu custo. Além disso, entre as possíveis restrições do problema, a mais comum é a de orçamento, limitando o portfólio pela soma dos custos dos projetos que irão compô-lo.

Uma das ferramentas mais utilizadas nos métodos de seleção de portfólios é a otimização com o problema da mochila ou *Knapsack Problem*. Esta análise com o *Knapsack Problem* é utilizada pelo método de decisão multicritério PROMETHEE V, em sua fase final.

2.1.2 Decisão Multicritério

Quando alguém toma uma decisão, esta o faz avaliando uma série de alternativas, procurando tomar a melhor decisão possível para o seu problema, dadas as restrições que possui.

O decisor realizará esta avaliação de acordo com um ou mais critérios escolhidos por ele. Estes critérios representam aspectos que cada alternativa apresenta em níveis diferentes, e para cada nível o decisor atribui uma preferência diferente. Para cada critério, o decisor também atribuirá uma preferência diferente. Desta forma, a avaliação de uma alternativa representa o quanto o decisor ficou satisfeito em cada critério, de acordo também com suas preferências pelos critérios.

Os métodos de apoio à decisão multicritério auxiliam o decisor nas tomadas de decisões em que há múltiplos critérios. Nestes tipos de decisão, as alternativas devem ser avaliadas simultaneamente, de acordo com todos os critérios de decisão. O problema é que o volume de informação que deve ser processado é muito alto e como já foi citado, o ser humano é bastante limitado como processador de informações. Os métodos de apoio à decisão multicritério são meios formais para expor a subjetividade das preferências do decisor, estruturá-las e montar um modelo de decisão que realize as avaliações destas alternativas de acordo com as preferências do decisor para os critérios e com a problemática de decisão.

Estes métodos não têm como finalidade impor uma idéia ou obrigar o decisor a escolher determinada opção, apesar de alguns mitos que são expostos e esclarecidos por Belton & Stewart (2002), que afirmam que os métodos de apoio a decisão multicritério não tem como objetivo dar a resposta certa, até mesmo por que não existe uma resposta certa para o problema, diferentes decisores podem fazer escolhas diferentes e nenhum deles estaria errado se seguissem suas preferências. Os métodos de apoio a decisão multicritério também não tem como objetivo tirar ou diminuir a responsabilidade do decisor sobre a decisão, mesmo porque a avaliação realizada pelos métodos é feita através das preferências declaradas pelo decisor, e

o resultado do método não é uma decisão, mas dependendo da problemática, apenas uma recomendação, ficando a escolha a cargo do decisor. Pelo mesmo motivo, estes métodos também não diminuem o arrependimento ou remorso do decisor diante de uma escolha errada. Roy (1996) explica que o apoio a decisão atua no esclarecimento do decisor acerca de elementos subjetivos da decisão como as preferências, podendo fazer uma recomendação, dependendo da problemática de decisão.

As problemáticas de decisão estão relacionadas ao tipo de solução buscado no problema de decisão. Roy (1996) expõe quatro tipos de problemáticas de decisão:

- Problemática de escolha ($P\alpha$): Na problemática de escolha é procurado um conjunto de alternativas tão pequeno quanto possível, de forma que as melhores alternativas estejam dentro deste conjunto. Apesar de reunir as melhores alternativas, não se pode garantir que todas as alternativas presentes neste conjunto sejam as melhores, pois podem haver algumas alternativas que o decisor não consegue definir a sua preferência, são alternativas que por possuírem características muitas vezes bem diferentes das demais, o decisor não consegue compará-las com as outras, e por isso não consegue expressar se ela é melhor ou pior. Um dos métodos que utilizam esta problemática é o ELETRE I.

- Problemática de Classificação ($P\beta$): Nesta problemática, o problema de decisão busca classificar as alternativas de acordo com categorias pré-definidas. Este tipo de problemática pode gerar diretamente uma recomendação, pode ser utilizada para esclarecimento do decisor sobre o problema ou pode ainda ser utilizada como apoio para outra problemática a ser utilizada depois. De acordo com Yu (1992), o método ELECTRE TRI utiliza esta problemática.

- Problemática de ordenação ($P\gamma$): A problemática de ordenação está relacionada ao problema onde o decisor deseja ordenar as alternativas da melhor para a pior, de acordo com suas preferências. Os métodos de critério único de síntese, como o MAUT, utilizam bastante esta problemática. Entre os métodos de sobreclassificação, o PROMETHEE II é um dos que utiliza a problemática de ordenação.

- Problemática de descrição ($P\delta$): Nesta problemática não se deseja fazer uma escolha. Ela tem como objetivo apenas esclarecer o decisor sobre as suas

preferências para o devido problema de decisão. Neste método não há uma recomendação. Um dos métodos que podem utilizar esta problemática é o AHP.

Belton & Stewart (2002) apresentam ainda mais duas problemáticas de decisão:

- Problemática de design: A problemática de design tem como objetivo analisar o problema, buscando mais alternativas, através de identificação de alternativas ainda não descobertas ou através da criação de alternativas.

- Problemática de portfólio: Busca um conjunto de alternativas baseado não apenas nas suas características individuais, mas na interação destas com o conjunto. O método PROMETHEE V trabalha com esta problemática.

Como já foi citado, em um problema de decisão, as alternativas são analisadas simultaneamente, de acordo com os critérios. Para isto, é necessário que as alternativas possam ser comparadas umas com as outras. As estruturas de preferência refletem como as alternativas são comparadas entre si em um problema de decisão. Vincke (1992) classifica as estruturas de preferência de acordo com as relações binárias de preferência entre as alternativas:

- Ordem completa: Na ordem completa todas as alternativas são relacionadas apenas por relações de preferência, isto é, é exigido que em qualquer comparação par-a-par, uma das alternativas seja melhor que a outra, não sendo possível sequer a igualdade. É a estrutura mais pobre em informação, pois obriga o decisor a estabelecer uma relação que muitas vezes não corresponde à realidade, sendo necessária, às vezes, uma declaração forçada.

- Pré-ordem completa: A diferença entre a ordem completa e a pré-ordem completa é que esta última admite que duas alternativas podem ser iguais. Por considerar igualdades, utiliza mais informações que a ordem completa.

- Semi-ordem completa: Na semi-ordem completa, as relações de preferência são as mesmas que na pré-ordem, porém aqui é utilizado um limiar de indiferença, de maneira que se a diferença entre duas alternativas em um critério for menor que este limiar, as duas alternativas mantêm relação de igualdade.

- Pseudo-ordem completa: Na pseudo-ordem uma nova relação de preferência é utilizada. Esta relação é chamada de preferência fraca. A preferência fraca ocorre quando o decisor não tem certeza se uma alternativa A é melhor que uma alternativa B, mas tem certeza que B não pode ser melhor que A. Um novo limiar também é

utilizado, o limiar de preferência, de maneira que a preferência fraca se estabelece quando a diferença entre duas alternativas é maior que o limiar de indiferença, mas menor que o limiar de preferência.

- Ordem intervalar completa: A ordem intervalar completa é na verdade uma variação da semi-ordem e da pseudo-ordem. Ocorre quando os limiares são variáveis.

Para cada estrutura de preferência completa, existe uma respectiva estrutura de preferência parcial, que ocorre quando o decisor não consegue estabelecer uma relação entre as alternativas, porque não está apto a fazer ou por que não quer, surgindo então nas estruturas parciais uma nova relação, a incomparabilidade. Existe uma razão para o nome parcial, pois a incomparabilidade indica falta de informação disponível, de forma que estas relações devem ser observadas com mais atenção. A estrutura aqui citada mais rica em informações é a ordem intervalar parcial, pois esta define com mais detalhes como o decisor se sente em relação às comparações par-a-par.

Informações como o tipo de problemática, e como o decisor está apto a cooperar, são muito importantes, pois ajudam a escolher o método a ser utilizado.

Existe uma classificação básica para os métodos de apoio a decisão multicritério (Almeida, 2011):

- Métodos por critério único de síntese: São métodos que agregam os critérios através de uma função, criando um único critério a partir da síntese dos originais, formando uma nova função que atribui um valor a cada alternativa. Entre estes métodos está o MAUT. Esta classe de métodos também é chamada às vezes de métodos da escola americana, porém este nome é considerado incorreto, visto que muitos métodos que pertencem a esta classe não são americanos.

- interativos: Estes métodos utilizam procedimentos interativos e podem ser associados a problemas discretos ou contínuos. A maioria das programações lineares multi-objetivo podem ser classificadas como métodos interativos.

Métodos de sobreclassificação: Nestes métodos a preferência é determinada através de relações par-a-par, onde estas relações para todas as alternativas definem a preferência de cada uma das alternativas. Entre os métodos desta classe estão os métodos da família PROMETHEE.

Para seleção de portfólios, usando Métodos de sobreclassificação, tem-se aplicado o PROMETHEE V. A seguir é apresentada uma breve uma explanação sobre o este método. Mais detalhes podem ser vistos em Brans & Mareschal (1992) e em Almeida (2011).

Os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) pertencem ao grupo de métodos de sobreclassificação. Desenvolvido por Brans (1982), os primeiros métodos da família PROMETHEE são voltados para apoiar a tomada de decisão em situações com um conjunto finito de alternativas, isto é, em situações onde as alternativas possam, através de algum critério, surgir de forma contínua, gerando infinitas alternativas, estes métodos são geralmente inapropriados, podendo aplicá-los através de uma discretização das alternativas. Brans & Vincke (1985) aumentaram a família PROMETHEE.

Os métodos criados por Brans (1982) foram o PROMETHEE I e o PROMETHEE II. A sua primeira versão desenvolve uma pré-ordem parcial, enquanto a segunda versão desenvolve uma pré-ordem completa. De acordo com Behzadian et. al (2010), atualmente a família PROMETHEE possui diversos métodos desenvolvidos e adaptados para atender a várias situações. O PROMETHEE III é utilizado para ordenações baseadas em intervalos. O PROMETHEE IV é voltado para casos em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo, podendo resultar em uma pré-ordem contínua ou parcial. Brans & Mareschal (1992) apresentaram o PROMETHEE V que aplica os processos das duas primeiras versões, sendo posteriormente adaptado para atender a restrições do problema inicial, podendo gerar um problema de programação linear, seu objetivo é realizar uma seleção das melhores alternativas dadas as restrições do problema. Brans & Mareschal (1995) também apresentaram o PROMETHEE VI para a representação de preferências do decisor através de intervalos, quando este não está apto a definir precisamente os pesos dos critérios.

Além destes, outros métodos foram sendo agregados nos últimos anos à família PROMETHEE. Figueira et. al. (2004) desenvolveram o PROMETHEE TRI que trabalha com a problemática de classificação e o PROMETHEE CLUSTER que agrupa alternativas através de uma classificação nominal. O PROMETHEE GDSS, proposto por Macharis et. al. (1998) é uma adaptação dos métodos da família

PROMETHEE para tomadas de decisão quando se trabalha com um grupo de decisores. Outro método para grupos de decisores, apresentado por Halouani et. al. (2009), é o PROMETHE-MD-2T, que além do aspecto multi decisor, também é voltado para a seleção de projetos, agregando informações tanto quantitativas quanto qualitativas.

Vincke (1992) e Belton & Stewart (2002) mostram que o PROMETHEE II é uma adaptação do PROMETHEE I para a construção de uma pré-ordem completa de forma que utiliza toda a idéia de desenvolvimento deste. Assim sendo, será explicado aqui o método PROMETHEE I e em seqüência o PROMETHEE II e o V.

Primeiramente, para que possa ser utilizado o método PROMETHEE, o decisor deve estar esclarecido acerca dos critérios, de forma que esteja apto a traduzir em números a importância relativa destes critérios de acordo com as preferências do decisor. Esta importância relativa (w_i) é o peso do critério i avaliado pelo método PROMETHEE.

O próximo passo é analisar as alternativas sob a perspectiva de cada critério individualmente de maneira a atribuir um valor a cada alternativa em cada critério de acordo com uma escala escolhida. Cada valor destes $f_i(k)$ representará o quanto uma determinada alternativa k é boa em um determinado critério i , novamente de acordo com as preferências do decisor. Alguns critérios podem ser mais fáceis de avaliar (custo, distância), enquanto outros são geralmente mais difíceis (impacto social, qualidade).

De acordo com Belton & Stewart (2002), o método PROMETHEE I utiliza seis tipos de funções para avaliar as alternativas par a par de acordo com os critérios, sendo necessário escolher a função mais apropriada para cada caso. Estas funções $P_i(a,b)$ (função da preferência da alternativa “a” sobre a alternativa “b” no critério i) utilizam como regra o que Brans (1982) chamam de critérios generalizados, apresentando seis deles. Supondo duas alternativas quaisquer “a” e “b”:

- Critério usual (figura 2.1): Se $f_i(a) > f_i(b)$, $P_i(a,b)=1$.

Se $f_i(a) \leq f_i(b)$, $P_i(a,b)=0$.

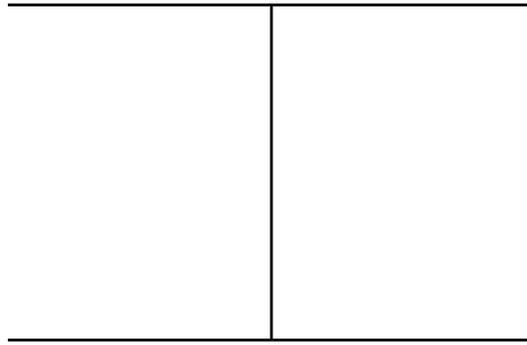


Figura 2.1: Critério usual (fonte: Brans, 1982)

- Critério U figura (2.2): Utiliza um limiar de indiferença q , de forma que
 Se $f_i(a) > f_i(b) + q$, $P_i(a,b)=1$.
 Se $f_i(a) \leq f_i(b) + q$, $P_i(a,b)=0$.

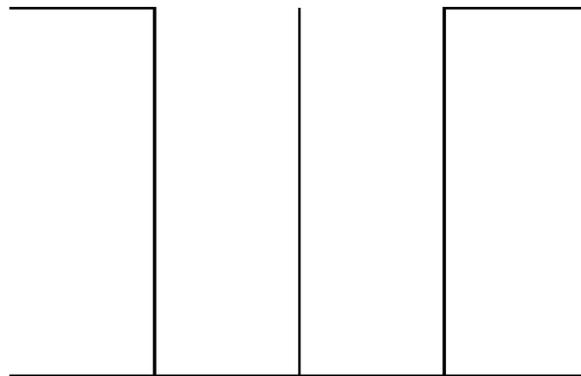


Figura 2.2: Critério U (fonte: Brans, 1982)

- Critério V (figura 2.3): Utiliza um limiar de preferência p , tal que
 Se $f_i(a) > f_i(b) + p$, $P_i(a,b)=1$.
 Se $f_i(b) < f_i(a) \leq f_i(b) + p$, $P_i(a,b) = (f_i(a) - f_i(b))/p$
 Se $f_i(a) \leq f_i(b)$, $P_i(a,b)=0$

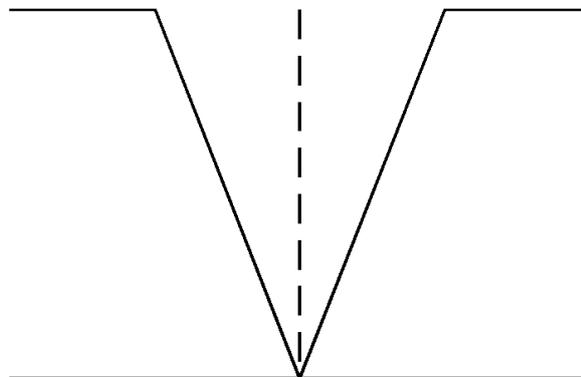


Figura 2.3: Critério V (fonte: Brans, 1982)

- Critério em nível (figura 2.4): Utiliza um limiar de indiferença q , e um de preferência p , tal que

Se $f_i(a) > f_i(b) + p$, $P_i(a,b)=1$.

Se $f_i(b) + q < f_i(a) \leq f_i(b) + p$, $P_i(a,b)=\alpha$, onde $0 \leq \alpha \leq 1$.

Se $f_i(a) \leq f_i(b) + q$, $P_i(a,b)=0$

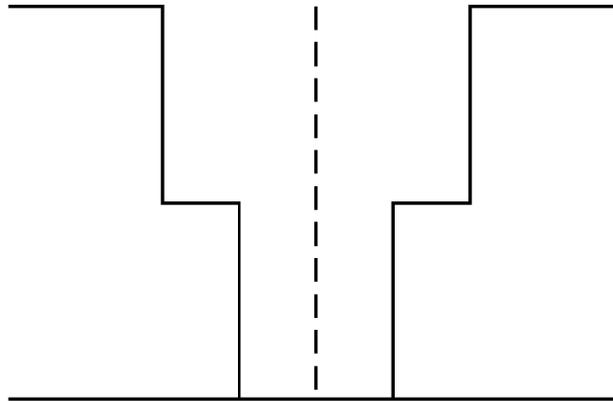


Figura 2.4: Critério em nível (fonte: Brans, 1982)

- Critério linear (figura 2.5): um limiar de indiferença q , e um de preferência p , tal que

Se $f_i(a) > f_i(b) + p$, $P_i(a,b)=1$.

Se $f_i(b) + q < f_i(a) \leq f_i(b) + p$, $P_i(a,b)=\frac{f_i(a) - f_i(b) - q}{p}$

Se $f_i(a) \leq f_i(b) + q$, $P_i(a,b)=0$

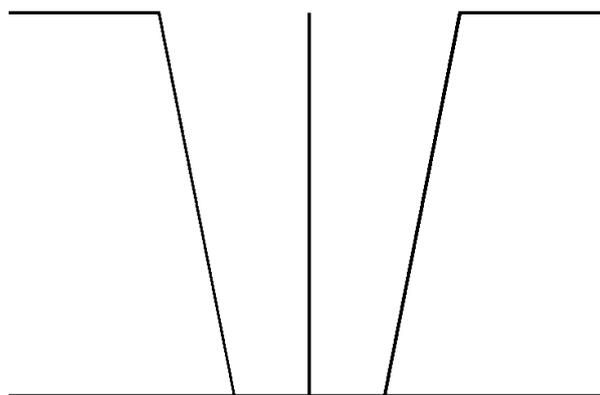


Figura 2.5: Critério linear (fonte: Brans, 1982)

- Critério Gaussiano (figura 2.6): Utiliza uma distribuição gaussiana,

Se $f_i(a) \leq f_i(b)$, $P_i(a,b)=0$.

Se $f_i(a) > f_i(b)$, $P_i(a,b)=F(f_i(a) - f_i(b))$, Onde $F(f_i(a) - f_i(b))$ é uma função gaussiana da diferença entre $f_i(a)$ e $f_i(b)$.

$$0 \leq F(f_i(a) - f_i(b)) \leq 1.$$

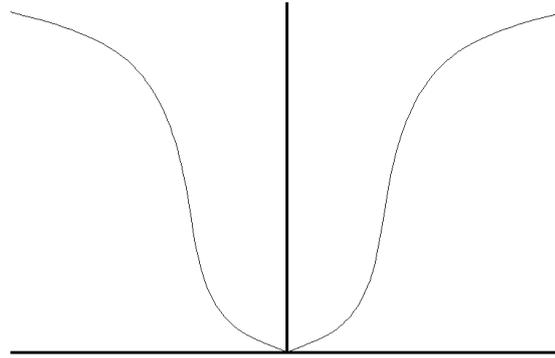


Figura 2.6: Critério Gaussiano(fonte: Brans, 1982)

Após definir todos os $P_i(a,b)$, calcula-se o índice de preferência de a sobre b, $P(a,b)$, de acordo com a equação (2.1)

$$P(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (\text{Equação 2.1})$$

A última etapa que o PROMETHEE II tem em comum com o PROMETHEE I é o cálculo do fluxo de entrada (ϕ^-) e de saída (ϕ^+) das alternativas:

- $\phi^+ = \sum_{j=1}^g P(a, b_j), \quad (\text{Equação 2.2})$

onde ϕ^+ é o somatório dos índices de preferência da alternativa a sobre cada alternativa $b \neq a$.

- $\phi^- = \sum_{j=1}^g P(b_j, a), \quad (\text{Equação 2.3})$

onde ϕ^- é o somatório dos índices de preferência de cada alternativa $b \neq a$ sobre a alternativa a.

A etapa seguinte do PROMETHEE II é o cálculo do fluxo líquido (ϕ):

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a). \quad (\text{Equação 2.4})$$

O PROMETHEE V é realizado em duas etapas, onde a primeira basicamente é o próprio PROMETHEE II (Abu-Taleb & Mareschal, 1995; Mavrotas et. al., 2006).

A última etapa do PROMETHEE V é o uso do fluxo líquido (φ) calculado pelo PROMETHEE II, conforme mostrado anteriormente para $\varphi(a)$, em um processo de otimização de *knapsack problem*.

Estes fluxos líquidos não são adequados para representar os coeficientes das alternativas na função objetivo do problema de programação inteira 0-1. Eles não são utilizados devido ao fato de que alguns deles são negativos, fazendo com que estas alternativas nunca fossem aceitas, mesmo que houvesse folga das restrições (Mavrotas et. al., 2006).

Assim sendo, são calculados os fluxos líquidos escalonados (φ') que nada mais é que fluxo líquido das alternativas subtraído pelo menor valor entre os fluxos líquidos. Então, todos os fluxos líquidos escalonados serão positivos.

Desta forma, procura-se resolver o problema de programação inteira 0-1 maximizando a função objetivo exposta na equação (2.5):

$$MAX \quad \varphi'(a) \times A + \varphi'(b) \times B + \dots + \varphi'(k) \times K \quad (\text{Equação 2.5})$$

Sujeito às restrições do problema, como orçamento, divisão por áreas, entre outras. Cada alternativa K assumirá valor 1 se for selecionada e valor 0 se não for selecionada.

2.1.3 Sistemas de Informação

A literatura fornece diversas formas de apresentar a definição de sistema de informações, porém uma característica fundamental para esta determinação é o próprio conceito de informação.

Stair (1998) define informação como um conjunto de fatos que ao serem organizados de maneira conveniente a um determinado fim, passa a ter um valor agregado, além do valor natural a estes fatos isoladamente.

Outra definição para informação é fornecida por Davis & Olson (1985) na qual eles definem como sendo os dados processados de maneira a ter significado para um usuário e que possa ser utilizado como suporte em uma decisão atual ou futura.

Segundo estes conceitos, existe uma diferença entre dados e informações. Esta diferença reside na utilidade diante de um usuário e situação para qual será utilizado. Um fato que não acrescenta valor em utilidade a determinada pessoa não passa de dados. Da mesma forma também pode ser analisado segundo processos de decisão. Uma mesma pessoa toma diversas decisões diariamente, de forma que

mesmo que para uma decisão um fato seja relevante (seja uma informação), pode ser que para outra decisão, o mesmo fato não tenha qualquer importância, sendo apenas um dado. O conceito de informação considerado neste trabalho será o de Davis & Olson (1985).

Desta forma, uma informação depende de diversos fatores, como o ambiente onde a informação está inserida, o momento na qual é utilizada, as pessoas que utilizarão, o formato da informação, entre outras características.

Outro ponto importante na definição de um sistema de informação é o processamento dos dados de maneira a torná-los úteis, agregando valor a eles e conseqüentemente transformando-os em informações.

Um sistema, de acordo com Stair (1998) pode ser definido como um conjunto de partes ou componentes interagindo entre si buscando atingir um determinado objetivo.

Almeida & Ramos (2002), fazem uma analogia de sistemas de informação com os sistemas de produção. Um sistema de produção é composto por três partes: as entradas, o processo de transformação e as saídas, como ilustrado na figura 2.7. Da mesma forma funcionaria um sistema de informação, possuindo as três partes:

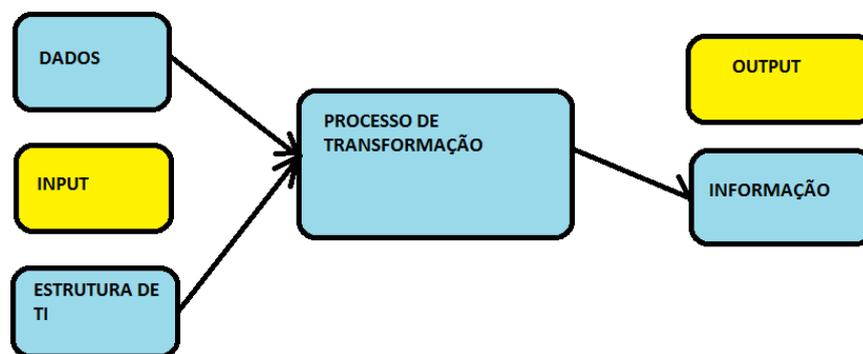


Figura 2.7: Sistema de informação como um sistema de produção (Baseado em Almeida & Ramos, 2002)

- Entradas: Dados brutos, reunidos para que possam ser processados pelo sistema. Estes dados podem inclusive incluir “informações” geradas por outros sistemas de informação. As aspas em informações é pelo fato que para o sistema em que elas estão entrando, não passam de dados, pois apesar de apoiar uma decisão para qual o sistema de informação anterior foi modelado, por a decisão ser diferente no sistema atual, na forma em que estão precisam de mais um

processamento. Além dos dados, a estrutura utilizada para transformá-los também é uma entrada;

- Processo de transformação: São as funções, os processos que transformam os dados, tornando-os úteis no processo decisório a que são destinados. Estes processos dependerão diretamente do tipo de sistema de informação utilizado. Em SAD's, por exemplo, o processo não é estruturado, necessitando da presença do decisor;

- Saídas: São as informações originadas dos dados que foram processados. Estas informações irão apoiar a decisão para o qual o sistema foi construído. Alguns sistemas, como os sistemas de informação transacionais, tomam a decisão automaticamente, pois devido ao problema ser bem estruturado, o decisor define previamente as decisões que o sistema deverá tomar para cada cenário.

O sistema de informação deve então transformar os dados de maneira a adquirir características úteis para que possam ser analisados, apoiando uma decisão, para isto, a informação gerada pelo sistema deve possuir algumas características importantes:

- Precisão: Uma informação errada acarretará em uma decisão errada;
- Completa: A ausência de fatos importantes no mínimo aumentará o risco da decisão, podendo até mesmo inutilizar a informação (ou seja, seria apenas dados);
- Ser oportuna: Decisões têm prazos para serem tomadas, com o passar do tempo algumas alternativas tornam-se inviáveis, de maneira que uma informação que não esteja disponível no momento certo fará com que o escopo relativo às alternativas de decisão seja reduzido, tornando a decisão ineficiente ou até mesmo impossibilitando-a.

Além disto, o sistema de informação deve fornecer a informação de maneira que possa ser utilizada pelas pessoas certas, mesmo que para isto tenha que ser visualizada de mais de uma forma, mantendo sempre a segurança da informação, tanto em relação à sua integridade como ao caminho que ela percorrerá, estando disponível apenas às pessoas necessárias.

