



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE
PORTFOLIO DE PROJETOS CONSIDERANDO SINERGIA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

MARINA DANTAS DE OLIVEIRA DUARTE

Orientador: Prof.º Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, OUTUBRO / 2007

D812m Duarte, Marina Dantas de Oliveira

Modelo multicritério para seleção de portfolio de projetos considerando sinergia / Marina Dantas de Oliveira Duarte. – Recife: O Autor, 2007.

x, 63 f.; il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2007.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia de Produção. 2. Apoio Multicritério a Decisão. 3. Seleção de portfolio de projetos. 4. Sinergia. I. Título.

658.5 CDD (22.ed.)

UFPE/BCTG/2007-147



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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE

MARINA DANTAS DE OLIVEIRA DUARTE

*“Modelo Multicritério para Seleção de Portfolio de Projetos
considerando Sinergia”*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata MARINA DANTAS DE OLIVEIRA DUARTE **APROVADA COM DISTINÇÃO**.

Recife, 25 de outubro de 2007.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

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

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (UFPE)

À Olívia, minha avó (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao professor e orientador Adiel Almeida. Existem diversos motivos pelos quais lhe sou grata, dentre os quais posso citar o incentivo acadêmico desde a iniciação científica, os conhecimentos compartilhados, além do tempo e paciência consumidos na execução da dissertação. Certamente seu entusiasmo e comentários foram essenciais ao desenvolvimento do trabalho.

Sou grata ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFPE pelos conhecimentos transmitidos durante a realização das disciplinas do Programa. Agradeço ainda aos funcionários do departamento e ao órgão de fomento CNPq.

Aos alunos do doutorado Márcio e Paulo Renato pelos comentários e críticas sobre o projeto de dissertação.

Agradeço imensamente aos meus familiares pelo suporte emocional, por compreenderem a freqüente ausência e pelos esforços realizados para que eu pudesse me dedicar ao trabalho acadêmico.

À Natália, irmã e jovem soprano, pelo carinho e por impregnar com boa música a minha vida. Sou grata também ao Daniel, pelo constante apoio e sensibilidade para aconselhar.

Agradeço aos amigos do GPSID pelo agradável ambiente de pesquisa. Também aos amigos do mestrado pelas horas de estudo dosadas por momentos de descontração.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigado.

RESUMO

O trabalho desenvolvido objetiva tratar o problema de seleção de portfolio de projetos e as particularidades que envolve. Apesar do considerável volume de estudos existentes, ainda não há um consenso quanto aos elementos que caracterizam esta abordagem, pois a maioria dos trabalhos utiliza o termo seleção de portfolio para designar seleção de projetos. Além disso, a existência de sinergia entre projetos é pouco abordada nos modelos que se propõem a resolver o problema. Portanto, pretende-se contribuir neste âmbito através da proposição de uma classificação para os problemas relacionados e para os métodos aplicáveis.

Posteriormente, em acordo com a tipologia desenvolvida, é proposto um modelo multicritério para seleção de portfolio de projetos, o qual visa incorporar as possíveis sinergias e interdependências entre projetos. O modelo é formulado como um modelo de Otimização Combinatória, ajustando-se à existência de múltiplos critérios através de uma função objetivo de caráter compensatório, a qual agrega uma medida da contribuição proveniente de sinergias à avaliação dos projetos.

Palavras-chave: seleção de portfolio de projetos, apoio multicritério a decisão, sinergia.

ABSTRACT

This work aims to address the problem of project portfolio selection and its related peculiarities. Despite the considerable amount of existing studies, there is not yet a consensus on the elements that characterize this approach, because most of the work uses the term portfolio selection to mean projects selection. Moreover, the existence of synergy between projects is hardly addressed in the models that are proposed to solve the problem. Thus, this study intends to contribute in this scope by proposing a classification to the problems related and the methods that can be applied.

Subsequently, in accordance with the typology developed, a multicriteria model is proposed to select projects portfolio, which seeks to incorporate the possible synergies and interdependencies between projects. The model is formulated as a Combinatorial Optimization model, adjusting to the existence of multiple criteria through an objective function of compensatory nature, which adds a measure of the contribution from synergies to the projects evaluation.

Keywords: project portfolio selection, multicriteria decision aid, synergy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	3
1.2	OBJETIVOS	3
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	3
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	O PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PROJETOS E DE PORTFOLIO	5
2.1	TIPOLOGIA DOS PROBLEMAS DE SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO	7
2.2	TAXONOMIAS RELATIVAS AOS MODELOS DE SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO	9
2.2.1	<i>Considerações acerca da Taxonomia Proposta</i>	12
2.3	MODELOS EXISTENTES PARA SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO	14
2.4	ESTRUTURA PARA SELEÇÃO DE PORTFOLIO DE PROJETOS	20
3	MODELO PARA SELEÇÃO DE PORTFOLIO	25
3.1	ELEMENTOS BÁSICOS	25
3.1.1	<i>Apoio Multicritério a Decisão</i>	25
3.1.1.1	Atores do Processo Decisório	27
3.1.1.2	Problemáticas de Referência	28
3.1.1.3	Escalas	29
3.1.2	<i>Otimização Combinatória</i>	30
3.2	MODELO PROPOSTO	35
3.2.1	<i>Avaliação dos Projetos</i>	36
3.2.2	<i>Avaliação das Sinergias</i>	37
3.2.3	<i>Função Objetivo</i>	38
3.2.4	<i>Restrições</i>	39
3.2.4.1	Restrições de Recursos	39
3.2.4.2	Restrição de Custo	39
3.2.4.3	Restrições para Projetos Mandatários	40
3.2.4.4	Restrições Relacionais	40
3.2.4.5	Outras Restrições possíveis	41
3.2.5	<i>Considerações Gerais acerca do Modelo Proposto</i>	41
4	APLICAÇÃO NUMÉRICA	43
4.1	CENÁRIO INICIAL	44
4.2	CENÁRIOS DIFERENCIADOS PELAS RESTRIÇÕES	47
4.2.1	<i>Cenário Relativo à Inclusão de um Projeto Mandatário</i>	47
4.2.2	<i>Cenário Relativo à inclusão de Projetos Dependentes</i>	47

4.2.3	<i>Cenários Relativos à Inclusão de Projetos Mutuamente Exclusivos</i>	48
4.2.3.1	Caso 1	48
4.2.3.2	Caso 2	49
4.3	CENÁRIOS DIFERENCIADOS PELAS SINERGIAS ENTRE OS PROJETOS	49
4.3.1	<i>Cenário Relativo à Ausência de Sinergia entre todos os Projetos</i>	49
4.3.2	<i>Cenário Relativo à Consideração de um Projeto Contribuinte</i>	50
4.3.3	<i>Cenário Relativo à consideração de um Projeto Receptor</i>	51
4.3.4	<i>Cenário Relativo à Consideração de Projetos Reciprocamente Sinérgicos</i>	52
4.3.5	<i>Cenário Relativo à Existência de Grupos de Sinergia</i>	53
4.4	COMENTÁRIOS SOBRE RESULTADOS DAS APLICAÇÕES	54
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
5.1	CONCLUSÕES	56
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1- TAXONOMIA PROPOSTA PARA MODELOS DE SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO.....	12
FIGURA 2.2 – PROCESSO DE SELEÇÃO DE PORTFOLIO DE PROJETOS	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – TIPOLOGIA DE PROBLEMAS DE SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO	8
TABELA 2.2 – REVISÃO DA LITERATURA ACERCA DOS MODELOS PARA SELEÇÃO DE PROJETOS E PORTFOLIO	15
TABELA 3.1 – PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE O PROBLEMA DE PLI E O PL CORRESPONDENTE	31
TABELA 4.1 – AVALIAÇÃO DOS PROJETOS EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS PARA O CENÁRIO INICIAL	44
TABELA 4.2 – PESO DOS CRITÉRIOS PARA O CENÁRIO INICIAL	45
TABELA 4.3 – RESTRIÇÕES DO CENÁRIO INICIAL	45
TABELA 4.4 – MATRIZ DE SINERGIA DO CENÁRIO INICIAL	46
TABELA 4.5 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO NO CENÁRIO INICIAL	46
TABELA 4.6 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.2.1	47
TABELA 4.7 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.2.2	48
TABELA 4.8 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.2.3.1	49
TABELA 4.9 – MATRIZ DE SINERGIA DO CENÁRIO 4.3.2	50
TABELA 4.10 – MATRIZ DE SINERGIA DO CENÁRIO 4.3.3	51
TABELA 4.11 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.3.3	52
TABELA 4.12 – MATRIZ DE SINERGIA DO CENÁRIO 4.3.4	52
TABELA 4.13 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.3.4	53
TABELA 4.14 – MATRIZ DE SINERGIA DO CENÁRIO 4.3.5	54
TABELA 4.15 – CONSUMO DE RECURSOS E CUSTO DO PORTFOLIO SELECIONADO PARA O CENÁRIO 4.3.5	54

1 INTRODUÇÃO

A seleção do portfolio de projetos adequado consiste em uma atividade-chave para proporcionar a aquisição de vantagens competitivas para as organizações. Não raro, porém, envolve grupos de interesses, gerando conflitos, ou até mesmo a competição entre setores organizacionais. Neste contexto, o responsável pela decisão deve determinar quais novas propostas serão executadas, quais projetos em andamento serão continuados e qual nível de recursos estará disponível para os projetos a serem executados em determinado ciclo.

Normalmente existe uma quantidade maior de projetos disponíveis para seleção do que a quantidade que pode ser empreendida pela empresa em função de suas limitações. Assim, escolhas devem ser feitas para compor um portfolio de projetos satisfatório em atividades tais como Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de novos produtos, implementação de novos sistemas, processos na manufatura, Sistemas de Informação (SI) e projetos de construção. A consideração de um elevado número de propostas de projetos aumenta a complexidade do problema, pois o número de portfolios possíveis cresce exponencialmente em relação ao número de propostas (MILD, 2004). Portanto, comparado ao tradicional problema de seleção, onde uma alternativa deve ser selecionada em meio a um conjunto de alternativas, o problema de seleção de portfolio apresenta uma dificuldade inerente.

Os projetos considerados para compor um portfolio podem ter que competir por recursos escassos disponibilizados pela organização, uma vez que dificilmente existirão recursos suficientes para executar todos os projetos propostos. Segundo Archer e Ghasemzadeh (1999), a seleção de portfolio de projetos deve determinar quais projetos satisfazem os objetivos declarados da organização de uma maneira desejável, a partir das propostas de novos projetos e dos projetos em andamento, sem exceder os recursos disponíveis ou violar outras restrições.

Algumas das complicações relacionadas à seleção de portfolio em todos os campos de aplicação consistem na previsão sobre os impactos futuros do desenvolvimento de determinados projetos e na determinação de um portfolio que atenda aos interesses, muitas vezes conflitantes, dos decisores. Deve-se atentar ainda para o fato de que o desenvolvimento de determinados projetos pode não acarretar benefícios monetários perceptíveis, mas em longo prazo são responsáveis por benefícios estratégicos e podem implicar em vantagem competitiva para a organização.

Poucos métodos levam em consideração as implicações resultantes das combinações de diferentes formas de investimentos ou de projetos, tornando a associação dos projetos candidatos um fator difícil de ser trabalhado e negligenciado por muitos processos de seleção de portfólios. Desse modo, a avaliação estratégica do desenvolvimento em paralelo de diferentes projetos constitui um desafio para as organizações.

A gama de modelos aplicáveis ao problema de seleção de portfólio é bastante ampla, podendo-se citar os pioneiros modelos econômicos (baseados em medidas econômicas, tais como a Taxa Interna de Retorno, o Período de *Payback*, entre outros), as matrizes de portfólio, os métodos de decisão multicritério, modelos de otimização, teoria da decisão e outras abordagens. O presente trabalho enfatiza a tendência existente de incorporar múltiplos objetivos ao problema de seleção de portfólio de projetos, motivo pelo qual se analisará a aplicabilidade dos modelos multicritério ao contexto em questão, não excluindo, porém, a sua utilização em conjunto com outras ferramentas.

Existem diversos modelos que se propõem a avaliar os projetos individualmente, buscando formas de combiná-los em uma carteira. Todavia, tal abordagem descarta a existência de interdependências entre os projetos e a possibilidade de determinadas combinações de projetos gerarem sinergias. Chien (2002) enumera algumas limitações inerentes à maioria dos modelos existentes:

- Tratamento inadequado de múltiplos critérios;
- Tratamento inadequado das inter-relações entre projetos;
- Falta de habilidade para lidar com aspectos não-monetários;
- Não reconhecem nem incorporam as experiências e o conhecimento dos gerentes;
- Os gerentes os percebem como difíceis de entender e utilizar.

Observa-se, portanto, que há uma necessidade premente de estudos nesta área. Em função desta problemática, o trabalho desenvolvido se propõe a contribuir com os avanços já realizados, visando superar algumas das limitações levantadas.

1.1 Justificativa

Existem diferentes métodos que podem ser aplicados aos problemas de seleção de projetos e de portfólios de projetos, alguns dos quais concebidos há mais de duas décadas. Porém, a distinção entre estes problemas ainda hoje se encontra mal estabelecida, o que gera dúvida na classificação dos métodos existentes. Além disso, a consideração de sinergias é pouco abordada nos trabalhos que se propõem a selecionar portfólios de projetos.

Este trabalho se dispõe a contribuir para a estruturação da área através da retomada da árdua tarefa de proposição de taxonomias com base em revisões na literatura. Tal estudo deve culminar na elaboração de um método que supra algumas das principais limitações dos modelos existentes, a saber: a inadequação do tratamento de múltiplos critérios e das inter-relações entre os projetos e a ausência do reconhecimento e incorporação das experiências e conhecimento dos gerentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo para seleção de portfólio de projetos baseado no Apoio Multicritério à Decisão (AMD), incluindo avaliação da sinergia entre os projetos, com o intuito de auxiliar os tomadores de decisão na composição do portfólio para determinado ciclo de projetos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Abordar conceitos fundamentais para o processo de estruturação da seleção de portfólio de projetos, destacando a sinergia entre os projetos;
- Fornecer uma visão geral em relação aos métodos que vêm sendo desenvolvidos para seleção de projetos e de portfólio, com o intuito de realizar uma análise crítica sobre os avanços ocorridos na área e identificar aspectos relevantes para estudos mais aprofundados;
- Elaborar um modelo para seleção de portfólio que considere as particularidades da problemática abordada, além dos objetivos e critérios relevantes na avaliação;

- Realizar uma aplicação numérica para ilustrar o funcionamento e a consistência do modelo desenvolvido.

1.3 Estrutura da Dissertação

Após a introdução do tema e exposição da justificativa e dos objetivos do presente trabalho, este se encontra estruturado nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 – **O Problema de Seleção de Projetos e de Portfolio**, em que são apresentados os conceitos relevantes sobre os aspectos pertinentes à problemática, além de um levantamento e análise dos trabalhos existentes na literatura;

Capítulo 3 – **Modelo para Seleção de Portfolio**, que apresenta os elementos conceituais necessários para a concepção do modelo e o próprio modelo matemático desenvolvido baseado no Apoio Multicritério a Decisão e Otimização Combinatória;

Capítulo 4 – **Aplicação Numérica**, em que é apresentada uma aplicação numérica do modelo proposto baseada em cenários;

Capítulos 5 – Neste último capítulo das **Conclusões**, são apresentadas as considerações finais sobre o estudo, enfocando suas contribuições e limitações, bem como propostas para trabalhos futuros.

2 O PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PROJETOS E DE PORTFOLIO

Para a melhor compreensão da temática abordada, primeiramente, deve-se definir projeto. Existem diversas definições de projeto na literatura, algumas, porém, mais estabelecidas. O *Project Management Institute* (PMI) (2004) considera projeto um empreendimento temporário executado para gerar um único produto, serviço ou resultado. Meredith e Mantel (1995) afirmam que projeto é uma tarefa específica e finita a ser concluída. Segundo Archer e Ghasemzadeh (1999), projeto pode ser definido como um esforço complexo, com duração geralmente inferior a três anos, composto por atividades relacionadas, executadas por várias organizações, com objetivo, programação e orçamento bem definidos.

O problema de seleção de projetos se configura a partir do momento em que as organizações se depararam com um conjunto de projetos a ser executado que ultrapassava a capacidade de seus recursos financeiros, físicos ou técnicos. Percebeu-se, entretanto, que não era suficiente apenas incluir projetos para execução até que um dos recursos se exaurisse: os projetos deveriam ser selecionados de forma eficiente. Selecionar projetos eficientemente significa considerar a possibilidade de sucesso, o benefício propiciado à organização, o cumprimento de prazos, além de proporcionar uma boa utilização dos recursos.

