

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Modelo Proposto para Seleção, Priorização e Programação de Projetos
em Ambientes de Múltiplos Projetos com Restrição de Recursos**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

FABIANA GOMES DOS PASSOS

Orientador: Caroline Maria de Miranda Mota, DSc.

RECIFE, ABRIL / 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

P289m	<p>Passos, Fabiana Gomes dos.</p> <p>Modelo proposto para seleção, priorização e programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos / Fabiana Gomes dos Passos. - Recife: O Autor, 2013.</p> <p>xv, 125 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientadora: Profª Drª. Caroline Maria de Miranda Mota.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2013.</p> <p>Inclui Referências e Apêndices.</p> <p>1. Engenharia de Produção. 2. Múltiplos Projetos. 3. Decisão Multicritério. I. Mota, Caroline Maria de Miranda(Orientadora). II. Título.</p> <p>658.5 CDD (22. ed.)</p> <p>UFPE BCTG/2013-195</p>
-------	---



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

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

FABIANA GOMES DOS PASSOS

***“MODELO PROPOSTO PARA SELEÇÃO, PRIORIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE
PROJETOS EM AMBIENTES DE MÚLTIPLOS PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE
RECURSOS”.***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata **FABIANA GOMES DOS PASSOS APROVADA.**

Recife, 25 de abril de 2013.

Profª. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutor (UFPE)

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

Prof. JOSÉ GILSON DE ALMEIDA TEIXEIRA FILHO, Doutor (UPE)

Dedico esse trabalho ao eterno amor da minha vida, meu Pai, Raimundo Passos (in memoriam) e à minha mãe, Maria Estela Passos pelo apoio incondicional nesta realização e por ter sempre acreditado em mim, até nos momentos em que nem eu mesmo acreditei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois é nosso Pai Criador que nos dá força e determinação para lutar por nossos objetivos. À minha família, pelo bom exemplo, esforço e dedicação. Ao meu pai e minha avó, Maria Nunes dos Passos, que infelizmente não estão presentes para compartilhar esse momento, mas que, enquanto eu viver, sempre serão lembrados com carinho e orgulho pelas lições de vida que me ensinaram. À minha mãe, meu grande alicerce, por ser minha referência, por sempre acreditar e me apoiar.

À professora Caroline Maria de Miranda Mota, pela orientação, dedicação e conhecimentos transmitidos ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus amigos de Petrolina - PE e Casa Nova - BA, que mesmo distantes sempre se fizeram presentes na minha vida: Fernanda Passos, Lucélia Passos, Edicarmen Passos, Louanda Passos, Talita Braga, Edijani Castro, Laura Mar, Lais Campos, Leonardo Passos, Daniela Siqueira, Emanuely Trindade, Quelle Santos, Carlos Henrique Matos, Ariadne Helena, Plínio Franklin, Maíra Bezerra, Rita de Kássia, Edmarcos Jordão, Igo Rafael e Michael Barbosa por toda sensibilidade, carinho e apoio que me proporcionaram, me ajudando a enfrentar momentos difíceis desta jornada e compreenderem a minha ausência, necessária para fazer esse mestrado.

Ao professor Francisco Ricardo Duarte, docente da UNIVASF, agradeço todo o carinho, atenção, conselhos e a amizade adquirida ao longo da graduação em Engenharia de Produção, e principalmente o estímulo recebido para seguir a carreira acadêmica e enfrentar as adversidades encontradas longe da cidade natal.

Aos meus amigos do mestrado Maria Celeste Maia, Thiago Poletto, Débora Pereira, Aline Leal, Jordania Alves, Maria Creuza Borges, Francisco Uribe “Pacho”, Edlaine Correia, Daniela Nóbrega, Jadielson Moura e Thárcylla Negreiros, por importantes momentos de estudos compartilhados, convívio extremamente gratificante e a certeza de uma amizade consolidada para toda a vida e não apenas durante essa etapa de nossas vidas. O meu sincero obrigado por tudo e principalmente por ter tido a oportunidade de compartilhar momentos felizes e difíceis nessa longa caminhada.

Ao meu amigo Engenheiro da Computação, Manoel Alexandre Vieira, por ter me ajudado a elaborar os pseudocódigos contidos nesse trabalho, minha gratidão por ter me

auxiliado na programação, utilizando C++, e por ter tido paciência ao me ensinar a relembrar a utilizá-lo, meu sincero obrigado.

Aos meus amigos Frederico Alvarez, Sandro Lima, Edilton Chaves “Negão” e André Luiz Meira por toda amizade, apoio e incentivo proporcionados desde o momento que nos conhecemos, sempre serei grata principalmente pelos conselhos.

Às minhas amigas recifenses, Andreza Dourado e Deyse Reis, agradeço por todo carinho, atenção e apoio emocional, fundamentais para a finalização deste trabalho.

A todos que fazem parte do PPGE/UFPE, principalmente Bárbara Tibúrcio e Juliane Santiago, pela acolhida, disponibilidade, ensinamentos, amizade e serviços prestados.

A Capes, pela bolsa de estudo concedida.

Por fim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigado.

“Não faça do amanhã o sinônimo de nunca, nem o ontem te seja o mesmo que nunca mais. Teus passos ficaram. Olhes para trás, mas vá em frente, pois há muitos que precisam que chegues para poderem seguir-te.”

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho aborda o problema da seleção, priorização e programação de projetos no ambiente de múltiplos projetos, utilizando como suporte a metodologia de apoio à decisão multicritério e considerando a situação de projetos com restrições de recursos. O modelo proposto para lidar com o referido problema é dividido em duas etapas, sendo a primeira a seleção e a priorização de projetos e a segunda a proposta de um modelo de programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos. Esse modelo foi elaborado pela adaptação de métodos matemáticos já existentes na área de restrição de recursos, em conjunto com metodologia de apoio à decisão multicritério. Simulações numéricas foram empregadas, proporcionando o *ranking* das alternativas do processo de decisão. O ranqueamento foi realizado a partir das performances médias, de acordo com todos os critérios do processo decisório, incorporando as preferências do decisor. Este ranqueamento resultou no portfólio de projetos contendo os n projetos selecionados e, posteriormente, o melhor sequenciamento de sua execução foi escolhido com base na minimização dos custos totais de projetos, respeitando as restrições de orçamento, recurso e tempo, bem como outros fatores quantitativos e qualitativos.

Palavras-chave: Seleção, Priorização e Programação de Múltiplos Projetos, Metodologia de apoio à Decisão Multicritério.

ABSTRACT

This study is about the problem of selection, prioritizing and scheduling and of with on multiple project environments, using as support the project scheduling problem with resource restrictions methodology and multicriteria decision support. The system proposed for dealing with said problem, two stages, the first selection of prioritizing projects and proposes a second stage model for scheduling of projects in multiple project environments of heavy construction, with limited resources. This system was developed by adapting of existing mathematical models in the area of resource constraint, in combination with multicriteria decision support methodology. As well, through numerical simulations that led to ranking of the alternatives of the decision process, according to the best average performance of the alternatives related to all criteria considered in the decision making, incorporating the preferences of the decision maker. This ranking resulted in project portfolio containing the n selected projects and, subsequently, the best sequencing of implementation was chosen based on minimizing the total cost of projects while respecting the constraints of budget, time and resource, as well as other quantitative and qualitative factors

Keywords: Selection, Prioritization and Scheduling of Multiple Projects, Multicriteria Decision Support Methods.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
SUMÁRIO.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE QUADROS.....	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Principal	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Metodologia de Pesquisa	4
1.4 Estrutura do Trabalho	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 Projetos	8
2.2 Programação e Planejamento de Projetos.....	10
2.2.1 Métodos Clássicos de Programação de Projetos.....	12
2.2.2 Classificação dos Problemas de Alocação de Recursos	13
2.3.3 O Contexto de Pesquisas na Área de Problemas de RCPS	20
2.3.4 O Ambiente de Múltiplos Projetos	24
2.3.5 Problemática de Seleção Priorização dos Projetos com recursos escassos.....	28
2.3 Decisão Multicritério.....	30
2.3.1 Métodos Multicritério	31
3 MODELO PROPOSTO PARA SELEÇÃO, PRIORIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS EM AMBIENTES DE RECURSOS RESTRITOS	44