Outro aspecto importante que deve ser considerado na elaboração de um sistema de informação é o fato de que ele não é uma peça isolada, mas atua em conjunto com vários setores dentro de uma organização, incluindo departamentos e

dentro dos departamentos, as pessoas que utilizarão o sistema. Por isso, algumas características do processo cognitivo do ser humano devem ser ressaltadas.

Segundo Davis (1974), o ser humano é limitado como processador de informações, sendo uma destas principais limitações referentes à quantidade de informação processada. A mente humana possui um filtro que limita a quantidade de informações enviadas para o processamento mental, como ilustrado na figura 2.8 podendo reduzir consideravelmente as informações que chegam ao nível de serem processadas, isto é, as outras informações são perdidas. Este filtro não é constante, a quantidade de informações filtradas pode variar por diversos motivos, como stress, fatores ambientais e até mesmo a própria natureza da informação. A partir de certo ponto, um acréscimo de informações não trará qualquer benefício adicional ao usuário. Considerar este filtro é importante, pois várias informações de alta importância para o usuário pode ser perdidas. Definir com precisão as informações que são realmente necessárias para o usuário e destacar as mais importantes são maneiras de prevenir que estas informações sejam perdidas. Pode-se tomar como exemplo o saldo impresso para um cliente de banco. No documento estarão várias informações úteis para o usuário, como a hora e data em que foi solicitado, o local, entre outros. Porém estas várias informações podem prejudicar o usuário que deseja exclusivamente saber o saldo. Para superar este problema, as informações referentes ao saldo geralmente aparecem bastante destacadas.



Figura 2.8: Filtro do processo cognitivo (Baseado em Davis, 1974)

Os sistemas de informação podem ser divididos em três classes, segundo Sprague & Watson (1989), de acordo com as decisões a que servem:

- Sistemas de informação transacional (SIT): Está relacionado às decisões rotineiras, é automatizado e busca a eficiência das operações da organização. O usuário geralmente conhece pouco sobre o sistema em si e geralmente não é exigida a presença de um decisor. As decisões são tomadas de acordo com rotinas programadas pelo sistema.

- Sistemas de informação gerencial (SIG): Fornece relatórios de desempenho utilizados em decisões gerenciais que controlam as atividades da organização. Da mesma forma que o SIT, fornece relatórios pré-formatados, com a diferença que a presença do decisor é importante para analisar as operações e se necessário intervir. O sistema de informação gerencial busca a eficácia da gestão apoiando decisões da gerência.
- Sistemas de apoio a decisão (SAD): Assim como o SIG, o sistema de apoio a decisão assim como o nome diz, apóia a decisão e fornece informações gerenciais. A diferença para o SIG está no tipo de decisão e na forma como opera. As decisões apoiadas pelo SAD muitas vezes são as estratégias da organização, possuindo implicações em longo prazo. São decisões não estruturadas, que necessitam da interação constante do decisor.

Existem vários outros tipos de sistema de informação. Os três apresentados acima estão entre os mais importantes. Existe ainda outro tipo de sistema de informação que têm se mostrado bastante importante. O sistema de informações executivas é voltado para decisões do alto escalão executivo, e é geralmente elaborado para ser utilizado por um único usuário. Este sistema busca moldar os dados de maneira que simplifique a análise de um problema não estruturado ou semi-estruturado para aquele determinado decisor. Existem diversas publicações na literatura que referenciam este sistema de informação (Watson et. al., 1992; Alter, 1996; Furlan et. al., 1994; Martin, 1991; Polloni, 2000; Stair, 1998).

Desta forma, pode-se admitir que uma organização possa trabalhar com mais de um sistema de informação, para diversas operações e decisões em diferentes níveis hierárquicos. Porém é importante uma integração entre estes sistemas, pois inclusive, as saídas de um deles podem ser utilizadas como entradas em outro.

2.1.4 Planejamento de Sistemas de Informação

O ambiente competitivo atualmente imposto pelo mercado praticamente obriga as empresas a inovarem, a melhorarem seus processos continuamente. A redução de custos, otimização dos recursos, e busca por processos mais eficientes tornou-se algo fundamental nas organizações. Devido a isto, o ambiente em que as

organizações estão inseridas é bastante dinâmico, e o gerenciamento das informações torna a empresa capaz de lidar com esta situação, isto porque as informações englobam toda a organização, em todos os níveis, influenciando também nas relações da organização com o ambiente externo. Isto faz com que seja muito importante planejar como as informações serão gerenciadas.

O planejamento de informações inicia na definição da estratégia da empresa e termina com a priorização dos sistemas que processarão os dados e gerenciarão as informações. O planejamento de sistemas de informação da organização deve estar alinhado com o seu planejamento estratégico. Apenas desta forma os sistemas de informação poderão apoiar e impulsionar a estratégia da empresa, fornecendo vantagem competitiva.

Um problema enfrentado por muitas empresas é a visão do retorno financeiro. Geralmente as organizações possuem dificuldade para identificar ganhos não financeiros, e os ganhos obtidos com os sistemas de informação se revelam através de melhoria dos processos, vantagem competitiva, direcionando a empresa para seus objetivos estratégicos. Estes benefícios gerados diretamente pelos sistemas de informação são intangíveis e de difícil percepção. O benefício financeiro trazidos pelos sistemas de informação são geralmente indiretos e muitas vezes podem demorar a aparecer. Segundo Shin (2001), estes fatores tornam os benefícios dos sistemas de informação de difícil mensuração.

Por este motivo, alinhar o planejamento de sistemas de informação com o planejamento estratégico da organização é uma maneira de aumentar a eficiência global da empresa, fazendo com que esta tenha mais capacidade de buscar seus objetivos, visto que esta é a direção em que todos os esforços da organização estão apontados através de seus conjuntos de metas.

Davis (1974) descreve um planejamento de sistemas de informação genérico, dividido em três estágios, esquematizados na figura 2.9 e descritos abaixo:

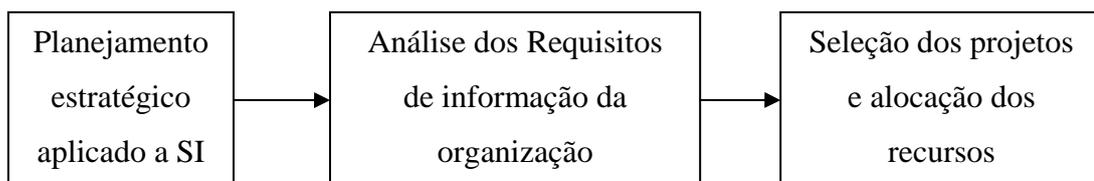


Figura 2.9: Modelo de três estágios do planejamento de SI (Baseado em Davis, 1974)

- Planejamento estratégico aplicado a SI: Nesta etapa são captadas informações sobre a estratégia da organização, o que ela busca, que posição ela deseja ocupar no mercado, através de que meios. O planejamento estratégico aplicado a SI deve definir como os sistemas de informação ajudarão a organização a alcançar estes objetivos. Para isto, o planejamento de SI deve estabelecer seus objetivos com esta visão. Assim, os objetivos definidos no planejamento de sistemas de informação estarão alinhados com a estratégia organizacional.
- Análise dos requisitos de informação da organização: Neste estágio são coletadas as informações necessárias para que os sistemas de informação possam apoiar as decisões nos diversos processos. Esta tarefa é complicada devido a vários fatores, entre eles a limitada capacidade do ser humano em processar dados torna os decisores incapazes de sozinhos conseguirem refletir e revelar esta informação, por isso, o analista deve apoiá-lo no processo.
- Seleção dos projetos e alocação dos recursos: Esta é a última etapa do planejamento de sistemas de informação e consiste na priorização dos projetos de SI de acordo com as restrições e alocação dos recursos a estes projetos.

De acordo com Sullivan (1985) é importante verificar o ambiente organizacional no início do planejamento, pois esta informação pode ser utilizada como orientação para a seleção da metodologia de planejamento de SI.

O ambiente organizacional pode ser dividido de acordo com dois aspectos, o nível de difusão e o nível de infusão dos sistemas de informação na organização. O nível de difusão está relacionado à abrangência da utilização dos sistemas de informação por toda a organização. O nível de infusão representa a importância do sistema de informação e o impacto que eles possuem para a organização. A figura 2.10 ilustra a classificação de Sullivan (1985).

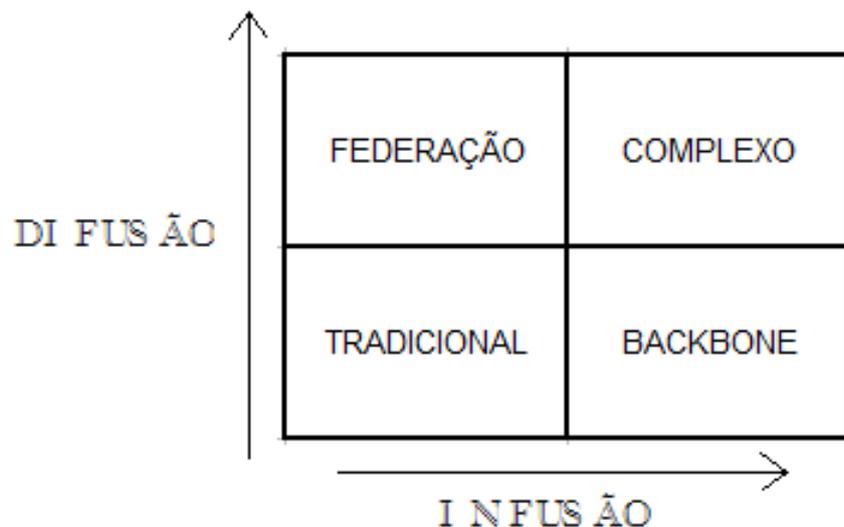


Figura 2.10: Classificação do Ambiente da organização pela difusão e infusão dos SI's
(Baseado em Almeida & Ramos, 2002)

A metodologia utilizada neste trabalho para o planejamento de sistemas de informação foi o BSP (Business System Planning), com uma abordagem multicritério. A metodologia BSP é indicada principalmente em ambientes do tipo backbone, isto é, alto nível de infusão e baixo nível de difusão.

2.1.4.1 Descrição do BSP (*Business System Planning*)

O modelo BSP, desenvolvido pela IBM (1981), utiliza uma abordagem por processos, sendo tais processos em forma de fluxo para a criação do produto da organização, podendo este ser um bem ou um serviço.

Estes processos iniciarão pelo planejamento do próprio produto, que deverão estar alinhados com os objetivos estratégicos da organização, até a fase de conclusão do mesmo. Zachman (1982) relata que esta abordagem orientada pelos processos de negócios da organização é a base que dará suporte aos sistemas de informação planejados pelo BSP.

Almeida et al (1992) demonstram uma visão resumida do BSP através de quatro etapas: Visão estratégica, Engenharia de processos de negócios, Engenharia da Informação e por fim o Plano de ação. A figura 2.11 ilustra esta visão.

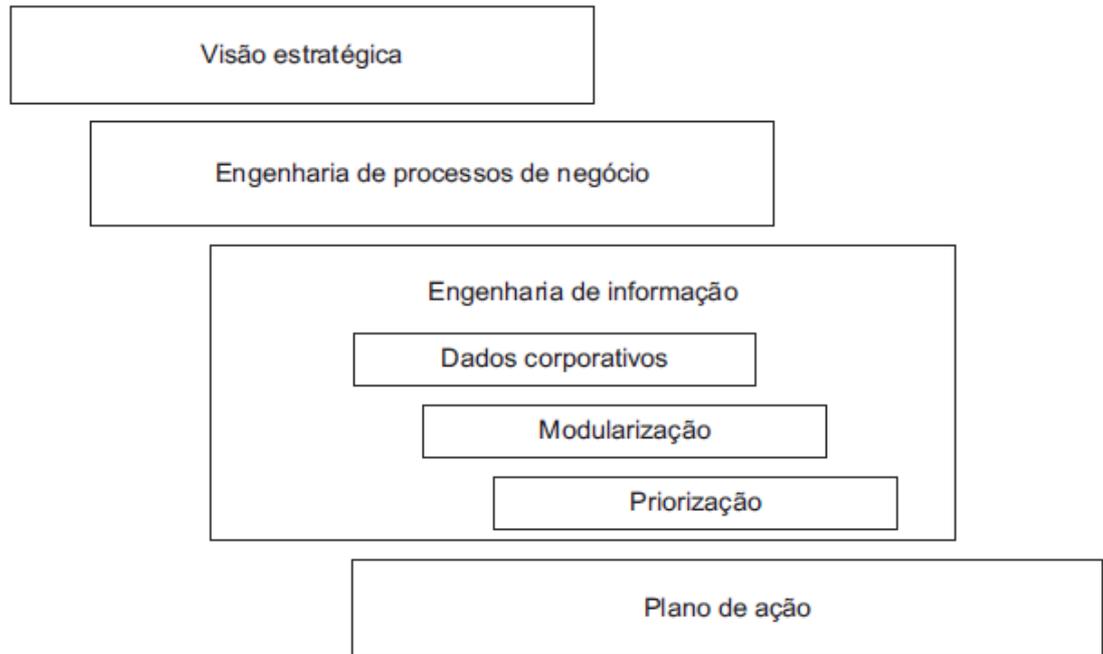


Figura 2.11: Visão da metodologia BSP (Almeida & Costa, 2002)

Almeida & Ramos (2002) explicam que muitas vezes as organizações não possuem processos de administração estratégica adequados, sendo necessário realizar um estudo sobre a mesma para a obtenção de sua visão estratégica. A visão estratégica da empresa deve ser traduzida em forma de fatores estratégicos, isto é, aspectos que nortearão a organização de acordo com suas estratégias.

Desta forma, estes fatores estratégicos orientam as ações estratégicas desenvolvidas pela organização, não apenas compondo a visão estratégica da organização como também explicitando a missão da mesma.

Na etapa de engenharia de processos de negócios, são determinados os processos que a organização utiliza na sua produção de bens e serviços. De acordo com Davenport (1994), estes processos de negócios são os processos utilizados para produzir valor para o cliente da organização, de forma que quase todas as empresas possuem processos de negócios que podem ser caracterizados pelo fluxo dos produtos e serviços da mesma através de suas funções.

Um dos obstáculos encontrado é que alguns processos podem cruzar várias funções da organização, dificultando assim uma visualização uniforme das

informações deste processo, bem como delegação de responsabilidade pelas mesmas.

Para que a metodologia BSP possa ser aplicada com eficiência, deve ser possível a obtenção de informações precisas sobre os processos, porém isto dificilmente é conseguido, pois cada função por onde um processo passa possui procedimentos diferentes, utilizam as informações com objetivos diferentes (por exemplo, marketing e financeiro).

As informações em cada função estão comumente dispostas em formatos diferentes. Isto faz com que cada função possua um SI diferente para o mesmo processo, o que torna estes sistemas inflexíveis e de extrema dificuldade de interação devido ao alto grau de complexidade. A metodologia BSP necessita que haja um planejamento centralizado de informações para que desta forma, possa englobar todas as áreas funcionais.

Os processos de negócio são utilizados pelo BSP como base para dar suporte à definição dos sistemas de informação, tendo esses assim a capacidade de cruzar tanto fronteiras gerenciais como funcionais.

A identificação destes processos de negócio, de acordo com Almeida & Ramos (2002) e Almeida & Costa (2002) se dá através de uma seqüência de etapas explicadas a seguir:

1. Identificação do produto principal e dos recursos: É possível que a organização produza uma variedade de bens e serviços, porém entre estes estarão aqueles considerados produtos-chaves, considerados os principais no alcance das metas da organização, além de serem gerenciados por processos similares. Algumas organizações podem ter apenas um produto-chave, mesmo produzindo vários produtos, ou apenas um (sendo obviamente este único o próprio produto-chave). Para estes produtos, é necessário identificar os recursos para produzi-los, sendo estes divididos basicamente em capital, recursos humanos, materiais e infra-estrutura.
2. Identificação dos processos de planejamento estratégico e gestão de controle: Nem todos os processos principais da organização serão exatamente responsáveis pela produção dos produtos principais. Alguns processos podem estar relacionados a decisões de planejamento da

organização, inclusive estratégicas, além de decisões relacionadas a controles de gestão da organização. Após se identificar os produtos principais, torna-se mais fácil definir estes processos como sendo aqueles que não estão engajados na produção destes produtos.

3. Identificação dos processos relacionados aos produtos principais e aos recursos: O sistema de produção ampliado da organização inclui diversos processos que envolvem desde o planejamento do produto, sua produção e finalmente seu destino. Obviamente é difícil observar estes processos analisando os produtos separados dos recursos, de forma que estes processos estão sob a ótica destes dois aspectos. Isto, porém também nos permite analisar e identificar os processos a eles relacionados de maneira conjunta, levando-se em consideração o ciclo de vida útil dos recursos dos produtos. Este ciclo de vida útil envolve Planejar, Desenvolver, Usar ou Manter e por fim Alienar ou Dispor. Tanto os produtos quanto os recursos necessários para produzi-los passam por todas estas etapas dentro da organização, sendo movidos através delas pelos processos de negócios a eles relacionados. Sob esta perspectiva torna-se menos complexa a identificação destes processos.
4. Agrupamento ou explosão dos processos: Foram identificados os produtos-chaves da organização, bem como os recursos para produzi-los, os processos principais, relacionados ou não a estes produtos foram definidos. O problema em questão nesta etapa é o fato de que estes processos são geralmente confusos, sendo repetitivos ou complexos demais. O objetivo desta etapa é solucionar este problema. É bastante provável, principalmente na presença de mais de um produto-chave, que haja processos similares em funções, produtos e etapas diferentes no sistema de produção da organização, causando redundância e confusão na interpretação destes processos. Os processos similares podem ser agrupados em um único que representará o conjunto deles. Alguns processos por outro lado podem ser complexos demais, talvez por considerar vários recursos, talvez por romper fronteiras de etapas da produção, sendo este problema resolvido através da explosão destes

processos em processos menores e menos complexos. Isto facilita a visualização dos processos e uma posterior definição dos mesmos e do fluxo deles através da organização.

5. Descrição da definição dos processos: Tendo-se uma melhor visualização dos processos, torna-se mais fácil saber como eles atuam, em que problema eles se engajam, como tentam chegar a uma solução para este problema e o principal, de que informações necessitam na suas execuções. Esta descrição possibilita uma melhor visualização dos processos e como os sistemas de informação poderão apoiá-los.
6. Relacionar os processos à organização: Como já foi citado, um mesmo processo pode cruzar diversas funções e unidades organizacionais, esta última etapa consiste em relacionar os processos às pessoas, departamentos ou unidades organizacionais que o utilizarão.

Os processos ainda podem ser agrupados de acordo com os recursos utilizados e funções a que servem, podendo formar assim macro-processos.

Na etapa do BSP chamada de engenharia da informação, são determinadas através dos processos de negócios, as classes de dados e das entidades de negócio. As classes de dados são o conjunto de dados que servem a uma determinada entidade de negócios. Uma entidade de negócios por sua vez pode ser definida como sendo algo significativo para a organização, devendo ser seus dados preservados e identificados de maneira única (Almeida & Ramos, 2002).

Desta forma são definidos os agrupamentos de informações, que posteriormente, junto com os tipos de serviços de informações disponíveis serão combinados na fase de modularização, formando assim os módulos de sistemas de informação.

A metodologia BSP possui fortes críticas devido à sua característica de trabalhar por processos, formando os agrupamentos de informações. De acordo com Sullivan (1985), a metodologia BSP seria indicada apenas quando a organização tiver o ambiente backbone, isto é, alto nível de infusão dos sistemas de informação na organização, porém com um baixo nível de difusão, embora também possa ser utilizado em ambientes complexos, com alto nível de infusão e de difusão.

Para isto, apesar de vários processos utilizarem as informações de um agrupamento de informações, apenas um processo poderá editá-las. Este esquema

pode ser facilmente visualizado através de uma matriz de Processos/Classes de Dados, que mostra quais processos utilizarão cada classe de dados e qual processo poderá editá-la.

A fase de modularização irá cruzar os agrupamentos de informações com tipos de serviços de informação, como ilustrado na tabela 2.1, sendo os tipos mais comuns de serviços de informação, segundo Sprague & Watson (1989), o transacional, o gerencial e o de apoio a decisão, podendo ainda haver outros.

Tabela 2.1: Representação dos MSIs a partir dos AGIs e TSIs (Almeida e Ramos, 2002)

	AGI1	AGI2	AGI3	AGI4
TSIT	MSI11	MSI21		MSI41
TSIG	MSI12			
TSAD				
TSIE				
TSAE				
TSAP				
TSAG	MSI7			MSI44

É sobre estes módulos de sistemas de informação que será aplicado o modelo de priorização de sistemas de informação.

2.2 Revisão Bibliográfica sobre Seleção de Portfólio de Sistemas de Informação

De acordo com Modha et. al. (1990), até o final da década de 80 foram desenvolvidas inúmeras metodologias para a seleção e desenvolvimento de sistemas de informações. O grande problema era que havia várias inconsistências na vasta maioria destes métodos, além de pouco se saber sobre o desempenho deles em aplicações práticas. Um aspecto importante que era constantemente negligenciado por estes métodos era a importância dos processos na seleção e desenvolvimento dos SI's, além das ferramentas que estes métodos utilizavam.

A seguir serão apresentados os trabalhos já desenvolvidos sobre os seguintes temas:

- Seleção de Sistemas de Informação com a aplicação de modelos que não utilizem a abordagem de portfólio;

- Seleção de Sistemas de Informação com a aplicação de modelos que utilizem a abordagem de portfólio;
- Modelos para seleção de portfólio de Sistemas de Informação com uso de métodos de apoio a decisão multicritério;
- Principais critérios considerados na seleção de Sistemas de Informação;
- Fatores importantes a serem considerados na seleção de Sistemas de Informação.

2.2.1 Seleção de sistema de informação sem uso de portfólio

A maior parte dos trabalhos encontrados na literatura sobre modelos que apoiem a decisão sobre o problema de seleção de SI, tratam o problema sem uma abordagem de portfólio.

Almeida (1999) apresentou um modelo de seleção de Sistemas de Informação, que possibilita o alinhamento do planejamento de SI com aspectos estratégicos da organização e aspectos táticos dos processos. O processo de seleção é realizado utilizando as avaliações dos módulos de sistemas de informação, através de um método aditivo de apoio a decisão multicritério, obtendo uma ordenação dos projetos de SI com o intuito de realizar uma priorização dos mesmos.

Utilizando uma abordagem de planejamento semelhante, Almeida & Costa (2002) apresentaram um modelo para seleção de sistemas de informação que utiliza a abordagem de planejamento de SI chamada BSP (*Business System Planning*), identificando critérios relacionados aos objetivos estratégicos organizacionais, bem como critérios relacionados aos processos e às necessidades técnicas da empresa. Durante a fase de planejamento, os projetos de SI são avaliados de acordo com os critérios, utilizando as relações entre os parâmetros de planejamento SI. Os projetos de SIs são selecionados de acordo com uma ordenação, utilizando fluxos líquidos dos projetos, obtidos com a aplicação do método PROMETHEE II sobre eles.

Sowlati et. al. (2005) desenvolveu um modelo para priorização de SI utilizando a abordagem DEA (*Data Envelopment Analysis*) para obter uma ordenação de projetos de SI reais, comparando-os com projetos de SI artificiais.

Huang (2008) apresenta uma abordagem que utiliza uma versão modificada do método TOPSIS (*technique for order preference by similarity to ideal solution*), que trabalha com a problemática de ordenação. O método proposto por Huang (2008) é

aplicado quando não se sabe exatamente qual o conjunto de alternativas viáveis, o que acontece com frequência com problemas de priorização, de forma a identificá-las e chegar rapidamente a uma ordenação considerada a preferível pelo decisor.

Chen & Cheng (2008) também apresentaram um modelo de priorização de sistemas de informação baseado no método TOPSIS, mas sua aplicação se foca quando a priorização depende das preferências de um grupo de decisores, considerando que eles expressam suas preferências através de diferentes experiências que tiveram, o que levaria a formas distintas de expressar tais dados. Uma abordagem de avaliação lingüística é utilizada ao invés de valores numéricos, considerando avaliações diferentes para os decisores. Ao final, uma ordenação é obtida através do que eles chamaram das distâncias para a solução lingüística positiva ideal e solução lingüística negativa ideal. Uysal & Tosun (2012) apresentam uma aplicação de um modelo de priorização de SI, utilizando o método TOPSIS para um problema de seleção de sistemas de informação para gestão da manutenção.

Angelou & Economides (2008) propuseram um modelo multicritério baseado no método AHP (Analytic Hierarchy Process), para estabelecer uma priorização de projetos de tecnologia de informação e comunicação. Chen & Cheng (2009) afirmaram que os dados de entrada para um modelo de seleção de SI não envolvem muita incerteza, propondo desta forma um modelo multicritério baseado na medição e tratamento de dados fuzzy. Yeh et. al. (2010) também apresentaram um modelo de priorização de SI com abordagem fuzzy para os dados de entrada, e aplicando uma metodologia multicritério que ordena os projetos de SI de acordo com um grau de dominância de um grau de otimalidade.

2.2.2 Uso de portfólio para seleção de sistemas de informação

Durante o processo de seleção de projetos de Sistemas de Informação, deve-se considerar que todos os projetos de SI trazem diferentes benefícios que precisam ser considerados durante a resolução do problema. Por outro lado, cada projeto possui um custo diferente, necessário para a sua implementação, sendo a seleção dos projetos de SI restrita por um orçamento limitado. Estas características tornam o problema de seleção de SI em um problema de seleção de portfólio (Mehrez et. al., 1993; Zopounidis, 1999; Lee & Kim, 2000; Chen & Cheng, 2009).

Schniederjans & Santhanam (1993) discutem a importância de utilizar uma abordagem de portfólio para a seleção de SI, considerando que este problema envolve vários níveis da organização, demonstrando uma aplicação de uma abordagem de portfólio multicritério e uma abordagem de ordenação multicritério, comparando os resultados e mostrando que o resultado com o modelo de portfólio apresenta um resultado global melhor.

Lee & Kim (2000) propõem um modelo baseado na combinação da cadeia analítica de processos (*Analytic Network Process*) com uma programação 0-1 por metas no apoio de priorização de sistemas de informação com interdependência entre os critérios. Apesar do método AHP ser utilizado na priorização de sistemas de informação visando obter uma ordenação das alternativas através de uma ordem decrescente de preferência seu resultado foi incorporado a um problema da mochila, para a seleção de portfólio.

Klapka & Pinos (2002) propuseram um método para considerar as interdependências entre os projetos de SI considerando uma abordagem de seleção de portfólio com o uso de um modelo de decisão multicritério aditivo. Que considera a sinergia entre os projetos na função objetivo do portfólio, além de considerar nas restrições situações em que podem surgir projetos mutuamente exclusivos.