Os primeiros trabalhos publicados na área abordam apenas a questão de alocação de recursos, sem mencionar a escolha dos projetos a serem executados (ASHER, 1962; ROSEN e SOUDER, 1965). À medida que se tornou necessário restringir o conjunto de projetos, observa-se uma profusão de artigos voltados à avaliação de projetos (COCHRAN *et al.*, 1971; DANILA, 1989). Tal fato sugere a necessidade de uma base de comparação para fundamentar a escolha, de modo que os projetos melhor avaliados sejam selecionados. A formalização do problema de seleção de projetos abriu caminho para que metodologias provenientes de diversas áreas do conhecimento (entre elas a Análise Econômica e a Pesquisa Operacional – Teoria da Decisão, Programação Matemática, Decisão Multicritério) se propusessem a resolver o problema (BELL e READ, 1970; CHAPMAN *et al.*, 2006). Posteriormente a constatação da importância das relações existentes entre os projetos permitiu a aplicação do conceito de portfolio a um conjunto de projetos, dando origem à abordagem de seleção de portfolio de projetos (GOLABI *et al.*, 1981; HALL *et al.*, 1992).

Um portfolio de projetos é um conjunto de projetos considerados para execução por uma organização particular. Deste modo, a seleção do portfolio de projetos é a atividade periódica que envolve selecionar um portfolio, a partir das propostas de projetos disponíveis e

projetos em andamento, que atinja os objetivos organizacionais estabelecidos de maneira desejável, sem exceder os recursos disponíveis ou violar outras restrições. (ARCHER e GHASEMZADEH, 1999). Belton e Stewart (2002) consideram a seleção de portfolio uma problemática (isto é, uma categoria de problemas) à qual os métodos de Apoio Multicritério a Decisão são aplicáveis. Segundo estes autores, a problemática de portfolio consiste em escolher um subconjunto de alternativas a partir de um amplo conjunto de possibilidades, levando em consideração não apenas as características das alternativas individualmente, mas também a maneira como elas interagem e suas sinergias positivas e negativas.

O termo sinergia está repleto de subjetividade, porém, em sua essência, carrega consigo a noção de cooperação entre partes. Segundo Goldbarg e Luna (2005), a Engenharia de Sistemas considera sinergia o efeito multiplicador que permite ao sistema alcançar patamares de desempenho superior ao obtido pela soma do desempenho de cada parte isolada. No âmbito da seleção de portfolio, diz-se que há sinergia entre os projetos se o valor total da carteira contendo estes projetos for maior do que a soma dos valores individuais dos respectivos projetos (MILD, 2004).

Devido à grande disseminação de trabalhos existentes na literatura, é necessário estabelecer uma distinção entre seleção de projetos e seleção de portfolio de projetos. A seleção de projetos visa escolher um subconjunto do conjunto de propostas de projetos disponíveis, considerando as características individuais dos projetos e, possivelmente, as restrições impostas. Por outro lado, a seleção de portfolio de projetos objetiva compor uma carteira, ou seja, destina-se a escolher um subconjunto de projetos, levando em consideração as restrições e características individuais dos projetos, assim como as relações sinérgicas existentes entre estes.

Chien (2002) apresenta uma taxonomia para os atributos relacionados a portfolios, a qual considera a existência ou não de relação de dependência entre projetos e a natureza de tal dependência. Tal concepção permite gerar uma classificação para os projetos considerados em um processo de seleção:

- *Projetos Independentes*: são aqueles cuja contribuição independe de outros projetos. O impacto da inclusão de tais projetos pode ser avaliado através da mensuração direta dos seus atributos;

- *Projetos Interdependentes*: são projetos cujas contribuições estão condicionadas a outros projetos do grupo. Tal condicionamento pode se refletir no compartilhamento de recursos, na condição de execução conjunta ou na exclusividade mútua;
- *Projetos Sinérgicos*: são projetos para os quais a contribuição conjunta é superior à soma das contribuições individuais. As contribuições provenientes das sinergias apresentam um caráter holístico.

Os itens a seguir pretendem abordar algumas particularidades relativas à classe de problemas tratados. Primeiramente, no item 2.1 é desenvolvida uma tipologia dos problemas existentes na literatura, baseada na classificação proposta anteriormente para projetos. O item 2.2 trata de diferentes taxonomias para os modelos de seleção de projetos e portfolio e apresenta uma nova proposta de taxonomia. Alguns modelos considerados representativos são abordados no item 2.3. Por fim, no item 2.4 é apresentada uma estrutura para seleção de portfolio de projetos proposta por Archer e Ghasemzadeh (1999).

2.1 Tipologia dos Problemas de Seleção de Projetos e Portfolio

Existem mais de duzentos modelos qualitativos e quantitativos presentes na literatura que se propõem a resolver o problema de seleção de portfolio (COFFIN e TAYLOR III, 1996). Contudo, esta profusão de modelos termina por causar um desentendimento na utilização do termo portfolio. A tipologia apresentada na tabela 2.1 pretende delimitar a aplicação do termo, minimizando o efeito negativo causado pela má distinção.

De acordo com a tipologia proposta, os três primeiros problemas são definidos de acordo com as inter-relações existentes ou não no conjunto de projetos considerado para seleção. Portanto, o problema de Seleção de Portfolio fica devidamente delimitado ao caso em que as sinergias entre os projetos estão presentes. A Gestão de Portfolio constitui um problema maior, que inclui a seleção de portfolio, mas que também visa executar outras atividades para gerenciar os portfolios de uma organização.

Aplicações de seleção de projetos têm sido publicadas em diversas áreas, em especial para Pesquisa e Desenvolvimento (WANG e HWANG, 2005; COLDRIK *et al.*, 2005; CARLSSON *et al.*, 2006), farmacêuticos (PRABHU, 1999), construção (WELLING e KAMANN, 2001) e Sistemas de Informação (LEE e KIM, 2001; KLAPKA e PIÑOS, 2002).

No contexto de P&D tem-se registro do trabalho de Baker e Pound (1964) sobre o estado da arte da avaliação e seleção de projetos. Entretanto, é sabido que o uso de

procedimentos numéricos formais para avaliação e seleção de projetos é um fenômeno pós Segunda Guerra Mundial. Primeiramente, o uso do período de *payback* foi largamente utilizado, de modo que durante as décadas de 50 e 60 os modelos formais aplicados eram estritamente de rentabilidade. Nos anos 70 ainda havia a predominância dos modelos de rentabilidade, porém foi reportado um crescimento significativo na literatura sobre modelos baseados em Decisão Multicritério (MEREDITH e MANTEL, 1995).

Tabela 2.1 – Tipologia de problemas de seleção de projetos e portfolio

Problema	Descrição
Seleção de Projetos Independentes	Considera projetos independentes para a seleção. Normalmente concentra-se na escolha dos melhores projetos, de modo que o foco dos modelos desenvolvidos para este fim está voltado para a estruturação das medidas de avaliação.
Seleção de Projetos Interdependentes	Considera projetos interdependentes para a seleção. Geralmente as interdependências são traduzidas em restrições do problema.
Seleção de Portfolio	Considera projetos sinérgicos para a seleção de uma carteira. A dificuldade enfrentada pelos modelos que se prestam a solucionar este tipo de problema está concentrada na mensuração das sinergias entre projetos ou grupos de projetos.
Gestão de Portfolio	Consiste na gestão contínua de um ou mais portfolios de projetos, abrangendo as atividades de seleção, gerenciamento e controle de portfolios.

Fonte: O autor

Muitos dos primeiros modelos de seleção de projetos eram baseados em otimização monocritério, onde dado um número de projetos e um grupo de recursos, a carteira de projetos era otimizada de acordo com determinado critério financeiro. Este procedimento usualmente envolvia a conversão dos atributos de um projeto em um valor monetário único. Existem poucas informações sobre a aplicação desses modelos anteriores nas decisões de seleção de projetos. Moore e Baker (1969) *apud* Coldrick *et al.*(2005) sugerem que para as decisões de seleção de projetos de P&D os modelos pioneiros não eram completamente satisfatórios devido à falta de dados de entrada. Estes autores perceberam a importância do processo de reunião de informação como função do modelo.

Apesar do elevado número de títulos relacionados, poucos são os trabalhos que realmente tratam o problema de portfolio de projetos definido segundo a categorização apresentada (GOLABI *et al.*, 1981; HALL *et al.*, 1992; CHIEN, 2002; MILD, 2004).

As dificuldades associadas com a seleção de portfolio de projetos resultam de certos fatores, tais quais: a existência de objetivos múltiplos e conflitantes; alguns objetivos podem ser qualitativos; incerteza e risco podem afetar os projetos; a carteira selecionada pode precisar ser balanceada em termos de fatores importantes, como risco e tempo para conclusão; alguns projetos podem ser interdependentes; o número de portfolios possíveis é freqüentemente elevado (GHASEMZADEH e ARCHER, 2000). Acrescenta-se a estas características as restrições devido às limitações de recursos financeiros, de mão-de-obra, instalações ou equipamentos. Deve-se salientar ainda que a seleção de portfolio torna-se mais complexa quando a disponibilidade e o consumo de recursos não são uniformes ao longo do tempo.

Portfolios de projetos são mais provavelmente bem sucedidos se incluem um limitado número de projetos cuidadosamente selecionados, posicionados e balanceados (COOPER *et al.*, 2000). Um portfolio é dito balanceado se existe uma distribuição adequada dos projetos em determinadas dimensões, como por exemplo, riscos tecnológicos e de mercado, tempo de conclusão e retorno sobre investimento.

Alguns dos métodos que se propõem a tratar os problemas de seleção de projetos e portfolio, principalmente os modelos de otimização, preocupam-se em definir um cronograma para o conjunto de projetos. Os cronogramas de projetos pertencem a uma vasta família de problemas de programação e sequenciamento, para os quais soluções ótimas podem ser obtidas atualmente através de algoritmos cujos requerimentos computacionais aumentam de forma não polinomial de acordo com o tamanho do problema (classificados como NP-completos). Isto significa que apenas pequenos problemas de programação de projeto podem ser resolvidos otimamente, de modo que para problemas mais extensos o tempo requerido para obter uma solução ótima torna-se excessivo até para os computadores mais rápidos. Dessa forma, problemas de programação de projeto são geralmente resolvidos usando heurísticas (COFFIN e TAYLOR III, 1996).

2.2 Taxonomias relativas aos Modelos de Seleção de Projetos e Portfolio

Atualmente diversas técnicas de avaliação e seleção de projetos são conhecidas, o que tornou possível o surgimento de algumas taxonomias. Oral *et al.*(1991) apresentam uma

classificação dos modelos de decisão propostos com base na relação que estabelecem entre os critérios utilizados:

- *Modelos compensatórios*: esses modelos requerem uma função valor não ambígua que agregue e avalie o *trade-off* entre os múltiplos critérios do projeto. Podem ser usados por um único decisor ou por um grupo de decisores com estrutura de preferência comum. Enquadram-se nesta classificação a Análise Custo/Benefício, a Teoria da Utilidade Multiatributo e o Processo de Análise Hierárquica;
- *Modelos não compensatórios*: estes métodos incluem métodos de decisão multicritério (tal como métodos ELECTRE e PROMETHEE) e métodos de ordenação. O primeiro tipo requer um valor consensual para os pesos atribuídos aos critérios e para os parâmetros de expansão. Os métodos de ordenação reconhecem que as avaliações pelos diferentes decisores podem ser heterogêneas, sendo a ordenação baseada nos julgamentos subjetivos dos especialistas.

Archer e Ghasemzadeh (2004) propuseram a seguinte classificação para as metodologias usadas na seleção de portfolio:

- *Retorno Econômico*: estas técnicas requerem estimativas financeiras dos investimentos e fluxos de entrada durante o tempo de execução do projeto, geralmente baseando-se em experiências com projetos similares. Os resultados dos cálculos podem ser usados para fornecer um ranking ou informações para tomada de decisão. Estas técnicas incluem o Valor Presente Líquido (VPL), Desconto em Fluxo de Caixa (DCF), Taxa Interna de Retorno (TIR), Retorno sobre Investimento (ROI), Retorno sobre Investimento Médio (RAI), Período de *Payback* (PBP) e Valor Esperado (VE);
- *Pesquisa de Mercado*: pode ser usada para coletar dados para previsões de demanda de novos produtos e serviços, baseando-se nos conceitos ou protótipos apresentados aos possíveis consumidores para dimensionar o mercado potencial. Técnicas usadas incluem painéis de consumidores, discussões de grupo, mapas de percepção, mapas de preferências, entre outras;
- *Matrizes de Portfolio*: exibem valores de parâmetros em três ou quatro dimensões dos projetos. Apesar de serem populares pela representação gráfica e possibilidade de comparações, apresentam pouco apoio teórico ou empírico e podem levar o decisor a superestimar a maximização dos lucros. Devem ser usadas em conjunto com outras

ferramentas para ilustrar primariamente características relativas dos projetos e os resultados do processo de balanceamento;

– *Abordagens Comparativas*: estão inclusas nesta classificação a Q-sort (Souder, 1984), comparação par a par, Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1990), entre outras. Nestes métodos primeiramente são determinados os pesos dos diferentes objetivos, em seguida as alternativas são comparadas com base em suas contribuições para os objetivos e finalmente um conjunto de medidas dos benefícios dos projetos é computado. Uma vantagem destas técnicas é que critérios quantitativos, qualitativos e julgamentos de valor podem ser considerados. A principal desvantagem é o grande número de comparações envolvidas, tornando difícil o uso para análise de portfolios muito extensos. Além disso, toda vez que um projeto é adicionado ou excluído da lista o processo deve ser repetido;

– *Modelos de scores*: usam um relativamente pequeno número de critérios de decisão, tais como custo, força de trabalho, disponibilidade, probabilidade de sucesso técnico, entre outros, para especificar o seu potencial de ser desejado. O mérito de cada projeto é então determinado em relação a cada critério. Os *scores* são combinados para fornecer uma medida do benefício total de cada projeto. A principal vantagem destes métodos é que projetos podem ser adicionados ou excluídos sem ser necessário recalcular o mérito dos outros projetos considerados, além de possibilitar a combinação de *scores* de medidas quantitativas e qualitativas;

– *Modelos de Otimização*: selecionam de uma lista de projetos candidatos um conjunto que provém o máximo benefício. São geralmente baseados em programação matemática para suportar o processo de otimização e para incluir interdependências entre projetos, tais como restrições de recursos, interações técnicas e de mercado ou considerações de programa. Podem ser usados em conjunto com outras abordagens que calculem valores de benefícios de projetos;

– *Sistemas de Apoio a Decisão para Portfolio*: são tipicamente baseados em uma abordagem de otimização matemática que se inicia através da seleção de um portfolio a partir de um conjunto de projetos candidatos, fornecendo um benefício total máximo. Se uma abordagem de programação matemática for usada para apoiar o processo de otimização, algumas outras considerações podem ser inclusas, tais como as restrições de recursos,

relações de precedência entre os projetos, análise de risco, tempo de execução, interações técnicas e de mercado ou considerações de programação.

É importante observar que a classificação de Oral *et al.* (1991) corresponde a casos particulares da abordagem multicritério. Deve-se salientar também que na taxonomia proposta por Archer e Ghasemzadeh (2004) as classes de Abordagens Comparativas e Métodos de *Scores* referem-se informalmente a abordagens multicritério. Além disso, a classe referente a Matrizes de Portfolio diz respeito a um método qualitativo utilizado para tratar múltiplos critérios e Sistemas de Apoio a Decisão para Portfolio consiste apenas em uma aplicação das metodologias.

Diante de tais observações faz-se necessário a proposição de adaptações a estas taxonomias, originando a estrutura apresentada na figura 2.1, a qual será detalhada no item a seguir.

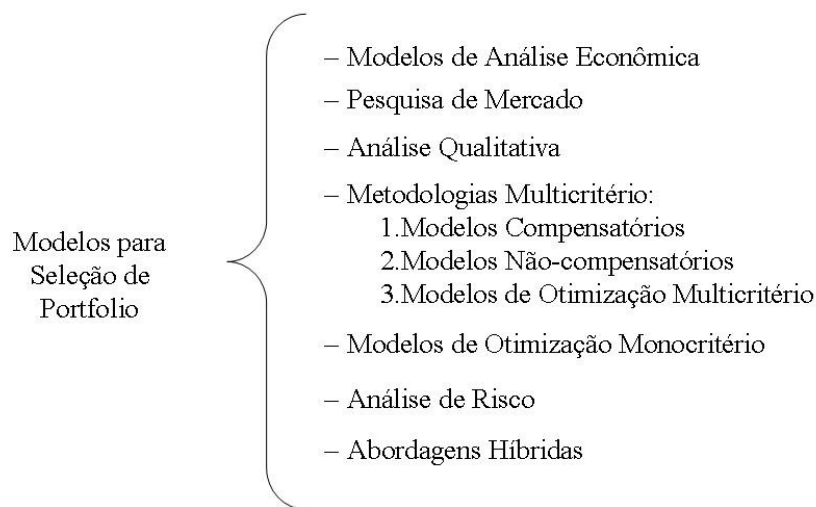


Figura 2.1- Taxonomia proposta para modelos de seleção de projetos e portfolio
Fonte: O autor

2.2.1 Considerações acerca da Taxonomia Proposta

Este item se propõe a descrever as classificações apresentadas na figura 2.1. Algumas categorias não apresentam maiores diferenças conceituais em relação às taxonomias abordadas anteriormente, pois a principal contribuição da taxonomia proposta no presente

trabalho reside no rearranjo e na estratificação das classes, visando facilitar a apreciação das técnicas existentes. Exemplos dos principais modelos serão apresentados e devidamente classificados no item 2.3.