3.1	Seleção e Priorização de Projetos	48
3.2	Programação de Projetos	52
3.2.1	Programação de Projetos – Etapa 2	52
3.3	Ferramentas utilizadas para aplicação do Modelo Proposto	61
4	<i>SIMULAÇÃO EM AMBIENTE DE CONSTRUÇÃO PESADA</i>	63
4.1	Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Seleção e Priorização de Projetos	64
4.2	Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Programação de Projetos.....	73
4.3	Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Programação de Projetos com base em Decisão Multicritério	93
4.3.1	Análise do Resultado da Aplicação do Método PROMETHEE II	100
5	<i>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</i>	103
5.1	Conclusões	103
5.2	Recomendações	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	APÊNDICE 1	116
	APÊNDICE 2	118
	APÊNDICE 3	120
	APÊNDICE 4	121
	APÊNDICE 5	122
	APÊNDICE 6	123
	APÊNDICE 7	124
	APÊNDICE 8	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Visualização das ações, critérios e eixo de decisão	43
Figura 3.1 – Modelo proposto para seleção, priorização e programação de projetos com restrição de recursos em ambiente de múltiplos projetos	47
<i>Figura 3.2 – Fluxo do PROMETHEE e o plano GAIA</i>	<i>57</i>
Figura 4.1 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para seleção e priorização de projetos	69
Figura 4.2 – Programação Planejada para o Cenário I	75
<i>Figura 4.3 – Programação Planejada para o Cenário II</i>	<i>76</i>
Figura 4.4 – Programação Planejada para o Cenário III.....	77
Figura 4.5 – Programação Planejada para o Cenário IV	78
Figura 4.6 – Programação Planejada para o Cenário V.....	79
Figura 4.7 – Programação Planejada para o Cenário VI	80
Figura 4.8 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário I	80
Figura 4.9 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário II	81
Figura 4.10 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário III.....	81
Figura 4.11 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário IV	82
Figura 4.12 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário V.....	82
Figura 4.13 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário VI	83
Figura 4.14 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário I.....	85
Figura 4.15 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário I.....	85
Figura 4.16 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário II	86
Figura 4.17 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário II	86
Figura 4.18 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário III.....	87
Figura 4.19 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário III.....	88
Figura 4.20 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário IV	88

Figura 4.21 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário IV	89
Figura 4.22 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário V	90
Figura 4.23 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário V	90
Figura 4.24 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário VI.....	91
Figura 4.25 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário VI.....	92
Figura 4.26 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para programação de projetos	98
Figura 4.27 – Ordenamento das alternativas a partir da aplicação do método do PROMETHEE II através do software Visual PROMETHEE II para programação de projetos	100
Figura 4.28 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para programação de projetos	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Restrições para seleção e priorização dos projetos	65
Tabela 4.2 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 1	66
Tabela 4.3 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 2	66
Tabela 4.4 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 3	67
Tabela 4.5 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 4	67
Tabela 4.6 – Matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios de seleção e priorização de projetos	68
Tabela 4.7 – Resultado obtido para o fluxo líquido de sobreclassificação de cada uma das alternativas do processo decisório para seleção e programação de projetos	70
Tabela 4.8 – Ordenamento das alternativas para o PROMETHHE II – seleção e priorização de projetos	70
Tabela 4.9 – Ordenamento de todas alternativas com fluxo líquido e o fluxo adaptado ao PROMETHEE V	71
Tabela 4.10 - Dados utilizados para o primeiro cenário	75
Tabela 4.11 - Dados utilizados para o segundo cenário	76
Tabela 4.12 - Dados utilizados para o terceiro cenário	77
Tabela 4.13 - Dados utilizados para o quarto cenário	77
Tabela 4.14 - Dados utilizados para o quinto cenário	78
Tabela 4.15 - Dados utilizados para o sexto cenário	79
Tabela 4.16 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o primeiro cenário	84
Tabela 4.17 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o segundo cenário	86
Tabela 4.18 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o terceiro cenário	87
Tabela 4.19 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o quarto cenário	88
Tabela 4.20 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o quinto cenário	89
Tabela 4.21 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o sexto cenário	91
Tabela 4.22 – Razão entre os Recursos Renováveis necessários e os Recursos Limitados	92

Tabela 4.23 – Dados utilizados para elaborar o Cr 1.....	95
Tabela 4.24 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 2.....	95
Tabela 4.25 – Escala de interdependência entre os projetos	96
Tabela 4.26 – Matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios para programação de projetos.....	97
Tabela 4.27 – Resultado obtido para o fluxo líquido de sobreclassificação de cada uma das alternativas do processo decisório	99
Tabela 4.28 – Ordenamento das alternativas para o PROMETHHE II.....	99
Tabela 4.29 – Intervalo de estabilidade dos pesos dos critérios	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipos de funções de preferência sugeridas pela metodologia PROMETHEE para definir a informação intracritério.....	35
Quadro 3.1 – Elementos empregados na construção do modelo.....	45
Quadro 3.2 – Proposta de critérios para seleção e priorização de projetos	49
Quadro 3.3 – Proposta de critérios para seleção e priorização de projetos consideradas nesse modelo	50
Quadro 3.4 –Critérios para programação de projetos para algumas empresas.....	58
Quadro 3.5 –Principais critérios utilizados para programação de projetos	59
Quadro 3.6 – Proposta de critérios para programação de projetos consideradas nesse modelo	61

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios das organizações está na sua capacidade de fazer escolhas certas e consistentes, principalmente na elaboração, planejamento e gerenciamento de seus projetos. Diante desse panorama, alguns fatores críticos ou exigências para o sucesso se destacam: a agilidade, a capacidade de adaptação, o poder de inovar de forma rápida e eficiente e o potencial de aprimoramento contínuo sobre grandes restrições de recursos.

De acordo com o PMI (2008), a gestão de projetos, compreende um complexo processo de tomada de decisões, principalmente nos níveis de planejamento, priorização e programação, nos quais é dada ênfase especial ao cumprimento das datas de entrega e aos valores do orçamento, segundo as restrições existentes no projeto.

Dessa forma, o problema de programação de projetos com restrições de recursos (*Resource Constrained Project Scheduling Problem - RCPS*) é um dos problemas mais estudados na área de programação de projetos pelo fato que, a limitação real de recursos é determinante no momento do planejamento (HARTMANN & BRISKORN, 2010).

Nesse contexto, para satisfazer os objetivos estabelecidos, torna-se necessário fazer um planejamento e uma programação adequados, bem como um controle pertinente no gerenciamento dos projetos, principalmente no ambiente de múltiplos projetos.

No problema de múltiplos projetos, um número de projetos deve simultaneamente compartilhar recursos limitados, satisfazendo as condições de precedências tecnológicas e necessidades de recursos. Como exemplo desse cenário, pode-se citar o ramo da construção pesada, que se caracteriza por ser um ambiente que possui grandes projetos com recursos limitados que geralmente são compartilhados ao longo das etapas de execução do projeto.

Com isso, o ambiente de múltiplos projetos está relacionado com o problema de alocação de recursos, independentemente, do tipo, escopo, tecnologia, tamanho dos projetos, tipo de organização e membros das equipes dos projetos. É essencial, portanto, o desenvolvimento de um processo apropriado e eficiente de alocação de recursos, no contexto de múltiplos projetos, capaz de associar o planejamento diário de cada recurso individual ao planejamento do negócio a longo prazo, solucionando as dificuldades relacionadas existentes nesse cenário (BROWNIN & YASSINE, 2010).

No contexto de múltiplos projetos, é importante também, a aplicação de metodologias adequadas de seleção, priorização e programação de projetos, capazes de melhorar o fornecimento de recursos, custos, prazos e qualidade de projetos. Dentro desse contexto vários

modelos sofisticados, como o de Liu & Chen (2012), Hagan *et al.* (2011) e o Hossain & Ruwanpura (2010) foram propostos para seleção, priorização e programação de projetos considerando-se a análise de cada atividade existente no projeto, ou seja, utilizando uma visão micro.

Dependendo do projeto, são inúmeras as atividades inerentes a ele e, conseqüentemente, a programação é bem mais complexa e de difícil entendimento por pessoas que não compreendem profundamente o assunto. Logo, este trabalho tem como vantagem a questão da visão macro, ou seja, analisa-se a programação de projetos a partir do melhor sequenciamento de sua execução depois de selecionados e pertencentes a um portfólio de projetos, respeitando as restrições existentes.

Em virtude disso, o presente trabalho propõe duas etapas: a primeira, de seleção e priorização de projetos, e a segunda, de programação de projetos por meio de um modelo para programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos. Dessa forma, o propósito deste estudo é encontrar as melhores combinações e soluções de projetos para que os recursos utilizados possam ser geridos de maneira adequada.