Albuquerque & Costa (2006) propuseram um modelo de seleção de portfólio que utiliza um raciocínio não compensatório, utilizando agregando a abordagem de planejamento BSP ao método de apoio a decisão multicritério PROMETHEE II, aplicando os fluxos líquidos do resultado a uma programação 0-1, sujeita às restrições do problema de seleção, apresentando também uma aplicação a um problema de seleção de portfólio de SI de uma empresa de economia mista voltada para serviços urbanos. Mavrotas et. al. (2006) explicam que a utilização dos fluxos líquidos do PROMETHEE II na função objetivo de uma programação 0-1 pode gerar inconsistências, pois alguns projetos de SI possuem fluxo líquido negativo, fazendo com que a programação 0-1 considere que estes projetos trazem prejuízo para a organização, o que não pode ser considerado verdade, já que tal projeto foi considerado para compor o portfólio de SI da organização. Assim sendo tais projetos jamais seriam selecionados, mesmo que houvessem folga nas restrições.

2.2.3 Métodos multicritério para seleção de portfólio de sistemas de informação

Um problema de seleção de portfólio de SI envolve vários níveis da organização, onde cada um deles possui necessidades que devem ser satisfeitas pelos Sistemas de Informação. Além disso, os ganhos obtidos com os sistemas de informação se revelam através de melhoria dos processos, vantagem competitiva, direcionando a empresa para seus objetivos estratégicos. Estes benefícios gerados diretamente pelos sistemas de informação são intangíveis e de difícil percepção. O benefício financeiro trazidos pelos sistemas de informação são geralmente indiretos e muitas vezes podem demorar a aparecer. Segundo Shin (2001), estes fatores tornam os benefícios dos sistemas de informação de difícil mensuração. Estas características associadas a necessidade de alinhamento com a estratégia da organização caracterizam o problema de seleção de portfólio de SI como um problema de decisão multicritério.

Quase todos os trabalhos que envolvem o problema de decisão de seleção de SI com uma abordagem multicritério utilizam métodos que não incorporam uma racionalidade não compensatória.

Schniederjans & Santhanam (1993) incorporaram em seu modelo de seleção de portfólio de SI a programação linear por metas, fazendo com que o modelo assumisse uma abordagem multicritério compensatória.

No modelo de Lee & Kim (2000), é utilizado o método de decisão multicritério AHP. Klapka & Pinos (2002) utilizaram um método de decisão multicritério com função aditiva para agregar as avaliações dos projetos de SI pelos critérios do problema. Nos dois modelos, os métodos de decisão multicritério utilizam a racionalidade compensatória para avaliar os projetos.

Albuquerque & Costa (2006) utilizam o PROMETHEE II no modelo de seleção de portfólio, assumindo uma racionalidade não compensatória, ao contrário da maior parte dos modelos propostos. Porém o modelo possui a restrição da escala para a programação 0-1.

2.2.4 Principais Critérios considerados para seleção de portfólio de SI

Entre as maiores dificuldades em selecionar projetos de SI/TI está na avaliação dos seus benefícios. A visão de ganhos financeiros pode comprometer o processo de avaliação por ser bastante limitada, pois os benefícios dos SIs atingem vários

objetivos da organização além do financeiro. Por exemplo, para ser considerado satisfatório, um sistema de informação deve apoiar objetivos da visão estratégica da organização (Doherty et. al., 1999; Min et. al., 1999; Hackney and Little, 1999).

Os lucros são, dentro de uma visão limitada, um objetivo em comum para as organizações quando se analisa os portfólios de SI. Por outro lado, uma abordagem que utiliza critérios originados da estratégia da organização em sua avaliação facilita a medição dos benefícios obtidos com os investimentos de SI (Doherty et. al., 1999; Henderson and Venkatraman, (1999); Bergeron et. al., (2004); Teo and Ang, (1999); Teo and King, (1997); Teo et. al., (1996)).

De acordo com Zopounidis (1999), uma análise financeira deve ser incluída no contexto geral do problema, sendo um dos critérios da tomada de decisão, considerando a importância relativa de cada critério..

Milis and Mercken (2004) afirmam que o problema de seleção de SI é geralmente um problema de decisão em grupo, onde cada decisor pode possuir critérios diferentes com importâncias relativas diferentes entre estes critérios.

Syaifudin et. al. (2010) comentam que os critérios de decisão de um problema de seleção de SI variam de acordo com a região, fazendo um breve estudo sobre eles, ressaltando que fatores econômicos e a capacidade organizacional comumente influenciam a definição dos critérios.

2.2.5 Método PROMETHEE V

Brans & Mareschal (1992) apresentaram o PROMETHEE V que aplica os processos das duas primeiras versões, sendo posteriormente adaptado para atender a restrições do problema inicial, podendo gerar um problema de programação linear, seu objetivo é realizar uma seleção das melhores alternativas dadas as restrições do problema.

O PROMETHEE V é realizado em duas etapas, onde a primeira basicamente é o próprio PROMETHEE II (Abu-Taleb & Mareschal, 1995; Mavrotas et. al., 2006).

A última etapa do PROMETHEE V é o cálculo do fluxo líquido (ϕ) utilizado pelo PROMETHEE II, conforme mostrado anteriormente para $\phi(a)$.

Estes fluxos líquidos não são adequados para representar os coeficientes das alternativas na função objetivo do problema de programação inteira 0-1. Eles não são utilizados devido ao fato de que alguns deles são negativos, fazendo com que

estas alternativas nunca fossem aceitas, mesmo que houvesse folga das restrições (Mavrotas et. al., 2006).

Assim sendo, são calculados os fluxos líquidos escalonados (φ') que nada mais é que fluxo líquido das alternativas subtraído pelo menor valor entre os fluxos líquidos. Desta forma, todos os fluxos líquidos escalonados serão positivos.

Desta forma, procura-se resolver o problema de programação inteira 0-1 maximizando a função objetivo exposta abaixo.

$$MAX \quad \varphi'(a) \times A + \varphi'(b) \times B + \dots + \varphi'(k) \times K$$

Sujeito às restrições do problema, como orçamento, divisão por áreas, entre outras. Cada alternativa K assumirá valor 1 se for selecionada e valor 0 se não for selecionada.

2.3 Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho

A literatura possui vários trabalhos com o objetivo de fornecer modelos que apoiem a decisão de seleção de sistemas de informação.

A utilização de métodos de decisão multicritério é comum em tais modelos, sendo considerada seleção de SI/TI, naturalmente um problema de decisão multicritério.

A maior parte destes modelos, no entanto, tratam o problema de seleção de SI sem uma abordagem de portfólio, sendo geralmente realizada uma ordenação dos MSIs, que não possuem uma visão de maximização dos benefícios obtidos, considerando as restrições impostas pelo problema (Almeida, 1999; Almeida & Costa, 2002; Sowlati et. al., 2005; Huang, 2008; Chen & Cheng, 2008; Uysal & Tosun, 2012; Angelou & Economides, 2008; Chen & Cheng, 2009; Yeh et. al., 2010).

Alguns trabalhos presentes na literatura propõem modelos que utilizam abordagem para apoiar a decisão de seleção de portfólios de SI (Schniederjans & Santhanam, 1993; Lee & Kim, 2000; Klapka & Pinos, 2002; Albuquerque & Costa, 2006). No entanto a maior parte deles utiliza uma racionalidade compensatória. O modelo proposto por Albuquerque & Costa (2006) apresenta uma racionalidade não-compensatória, mas devido a problemas na escala do PROMETHEE II, pode gerar inconsistências no resultado.

O objetivo deste trabalho é propor um modelo de apoio a decisão para seleção de portfólios de projetos de sistemas de informação a partir da abordagem de

planejamento de SI BSP, associado a um método de decisão multicritério que possua uma racionalidade não-compensatória, sendo consistente com tal racionalidade.

3 MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO PARA SISTEMA DE INFORMAÇÃO

A seguir é apresentado o modelo de seleção de portfólio de Sistemas de Informação, dentro do contexto da metodologia BSP de Planejamento de SI. O modelo de seleção de portfólio de SI utiliza o método PROMETHEE V com uma análise baseada no conceito dos portfólios c-ótimos de Vetschera & Almeida (2012) para evitar distorções devido a mudança de escala para o PROMETHEE V.

Neste trabalho, o modelo proposto é baseado na família de métodos PROMETHEE. O problema de seleção de sistemas de informação está sujeito a restrições de diversas origens, sendo geralmente o orçamento a principal. Estas características se encaixam com a problemática de portfólio e com o método PROMETHEE V que visa selecionar as alternativas, maximizando a satisfação do decisor, mas obedecendo às restrições existentes.

Além do modelo, apresenta-se um SAD desenvolvido e uma aplicação numérica, seguida de uma discussão dos resultados, com um estudo comparativo sobre as duas abordagens.

3.1 Descrição do Modelo Multicritério para Seleção de Portfólio de Projetos de SI

Entre as metodologias de planejamento de SI presentes na literatura, esta seção se concentrará na metodologia chamada BSP (Business System Planning) (Almeida et. al., 1992). Nesta metodologia, adaptada com a visão estratégica da organização, os módulos de sistemas de informação (MSIs) são considerados a junção de dois pontos de vista, na qual a informação pode ser obtida, sendo estes o agrupamento de dados e o tipo de sistema de informação. Em uma versão adaptada da metodologia BSP (Almeida et. al., 1992; Almeida, 1999; Almeida & Costa, 2002), os agrupamentos de dados possuem partes da informação agrupadas de acordo com sua natureza. Mais precisamente, é feito uma tentativa de dividir a informação relacionada aos processos levando em conta as classes de dados ou agrupamento de informação (AGI). No caso dos tipos de sistemas de informação (TSI), foi usado basicamente o paradigma proposto por Sprague & Watson (1989), considerando as

três abordagens básicas de sistemas de informação, Sistema de informação transacional (SIT), sistema de informação gerencial (SIG) e sistema de apoio a decisão (SAD), junto ao sistema de informação executivo (SIE) e o sistema de automação da produção (SAP).

Desta forma, a modularização consiste no cruzamento de cada AGI com cada TSI, obtendo então os módulos de sistemas de informação (MSIs). Estes módulos podem ser visualizados através de uma matriz cujas colunas estão associadas aos AGIs e cujas linhas estão associadas aos TSIs, resultando assim cada célula em um MSI.

3.1.1 Desenvolvimento dos MSIs e avaliação de suas contribuições em cada critério

A literatura fornece evidências que mostram que para a organização tomar uma decisão correta sobre investimentos de SIs, é de fundamental importância a integração entre a visão estratégica da organização e o planejamento de sistemas de informação da maneira mais completa possível. (Pollalis, 2003; Kearns & Lederer, 2004).

Junto à necessidade de transferir a estratégia de negócio aos sistemas de informação, as organizações são confrontadas com o problema de ter que definir a ordem de implementação destes projetos devido a limitação de recursos, que representam a decisão de investimentos em SIs, depois de ter identificado os sistemas de informação mais apropriados e ter construído o portfólio de projetos de SI. Mesmo assim, o cenário atual que impõem mudanças rápidas e freqüentes, aumentam as chances dos investimentos em SIs fracassarem. É fato que as mudanças no ambiente geralmente implicam em mudanças na direção dos negócios e isso pode resultar em alterações para os projetos de SI que inicialmente foram selecionados por ter prioridade, comprometendo ou inviabilizando a decisão inicial de investimento. Devido a estas variações, o processo de seleção de SIs e como decidir sobre os investimentos são estágios extremamente importantes dentro do processo de planejamento e no caso da metodologia BSP não há procedimento formal para apoiar o estágio de priorização no planejamento de sistemas de informação.

A metodologia BSP, baseada na visão estratégica da organização, permite que os projetos de sistemas de informação ou MSIs sejam compilados, mas não fornece

um procedimento formal para selecionar quais destes MSIs serão implementados. De acordo com a literatura (Bernroider & Stix, 2006; Jiang & Klein, 1999; Zopounidis, 1999), o processo de seleção de MSIs deve ser tratado como um problema de decisão multicritério. Por isso, objetivando tornar possível a aplicação de uma abordagem multicritério no processamento do BSP, assim como na seleção dos MSIs, um modelo é mostrado para a obtenção da avaliação de cada MSI de acordo com cada critério definido para o processo de seleção. Todo o processo de seleção de MSI deve ser conduzido por um analista de informação, que deverá extrair do decisor suas preferências para utilizar no processo decisório. O decisor nestes casos costuma ser o gerente de negócios.

O processo de seleção de MSIs é baseado na classificação dos módulos através da identificação da intensidade de preferência do decisor de um MSI sobre outro, baseado no seu julgamento em relação aos critérios, incluindo principalmente a visão dos processos organizacionais, diretamente associados com o gerenciamento estratégico da organização.

Os resultados da aplicação do modelo de decisão sobre a seleção é diretamente obtido da estrutura dos módulos de sistemas de informação. Como um estágio preliminar, as avaliações dos MSIs devem ser obtidas para cada critério. Como pode ser visto na matriz, m AGIs e r TSIs são considerados, correspondendo a um total de z MSIs, onde $z=m.r$.

Com o objetivo de estruturar o modelo de seleção que incorpora o método PROMETHEE V, basicamente três tipos de dados são obtidos do decisor.

O decisor estabelece os pesos relativos para cada critério e a função do critério para estabelecer a sua preferência entre as alternativas para cada critério nas comparações par a par. O decisor também estabelece os parâmetros relacionados às funções de cada critério: o limiar de preferência (p) e o limiar de indiferença (q). Desta forma, as funções dos critérios, os pesos relativos aos critérios e os parâmetros são dados obtidos diretamente do decisor. A avaliação de cada alternativa para cada critério, dentro do contexto da metodologia de planejamento de sistema de informação utilizada, deve ser obtida da estrutura que será mostrada adiante.

Esta informação será obtida através da avaliação de cada MSI como uma função de cada critério c , na forma da matriz M , mostrada a seguir. Cada célula

(elemento originado da combinação de uma coluna j , com uma linha i na matriz) representa um MSI, através da combinação dos AGIs (colunas) e TSIs (linhas) na matriz que os relaciona.

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1c} \\ m_{21} & & & \\ \dots & & & \\ m_{z1} & \dots & \dots & m_{zc} \end{bmatrix}, \text{ onde } z=m.r.$$

O modelo consiste na obtenção da matriz de MSIs por cada critério. Esta matriz é reorganizada e apresentada de forma compatível para a avaliação pelo método PROMETHEE V.

Desta forma, as avaliações dos MSIs serão obtidas para cada critério, e serão representadas pelas matrizes na seguinte forma, onde existem c critérios, m AGIs e r TSIs representados pelas colunas e linhas, respectivamente.:

$$M^c = \begin{bmatrix} m^c_{11} & m^c_{12} & \dots & m^c_{1m} \\ m^c_{21} & & & \\ \dots & & & \\ m^c_{r1} & \dots & \dots & m^c_{rm} \end{bmatrix}, \text{ onde existirão } c \text{ matrizes } M^c, \text{ sendo uma para}$$

cada critério.

Usando a metodologia de planejamento de sistemas de informação, três conjuntos de critérios serão obtidos:

- Critérios estratégicos;
- Critérios de processos;
- Critérios técnicos.

Os critérios estratégicos são obtidos através do planejamento estratégico, em uma hierarquia mais alta. Os critérios de processos são obtidos através das avaliações dos processos, em uma hierarquia abaixo dos critérios estratégicos. Os critérios técnicos também estão em uma hierarquia inferior, sendo relacionados aos tipos de sistemas de informação utilizados.

A seguir é mostrado como a avaliação dos MSIs para cada um dos três grupos de critérios é obtida na forma das matrizes M^c .

Os critérios estratégicos são os identificados na primeira etapa da metodologia de planejamento de sistemas de informação. A avaliação dos AGIs pela perspectiva destes critérios é obtida como definido a seguir.

Através da análise do grau de aderência dos p processos aos n critérios estratégicos, uma definição é feita da matriz que se segue abaixo que estabelece a relação entre os critérios estratégicos e os processos, tal que $(\sum_{i=1}^p r_{ij} = 1)$, para qualquer j , e $(0 \leq r_{ij} \leq 1)$. O quanto mais próximo de 1 o r_{ij} estiver, maior será o grau de aderência de seu processo ao seu critério estratégico.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & & & \\ \dots & & & \\ r_{p1} & \dots & \dots & r_{pn} \end{bmatrix}$$

Em seguida são obtidos os graus das relações entre os AGIs e os processos, definidos através da matriz abaixo, que é obtida baseada na análise técnica da etapa de engenharia de informação:

$$RA = \begin{bmatrix} ra_{11} & ra_{12} & \dots & ra_{1p} \\ ra_{21} & & & \\ \dots & & & \\ ra_{m1} & \dots & \dots & ra_{mp} \end{bmatrix}, \text{ de tal forma que } (0 \leq ra_{ij} \leq 1) \text{ e } (\sum_{i=1}^m ra_{ij} = 1), \text{ para}$$

qualquer j . Quanto mais próximo de 1 for o ra_{ij} , maior será o grau de relacionamento do AGI com o processo.

Após terem sido definidas as relações entre os processos e os critérios estratégicos e entre os AGIs e os processos, deve-se transferir as avaliações dos processos em relação aos critérios estratégicos para os AGIs, obtendo desta forma a avaliação dos AGIs pelos critérios estratégicos.

A matriz abaixo estabelece as avaliações dos AGIs baseadas em cada critério estratégico, obtidas da seguinte forma:

$$SG = \begin{bmatrix} sg_{11} & sg_{12} & \dots & sg_{1n} \\ sg_{21} & & & \\ \dots & & & \\ sg_{m1} & \dots & \dots & sg_{mn} \end{bmatrix}, \text{ onde: } (0 \leq sg_{ij} \leq 1) \text{ e } (\sum_{i=1}^m sg_{ij} = 1), \text{ para qualquer } j.$$

$$SG = RAXR$$

(Equação 3.1)

O que se deseja no entanto, não é a avaliação dos AGIs pelos critérios estratégicos, e sim a avaliação dos MSIS. Como um MSI é a combinação de um AGI com um TSI, é necessário obter a matriz que representa o grau de participação dos TSIs em cada AGI. A matriz a seguir mostra esta participação, considerando que:

$(\sum_{i=1}^r ta_{ij} = 1)$ para qualquer j , e que $(0 \leq ta_{ij} \leq 1)$:

$$TA = \begin{bmatrix} ta_{11} & ta_{12} & \dots & ta_{1m} \\ ta_{21} & & & \\ \dots & & & \\ ta_{r1} & \dots & \dots & ta_{rm} \end{bmatrix}$$

Com o objetivo de obter as matrizes M^c que fornece a avaliação dos MSIs para os critérios estratégicos c . As matrizes M^c , relativas aos critérios estratégicos, são obtidas para cada critério c . Cada matriz é obtida através da seguinte relação:

$$M_c = TA x g^c_j, \text{ para qualquer } j. \quad (\text{Equação 3.2})$$

Nesta relação, os vetores g^c_j , para cada critério c , são definidos como correspondentes aos vetores que fornecem a avaliação dos AGIs para cada critério c . O vetor g^c_j corresponde à coluna c da matriz SG, tal que $g^c_j = sg_{ic}$, para qualquer i e j .

O conjunto de matrizes M^c para os critérios de processos deve ser igualmente obtido. Como já foi mencionado, estes critérios diferem dos critérios estratégicos apenas pela sua natureza e pelo nível de hierarquia.

Para cada critério de processo c , haverá um vetor p^c_j , com a avaliação dos processos de acordo com os critérios c .

Usando a matriz RA, já descrita, transfere-se as avaliações dos critérios de processos para os AGIs.

Desta forma, o vetor g^c_j é obtido da seguinte maneira:

$$g^c_j = RA x p^c_j \quad (\text{Equação 3.3})$$

As matrizes M^c para os critérios de processos são obtidas de forma similar a dos critérios estratégicos.

O próximo passo é a obtenção do conjunto de matrizes M^c para os critérios técnicos.

Os critérios técnicos consideram os TSIs, diferentemente dos critérios estratégicos e de processos que avaliam os AGIs através dos processos.

Para cada critério técnico c , haverá um vetor t^c , com a avaliação dos TSIs de acordo com os critérios c . Estas avaliações devem ser fornecidas por um especialista em sistemas de informação, na etapa de engenharia de informação.

Finalmente, a matriz M^c para os critérios técnicos são obtidas através da seguinte relação:

$$M^c = AT \times t^c, \text{ para qualquer } i \text{ e } j. \quad (\text{Equação 3.4})$$

A matriz AT pode ser verificada a seguir, e apresenta o grau em que cada AGI usa

cada TSIs, considerando que $(\sum_{j=1}^m at_{ij} = 1)$, para qualquer i , e que $(0 \leq at_{ij} \leq 1)$:

$$AT = \begin{bmatrix} at_{11} & at_{12} & \dots & at_{1m} \\ at_{21} & & & \\ \dots & & & \\ at_{r1} & \dots & \dots & at_{rm} \end{bmatrix}.$$

O peso relativo de todos os critérios é representado pelo vetor c_i , considerando um total de d critérios, tal que $(\sum_{i=1}^d c_i = 1)$ e $(0 \leq c_i \leq 1)$.

Incluídos entre os d critérios, estão os n critérios estratégicos, onde seus pesos são representados pelo vetor e_i , que são avaliados diretamente pelo decisor. Desta forma, os primeiros n elementos do vetor c_i correspondem aos critérios estratégicos e são obtidos através do vetor e_i . Os elementos seguintes do vetor c_i também são definidos pelo decisor. O decisor também deve estabelecer o fator peso (wf) que irá definir a importância do conjunto de critérios estratégicos em relação aos conjuntos de critérios de processos e de critérios técnicos, de tal forma que $(0 \leq wf \leq 1)$.

Os pesos finais dos critérios estratégicos no vetor c_i , correspondentes aos primeiros n elementos, serão dados por $(c_i = wf \cdot e_i)$, considerando $(0 \leq i \leq n)$.

Com o objetivo de incorporar os resultados obtidos neste processo de forma compatível com a avaliação do método PROMETHEE, serão utilizados o vetor c_i e a matriz M , que representa a avaliação de todos os z MSIs para todos os critérios.

Deve ser observado que as colunas da matriz M representa a avaliação do conjunto de MSIs para cada critério. As linhas representam os MSIs, obtidos através das combinações entre os AGIs e os TSIs. A matriz M é obtida dos conjuntos de matrizes M^c . Desta forma, a coluna c de M é obtida através da matriz M^c . Por exemplo, os valores da primeira coluna de M correspondem aos valores da matriz M^1 , na qual os elementos são renumerados dando prioridade às colunas e depois às linhas da matriz M^1 , formando assim a primeira coluna de M .

Usando a matriz M e o vetor c_i , e tendo definido a função de cada critério, é obtida para cada critério uma matriz com o grau de sobreclassificação $\pi(a,b)$ para cada par de alternativas (a,b) , e baseado nas matrizes obtidas, os fluxos positivos e negativos de cada alternativa são calculados, estabelecendo desta forma o processo de seleção de cada MSI através do método PROMETHEE V.

3.2 Seleção de Portfólio de Projetos baseado em PROMETHEE V com o conceito de portfólio c- ótimo

Existem diversos métodos de apoio a decisão multicritério, que podem ser utilizados para diferentes tipos de problemas de decisão ou problemáticas distintas. O método PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation), usado nesta tese, consiste na construção de uma relação de valores de sobreclassificação (Brans et al, 1984; Brans & Vincke, 1985). Este método é aplicado a uma gama enorme de problemas (Behzadian et al, 2010).

3.2.1 Aplicação do PROMETHEE V ao modelo de seleção de portfólio de projetos de SI

Para cada critério, o decisor deve estabelecer um peso p_j que cresce de acordo com a importância deste critério, frente aos outros critérios do problema, para o decisor. O PROMETHEE pode usar seis formas diferentes para definir como o

decisor pode representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma para todos os critérios. Estas seis formas são as funções dos critérios, usadas para indicar a intensidade de preferência (Brans & Vincke, 1985). O PROMETHEE V é baseado no PROMETHEE II. No método PROMETHEE II, o fluxo líquido de uma alternativa i é obtido da seguinte forma:

$$\phi_i = \phi_i^+ - \phi_i^- \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:

ϕ_i^+ é fluxo de saída ou fluxo positivo da alternativa i , e

ϕ_i^- é fluxo de entrada ou fluxo negativo da alternativa i .

A solução para o PROMETHEE V (Brans and Mareschal, 1992) é obtida a seguir:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \quad (\text{Equação 3.6})$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^r b_j x_j \leq B$$

Onde:

x_i é uma variável binária, indicando se o projeto relacionado ao MSI i está incluído no portfólio ou não.

b_i representa o custo do projeto relacionado ao MSI i .

B é o orçamento avaliado, que é a restrição para a implementação dos projetos.

Há um importante aspecto relacionado aos escores (fluxos líquidos) das alternativas. Algumas alternativas possuem fluxos líquidos positivos, enquanto outras alternativas possuem fluxos líquidos negativos. Mavrotas et. al. (2006) menciona que este aspecto não estava claro no estudo anterior do PROMETHEE V, dado que os sinais de todos os fluxos líquidos devem ser positivos na função objetivo da etapa de otimização do problema da mochila, onde os projetos serão ou não selecionados. Eles sugeriram transformar todos os fluxos líquidos do PROMETHEE II em valores não-negativos através de uma mudança de escala dos fluxos líquidos, com a seguinte transformação:

$\phi'_i = \phi_i + |\min_i(\phi_i)|$, onde $\min_i(\phi_i)$ é o menor valor do fluxo líquido, que é negativo, considerando todas as alternativas.

Porém, um problema com esta transformação de escala ainda pode ser visto. A alternativa com o menor fluxo líquido jamais seria considerada para entrar no portfólio, já que seu fluxo líquido agora seria zero. Isto pode sugerir que o problema deveria ser superado adicionando um valor, que pode ser ε , como se segue: $\phi'_i = \phi_i + |\min_i(\phi_i)| + \varepsilon$. Seja então $L > |\min_i(\phi_i)|$, e a transformação de escala poderia ser aplicada da seguinte maneira:

$$\phi'_i = \phi_i + L \quad (\text{Equação 3.7})$$

Com a aplicação da equação 3.7 todos os projetos de SI podem ser incluídos no portfólio selecionado pelo modelo, pois contribuem com o aumento da função objetivo.

3.2.2 Utilização do conceito de portfólio c-ótimo

Almeida & Vetschera (2012) mostraram que tornar todos os fluxos positivos não é o suficiente, uma vez que a mudança de escala com a equação (3.7) pode também levar a recomendação de portfólios diferentes. Os autores mostraram que diferentes resultados podem ser obtidos através da equação (3.7). Isto é, pode se obter diferentes recomendações para portfólios dependendo do valor da constante L. Como mostrado por Almeida & Vetschera (2012), enquanto transformações lineares de escalas não muda os resultados do PROMETHEE II, elas podem mudar os resultados para portfólios no PROMETHEE V. Este tipo de mudança de escala funciona bem quando se avalia alternativas através do PROMETHEE II, porém não funciona quando se avalia portfólios, onde o valor do portfólio (p) depende do número de alternativas que ele possui.