A categoria Modelos de Análise Econômica corresponde à classe Retorno Econômico proposta por Archer e Ghasemzadeh (2004). A mudança na nomenclatura tem o intuito de melhor incorporar adaptações de modelos de seleção de portfolio financeiro. Os modelos de Pesquisa de Mercado mantêm-se conforme idealizado pela mesma proposta.

A Análise Qualitativa diz respeito aos métodos qualitativos que se propõem a fornecer meios para a avaliação dos projetos a serem selecionados, em relação a um ou a múltiplos critérios (a Matriz de Portfolio pertence a esta categoria, pois é considerada uma abordagem qualitativa multicritério).

A maior alteração está na classe Metodologias Multicritério, a qual foi estratificada para comportar a grande variedade que abrange. Os modelos Compensatórios e Não-Compensatórios são tais quais descritos em Oral *et al.* (1991) e comportam as classificações Modelos de *Scores* e Abordagens Comparativas. Optou-se pela classificação relativa à relação inter-critério por esta ser mais bem estabelecida na literatura.

A categoria Modelos de Otimização (ARCHER e GHASEMZADEH, 2004) pode ser desmembrada em Modelos de Otimização Multicritério (uma subclasse das Metodologias Multicritério) e Modelos de Otimização Monocritério. Os Modelos de Otimização abordam os problemas Multicritério de duas formas distintas: (1) utilizando múltiplas funções objetivo (Otimização Multiobjetivo) e (2) utilizando uma única função objetivo obtida através de uma metodologia multicritério. Existe uma grande diversidade de metodologias de otimização, das quais as mais representativas estão relacionadas à Programação Matemática (pode-se citar a Programação Linear, Programação Não-Linear, Programação Dinâmica) e as heurísticas ou métodos de otimização aproximada (Algoritmos Genéticos, Colônia de Formigas, *Simulated Annealing*, entre outros).

A categoria Análise de Risco visa acomodar os modelos que têm uma maior ênfase na avaliação do risco de portfolios, baseando o procedimento de seleção neste estudo. A Teoria da Decisão se aplica a esta área.

A classe Abordagens Híbridas objetiva acolher as propostas que utilizam combinações de métodos. Uma abordagem será classificada como híbrida quando incorporar métodos de duas ou mais classes da taxonomia. Isto ocorre, por exemplo, quando a Análise Qualitativa for usada para auxiliar uma Metodologia Multicritério. Além disso, esta categoria suporta a

tendência observada de utilização de estruturas para seleção de portfolio que permitem a escolha pelo decisor de um método ou uma combinação de métodos adequados ao problema analisado.

2.3 Modelos existentes para Seleção de Projetos e Portfolio

Nesta seção serão apresentadas algumas modelagens quantitativas relevantes presentes na literatura, classificadas segundo a taxonomia proposta no item anterior e segundo a tipologia do problema que se propõem a resolver.

Apperson *et al.* (2005) apresentam um estudo de seleção de projetos aplicado à companhia aeroespacial *Aerojet*. A partir de questionários são obtidas opiniões de especialistas em relação aos impactos potenciais, adequação estratégica, risco técnico e prazo para conclusão das tecnologias consideradas. As respostas dos questionários originam *scores*, os quais são agregados por meio de uma função aditiva para compor a avaliação de cada tecnologia. Segundo os autores, a ordenação das avaliações permite obter uma lista dos projetos melhor avaliados, fornecendo o ponto de partida para discussões do comitê de seleção.

Duarte (2006) propõe a aplicação do método multicritério PROMETHEE II ao problema de seleção de projetos de uma empresa do setor energético. Os projetos são avaliados segundo critérios pré-determinados, os quais fornecem uma base para a comparação par a par das alternativas. As comparações realizadas resultam na ordenação dos projetos considerados. A seleção ocorre através da inclusão dos projetos do *ranking* até que os recursos disponíveis sejam exauridos.

É válido destacar que as abordagens apresentadas anteriormente (APPERSON *et al.*, 2005; DUARTE, 2006) constituem adaptações de métodos aplicáveis ao problema de priorização de projetos para que se adequem ao contexto de seleção. Existem vários outros métodos multicritério que se propõem a solucionar problemas de seleção e uma infinidade que, assim como os apresentados, são passíveis de adaptações. Contudo, a parcela mais significativa das aplicações de seleção de projetos utiliza métodos de otimização, conforme pode ser observado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Revisão da Literatura acerca dos modelos para seleção de projetos e portfolio

Autores (ano)	Problema Tratado	Método Utilizado	Descrição
Apperson et al. (2005)	Seleção de Projetos Independentes	Modelo Multicritério Compensatório	Utiliza uma função aditiva para agregar <i>scores</i> atribuídos aos projetos. Os projetos são ordenados a partir das avaliações obtidas. As primeiras posições do <i>ranking</i> constituem uma recomendação de seleção.
Duarte (2006)	Seleção de Projetos Independentes	Modelo Multicritério Não-Compensatório	Utiliza o método PROMETHEE II para priorizar projetos de P&D, os quais são selecionados em ordem decrescente até que os recursos sejam exauridos.
Bradi et al. (2001)	Seleção de Projetos Interdependentes	Modelo de Otimização Multiobjetivo	Aplica um modelo de <i>Goal Programming</i> à seleção de projetos de Sistemas de Informação. Restrições são consideradas para incorporar as interdependências entre os projetos.
Coffin e Taylor III (1996)	Seleção e Programação de Projetos Interdependentes	Modelo de Otimização Multiobjetivo	Utiliza um método iterativo baseado na lógica fuzzy com padrão de busca <i>beam search</i> para incorporar múltiplos objetivos relacionados ao problema de seleção de projetos de P&D.
Golabi et al. (1981)	Seleção de Portfolio de Projetos	Modelo de Otimização com Função Objetivo Multicritério	Aplica a Teoria da Utilidade Multiatributo para avaliar projetos individualmente. Através de uma transformação funcional obtém avaliações para os portfolios.
Ghasemzadeh et al. (1999)	Seleção e Programação de Projetos Interdependentes	Modelo de Otimização com Função Objetivo Multicritério	Utiliza a Programação Linear Inteira 0-1 para otimizar uma função objetivo, a qual é obtida através de metodologias multicritério, sujeita a restrições que incorporam as interdependências entre os projetos. No caso em que há apenas um critério, o modelo recai na Otimização monocritério.

Autores (ano)	Problema Tratado	Método Utilizado	Descrição
Liesiö <i>et al.</i> (2006)	Seleção de Projetos Interdependentes	Modelo de Otimização com Função Objetivo Multicritério	Propõe um Método Iterativo que utiliza informações imprecisas para selecionar uma carteira ótima. Os valores dos projetos são obtidos por um modelo aditivo.
Mild (2004)	Seleção de Portfolio de Projetos	Modelo de Otimização com Função Objetivo Multicritério	Utiliza <i>Preference Programming</i> para selecionar portfolio de projetos. As relações de sinergia são mensuradas a partir de ganhos por benefícios ou economias de recursos resultantes da interação de grupos de sinergia.
Linton <i>et al.</i> (2002)	Seleção de Projetos Independentes	Modelo de Otimização Monocritério	Apresenta uma abordagem baseada na Análise Envolvória de Dados (DEA) para selecionar projetos de P&D.
Hall <i>et al.</i> (1992)	Seleção de Portfolio de Projetos	Modelo de Otimização Monocritério	Utiliza Programação Linear para maximizar o <i>score</i> técnico dos projetos que compõem o portfolio. As sinergias são tratadas por restrições que exigem que certas condições de diversidade sejam atendidas.
Doerner <i>et al.</i> (2006)	Seleção e Programação de Portfolio de Projetos	Modelo de Otimização Monocritério	Utiliza o método iterativo Colônia de Formigas de Pareto (P-ACO) para obter um portfolio ótimo. A função objetivo consiste no valor do portfolio, composto pelos valores individuais dos projetos acrescidos de efeitos de sinergia ou canibalismo.
Ringuest <i>et al.</i> (2004)	Seleção de Projetos Independentes	Análise de Risco	Baseiam-se na análise Mean-Gini para selecionar projetos de riscos preferidos.

Fonte: O autor

O modelo de decisão formulado por Bradi *et al.* (2001) combina a *Goal Programming*, técnica de Otimização Multiobjetivo, com a estrutura de variáveis binárias (0-1). A *Goal Programming* caracteriza-se por lidar com múltiplos objetivos através do estabelecimento de

um valor alvo a ser atingido por cada um. Em seguida, desvios indesejados em relação ao conjunto de valores alvo são minimizados em uma função objetivo. A função objetivo pode ser um vetor ou uma soma ponderada, a depender da variante usada. Alguns dos objetivos levantados no trabalho citado são: benefício, custo, risco e preferências. As restrições utilizadas se referem à dependência de projetos, projetos mutuamente exclusivos, projetos mandatários, tempo para término requerido, tempo para treinamento requerido e mão-de-obra adicional necessária.

Coffin e Taylor III (1996) apresentam uma abordagem de Otimização Multiobjetivo alternativa que faz uso da lógica *fuzzy* com padrão de busca *beam search* para estimar uma única função objetivo que reflita os múltiplos objetivos envolvidos no problema de seleção de projetos de P&D. Tais objetivos incluem alguns dos tradicionalmente considerados, como o retorno esperado, e acrescenta o cronograma do projeto, que é abordado por meio de uma heurística. Uma função objetivo global é construída somando-se os graus de associação individuais dos vários objetivos para um portfolio de projetos. Busca-se maximizar esta função objetivo global para selecionar o portfolio de P&D que melhor atinja os objetivos do problema.

A lógica *fuzzy* é um ramo da matemática que incorpora a incerteza nas variáveis de decisão. Os conjuntos usados na lógica *fuzzy* são chamados conjuntos *fuzzy* porque os valores das variáveis que eles representam não são mais valores “definidos”, em vez disso são representados por uma função de associação, a qual relaciona vários possíveis valores a um grau de associação. O comportamento da função de associação pode ser linear, não-linear ou discreto, o que melhor refletir o objetivo. A única condição imposta no modelo apresentado é que os graus de associação variem de zero a um, para que um conjunto *fuzzy* normal seja considerado.

Considere-se agora o espaço de soluções para o problema de seleção de projetos de P&D. Este pode ser visualizado como uma árvore de busca, com cada combinação de projetos potencial designada como um nodo. *Beam search* é um procedimento de enumeração implícita derivado da pesquisa em Inteligência Artificial (AI, do inglês *Artificial Intelligence*) que utiliza as restrições do problema e uma função objetivo única para gerar soluções ótimas ou próximas da otimalidade. Esta técnica explora apenas os poucos “melhores” caminhos de uma árvore de busca, através da avaliação dos nodos de cada nível de acordo com uma função de avaliação que captura os objetivos do problema, mantendo os nodos de melhor performance em relação à função avaliação. O número de nodos mantidos em cada nível é

chamado de “extensão do feixe” da busca. O *beam search* cria então o próximo nível da árvore apenas com os nodos mantidos e continua o processo de determinação dos melhores caminhos da árvore. A utilização dos melhores nodos em cada nível como base para continuar a pesquisa permite que o número de caminhos pesquisados seja administrável, além de melhorar a eficiência computacional da técnica de pesquisa.

Golabi *et al.* (1981) estende a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) para selecionar portfolio de projetos. Os autores utilizam o procedimento MAUT para avaliar os projetos individualmente e, de posse destas avaliações, utiliza uma transformação funcional para converter a função utilidade de projetos em uma função para agregação ao nível do portfolio. Observa-se no trabalho uma preocupação com a percepção da existência de sinergias, porém, estas são consideradas apenas posteriormente à aplicação do método, durante reuniões do comitê de seleção.

Um modelo baseado em Programação Linear Inteira 0-1 (PLI 0-1 ou PLI Binária) é proposto por Ghasemzadeh *et al.* (1999) para selecionar e programar um conjunto de projetos ótimo, considerando os objetivos organizacionais e restrições como limitações de recursos e outras interdependências entre projetos. A utilização da Programação 0-1 justifica-se pela natureza discreta “seleciona ou não” do problema.

Este modelo baseado em PLI 0-1 é composto por duas fases. A primeira fase é aplicada apenas quando os projetos são caracterizados por múltiplos objetivos, os quais devem ser integrados em uma única função objetivo, que representa o valor relativo de cada projeto e serve como *input* para a segunda fase. Para esta primeira fase deve-se utilizar uma metodologia multicritério, sendo sugerido pelos autores a utilização de funções valor aditivas onde cada critério recebe um peso de acordo com sua importância e cada projeto avaliado recebe um *score* para cada critério fornecido pelo decisor. O valor relativo do projeto é dado então pela soma pesada dos *scores* do projeto.

A segunda fase consiste na aplicação de um modelo de otimização, utilizando as avaliações obtidas na fase anterior. No caso em que se deseja maximizar apenas um objetivo quantitativo não é necessário obter *scores* para os projetos, utilizando-se em seu lugar a avaliação do projeto para este critério. Caso isto ocorra, a primeira fase é eliminada e o modelo se resume ao método de Otimização Monocritério.

Liesiö *et al.* (2006) propõem a metodologia *Rubust Portfolio Modeling* (RPM) que é uma extensão dos métodos de *Preference Programming* para problemas de seleção em que um subconjunto de propostas de projetos é escolhido com base em avaliação de múltiplos

critérios. Os métodos de *Preference Programming* (MARMÓL *et al.*, 1998; DIAS e CLÍMACO, 2000) tratam informações incompletas por meio da inclusão em conjunto, ou seja, o verdadeiro valor do parâmetro deve estar contido em um conjunto de possibilidades caracterizado pelas declarações de preferências do decisor. Na RPM os valores dos projetos individuais assim como os conjuntos de projetos são modelados por um modelo aditivo de pesos, de modo que informações incompletas sobre os pesos dos critérios são capturadas a partir de inequações lineares, enquanto intervalos são usados para modelar a performance dos projetos em relação aos diferentes critérios.

O trabalho de Mild (2004) utiliza a *Preference Programming* aplicada ao problema de seleção de portfolio. À semelhança de Liesiö *et al.* (2006), um método iterativo é empregado para resolver o problema de otimização com informações imprecisas. Porém, sua contribuição reside na proposta para incorporar as sinergias existentes entre os projetos. Com base em Stummer e Heindenberger (2003), o autor define dois tipos de conjuntos de interação, os quais recaem em dois possíveis efeitos mutuamente exclusivos: (1) obtenção de um ganho adicional de benefício sem consumir recursos extras, (2) obtenção de economias no consumo de recursos sem afetar os *scores* do portfolio. A mensuração do benefício proporcionado ou economia de recursos permite avaliar o valor adicionado ao portfolio proveniente de sinergias.

A abordagem proposta por Linton *et al.* (2002) sugere que a metodologia DEA (do inglês, *Data Envelopment Analysis*), seja usada para separar um conjunto de projetos em três subgrupos: aceitos, considerados para maiores análises e rejeitados. A seguir, os projetos considerados para maiores análises são examinados utilizando-se um método subjetivo, o VCM (do inglês, *Value Criation Model*). A Análise Envoltória de Dados, uma formulação de programação linear introduzida por Charnes *et al.* (1978), tem como conceito básico a medição de performance de uma unidade de tomada de decisão (DMU, do inglês *Decision-Making Unit*) em relação a um ponto projetado na fronteira de eficiência.

Na aplicação à seleção de projetos, os projetos de P&D são as DMUs. O método DEA é usado para classificar os projetos e identificar os “projetos eficientes”, que são aqueles superiores aos outros projetos em todas as dimensões, e então estabelecer um *ranking* do potencial relativo dos outros projetos. Em seguida são identificados os projetos que podem ser aceitos ou rejeitados sem análise adicional e um terceiro grupo – o dos projetos a serem considerados para análise por gerentes de P&D – utilizando para tanto a ferramenta de suporte visual sugerida, o VCM.

Hall *et al.* (1992) utiliza Programação Linear para maximizar o *score* técnico total dos projetos considerados para compor o portfolio de projetos do *National Cancer Institute* (Estados Unidos). As restrições são usadas para atingir requisitos de sinergia necessários ao portfolio: (1) diversidade da prevalência de fumantes entre os estados, (2) diversidade no declínio da taxa de fumantes e (3) diversidade de áreas geográficas.