1.1 Justificativa

Atualmente, uma grande tendência no mercado mundial é a presença de organizações que operam com múltiplos projetos, simultaneamente, utilizando recursos comuns e integrados, numa gestão de controle e de sistemas de informação desses recursos (ENGWALL & JERBRANT, 2003). Os recursos são, portanto, alocados entre os projetos e, de acordo com a urgência dos projetos e as habilidades exigidas, pode não haver recursos disponíveis, sendo necessária sua realocação entre os projetos.

As organizações estão estruturadas primariamente em três níveis: estratégico, tático e operacional. O nível estratégico é composto pela alta administração executiva de uma organização, sendo responsável pela definição das metas de médio e longo prazo que estejam alinhadas às estratégias da organização. É no nível estratégico que ocorrem a seleção e a priorização dos projetos, também conhecido como portfólio de projetos, como afirma Dye (2000).

O nível tático se preocupa em definir as tarefas a serem realizadas para que os projetos de longo e médio prazo definidos no nível estratégico aconteçam. Esse nível é composto pelos

gerentes de projeto, e o foco do trabalho está no gerenciamento diário das atividades planejadas e na alocação dos recursos necessários para o andamento das atividades. O gerenciamento de múltiplos projetos manifesta-se primordialmente neste nível. Finalmente, o nível operacional é composto pelos demais membros do projeto, aqueles encarregados de executar as atividades definidas pelo nível tático (HANS *et al.*, 2007).

Segundo Barcaui & Quelhas (2004), em um ambiente de múltiplos projetos, o portfólio de projetos da organização depende diretamente do seu conjunto de recursos, sejam eles internos ou externos. O problema está na limitação desses recursos. Nesses casos, a competência e a capacidade dos recursos podem ser interpretadas como principal fator restritivo, e esses critérios podem fazer com que uns recursos sejam mais utilizados que outros, comprometendo o desempenho do sistema.

Por essa razão, os processos e políticas da empresa em relação à alocação de seus recursos são de fundamental importância no contexto da restrição. Em um ambiente de múltiplos projetos, a combinação de diversas tarefas não sincronizadas, as chamadas multitarefas, limita a otimização dos recursos. Nesses casos, as verdadeiras restrições não são os recursos da organização, mas as próprias práticas organizacionais que não estabelecem mecanismos de priorização de recursos tampouco se preocupam com a capacidade do sistema (DYE & PENNYPACKER, 2000).

Com isso, há necessidade de elaboração de um modelo para programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos, com restrição de recursos, através do estudo de diversos modelos matemáticos já existentes na área de restrição de recurso em parceria com a metodologia de apoio multicritério como suporte à decisão. Essa última abordagem permite considerar a influência dos múltiplos critérios conflituosos, definidos pelo decisor como relevantes, sobre o processo de seleção, priorização e programação de projetos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Propor um modelo para programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos, a partir da seleção e priorização de projetos, com restrição de recursos. Tal objetivo tem o propósito de encontrar as melhores combinações e soluções de projetos para que os recursos utilizados possam ser geridos de maneira adequada.

1.2.2 Objetivos Específicos

Serão realizados os seguintes objetivos específicos para o alcance do objetivo geral deste trabalho:

- Apresentar uma síntese do estado da arte sobre seleção de portfólio, priorização e programação de projetos;
- Propor um modelo para programação de projetos, a partir da seleção e priorização de projetos em ambientes de múltiplos projetos, levando em consideração a influência dos múltiplos critérios; e
- Realizar uma simulação, como exemplo, para mostrar a aplicabilidade do modelo proposto.

1.3 Metodologia de Pesquisa

Para desenvolver o modelo proposto neste trabalho para seleção, priorização e programação de projetos, em ambientes de múltiplos projetos, será adotada uma metodologia constituída pelas seguintes etapas:

- Revisão de estudos fornecidos pela literatura pertinente, envolvendo os principais assuntos relacionados ao contexto de seleção, priorização e programação de projetos no ambiente de múltiplos projetos, identificando as principais problemáticas inerentes a este cenário.
- Estruturação e construção do modelo empregando-se a metodologia para a modelagem de problemas de decisão no âmbito da Pesquisa Operacional. Esta metodologia será apresentada em seguida. Na estruturação do modelo são incorporados os aspectos identificados na contextualização do problema, relevantes para estabelecer um processo adequado para seleção, priorização e programação de projetos, em ambientes de múltiplos projetos.

Arenales *et al.* (2007) definem a Pesquisa Operacional (PO) como uma abordagem científica para a tomada de decisões, de forma que o enfoque científico esteja relacionado à

definição de ideias e processos para articular e modelar problemas de decisão. Para tal, devem ser identificados os objetivos do tomador de decisão e as condições e restrições sob as quais se deve operar, assim como empregar métodos matemáticos para otimizar sistemas numéricos resultantes de dados inseridos na modelagem da decisão.

A metodologia para a resolução de um problema de decisão no âmbito da pesquisa operacional, segundo Ackoff & Sasieni (1974), apresenta cinco fases:

1. Identificação do problema
2. Estruturação do problema,
3. Construção do modelo,
4. Teste do modelo e avaliação da solução; e
5. Implantação e acompanhamento da solução.

Para este estudo, duas fases podem ser destacadas: a fase da estruturação do problema e a da construção de modelos.

A estruturação ou definição do problema é uma das etapas mais importantes. Nela, os objetivos, os cursos alternativos de ação e as restrições do problema em questão devem ser estabelecidos. Vários métodos de estruturação de problemas têm sido desenvolvidos com o objetivo de apoiar grupos a entrar em acordo sobre o foco de um problema (ALENCAR, 2006).

Os elementos definidos nessa fase, após consolidados, constituem os dados de entrada para o modelo proposto. Muitos dos aspectos definidos nessa fase envolvem fatores pouco tangíveis e não quantificáveis, sendo necessário ao facilitador desenvolver habilidades para captar as ideias geradas nesse processo, incorporando-as à estruturação do problema. Existem algumas ferramentas científicas que podem ser utilizadas para auxiliar o facilitador na estruturação do problema de decisão, como os métodos *Brainstorming*, *Workshop* e *Check-list* (ARENALES *et al.*, 2007).

Com isso, será feita a construção do modelo pela adaptação de modelos matemáticos já existentes. Os modelos representam um papel tão fundamental na PO que alguns especialistas afirmam que é o seu emprego que distingue a PO dos demais campos que se dedicam à pesquisa de problemas de administração. Os modelos proporcionam descrições e explicações simplificadas e resumidas das operações dos sistemas que representam. Analisando-os ou fazendo experiências com eles, podemos geralmente determinar de que modo as modificações no sistema afetam seu desempenho. Esses métodos quase sempre substituem experiências feitas no próprio sistema. Na maioria das vezes, a experimentação nos sistemas que

interessam à PO é impossível ou custa muito. Mesmo quando se podem fazer experiências no sistema, o uso de modelos permite projetá-las com maior eficiência (ACKOFF & SASIENI, 1974).

A abordagem de otimização para seleção, priorização e programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos faz parte da Pesquisa Operacional. Essa abordagem exige o desenvolvimento de modelos matemáticos do sistema que se está planejando, modelos esses que podem ser analisados ou simulados para determinar o efeito de diferentes políticas e distribuição de recursos no desempenho da organização (ICHIHARA, 1998).

Dessa forma, para definir a estrutura do modelo proposto, o processo de modelagem de problemas utilizando a decisão no âmbito da Pesquisa Operacional foi adaptado à realidade do problema em estudo. As fases constituintes do modelo sugerido foram definidas de acordo com as fases da metodologia da pesquisa operacional, incorporando seus objetivos e adaptando-os, em alguns aspectos, às necessidades do problema de decisão.

Nesta pesquisa, foi proposto uma sistemática que integra as fases de seleção, priorização e programação de projetos, sendo utilizados os métodos, de Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão, PROMETHEE II e V na fase de seleção e priorização de projetos e um modelo de otimização na fase de programação de projetos. Que logo depois será apoiado novamente pela AMD, utilizando o PROMETHEE II para avaliar critérios qualitativos.

A distinção entre a Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão e as metodologias tradicionais, segundo Gershon & Grandzol (2004 *apud* GOMES *et al.*, 2009), é o grau de incorporação dos valores do decisor nos modelos de avaliação. A AMD pressupõe ser necessário aceitar que a subjetividade esteja sempre presente nos processos de decisão. Isto permite iniciar o entendimento de que serão encontrados diferentes juízos de valor nos diversos atores de decisão.