Para superar este problema de escala, foi usado o conceito de c-ótimo para PROMETHEE V, proposto por Vetschera & Almeida (2012). O c-ótimo PROMETHEE V consiste em resolver o seguinte modelo:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^z \phi_i x_i \quad (\text{Equação 3.8})$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^z b_i x_i \leq B$$

$$\sum_{i=1}^z x_i = c$$

Este modelo consiste em selecionar o melhor portfólio com um número c de projetos. Almeida & Vetschera (2012) provaram que o portfólio c -ótimo para um dado valor c permanece o mesmo para qualquer valor do parâmetro de transformação k da formulação do modelo.

Comparações entre estes portfólios c -ótimos foram colocados por Almeida & Vetschera (2012) como um assunto a ser considerado para estudo futuro. O procedimento assume que não se faz necessário considerar c -ótimos com $c < p$, já que estes portfólios não agregarão um valor total maior que o p -ótimo portfólio. Então, não é necessário considerá-los na análise.

Um procedimento para comparar estes portfólios c -ótimos devem levar em consideração a racionalidade presente nos métodos de sobreclassificação, com o objetivo de ser consistente com a abordagem do PROMETHEE. A proposição de tal procedimento depende do número de portfólios a ser comparados.

O número de portfólios avaliados deve ser menor que $z-p$, lembrando que z é o número máximo de projetos. Pode ser visto que a probabilidade de haver um portfólio c -ótimo diminui com o aumento de $c-p$. Isto pode ser verificado através de uma simulação. Na maior parte dos casos, o portfólio p -ótimo é o único portfólio c -ótimo viável, porém, quando se procura pelo melhor portfólio, ainda deveria se ter a preocupação com o problema de escala. Existe, porém, uma probabilidade considerável de aparecer dois portfólios, enquanto encontrar três portfólios é menos provável, mas ainda razoavelmente plausível. Isto é, para muitos problemas práticos o número de portfólios a serem comparados pode não ser tão grande quanto se supôs anteriormente.

Baseado nestas considerações, um procedimento é proposto para comparar estes portfólios c -ótimos. A idéia é escolher o portfólio baseado no índice de concordância de sobreclassificação entre os portfólios.

Seja $C(c,p)$ o índice de concordância que o portfólio c-ótimo sobreclassifica o portfólio p-ótimo. O índice de concordância $C(c,p)$ é definido como a soma dos pesos de cada critério para o qual a soma dos valores de todas as alternativas presentes no portfólio c-ótimo para este critério é maior que a soma dos valores de todas as alternativas presentes no portfólio p-ótimo.

Seja P_k^c , o valor do portfólio c-ótimo para o critério k , então:

$$P_k^c = \sum_{i=1}^z v_{ik} x_i \quad (\text{Equação 3.9})$$

Onde v_{ik} é o valor do projeto i para o critério k .

Desta forma, o índice de concordância que o portfólio c-ótimo sobreclassifica o portfólio p-ótimo é dado por:

$$C(c, p) = \sum_{P_k^c > P_k^p} c_k \quad (\text{Equação 3.10})$$

Onde P_k^p é o valor do portfólio p-ótimo para o critério k , e c_k é o peso do critério k .

Desta forma, o procedimento consiste na escolha do portfólio com o maior $C(c,p)$, desde que $C(c,p) > 0,5$. Se não houver índice que obedeça a esta condição, então o portfólio escolhido será o p-ótimo.

Assim sendo, a seleção do portfólio de SI usando este modelo é aplicada através do seguinte procedimento:

Passo 1: Calcular a solução do PROMETHEE V clássico, mudando a escala como definido por Mavrotas (2006). Seja p o número de alternativas (projetos) para esta solução. Este será o portfólio p-ótimo.

Passo 2: Mudar a escala como mostrado em Almeida & Vetschera (2012) e calcular os portfólios c-ótimos através do modelo apresentado, Equação (3.8) para $c=p+1$, e aumentando este valor de c tanto quanto for possível encontrar uma solução viável.

Passo 3: Calcular os valores dos portfólios p-ótimo e c-ótimos para cada critério k através da Equação (3.9).

Passo 4: Calcular o índice de concordância que o portfólio c-ótimo sobreclassifica o portfólio p-ótimo $C(c,p)$, através da Equação (3.10).

Passo 5: Comparar cada portfólio c-ótimo com o portfólio p-ótimo e escolher o melhor.

O uso deste procedimento é ilustrado em uma aplicação numérica na próxima seção.

3.3 Aplicação do Modelo Baseado em PROMETHEE V com o Conceito de Portfólio c-ótimo

O modelo foi aplicado por meio de um sistema de apoio a decisão elaborado através do Matlab. O modelo utiliza como base de dados a planilha do Excel, por ser facilmente utilizada por qualquer usuário. A base de modelo foi montada através do Matlab, devido a sua simplicidade para a elaboração de SADs que utilizam modelos de otimização.

É necessário inserir nas planilhas do Excel os dados de entrada para o planejamento de SI (As relações envolvendo critérios, processos, AGIs, TSIs), além dos dados sobre as restrições do problema e sobre os critérios.

Na primeira etapa é montada a matriz de conseqüências dos MSIs. O programa utiliza os dados de entrada de planejamento de SI, elimina os MSIs provenientes de AGIs e TSIs incompatíveis, calcula e monta a matriz de conseqüências dos MSIs.

Na segunda etapa é aplicado o PROMETHEE V sobre a matriz de conseqüências, calculando não apenas a solução clássica, mas também as soluções c-ótimas. Uma saída é montada no Excel, mostrando para o usuário os portfólios obtidos, permitindo uma comparação visual.

Na terceira etapa, o SAD calcula os índices de sobreclassificação dos portfólios c-ótimos sobre o portfólios da solução clássica. Os índices de sobreclassificação são escritos em uma planilha do Excel para que o usuário possa analisar e comparar melhor os portfólios, tomando a decisão.

Para uma melhor compreensão do problema, o SAD em Matlab também realiza uma análise de robustez através de uma simulação Monte Carlo, mostrando quais

os portfólios encontrados com as variações, quais as suas frequências e realizando comparações entre eles. Os dados sobre a análise de robustez são escritos pelo SAD em uma planilha do Excel. É permitido ao usuário escolher quais os dados de entrada que serão simulados, qual a faixa de variação e quantos casos a simulação irá rodar.

A aplicação numérica a seguir é baseada em uma aplicação real que foi conduzida. Apesar de que os dados reais não puderam ser apresentados, o contexto do problema, a maior parte das características descritas e os dados podem ser considerados realísticos, já que foram baseados em uma situação real. A companhia onde o estudo foi realizado agrega sua experiência em tecnologia da informação e como se gerencia seus dados computacionais e seus recursos, com o objetivo de encontrar a demanda formulada pela administração pública do estado de Pernambuco. Dentro da faixa de serviços na qual ela atua, pode se considerar que ela fornece uma rede de telecomunicações computadorizadas, fornece acesso a serviços e informação e age como centro computacional para eles.

3.3.1 Descrição do problema

Baseado na visão estratégica da organização e nos fatores críticos de sucesso identificados (CFSs), o decisor define os critérios estratégicos junto com seus pesos relativos:

- Novas tecnologias: Expectativa de novas tecnologias para avaliação da qualidade de serviços, com peso de 0,15;
- Oportunidade de novos negócios: Identificação de oportunidades para novos negócios, com o peso de 0,45;
- Qualidade do serviço: Manutenção da qualidade dos serviços prestado, com o peso de 0,40.

Os macro-processos da organização são obtidos como resultado da análise de negócios. A relação dos processos com os dados de negócios resultam nos agrupamentos de informação (AGIs), apresentados na tabela 3.1, sendo colocados com ênfase.

Tabela 3.1: Agrupamento de sistemas de informação (AGIs)

AGI	Macro-processos envolvidos
-----	----------------------------

AGI	Macro-processos envolvidos
Planejamento	Planejamento estratégico e gerenciamento de controle
Pessoal	Gerenciamento de pessoal
Finança	Gerenciamento financeiro
Serviços	Desenvolvimento de sistemas, Integração de sistemas, Manutenção e suporte de sistemas
Operações	Operação de sistemas
Novas tecnologias	Gerenciamento de desenvolvimento tecnológico e de informação
Comercialização	Comercialização

Depois disso, a apresentação das avaliações dos macro-processos são obtidos do decisor pela perspectiva dos critérios estratégicos. Isto corresponde ao julgamento de valores do decisor, apresentados na tabela 3.2. Este tipo de informação possui alguns aspectos organizacionais e técnicos a serem considerados e geralmente o decisor pode ser apoiado por um analista de SI/TI.

Tabela 3.2: Relação dos macro-processos com os critérios estratégicos (R)

Macro-processos	Novas tecnologias	Novos negócios	Qualidade de serviço
Planejamento estratégico e gerenciamento de controle	0.1	0.05	0.10
Gerenciamento de pessoal	0.1	0.05	0.10
Gerenciamento financeiro	0.05	0.05	0.10
Desenvolvimento de sistemas	0.3	0.3	0.2

Macro-processos	Novas tecnologias	Novos negócios	Qualidade de serviço
Integração de sistemas	0.2	0.1	0.1
Manutenção e suporte de sistemas	0.1	0.2	0.05
Operação de sistemas	0.05	0.1	0.05
Gerenciamento de desenvolvimento tecnológico e de informação	0.05	0.1	0.1
Comercialização	0.05	0.05	0.2

No estágio seguinte, o decisor definiu os critérios de processos:

- Importância da automação dos processos para a organização;
- Entendimento, cooperação e comprometimento do usuário para o desenvolvimento de um sistema para automação de processos.

A seguir, a avaliação dos macro-processos de acordo com os critérios de processos é obtida do decisor, o que expressa a sua percepção, mostrada na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Avaliação dos macro-processos de acordo com critérios de processos P

Macro-processos envolvidos	Importância da automação	Comprometimento do usuário
Planejamento estratégico e gerenciamento de	0.1	0.05

Macro-processos envolvidos	Importância da automação	Comprometimento do usuário
controle		
Gerenciamento de pessoal	0.1	0.1
Gerenciamento financeiro	0.1	0.1
Gerenciamento de sistemas	0.2	0.2
Integração de sistemas	0.1	0.1
Manutenção e suporte de Sis	0.15	0.15
Operação de sistemas	0.15	0.15
Gerenciamento de desenvolvimento tecnológico,	0.05	0.1
Comecialização	0.05	0.05

Além dos AGIs, são utilizados os TSIs, que são relacionados aos tipos de ferramentas utilizadas para lidar com a informação. As abordagens de TSI considera nesta aplicação:

- Sistema de informação transacional (SIT);
- Gerenciamento de informação gerencial (SIGs);
- Sistema de apoio a decisão (SAD);
- Sistema de informação executivo (SIEs), e
- Sistemas de automação da produção (SAP);

A combinação dos AGIs com os TSIs resultam em uma aplicação de um modelo que poderá compor o portfólio de SI, que são os MSIs, sendo apresentados pela tabela 3.4. Dependendo do contexto da organização, alguns AGIs poderão ser incompatíveis com alguns TSIs. Neste caso por exemplo, não faz sentido aplicar o

TSI Sistema de Automação da Produção ao AGI Planejamento. Por esta razão, existem algumas células em branco na tabela 3.4.

Tabela 3.4: MSIs disponíveis para a companhia

AGI \ TSI	SIT (1)	SIG(2)	SAD(3)	SIE(4)	SAP(6)
Planejamento(1)	Informação transacional em planejamento	Informação gerencial em Planejamento	Apoio a decisão em planejamento	Informação executive em planejamento	----- ----
Pessoal(2)	Informação transactional em Pessoal	Informação gerencial de pessoas	Apoio a decisão para pessoal	-----	----- ----
Finanças(3)	Informação transactional em finanças	Informação gerencial em finanças	Apoio a decisão em finanças	Informação executive em finanças	----- ----
Serviços(4)	Informação transactional para serviços	Informação gerencial para serviços	Apoio a decisão para serviços	-----	----- ----
Operações(5)	Informação transactional para operações	Informação gerencial para operações	Apoio a decisão para operações	-----	Automação da produção para operações
Novas tecnologias (6)	Informação transactional em NT	----- --	Apoio a decisão em NT	Informação executive em NT	----- ----
Comercialização (7)	Informação transactional em comercialização	Informação gerencial em comercialização	Apoio a decisão em comercialização	Informação executive em comercialização	----- ----

Na fase seguinte, o analista de informação deve estabelecer a relação entre os AGIs e os processos. Tendo em mãos as relações entre os critérios estratégicos, os processos e os AGIs, a avaliação dos processos pelo critérios estratégicos são transferidas pelos AGIs para os MSIs. Já que o que se deseja não é a avaliação apenas dos AGIs, mas dos MSIs pelos critérios estratégicos, e os MSIs são

combinações dos AGIs com os TSIs, pode-se obter dos analista de informação a matriz que representa o grau de participação dos TSIs em cada AGI.

A matriz com a avaliação dos MSIs para cada critério estratégico é obtida por meio da relação $M^c = TA \times g^c_j$, na qual g^c_j corresponde às colunas da matriz 3.2. Os MSIs são avaliados para cada critério estratégico. De forma análoga aos critérios estratégicos, devem ser obtidas as avaliação dos MSIs pelos critérios de processos.

Baseado nas relações $g^c_j = RA \times p^c_j$ e agora aplicando $M^c = TA \times g^c_j$ aos critérios de processos, a avaliação dos MSIs para os critérios de processos é obtida no próximo passo. Em seguida, a avaliação dos MSIs pelos critérios técnicos devem ser obtidas do analista de informação. Para tal, é necessário fazer uma análise dos TSIs pelos critérios técnicos, que são:

- Oportunidade tecnológica;
- Custo relativo da tecnologia.

A avaliação dos TSIs pelos critérios acima são obtidas do analista de informação.

Com o objetivo de se obter os pesos relativos entre os critérios estratégicos, de processos e técnicos, são obtidos do decisor o peso do grupo de critérios estratégicos em relação aos outros critérios, que neste caso é 0,53 para os critérios estratégicos e 0,47 para os outros critérios. A tabela 3.5 resume os pesos finais dos critérios adotados.

Tabela 3.5: Pesos dos critérios adotados

Grupo de critérios	Critérios	Pesos finais
Estratégicos	Novas tecnologias (C1)	0.08
	Oportunidade de novos negócios (C2)	0.24
	Qualidade de serviços (C3)	0.21
Técnicos	Oportunidade tecnológica (C4)	0.07

	Custo relativo da tecnologia (C5)	0.07
Processos	Comprometimento do usuário (C6)	0.21
	Importância da automação (C7)	0.12

Tendo obtido as avaliações dos MSIs para todos os critérios e os pesos destes, então um método multicritério já pode ser utilizado para realizar uma avaliação apropriada dos projetos de SI/TI. Os resultados expostos na tabela 3.6 podem ser usados como entrada para o método multicritério de apoio a decisão. Também são dados na tabela 3.6 os custos de cada projeto. Considerou-se o orçamento de \$6.596.700,00.

Tabela 3.6: Avaliação dos MSIs para cada critério (x100) e os custos de implementação de cada projeto (em \$1,00)

MSI	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Custos
1	0,75	0,40	0,80	0,80	0,45	1,50	4,00	311,60
2	0,75	0,40	0,80	0,80	0,45	1,00	1,00	269,00
3	3,00	1,60	3,20	3,20	1,80	7,50	3,00	738,20
4	3,00	1,60	3,20	3,20	1,80	15,00	5,00	713,70
5	4,00	2,00	4,00	4,00	4,00	1,50	4,00	364,40
6	3,20	1,60	3,20	3,20	3,20	2,00	2,00	573,60
7	0,80	0,40	0,80	0,80	0,80	2,50	1,00	342,50
8	1,20	1,13	2,25	2,25	2,18	1,50	4,00	559,50
9	1,60	1,50	3,00	3,00	2,90	2,00	2,00	236,40
10	0,80	0,75	1,50	1,50	1,45	5,00	2,00	459,30
11	0,40	0,38	0,75	0,75	0,73	9,00	3,00	768,30
12	13,65	14,48	7,95	10,95	10,88	0,75	2,00	660,00
13	22,75	24,13	13,25	18,25	18,13	1,00	1,00	498,40
14	9,10	9,65	5,30	7,30	7,25	2,50	1,00	198,80
15	6,08	7,31	6,98	8,78	8,89	7,50	20,00	709,00
16	1,35	1,63	1,55	1,95	1,98	3,00	3,00	431,80
17	0,68	0,81	0,78	0,98	0,99	2,50	1,00	477,30
18	5,40	6,50	6,20	7,80	7,90	11,51	17,26	734,30

MSI	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Custos
19	1,70	2,20	2,00	1,30	2,00	0,75	2,00	238,60
20	4,25	5,50	5,00	3,25	5,00	2,50	1,00	442,00
21	2,55	3,30	3,00	1,95	3,00	3,00	1,00	808,80
22	5,20	5,10	9,80	5,60	5,70	1,50	4,00	160,10
23	3,90	3,83	7,35	4,20	4,28	1,00	1,00	817,10
24	2,60	2,55	4,90	2,80	2,85	2,50	1,00	834,30
25	1,30	1,28	2,45	1,40	1,43	3,00	1,00	846,10

Agora, o método PROMETHEE V com o conceito de c-ótimo já pode ser aplicado.

3.3.2 Aplicação do PROMETHEE V com c-ótimo

O PROMETHEE apresenta seis diferentes formas pelas quais o decisor pode representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma para todos os critérios. Para esta aplicação foi considerada a primeira destas formas, o critério usual ou verdadeiro (Brans and Vincke, 1985), para todos os critérios.

Aplicando o PROMETHEE V e os conceitos de c-ótimo, usando o procedimento proposto para comparar portfólios, dois portfólios c-ótimos foram encontrados além da solução clássica do PROMETHEE V. A tabela 3.7 mostra os três portfólios c-ótimos que podem ser soluções alternativas para o problema;

Tabela 3.7: Portfólios selecionados

MSI	PROMETHEE V	c-ótimo; c= 15	c-ótimo; c= 16
1	0	0	1
2	0	1	1
3	1	0	0
4	1	1	0
5	1	1	1
6	0	1	0
7	0	1	1
8	0	0	0
9	1	1	1
10	1	0	1
11	0	0	0
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1

MSI	PROMETHEE V	c-ótimo; c= 15	c-ótimo; c= 16
15	1	1	1
16	1	1	1
17	0	0	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	0	0	0
22	1	1	1
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0

A segunda coluna da tabela 3.7 mostra o resultado do primeiro passo do procedimento proposto para a comparação dos portfólios, que é a solução clássica do PROMETHEE V, que pertence à classe $p=14$, isto é, possui catorze projetos incluídos em seu portfólio. A terceira e a quarta coluna correspondem aos resultados do segundo passo, isto é, os portfólios c-ótimos encontrados pelo modelo, $c=15$ e $c=16$. Tais resultados foram encontrados por que existiam soluções viáveis com quinze e dezesseis projetos, quando o modelo tentou obrigar a programação 0-1 a escolher um portfólio com dezessete projetos, esta não encontrou soluções viáveis.

Os resultados do passo 3 são mostrados na tabela 3.8. Nesta tabela são informadas as contribuições de cada um dos portfólios selecionados de acordo com cada critério, onde cada contribuição é a soma das contribuições dos projetos incluídos em cada portfólio para cada critério.

Tabela 3.8: Performance dos portfólios para cada critério

Critérios	PROMETHEE V	c-ótimo; c= 15	c-ótimo; c= 16
C1	0,819	0,828	0,789
C2	0,839	0,840	0,828
C3	0,729	0,730	0,697
C4	0,801	0,802	0,771
C5	0,797	0,809	0,788
C6	0,620	0,550	0,470
C7	0,673	0,663	0,663

Depois de aplicar o passo 4, os seguintes resultados são encontrados: $C(c15,p)=0,67$. Isto significa que o portfólio $c15$ vence a recomendação clássica em

67% dos pesos dos critérios. Enquanto isso, pode ser verificado que o portfólio c16 é dominado tanto pela solução clássica quanto pelo portfólio c15.

Aplicando o passo 5, a recomendação é obtida como sendo o portfólio c-ótimo com $c=15$. Os resultados da tabela 3.8 também são mostrados na figura 3.1. que permite uma melhor visualização da performance do portfólio c15 ($c=15$). Pode ser visto que o portfólio c15 é o melhor para cinco critérios (C1, C2, C3, C4 e C5)

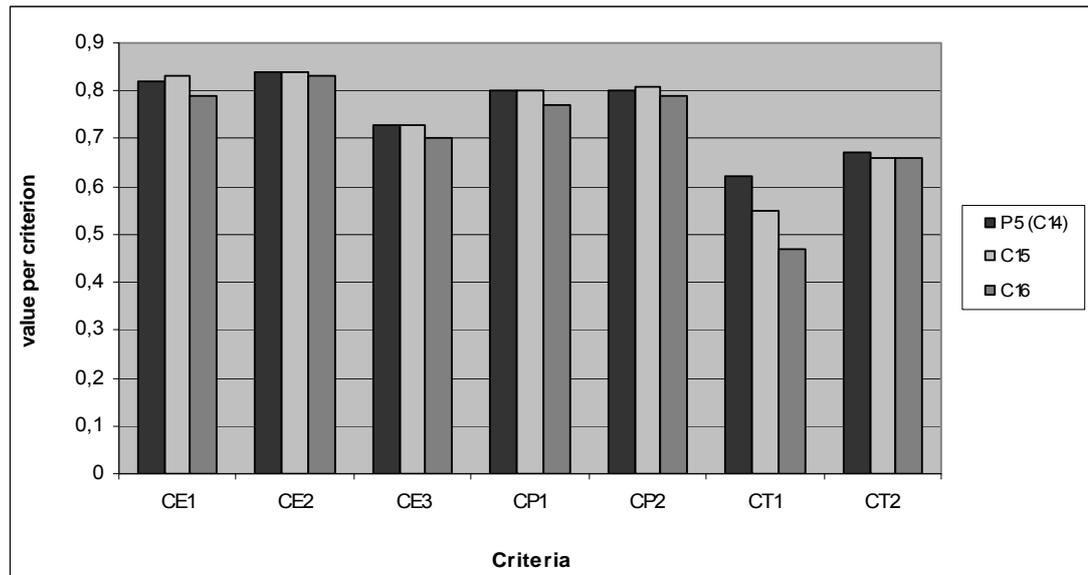


Figura 3.1: Valor dos portfólios c-ótimos por critério

A figura 3.1 permite uma melhor visualização da performance do portfólio c15 ($c=15$). Pode ser visto que o portfólio c15 é o melhor para cinco critérios (C1, C2, C3, C4 e C5)

3.3.3 Discussão dos resultados do PROMETHEE V com c-ótimo

Destes resultados, dois pontos merecem discussão. O primeiro é sobre o novo procedimento para o PROMETHEE V, considerando o conceito de c-ótimo. O segundo é o uso de um processo de visão integrada da organização com o objetivo de avaliar os projetos de SI.

No que diz respeito ao uso do PROMETHEE V, os resultados mostraram que o resultado clássico do portfólio p-ótimo não é a recomendação mais apropriada para o decisor. Além disso, o uso do conceito do portfólio c-ótimo mostra que outro portfólio pode ser mais adequado que o portfólio p-ótimo.

Através da figura 3.1, o decisor pode verificar quais resultados cada portfólio consegue alcançar. Seguindo a racionalidade dos métodos de sobreclassificação, a intensidade de cada portfólio em cada critério não é importante, pois estes métodos, em uma comparação par a par, analisam apenas se uma alternativa é superior à outra com a qual está sendo comparada, não sendo analisado o quanto ela é melhor ou o quanto é pior. Na racionalidade não-compensatória, o principal raciocínio passa a ser:

1. Para quais critérios um portfólio é melhor que os outros?
2. Como pode o portfólio c-ótimo ser considerado melhor quando comparado com o portfólio p-ótimo?

O primeiro ponto é ilustrado na tabela 3.8, mostrando as vantagens do portfólio c15, que é melhor que o portfólio p-ótimo para os critérios C1, C2, C3, C4 e C5. O gráfico na figura 3.1 ilustra os resultados encontrados para cada portfólio, fazendo uma comparação visual entre eles. Neste caso pode ser visto uma aparente vantagem do portfólio c15 sobre o portfólio p-ótimo para o primeiro e para o quinto critério. De qualquer forma, para os critérios C2, C3 e C4, pode se observar que esta vantagem do portfólio c15 sobre o portfólio p-ótimo não é notável.

O segundo ponto é analisado pelo procedimento dado pela subseção anterior. Baseado nisto, o portfólio c15 é melhor para critérios somam 0,67 dos pesos, quando comparados com o portfólio p-ótimo. Isto é, o portfólio p-ótimo tem vantagem sobre critérios que somam apenas 0,33 dos pesos. Isto significa que para uma racionalidade não compensatória, o portfólio c15 pode ser considerado melhor que o portfólio p-ótimo. Este procedimento é compatível com o conceito dos métodos de sobreclassificação, uma vez que mostra um grau de concordância sobre a relação de sobreclassificação entre os portfólios c15 e p-ótimo.

Este resultado numérico ilustra uma situação na qual o PROMETHEE V clássico pode não fornecer o melhor portfólio como resultado. De qualquer forma, o uso do conceito de portfólio c-ótimo associado com o método PROMETHEE V pode apresentar um resultado satisfatório, ainda de acordo com a racionalidade não compensatória do decisor.

Com respeito ao segundo tópico, o uso de um processo com visão integrada da organização com o objetivo de avaliar projetos de SI, algumas considerações relacionadas aos resultados podem ser fornecidas.

Um dos aspectos positivos do modelo proposto nesta tese é que o decisor está apto a fornecer dados, como: a importância relativa entre os critérios estratégicos, a relação entre os critérios estratégicos e os macro-processos, e a importância relativa entre os critérios de processos. A outra informação usada neste modelo é obtida automaticamente através de transferências por meio de operações com matrizes e também por um analista de informação, como: a relação entre os AGIs e os macro-processos, a avaliação dos TSIs de acordo com os critérios técnicos e as relações entre os TSIs e os AGIs.