O modelo desenvolvido por Doerner *et al.* (2006) utiliza o método iterativo de Colônia de Formigas de Pareto (P-ACO) para selecionar um portfolio ótimo. Consiste em um procedimento em duas fases que primeiramente identifica o espaço de soluções de todos os portfolios eficientes (isto é, ótimos de Pareto) para então permitir uma exploração interativa do espaço. O valor do benefício do portfolio é computado como a soma dos valores de benefício individual dos projetos ajustada por potenciais efeitos de sinergia ou canibalismo. Segundo os autores, P-ACO tem apresentado performance particularmente boa para esta classe de problemas, em contraste com as meta-heurísticas que em geral apresentam um compromisso entre esforço computacional necessário e qualidade de um espaço de soluções aproximado. No trabalho descrito a abordagem P-ACO é suportada por um procedimento de pré-processo baseado em PLI que identifica vários portfolios eficientes em poucos segundos e inicializa a trilha de feromônio antes de executar o P-ACO. Tal extensão permite uma ampla exploração do espaço de busca no começo da pesquisa.

Ringuest *et al.* (2004) propõe um modelo adaptado da literatura de otimização de portfolio financeiro, a qual fornece um meio prático para selecionar projetos de P&D de riscos preferidos. O método requer a estimação de dois parâmetros: o retorno esperado e o coeficiente de Gini, que essencialmente substitui a variância no modelo média-variância, resultando em uma habilidade de seleção superior. Este modelo permite a determinação de Dominância Estocástica (DE) entre portfolios candidatos.

2.4 Estrutura para Seleção de Portfolio de Projetos

O tomador de decisão, quando encontra uma decisão de seleção de projetos, fica diante de uma vasta quantidade de informação e exigências conflitantes, e a incorporação de todos estes aspectos em um modelo de seleção único poderia resultar no fato do modelo tornar-se muito complexo e difícil de usar. Dessa forma, existe uma tendência na aplicação dos modelos de seleção de passar da utilização de um único método para uma abordagem composta por alguns métodos de seleção.

Archer e Ghasemzadeh (1999) consideram que a seleção de portfolio pode ser conduzida mais efetivamente no contexto de uma estrutura integrada que decompõe o processo em uma série de atividades lógicas flexíveis, envolvendo plena participação do comitê de seleção de portfolio de uma organização. Tal abordagem pode usufruir das melhores características de uma combinação de métodos existentes, se bem fundamentada na teoria. Utilizando-se de uma simplificação do processo de decisão estes autores propuseram uma série de estágios que permitem aos decisores caminhar em direção a uma consideração dos projetos que devem ser selecionados. A seqüência de estágios discretos é apresentada na figura 2.1, onde os estágios do processo são representados pelas caixas alinhadas no centro do diagrama. Os círculos representam as atividades de pré-processo. Para tornar o diagrama mais completo, as atividades pós-processo são apresentadas abaixo da atividade de ajuste de portfolio.

A fase de pré-processo consiste na seleção de metodologia e desenvolvimento de estratégia. A seleção de metodologia é um processo estratégico que pode claramente ser realizado antes das atividades de seleção de portfolio. Precisa ser executada apenas uma vez, requerendo pequenos ajustes de tempos em tempos para possibilitar a inclusão de novas metodologias. Esta seleção deve ser flexível e baseada no entendimento do decisor acerca das metodologias candidatas ou disposição para aprender novas abordagens. Escolher e implementar técnicas adequadas à classe de projetos que se tem em mãos depende largamente das experiências anteriores, assim como depende da cultura organizacional e do estilo de solução de problemas da empresa em questão.

O desenvolvimento de estratégia permite que decisões estratégicas relacionadas à seleção de portfolio sejam tomadas em um contexto amplo, que considere fatores de negócio internos e externos. As implicações estratégicas da seleção de portfolio são complexas e variadas, envolvendo considerações acerca de vários fatores, incluindo a situação de mercado e os pontos fortes e fracos da empresa. Estas considerações podem ser usadas para construir uma perspectiva estratégica e um foco organizacional, que por sua vez contribuem para o desenvolvimento de um objetivo central para o portfolio de projetos. Ainda nesta fase deve ser feita a alocação de recursos para as diferentes categorias de projetos, haja vista constituir-se de decisões de alto nível e ser responsável por direcionar o nível de recursos disponível para os projetos a serem considerados. Deve-se definir também de antemão as regras de admissibilidade dos projetos no portfolio.

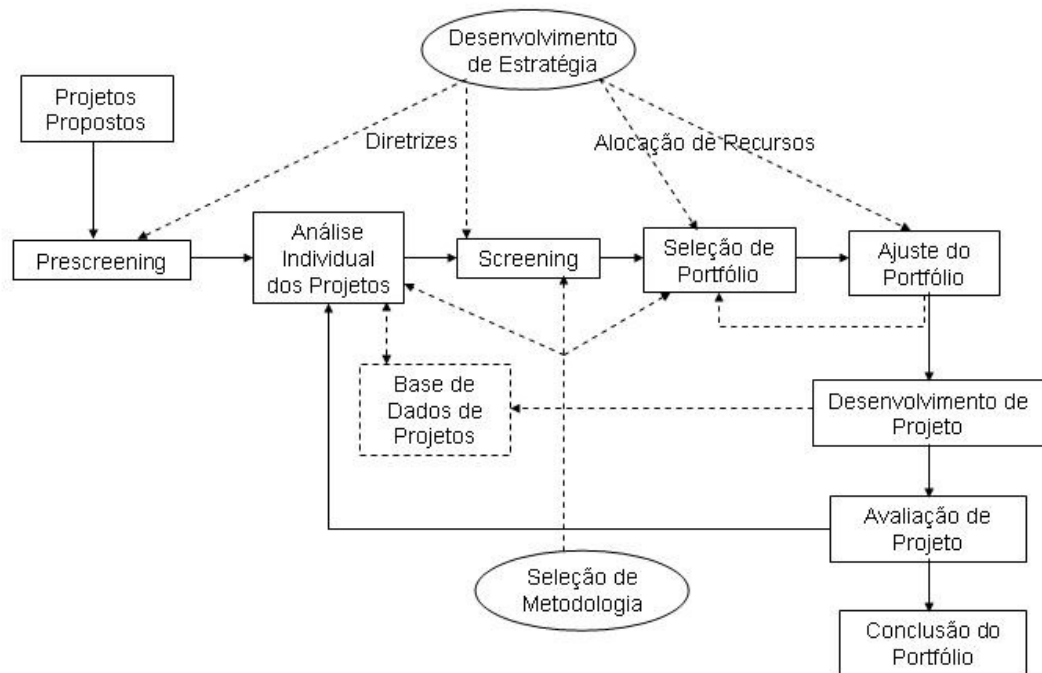


Figura 2.2 – Processo de Seleção de Portfólio de Projetos

Fonte: Adaptado de Archer e Ghasemzadeh (1999)

Na fase de processo os três primeiros estágios (*Prescreening*, *Análise Individual dos Projetos* e *Screening*) são atividades *off-line*, ou seja, executada antes da reunião do comitê de gerenciamento geralmente responsável pela seleção de portfólio. Estas podem ser realizadas por analistas de decisão ou gerentes trabalhando individualmente. A etapa de *prescreening* (pré-triagem, em português) aplica as diretrizes desenvolvidas no estágio de desenvolvimento estratégico com o intuito de assegurar que todo projeto considerado se ajuste ao foco estratégico do portfólio.

No estágio de *Análise Individual dos Projetos* um conjunto comum de parâmetros, tais como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno ou *scores* dotados de pesos são calculados para cada projeto. Durante a seleção de portfólio estes parâmetros permitirão comparações dos projetos em uma base comum. Finalmente, durante o estágio de *screening* (cuja tradução para o português seria triagem) os atributos dos projetos obtidos no estágio anterior são examinados para eliminar todo projeto ou famílias inter-relacionadas de projetos que não atendem aos critérios pré-fixados (por exemplo, a Taxa Interna de Retorno), exceto para os projetos que são compulsórios (mandatários), isto é, que foram acordados para inclusão, como projetos de melhoria de produtos já existentes que não são mais competitivos,

projetos sem os quais a organização não pode funcionar adequadamente e assim por diante. A intenção dos estágios de *prescreening* e *screening* é eliminar qualquer projeto não iniciado que não atinja os objetivos estratégicos da empresa, e, portanto, reduzir o número de projetos a serem considerados pelo comitê.

Os dois últimos estágios, Seleção de Portfolio e Ajuste do Portfolio, podem ser executados em uma sessão *on-line* pelos tomadores de decisões gerenciais através de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) apropriado. No estágio de Seleção de Portfolio pode haver mais de um objetivo envolvido, como maximizar o Valor Presente Líquido e maximizar o *score* estimado para o ajuste ao mercado. Estes objetivos devem ser primeiramente integrados através de uma função valor e reduzidos a um só objetivo. Em seguida um modelo de otimização deve ser aplicado, considerando as limitações de recursos, tempo de execução, interdependências entre os projetos, balanceamento dos critérios e outras restrições e objetivando maximizar o benefício total do portfolio. Deve-se observar que as relações entre os projetos podem ocorrer de diversas formas, a saber: projetos podem competir por recursos escassos, incluindo capital, trabalho e instalações; um projeto pode depender da finalização de outro; alguns projetos podem ser mutuamente exclusivos; etc. Outras restrições para a inclusão de um projeto podem ser consideradas, como por exemplo, um projeto precisar ser finalizado até determinada data ou ser um projeto compulsório.

O Ajuste do Portfolio é a fase final do processo, onde os decisores aplicam seu conhecimento e experiência para balancear e fazer outros ajustes ao portfolio, através da inclusão ou exclusão de projetos. Depois de o portfolio ser ajustado, os resultados podem ser finalizados retornando-se ao ciclo para recalcular os parâmetros do portfolio, tais como os cronogramas dos projetos e requerimento de recursos restritos. Obviamente, em termos da especificação do problema original, os ajustes na solução inicial resultarão em um resultado matematicamente sub-ótimo. Porém, a fase de ajustes permite a consideração de questões e restrições que são difíceis de serem articuladas analiticamente pelos decisores. Portanto, desde que “a solução final seja mais adequada para os tomadores de decisão do que a solução ótima inicial, pode-se dizer que ela é satisfatória ao invés de ótima” (GHASEMZADEH e ARCHER, 2000: pág. 75).

A estrutura proposta por Archer e Ghasemzadeh (1999) combina métodos que são bem fundamentados em teorias com os de fácil entendimento, e os aplica de maneira lógica. Permite ainda a escolha de técnicas pelos decisores. Deve-se salientar que o uso de uma estrutura para a seleção de portfolio de projetos não pretende prescrever um portfolio, mas

sim assistir os tomadores de decisão a encontrar um portfolio satisfatório, o qual esteja próximo de ser, ou que seja ótimo, e ao mesmo tempo satisfaça qualquer restrição que tenha sido imposta.

3 MODELO PARA SELEÇÃO DE PORTFOLIO

O modelo proposto emprega a abordagem de Otimização Combinatória ao problema em questão, onde a função objetivo consiste em uma função de agregação aditiva. O objetivo a ser maximizado integra dois aspectos: (1) *scores*, atribuídos pelo decisor aos projetos, obtidos através de uma função utilidade aditiva; e (2) um indicador do valor da sinergia entre os projetos integrantes proposto por Almeida (2005; 2007). A sinergia é avaliada por meio do julgamento do decisor acerca do ganho relativo proporcionado a um projeto devido à presença conjunta deste e de outro projeto no portfolio.

Este capítulo está dividido em duas partes. Na primeira são apresentados alguns elementos conceituais básicos utilizados no modelo proposto. A segunda parte consiste no modelo propriamente dito.

3.1 Elementos Básicos

Considera-se essencial ao entendimento do modelo alguns conceitos relativos ao Apoio Multicritério a Decisão e à Otimização Combinatória, os quais serão abordados nos itens a seguir.

3.1.1 Apoio Multicritério a Decisão

A palavra *decisão* é proveniente do latim *decidere*, que significa cortar, romper com algo. Uma decisão é tomada sempre que se tem mais de uma opção para o tratamento ou resolução de um problema, de modo que um curso de ação deve ser eleito em detrimento dos demais (GOMES *et al.*, 2002).

Para Campello de Souza (2005) uma boa decisão deve ser uma consequência lógica *daquilo que se quer* (preferências que se tem pelas várias consequências das decisões, as quais podem ser incertas ou distribuídas no tempo), *daquilo que se sabe* (o conhecimento das grandezas envolvidas e das relações entre elas, ou seja, a informação que se traz ao processo de decisão) e *daquilo que se pode fazer* (alternativas disponíveis de ação).

Algumas decisões, quando realizadas, baseiam-se em apenas um parâmetro. Contudo, deve-se admitir que os problemas reais raramente se enquadram nesta situação, caracterizando-se na maioria das vezes pela existência de múltiplos parâmetros de decisão. Um problema de decisão caracterizado pela consideração simultânea de múltiplos objetivos

ou critérios para a escolha de um curso de ação é denominado um problema de Decisão Multicritério.

No problema de Decisão Multicritério não existe, normalmente, nenhuma decisão, solução ou ação que seja melhor, simultaneamente, para todos os critérios. Neste caso, a tomada de decisão pode ser definida como o esforço para resolver o dilema dos critérios conflituosos, cuja presença impede a existência da *solução ótima* e conduz à procura da *solução de melhor compromisso* (ZELENY, 1982).

Nesse contexto, o Apoio Multicritério a Decisão (AMD) – em inglês, *Multicriteria Decision Aid* (MCDA) – surgiu na segunda metade do século XX como um conjunto de técnicas e métodos para auxiliar pessoas e organizações na resolução de problemas de decisão onde vários pontos de vista, frequentemente conflitantes, precisam ser considerados (VINCKE, 1992).

Segundo Roy (1985), o AMD propõe-se a ter visão prescritivista e construtivista dos problemas. A visão prescritivista é uma visão do mundo como este se apresenta, portanto, sob este conceito os modelos depois de prontos são apresentados ao decisor que opta por utilizá-los ou não. Um modelo prescritivista descreve primeiramente uma modelagem de preferências para depois fazer prescrições com base em hipóteses normativas que são validadas pela realidade descrita (GOMES *et al.*, 2002). A visão construtivista é uma visão do mundo por meio de processos idealizados, sendo os modelos construídos utilizando o processo decisório, o que permite a participação dos atores durante todas as fases do processo de apoio a decisão.

Quanto aos algoritmos dos métodos do AMD, Vincke (1992) fornece uma classificação relativa à teoria principal em que se baseiam:

- *Abordagem da Escola Americana ou do Critério Único de Síntese*: permite a definição de uma função que busca agregar os valores de cada alternativa sujeita a cada critério. A importância relativa de cada critério advém do conceito de taxa de substituição de um critério em relação ao outro. Esta teoria assume que todos os estados são comparáveis e que existe transitividade nas relações de preferência e indiferença.

- *Abordagem da Escola Francesa ou de Subordinação e Síntese*: busca construir relações de sobreclassificação, as quais representam as preferências estabelecidas pelo decisor e buscam explorá-las de tal forma que auxilie o decisor na solução do problema. Sua principal

diferença em relação à Escola Americana é a permissão da possibilidade de incomparabilidade entre alternativas.

– *Abordagem de Métodos Interativos*: propõe métodos que alternam etapas de cálculo (atingindo sucessivas soluções de compromisso) e diálogo (fonte de informações extras acerca das preferências do tomador de decisão). Geralmente utilizam modelagens baseadas em Programação Matemática Multiobjetivo.

Nos subitens a seguir são apresentados alguns conceitos básicos do AMD: os atores do processo decisório, as problemáticas de referência e as escalas de avaliação.

3.1.1.1 Atores do Processo Decisório

Considera-se como ator de um processo decisório um indivíduo ou um grupo de indivíduos que influencia direta ou indiretamente na decisão. Roy (1996) identifica os seguintes atores:

- *Decisor*: assume a responsabilidade pelo problema e influencia no processo de decisão de acordo com o juízo de valor que representa e/ou relações que se estabeleceram. Pode ainda não participar do processo de decisão, porém o influencia em função do seu poder de veto;
- *Facilitador*: é um líder experiente que deve focalizar sua atenção na resolução do problema, coordenando os pontos de vista dos decisores, mantendo os decisores motivados e destacando o aprendizado no processo de decisão. Deve tentar abstrair-se do seu sistema de valor, para não intervir nos julgamentos dos decisores;
- *Analista*: é responsável pela análise, auxiliando o decisor e facilitador na estruturação do problema e identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam na evolução, solução e configuração do problema.

Roy (1996) destaca ainda que existem outros grupos que podem influenciar o processo decisório, dentre estes os *stakeholders*, que não são formalmente responsáveis pela decisão, mas algumas vezes podem participar do processo decisório. É importante destacar também o grupo dos terceiros, que não participam ativamente do processo de decisão, porém são direta ou indiretamente afetados pelas conseqüências, de forma que suas preferências devam ser consideradas pelos decisores.