Como apoio a fase da construção do modelo foi realizada uma simulação numérica, como demonstração de aplicabilidade do modelo. Sendo escolhida a construção pesada, como exemplo, já que apresenta as características necessárias do tipo de problema que se pode trabalhar esse modelo. Essa técnica é importante no que diz respeito a ampliar as percepções acerca do modelo e propor melhorias no mesmo antes da sua utilização em casos reais.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos, além deste capítulo introdutório.

O capítulo dois apresenta um resumo teórico sobre projetos, sua evolução histórica, conceitos e princípios bem como aborda os temas gerenciamento de projetos, seleção, priorização e programação de projetos. Nesta parte, serão destacados problemas de alocação de recursos escassos em ambientes de múltiplos projetos e ainda o contexto de pesquisas na área de problemas de RCPSP. Este capítulo aborda também os principais conceitos da decisão multicritério e seus métodos, enfatizando o método PROMETHEE.

O capítulo três trata do modelo proposto para seleção, priorização e programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos.

Já o capítulo quatro foi destinado a expor a simulação, utilizando como exemplo o ambiente de construção pesada, já que o mesmo apresenta projetos grandes com a problemática de alocação de recursos, utilizando a seleção e priorização de projetos e logo depois a simulação de programação de projetos, apoiada pela decisão multicritério.

Por fim, o quinto capítulo expõe as conclusões dos resultados obtidos, apresentando suas limitações e as oportunidades para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir são apresentadas os conceitos principais necessários para a formulação dos fundamentos teóricos. Entre os principais pontos trabalhados neste capítulo, destacam-se: o conceito de projetos, gerenciamento de projetos, programação e planejamento de projetos e decisão multicritério.

2.1 Projetos

Segundo o *Project Management Institute* – PMI (2008): “projeto é uma empreitada temporária com a finalidade de criar um produto ou resultado único”. O termo temporário está associado à ideia de que o projeto tem início e fim definidos. Também não indica que a vida de um projeto seja curta, somente que ela é finita em algum momento. O fim de um projeto não é necessariamente a conclusão de um objetivo ou resultado, podendo indicar a descontinuação da necessidade do projeto ou a impossibilidade de atingir seus objetivos. Ainda segundo o PMI, os projetos são uma resposta particular das instituições às demandas que não podem ser atendidas pelas rotinas normais da instituição.

Já o *British Standard Institute* - BSI (2000) define projeto como “um conjunto único de atividades coordenadas, com pontos de início e fim definidos, empreendido por um indivíduo ou uma organização para encontrar objetivos específicos dentro dos parâmetros de programação, custo e desempenho predefinidos”.

Os projetos são um meio de organizar atividades que não podem ser abordadas dentro dos limites operacionais normais da organização. Eles são frequentemente utilizados com o propósito de atingir o plano estratégico de uma organização, seja a equipe do projeto formada por funcionários da organização ou por um prestador de serviços contratado (PMI, 2008).

Como são derivados do planejamento estratégico de uma organização, faz-se necessária uma pessoa ou equipe para coordenar o gerenciamento das atividades do projeto. Sem sua presença, haverá falta de direcionamento global, e os interesses e diferenças pessoais podem ocasionar falta de alinhamento com os objetivos do projeto (SILVA & COSTA, 2010).

Com base nestas ponderações, surgiu a necessidade da existência do gerenciamento de projetos, que é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender a seus requisitos. O gerenciamento de projetos é feito pela aplicação e integração dos seguintes processos de gerenciamento de projetos: iniciação,

planejamento, execução, monitoramento e controle e encerramento. O gerente de projetos é a pessoa responsável pela execução dos objetivos do projeto (PMI, 2008).

O gerenciamento de projetos, por sua vez, evoluiu, principalmente, como resultado das pressões de diversas naturezas, cada vez mais atuantes no mundo atual. Valeriano (2001) apresenta a evolução do gerenciamento de projeto no tempo, subdividindo-a em três períodos distintos:

- O gerenciamento empírico ou artesanal, em que o gerente, através de suas habilidades inatas de gerenciamento, aliadas às de seus auxiliares ou com base em procedimentos existentes, gerencia muito mais como uma arte do que como uma técnica. Foi o caso dos feitores, dos arquitetos e dos construtores de obras relevantes ou até faraônicas da Idade Média; a realização dos grandes chefes de estado e até de exploradores evidenciados pela história. Tal fase se estende até aproximadamente o início da Segunda Guerra Mundial, em que grandes empreendimentos tiveram lugar na história moderna da humanidade;
- O gerenciamento clássico ou tradicional, considerado a partir das décadas de 1940 ou 1950, com os empreendimentos predominantemente de engenharia militar, em áreas de defesa, na aeronáutica, ou marinha. Foram projetos que nasceram mais bem estruturados, planejados, nos quais seus respectivos gerentes, administrando os recursos humanos e materiais, empregaram simplesmente processos existentes ou até estabelecidos especialmente para uso no projeto, objetivando um produto com um desempenho especificado, limitados em custos previstos e em prazo predeterminado. Em sua maioria, tratava-se de projetos essencialmente técnicos, de engenharia, de grande complexidade e caracterizados pelos altos custos, pelo montante dos riscos e pelos prazos relativamente longos. Esse período se prolongou mundialmente até o início dos anos 90, com a maciça pressão da globalização;
- O moderno gerenciamento de projetos, iniciado na década de 1990, era da explosão do Just in Time (JIT) em todo o mundo. Agregado a uma grande faixa de aplicações, tal prática gerencial perdeu o caráter eminentemente técnico de aplicações de engenharia, e vem sendo, cada vez mais, utilizado em uma ampla gama de atividades não continuadas, em todo o tipo de empresas, de âmbito gerencial completo. Ajustou-se às solicitações e pressões de seu ambiente, devido ao rápido ciclo de vida dos produtos, à velocidade da

evolução tecnológica e à competição, em caráter global das atividades empresariais.

Os problemas de decisão em gestão de projetos têm um contexto bem específico. Essas decisões não são estáticas, isto é, elas mudam, constantemente, durante o ciclo de vida dos projetos. O processo de planejamento e controle de projetos é interativo, após o início da execução do projeto, pode ser necessário fazer alguns ajustes na programação proposta, ou seja, é preciso fazer um replanejamento. Isso é devido à natureza incerta dos projetos. O processo de execução e de controle de projetos envolve, além do processo de acompanhamento e de controle propriamente dito, um processo de reavaliação e ajustes que implicam o replanejamento do projeto ao longo do processo de implementação. (MIRANDA & ALMEIDA, 2007).

Segundo Dinsmore & Silveira (2004), o ciclo de vida dos projetos é, geralmente, dividido em fases e tem as seguintes características gerais: o nível de atividade, quantidade de pessoas envolvidas, os custos são baixos no início, aumentam gradativamente durante a execução e caem rapidamente quando o projeto se aproxima do final.

Dessa forma, a priorização de atividades em projetos é importante, pois não é possível gerenciar e monitorar todas as atividades dos projetos com a mesma atenção. Algumas atividades estão mais sujeitas a sofrer alterações durante a execução do que outras, e o gerente dos projetos deve dedicar um maior esforço no monitoramento e controle dessas atividades. Essas decisões de priorização são, então, tomadas repetidamente durante cada fase do projeto (MIRANDA & ALMEIDA, 2007).

2.2 Programação e Planejamento de Projetos

Na literatura da área, os termos planejamento e programação são objetos de confusão e, frequentemente, usados como sinônimos. O planejamento na sua concepção mais ampla pode ser entendido como a "função administrativa que compreende a seleção e estudo de objetivos, diretrizes, planos, processos e programas, realizados dentro de um enfoque sistêmico, na construção de um todo equilibrado" (LÓPEZ VACA, 1995).

O planejamento, dentro do processo de administração de projetos e ao nível de produção, é definido como a enumeração das atividades associadas com o projeto e a determinação da ordem em que elas devem ocorrer. A programação é entendida como o

escalonamento destas atividades com respeito à duração e aos recursos necessários à execução de cada uma delas (WEGLARZ *et al.*, 2011).

Resolver um problema de programação geralmente consiste na alocação de recursos escassos para um dado conjunto de atividades ao longo do tempo. Dessa forma, o planejamento pode ser visto como uma generalização de programação em que o conjunto de atividades a serem agendadas não é conhecido antecipadamente. A complexidade adicional de planejamento, portanto, reside no fato de também ter que decidir sobre o conjunto de atividades que vão ser programadas.

A programação de um projeto é uma tarefa bastante difícil, devido, principalmente, à grande variação na composição dos recursos envolvidos, o que provoca um problema combinatório elevado. Em geral, os métodos conhecidos para encontrar uma solução exata para este tipo de problemas abrangem um espaço de busca da solução que cresce exponencialmente com o número de variáveis envolvidas (MOKHTARI *et al.*, 2010).