Baseado nas observações acima, algumas implicações gerenciais podem ser fornecidas, como:

- O modelo de seleção proposto lida com aspectos presentes em um problema de seleção de SI, tais como a visão estratégica da organização, a visão dos processos e a visão tecnológica;
- O método multicritério usado no modelo permite que sejam incorporados aspectos que envolvem a situação da organização, com respeito, internamente, às suas necessidades de informação; e externamente, com respeito à sua posição no mercado, através da escolha dos critérios, definindo a importância relativa entre eles, além dos limites de preferência e indiferença.
- A busca por uma integração entre a visão de negócios e portfólios de SI é consolidada com o uso de critérios estratégicos na seleção de Sis, sendo tais critérios definidos de acordo com a visão estratégica da organização e sobre os fatores críticos de sucesso.

3.4 Análise de Robustez do Modelo Baseado em PROMETHEE V com o Conceito de Portfólio c- ótimo

Vários parâmetros de entrada para o problema de seleção de portfólio de sistemas de informação dependem de uma avaliação subjetiva, pelo menos em parte, do decisor. Vários trabalhos na literatura alertam sobre a imprecisão destes dados, recomendando abordagens que tratassem da variabilidade inerente às suas origens (Chen & Gorla, 1998; Yeh et. al., 2010; Uysal & Tosun, 2012). Segundo (2006), parte desta variabilidade pode ser originada de vieses que o decisor possui e identificaram quatro tipos destes vieses.

Com o intuito de investigar o efeito destas variações nos dados de entrada, foi realizada uma análise de robustez, variando os parâmetros de entrada da etapa de planejamento de sistemas de informação, além dos pesos dos critérios, através de um procedimento de simulação Monte Carlo. Nesta análise de simulação, todos os parâmetros de entrada escolhidos são variados simultaneamente, dentro de uma distribuição de probabilidade, verificando qual a variação nos resultados do modelo.

Foi realizado um estudo com o intuito de verificar quais parâmetros de entrada estão mais sujeitos à estas imprecisões com o objetivo de realizar a análise de robustez sobre elas. As variações se deram em cima dos seguintes parâmetros de entrada:

- Valores da matriz R, que relaciona os processos aos critérios estratégicos;
- Valores da matriz RA que relaciona os AGIs aos processos;
- Valores da matriz TA que fornece o grau de participação de cada TSI em cada AGI;
- Valores da matriz P que fornece a relação entre os processos e os critérios de processo;
- Valores da matriz T que fornece a avaliação dos TSIs por cada critério técnico;
- Valores da matriz T, que fornece o grau do uso dos AGIs em cada TSI;
- Pesos dos critérios adotados no problema;

As variações foram realizadas dentro de um intervalo de (-15%;+15%), através de uma distribuição de probabilidade normal, onde a média foi considerada o valor

original da entrada e o desvio padrão um terço da variação (5%). Quando ocorria de a variação superar os 15%, ela era refeita, garantindo que estaria dentro do intervalo estabelecido.

Variando todos os dados de entrada originais simultaneamente dentro do intervalo estabelecido, foram feitas dez mil simulações. Os resultados para a recomendação do PROMETHEE V clássico é exposta na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V clássico

frequência	9530	267	64	61	45	21	6	1	4	1
MSI\port.	P5org.	P5(2)	P5(3)	P5(4)	P5(5)	P5(6)	P5(7)	P5(8)	P5(9)	P5(10)
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
4	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Como pode ser visto na tabela 3.9, mais de 95% dos casos, o resultado do PROMETHEE V clássico se manteve igual ao original, o que indica uma robustez para esta solução. Apesar disto, outras nove soluções foram encontradas além da original. As soluções encontradas na análise de robustez são portfólios que contém catorze ou quinze projetos.

Os resultados da análise de robustez para o portfólio c1, onde é chamado aqui de c1 o portfólio com uma alternativa a mais que a solução clássica ($c=p+1$), estão presentes na tabela 3.10.

*Tabela 3.10: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE
V no portfólio c1*

frequência	2611	2466	2661	1483	395	209	113	19	43
MSI\port.	c1org.	c1(2)	c1(3)	c1(4)	c1(5)	c1(6)	c1(7)	c1(8)	c1(9)
1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
2	1	0	1	0	1	0	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0	0	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	0	1	0	0	1	0
7	1	0	0	1	0	1	1	1	0
8	0	1	0	0	0	0	0	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	1	0	1	0	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	0	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	0	0	0	0	1	0	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Como pode ser visto na tabela 3.10, o portfólio c1 possui um menor número de soluções diferentes na análise de robustez, oito além da original, porém é verificado que pouco mais de apenas 26% se manteve igual ao C1 original, o que indica uma fraca robustez da solução. Uma das soluções apareceu ainda um pouco mais freqüente que a própria solução original. As soluções encontradas na análise de robustez são portfólios onde estão contidos quinze ou dezesseis projetos.

Os resultados da análise de robustez para o portfólio c2, onde é chamado aqui de c2 o portfólio com duas alternativas a mais que a solução clássica ($c=p+2$), estão presentes na tabela 3.11.

Tabela 3.11: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE

V no portfólio c2

frequência	9195	591	68	9	137
MSI\port.	c2original	c2(2)	c2(3)	c2(4)	
1	1	1	1	1	Não há
2	1	1	1	1	
3	0	0	0	0	
4	0	0	1	1	
5	1	1	1	1	
6	0	1	0	0	
7	1	1	1	1	
8	0	1	0	1	
9	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	
11	0	0	0	0	
12	1	0	0	1	
13	1	1	1	1	
14	1	1	1	1	
15	1	1	1	1	
16	1	1	1	1	
17	1	0	1	0	
18	1	1	1	0	
19	1	1	1	1	
20	1	1	1	1	
21	0	0	0	0	
22	1	1	1	1	
23	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	

Como pode ser visto na tabela 3.11, o portfólio c2 encontra a resposta original em aproximadamente 92% dos casos, um pouco menos que a solução original do PROMETHEE V clássico, porém foi verificada uma quantidade bem menor de soluções alternativas, aparecendo apenas quatro soluções diferentes da original, onde uma delas é a inviabilidade do c2, aparecendo em 1,37% dos casos. As soluções encontradas na análise de robustez são portfólios onde estão contidos dezesseis ou dezessete projetos.

É possível verificar ainda que alguns projetos, como o MSI5, MSI9, MSI13, MSI14, MSI15, MSI19, MSI20 e MSI22 sempre são selecionados em todas as variações dos portfólios clássico, c1 e c2, o que indica que estes projetos são considerados como provedores de grande benefício, dados os seus custos, quando

comparados com os outros projetos. Já alguns projetos nunca são selecionados, como os MSI11, MSI21, MSI24 e MSI25, isto indica que estes projetos são considerados com um baixo benefício diante de seus custos.

É possível verificar também que alguns portfólios que aparecem entre as variações do PROMETHEE V clássico, também aparecem entre as variações dos c1s.

Foram calculados os índices de concordância de sobreclassificação de cada portfólio que surgiu durante a análise de robustez sobre o portfólio dado como solução original do PROMETHEE V clássico, e além do c1 original, outros portfólios conseguiram sobreclassificar a solução original clássica, considerando os dados originais para calcular tais índices.

A tabela 3.12 mostra os índices de concordância de sobreclassificação, sobre a solução clássica original, de alguns portfólios que superaram o valor de 0,5.

Tabela 3.12: Índices de concordância de sobreclassificação sobre a solução clássica original maiores que 0,5.

Índices de concordância	Frequência (%)	
C(P5(2), P5org.)	0,58	2,67
C(P5(4), P5org.)	0,58	0,61
C(P5(10), P5org.)	0,67	0,01
C(c1(3), P5org.)	0,58	26,61

A tabela 3.12 mostra quatro portfólios que o PROMETHEE V clássico poderia ter selecionado como solução original, e que sobreclassificam ela. Além disso, entre eles, quatro são soluções que o próprio PROMETHEE clássico selecionou entre as suas variações. Outro ponto a ser observado é que a solução com maior índice de concordância, foi a que apareceu menos vezes, apenas uma vez entre as dez mil variações.

Com o intuito de estudar mais profundamente o assunto, outro exemplo foi analisado quanto à sua resposta ao PROMETHEE V com conceito c-ótimo, junto com uma análise de robustez. O exemplo novo é na verdade uma variação do problema anterior, onde sua restrição de orçamento e os custos dos projetos foram alterados, permanecendo os mesmos pesos e matriz de conseqüências.

A tabela 3.13 mostra os novos custos dos MSIs. O orçamento considerado foi de \$6,037,800.00.

Tabela 3.13: Novos custos de implementação de cada projeto (em \$1,00)

MSI	Custo
1	472,400
2	341,500
3	683,200
4	420,300
5	826,000
6	151,900
7	347,900
8	282,500
9	626,700
10	652,400
11	454,600
12	404,100
13	328,400
14	760,700
15	437,000
16	627,200
17	270,200
18	256,200
19	576,000
20	778,000
21	639,200
22	841,900
23	277,700
24	419,200
25	199,400

Exatamente como no caso anterior, os dados de entrada foram variados através de uma distribuição normal, utilizando os valores originais como média e um desvio padrão de 5% para considerar uma variação nestes dados dentro do intervalo de (-15%;+15%). Foram simulados dez mil casos onde variaram todos os dados de entrada descritos anteriormente simultaneamente.

A tabela 3.14 mostra o resultado da análise de sensibilidade sobre o resultado do PROMETHEE V clássico para o novo problema analisado:

Tabela 3.14: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE V clássico para o problema com restrição alterada

frequência	5346	622	531	486	90	300	629	275	228	958
MSI\port.	P5(org.)	P5(2)	P5(3)	P5(4)	P5(5)	P5(6)	P5(7)	P5(8)	P5(9)	P5(10)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
9	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
17	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
21	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
22	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

frequência	505	2	3	18	1	2	2	1	1
MSI/port.	P5(11)	P5(12)	P5(13)	P5(14)	P5(15)	P5(16)	P5(17)	P5(18)	P5(19)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	1	0	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0	0	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0	1	0	0	0	1	0	0	1
17	1	0	1	1	1	1	0	0	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	1	1	0	0	1	1	1
21	1	1	1	0	1	0	0	0	0
22	1	0	0	0	1	1	0	1	0
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Como pode ser verificado, com apenas uma mudança na restrição, e nos custos, o resultado da análise de robustez mudou severamente. Em dez mil casos, a

solução original apareceu apenas 53,46% deles, além disso, surgiram dezoito novos portfólios diferentes para a solução clássica. Estes dados indicam que estes resultados foram menos robustos que no problema anterior. Os portfólios selecionados para solução clássica continuaram tendo catorze ou quinze projetos.

A tabela 3.15 mostra os resultados da análise de sensibilidade para o resultado da solução c1:

*Tabela 3.15: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE
V no portfólio c1 para o problema com restrição alterada*

frequência	1561	1936	630	871	373	1877	962	762	241	280
MSI\port.	c1(org.)	c1(2)	c1(3)	c1(4)	c1(5)	c1(6)	c1(7)	c1(8)	c1(9)	c1(10)
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
22	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

frequência	63	33	165	149	46	18	15	1	11
MSI\port.	c1(11)	c1(12)	c1(13)	c1(14)	c1(15)	c1(16)	c1(17)	c1(18)	c1(19)
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	0	0	1	1	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	0	1	1	0	0	0	1	0

8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	1	1	1	1	0	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0	1	1	1	0	1	1	0	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	0	1	1	0	1	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	1	0	0	1	1
21	1	0	0	1	0	1	1	0	1
22	0	1	0	0	0	0	1	0	0
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1

frequência	1	2	1	2
MSI\port.	c1(20)	c1(21)	c1(22)	c1(23)
1	0	0	0	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	1	1	1
5	0	0	0	0
6	1	1	1	1
7	1	1	0	0
8	1	1	1	1
9	0	0	1	0
10	0	0	0	0
11	0	0	1	1
12	1	1	1	1
13	1	1	1	1
14	1	0	1	0
15	1	1	1	1
16	1	0	0	1
17	1	1	1	1
18	1	1	1	1
19	0	1	0	0
20	1	0	0	0
21	0	1	0	0
22	0	0	0	0
23	1	1	1	1
24	1	1	1	1
25	1	1	1	1

Mais uma vez pode ser verificada uma forte mudança nos resultado da análise de robustez. Em dez mil casos, a solução original do c1 apareceu apenas 15,61%

deles, além disso, surgiram vinte e dois novos portfólios diferentes para a solução do c1, onde c1(2) e o c2(6) apareceram ainda com mais frequência que o próprio c1 original. Estes dados indicam que estes resultados foram ainda menos robustos que no problema anterior. Os portfólios selecionados para solução c1 continuaram tendo quinze ou dezesseis projetos.

A tabela 3.16 mostra os resultados da análise de sensibilidade para o resultado da solução c2:

*Tabela 3.16: Resultado da análise de robustez para a recomendação do PROMETHEE
V no portfólio c2 para o problema com restrição alterada*

frequência	4093	3453	522	1342	55	320	14	188	1	9	3
MSI\port.	c2org.		c2(3)	c2(4)	c2(5)	c2(6)	c2(7)	c2(8)	c2(9)	c2(10)	c2(11)
1	0	Não	0	1	1	0	1	0	0	0	0
2	1		1	0	0	1	1	1	1	1	1
3	1		0	1	0	0	1	0	1	0	0
4	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1		1	1	1	1	0	1	1	1	1
8	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1		0	1	1	1	1	1	0	1	1
12	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1		0	0	0	1	0	1	0	0	0
15	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0		1	1	1	1	1	0	0	1	0
17	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	0		0	0	0	0	0	0	0	1	1
21	0		1	0	1	0	0	1	1	0	1
22	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1

Seguindo a mesma tendência das soluções clássica e c1, a solução c2 também parece ser bem menos robusta que no problema anterior, aparecendo apenas 40,93% dos dez mil casos. Além disso, surgiram dez novas soluções para o portfólio c2, onde uma delas é a inexistência de portfólios viáveis (34,53%). Os portfólios selecionados para solução c2 continuaram tendo dezesseis ou dezessete projetos.

Novamente, alguns dos portfólios selecionados para a solução clássica coincidiram com portfólios selecionados para a solução c1.

Foi feita uma análise sobre os portfólios obtidos com a análise de robustez, calculando seus índices de concordância de sobreclassificação sobre a solução original do PROMETHEE V clássico. Os resultados são expostos na tabela 3.17.

Tabela 3.17: Índices de concordância de sobreclassificação sobre a solução clássica original maiores que 0,5 para o problema com a restrição alterada (Considerando a matriz de conseqüências e pesos originais).

Índices de concordância	
C(P5(3), P5org.)	0,71
C(P5(5), P5org.)	0,52
C(P5(10), P5org.)	0,71
C(P5(11), P5org.)	0,67
C(P5(15), P5org.)	0,67
C(P5(16), P5org.)	0,71
C(P5(18), P5org.)	0,79

Como pode ser visto na tabela 3.17, vários portfólios superaram bastante a solução original do PROMETHEE V clássico. A tabela mostra apenas variações da solução clássica, porém alguns portfólios c1s superaram a solução original clássica, mas eram iguais a variações da solução clássica que já estão expostas.

Um ponto a ser analisado com cuidado é sobre o portfólio P5(18), que possui um índice de concordância de sobreclassificação sobre a solução clássica original de 0,79. Isto é, os critérios em que ele supera a solução original somam 79% dos pesos totais. A tabela 3.18 mostra a relação entre o portfólios da solução clássica original e o P5(18). Os valores da tabela mostram a soma das contribuições de todos os projetos inclusos em cada portfólio, para cada critério.

Tabela 3.18: Comparação, em cada critério da soma das contribuições dos projetos presentes na solução clássica original e na variação P5(18).

port.\critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P5original	0,80775	0,803875	0,7785	0,78525	0,775375	0,538709	0,511814
P5(18)	0,82025	0,839875	0,802	0,79725	0,801875	0,538709	0,521814

Na figura 3.2, a altura das bolhas simbolizam a contribuição dos portfólio em cada critério e o tamanho delas simboliza os pesos. Como pode ser visto, o portfólio

P5(18) realmente ganha em todos os critérios, com exceção do C6, porém a tabela 3.18 mostra que neste único critério em que ele não ganha, ele também não perde, ou seja, há um empate. Isto configura uma relação onde o portfólio P5(18) domina a solução original do PROMETHEE V clássico. Além disto, o resultado da análise de robustez exposto na tabela 3.14 mostra que a solução P5(18) aparece apenas uma vez entre os dez mil casos simulados, o que indica que ela dificilmente seria escolhida pelo PROMETHEE V.

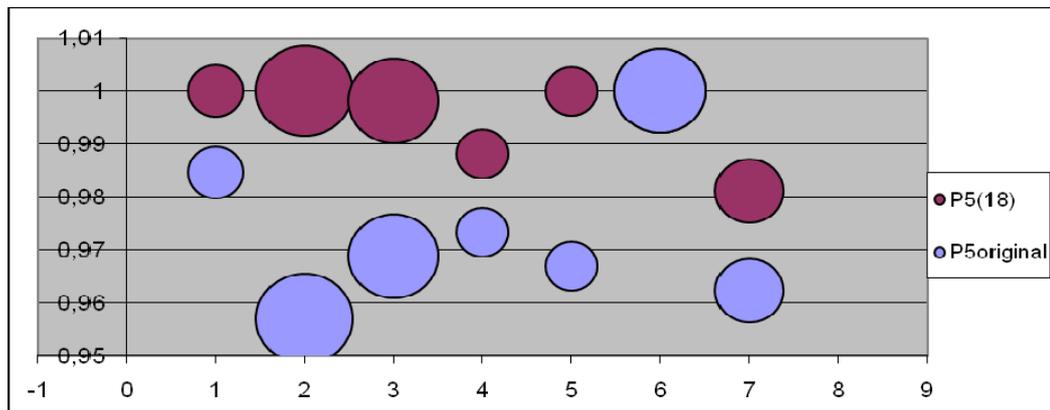


Figura 3.2: Gráfico bolha representando a contribuição dos portfólios P5 original e P5(18) em cada critério analisados juntos com os pesos de cada critério.

O fato do PROMETHEE V selecionar uma solução que é claramente dominada por outra solução viável evidencia uma distorção no método que motivou uma análise profunda sobre ele que será exposta na próxima seção.

3.5 Considerações sobre inadequação do PROMETHEE V Clássico para Seleção de Portfólio

O método PROMETHEE V utiliza os fluxos líquidos do PROMETHEE II, realizando apenas uma mudança de escala para tal. O fluxo líquido normal pode ser calculado através da equação (2.4) mostrada abaixo.

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

Para obter o fluxo líquido, é necessário calcular os fluxos positivos e negativos, através das equações (2.3) e (2.4), apresentadas novamente abaixo.

$$\varphi^+(a) = \sum P(a, b_j)$$

$$\varphi^-(a) = \sum P(b_j, a)$$

Para calcular o fluxo positivo de uma alternativa, é necessário calcular o grau de sobreclassificação dela sobre cada outra alternativa do problema. O grau de sobreclassificação de uma alternativa a sobre outra b é definida através da equação (2.1), mostrada novamente abaixo.

$$P(a,b) = \frac{\sum w_i P_i(a,b)}{\sum w_i}$$

Adaptando as equações acima, pode-se chegar a equação (3.11), que analisa as contribuições que uma alternativa traz para seu próprio fluxo através do critério k :

$$\begin{aligned} \phi^+(a) &= \sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^h w_i P_i(a, b_j) = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^g w_i P_i(a, b_j), \\ \phi_K^+(a) &= \sum_{j=1}^g w_K P_K(a, b_j) = w_K \sum_{j=1}^g P_K(a, b_j) \end{aligned} \quad (\text{Equação 3.11})$$

onde w_K é uma constante, logo não contribui para a “variação” no fluxo.

Proposição: Sejam P_1 e P_2 dois portfólios. Se $P_1 = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ e $P_2 = \{d_1, d_2, \dots, d_n, c_1, c_2, \dots, c_m\}$, onde $m > n$, e ainda é verdade que para o k -ésimo critério de avaliação

$$\begin{aligned} V_K(P_1) &= \sum_{i=1}^r V_K(a_i) \\ V_K(P_2) &= \sum_{i=1}^n V_K(d_i) + \sum_{i=1}^m V_K(c_i) \end{aligned}$$

Onde tais avaliações foram adaptadas da equação (3-9).

Na avaliação do PROMETHEE V pode acontecer a seleção de P_1 mesmo quando $V(P_2) > V(P_1)$. Ou seja, sob certas condições, o PROMETHEE V pode não escolher o melhor portfólio, ou ainda escolher um portfólio dominado.

Prova:

Sejam P_1 e P_2 dois portfólios. Se $P_1 = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ e $P_2 = \{d_1, d_2, \dots, d_n, c_1, c_2, \dots, c_m\}$, onde $m > n$. Para o k -ésimo critério de avaliação, suponha-se que todas as alternativas do tipo a $\{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ sejam alternativas consideradas regulares a boas, não possuindo grande variações nas contribuições que elas trazem. Suponha-se ainda que para o mesmo critério de avaliação, as alternativas do tipo d $\{d_1, d_2, \dots,$

d_n } são consideradas muito boas, enquanto que as alternativas do tipo c $\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ são consideradas ruins.

Considere que as contribuições somadas das alternativas do tipo d em P_2 no critério K sejam aproximadamente iguais às contribuições de P_1 , calculando-se os valores de acordo com a equação (3-9):

$$\sum_{i=1}^n V_K(d_i) \cong \sum_{i=1}^r V_K(a_i)$$

É fácil verificar que $V(P_2) > V(P_1)$, já que mesmo sem considerar as alternativas do tipo c , o portfólio P_2 se iguala ao P_1 .

Considere que, ainda para o k -ésimo critério, as alternativas do tipo a possuem aproximadamente contribuição um pouco superior à contribuição mediana de todas as alternativas do problema considerado, isto é, elas são superiores a pouco mais da metade das alternativas do problema. As alternativas do tipo d possuem altas contribuições e são superiores a quase todas as alternativas. Já as alternativas do tipo c possuem pouca contribuição e perdem para quase todas as alternativas.

Para efeito de simplificação, suponha que as alternativas $\{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ possam ser representadas por uma alternativa padrão a no k -ésimo critério. Considere também as alternativas padrões d e c para os respectivos grupos de alternativas presentes no portfólio P_2 .

A consequência destas observações se refletem no resultado da análise do PROMETHEE. A sua análise par a par não considera o quanto a alternativa possui, mas se ela supera a outra alternativa com a qual está sendo comparada. Na análise par a par poderá ser verificado que:

$$\sum_{j=1}^g P_K(a, b_j) > \sum_{j=1}^g P_K(b_j, a), \text{ onde } \{b_1, \dots, b_j\} \text{ são todas as alternativas}$$

consideradas no problema.

Isto se torna ainda mais evidente quando se utiliza o critério com função usual, mas também se aplica aos critérios que utilizem outras funções.

Estas comparações farão com que o k -ésimo critério influencie as alternativas representadas por a possuir um fluxo líquido positivo no PROMETHEE II, favorecendo o portfólio P_1 na soma dos fluxos considerada no PROMETHEE V.

Considere que a alternativa d possua uma contribuição no k -ésimo maior que quase todas as alternativas do problema considerado e que a alternativa c possua uma contribuição menor que quase todas as alternativas do problema, de forma que d ganhe das outras alternativas na mesma proporção que c perde.

A mesma análise para as comparações par a par deixa claro que as alternativas representadas por d terão uma forte influência do critério k que favorecerão seus fluxos positivos, e conseqüentemente elevarão seus fluxos líquidos. Porém, da mesma maneira, as alternativas representadas por c terão uma forte influência do mesmo critério para o fluxo negativo, rebaixando seus fluxos líquidos.

Como o PROMETHEE V trabalha com a soma dos fluxos adaptados, o portfólio P2 levará desvantagem, pois a contribuição das alternativas representadas por d e c de P2 através do critério K para o fluxo líquido será proporcional a:

$$n\phi_d^K + m\phi_c^K,$$

onde Φ_d^K e Φ_c^K representam as contribuições médias (adaptadas da equação (3-12)) de cada alternativa dos grupos representados respectivamente por d e c através do critério K para o fluxo líquido, de forma que:

$$\phi_d = \sum_{j=1}^g P_K(d, b_j) - \sum_{j=1}^g P_K(b_j, d)$$

$$\phi_c = \sum_{j=1}^g P_K(c, b_j) - \sum_{j=1}^g P_K(b_j, c)$$

Sabe-se que existem m alternativas do tipo c e n alternativas do tipo d . Sabe-se também que $m > n$. Logo pode-se considerar que:

$$nC_d^K + mC_c^K = n \sum_{j=1}^g P_K(d, b_j) - n \sum_{j=1}^g P_K(b_j, d) + m \sum_{j=1}^g P_K(c, b_j) - m \sum_{j=1}^g P_K(b_j, c)$$

Lembrando que d ganha nas comparações par a par na mesma proporção em que c perde, e que considerando o critério K como usual, pode-se dizer que o inverso também é verdade, isto é, d perde na mesma proporção em que c ganha.

Para efeito de simplificação, considere que:

$$Q = \sum_{j=1}^g P_K(d, b_j) = \sum_{j=1}^g P_K(b_j, c)$$

$$q = \sum_{j=1}^g P_K(c, b_j) = \sum_{j=1}^g P_K(b_j, d)$$

, isto é, d ganha o mesmo numero de vezes que c perde (Q) e o contrário também é verdadeiro (q), porém com um valor bem menor de vezes.

Desta forma, pode-se rearranjar a equação acima para:

$$n\Phi_d^K + m\Phi_c^K = (n - m)Q + (m - n)q$$

Como $(m-n)$ é um valor positivo e Q é maior que q :

$$n\phi_d^K + m\Phi_c^K = (m - n)(q - Q) < 0$$

Isto é, as contribuições originais no critério K das alternativas do portfólio P_2 são negativas, enquanto que para P_1 serão positivas. Obviamente que todas passam a ser positivas depois da mudança da escala que somará um valor a cada alternativa, mas este valor também será somado às alternativas de P_1 , mantendo-o, segundo a avaliação do PROMETHEE, melhor que P_2 .

É claro que a avaliação dos portfólios não depende de um único critério, mas de todos eles. Porém, esta condição pode acontecer para todos os critérios simultaneamente. Quando isto ocorre, o PROMETHEE V elege um portfólio P_1 que pela soma dos fluxos das alternativas ganha de P_2 em todos os critérios, porém comparando a soma dos benefícios das alternativas do portfólio em cada critério, P_1 é claramente dominado por P_2 .

Esta distorção no PROMETHEE V pode ser explicada pelo fato de que apesar de sua proposta ser avaliar portfólios, a sua avaliação não se baseia nos portfólios e sim nas alternativas.

O problema de se avaliar portfólios, comparando alternativas em métodos de sobreclassificação é nas comparações par a par, nem toda a contribuição de uma alternativa é levada em consideração, mas apenas até que seja encontrado o ponto de igualdade entre as alternativas comparadas. A partir deste momento, é dada a pontuação da comparação à alternativa vencedora e o excedente dela não é mais considerado, conforme a equação da função do critério.

$$V_K(a_1) = V_K(a_2) + E_K(a_1)$$

Onde o valor em $E_k(a_1)$ é o excedente da alternativa a_1 na comparação par a par, que será desprezado.