3.1.1.2 Problemáticas de Referência

Seja A um conjunto de alternativas ou ações disponíveis para a resolução de um determinado problema. No contexto do apoio a decisão multicritério, o resultado a que se pretende chegar na resolução deste problema pode ser identificado de acordo com quatro tipos de problemáticas de referência descritas por Roy (1996):

- *Problemática $P.\alpha$ ou Problemática de Escolha*: nesta problemática, direciona-se a investigação no sentido de se encontrar um subconjunto A' de A , tão restrito quanto possível, visando à escolha final de uma única ação. O resultado pretendido é, portanto, uma escolha ou um procedimento de seleção;
- *Problemática $P.\beta$ ou Problemática de Classificação*: Apresenta o problema em termos da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). Esta alocação é feita com base nos valores intrínsecos de cada ação em comparação com classes pré-definidas. O resultado pretendido é, dessa forma, uma triagem ou um procedimento de classificação;
- *Problemática $P.\gamma$ ou Problemática de Ordenação*: As investigações são direcionadas a fim de se determinar uma ordenação parcial ou completa entre os grupos que contêm as ações consideradas equivalentes. Diferentemente da problemática anterior ($P.\beta$), os grupos de ações nesta problemática não são definidos *a priori*, e a determinação de uma classe é relativa e depende de sua posição na ordem. O resultado pretendido é, portanto, um procedimento de ordenação;
- *Problemática $P.\delta$ ou Problemática de Descrição*: Esta problemática direciona para a descrição, em uma linguagem apropriada e de uma maneira sistemática e formal, das ações e das suas conseqüências. O resultado a que se quer chegar aqui é uma descrição ou um procedimento cognitivo.

A estas problemáticas, Belton e Stewart (2002) acrescentam duas outras:

- *Problemática de Design*: tem por objetivo procurar, identificar ou criar novas alternativas de decisão de acordo com as metas e aspirações definidas pelo processo de AMD;
- *Problemática de Portfolio*: tem por finalidade a escolha de um subconjunto de alternativas de um grande conjunto de possibilidades, levando em consideração não só as características de cada alternativa individual, mas também a maneira como elas interagem.

3.1.1.3 Escalas

Em um método multicritério as alternativas ou ações disponíveis são avaliadas segundo múltiplos critérios. Estas avaliações são representadas em escalas de medida, que constituem modos de expressar as qualidades e/ou quantidades das coisas. Campello de Souza (2005) afirma que cada escala apresenta um certo número de operações possíveis entre os diversos valores assumidos pelas variáveis, operações estas que permitem representar o fenômeno estudado.

Para serem úteis, as escalas devem apresentar duas propriedades: exaustividade e exclusividade. A exaustividade está relacionada à capacidade da escala ser abrangente, permitindo representar todos os fatos e ocorrências possíveis. A exclusividade diz respeito à coerência para que qualquer fato ou acontecimento só possa ser representado de uma única maneira.

Existem, basicamente, quatro escalas de medida (CAMPELLO DE SOUZA, 2005):

- *Escala Nominal ou Taxonômica*: é a mais simples das escalas. Baseia-se no agrupamento e classificação de elementos para a formação de conjuntos distintos, de forma que os elementos considerados são divididos em categorias segundo o atributo avaliado. Para que o princípio da exaustividade seja satisfeito é necessário que todo caso possível tenha uma classificação. Apenas as operações *pertence, não pertence, ou, e, não ou e não e* fazem sentido nesta escala;
- *Escala Ordinal*: permite a representação dos valores de uma variável em termos de onde eles se situam com relação aos demais valores, portanto, a noção fundamental é de ordem. Significa que um determinado valor está antes ou depois de outro valor, e isto é válido para qualquer valor. Numa escala ordinal não são válidas as quatro operações usuais da aritmética, pelo fato de que a ordenação não fornece informação sobre a magnitude das diferenças entre os elementos na escala. Da mesma forma não se sabe como se comporta a diferença entre duas categorias em relação a outra diferença entre categorias. Além das operações possíveis para a categoria anterior, este tipo de escala permite as operações *maior do que e menor do que*;
- *Escala Intervalar*: nesta escala, além das ordenações das categorias de uma característica, pode-se dizer quanto valem exatamente as diferenças entre estas categorias. Representa, portanto, um nível propriamente dito de mensuração. Entretanto, pelo fato de o zero na escala

intervalar não existir naturalmente e ser determinado arbitrariamente não se pode afirmar quanto uma categoria vale mais do que a outra. Portanto, não faz sentido estabelecer uma razão entre valores da escala, mas pode-se falar de razão entre diferenças de valores. Em uma escala intervalar são válidas as operações *pertence*, *não pertence*, *ou*, *e*, *não ou* e *não e*, *maior do que* e *menor do que*. Na prática, entretanto, sempre que seja possível definir uma unidade de medida poder-se-á aplicar todas as operações aritméticas.

– *Escala de Razão*: é a mais completa e sofisticada das escalas numéricas. Consiste na escala em que é possível fixar o ponto zero de forma não arbitrária, permitindo então realizar, sobre os valores das variáveis, todas as operações aritméticas. Ela é uma quantificação produzida a partir da identificação de um ponto zero que é fixo e absoluto, representando, de fato, um ponto de nulidade, ausência e/ou mínimo. Nesta escala uma unidade de medida é definida em termos da diferença entre o ponto zero e uma intensidade conhecida. A partir disso, cada valor é aferido segundo sua distância do ponto zero, distância esta expressa em unidades da medida que foi definida. Em uma escala de razão todas as operações são válidas, inclusive faz sentido falar da relação (razão) entre duas medidas e entre duas diferenças entre medidas.

Diante do que foi exposto, é válido ressaltar que as escalas numéricas apresentam entre si uma clara hierarquia no que concerne a sua sofisticação e a sua capacidade de representar as nuances do que é observado. A escala mais simples e limitada é a nominal, permitindo apenas a identificação de categorias. Em seguida, a escala ordinal, que permite diferenciar *rankings*. De maior alcance ainda é a escala intervalar, que permite o posicionamento de valores em relação a um ponto arbitrário. Finalmente, a mais completa é a escala de razão, que permite a comparação de valores em termos absolutos (CAMPELLO DE SOUZA, 2005).

3.1.2 Otimização Combinatória

Problemas de otimização, na sua forma geral, têm como objetivo maximizar ou minimizar uma função definida sobre certo domínio. No caso dos chamados problemas de otimização combinatória, o domínio é tipicamente finito. Um problema de otimização pode ser representado da seguinte forma:

Dada uma função $f : A \rightarrow R$, onde $A \subset R^n$,

deseja-se obter $x_0 \in A$ tal que $f(x_0) \leq f(x) \forall x \in A$ (problema de minimização) ou tal que $f(x_0) \geq f(x) \forall x \in A$ (problema de maximização).

O campo da Programação Matemática é amplo e as técnicas existentes consagram-se em face a sua grande utilidade na solução de problemas de otimização. Em virtude das várias peculiaridades inerentes aos diversos contextos da programação, os métodos de solução sofreram especializações e particularizações (GOLDBARG e LUNA, 2005). Algumas das subáreas nas quais as técnicas de solução podem ser agrupadas são:

- *Programação Linear* (PL): constitui os modelos em que as variáveis são contínuas e apresentam comportamento linear em relação à função objetivo e às restrições;
- *Programação Não-linear* (PNL): ocorre quando o modelo exhibe qualquer tipo de não-linearidade, seja na função objetivo ou em qualquer uma das restrições;
- *Programação Inteira* (PI): um modelo é classificado nesta subárea se qualquer variável não puder assumir valores contínuos, ficando condicionada a assumir valores discretos;
- *Programação Linear Inteira* (PLI): consiste no caso particular da Programação Linear em que uma ou mais variáveis assumem valores inteiros.

Problemas de PLI poderiam ser tratados como um problema de Programação Linear, sendo resolvidos pelas técnicas empregadas no caso contínuo. Ao se encontrar uma solução ótima fracionária, esta seria arredonda para o inteiro mais próximo. A incoerência neste procedimento diz respeito às incertezas com relação ao arredondamento. Por esta razão, um problema de PLI comporta métodos próprios para sua solução.

Alguns métodos desenvolvidos para solução de problemas de PLI buscam a solução inteira dos problemas de PL. Segundo Corrar e Theóphilo (2004), as principais diferenças existentes entre o problema de PLI e o PL correspondente podem ser descritas conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Principais diferenças entre o problema de PLI e o PL correspondente

Problema de PL correspondente	Problema de PLI
Existem infinitas soluções possíveis.	O número de soluções possíveis é finito.
A solução ótima é maior ou igual à obtida para o problema de PLI.	A solução ótima é sempre inferior ou igual à apresentada pelo problema de PL correspondente.

Fonte: Adaptado de Corrar e Theóphilo (2004)

Corrar e Theóphilo (2004) descrevem ainda três modalidades de problemas de PLI, a saber:

- *Programação Linear Inteira Pura*: corresponde aos problemas nos quais todas as variáveis assumem valores inteiros;
- *Programação Linear Inteira Mista*: classificam-se nesta modalidade os problemas que apresentam algumas variáveis inteiras, mas não todas, sendo o restante das variáveis contínuas;
- *Programação Linear Inteira com variáveis binárias*: constitui o caso particular em que as variáveis de decisão assumem apenas os valores inteiros zero ou um.

Dentre os problemas clássicos de Programação Linear Inteira se encontra o problema da mochila. O problema da mochila (*Knapsack Problem* – PK) caracteriza-se pela relação com um grande número de outros modelos de programação. Metaforicamente, representa o desafio de encher uma mochila sem ultrapassar determinado limite de peso, otimizando o valor do produto carregado. Esta modelagem constitui um marco das técnicas de Programação Inteira, Otimização Combinatória e Programação Dinâmica, além de apresentar diversas variações que permitem sua adaptação a diferentes casos (GOLDBARG e LUNA, 2005).

O problema da mochila pode ser formulado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \text{(PK): Maximizar } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\
 \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \\ x_j \geq 0 \text{ e inteiro, para } j = 1, \dots, n \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

De acordo com a metáfora usada, existem n tipos de itens e x_j representa o número de objetos do tipo j inclusos na mochila, que é representada através da restrição do modelo. A mochila possui uma capacidade de suportar o peso b e w_j representa o peso de cada item j . Deseja-se maximizar o valor econômico z , de modo que c_j representa o valor do item j . Utiliza-se também em alguns casos, sem perda de generalidade, os coeficientes da restrição como pertencentes ao conjunto dos inteiros.

A partir do PK define-se o Problema da Mochila 0-1 (PKI), ou Problema da Mochila Unidimensional, considerando que exista apenas um objeto de cada tipo para ser escolhido, de

forma que a restrição da variável inteira é substituída por $x_j \in \{0,1\}$. A característica binária das variáveis torna o problema de natureza combinatória.

$$\begin{aligned} \text{(PKI): Maximizar } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \\ x_j \in \{0,1\}, \text{ para } j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Um outro caso particular do PK é aquele onde as variáveis de decisão são inteiras, porém limitadas em certos valores máximos. Esse problema é conhecido por Problema da Mochila com Limites (PKL) e pode ser formulado conforme a seguir:

$$\begin{aligned} \text{(PKL): Maximizar } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \\ x_j \leq l_j \\ x_j \text{ inteiro} \end{cases} \quad \text{para } j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.3)$$

O PKI apresenta três importantes variações. Uma consiste no caso em que o valor econômico dos itens possui mesmo valor que os pesos, ou seja, $c_j = w_j$. Este problema é denominado *Subset-Sum Problem* (SSP) ou *Value-Independent Knapsack Problem*.

$$\begin{aligned} \text{(SSP): Maximizar } z &= \sum_{j=1}^n w_j x_j \\ \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \\ x_j \in \{0,1\}, \text{ para } j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (3.4)$$

A segunda variação do PKI é conhecida por Mochila Múltipla 0-1 (PKM). Nesse caso, existem m mochilas a serem carregadas, cada uma com capacidade b_i , $i = 1, \dots, m$. O PKM se reduz ao PK quando $m = 1$. As variáveis de decisão do problema são afetadas por dois índices, ou seja, x_{ij} é uma variável binária que indica a inclusão do produto j na mochila i . Considera-se que os pesos dos produtos e seus valores são os mesmos para todas as mochilas. É necessário incluir no modelo uma restrição adicional que retrate a impossibilidade de inclusão de um mesmo produto em mais de uma mochila. É válido ressaltar que existem as

versões limitada e não limitada para o caso múltiplo. O PKM pode ser formulado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \text{(PKM): Maximizar } z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_j x_{ij} \\
 \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq b_i & i = 1, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 & j = 1, \dots, n \\ x_{ij} \in \{0, 1\} & i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

A terceira variação do PKI é a Mochila 0-1 Multidimensional (PK- n -Dimensional). A dimensão n neste caso diz respeito às restrições. Para um melhor entendimento, considere-se o seguinte caso bidimensional: se para carregarmos a mochila com os objetos seja exigido um pagamento p_i a cada item adquirido e existe uma limitação p no capital disponível para tal aquisição, pode-se definir o problema bidimensional do seguinte modo: carregar a mochila com a carga de maior valor possível atendendo à disponibilidade de orçamento. Tal definição implica na formulação do problema utilizando duas restrições:

$$\begin{aligned}
 \text{(PKB): Maximizar } z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\
 \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \\ \sum_{j=1}^n p_j x_j \leq p \\ x_j \in \{0, 1\}, \text{ para } j = 1, \dots, n \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

O PKB pode ser generalizado na medida em que existam outras restrições que limitem a utilização dos objetos para o preenchimento da mochila, justificando a denominação multidimensional para este tipo de modelo. À semelhança da mochila múltipla, o PK- n -Dimensional suporta as versões limitada e não limitada.

A Mochila 0-1 Multidimensional pode ser adaptada para o caso em que a função objetivo é uma função quadrática, dando origem ao Problema Quadrático da Mochila (PKQ):

$$\begin{aligned} \text{(PKQ): Maximizar } z &= \sum_{i=1}^n q_{ii} x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} q_{ij} x_i x_j \\ \text{Sujeito a: } &\begin{cases} \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq b \\ x_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (3.7)$$

onde o coeficiente q_{ij} e o valor b são inteiros não negativos e $0 < b < \sum_{i=1}^n w_i$.

Além das aplicações anteriormente expostas, a versatilidade da formulação do problema da mochila permite que problemas de Programação Inteira sejam transformados em PK através de artifícios matemáticos. Tal propriedade serve de auxílio para a modelagem de problemas de PI.

Um dos grandes obstáculos dos métodos de solução do problema de PI reside na chamada explosão combinatória deste tipo de problema. Tendo por motivação tal dificuldade, nos últimos anos surgiu um conjunto significativo de técnicas e algoritmos computacionais que se propõem a resolver este problema, mas que não garantem encontrar a solução ótima. São os algoritmos heurísticos ou aproximativos.

O termo “heurística” vem do grego *heuriskein*, que significa descobrir ou achar. No contexto da Pesquisa Operacional, uma heurística refere-se a um método de busca de soluções em que não existe qualquer garantia de sucesso, ou seja, não há garantia de obtenção da solução ótima. As heurísticas modernas têm despertado crescente interesse na comunidade científica, tanto pelo bom retorno dado ao compromisso do objetivo, como em virtude da qualidade das soluções encontradas, tornando-se uma alternativa cada vez mais interessante para a solução de grande parte das aplicações reais dos modelos combinatórios (GOLDBARG e LUNA, 2005).

3.2 Modelo Proposto

A seguir é apresentado o detalhamento do modelo, que consiste em:

- *Avaliação dos Projetos*: inclui a avaliação multicritério dos projetos;
- *Avaliação das Sinergias*: propõe-se a retratar as sinergias entre os projetos;
- *Função Objetivo*: a qual integra a Avaliação dos Projetos com a Avaliação das Sinergias;

– *Restrições*: estabelecem os condicionantes relacionados aos recursos compartilhados ou restrições lógicas.

3.2.1 Avaliação dos Projetos

Considerem-se m projetos propostos para execução em determinado período, cuja avaliação é realizada acerca de n critérios. Seja X o conjunto de projetos considerados, tal que $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$. À semelhança de Mild (2004), assume-se que os projetos são indivisíveis, por conseguinte, frações ou possíveis versões da mesma proposta são introduzidas no modelo como projetos distintos. Cada projeto apresenta um vetor de *scores* (z_i) , o qual descreve sua performance em relação aos critérios.

$$z_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{in}], \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (3.8)$$

Portanto, o conjunto de projetos disponíveis pode ser representado através da matriz de *scores* Z , cujas linhas correspondem aos vetores de *scores* de cada projeto.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

A avaliação global de cada projeto será expressa na forma de uma função valor aditiva, que agrega os *scores* do projeto utilizando para tanto constantes de escala relativas aos critérios. Devido à forma aditiva, deve-se ter cuidado especial em relação à escala de avaliação e às constantes de escala, responsáveis por fazer a transformação da escala do critério para uma escala comum. As escalas de avaliação devem permitir que as diferenças entre categorias sejam mensuradas, portanto, devem ser ao menos intervalar em termos de sofisticação. As constantes de escala dos critérios empregados neste método de agregação devem ser normalizadas.