Segundo T'Kindt & Billaut (2002), *Scheduling* (programação) é a previsão da transformação de uma obra pela atribuição de recursos para tarefas e, às vezes, pela fixação do seu início. Os diferentes componentes de um problema de programação são as tarefas, as restrições potenciais, os recursos e a função objetivo. As tarefas devem ser programadas para otimizar um determinado objetivo. Na prática, muitas vezes será mais realista considerar vários critérios.

Outra definição foi apresentada por Pinedo (1995): “*scheduling* diz respeito à alocação de recursos limitados para tarefas ao longo do tempo. É um processo de tomada de decisão que tem como objetivo a otimização de um ou mais objetivos”.

O principal objetivo na fase de *scheduling* de um projeto é a determinação de um cronograma que apresente as datas de início e término de cada atividade, bem como as relações entre as outras atividades do projeto. Além disso, *Scheduling* deve destacar as atividades críticas (do ponto de vista do tempo de execução), as quais irão requerer uma atenção especial para que o projeto não se atrase (GODINHO & BRANCO, 2012).

O problema de *Scheduling* de projetos consiste em determinar o cronograma de alocação de recursos, respeitando as restrições tecnológicas, atingindo alguma medida de desempenho. Nas situações reais, geralmente haverá incertezas na programação dos projetos pela falta de precisão da duração das atividades do projeto (WEGLARZ *et al.*, 2011).

O tema “decisão” na área de gestão de projetos (*Project Management* – PM) tem atraído considerável interesse de profissionais e acadêmicos. Uma vez que a avaliação de programa e

técnica de revisão (PERT) e o método do caminho crítico (CPM) foram ambos desenvolvidos nos anos 1950, vários modelos, incluindo técnicas de programação matemática e heurísticas, têm sido desenvolvidas para resolução de problemas de PM, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens. No entanto, quando qualquer uma das CPMs convencionais de programação linear e heurística foi usada para resolver problemas de decisão PM, as metas e as entradas do modelo foram geralmente assumidas como determinísticas (LIANG, 2009).

Conforme Silva (1993), os métodos heurísticos estão baseados "em um conjunto de regras formais de decisão, as quais são deduzidas logicamente a partir de suposições consideradas razoáveis. Existem diversos critérios para a formulação destas regras de decisão em que o elemento básico é a ordem na qual as atividades devem ser programadas."

Segundo Santos & Moccellini (2001), os problemas de programação têm suas bases na realidade, surgindo da necessidade de processar tarefas que devem ser sequenciadas conforme critérios adotados pela produção e pela gerência. Para um problema finito, a princípio, a solução ótima pode ser encontrada, mas na prática se torna impossível dentro de um tempo viável, especialmente quando se trata da solução de problemas reais de grande escala. A solução pode ser dada por procedimentos heurísticos, que são mais eficientes computacionalmente que os métodos analíticos e podem, eventualmente, conduzir à solução ótima. Vários métodos heurísticos têm sido desenvolvidos para tratar rapidamente problemas complexos, que seriam extremamente difíceis senão impossíveis de resolver de outra forma, produzindo boas soluções.

2.2.1 Métodos Clássicos de Programação de Projetos

A representação gráfica é uma ferramenta fundamental para uma descrição mais detalhada do problema de programação de projetos. O diagrama de Gantt e o diagrama de rede do projeto são os dois principais métodos de representação utilizados na literatura.

Através disso, os diagramas de redes do projeto são a base da programação orientada pelo tempo, constituídos entre outros, pelos tradicionais métodos CPM, PERT e PDM. (ICHIHARA, 1998). O método de análise de rede PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique/ Critical Path Method*) foi desenvolvido para auxiliar o processo de programação e controle de projeto.

O PDM (Precedence Diagram Method) é um método de construção do diagrama de rede que usa blocos para representar as atividades e conecta-os através de flechas que representam as relações de dependência entre as atividades. O método de representação do PERT/CPM é conhecido como método americano e o do PDM, como método francês, devido às suas origens (ICHIHARA, 1998).

2.2.2 Classificação dos Problemas de Alocação de Recursos

Alocar um recurso significa designá-lo para uma determinada atividade por período de tempo, de forma a não acontecer de a capacidade de consumo ser maior que a disponibilidade. Em um processo de alocação de recursos, podem ocorrer duas situações: (1) a oferta é maior que a demanda, neste caso, os recursos não são fatores limitantes na implementação do projeto, ou (2) a demanda é maior que a oferta em uma ou mais unidades de tempo (ICHIHARA, 2002).

Na segunda situação, podem ocorrer três tipos importantes de problemas: (1) necessidade de reduzir a variação nos perfis de demanda, (2) necessidade de reduzir a duração do projeto, e para isto, ter que adicionar recursos ao menor custo, e (3) necessidade de gerar uma combinação das datas de início das atividades, de modo que o recurso disponível não seja ultrapassado pelas despesas em nenhum período de tempo. Portanto, os problemas de alocação de recursos podem ser classificados em três tipos principais: o Problema do Nivelamento de Recursos, o Problema da Compressão de Projetos e o Problema da Alocação de Recursos Limitados (ICHIHARA, 2002).

O Problema do Nivelamento de Recursos surge quando há recursos em quantidade suficiente, mas por alguma razão se torna necessário reduzir as flutuações do padrão de utilização. O objetivo da programação, neste caso, é uniformizar o quanto possível os requerimentos de recursos, e como não há limites de recursos, o processo de nivelamento consiste em manipular somente as atividades não críticas, utilizando suas folgas disponíveis. Agindo deste modo, sem manipular as atividades críticas, a duração do projeto permanece fixa (ICHIHARA, 1998).

Problema de compressão ou *Time/cost trade-off problem* (TCTOP): não há restrição imposta à disponibilidade dos meios. O problema consiste em reduzir o tempo de execução do projeto, adicionando recursos a determinadas atividades, de forma que a duração de cada uma

delas possa ser acelerada. O objetivo é determinar a programação de menor custo (LÓPEZ VACA, 1995).

Os problemas de escalonamento tornam-se mais difíceis quando os recursos necessários estão disponíveis em quantidades limitadas, pois o problema de alocar recursos a atividades concorrentes deve considerar a otimização de um objetivo específico, atendendo às restrições existentes. O Problema da Alocação de Recursos Limitados é um problema desafiante, tornando a procura de contribuições para sua resolução atraente para qualquer investigador. O RCPSP não representa uma área isolada de investigação, pelo contrário, agrega uma vasta área de “subproblemas” de escalonamento. Nestas premissas, esse estudo será focado em Problemas de Alocação de Recursos Limitados (RCPSP), abordado logo a seguir.

2.2.2.1 Problemas de Alocação de Recursos Limitados – RCPSP

O recurso com restrição de problema de programação do projeto (*Resource Constrained Project Scheduling Problem* - RCPSP) consiste de atividades que devem ser agendadas, sendo sujeitas à precedência e às limitações de recursos de tal forma que se minimize o *makespan*, ou seja, o tempo de conclusão de um conjunto de atividades inter-relacionadas pertencentes a um determinado projeto, em que devem ser respeitadas as restrições de precedência, ou seja, uma atividade só é iniciada após a execução das antecessoras, e as restrições de recursos de que cada atividade precisa para sua realização. Este recurso, o RCPSP, se tornou um problema padrão bem conhecido no contexto de programação de projetos, tendo atraído numerosos pesquisadores, que desenvolveram procedimentos de programação, tanto exatos quanto heurísticos (HARTMANN & BRISKORN 2010).

A pesquisa intensa sobre procedimentos que resolvam este tipo de problema surge do reconhecimento de que os modelos de rede CPM, PERT e PDM pressupõem disponibilidade ilimitada de recursos. O problema da Programação de Projetos com Restrição de Recursos (RCPSP) faz parte da classe dos problemas combinatoriais, caracterizando-se pelo crescimento fatorial do tempo computacional demandado para considerar todas as possíveis soluções, estando vinculado ao aumento da dimensão do problema (ICHIHARA, 1998).

Os métodos de solução utilizados na Otimização Combinatorial podem ser divididos em dois grupos: "os procedimentos ótimos, que visam a produzir a melhor solução através de

programação matemática mais rigorosa, e os métodos de solução heurísticos, que visam a produzir boas soluções" (SANTOS & MOCCELLIN, 2001).