Quando o que se deseja avaliar é alternativas, como no PROMETHEE II, esta análise faz sentido, pois dado que uma alternativa venceu outra, não é mais necessário avaliar o quanto além ela pode contribuir, pela perspectiva da sobreclassificação.

Quando se trata de portfólio há um problema nesta análise, pois está sendo desprezada uma contribuição excedente nas comparações par a par das alternativas, sem se considerar se os portfólios que a compõem irão vencer outros portfólios ou não. Isto é, um método que ao final compara portfólios, acaba tratando como uma folga, a contribuição de uma alternativa que comporá um portfólio que pode ser considerado inferior. A soma destes excedentes em cada critério de cada alternativa que compõe um portfólio não é considerada quando o PROMETHEE V compara os portfólios, o que causa a distorção demonstrada.

Na análise foi considerada em todos os critérios a função usual, mas esta análise pode ser expandida para todas as outras funções de critério, onde se utilizam os limiares de preferência e indiferença, dado que os limiares são por definição faixas de valores muito pequenas onde o decisor encontra-se inseguro para assumir uma posição clara.

3.5.1 Ilustração com exemplo numérico

Na demonstração numérica a seguir, foi considerado um exemplo de seleção de portfólios, cujo problema possui trinta alternativas, cinco critérios e uma única restrição. Este é um exemplo simulado que busca criar a situação descrita na prova exposta no tópico anterior.

Os cinco critérios considerados no problema estão descritos na tabela 3.19 abaixo, e são todos considerados critérios usuais, isto é, sem limiares.

Tabela 3.19: Critérios do exemplo numérico

Critérios	C1	C2	C3	C4	C5
Pesos	0,2	0,3	0,2	0,15	0,15

A matriz de conseqüências foi montada prevendo dois portfólios, A e B. O portfólio A será composto pelas alternativas $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_{28}, a_{29}, a_{30}\}$. O

portfólio B será composto pelas alternativas {a16, a17, a18, a19, a20, a21, a22}. Estes dois portfólios tentarão representar, respectivamente, os portfólios P2 e P1 da seção anterior.

O objetivo desta demonstração é verificar se o portfólio A ou B será recomendado pelo PROMETHEE V. Caso um terceiro portfólio seja escolhido, será feita uma análise em cima dos três.

A análise incluirá a comparação da soma dos fluxos das alternativas selecionadas, adaptados para o PROMETHEE V, assim como uma comparação entre as contribuições de cada portfólio para cada critério.

A matriz de conseqüências do problema é apresentada na tabela 3.20 a seguir:

Tabela 3.20: Matriz de conseqüências do exemplo numérico

Alternativas\Critérios	C1	C2	C3	C4	C5
a1	1	34	4	32	2,5
a2	3	36	3	30	2
a3	2	29	28	4	29
a4	4	4	40	3	35
a5	5	13,5	7	20	9
a6	6	20	6	8,5	25
a7	5	25	7,5	7,5	20
a8	7	27	8,5	9	7
a9	8,5	22	9	5,5	7,5
a10	7,5	9	13,5	22	6
a11	9	7	20	13	8,5
a12	5,5	6	25	7	23
a13	6	7,5	27	8	5
a14	7	8,5	22	9	9
a15	9	9	7	25	7
a16	10	14,5	12	15,5	11
a17	11	13,5	14	14	13
a18	12	10,5	11	14,5	14
a19	13	11	14,5	13	10
a20	14	14	10	11,5	10,5
a21	15	10	13	10,5	14,5
a22	16	12	14	10	14
a23	13,5	5	9	27	6,5
a24	20	6	6	6	27
a25	25	5	8	7,5	8
a26	27	7	9	8,5	7
a27	22	8,5	7	9	9
a28	28	3	30	4	4
a29	35	1	4	33	1,5
a30	33	1,5	3	3	38

O problema considerado possui uma única restrição, que faz com que no máximo sete alternativas sejam selecionadas, independentemente de quais elas forem.

Por se tratar de um problema de maximização, e todas as alternativas contribuírem para a função objetivo, o PROMETHEE V fará com que o portfólio escolhido tenha exatamente sete alternativas, assim como os portfólios A e B.

A consequência desta restrição, é que serão eliminadas do problema as distorções devido a mudança de escala do PROMETHEE V, verificadas por Almeida & Vetschera (2012), pois assim como os portfólios A e B, qualquer portfólio escolhido pelo problema fará parte da classe de portfólios com sete alternativas.

Apesar do PROMETHEE V usar a problemática de portfólio, suas bases utilizam o fluxo líquido do PROMETHEE II, fazendo apenas uma mudança de escala. Desta forma, para efeito de comparação das alternativas, a tabela 3.21 mostra a ordenação de todas as alternativas do problema considerado, com o fluxo líquido original e o fluxo adaptado, lembrando que a adaptação com mudança de escala não muda a ordenação das alternativas, visto que o mesmo valor é somado ao fluxo de todas elas.

Tabela 3.21: Ordenação de todas as alternativas do exemplo numérico com o fluxo líquido e o fluxo adaptado ao PROMETHEE V

Alternativa	Fluxo líquido PROMETHEE 2	Fluxo líquido PROMETHEE 5
a22	0,33	1,34
a16	0,31	1,32
a17	0,31	1,32
a20	0,27	1,28
a19	0,26	1,27
a3	0,25	1,26
a21	0,24	1,25
a18	0,22	1,23
a8	0,04	1,05
a7	0,02	1,03
a6	0,01	1,02
a11	-0,01	1,00
a10	-0,01	1,00
a9	-0,01	1,00
a14	-0,02	0,99
a5	-0,06	0,95

a27	-0,06	0,95
a1	-0,08	0,93
a2	-0,08	0,93
a26	-0,09	0,92
a15	-0,10	0,91
a12	-0,13	0,88
a23	-0,13	0,88
a28	-0,14	0,87
a24	-0,17	0,84
a13	-0,20	0,81
a4	-0,20	0,81
a25	-0,23	0,78
a29	-0,27	0,74
a30	-0,28	0,73

Como pode ser verificado, as alternativas do portfólio A tiveram quase todas seus fluxos líquidos negativos, e mais da metade ocuparam as últimas posições do ranking.

Por outro lado todas as alternativas do portfólio B tiveram fluxos elevados, ocupando as primeiras posições no ranking, junto com a alternativa a3.

Com os fluxos calculados, o PROMETHEE V selecionou como seu portfólio “ótimo” um terceiro portfólio diferente do A e do B, mas muito próximo do B, com apenas uma alternativa diferente. A tabela 3.22 mostra a composição do portfólio do PROMETHEE V, doravante chamado de P5, além da composição dos portfólios A e B.

Tabela 3.22: Composição dos portfólios P5, A e B.

alternativas	Solução P5	Portfolio A	Portfólio B
a1	0	1	0
a2	0	1	0
a3	1	1	0
a4	0	1	0
a5	0	0	0
a6	0	0	0
a7	0	0	0
a8	0	0	0
a9	0	0	0
a10	0	0	0
a11	0	0	0
a12	0	0	0
a13	0	0	0
a14	0	0	0

a15	0	0	0
a16	1	0	1
a17	1	0	1
a18	0	0	1
a19	1	0	1
a20	1	0	1
a21	1	0	1
a22	1	0	1
a23	0	0	0
a24	0	0	0
a25	0	0	0
a26	0	0	0
a27	0	0	0
a28	0	1	0
a29	0	1	0
a30	0	1	0

Para fazer uma comparação com o resultado do PROMETHEE V, foi calculada a contribuição de cada portfólio para cada critério. Esta matriz de conseqüências dos portfólios foi calculada somando a contribuição de cada alternativa que os compõem em cada critério, de acordo com a equação (3.9).

A tabela 3.23 mostra a contribuição dos portfólios P5, A e B para cada critério, assim como a soma dos fluxos obtidos com o PROMETHEE V.

Tabela 3.23: Contribuição dos portfólios P5, A e B em cada critério e soma dos fluxos obtidos com o PROMETHEE V.

	C1	C2	C3	C4	C5	soma fluxos P5
Solução P5	81	104	105,5	78,5	102	9,037241
Portfólio A	106	108,5	112	109	112	6,276897
Portfólio B	91	85,5	88,5	89	87	9,002759

A figura 3.3 ilustra o gráfico que compara os portfólios P5, A e B em cada critério, bem como a soma dos fluxos obtidos com o PROMETHEE V. Para uma melhor visualização, os fluxos foram aumentados em dez vezes.

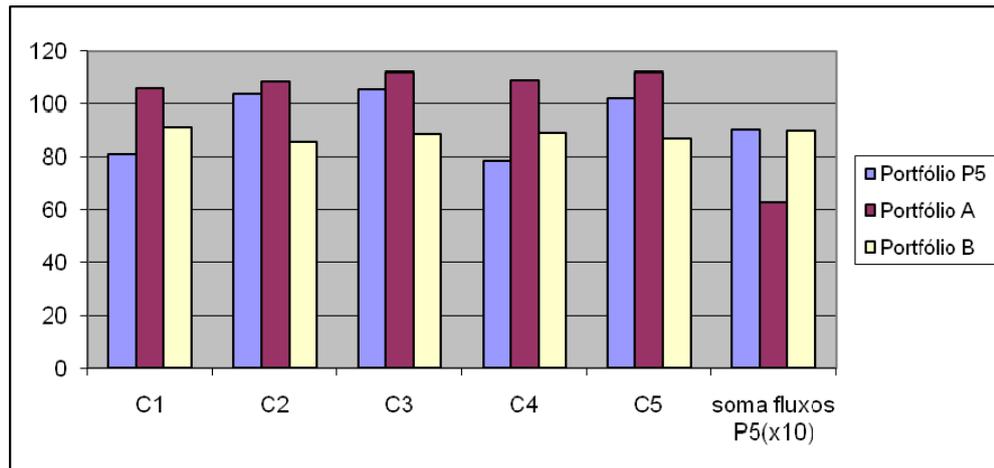


Figura 3.3: Gráfico de coluna representando a contribuição dos portfólios P5, A e B em cada critério e a soma dos fluxos

A figura 3.4 ilustra um gráfico bolha comparando os portfólios P5 e A em cada critério. Neste gráfico, a altura das bolhas representa a contribuição que elas trazem para cada critério observado, enquanto o tamanho de cada bolha representa o peso de cada critério.

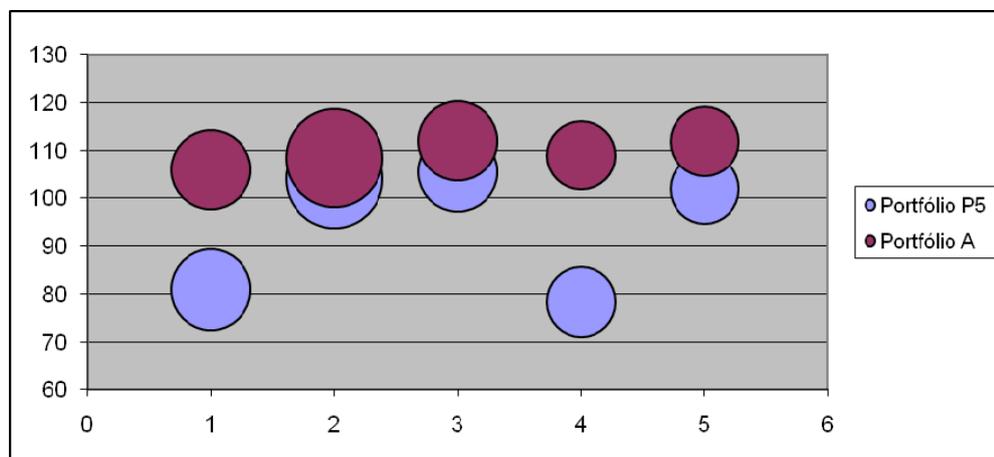


Figura 3.4: Gráfico bolha representando a contribuição dos portfólios P5 e A em cada critério analisados juntos com os pesos de cada critério.

Como pode ser visto na figura 3.3, o PROMETHEE V escolhe o portfólio P5 como sendo a melhor combinação de alternativas dados os parâmetros do problema, isto por que P5 consegue somar a maior quantidade de fluxo líquido adaptado que qualquer outro portfólio. O portfólio B apresenta uma soma de fluxos muito próxima da de P5, não sendo escolhido como o melhor portfólio por muito pouco. O portfólio A, por outro lado, apresenta uma soma de fluxos muito baixa,

quando comparado com B e P5, mostrando que o PROMETHEE V o considera muito inferior a eles.

Porém, quando comparamos a performance que cada portfólio atinge em cada critério, verificamos que o portfólio A supera tanto o portfólio B quanto o P5, em todos os critérios. Isto é, tanto P5, quanto B são dominados pelo portfólio A, apesar do PROMETHEE tê-los considerado melhor.

A causa desta distorção pode ser explicada pela mesma relação que foi demonstrada no início da seção 3.5, pois o PROMETHEE V avaliou as alternativas, e não os portfólios, apesar do problema ser de seleção de portfólios e o próprio PROMETHEE V ter sua problemática voltada para este tipo de problema.

3.6 Alternativas para uso do PROMETHEE II na Seleção de Portfólio

A distorção encontrada no método PROMETHEE V motivou a busca por uma alternativa para selecionar portfólios, utilizando a racionalidade do PROMETHEE.

O problema do PROMETHEE V conforme explicado na seção anterior é que este método compara portfólios baseando-se em comparações de alternativas. A idéia para superar este problema é utilizar o próprio PROMETHEE II, mas desta vez não para comparar os projetos, mas sim os portfólios viáveis, conforme desenvolvido no estudo de Vetschera & Almeida (2012).

Um problema para esta metodologia é a quantidade total de portfólios (U), isto é, o número de combinações possíveis. Para se ter uma idéia, em um problema como o analisado na seção 3.5, onde haviam 30 projetos (g), existem mais de um bilhão de combinações possíveis ($U = 2^g$). Então para manter o uso do lógica do PROMETHEE, deve-se ainda fazer comparações par a par. O que levaria a se computar uma matriz $U \times U$.

Para superar este obstáculo, um dos recursos consiste em se utilizar um algoritmo de busca apropriado para selecionar apenas os portfólios viáveis, conforme discutido no capítulo seguinte.

Pode-se ainda encontrar um problema, caso existam uma quantidade muito grande de portfólios viáveis, o que dificultaria a análise do PROMETHEE II. No entanto, observa-se que uma análise feita sobre vários problemas expostos na literatura em relação à seleção de portfólios usando o PROMETHEE (Abu-Taleb &

Mareschal, 1995; Brans & Mareschal, 1992; Mavrotas, 2006) mostrou que muitas vezes a quantidade de portfólios viáveis em problemas práticos é menor do que 5%, possibilitando o uso da metodologia.

Para tal seria necessário utilizar os pesos, que seriam os mesmo do problema clássico onde se avalia os projetos. A restrição de orçamento e os custos são utilizados na fase de obtenção dos portfólios viáveis. A matriz de conseqüências dos portfólios é obtida através da equação (3.9) aplicada a cada critério.

A recomendação do PROMETHEE II fornecerá uma ordenação dos portfólios, indicando qual o melhor entre eles, presumindo que não haverá distorções, já que desta vez a comparação se dá em relação aos portfólios e não às alternativas (projetos).

4 ALGORITMO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO

A seguir será apresentado um algoritmo para a recomendação sobre a decisão de seleção de portfólios. O algoritmo utiliza o procedimento de Vetschera (1994) para a identificação de portfólios viáveis, separando os de fronteira, e utilizando sobre ele o PROMETHEE II.

Os dados de entrada deste algoritmo são os mesmos do modelo anterior. A etapa que calcula a matriz de conseqüências dos projetos é igual, mudando basicamente o método multicritério.

Este algoritmo multicritério possui três etapas principais. Na primeira etapa, são selecionados os portfólios de fronteira. Portfólios de fronteira são os portfólios viáveis, mas que estão próximo dos limites das restrições, isto é, não conseguem mais aceitar nenhum outro projeto sem violar uma restrição. Para esta etapa é utilizado uma versão adaptada do procedimento Vetschera (1994). São utilizados nesta etapa os dados sobre as restrições, bem como os consumos de cada projeto.

Na segunda etapa, é montada a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira. Para tal, é utilizada a equação (3.9) e os dados sobre a matriz de conseqüências dos projetos.

Na terceira etapa, é aplicado o método PROMETHEE II para ordenar os portfólios de fronteira, revelando assim o melhor portfólio e aqueles que são próximos a ele. Nesta etapa são utilizados os dados sobre os critérios e a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira.

4.1 Descrição do Modelo para busca e seleção de portfólios viáveis

O processo de obtenção de portfólios viáveis se baseia na proposta feita por Vetschera (1994), onde é utilizado o procedimento de árvore, onde cada nível representa uma alternativa e cada nó representa a decisão de incluí-la ou não no portfólio, conforme a figura 4.1.

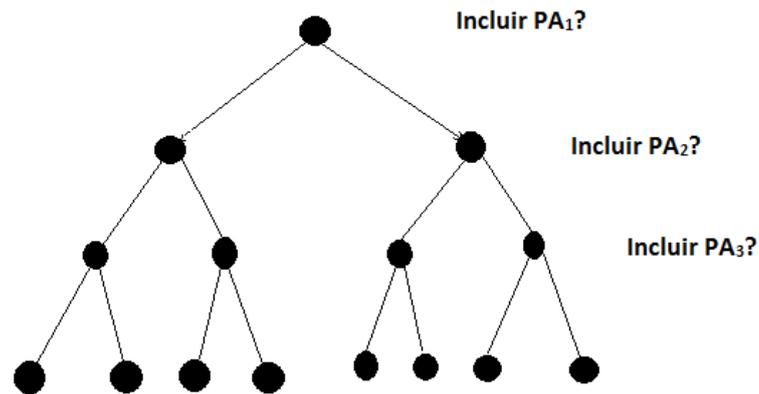


Figura 4.1: Estrutura de árvore para a geração dos portfólios viáveis (Vetschera, 1994).

Na figura 4.1, o termo PA significa *Partial Actions*, ou ações parciais. Este termo é utilizado para definir uma alternativa como sendo parte de uma possível escolha do decisor. Isto é, a decisão resultará em uma ação, que neste tipo de problema se torna a escolha e implementação de um portfólio de projetos. Cada projeto contido no portfólio é uma ação parcial.

O procedimento desta árvore reduz drasticamente o esforço computacional para a obtenção dos portfólios viáveis. Diferentemente do método exaustivo, que testará todas as combinações possíveis, o procedimento de Vetschera (1994) testa através de uma árvore, onde ao final existiriam o mesmo número de ramos que o número de combinações possíveis. O ganho na eficiência ocorre ao encontrar, em dado nó da árvore, uma decisão para incluir um projeto PA, tal que, considerando os projetos que já foram incluídos nos nós anteriores deste ramo, incluir PA tornaria o portfólio inviável, ultrapassando sua restrição. A partir deste nó, o ramo que incluiria PA é cortado e todos os portfólio que derivariam dele deixam de ser analisados, pois já se sabe que seriam todos inevitavelmente inviáveis uma vez que todos eles possuem um subconjunto de alternativas que por si só se tornam inviáveis.

A figura 4.2 ilustra uma aplicação presente no trabalho de Vetschera (1994), que mostra como atua o procedimento de eliminação de portfólios inviáveis. Na figura, cada nível da árvore representa um projeto.

A restrição considerada nesta árvore foi a de custo de investimento, onde o orçamento disponível para os projetos foi de quinhentas unidades do valor monetário considerado. O custo de cada alternativa é apresentado na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Custo dos projetos do exemplo de Vetschera (1994).

Projetos	Custo do investimento
1	200
2	200
3	300
4	400
5	100
6	100
7	200

Como pode ser visto na figura 4.2, ao serem inseridos os projetos 1, 2 e 3, o portfólio torna-se inviável e o ramo é cortado. As alternativas 4, 5, 6 e 7 sequer foram analisadas para tal portfólio que já era inviável. Ao deixar de analisar esses quatro projetos nesse ramo, 2^4 combinações inviáveis deixaram de ser analisadas. Isto é, apenas neste ramo, o procedimento em apenas uma análise identificou dezesseis combinações inviáveis, tornando-o mais rápido.

Desta forma, ao final do procedimento, foram analisados apenas 35 combinações, ao invés de 2^7 , ou seja, 128 combinações.

Uma das contribuições deste trabalho é tornar possível o aumento da eficiência do procedimento de Vetschera (1994), mas antes de iniciá-lo deve-se tomar uma decisão: Em que ordem deve ser analisadas as alternativas?

É mais vantajoso o corte de ramos no início da árvore do que no final, pois o corte no início poupará muito esforço computacional, uma vez que impedirá que vários ramos cheguem até o final da árvore para serem cortados.

Para potencializar o efeito deste procedimento, a proposta é ordenar as alternativas de acordo com o consumo da restrição, começando por aquelas que mais consomem, desta forma, os portfólios chegam rapidamente ao limite das restrições do problema, cortando os ramos antes do procedimento original.

No exemplo de Vetschera (1994), os projetos agora seriam ordenados de acordo com a tabela 4.2.

Tabela 4.2: Nova ordenação dos projetos do exemplo de Vetschera (1994) a serem analisados pelo procedimento de geração de portfólio proposto.

Projeto	Custo do investimento
4	400
3	300
1	200
2	200
7	200
5	100
6	100

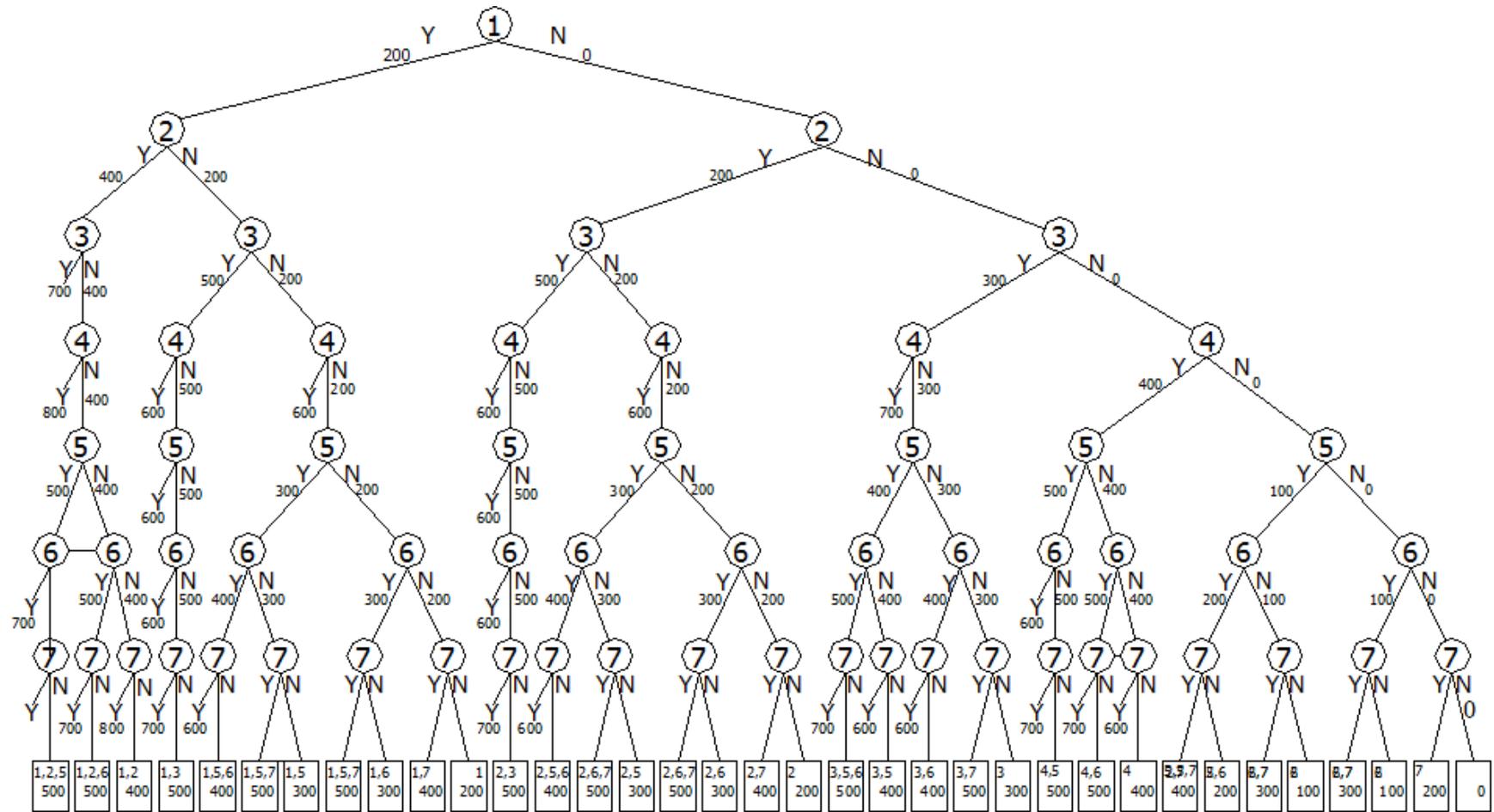


Figura 4.2: Exemplo de aplicação do procedimento de geração de portfólios viáveis de Vetschera (1994).

A figura 4.3 ilustra a geração de portfólios pelo procedimento proposto. Como pode ser verificado, a maior parte dos ramos são cortados no início da árvore, fazendo com que menos nós sejam analisados, poupando esforços computacionais. No procedimento anterior (figura 4.2), eram analisados ao total sessenta nós, enquanto que no procedimento proposto foram analisados cinquenta e dois nós.

Após a geração dos portfólios viáveis, são selecionados dentre eles os portfólios de fronteira. Considera-se os portfólios de fronteira aqueles que não se é possível inserir mais nenhum projeto, isto é, já estão na fronteira da restrição e a inserção de qualquer projeto o tornará inviável. A eliminação dos portfólios viáveis que não são de fronteira é realizada pois são dominados pelos portfólios com mesmo conjunto de projetos, mas com um projeto a mais. Este procedimento de seleção dos portfólios de fronteira foi descrito por Vetschera (1994).

Ao se obter o conjunto de portfólios de fronteira, o número total de portfólios a serem analisados são bastante reduzidos. No exemplo de Vetschera (1994), dos trinta e cinco portfólios viáveis, apenas quinze são de fronteira.

A próxima etapa é a obtenção da matriz de consequência para os portfólios de fronteira. A matriz de consequências dos portfólios de fronteira é calculada a partir da equação (3.9). Com esta matriz de consequências é realizada a aplicação do método PROMETHEE II, com os mesmos pesos utilizados para o problema inicial com os projetos, a fim de se obter a ordenação dos portfólios de fronteira. A recomendação desta metodologia é o primeiro portfólio da ordenação.