Diante destas considerações, o vetor de constantes de escala é representado por w :

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n], \text{ onde } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.10)$$

Para cada projeto X_i o valor da sua avaliação global a luz de todos os n critérios é expresso pela equação 3.11.

$$v(X_i) = \sum_{j=1}^n w_j z_{ij} \quad (3.11)$$

Denota-se por $v_i = [v(X_1), v(X_2), \dots, v(X_m)]^T$ o vetor de avaliações globais dos projetos considerados.

3.2.2 Avaliação das Sinergias

Seja P o conjunto de todos os portfolios possíveis. Um portfolio de projetos é um subconjunto de projetos disponíveis. Logo, P é o conjunto das partes de X e o número de elementos de P é dado por $|P| = 2^m$. Um portfolio p_r pode ser representado através de um vetor de variáveis binárias x_i :

$$p_r = [x_1, \dots, x_m]$$

$$\text{tal que } x_i = \begin{cases} 1 & \text{se o projeto } X_i \text{ pertence ao portfolio} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.12)$$

para $r = 1, \dots, 2^m$.

Para estabelecer uma medida da sinergia proporcionada pelos projetos ao portfolio é necessário que o decisor determine a contribuição individual acrescentada a cada projeto pela presença conjunta com outros projetos no portfolio. Definem-se os elementos da matriz de sinergia $S_{ij} = [s_{ij}]$ como o grau de contribuição do projeto X_j para o projeto X_i em valores percentuais de X_i .

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1m} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ s_{m1} & \cdots & s_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Portanto, as linhas da matriz S_{ij} representam as contribuições de todos os outros projetos ao projeto X_i e as colunas dizem respeito às contribuições do projeto X_j a todos os outros projetos.

A própria concepção de sinergia implica na ordem de grandeza do ganho que ela representa. Isto é, parece bastante improvável que a sinergia devido à presença de determinados projetos no portfolio gere um ganho de valor igual ou superior ao projeto considerado. Intuitivamente, tal ganho deve ser pequeno o bastante para retratar seu valor perante o benefício proporcionado pelo projeto, porém alto o suficiente para justificar a consideração das sinergias no modelo. Desse modo, faz-se necessária a definição do parâmetro β , de forma que não seja possível que um projeto apresente contribuição potencial para o portfolio superior ao valor de β .

$$\sum_i s_{ij} \leq \beta_j, \text{ para } j = 1, 2, \dots, m \quad (3.14)$$

A utilização de β faz-se necessária como condição para avaliar a consistência da avaliação subjetiva relativa aos valores das sinergias s_{ij} .

O fato das contribuições serem medidas em relação ao valor do projeto beneficiado sugere que para se obter a contribuição adicionada a cada projeto devem-se utilizar os valores absolutos destas contribuições individuais. Para tanto é definida a Contribuição de Sinergia para o projeto X_i :

$$CS(X_i) = \sum_{j=1}^m x_j s_{ij} v(X_i) \quad (3.15)$$

É necessário observar, porém, que a existência da Contribuição de Sinergia para determinado projeto está condicionada à presença deste projeto no portfolio.

3.2.3 Função Objetivo

Estabelecidas as medidas de valor dos projetos considerados e das sinergias é possível obter um valor global relativo ao portfolio.

$$V(p_r) = \sum_{i=1}^m \left(x_i \sum_{j=1}^n w_j z_{ij} \right) + \sum_{i=1}^m \left(x_i v(X_i) \sum_{j=1}^n x_j s_{ij} \right) \quad (3.16)$$

ou em termos de $v(X_i)$ e $CS(X_i)$,

$$V(p_r) = \sum_{i=1}^m x_i v(X_i) + \sum_{i=1}^m x_i CS(X_i) \quad (3.17)$$

A primeira parcela das equações 3.16 e 3.17 fornece a avaliação global dos projetos pertencentes ao portfolio em relação aos critérios, enquanto que a segunda provém uma medida da contribuição das sinergias ativas no portfolio.

Deseja-se, portanto, maximizar o valor do referido portfolio, de modo que a função objetivo é dada por $V(p_r)$. O problema de otimização pode ser então formulado da seguinte forma:

$$\max_{p_r \in P} V(p_r) \quad (3.18)$$

Sujeito a : $p_r = [x_1, \dots, x_m]$, x_i binário para todo $i = 1, \dots, m$.

Porém, para que o modelo possa melhor representar a classe de problemas de seleção de portfolio, deve-se considerar ainda um conjunto de restrições que permitam capturar algumas particularidades dos casos analisados.

3.2.4 Restrições

A literatura apresenta um considerável número de trabalhos que abordam os mais diversos tipos de restrições aplicadas à seleção de portfolio (BRADI *et al.*, 2001; GHAZEMZADEH *et al.*, 1999; KLAPKA e PIÑOS, 2002; WANG e HWANG, 2005). As restrições permitem incorporar ao modelo as interdependências entre os projetos. Para cada problema, vários tipos de restrição podem ser considerados. Portanto, a lista de restrições descrita a seguir ilustrar os principais tipos de restrições aplicáveis à classe de problema, sem, contudo, pretender ser exaustiva.

3.2.4.1 Restrições de Recursos

Para o presente modelo, o consumo de recursos será tratado como um conjunto de restrições relativas ao compartilhamento de cada recurso. Sejam q categorias de recursos disponíveis. Cada projeto apresenta um vetor de consumo de recursos (c_i):

$$c_i = [c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{iq}], \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (3.19)$$

Por conseguinte, o consumo do conjunto de projetos disponíveis pode ser representado através da matriz de *consumo* C , cujas linhas correspondem aos vetores de consumo de cada projeto.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1q} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{mq} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Para compor as restrições considere-se B o vetor de disponibilidade de recursos:

$$B = [b_1, b_2, \dots, b_q] \quad (3.21)$$

Logo, o conjunto de restrições de recursos será tal que:

$$p_r \cdot C \leq B \quad (3.22)$$

3.2.4.2 Restrição de Custo

Comumente são consideradas no processo de seleção as limitações relativas ao financiamento dos projetos. A restrição de custo deve garantir que o conjunto de projetos a ser executado esteja compatível com o capital disponibilizado pela organização para este fim. Seja o vetor de custo dos projetos (R):

$$R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T \quad (3.23)$$

Denotando por F o capital disponível a restrição de custo é representada por:

$$p_r \cdot R \leq F \quad (3.24)$$

3.2.4.3 Restrições para Projetos Mandatários

Em um conjunto de projetos considerado para seleção podem existir projetos que, independentemente, devem ser incluídos no portfolio, baseados em certas considerações. Além disso, durante as periódicas revisões do portfolio é comum que projetos em andamento sejam continuados, devendo, portanto, ser inclusos. É importante modelar a existência de projetos mandatários no portfolio, pois estes projetos competem com os outros por recursos escassos e pode ser necessário desenvolver análises de sensibilidade para determinar o custo de oportunidade de incluí-los.

Seja S_M o conjunto de projetos mandatários a serem considerados na seleção do portfolio. O conjunto de restrições relativas a projetos mandatários são tais que

$$x_i = 1, \quad \forall X_i \in S_M \quad (3.25)$$

3.2.4.4 Restrições Relacionais

Outras interdependências entre os projetos devem ser consideradas por um modelo de seleção e podem ser tratadas através de restrições. Mild (2004) denomina tais restrições de lógicas e estratégicas, porém, no presente trabalho optou-se por usar a terminologia restrições relacionais, haja vista a situação que se propõem a abranger. As principais relações existentes entre projetos neste contexto são relativas a projetos dependentes e projetos mutuamente exclusivos.

– *Projetos Dependentes*: diz-se que um projeto é dependente de outro se para o primeiro ser selecionado o segundo necessariamente deve ser incluído no portfolio. Por outro lado, o segundo projeto pode ser incluso no portfolio mesmo que o primeiro não o seja. Este tipo de interdependência entre projetos será modelado pela seguinte restrição:

$$x_i - x_j \geq 0, \text{ onde o projeto } X_j \text{ depende da execução do projeto } X_i \quad (3.26)$$

– *Projetos Mutuamente Exclusivos*: um conjunto de projetos é considerado mutuamente exclusivo se apenas um deles pode ser incluso no portfolio, ou seja, uma vez que um dos projetos do conjunto é selecionado os outros devem ser excluídos do portfolio. A restrição que traduz esta interdependência é dada por:

$$\sum_{X_i \in S_{MC}} x_i \leq 1, \text{ onde } S_{MC} \text{ é o conjunto de projetos mutuamente exclusivos.} \quad (3.27)$$

3.2.4.5 Outras Restrições possíveis

Outras restrições podem ser adicionadas ao modelo. Por exemplo, pode desejar-se que os projetos escolhidos tenham avaliações superiores a determinado limiar α , o que é retratado por meio da seguinte restrição adicionada ao modelo:

$$\sum_{i=1}^m \left(x_i \sum_{j=1}^n w_j z_{ij} \right) \geq \sum_{i=1}^m x_i \cdot \alpha \quad (3.28)$$

3.2.5 Considerações Gerais acerca do Modelo Proposto

De posse das possíveis restrições, o problema pode assumir variadas formulações, a depender das restrições consideradas. Porém, de forma generalizada, resume-se a:

$$\begin{aligned} & \max_{p_r \in P} V(p_r) \\ \text{Sujeito a : } & \begin{cases} p_r \cdot C \leq B \\ p_r \cdot R \leq F \\ x_i = 1 & \forall X_i \in S_M \\ x_i - x_j \geq 0 & X_j \text{ dependente de } X_i \\ \sum x_i \leq 1 & X_i \in S_{MC} \\ p_r = [x_1, \dots, x_m]^T & x_i \text{ binário para todo } i = 1, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \quad (3.29)$$

De acordo com a tipologia de problemas proposta no presente trabalho, o modelo abordado permite tratar 3 categorias de problemas: seleção de projetos independentes, seleção de projetos interdependentes e seleção de portfolio. A seleção de projetos independentes consiste em um caso particular, onde não há restrições além da imposição do caráter binário das variáveis e as sinergias são inexistentes. A seleção de projetos interdependentes configura o segundo caso particular, no qual as restrições relativas à interdependência de projetos são

inseridas, porém as sinergias são desconsideradas. Por fim, a seleção de portfolio é tratada pelo modelo a partir da inserção de valores de sinergias, considerando-se ou não as restrições de interdependência.

4 APLICAÇÃO NUMÉRICA

Neste capítulo optou-se por realizar uma aplicação numérica baseada em cenários. A partir de um cenário inicial, certas alterações serão realizadas com o intuito de retratar algumas situações particulares. É mister enfatizar que o objetivo principal desta abordagem consiste na avaliação da abrangência e aplicabilidade do modelo, o que motivou a construção dos cenários de forma a retratar situações extremas.

O problema a ser tratado é a escolha de um portfolio a partir de dez projetos disponíveis avaliados em relação a quatro critérios. A determinação dos critérios está fundamentada nos diversos estudos empíricos existentes na literatura (ALMEIDA e COSTA, 2003; COFFIN e TAYLOR III, 1996; LIBERATORE e TITUS, 1983). Os critérios considerados para a presente aplicação são: retorno esperado, probabilidade de sucesso associada ao projeto, grau de impacto estratégico na organização e grau de impacto operacional nos processos. O primeiro critério, o retorno esperado, será tratado como o percentual representado pelo lucro líquido estimado em relação aos investimentos. Os outros três critérios serão igualmente avaliados em escalas de zero a um, por se considerar que os valores percentuais são mais facilmente compreendidos pelo decisor no contexto dos critérios escolhidos.

Para que a aplicação cumpra o objetivo a que se propõe, no cenário inicial serão consideradas apenas três restrições de recursos e a restrição de custo. O valor de β utilizado em toda a aplicação é 0,2. Optou-se por atribuir às sinergias s_{ij} valores aleatórios na faixa de zero a $\frac{\beta}{10}$, para que a condição expressa pela equação 3.14 seja respeitada.

Os cenários posteriores têm por base o cenário inicial e estão divididos em duas categorias: cenários diferenciados pelas restrições e cenários diferenciados pelas sinergias entre projetos. O estudo acerca da sensibilidade do modelo em relação a alterações nas avaliações dos projetos e nos pesos não será abordado no presente trabalho, pois esta análise encontra-se bastante consolidada na literatura referente ao Apoio Multicritério a Decisão. O primeiro grupo apresenta cenários com inclusões de restrições apresentadas no item 3.2.4, as quais não foram consideradas no cenário inicial. Finalmente, no segundo grupo serão analisados cenários nos quais as sinergias estão presentes em diferentes configurações, estudo este que consiste no foco principal do presente trabalho.

4.1 Cenário Inicial

O cenário inicial pretende retratar uma situação bastante comum nas organizações: a existência de um grupo de projetos de baixa probabilidade de sucesso e alta expectativa de retorno, conhecidos como projetos radicais por representarem a possibilidade de alta vantagem competitiva, caso obtenham sucesso; um grupo de projetos de alta probabilidade de sucesso, porém baixo retorno esperado, conhecidos como projetos incrementais, pois seus resultados são benefícios modestos, geralmente passos técnicos incrementais; e um grupo de projetos cuja probabilidade de sucesso e retorno esperado são medianos, situando-se na fronteira entre os dois conjuntos anteriores. Segundo esta terminologia, os projetos apresentados na tabela 4.1 podem ser classificados da seguinte forma: *X1*, *X2*, *X3* e *X4* são projetos radicais; *X7*, *X8*, *X9* e *X10* são projetos incrementais; *X5* e *X6* são os projetos intermediários. É válido ressaltar que os valores extremos da escala de avaliação não foram atingidos pelo elenco de projetos, contudo, são considerados viáveis.

Tabela 4.1 – Avaliação dos projetos em relação aos critérios para o cenário inicial

Projeto	Retorno Esperado	Probabilidade de Sucesso	Impacto Estratégico	Impacto Operacional
X1	0,6	0,2	0,8	0,3
X2	0,75	0,2	0,85	0,3
X3	0,7	0,15	0,7	0,4
X4	0,9	0,05	0,9	0,9
X5	0,4	0,5	0,35	0,3
X6	0,4	0,6	0,3	0,4
X7	0,3	0,7	0,1	0,7
X8	0,25	0,8	0,2	0,6
X9	0,15	0,8	0,1	0,8
X10	0,05	0,9	0,05	0,7

Fonte: O autor

Os pesos dos critérios normalizados são apresentados na tabela 4.2. Neste caso, devido às escalas de todos os critérios abrangerem o mesmo intervalo de valores, as constantes de escala perdem o sentido de transformação de escala e passam a representar apenas a importância relativa entre os critérios.

Tabela 4.2 – Peso dos critérios para o cenário inicial

Critério	Retorno Esperado	Probabilidade de Sucesso	Impacto Estratégico	Impacto Operacional
Peso	0,3	0,3	0,25	0,15

Fonte: O autor

Para este cenário, apenas restrições de recursos e de custo serão consideradas. Os três recursos utilizados são: (1) mão-de-obra – expressa em número de indivíduos necessários; (2) equipamento – quantidade de horas de utilização de determinado equipamento gargalo do sistema; (3) energia – expressa em megawatts (MW) gastos durante a execução do projeto. A tabela 4.3 apresenta o consumo de recursos e o custo (em R\$ 10³) para cada projeto, além de fornecer as respectivas disponibilidades.

Tabela 4.3 – Restrições do cenário inicial

Projeto	Mão-de-obra	Equipamento	Energia	Custo
X1	10	39	65	190
X2	15	30	70	166
X3	18	38	63	205
X4	35	45	80	250
X5	8	20	53	107
X6	8	18	58	112
X7	5	20	58	97
X8	5	12	60	83
X9	3	16	54	85
X10	3	12	55	40
Disponibilidade	60	160	380	1000

Fonte: O autor

Conforme exposto anteriormente, os elementos da matriz de sinergia S_{ij} recebem valores aleatórios. Porém, deve-se acrescentar que para tornar as relações de sinergia mais próximas da realidade, maior probabilidade de ocorrência foi atribuída à sinergia nula. É válido ressaltar também que devido ao fato da diagonal principal representar, teoricamente, o ganho proveniente da interação sinérgica de um projeto com ele próprio, não faz sentido que receba valores não-nulos. A tabela 4.4 apresenta os valores de sinergias para os projetos disponíveis.