O modelo formulado por Demeulemeester & Herroelen (1996) para o RCPSC clássico é visualizado logo a seguir pelas Equações de 2.1 a 2.3.5

$$\text{Minimize } f_N \quad (2.1)$$

Sujeito a

$$f_i \leq f_j - d_j \quad \forall (i, j) \in H, \quad (2.2)$$

$$f_1 = 0, \quad (2.3)$$

$$\sum r_{ik} \leq a_k \quad \forall k = 1, \dots, K; 1, \dots, f_n, \quad (2.4)$$

$$i \in S_t$$

A notação na qual se baseia esse modelo é representada por: a_k , que é a disponibilidade total do recurso tipo k ; d_j , a duração de atividade i ; f_j representa a data de término da atividade i ; N é o número de atividades no projeto; H é o conjunto de pares de atividades indicando relações de precedência final-início; K é o número de tipos de recurso; r_{ik} é a quantidade de recursos do tipo k requerida pela atividade i ; e S_t é o conjunto de atividades em progresso durante o intervalo de tempo $(t - 1, t] = \{t / f_i - d_i < t < f_i\}$;

Esse modelo formulado por Demeulemeester & Herroelen (1996) obedece aos seguintes pressupostos:

- Um projeto é constituído por diferentes atividades, representadas no formato AoN, um grafo direcionado e acíclico, no qual os nós representam as atividades e os arcos representam as restrições de precedência. Duas atividades fictícias são utilizadas: a atividade 1 representa a atividade de início do projeto e é a predecessora direta ou indireta de todas as atividades do projeto, enquanto a atividade N denota a atividade de final do projeto e é uma sucessora direta ou indireta de todas as atividades.
- As atividades estão relacionadas por um conjunto de relações de precedência, com um atraso de tempo zero, isto é, nenhuma atividade pode ser iniciada antes de suas precedentes terem terminado.

- Nenhuma data de início ou de fim é imposta a qualquer atividade do projeto.
- Cada atividade $i \{i = 1, \dots, N\}$ tem uma duração constante d_i (tempos de preparação são desprezáveis ou estão incluídos na duração).
- Cada atividade i requer um número constante de unidades r_{ik} , de um recurso renovável do tipo $k = \{k = 1, \dots, K\}$. As necessidades de recursos são constantes conhecidas sobre o intervalo de processamento da atividade.
- A disponibilidade a_k de um recurso renovável do tipo k é também uma constante conhecida ao longo do intervalo de duração do projeto.
- Nenhuma atividade pode ser interrompida depois de iniciada (não é permitido preempção de atividades).
- O objetivo é completar o projeto o mais cedo possível, sem violar qualquer restrição de recurso e de precedência.

O Problema da Programação de Projetos com Restrição de Recursos pode ser caracterizado pelos seguintes itens, segundo Lopez Vaca (1995): número de projetos simultâneos que pode envolver um único projeto (*single-project*) ou pode envolver vários projetos simultaneamente (*multi-project*); natureza das informações do projeto, que, por exemplo, podem ser problemas determinísticos (dados do problema determinados com precisão) ou problemas probabilísticos (alguns dos principais dados são variáveis, segundo uma dada distribuição de frequência); tipos de ligações entre as atividades; possibilidade de interrupção das atividades; modos de execução das atividades, tipos de recursos utilizados: renováveis, não-renováveis e duplamente restrito; número de recursos utilizados, que pode ser apenas um único recurso ou múltiplos recursos; e número de objetivos e os tipos de objetivos possíveis para um RCPSP.

Bowers *et al.* (1996) afirmam que a principal diferença entre *single-project* e *multi-project* é que, no caso multiprojetos, recursos escassos (pessoal e/ou equipamento) devem ser alocados entre os múltiplos projetos. Deste modo, muitas tentativas de programação multiprojetos são baseadas na aplicação de regras de prioridades para *single-project*. Todas as operações de um projeto se apresentam em uma ordem escolhida baseada na avaliação para a escolha da regra de prioridade, desde que as restrições de precedência não sejam violadas. As operações do projeto são, então, programadas na sequência, considerando as necessidades e

disponibilidades de recursos. Por outro lado, Kurtulus & Davis (1982) apontam que as regras desenvolvidas para programação de projeto único não são sempre eficientes no ambiente multiprojetos.

Em programação de projetos, os recursos são caracterizados em termos das suas capacidades qualitativas e quantitativas. Isto significa que os recursos são descritos por seu tipo e número. A tarefa é descrita em termos da sua exigência de recursos e de sua duração de tempo inicial e final.

Os algoritmos utilizados para solução do problema RCPSP, segundo Ichihara (1998), são:

- Métodos Exatos: os procedimentos exatos mais eficazes para resolver o problema RCPSP são procedimentos dedicados *Branch-and-bound*. Devido à complexidade do problema, o tempo de computação desses procedimentos aumenta rapidamente quando aumenta o número de atividades. Instâncias com até 30 atividades podem ser resolvidas dentro de prazos razoáveis, usando procedimentos dedicados *Branch-and-bound*; já instâncias maiores podem levar uma quantidade proibitiva de tempo para resolver, de modo que se tem de recorrer a métodos heurísticos. A técnica de *Branch-and-bound* trata de um problema de programação linear inteira, visto que se parte do pressuposto de que o tempo é uma variável discreta. Assim, a solução ótima poderá ser encontrada através de algum procedimento de enumeração.
- Métodos Construtivos: o esquema de geração de plano serial (SGS Série) ou o regime de geração de plano em paralelo (SGS Paralelo) podem ser usados para gerar um cronograma de projeto eficiente. Podem ainda ser aplicadas regras de prioridade que permitem obter uma ordenação através de uma lista de prioridades das atividades do projeto. Estas heurísticas construtivas são muito rápidas em termos de tempo de computação, mas podem, potencialmente, produzir cronogramas com um *makespan* alto, acima do valor limite de recursos.
- Meta Heurística: tem como um de seus objetivos gerar procedimentos de busca em vizinhanças (no espaço de pesquisa) que evitem uma parada prematura em ótimos locais, proporcionando soluções melhores. Esses algoritmos realizam uma pesquisa ampla no espaço da solução para encontrar uma boa solução para o RCPSP. Normalmente, usam-se listas de prioridades como uma sub-rotina para gerar cronogramas intermediários. Seus principais algoritmos são: Busca Tabu e *Simulated Annealing*, ou Recozimento Simulado.

- Algoritmos Evolucionários (EMO): nas décadas de 50 e 60, vários pesquisadores da ciência da computação estudaram os sistemas evolucionários naturais com a ideia de que a evolução pudesse ser utilizada como uma ferramenta para resolver problemas de engenharia. Deste estudo, surgiu a Programação Evolucionária, fundamentada no princípio de que os indivíduos mais adaptados ao meio ambiente têm maior probabilidade de sobrevivência. Estes algoritmos pesquisam a melhor solução através da melhoria contínua de uma *população*, formada por soluções potenciais X^i ($i=1, \dots, p$) denominadas *indivíduos* ou *Cromossomas*. Cada evolução de uma população é denominada *Geração*, consistindo de um ciclo de: *Avaliação*, realizada por uma função objetivo; *Seleção*, baseada na determinação da *Aptidão* dos indivíduos; e *Reprodução*, que consiste da criação de *descendentes* pelas *Recombinações* e *Mutações* de indivíduos selecionados. Existem três classes principais de Algoritmos Evolucionários: Programação Evolucionária (*EP – Evolutionary Programming*), Estratégias Evolucionárias (*ES - Evolutionary Strategies*) e Algoritmos Genéticos.

Além disso, segundo Yang *et al.* (2001), o RCPSP pode ser dividido em seis diferentes classes: Modo básico de RCPSP; Múltiplos modos de RCPSP; Problemas de RCPSP com funções objetivas não regulares; RCPSP estocástico; Problemas de Empacotamento com recursos restritos; e Programação de projetos com múltiplos recursos restritos. Este trabalho se enquadra na primeira classe, ou seja, no Modo básico de RCPSP.

Os múltiplos modos de RCPSP são conhecidos na terminologia anglo-saxônica como *Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem* (MRCPSP). O objetivo do MRCPSP é determinar o instante de tempo em que cada atividade deve ser iniciada e o modo a ser usado para realizar cada uma das atividades, sem que para isso sejam gastos mais recursos (renováveis e não renováveis) do que aqueles disponíveis (LEAL, 2007).

O objetivo final do MRCPSP é determinar a solução ótima dos modos das atividades, garantindo que o escalonamento (ou programação) seja feito de tal maneira que as relações de precedência sejam respeitadas e os níveis de recursos não sejam excedidos (BRUCKER *et al.*, 1999).