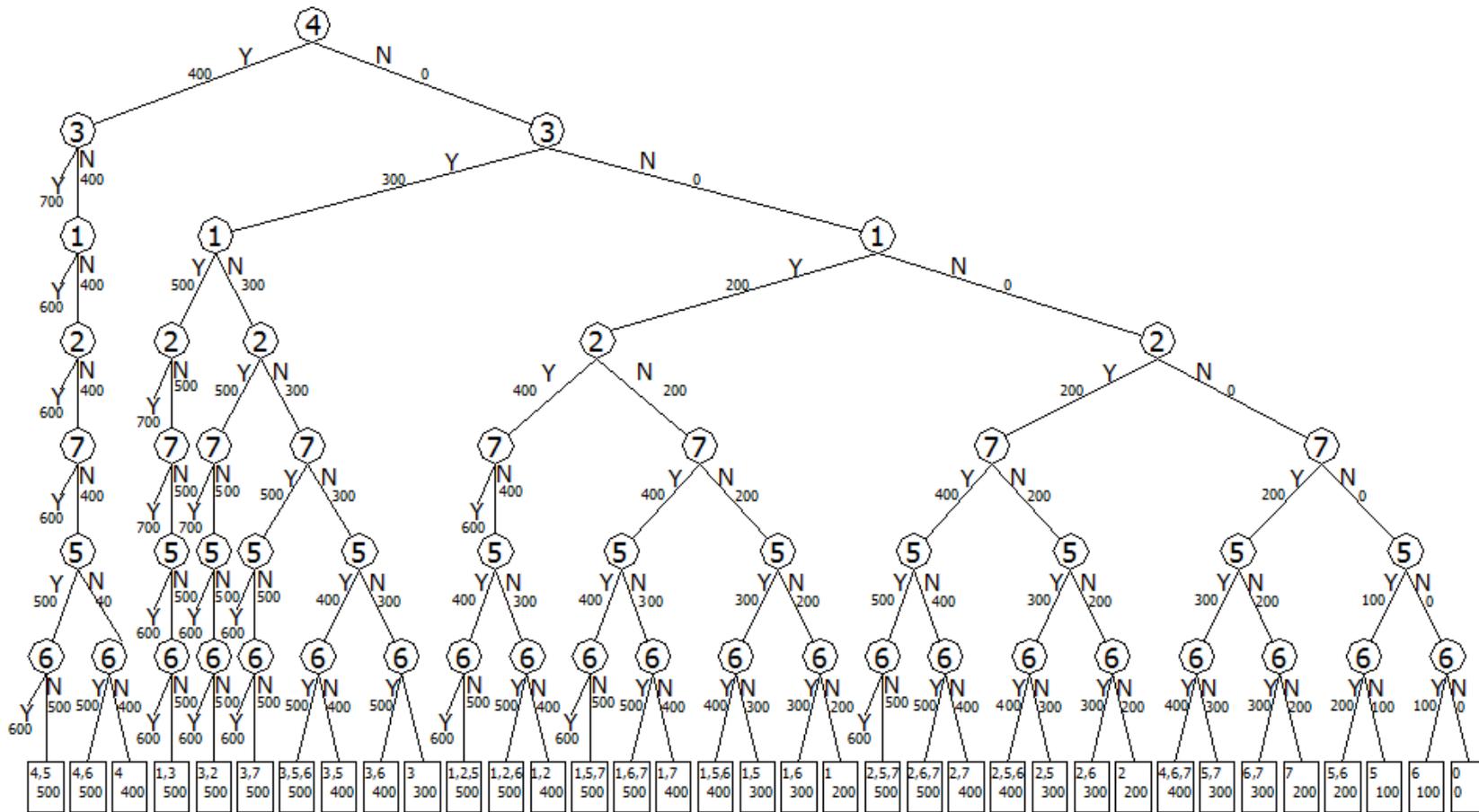


Figura 4.3: Aplicação do procedimento proposto de geração de portfólios viáveis

4.2 Procedimento do modelo proposto para seleção de portfólios de projetos

A recomendação do problema de seleção de portfólio de sistemas de informação pode ser obtida através do seguinte procedimento:

Passo 1: Gerar os portfólios viáveis, através do procedimento baseado em Vetschera (1994), utilizando para isto os dados sobre os custos dos projetos e a restrição de orçamento;

Passo 2: Seleção dos portfólios de fronteira, através do procedimento descrito em Vetschera (1994), onde se considera portfólios de fronteira aqueles onde não se é possível inserir no portfólio nenhum projeto que está fora dele;

Passo 3: Calcular a matriz de conseqüências para os portfólios de fronteira, através da equação (3-9), utilizando para isto a matriz de conseqüências dos projetos;

Passo 4: Aplicar o método PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira, utilizando para tal, os mesmos pesos dos critérios problema considerado para os projetos e a matriz de conseqüências calculada no passo 3, obtendo a ordenação destes portfólios pelos fluxos líquidos;

Passo 5: Selecionar como recomendação, o portfólio de fronteira com maior fluxo líquido.

Com esta abordagem é eliminada a distorção que o PROMETHEE V causa ao avaliar portfólios com as comparações entre alternativas. Se um portfólio perde para outro em uma comparação par a par em um dado critério, ele perde utilizando todo o potencial de todas as alternativas, o que não acontece no PROMETHEE V, como foi demonstrado na seção anterior. Além disto, o raciocínio não compensatório é mantido com a aplicação do PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira.

4.3 SAD com modelo proposto

O modelo proposto foi utilizado para a elaboração de um sistema de apoio a decisão. As entradas do modelo são inseridas em planilhas do Excel.

A primeira etapa do modelo utiliza o Matlab para a montagem da matriz de conseqüências dos projetos de sistemas de informação. O matlab foi selecionado devido a simplicidade de seu uso. O Excel foi adotado por seu um sistema de planilhas que pode ser facilmente utilizado por qualquer usuário.

Nesta primeira etapa é necessário inserir nas planilhas do Excel os dados sobre as relações entre os processos e os critérios (estratégicos e de processos), entre os processos e os AGIS, entre os AGIs e os TSIs e entre os TSIs e os critérios técnicos.

O programa em Matlab calcula a matriz de conseqüências dos MSIs, já eliminando aqueles provenientes de AGIs e TSIs incompatíveis. A matriz de conseqüências é escrita no Excel.

A segunda etapa do modelo utiliza o Excel como base de dados e o Delphi como base de modelos. É necessário inserir não apenas a matriz de conseqüências dos projetos, mas também os dados sobre as restrições e os dados sobre os critérios. O programa em Delphi calcula os portfólios viáveis, seleciona os de fronteira, monta a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira e aplica o método PROMETHEE II sobre eles. A saída do programa em Delphi é a ordenação dos portfólios de fronteira, que é inserida em uma planilha do Excel.

4.4 Aplicação do Modelo

A aplicação do modelo proposto foi realizada sobre um problema de seleção de portfólios simulado, onde foram identificados 15 projetos, sendo estes avaliados por oito critérios. Apenas a restrição de orçamento foi considerada para o problema a seguir.

Será também aplicado ao problema o PROMETHEE V com o conceito de portfólio c-ótimo para comparar com os resultados com a recomendação do modelo proposto.

A matriz de conseqüências dos projetos é exposta na tabela 4.3, lembrando que esta matriz não será utilizada diretamente sobre o modelo multicritério, mas nela será baseada a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira.

Tabela 4.3: Matriz de conseqüências dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.

Alternativas\Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
p1	5,92	33	5,37	6,96	6,48	36	5,89	6,22
p2	5,62	7,72	34	7,81	5,01	6,29	35	7,23
p3	5,37	7,39	6,44	35	7,22	5,4	7,22	34,5
p4	25	9,12	9,37	8,5	7,7	9,99	7,58	9,43
p5	8,53	23	7,74	9,48	7,94	10,17	10,37	10,38
p6	9,83	7,91	24	8,42	10,48	10,5	7,62	9,22
p7	7,63	9,89	8,57	22	9,4	8,36	9,35	23

p8	7,06	10,78	9,38	9,86	26	9,83	8,96	10,15
p9	8,57	8,67	7,42	10,61	9,5	25	7,94	9,92
p10	9,5	9,57	9,71	7,53	10,4	8,39	23	10,24
p11	10,63	11,87	13,03	10,23	12,43	11,72	13,34	13,9
p12	11,98	11,51	10,07	11,21	12,66	11,76	11,47	12,02
p13	10,18	13,59	13,15	12,65	13,79	10,05	12,74	10,48
p14	12,16	13,47	11,61	11,19	13,58	12,16	10,37	12,19
p15	35	6,38	7,91	5,05	36	5,46	7,16	5,38

Os quinze projetos considerados no problema são avaliados por oito critérios, sendo todos eles considerados critérios usuais ou verdadeiros, ou seja, sem a consideração de limiares para preferência ou indiferença. Os pesos relativos dos oito critérios considerados no problema simulado são descritos na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Pesos relativos dos critérios considerados no problema simulado de 15 alternativas.

Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Pesos	0,15	0,12	0,13	0,12	0,13	0,1	0,15	0,1

Estes pesos serão utilizados tanto pelo modelo com o PROMETHEE V, que avaliará os projetos, quanto pelo modelo proposto que utiliza o PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira.

Por último são apresentados na tabela 4.5 os custos dos projetos. Estes custos serão utilizados diretamente no modelo multicritério com PROMETHEE V, mas no modelo proposto eles são utilizados apenas na fase de obtenção do conjunto de portfólios viáveis e portfólios de fronteira. Na restrição de orçamento foi considerado o valor de 429.

Tabela 4.5: Custos dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.

Projetos	Custos
p1	79
p2	112
p3	90
p4	123
p5	120
p6	125
p7	121
p8	119
p9	103
p10	104
p11	93
p12	100
p13	103

p14	96
p15	101

O primeiro passo consiste na geração dos portfólios viáveis, através do procedimento baseado em Vetschera (1994). Em um problema de 15 alternativas existem 2^{15} , ou 32.728 combinações possíveis. O procedimento identificou que dentre essas combinações, existem apenas 1381 portfólios viáveis, isto é, menos de 5% das combinações são viáveis diante da restrição de orçamento.

No segundo passo do modelo proposto, cada portfólio viável é verificado a fim de descobrir se é de fronteira ou não. Apenas os portfólios de fronteira são selecionados para o próximo passo, pois todos os outros são com certeza dominados.

No segundo passo, a cada portfólio é verificada a possibilidade de se incluir mais um projeto qualquer que ainda não esteja nele incluído. Caso seja impossível incluir mais um projeto, o portfólio é considerado de fronteira e passa para o próximo passo, caso contrário, ele é considerado dominado e é eliminado do problema. Considera-se um portfólio “*d*” dominado se existir um portfólio “*D*” que seja no mínimo igual ao “*d*” em todos os critérios e o supere em pelo menos um critério. Como um portfólio viável que não é de fronteira permite que um projeto seja adicionado a ele, o portfólio com um projeto a mais será melhor em pelo menos alguns critérios. O segundo passo identificou que dos 1381 portfólios viáveis, 829 são de fronteira.

Sobre os portfólios de fronteira é aplicado o método PROMETHEE II, mas antes é necessário calcular a matriz de conseqüências deles. O terceiro passo foi calcular a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira através da equação (3-9).

Os dados com a identificação das alternativas de cada portfólio viável e/ou de fronteira, bem como a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira serão ocultados devido ao grande número de combinações viáveis do problema.

Utilizando os pesos definidos no início da descrição do problema e a nova matriz de conseqüências, o método PROMETHEE II é aplicado sobre os portfólios de fronteira. A recomendação consiste no primeiro portfólio da ordenação gerada como resultado.

A tabela 4.6 mostra a recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios:

Tabela 4.6: Recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios do problema simulado de 15 alternativas.

Projetos	Recomendação do PROMETHEE II
p1	1
p2	1
p3	1
p4	0
p5	0
p6	0
p7	0
p8	0
p9	0
p10	0
p11	0
p12	0
p13	0
p14	0
p15	1

Foi aplicado também sobre o problema o modelo que utiliza o PROMETHEE V sobre os projetos. Não foi identificado nenhum portfólio c-ótimos além do da recomendação do PROMETHEE V clássico. O resultado do modelo com o PROMETHEE V é descrito na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Recomendação do PROMETHEE V para o problema simulado de 15 alternativas.

Projetos	Recomendação do PROMETHEE V
p1	0
p2	0
p3	0
p4	0
p5	0
p6	0
p7	0
p8	0
p9	0
p10	0
p11	1
p12	1
p13	1
p14	1
p15	0

O portfólio recomendado pelo PROMETHEE V, que será chamado aqui de P5, apareceu na posição 74 da ordenação do PROMETHEE II sobre os portfólios de

fronteira, com um valor de 0,1353 de fluxo líquido, enquanto que o portfólio recomendado pelo modelo proposto, que será chamado aqui de P2, alcançou um fluxo líquido de 0,2979.

A tabela 4.8 mostra a avaliação dos portfólios recomendados pelos dois modelos, de acordo com os critérios considerados no problema, retirada da matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira. A figura 4.4 ilustra estes dados.

Tabela 4.8: Avaliação das recomendações do PROMETHEE 2 e do PROMETHEE 5, de acordo com os critérios do problema simulado de 15 alternativas.

Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
PROMETHEE 2	51,91	54,49	53,72	54,82	54,71	53,15	55,27	53,33
PROMETHEE 5	44,95	50,44	47,86	45,28	52,46	45,69	47,92	48,59

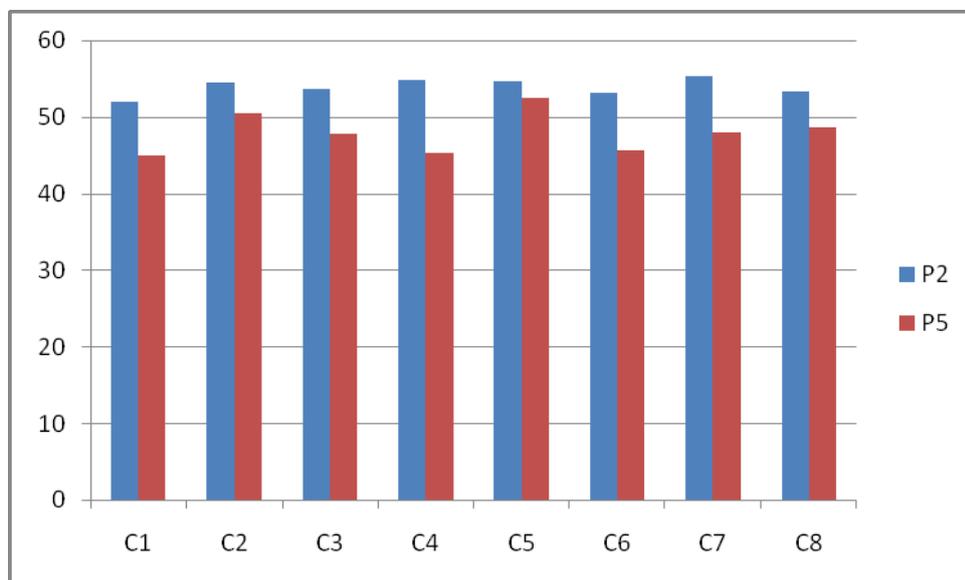


Figura 4.4: Visualização das avaliações de P2 (PROMETHEE II) e P5 (PROMETHEE V), de acordo com os critérios do problema simulado de 15 alternativas.

A figura 4.5 mostra outra visualização destes dados através de um gráfico de bolhas, onde também são representados os pesos dos critérios. A altura das bolhas simboliza a avaliação do portfólio no critério, enquanto o tamanho da bolha representa o peso do mesmo.

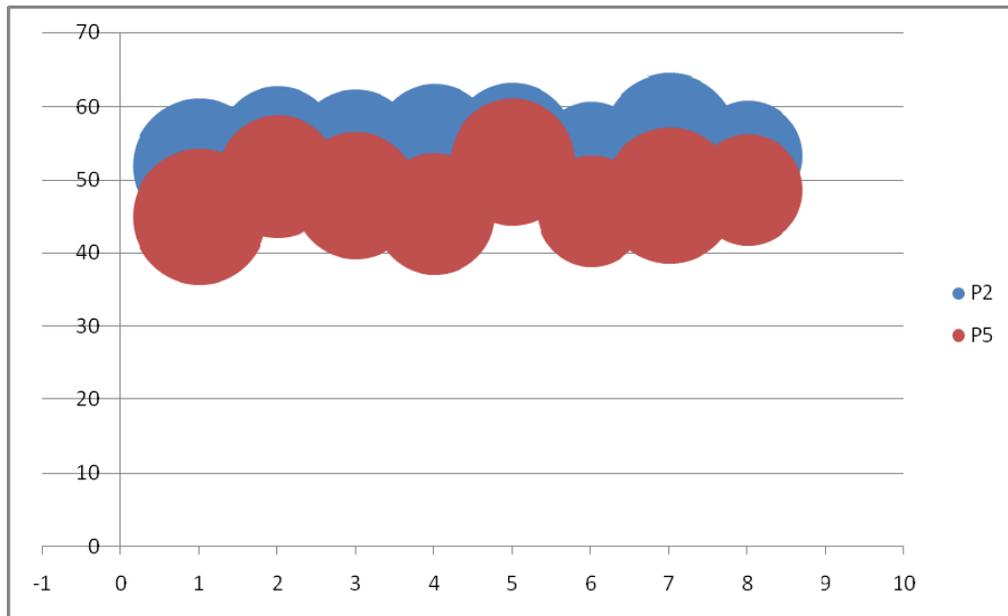


Figura 4.5: Visualização das avaliações de P2 e P5 através de gráfico bolha para o problema simulado de 15 alternativas.

Como pode ser verificado, tanto na tabela 4.8, como nas figuras 4.4 e 4.5, a solução encontrada pelo PROMETHEE V é dominada pela solução encontrada pelo PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira. O PROMETHEE V compara os portfólio através da informação obtida com as comparações entre os projetos. Isso acaba comprometendo o modelo, pois muitas vezes um portfólio que foi considerado pior não teve suas contribuições avaliadas corretamente para os critérios. Esta distorção é explicada na seção 3.5.

A seguir será demonstrado mais um exemplo hipotético de seleção de portfólios de projetos. Neste exemplo estão disponíveis 20 projetos para serem selecionados, sendo estes avaliados de acordo com cinco critérios, e restritos apenas pelo orçamento disponível para o portfólio.

A matriz de conseqüências dos projetos é exposta na tabela 4.9. Deve-se considerar que no modelo proposto, tal matriz de conseqüências não será utilizada diretamente para o cálculo da recomendação, mas ela será utilizada para calcular a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira do problema.

Tabela 4.9: Matriz de conseqüências dos projetos do problema simulado de 20 alternativas.

Alternativas\Critérios	C1	C2	C3	C4	C5
p1	6	30	4	2	31
p2	4	6	28	4	35

p3	35	2	3	30	3
p4	7	7	7	7	10
p5	6	7	10	6	6
p6	10	6	6	10	10
p7	10	6	7	10	9
p8	9	6	8	8	7
p9	11	6	11	8	10
p10	6	7	11	6	11
p11	11	7	10	7	9
p12	8	10	8	6	6
p13	9	7	10	11	7
p14	10	16	11	16	13
p15	13	14	10	16	12
p16	15	12	12	16	15
p17	14	15	10	11	13
p18	14	15	11	11	15
p19	28	32	4	3	5
p20	4	3	32	30	3

Os vinte projetos disponíveis no problema são analisados de acordo com cinco critérios, sendo todos eles considerados critérios usuais ou verdadeiros. Os pesos relativos dos oito critérios considerados no problema simulado são descritos na tabela 4.10.

Tabela 4.10: Pesos relativos dos critérios considerados no problema simulado de 15 alternativas.

Critérios	C1	C2	C3	C4	C5
Pesos	0,15	0,2	0,3	0,2	0,15

Os pesos da tabela 4.10 serão utilizados pelo modelo que analisa os projetos (PROMETHEE V) e pelo modelo que analisa os portfólios (PROMETHEE II).

Por fim são expostos na tabela 4.11 os últimos dados de entrada do modelo, os custos dos projetos. Na restrição de orçamento foi considerado o valor de 500.

Tabela 4.11: Custos dos projetos do problema simulado de 15 alternativas.

Projetos	Custos
p1	111
p2	110
p3	79
p4	94
p5	96
p6	110
p7	82

p8	109
p9	84
p10	77
p11	76
p12	118
p13	109
p14	108
p15	118
p16	108
p17	100
p18	107
p19	104
p20	93

Primeiramente são calculados os portfólios de fronteira. No problema considerado, existem 20 alternativas, logo, 2^{20} , ou 1048576 combinações possíveis. Destas combinações, apenas 8860 são portfólios viáveis de fronteira, isto é, que serão considerados no modelo que utiliza PROMETHEE II sobre portfólios, isto é, menos de 1% das combinações são consideradas pelo modelo.

Utilizando a equação (3-9) sobre os portfolios é calculada a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira, que será utilizada pelo PROMETHEE II.

Mais uma vez, os dados com a identificação das alternativas de cada portfólio viável e/ou de fronteira, bem como a matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira serão ocultados devido ao grande número de combinações viáveis do problema.

Utilizando os pesos definidos pela tabela 4.10, no início da descrição do problema de vinte alternativas e a nova matriz de conseqüências, o método PROMETHEE II é aplicado sobre os portfólios de fronteira. A recomendação consiste no primeiro portfólio da ordenação gerada como resultado.

A tabela 4.12 mostra a recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios do novo problema de vinte alternativas:

Tabela 4.12: Recomendação do PROMETHEE II sobre os portfólios do problema simulado de 20 alternativas.

Projetos	Recomendação do PROMETHEE II
p1	1
p2	1
p3	1
p4	0

p5	0
p6	0
p7	0
p8	0
p9	0
p10	0
p11	0
p12	0
p13	0
p14	0
p15	0
p16	0
p17	0
p18	0
p19	1
p20	1

Foi aplicado também sobre o problema o modelo que utiliza o PROMETHEE V sobre os projetos. Assim como a recomendação do modelo com o PROMETHEE II, o modelo com PROMETHEE V também recomendou um portfólio com cinco projetos. Porém foi identificado um portfólio c-ótimo na classe (c6), isto é, com seis projetos inclusos. A tabela 4.13 mostra o resultado para o modelo do PROMETHEE V clássico e o resultado para os c-ótimos.

Tabela 4.13: Recomendação do PROMETHEE V clássico e para os c-ótimos viáveis para o problema simulado de 20 alternativas.

Projetos	PROMETHEE V clássico (c5)	PROMETHEE V (c6)
p1	0	0
p2	0	0
p3	0	1
p4	0	0
p5	0	0
p6	0	0
p7	0	1
p8	0	0
p9	0	1
p10	1	1
p11	0	1
p12	0	0
p13	0	0
p14	1	0
p15	0	0
p16	1	0
p17	1	1

p18	1	0
p19	0	0
p20	0	0

O portfólio recomendado pelo PROMETHEE V clássico, que será chamado aqui de P5 (c5), apareceu na posição 632 da ordenação do PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira, com um valor de 0,3424 de fluxo líquido. A recomendação para a classe c-ótima com seis projetos, chamada aqui de P5(c6) apareceu na posição 804 da ordenação do PROMETHEE II sobre os portfólios de fronteira, com um valor de 0,3197 de fluxo líquido. No entanto, o portfólio recomendado pelo modelo proposto, que será chamado aqui de P2, alcançou um fluxo líquido de 0,7941.

A tabela 4.14 mostra a avaliação dos portfólios recomendados pelos dois modelos, de acordo com os critérios considerados no problema, retirada da matriz de conseqüências dos portfólios de fronteira. A figura 4.6 ilustra estes dados.

Tabela 4.14: Avaliação das recomendações do PROMETHEE 2 e do PROMETHEE 5 com conceito c-ótimo, de acordo com os critérios do problema simulado de 20 alternativas.

Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5
PROMETHEE 2	77	73	71	69	77
PROMETHEE 5 (c5)	59	65	55	60	67
PROMETHEE 5 (c6)	87	43	52	72	55

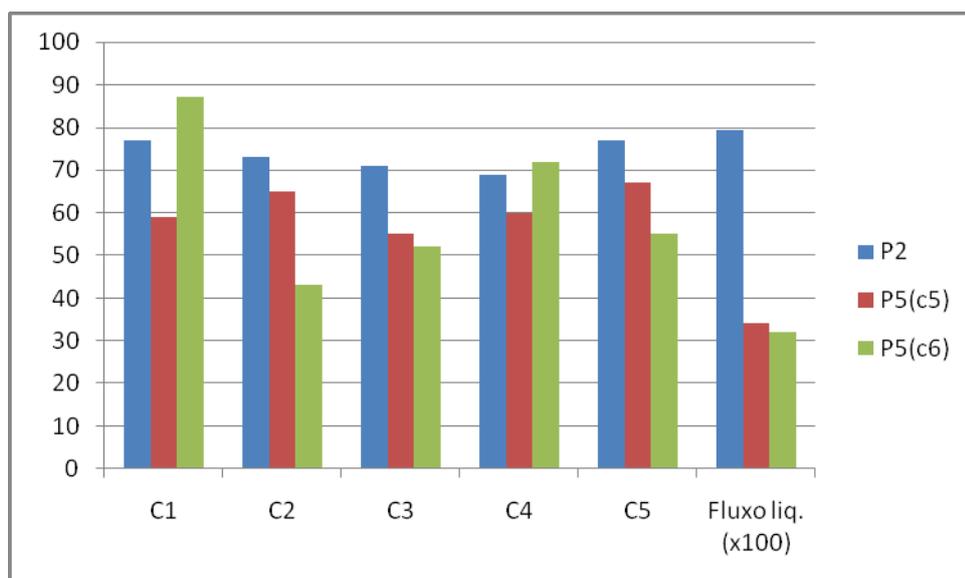


Figura 4.6: Visualização das avaliações de P2 (PROMETHEE II) e P5 (PROMETHEE V), de acordo com os critérios do problema simulado de 20 alternativas.

A figura 4.6 mostra que o portfólio recomendado pelo modelo com PROMETHEE II sobre portfólios domina o portfólio recomendado pelo PROMETHEE V clássico. Já o portfólio recomendado pelo PROMETHEE V na classe (c6) supera em dois critérios tanto a recomendação do PROMETHEE V clássico quando a do PROMETHEE II sobre portfólios. Quanto à análise dos fluxos líquidos dos três portfólios mostrados, de acordo com o PROMETHEE II, é clara a vantagem do portfólio recomendado pelo novo modelo.

A figura 4.7 mostra, através de um gráfico bolha, a comparação entre os portfólios recomendados pelo modelo novo com PROMETHEE II e o modelo com o PROMETHEE V clássico. A altura das bolhas simboliza a contribuição no critério, enquanto o tamanho da bolha mostra a importância deste critério.