Tabela 4.4 – Matriz de Sinergia do cenário inicial

Projeto i / Projeto j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0,0000	0,0142	0,0000	0,0017	0,0057	0,0176	0,0000	0,0000	0,0035	0,0018
X2	0,0129	0,0000	0,0146	0,0000	0,0000	0,0105	0,0193	0,0000	0,0000	0,0160
X3	0,0000	0,0182	0,0000	0,0000	0,0015	0,0034	0,0025	0,0072	0,0019	0,0098
X4	0,0182	0,0160	0,0037	0,0000	0,0108	0,0016	0,0000	0,0124	0,0193	0,0199
X5	0,0115	0,0000	0,0058	0,0140	0,0000	0,0000	0,0026	0,0125	0,0090	0,0033
X6	0,0090	0,0125	0,0000	0,0061	0,0058	0,0000	0,0056	0,0189	0,0012	0,0122
X7	0,0040	0,0014	0,0197	0,0005	0,0092	0,0000	0,0000	0,0142	0,0000	0,0000
X8	0,0047	0,0000	0,0000	0,0124	0,0112	0,0000	0,0092	0,0000	0,0179	0,0186
X9	0,0082	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0066	0,0000	0,0000	0,0000	0,0105
X10	0,0030	0,0084	0,0187	0,0042	0,0171	0,0000	0,0000	0,0114	0,0182	0,0000

Fonte: O autor

Após aplicar o modelo proposto no capítulo 3, o portfolio selecionado consiste nos projetos X1, X2, X3, X6, X8, X9, que fornece $V(p_{cl}) = 2,9279$. O consumo de recursos e o custo para este portfolio são apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Consumo de recursos e custo do portfolio selecionado no cenário inicial

Recurso	Consumo do portfolio
Mão-de-obra	59
Equipamento	153
Energia	370
Custo	841

Fonte: O autor

Observa-se que, à primeira vista, os projetos selecionados são os que apresentam maiores avaliações globais e consomem menos recursos. O projeto X4 não foi selecionado devido ao seu alto consumo de recursos, além do alto custo, quando comparados com o consumo e custo dos outros projetos de menor valor global, o que não permitiria que outros projetos bem avaliados fossem considerados em conjunto com ele. Apesar do projeto X9 apresentar valor global semelhante ao do projeto X7, consome menos recursos, e, portanto, foi selecionado. Foram descartados os projetos de menor valor individual (X5 e X10). Os ganhos provenientes das sinergias proporcionam ao portfolio um aumento de 3,1% no seu valor.

4.2 Cenários Diferenciados pelas Restrições

4.2.1 Cenário Relativo à Inclusão de um Projeto Mandatário

Para ilustrar esta situação o projeto $X4$ será considerado um projeto mandatário, isto é, que deve estar presente no portfolio de qualquer maneira. Tal restrição pode ser requerida no caso em que um projeto já tenha sido iniciado em um período anterior ao analisado, e deva, portanto, continuar sendo executado. A inclusão deste projeto como mandatário seria uma forma de considerar seu custo e consumo de recursos, supridos a partir do mesmo montante dos demais projetos. Uma outra ocasião na qual esta restrição é necessária seria quando, por exemplo, o projeto é proposto para atender uma mudança na legislação, de modo que sua não execução acarretará implicações legais à organização.

A inclusão desta restrição no modelo fornece como resultado um portfolio composto pelos projetos $X4$, $X6$, $X7$, $X8$, $X9$, $X10$. Este portfolio apresenta um valor global menor $V(p_{C1}) = 2,9046$ em relação ao do cenário inicial, pois os projetos selecionados não são os de maiores valores individuais, apesar do ganho por sinergia ser comparativamente maior (3,8% do valor do portfolio). Ocorre que, para atender à inclusão compulsória de $X4$, projetos de maior valor ($X1$, $X2$ e $X3$) são preteridos por $X7$ e $X10$, projetos dotado de valor inferior, porém que consome menos recursos, permitindo, portanto, que as restrições sejam atendidas.

Tabela 4.6 – Consumo de recursos e custo do portfolio selecionado para o cenário 4.2.1

Recurso	Consumo do portfolio
Mão-de-obra	59
Equipamento	123
Energia	365
Custo	667

Fonte: O autor

4.2.2 Cenário Relativo à inclusão de Projetos Dependentes

Considere-se o projeto $X3$ dependente do projeto $X7$, ou seja, para que o projeto $X3$ pertença ao portfolio $X7$ deve, obrigatoriamente, ser executado. Tal situação pode ser caracterizada pela necessidade de utilização dos resultados de um projeto para a execução do outro. O portfolio resulta na inclusão desses projetos, sendo selecionados os projetos $X1$, $X2$, $X3$, $X7$, $X8$ e $X9$, o que resulta em $V(p_{C2}) = 2,9188$, do qual 3% correspondem a ganhos

proporcionados por sinergias. Ocorre que, devido à relação de dependência criada, quando o projeto $X3$ é considerado para compor o portfolio o consumo do projeto $X7$ é automaticamente considerado, isto é, seria como se os dois projetos passassem a ser vistos como um só, dotado de maior valor em relação aos demais, porém consumindo mais recursos. Portanto, devido à exigência, o projeto $X7$ substitui $X6$, pois mesmo apresentando menor valor individual $X7$ permite a inclusão de $X3$, que é mais atrativo do que $X6$. É válido ressaltar também que $X6$ é descartado do portfolio porque apresenta uma relação benefício *versus* consumo inferior ao projeto de menor valor individual que figura no portfolio ($X9$).

Tabela 4.7 – Consumo de recursos e custo do portfolio selecionado para o cenário 4.2.2

Recurso	Consumo do portfolio
Mão-de-obra	56
Equipamento	155
Energia	370
Custo	826

Fonte: O autor

4.2.3 Cenários Relativos à Inclusão de Projetos Mutuamente Exclusivos

4.2.3.1 Caso 1

Considere-se o conjunto de projetos mutuamente exclusivos $\{X7, X8, X9\}$. Estes podem representar, por exemplo, diferentes versões de uma mesma proposta. Inserida esta restrição, o portfolio selecionado passa a ser composto por $X1, X2, X3, X6, X8$ e $X10$, atingindo o valor $V(p_{C3}) = 2,9247$, do qual 4,1% representam ganhos por sinergias. Este resultado mostra que $X8$ foi o projeto escolhido do conjunto, pois apresenta melhor avaliação individual comparado a $X7$ e $X9$ e consumos de recursos muito próximos. Devido à restrição de exclusividade, o projeto $X9$ poderia ser substituído por $X4, X5$ ou $X10$. A análise do problema demonstra que o projeto $X10$ foi selecionado porque apresenta uma melhor interação com outros projetos do portfolio e menor consumo de recursos e custo, comparado ao projeto $X5$. Além disso, comparando-se ao cenário em que $X4$ é obrigatoriamente incluso o portfolio ora obtido apresenta valor maior, o que justifica a exclusão deste projeto.

Tabela 4.8 – Consumo de recursos e custo do portfolio selecionado para o cenário 4.2.3.1

Recurso	Consumo do portfolio
Mão-de-obra	59
Equipamento	149
Energia	371
Custo	796

Fonte: O autor

4.2.3.2 Caso 2

Percebe-se uma tendência dos projetos $X1$, $X2$ e $X3$ serem selecionados, pois ao contrário de $X4$, estes projetos apresentam altos valores individuais e quando combinados permitem atender às restrições de consumo. Para analisar a relação entre estes projetos sugere-se considerar o cenário em que $\{X1, X2, X3\}$ constitui um conjunto de projetos mutuamente exclusivos. A aplicação do modelo resulta no portfolio $\{X4, X6, X7, X8, X9, X10\}$ cujo valor global e o percentual resultante de sinergias são semelhantes ao cenário 4.2.1 (o consumo de recursos é tal qual a tabela 4.6), haja vista o presente cenário diferenciar-se do referido apenas pela inclusão da restrição de exclusividade mútua. Verifica-se que, devido à restrição, os portfolios possíveis (ou seja, os quais atendem às restrições) que incluem $X1$, $X2$ ou $X3$ separadamente não superam o valor do portfolio composto por $X4$ em conjunto com outros projetos de menor valor. Portanto, pode-se dizer que, diante dos dados do problema formulado, os projetos $X1$, $X2$ e $X3$ são mais atrativos a figurar no portfolio quando considerados conjuntamente.

4.3 Cenários Diferenciados pelas Sinergias entre os Projetos

4.3.1 Cenário Relativo à Ausência de Sinergia entre todos os Projetos

Para melhor compreender o impacto das sinergias sobre o portfolio é interessante observar como o problema descrito se comporta na completa ausência desse tipo de inter-relação. Com este intuito, o presente cenário tem por base o cenário inicial, diferenciado apenas pelo fato de sua matriz de sinergia ser nula.

O resultado obtido consiste no conjunto de projetos $\{X1, X2, X3, X6, X8, X9\}$, dotado de valor $V(p_{C7}) = 2,8375$, o qual, conforme pode ser observado, é bastante inferior aos valores obtidos em todos os outros cenários apresentados. Ocorre que, diante da ausência de sinergias, o problema torna-se a seleção de projetos interdependentes: a soma dos valores individuais

dos projetos deve ser maximizada, respeitando as restrições. Portanto, o fato do resultado obtido ser igual ao do cenário inicial significa que neste primeiro cenário as sinergias existentes não desempenharam papel decisivo na seleção do portfolio. O consumo de recursos para este cenário é semelhante ao do cenário inicial, apresentado na tabela 4.5.

4.3.2 Cenário Relativo à Consideração de um Projeto Contribuinte

No contexto das relações de sinergia, define-se por contribuinte o projeto que gera contribuições sinérgicas para todos os outros projetos considerados. Para este cenário optou-se por considerar *X7* um projeto contribuinte. A título de compreensão do impacto causado por este tipo de projeto, apenas as sinergias advindas do projeto *X7* serão consideradas, de modo que a matriz de sinergia assume a seguinte forma:

Tabela 4.9 – Matriz de Sinergia do cenário 4.3.2

Projeto i / Projeto j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0126	0,0000	0,0000	0,0000
X2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0193	0,0000	0,0000	0,0000
X3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000
X4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0126	0,0000	0,0000	0,0000
X5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0026	0,0000	0,0000	0,0000
X6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0056	0,0000	0,0000	0,0000
X7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0092	0,0000	0,0000	0,0000
X9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000
X10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O autor

A carteira resultante para este cenário é composta pelos projetos *X1*, *X2*, *X3*, *X7*, *X8*, *X9*, apresentando o valor global $V(p_{C4}) = 2,8556$, do qual 0,8% são ganhos provenientes de sinergias. Ocorre que, a partir do momento que *X7* passa a contribuir com os projetos mais atrativos ao portfolio torna-se mais interessante do que o projeto *X6*, pois o ganho em sinergia que proporciona supera o *déficit* existente no seu valor individual. Percebe-se que para o valor do portfolio escolhido ser superior ao valor do caso sem sinergias basta que *X7* provoque um ganho de 0,17% sobre o valor do conjunto selecionado.

O consumo de recursos e o custo para o portfolio escolhido são semelhantes aos do cenário 4.2.2 (apresentados na tabela 4.7), pois os projetos selecionados são os mesmos e não foram feitas alterações nas restrições relacionadas aos recursos e custo.

4.3.3 Cenário Relativo à consideração de um Projeto Receptor

Um projeto receptor é aquele que recebe contribuições sinérgicas de todos os outros projetos considerados. Para ilustrar esta situação, considerou-se X5 um projeto receptor, conforme pode ser observado na matriz S_{ij} apresentada na tabela 4.10. É válido ressaltar que, novamente, a ausência de outros ganhos resultantes de sinergias que não os proporcionados ao projeto receptor é meramente ilustrativa, pois em situações reais dificilmente este tipo de interação ocorre isolada.

Tabela 4.10 – Matriz de Sinergia do cenário 4.3.3

Projeto i / Projeto j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X5	0,0200	0,0192	0,0200	0,0029	0,0000	0,0162	0,0159	0,0082	0,0186	0,0128
X6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O autor

O portfolio obtido a partir da matriz apresentada é composto pelos projetos X1, X2, X3, X5, X8 e X9, fornecendo $V(p_{CS}) = 2,8396$, do qual 1,2% corresponde a ganhos sinérgicos. Neste caso, o que torna o projeto X5 atrativo é a contribuição que passou a receber de projetos de alto valor individual, notoriamente mais susceptíveis de compor o portfolio (X2, por exemplo). Conseqüentemente, nesta situação X5 torna-se passível de figurar na carteira final quando recebe contribuições a partir de 0,1% do valor do portfolio considerado.

Tabela 4.11 – Consumo de recursos e custo do portfolio selecionado para o cenário 4.3.3

Recurso	Consumo do portfolio
Mão-de-obra	59
Equipamento	155
Energia	365
Custo	836

Fonte: O autor

4.3.4 Cenário Relativo à Consideração de Projetos Reciprocamente Sinérgicos

Sejam dois projetos X_i e X_j , ambos pertencentes ao conjunto de projetos disponíveis X . Tais projetos são ditos reciprocamente sinérgicos se o percentual que X_i acrescenta no valor de X_j devido à presença conjunta for igual ao percentual que X_j acrescenta a X_i .

Para compor o presente cenário optou-se por considerar todos os projetos reciprocamente sinérgicos, o que torna a matriz de sinergia simétrica em relação à diagonal principal (tabela 4.12). Apesar da simetria, não se pode afirmar que o valor de sinergia acrescentado a um projeto é igual ao valor que este acrescenta, pois os percentuais estão relacionados ao valor do projeto que recebe a contribuição.

Tabela 4.12 – Matriz de Sinergia do cenário 4.3.4

Projeto i / Projeto j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0,0000	0,0129	0,0047	0,0182	0,0200	0,0000	0,0040	0,0000	0,0082	0,0171
X2	0,0129	0,0000	0,0000	0,0160	0,0171	0,0029	0,0014	0,0182	0,0000	0,0084
X3	0,0047	0,0000	0,0000	0,0124	0,0143	0,0000	0,0092	0,0000	0,0000	0,0114
X4	0,0182	0,0160	0,0124	0,0000	0,0140	0,0061	0,0005	0,0037	0,0000	0,0042
X5	0,0200	0,0171	0,0143	0,0140	0,0000	0,0058	0,0092	0,0058	0,0000	0,0171
X6	0,0000	0,0029	0,0000	0,0061	0,0058	0,0000	0,0000	0,0000	0,0066	0,0075
X7	0,0040	0,0014	0,0092	0,0005	0,0092	0,0000	0,0000	0,0197	0,0000	0,0000
X8	0,0000	0,0182	0,0000	0,0037	0,0058	0,0000	0,0197	0,0000	0,0067	0,0187
X9	0,0082	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0066	0,0000	0,0067	0,0000	0,0182
X10	0,0171	0,0084	0,0114	0,0042	0,0171	0,0075	0,0000	0,0187	0,0182	0,0000

Fonte: O autor

O resultado para este cenário é o portfolio $\{X1, X2, X3, X5, X8, X10\}$, cujo valor global é dado por $V(p_{c6}) = 2,9282$, do qual 5,4% correspondem a ganhos proporcionados por sinergias. O aumento da contribuição sinérgica em relação ao cenário inicial ocorre devido aos valores comparativamente maiores dos ganhos por sinergia para alguns projetos (X5 e

$X10$, por exemplo). Conseqüentemente, o valor destes projetos acrescidos das parcelas relativas às sinergias supera o ganho proporcionado por projetos de maior valor individual, os quais são passíveis de receber pouca ou nenhuma contribuição sinérgica. Por outro lado, a carteira obtida consome menos recursos, comparada à obtida no cenário inicial, como pode ser observado na tabela 4.13. Tal fato demonstra que, neste caso, os valores atribuídos às relações de sinergia são determinantes na seleção do portfólio.

Tabela 4.13 – Consumo de recursos e custo do portfólio selecionado para o cenário 4.3.4

Recurso	Consumo do portfólio
Mão-de-obra	59
Equipamento	151
Energia	366
Custo	791

Fonte: O autor

4.3.5 Cenário Relativo à Existência de Grupos de Sinergia

Dado o conjunto de projetos disponíveis X , um grupo de sinergia é um subconjunto de X para o qual os projetos constituintes interagem sinergicamente entre si. Isso posto, considere-se os seguintes grupos de sinergia: $G1=\{X1, X8, X10\}$ e $G2=\{X2, X7\}$, cujos valores de sinergias para as interações são fornecidos na tabela 4.14.

O resultado para este cenário é o portfólio $\{X1, X2, X3, X7, X8, X10\}$, cujo valor é $V(p_{c8})=2,8568$, do qual 1,8% corresponde a ganhos proporcionados por sinergias. A pequena contribuição das sinergias se justifica pelo menor número de interações, comparado ao cenário inicial, o que implica, inclusive, na aproximação do valor do portfólio ao valor do caso onde não há sinergias.

Observa-se que existem limiares para os valores de sinergias a partir dos quais os projetos dos dois grupos são considerados no portfólio. Isso ocorre porque nestes dois grupos de sinergia estão presentes projetos de baixo valor individual em conjunto com outros de alto valor. Portanto, o valor da sinergia deve ser suficiente para que, quando adicionado ao portfólio, supere a presença de um projeto de maior valor individual, justificando a seleção de todo o grupo.