O problema de compromisso tempo-custo (*time-cost tradeoff problem*) é um dos que partilham algumas semelhanças com o MRCPSP. Na prática, é a duração de um determinado projeto, isto é, das atividades que o compõem, podendo ser controlado variando o investimento feito. Claramente, quanto maior o capital investido, mais rápida a conclusão de

uma atividade. A relação inversa também é válida. Nos problemas de compromisso tempo-custo, não existe uma referência explícita à existência de recursos. Procura-se antes determinar a melhor programação das atividades de modo a respeitar uma restrição ao nível do capital disponível, ou encontrar aquela programação que minimize o custo de execução do projeto.

Em termos de função objetivo para o problema de compromisso tempo-custo, existem descritas na literatura, de acordo com Leal (2007), duas abordagens:

- O caso em que se procura minimizar o custo total do projeto, considerando fixo o tempo máximo disponível para sua execução (*deadline problem*);
- O caso em que se procura minimizar a duração global do projeto, considerando fixo o montante máximo de capital que pode ser aplicado (*budget problem*).

A primeira abordagem tem merecido mais atenção por parte da comunidade científica pela importância e semelhança deste problema com o caso do MRCPSP. Através dessa abordagem, essa dissertação teve como base teórica inicialmente o modelo elaborado por Akkan *et al.* (2005), que descrevem um modelo para o problema de compromisso tempo-custo no caso em que a função objetivo consiste na minimização do custo total do projeto.

O modelo formulado por Akkan *et al.* (2005) para o problema de compromisso tempo-custo pode ser formulado pelas Equações de 2.5 a.2.9.

$$\min \sum_{j \in V} \sum_{m \in M_j} c_{jm} x_{jm} \quad (2.5)$$

Sujeito a

$$\sum_{m \in M_j} x_{jm} = 1, \quad j \in V, \quad (2.6)$$

$$c_j - c_i - \sum_{m \in M_j} d_{jm} x_{jm} \geq 0, \quad (i, j) \in E, \quad (2.7)$$

$$c_{n+1} \leq T, \quad (2.8)$$

$$c_0 - \sum_{m \in M_j} d_{0m} x_{0m} \geq 0 \quad (2.9)$$

$$x_{jm} \in \{0,1\}, \quad j \in V, \quad m \in M_j.$$

A notação na qual se baseia esse modelo é representada por: $V = \{0, 1, \dots, n, n+1\}$, que denota o conjunto de atividades (a atividade 0 e $n+1$ são atividades fictícias que representam respectivamente o início e final do projeto); $E \subseteq V$ é o conjunto de atividades entre as quais existe uma relação de precedência; c_{jm} é denominado custo de processamento da atividade j quando executada no modo m ; EC_j é o instante de tempo mais cedo em que a atividade j poderá ser terminada; LC_j denota o instante de tempo mais tardio em que a atividade j poderá ser terminada; e T é o prazo para a conclusão do projeto.

As variáveis de decisão desse modelo são de dois tipos. Por um lado, têm-se as variáveis C_j , que representam o instante de tempo em que a atividade j é terminada, e as variáveis binárias x_{jm} , que determinam se a atividade j é realizada ou não no modo m . As restrições do modelo garantem que cada atividade seja realizada usando apenas um modo de execução, que as relações de precedência são satisfeitas, que o prazo de conclusão do projeto não é excedido e que as atividades do projeto começam a ser escalonadas (programadas) a partir do instante de tempo $t=0$.

2.3.3 O Contexto de Pesquisas na Área de Problemas de RCPSP

Durante estas duas últimas décadas, o problema RCPSP tem sido amplamente estudado na literatura de pesquisa de operações. Nesta classe de problema, a minimização da duração do projeto, também conhecido como *makespan*, é o critério que tem sido mais amplamente considerado, segundo Kolisch & Hartmann (2006). Esse critério é definido como a duração entre a hora de início e o tempo final do projeto.

A maximização do valor presente líquido (VPL) é o segundo critério de otimização mais amplamente utilizado. Este critério tem como objetivo maximizar os fluxos de caixa do VPL (despesas e pagamentos). Outro critério de otimização se refere à minimização dos custos. De acordo com Boctor (1993), este critério considera o caso em que as atividades podem ser realizadas em vários modos, que correspondem a diferentes configurações de recursos, com custos diferentes.

O RCPSP e suas generalizações também são percebidos como uma coleção de ferramentas poderosas que permitem descrever muitos problemas de otimização altamente complexos de outras áreas. Se algum problema é capturado como um problema de programação de recursos limitados do projeto, é possível empregar os métodos de solução

desenvolvidos para o problema de programação de projeto. Assim, os algoritmos originalmente projetados para programação de projetos podem ser transferidos para problemas de outros campos. Acredita-se que isto sublinhe a importância da investigação sobre modelos e métodos para programação do projeto (HARTMANN & BRISKORN, 2010).

2.3.3.1 Estudos realizados com diferentes classes do RCPSP

No estudo de Gagnon *et al.* (2012), foi apresentada uma abordagem de programação de múltiplos projetos para ajudar os gerentes de projetos a decidir sobre um cronograma inicial. Os conceitos de funções de satisfação e de programação de metas são incorporados para gerar esta programação inicial que representa o melhor compromisso entre um conjunto de objetivos conflitantes do projeto. Um procedimento eficiente computadorizado com base no algoritmo de busca tabu foi proposto, permitindo a manipulação do planejamento de grandes projetos de programação.

Jan Weglarz (2011) elaborou uma pesquisa sobre programação de projetos determinísticos, considerando os problemas em que as atividades podem ser processadas através de um número finito ou infinito de modos, com base em suas necessidades em matéria de recursos de várias categorias e tipos. A pesquisa se fundamenta em uma estrutura unificada de um modelo de programação de projetos, incluindo seus componentes mais importantes, como recursos, atividades, objetivos e programações. Os modelos mais relevantes e a solução de abordagens em toda a classe de problemas são caracterizados, e direções para pesquisas futuras são apontadas.

Nas últimas décadas, os parâmetros de recursos foram introduzidos na literatura de programação de projetos para medir a escassez de recursos de uma instância de projeto. Com base neste processo, Peteghem & Vanhoucke (2011) desenvolveram um estudo em que incorporaram esses parâmetros de escassez de recursos no processo de busca para resolver o problema de programação de projetos com recursos restritos *multi-mode*, em que vários modos de execução estão disponíveis para cada atividade do projeto. Por isso, foi proposto um algoritmo de busca de dispersão, executada com os métodos de melhoria diferentes, cada uma adaptada às características específicas de diferentes valores de escassez de recursos renováveis e não renováveis. Este algoritmo de busca resultou em análises computacionais

que mostraram a eficácia dos métodos utilizados para melhoria e revelou que o procedimento está entre os melhores algoritmos de desempenhos competitivos na literatura.

Com a procura cada vez maior para a programação de projetos, métodos diferentes têm sido desenvolvidos para este fim. Entre esses métodos existentes, de acordo com Ma (2012) a programação linear inteira mista (PLIM) ainda é uma das principais abordagens para problemas de programação de recursos limitados. Neste estudo, uma metodologia integrada é desenvolvida para agendar os projetos para a manutenção da plataforma de petróleo por uma empresa de energia. Nesta metodologia, em primeiro lugar, um modelo MILP é usado para o gerenciamento de portfólio de projetos para decidir quais projetos serão realizados imediatamente. Em seguida, a técnica de programa de avaliação e revisão (PERT) e o método do caminho crítico (CPM) são usados para criar o cronograma inicial, e o método MILP é usado novamente para fazer um cronograma detalhado do projeto. Neste cronograma detalhado do projeto, o objetivo é maximizar o assunto utilização de recursos para diferentes restrições, como limitações de recursos, restrições de segurança, restrições de área, calendário de atividades, entre outros. O modelo de otimização é resolvido pela *Microsoft Foundation Solver*. Os resultados mostram que a metodologia desenvolvida neste estudo pode melhorar a utilização de recursos e satisfazer todas as restrições.

Programação combinando restrição (PB) e programação matemática (MP) também têm sido tema de interesse para os pesquisadores para resolver problemas de programação, e os resultados obtidos estão sendo promissores. Por exemplo, no trabalho de Liu & Song (2012), foi proposta uma abordagem de pré-processamento para a solução de programação de projetos com recursos limitados (RCPSP) com a programação inteira (PI), tendo o modelo provado uma teoria de desigualdade eficaz para o modelo PI.