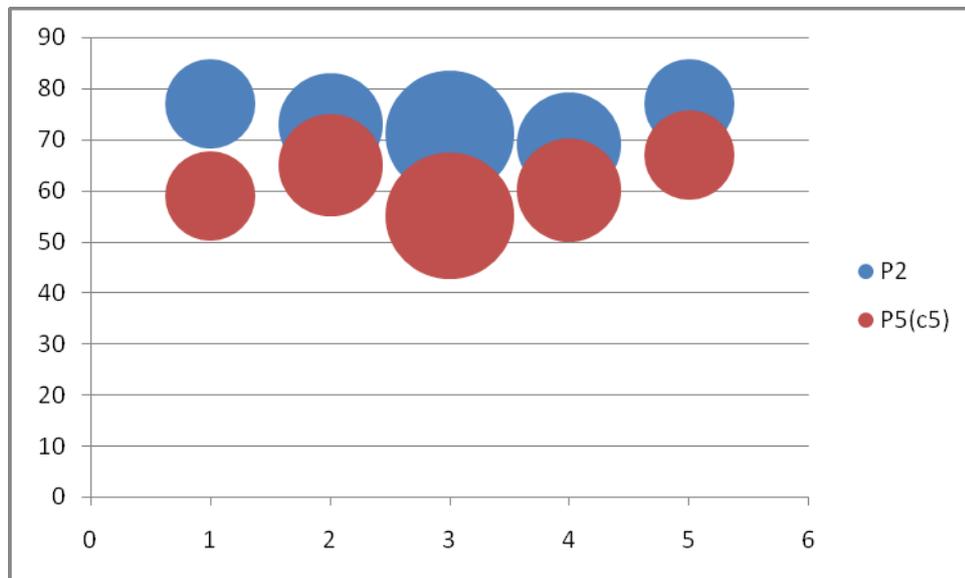


Figura 4.7: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE II e com PROMETHEE V clássico através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.

Como pode ser visto, o portfólio recomendado pelo PROMETHEE II sobre portfólios supera a recomendação do PROMETHEE V clássico em todos os critérios de avaliação do problema, mostrando novamente a inconsistência do método para a problemática de portfólio.

Na figura 4.8 são comparados, através do gráfico bolha, os portfólios recomendados pelo PROMETHEE II sobre portfólios e pelo PROMETHEE V na classe com seis projetos.

Quando o PROMETHEE V é forçado a escolher um portfólio com seis projetos, o portfólio recomendado consegue superar a recomendação do PROMETHEE II sobre portfólios em dois critérios, sendo porém o primeiro deles, um critério com menor importância no problema. Nos critérios mais importantes, o portfólio encontrado pelo PROMETHEE II aplicado sobre portfólios supera o da classe c-ótimo (c6).

A figura 4.9 mostra a comparação, em gráfico bolha, dos portfólios recomendados pelo PROMETHEE V, em sua versão clássica e na classe com um projeto a mais (c6).

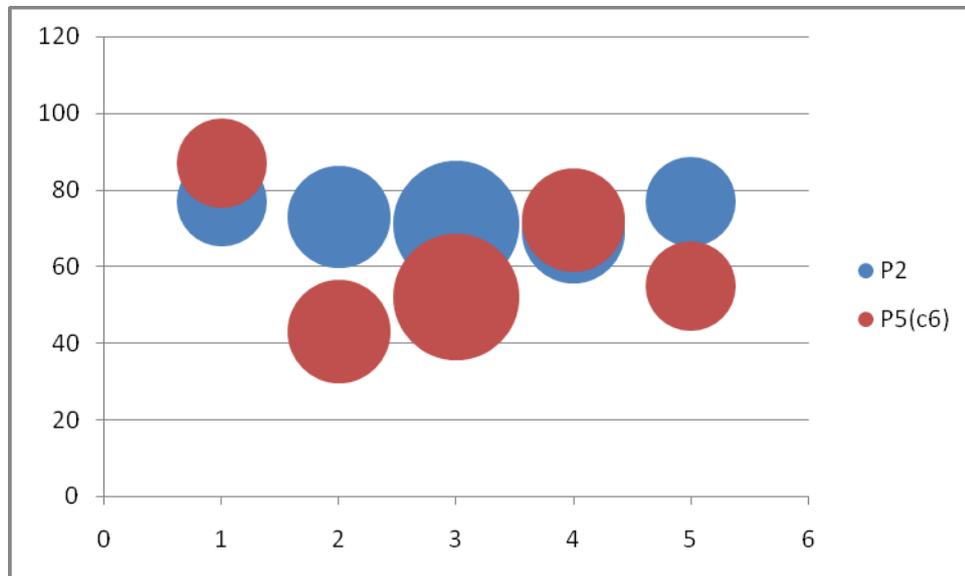


Figura 4.8: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE II e com PROMETHEE V classe (c6) através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.

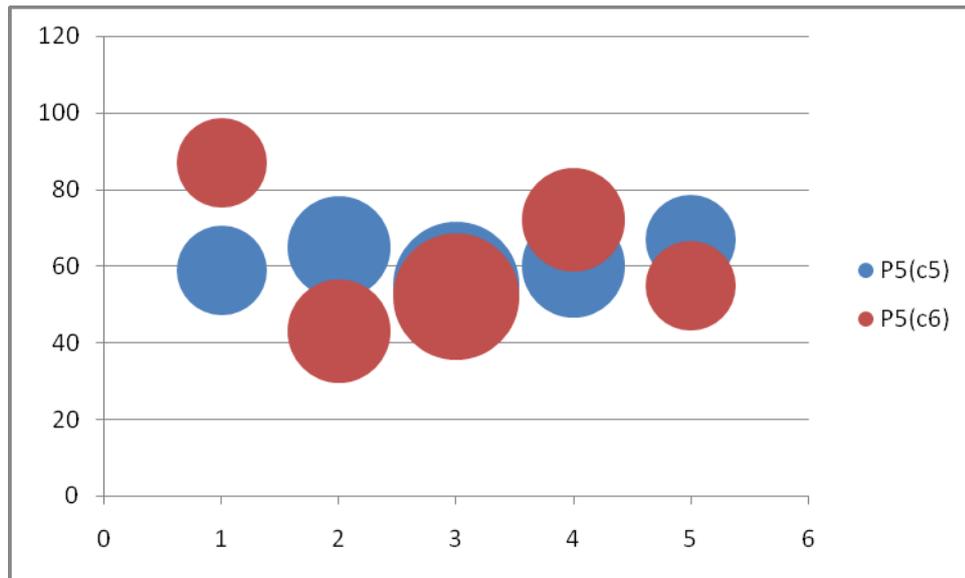


Figura 4.9: Visualização das avaliações das recomendações dos modelos com PROMETHEE V clássico e com PROMETHEE V na classe (c6) através de gráfico bolha para o problema simulado de 20 alternativas.

Como pode ser visto na figura 4.9, o portfólio recomendado pelo PROMETHEE V para um portfólio de seis projetos consegue superar a recomendação do PROMETHEE V clássico em dois critérios, porém mais uma vez foram critérios com pouco peso, estando entre os três critérios em que ele perde, aquele com maior importância, apesar de que neste critério, a recomendação do PROMETHEE V clássico ganha com pouca vantagem, apesar de que isto não é considerado na racionalidade não-compensatória.

Tal racionalidade não compensatória utilizada sobre projetos é que pode prejudicar a avaliação sobre portfólios, como mostrado na seção 3.5.

4.5 Considerações sobre o modelo proposto

Os modelos descritos na literatura para seleção de portfólios de SI em sua maioria utilizam uma racionalidade compensatória para a análise dos portfólios através dos projetos.

Porém, uma análise não-compensatória fornece uma nova perspectiva, onde a parte da informação sobre as comparações par-a-par não são desprezadas, expondo uma análise que representa a competição dos portfólios à luz os critérios.

A racionalidade não-compensatória deve ser utilizada com precaução, pois deve-se ter em mente o que se está avaliando. O método PROMETHEE V mostrou-se inconsistente para a avaliação de portfólios, pois apesar de sua proposta ser analisar e avaliar portfólios, o seu método avalia os projetos. Em uma racionalidade compensatória, analisar projetos para comparar portfólios seria uma avaliação coerente, pois a função valor dos métodos compensatórios utilizam todo o potencial de contribuição de cada projeto em cada critério para avaliar os portfólios. Na análise não compensatória que o PROMETHEE V realiza sobre os projetos, nem todo o potencial de contribuição de um projeto é considerado para dado critério em uma comparação par-a-par, pois a partir do momento em que um projeto ganha de outro em dado critério, toda a diferença de contribuição entre os dois projetos é desprezada. Além disso, um projeto tem toda a sua contribuição desprezada em uma comparação par-a-par em dado critério, se este projeto perde para o outro com o qual está sendo comparado.

A consequência disto é que ao somar os fluxos dos projetos de um portfólio, este pode perder para outro portfólio sem nem ao menos conseguir usar todo o seu potencial de contribuição, pois parte dele foi desprezado nas comparações par-a-par entre projetos. O fato de um portfólio perder para outro sem considerar todo o seu potencial de contribuição em um critério contraria a própria racionalidade não-compensatória.

O algoritmo proposto na seção 4.1 propõe trazer as comparações par-a-par da racionalidade não-compensatória para o final da análise do problema de seleção de portfólio, fazendo com que todos os portfólios possam usar todo o seu potencial em um critério, antes de perder uma comparação par-a-par, ou que use parte dele, caso vença. Os exemplos simulados mostrados e resolvidos na seção 4.2 mostram este efeito que é melhor explicado na seção 3.5.

Os exemplos simulados mostraram que o modelo proposto consegue eliminar tais distorções e encontrar uma solução melhor que a solução encontrada pelo PROMETHEE V, dominando em alguns casos.

5 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

5.1 Conclusões

Este trabalho analisou o problema de seleção de portfólios de sistemas de informação, buscando um procedimento que agregasse o planejamento de sistemas de informação à visão estratégica da empresa.

Os processos de negócios da organização, utilizados como base para o planejamento dos sistemas de informação do BSP, são os processos que guiam a organização às suas metas estratégicas. Desta maneira, os sistemas de informação devem proporcionar um suporte a tais processos, lembrando que sistemas de informação apóiam decisões, que são utilizadas neles.

Foi proposto um procedimento que agregava ao PROMETHEE V o conceito de portfólio c-ótimo, com a intenção de eliminar a distorção causada pela mudança de escala, identificada por Almeida & Vetschera (2012). Neste procedimento, após calcular a recomendação do PROMETHEE V clássico, o método era utilizado mais uma vez, inserindo uma restrição que obriga a programação 0-1 a escolher um método com um número c de projetos, que inicialmente era um projeto a mais que o número de projetos na recomendação original. O valor c aumenta a cada rodada até que não seja mais possível encontrar portfólios viáveis. Desta forma, a distorção apresentada por Almeida & Vetschera (2012) era eliminada ao considerar em cada etapa portfólios com o mesmo número de projetos. O modelo foi aplicado através de um SAD elaborado por meio do Matlab, usando planilhas do Excel como base de dados.

Durante a aplicação do PROMETHEE V com o conceito de portfólio c-ótimo, foram feitas análises de sensibilidade, utilizando o método Monte Carlo, onde se identificou que ainda existiam fortes inconsistências no método, indicando que elas se originavam no próprio PROMETHEE V, pois para uma mesma classe, a solução original era dominada por uma solução que surgiu durante a variação dos parâmetros na análise de robustez.

Uma análise aprofundada no PROMETHEE V mostrou matematicamente a fonte destas distorções, onde os portfólios são avaliados através de comparações

entre alternativas. Porém outras distorções ainda não descobertas podem ocorrer, de forma que a prova oferecida não mostrou ser esta a fonte de todas as distorções do método.

Ao utilizar um método com racionalidade compensatória, pode-se avaliar projetos para comparar portfólios já que toda a contribuição dos projetos são consideradas para cada critério na função valor. Porém, na análise não compensatória que o PROMETHEE V realiza sobre os projetos, parte da contribuição de um projeto em dado critério pode ser desprezada, caso ele vença outro projeto em uma comparação par-a-par e toda a sua contribuição é desprezada, caso ele perca. Como consequência, um portfólio pode perder para outro nos fluxos considerados pelo PROMETHEE V, sendo considerado inferior sem nem ao menos conseguir usar todo o seu potencial de contribuição, pois parte dele foi desprezado nas comparações par-a-par entre projetos. Esta comparação contraria a própria racionalidade não-compensatória, conforme foi provado nesta tese.

Uma nova abordagem foi proposta como uma alternativa ao uso do PROMETHEE V, utilizando ainda a sua racionalidade não-compensatória. A idéia da nova proposta é utilizar as comparações par-a-par sobre os portfólios e não sobre os projetos, agregando primeiro as contribuições de todos os projetos de um portfólio em cada critério, para depois realizar a análise através do PROMETHEE II.

Uma dificuldade encontrada foi o número de combinações possíveis para portfólios que é 2^n , onde n é o número de projetos disponíveis. Esta dificuldade foi superada utilizando uma versão adaptada do procedimento de composição de portfólios viáveis de Vetschera (1994). Este procedimento teve a sua eficiência aumentada através de uma alteração na ordem dos projetos analisados. Após a seleção dos portfólios viáveis, foram selecionados os portfólios de fronteira, aqueles onde não se pode inserir mais nenhum projeto sem romper uma restrição. Nos problemas simulados, o número de portfólios de fronteira era menos de 1% do número de combinações possíveis.

O modelo foi aplicado por meio de um SAD desenvolvido através do Matlab e do Delphi, usando planilhas do Excel como base de dados.

Os exemplos simulados foram resolvidos com o modelo proposto que avalia os portfólios através do PROMETHEE II e com o modelo que utiliza o PROMETHEE V com o conceito de portfólios c-ótimos. A comparação entre os resultados mostrou o

efeito da inconsistência do PROMETHEE V, onde suas recomendações eram muitas vezes dominadas pela recomendação do PROMETHEE II sobre portfólios.

Os resultados mostraram que o modelo que utiliza o PROMETHEE II sobre os portfólios consegue usar a racionalidade não-compensatória de forma eficiente para problemas de seleção de portfólios de projetos de SI, fornecendo um modelo que pode ser utilizado para esta problemática, agregando as contribuições dos projetos dos portfólios para cada critério.

Os sistemas de informação tem a capacidade de influenciar a eficiência dos processos da organização através das decisões inerentes a eles. A visão estratégica aliada a visão de processos do BSP permite ao modelo proposto avaliar com eficácia os módulos de sistemas de informação, garantindo uma decisão de seleção de portfólios de SI que possa satisfazer os critérios da organização através das preferências declaradas pelo decisor. O procedimento adaptado de geração de portfólios permite uma maior rapidez na tarefa de encontrar os portfólios que devem ser considerados no modelo.

O novo método proposto para a seleção de portfólios de projetos permite ao modelo a aplicação da racionalidade não compensatória, livre de distorções, fornecendo assim uma resposta mais satisfatória através de uma nova perspectiva, já que a maior parte dos modelos propostos para tal finalidade utilizam métodos compensatórios.

Entretanto ainda deve ser avaliado o impacto prático destas diferenças entre as soluções do modelo proposto e do modelo com o PROMETHEE V.

5.2 Trabalhos Futuros

O trabalho mostrou uma fonte de inconsistências sobre o PROMETHEE V. Uma análise estatística sobre as variações das recomendações com PROMETHEE V pode ajudar a descobrir novas observações pertinentes à família de métodos PROMETHEE.

Um estudo mais aprofundado sobre a influência dos dados de entrada para o planejamento de SI pode ajudar a descobrir fatores importantes para o novo modelo com o PROMETHEE II sobre portfólios, inclusive uma análise de robustez pode revelar o comportamento das recomendações diante de variações nos dados do planejamento de SI, já que foi observado que no modelo com PROMETHEE V,

pequenas variações nestes dados de entrada causavam grandes variações na recomendação.

Uma análise com problemas com mais projetos e com variações nos parâmetros de entrada pode ajudar a entender como as recomendações do novo modelo se comportam diante de situações mais complexas, tendo a oportunidade de trazer melhorias para o mesmo.

Uma estudo de simulação pode ajudar a entender com que freqüência o modelo novo supera ou domina a solução com o PROMETHEE V e qual o seu impacto.

Pode ser ainda avaliado no estudo de simulação qual a influência dos limiares em problemas simulados, mostrando se há algum impacto prático e se houver, qual a sua freqüência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-TALEB, M. F.; MARESCHAL, B. Water resources planning in the Middle East: Application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81 (3): pp 500-511, março. 1995.
- ALBUQUERQUE, R. M.; COSTA, A. P. C. S. Apoio multicritério a decisão e programação inteira 0-1 aplicados ao problema de priorização de sistemas de informação. In: XXVI ENEGEP, 26., Fortaleza, 2006.
- ALMEIDA, A. T. Decision modelling on planning and management of information systems. In: EURO XV – INFORMS XXXIV. Barcelona, 1997, pp 14-17.
- ALMEIDA, A. T. Um modelo de decisão para priorização no planejamento de sistemas de informação. *Revista produção*. 8 (2), pp 169-185, 1999.
- ALMEIDA, A. T. O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. Editora Universitária da UFPE. 2011. 2ª Edição, 232pág.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação Baseado no Método PROMETHEE. *Gestão & Produção*, 9 (2), pp 201-214. 2002.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão*. Editora Universitária da UFPE, Recife. 2003.
- ALMEIDA, A. T.; DUARTE, M. D. O. A multi-criteria decision model for selecting project portfólio with consideration being given to a new concept for synergies. *Pesquisa Operacional* 31(2), pp 301-318. 2011.
- ALMEIDA, A. T.; RAMOS, F. S. org. *Gestão das informações na competitividade das organizações*. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2002.
- ALMEIDA, A T ; VETSCHERA, R . A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research* , v. 219, p. 198-200, 2012.
- ALMEIDA, A. T.; BOHORIS, G. A.; STEINBERG, H. Management information and decision support system of a telecommunication network. *Journal of decisions systems*. 1 (2-3) pp 213-241. 1992.
- ALTER, S. *Information systems: a management perspective*. New York. Addison Wesley, 1996.
- BADGER, B. A. How the case manager can influence the clinical information system selection process. *Nursing case management : managing the process of patient care*. 1 (2), pp 83-89, 1996.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis*. Netherlands, Kluwer Academics Publishers. 2002.

- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A. AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*. 200, pp 198-215, 2010.
- BIDGOLI, H. *Decision support systems – principle and practice*. New York West Publishing Company, 1989.
- BRANS, J.P. Lingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE. In: NADEAU, Quebec, pp. 183–214, 1982.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B., PROMETHEE V – MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR* 30 (2), 85–96, 1992.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*. 4, pp 213–223, 1995.
- BRANS, J.P.; VINCKE, P. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research* 24 (2), pp 228–238. 1985.
- CHEN, C. T. A decision model for information system project selection. *IEEE International Engineering Management Conference*. 2, pp 585-589, 2002.
- CHEN, C.-T.; CHENG, H.-L. Group decision making based on computing with linguistic variables and an example in information system selection. In: CIT 2008. pp 444-449.
- CHEN, K.; GORLA, N. Information System Project Selection Using Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*. 28 (6), pp 849-855. 1998.
- COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA, A. T.; GOMES, L. F. A. M. Priorização de portfólio de projetos em sistemas de informação baseado no método TODIM de apoio multicritério a decisão. *Revista Epio Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*. 23 (1), pp 1-16, 2002.
- DAVENPORT, T. H. *Reengenharia de processos*, Rio de Janeiro, Campus, 1994.
- DAVIS, G. B. *Management information systems: Conceptual foundations, structure and development*. New York, McGraw-Hill, 1974.
- DAVIS, G. B. OLSON, M. H. *Management information systems: Conceptual foundations, structure and development*. New York, McGraw-Hill, 1985.
- DOUKIDIS, G. I.; LYBEREAS, P.; GALLIERS, R. D. Information Systems Planning in Small Business: A Stages of Growth Analysis. *Journal of Systems Software*. 33, pp 189-201, 1996.
- FIGUEIRA, J.; DE SMET, Y.; BRANS, J.P. *MCDM methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER*. Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, 2004.
- FURLAN, J. D.; IVO, I. M.; AMARAL, F. P. *Sistemas de informação executiva*. São Paulo, Makron Books, 1994.

- GALASSO, J. Business goals, end-users must drive information systems selection. *Pulp and Paper*. 72 (11), pp 50-59, 1998.
- GRAY, P. *Decision Support and executive information systems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc, 1994.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2009, 3a Edição.
- HALOUANI, N., CHABCHOUB, H., MARTEL, J.M. PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*. 195(3), pp 841–895, 2009.
- HARRIS, C. M.; SCANLON, K. W. The use of a clinical case study in a clinical information system selection process. *Proceedings The Annual Symposium on Computer Application in Medical Care*. pp 643-647, 1994.
- HUANG, J. Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection. In CIS 2008. Naaning. 2008, article number 4670971. 2008.
- HOLTHAM, C. *Executive information system and decision support*. London, Chapman & Hall, 1992.
- HUGHES, J. Selection and evaluation of information systems methodologies: the gap between theory and practice. *IEE Proceedings: Software*. 145 (4), pp 100-104, 1998.
- IBM. *Business system planning – Information system planning guide*. Technical Publications, IBM Corporation, 1984.
- JAMIESON, K.; HYLAND P. Good Intuition or Fear and Uncertainty: The Effects of Bias on Information Systems Selection Decisions. *Informing Science Journal*. 9, pp 49-69, 2006.
- JIANG, J. J.; KLEIN, G. Information System Project-Selection Criteria Variations Within Strategic Classes. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 46 (2), pp 171-176, 1999.
- KLAPKA, J; PIÑOS, P. Decision support system for multicriterial R&D and information systems projects selection. *European Journal of Operational Research*. 140, pp 434-446. 2002.
- KLEIST, V. F. An Approach to Evaluating E-Business Information Systems Projects. *Information Systems Frontiers*. 5 (3), pp 249-263, 2003.
- LEE, J. W.; KIM, S. H. Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Computers & Operations Research*. 27, pp 367-382, 2000.
- LI, G. JIANG, X. MA, Y. Efficient algorithm for superior feature selection of information system. *Journal of Computational Information Systems*. 4 (1), pp 197-202, 2008.
- LIANG, C.; LI, Q. Enterprise information system project selection with regard to BOCR. *International Journal of Project Management*. 26, pp 810-820. 2008.

- LYRA, G. M.; CALADO, L.; ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação. In: XIX ENEGEP, Rio de Janeiro, 1999.
- MACHARIS, C.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure – a PROMETHEE–GAIA based procedure for group decision support. *Journal of Decision Systems*. 7, pp 283–307, 1998.
- MARKOWITZ, Harry, Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, Vol. VII, 1952.
- MARTIN, J. *Engenharia da informação: introdução*. Rio de Janeiro, Campus, 1991.
- MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*. 171, pp 296–308, 2006.
- MEHREZ, A.; HOWARD, G. S.; LUGASSI, Y.; SHOVAL, P. Information System Planning and Selection: A Multiattribute Theoretic Approach. *The Computer Journal*. 36 (6), pp 525-541, 1993.
- MIKHAILOV, L.; MASIZANA, A. Decision support for information systems selection. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 6, pp 5044-5049. 2004.
- MITTRA, S. S. *Decision support systems – Tools and techniques*. New York, John Wiley & Sons, 1986.
- MODHA, J.; GWINNETT, A.; BRUCE, M. A review of information systems development methodology (ISDM) selection techniques. *Omega*. 18 (5), pp 473-490, 1990.
- NOLAN, R. L. GIBSON, C. Managing the four stages of EDP growth. *Harvard Business Review*. pp 76-88, 1974.
- OZ, E. Selection and implementation of an information system: A General Motors case. *Omega*. 20 (3), 283-293, 1992.
- POLLONI, E. *Administrando sistemas de informação*. São Paulo, Futura, 2000.
- ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SAYA, F.G.; SHANE, R. A stepwise approach to the evaluation and selection of a hospital pharmacy information system. *Pharmacy practice management quarterly*. 15 (3), pp 15-22, 1995.
- SCHNIEDERJANS, M. J.; SANTHANAM, R. A multi-objective constrained resource information system project selection method. *European Journal of Operational Research* 70, pp. 244-253, 1993.
- SHIN, N. The impact of information technology on financial performance: the importance of strategic choice. *European Journal of Information Systems*. 10 (4), pp 227-236, 2001.

- SOWLATI, T.; PARADI, J. C.; SULD, C. Information Systems Project Prioritization Using Data Envelopment Analysis. *Mathematical and Computer Modelling*. 41, pp. 1279-1298, 2005.
- SPRAGUE JR, R. H.; WATSON, H. J. *Decision support systems – Putting theory into practice*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc, 1989.
- STAGGERS, N.; REPKO, K. B. Strategies for successful clinical information system selection. *Computers in nursing*. 14 (3), 146-155, 1996.
- STAIR, R. M. *Princípios de sistemas de informação – Uma abordagem gerencial*. Rio de Janeiro, LTC, 1998.
- SULLIVAN, C. H. Systems planning in the information Age. *Sloan management review winter*. 26 (2) pp 3-12. 1985.
- SYAIFUDIN, ABDULLAH, C.S., UDIN, Z.M. The effect of economic and organizational capability in the information system project selection. In: 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering. p. 35-40, Chengdu, 2012.
- SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T. Uso do método multicritério ELECTRE TRI para classificação de estoques na construção civil. *Pesquisa Operacional online*. 26 (3), pp 625-648, 2006.
- THIERAUF, R. J. *Decision support systems for effective planning and control – A case study approach*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc, 1982.
- UYSAL, F., TOSUN, O. Fuzzy TOPSIS-based computerized maintenance management system selection. *Journal of Manufacturing Technology Management* V. 23, p. 212-228, 2012.
- VETSCHERA, R. Composite alternatives in group decision support. *Operations Research*, 51, 197-215, 1994.
- VETSCHERA, R ; ALMEIDA, A T . A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research* , v. 39, p. 1010-1020, 2012.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision aid*. New York, John Wiley & Sons, 1992.
- WATSON, H, J.; RAINER, R. K.; HOUDESH, G. *Executive information systems: emergence, development, impact*. New York, John Wiley & Sons, 1992.
- YEH, C.-H., DENG, H., WIBOWO, S., XU, Y. Fuzzy multicriteria decision support for information systems project selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, V. 12, (2), p. 170 – 179, 2010.
- Yu, W. ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation. Document du LAMSADE No. 74, Université Paris-Dauphine, 1992.
- ZACHMAN, J A, Business systems planning and business information control study, a comparison. *IBM Systems Journal*, 21(1) pp 31-53, 1982.

Zopounidis, C. Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, 119, pp. 404-415, 1999.