Tabela 4.14 – Matriz de Sinergia do cenário 4.3.5

Projeto i / Projeto j	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0114	0,0000	0,0200
X2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000	0,0000
X3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X7	0,0000	0,0029	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X8	0,0086	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200
X9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X10	0,0114	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0171	0,0000	0,0000

Fonte: O autor

Para ilustrar esta questão, o projeto X7 só passa a ser considerado para compor a carteira quando o valor resultante da sua sinergia com X2 permite ao novo portfólio superar o valor daquele obtido sem considerar o grupo de sinergia G2, ou seja, 2,8497. Quando isto não ocorre, os projetos do G1 são selecionados, de forma que o projeto de baixo valor X10 é considerado para compor as sinergias do grupo. Neste último caso, o projeto X2 é selecionado independente da presença de X7, devido ao seu elevado desempenho combinado aos projetos X1 e X3.

Tabela 4.15 – Consumo de recursos e custo do portfólio selecionado para o cenário 4.3.5

Recurso	Consumo do portfólio
Mão-de-obra	56
Equipamento	151
Energia	371
Custo	781

Fonte: O autor

4.4 Comentários sobre Resultados das Aplicações

O primeiro grupo de cenários ilustra o comportamento do modelo quando novas restrições são adicionadas ao cenário inicial. Algumas restrições que foram abordadas permitem retratar interdependências entre os projetos, aumentando a abrangência do modelo.

Percebe-se que a inclusão de um projeto mandatário age sobre o modelo reduzindo a disponibilidade de recursos para os outros projetos a serem inseridos, além de fornecer um

valor inicial ao portfólio. A utilização da restrição de projetos dependentes faz com que o projeto dependente, quando considerado, agregue os valores relativos a consumo de recursos, custo e avaliação do projeto do qual depende aos seus próprios. Por outro lado, a utilização da restrição de projetos mutuamente exclusivos permite que apenas o projeto mais vantajoso, em termos do seu valor individual e da sinergia que agrega, seja incluído no portfólio, isto, claro, se as restrições permitirem.

Quando as sinergias são consideradas, agem como um fator a mais, pois neste caso contribui para o valor global do portfólio não apenas o valor individual dos projetos, mas também o quanto este projeto ganha e proporciona de ganhos aos outros quando presentes em conjunto.

Observa-se que existe uma relação de troca entre o valor individual do projeto e a contribuição adquirida por sinergias. Isto significa que, a partir de certos valores de sinergia adicionados ao portfólio um projeto de menor valor, mas que contribua para o nível de sinergia, pode ser mais atrativo do que um projeto de alto valor individual. Uma situação bastante comum é a existência de projetos de alto valor que consomem mais recursos comparativamente aos outros e, portanto, para serem incluídos no portfólio devem estar acompanhados de projetos de menor valor individual. Porém, outros projetos dotados de valor individual mediano, podem interagir sinergicamente, gerando um portfólio que iguale ou até mesmo supere aquele que inclua o projeto de maior valor.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A seleção do portfolio de projetos a ser executado tem alto impacto sobre as organizações, principalmente em termos estratégicos, pois uma decisão coerente tem o poder de impulsionar a estratégia e gerar vantagens competitivas para a organização. De um modo geral, a seleção do portfolio adequado deve satisfazer os objetivos de maneira desejável sem violar as possíveis restrições impostas.

Neste contexto, algumas dificuldades são observadas, a saber: geralmente múltiplos objetivos devem ser considerados, pode ser necessário mensurar benefícios estratégicos, os projetos podem apresentar aspectos incertos (o prazo de conclusão, por exemplo) e o número de portfolios possíveis é frequentemente elevado. Além disso, a identificação e mensuração de contribuições sinérgicas para o portfolio merecem grande atenção, haja vista o caráter holístico das sinergias.

O estudo realizado acerca dos trabalhos que figuram na literatura referente à seleção de projetos e portfolio permitiu o desenvolvimento de uma tipologia de problemas e uma taxonomia para os métodos. Porém, acredita-se que a maior contribuição de tal análise reside no incentivo ao desenvolvimento de mais trabalhos com este foco, a fim de melhor delinear o escopo da problemática abordada.

A classificação desenvolvida para um conjunto de projetos considerados para seleção além de descrever as possíveis inter-relações entre projetos permitiu a concepção da tipologia de problemas relacionados. A distinção entre os problemas de seleção de projetos independentes, interdependentes, de seleção de portfolio e gerenciamento de portfolio contribui para a estruturação da área de estudo e para a delimitação do problema de seleção de portfolio, incorporando a sinergia ao seu conceito.

A taxonomia aplicada aos métodos desenvolvida no capítulo 2 propôs uma adaptação de taxonomias existentes para melhor acomodar as metodologias presentes na literatura. Diante da tipologia de problemas e da taxonomia de métodos apresentadas foi possível analisar alguns trabalhos em relação à metodologia que utilizam e ao tipo de problema que se propõem a solucionar. Cabe esclarecer que, por motivos óbvios, não foi possível abranger todos os métodos existentes. Porém, considera-se que a taxonomia proposta comporta de maneira satisfatória a variedade de métodos vislumbrados na literatura atual. É válido ressaltar ainda

que a proposição de taxonomias é um trabalho que deve ser revisitado de tempos e tempos, pois certamente novas abordagens serão desenvolvidas e, caso não se enquadrem na classificação existente, adaptações devem ser feitas.

Diante da percepção da possibilidade de concepção de modelos que combinem duas ou mais abordagens metodológicas criou-se a classe Abordagens Híbridas. Contudo, tal medida consiste apenas no passo inicial do tratamento destas abordagens. Neste contexto, as diversas possibilidades devem ser analisadas e devidamente fundamentadas, para melhor compor o segmento de métodos e possibilitar sua aplicação.

A categoria Abordagens Híbridas funciona também no sentido de ressaltar uma tendência cada vez mais presente na literatura: as estruturas para seleção de portfolio. Tais estruturas decompõem o processo de seleção em uma série de atividades lógicas flexíveis, com o intuito de usufruir das melhores características de uma combinação de métodos existentes. Apesar do conceito da estrutura de seleção ser mais amplo do que a simples utilização conjunta de métodos, a taxonomia desenvolvida contribui permitindo a classificação dos métodos empregados por ela.

O modelo proposto contribui com uma abordagem alternativa para o ainda incipiente estudo das sinergias entre projetos, além de constituir uma visão multicritério sobre a seleção de portfolio de projetos. A vantagem que a abordagem de otimização proporciona ao modelo é a versatilidade para aplicação em diferentes tipos de problemas, permitindo considerar a particularidade das relações entre projetos. A concepção do parâmetro β permite introduzir certa coerência ao modelo, delimitando as contribuições provenientes de sinergias. As principais restrições presentes em problemas de seleção de projetos e portfolio foram apresentadas, porém o modelo não se limita a elas, de forma que outras restrições podem ser consideradas.

É válido ressaltar que as limitações relativas aos modelos de seleção de portfolio levantadas por Chien (2002) são direta ou indiretamente consideradas pelo modelo desenvolvido, traduzindo-se em alguns dos seus aspectos, a saber:

- *Múltiplos critérios* são utilizados para compor a avaliação dos projetos, a qual em conjunto com a avaliação das sinergias constitui o objetivo a ser maximizado no modelo;
- As *inter-relações* entre os projetos são consideradas no modelo, assumindo a forma de sinergias ou de interdependências representadas por restrições;

- As constantes de escala utilizadas na agregação aditiva permitem que *aspectos não-monetários* sejam incorporados ao modelo, inclusive os qualitativos;
- A elicitação das preferências do decisor em relação aos projetos torna possível incorporar parte de sua *experiência e conhecimento* ao modelo;
- O modelo fundamenta-se em uma teoria matemática acessível aos gerentes, de modo que sua maior *dificuldade de utilização* reside no processo de elicitação, o qual a depender do número de projetos considerados pode inclusive tornar-se exaustivo.

A aplicação desenvolvida proporcionou um melhor entendimento acerca do comportamento do modelo quando exposto a alguns dos diferentes cenários possíveis. Além disso, permitiu a identificação de uma relação de troca entre o valor do projeto e das sinergias possivelmente existentes em diferentes contextos.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para futuros trabalhos incentiva-se a proliferação de estudos relativos à formalização da problemática de portfolio e os conceitos a ela relacionados.

Diante das considerações realizadas anteriormente, sugestões adicionais podem ser feitas para dar prosseguimento ao estudo ora iniciado:

- O desenvolvimento de outros modelos para seleção de portfolio de projetos, ou seja, que considerem as sinergias entre projetos ou grupos destes;
- O aprofundamento do estudo acerca das relações de sinergia, investigando as possíveis formas de incorporar sua contribuição aos modelos de seleção de portfolio de projetos;
- Continuação da análise relativa ao parâmetro β apresentado no presente trabalho, que se refere à contribuição potencial máxima de um projeto ao portfolio;
- O desenvolvimento de abordagens híbridas e estruturas para seleção de projetos e portfolio;
- A aplicação do modelo proposto ao contexto de organizações, inclusive considerando sua utilização em conjunto com outros modelos quantitativos e/ou qualitativos, ou inserido no contexto de uma estrutura de seleção;

- A incorporação de outras restrições ao modelo proposto;
- A consideração de incertezas, de modo que possa ser desenvolvido um modelo probabilístico;
- O desenvolvimento de modelos de seleção de portfolio de projetos orientados para a decisão em grupo, onde as preferências de um grupo de decisores, possivelmente conflitantes, possam ser incorporadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. (org.). *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.
- ALMEIDA, A. T.. Priority Assignment of Information Systems Based on Multicriteria Aid. In: 36th Annual Meeting of the Decision Sciences Institute, San Francisco, 2005.
- ALMEIDA, A. T.. Priority Assignment of Portfolio taking into account the projects synergy. GPSID internal report, 2007.
- APPERSON, C.; AREFZADEH, F.; DINSMORE, A.; GRABOWSKI, R.; MAY, D.; MORANDI, K.; TAWNEY, B.; WHITE Jr., K.P. Project Selection for Technology Investment. In: Systems and Information Engineering Design Symposium, Virginia, 2005.
- ARCHER, N.P.; GHASEMZADEH, F. An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, v.17, n.4, p.207-216, 1999.
- ARCHER, N.P.; GHASEMZADEH, F. Project portfolio selection and management. In MORRIS, P.W.G.; PINTO, J.K. (org.) *The Wiley Guide to Managing Project*. Canada: John Wiley & Sons, p.237-255, 2004.
- ASHER, D.I. A Linear Programming Model for Allocation of R and D Efforts. *IRE Transactions on Engineering Management*, EM-9, 1962.
- BAKER, N.R.; POUND, W.H. R&D Project Selection: Where We Stand. *IEEE Transactions on Engineering Management*, s.n.t., 1964.
- BELL, D.C.; READ, A.W. The application of a research project selection method. *R&D Management*, v.1, p.35-42, 1970.
- BELTON, V.; STEWART, T.J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BRADI, M.A.; DAVIS, D.; DAVIS, D. A comprehensive 0-1 goal programming model for project selection. *International Journal of Project Management*, v.19, p.243-252, 2001.
- CAMPELLO DE SOUZA, F.M. *Decisões racionais em situações de incerteza*. Recife: Editora Universitária, 2005.
- CARLSSON, C.; FULLÉR, R.; HEIKKILÄ, M.; MAJLENDER, P. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, s.n.t., 2006.
- CHAPMAN, C.B.; WARD, S.C.; KLEIN, J.H. An optimized multiple test framework for project selection in the public sector, with a nuclear waste disposal case-based example. *International Journal of Project Management*, v.24, p.373-384, 2006.

- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v.2, n.6, p.429-444, 1978.
- CHIEN, C.-F. A portfolio evaluation framework for selecting R&D Projects. *R&D Management*, v.32, n.4, p.359-368, 2002.
- COCHRAN, M.A.; PYLE, E.B.; GREENE, L.C.; PYLE, H.A.; BENDER, A.D. Investment model for R&D project evaluation and and scheduling. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-18, p.89-100. 1971.
- COFFIN, M.A.; TAYLOR III, B.W. Multiple Criteria R&D Project Selection and Scheduling using Fuzzy Logic. *Computers & Operations Research*, v. 23, n. 3, p. 207-220, 1996.
- COLDRICK, S.; LONGHURST, P.; IVEY, P.; HANNIS, J. An R&D options selection model for investment decisions. *Technovation*, v.25, s.n., p.185-193, 2005.
- COOPER, R.G.; EDGETT, S.J.; KLEINSCHMIDT, E.J. New problems, new solutions: Making portfolio management more effective. *Research Technology Management*, v.43, n.2, p.18-33, 2000.
- CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. R. (Coord.) *Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração: contabilometria*. São Paulo: Atlas, 2004.
- DANILA, N. Strategic Evaluation and selection of R&D projects. *R&D Management*, v.19, p.47-62. 1989.
- DIAS, L.C.; CLÍMACO, J.N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. *Journal of Operational Research Society*, v.51, p. 1070-1082, 2000.
- DOERNER, K.F.; GUTJAHR, W.J.; HARTL, R.F.; STRAUSS, C.; STUMMER, C. Pareto ant colony optimization with ILP preprocessing in a multiobjective project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, v.171, p.830-841, 2006.
- DUARTE, M.D.O. Modelo de Apoio Multicritério a Decisão aplicado à Priorização de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento. Recife, 2006. 78p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Pernambuco).
- GHASEMZADEH, F.; ARCHER, N.P. Project portfolio selection through decision support. *Decision Support Systems*, v.29, p.73-88, 2000.
- GHASEMZADEH, F.; ARCHER, N.P.; IYOGUN, P. A zero-one model for project selection and scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, v.50, p. 745-755, 1999.
- GOLABI, K.; KIRKWOOD, C.W.; SICHERMAN, A. Selecting a portfolio of solar energy projects using multi-attribute preference theory. *Management Science*, v.27, n. 2, p.174-189, 1981.
- GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.L. *Otimização Combinatória e Programação Linear – modelos e algoritmos*. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005.

- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. de. *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- HALL, N.G.; HERSHEY, J.C.; KESSLER, L.G.; STOTTS, R.C. A model for making project funding decisions at the National Cancer Institute. *Operations Research*, v.40, p. 1040-1052, 1992.
- KLAPKA, J.; PIÑOS, P. Decision support system for multicriterial R&D and information systems projects selection. *European Journal of Operational Research*, v.140, s.n., p.434-446, 2002.
- LEE, J.W.; KIM, S.H. An integrated approach for interdependent information system project selection. *International Journal of Project Management*, v.19, s.n., p.111-118, 2001.
- LIBERATORE, M.J.; TITUS, G.J. The practice of management science on R&D project management. *Management Science*, v.29, p.962-974, 1983.
- LIESIÖ, J.; MILD, P.; SALO, A. Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 2006.
- LINTON, J.D.; WALSH, S.T.; MORABITO, J. Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio. *R&D Management*, v.32, n.2, 2002.
- MARMÓL, A.M.; PUERTO, J.; FERNÁNDEZ, F.R. The use of partial information on weights in multicriteria decision problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v.7, p.322-329, 1998.
- MEREDITH, J. R.; MANTEL Jr., S.J. *Project management: a managerial approach*. 3.ed. Canada: John Wiley & Sons, 1995.
- MILD, P. *Multicriteria Portfolio Analysis for Strategic Resource Allocation*. Helsinki, 2004. 85p. Master's Thesis (Master of Science in Technology – Department of Engineering Physics and Mathematics – Helsinki University of Technology).
- ORAL, M.; KETTANI, O.; LANG, P. A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects. *Management Science*, v.37, n.7, p.871-885, 1991.
- PRABHU, G.N. Managing research collaborations as a portfolio of contracts: A risk reduction strategy by pharmaceutical firms. *International Journal of Technology Management*, v.18, n.3, p.207-231, 1999.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI), Estados Unidos. *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide*. 3.ed. Pennsylvania, 2004.
- RINGEST, J.L.; GRAVES, S.B.; CASE, R.H. Mean-Gini analysis in R&D portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, v.154, p.157-169, 2004.
- ROSEN, E. M.; SOUDER, W.E. A Method for Allocating R & D Expenditures. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-12. 1965.
- ROY, B. *Methodologie Multicritère d'aide à la Décision*. Paris: Editora Econômica, 1985.

- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1990.
- SOUDEY, W.E. *Project Selection and Economic Appraisal*. Nova York, Van Nostrand Reinhold, 1984.
- STUMMER, C.; HEIDENBERGER, K. Interactive RD Portfolio Analysis with Project Interdependencies and Time Profiles of Multiple Objectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 50, p. 175-183, 2003.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Wiley, Bruxelles, 1992.
- WANG, J.; HWANG, W.-L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. *The International Journal of Management Science*, v.35, s.n., p.247-257, 2005.
- WELLING, D.T.; KAMANN, D.-J. Vertical cooperation in the construction industry: Size does matter. *Journal of Supply Chain Management*, v.37, n.4, p.28-34, 2001.
- ZELENY, M. *Multiple Criteria Decision Making*. New York: MacGraw-Hill, 1982.