2.3.3.2 Problemas de RCPSP apoiados pela Decisão Multicritério

Na prática, os problemas RCPSP muitas vezes estão diretamente ligados a problemas de decisão multicritério pelo fato de o software de gestão de projetos desejado dever identificar uma programação que melhor se ajuste às preferências do gerente de projetos entre um grande conjunto de programações viáveis. No entanto, a maioria dos softwares de gerenciamento de projetos fornece apenas a geração do primeiro esquema viável encontrado.

No trabalho de Nikulin & Drexl (2010), foi abordado o problema de programação do portão de voo do aeroporto com múltiplos objetivos. Os objetivos são maximizar as preferências totais do gate de voo para minimizar o número de atividades de reboque e para minimizar o absoluto desvio da atribuição do novo portão a partir de um esquema de referência, assim chamada. O problema examinado é de multicritério e de multiobjetivo, com problema de programação de recursos limitados, com restrições generalizadas de precedência ou janelas de tempo.

A pesquisa de Chenga *et al.* (2003) relata uma integração entre MCDM - *multi-criteria decision-making* e os métodos inexatos de programação linear inteira mista para apoiar a seleção de um aterro sanitário ideal e um padrão de fluxo de resíduos de alocação de tal forma que o custo total do sistema pôde ser minimizado. A seleção de um aterro sanitário envolve ambos os critérios qualitativos e quantitativos, bem como heurísticos. Para selecionar o melhor local do aterro, muitas vezes é necessário comprometer eventualmente fatores contraditórias entre o tangível e o intangível. Diferentes modelos de multiobjetivos de programação têm sido propostos para resolver esse tipo de problema.

Um ponto negativo da utilização dos modelos multiobjetivos de programação usados para resolver esse problema é que eles são basicamente matemáticos e ignoram fatores qualitativos e considerações, muitas vezes, subjetivas, tais como o risco de poluição das águas subterrâneas, bem como outros fatores ambientais e socioeconômicos importantes na seleção de aterro. O problema de seleção envolve também uma mudança no padrão de alocação de fluxos de resíduos necessários para construção de um novo aterro. Em seleção de locais de aterros sanitários, os tomadores de decisão precisam considerar ambos os locais potenciais que devem ser usados, bem como a alocação padrão dos resíduos de fluxo em diferentes períodos de tempo.

Já Manos *et al.* (2010) desenvolveram um quadro de investigação de um projeto europeu que integra o modelo multicritério com a programação matemática, otimizando a gestão sustentável das regiões agrícolas, levando em conta recursos disponíveis (terra, trabalho, capital) e parâmetros ambientais (agroquímicos, consumo de água). O modelo de plano de exploração atinge o ótimo na área combinando critérios diferentes para uma função de utilidade em um conjunto de restrições e a integração espacial dos mapas de vulnerabilidade das regiões no modelo permite às autoridades regionais elaborar políticas de design ideais para o desenvolvimento agrícola e proteção das águas subterrâneas. Além disso,

o modelo é usado para simular diferentes cenários e políticas pelos atores locais, devido a mudanças em diferentes parâmetros sociais, econômicos e ambientais.

Desta forma, os decisores podem conseguir alternativas de planos de exploração das terras agrícolas, bem como estimar os impactos econômicos, sociais e ambientais de diferentes aplicações de políticas de design. O modelo foi aplicado a uma região agrícola no norte da Grécia e provou ser uma ferramenta valiosa na implementação de políticas e ações ambientais, especialmente em regiões agrícolas em um equilíbrio delicado como área de estudo.

2.3.4 O Ambiente de Múltiplos Projetos

No problema de múltiplos projetos, um número de projetos deve simultaneamente repartir recursos limitados, satisfazendo as condições de precedências tecnológicas e necessidades de recursos tendo como objetivo minimizar a soma das ampliações nas durações dos projetos. Considerando-se o uso de regras de prioridades associadas aos projetos, característica do procedimento heurístico, tendo como primeiro passo respeitar o grau de prioridade de um projeto sobre outro em função dos critérios gerenciais adotados, define-se o sequenciamento dos projetos (BOWERS *et al.*, 1996).

Já Confessore *et al.* (2007) consideram múltiplos projetos como um conjunto de projetos em que cada projeto dispõe de recursos próprios, enquanto um recurso adicional é compartilhado pelos projetos. A vantagem de integrar vários projetos em uma única rede é que eles fornecem uma base formal para a aplicação de métodos para programar projetos individuais e também servem para o caso de vários projetos.

Infelizmente, a maioria dos gerentes de projetos não está em posição de controlar ou alterar as prioridades do projeto. Assim, os gerentes de projeto, juntamente com os gestores de recursos, devem continuamente se perguntar várias questões críticas: “Como os recursos são destinados aos projetos de maior prioridade? Como os recursos do projeto estão sendo totalmente utilizados? Como os projetos estão sendo concluídos no prazo, dentro do orçamento e para o padrão de qualidade exigido? (GOLANY & ANAVI-ISAKOW, 2003).

O foco em recursos é porque raramente o gerente de projeto tem a possibilidade de acrescentar recursos adicionais por um longo período de tempo para completar a prioridade atual do projeto. Com isso, o ambiente de múltiplos projetos exige que um eficiente processo

dinâmico determine como alocar recursos para definir um cronograma de entrega mais realista possível para novos projetos, especialmente ao ser adicionado a um conjunto de projetos existentes, que ainda se encontram em andamento.

Para melhor alcançar esses objetivos, ambientes múltiplos projetos devem ser focados em assegurar a compatibilidade entre diferentes projetos simultâneos com uma abordagem de portfólio estratégico. De um modo geral, o gerenciamento de múltiplos projetos é uma área em que os métodos e técnicas tradicionais parecem ser menos adequados. Este problema está relacionado principalmente à complexidade de projetos inter-relacionados, tanto tangíveis, como, por exemplo, financeira, técnica, quanto intangíveis, como, por exemplo, relações com clientes e transferência de conhecimento.

Pode-se observar nos estudos realizados sobre programação de múltiplos projetos que vários objetivos distintos têm sido discutidos. Em muitos problemas dessa área, cada projeto está associado a uma data de vencimento, e o atraso é mais utilizado para programação de múltiplos projetos, entre as medidas de desempenho. O objetivo do trabalho de Gonçalves *et al.* (2008) é minimizar simultaneamente o atraso, precocidade e os critérios de fluxo de desvio de tempo, utilizando o algoritmo genético. Homberger (2007) discute a minimização da média *makespan* dos projetos em que o *makespan* de cada projeto é definido como o seu tempo de conclusão menos sua data de lançamento.

Chen & Askin (2009) desenvolveram um modelo matemático de otimização para auxiliar o decisor, em cenários de múltiplos projetos, na resolução da problemática de seleção de projetos e priorização dos projetos selecionados e de suas atividades quanto à alocação de recursos limitados. Esse trabalho contém dois tipos de decisões: primeiro, um conjunto de projetos candidatos é dado e os projetos a serem realizados são selecionados, o que permite decidir, por exemplo, que projetos de desenvolvimento de produto devem ser executados. Em segundo lugar, os projetos selecionados estão programados sujeitos à precedência usual e a restrições de recursos renováveis. As decisões de seleção e programação de projetos são feitas simultaneamente com o objetivo de maximizar o valor presente líquido.

No estudo realizado por Liu & Chen (2012), foi discutido o mecanismo de alocação de recursos para questões de construção de programação de múltiplos projetos, apresentando um modelo de otimização com base na resolução de problemas de alocação de recursos. Esta pesquisa desenvolveu um modelo fundamentado na Programação de Restrição, que é capaz de lidar com diferentes objetivos de otimização, tais como minimizar o custo total e a duração total do projeto, sujeito a combinações de recursos de atribuição para cada atividade. O

principal objetivo desta pesquisa é encontrar a relação entre a duração do custo de recursos em um ambiente de múltiplos projetos e o fornecimento de informação sistemática de partes de construção na tomada de decisões de alocação de recursos.

Heimerl & Kolisch (2009) propõem um problema de múltiplos projetos em que o cronograma de cada projeto é fixo. Consequentemente, cada projeto pode ser visto como uma atividade dependendo do tempo de recursos exigidos. Os recursos são a força de trabalho interna e externa, em que diferentes habilidades e eficiência são levadas em conta. O objetivo é minimizar os custos para o trabalho regular e horas extras como também para os recursos externos.

No trabalho de Wu, Yu *et al.* (2009), foi abordado o problema de programação de múltiplos projetos com recursos limitados (RCMPSP), sendo proposto um método baseado em redes cronometradas de Petri (TCPN). Nesta metodologia, em primeiro lugar o mapeamento de um novo mecanismo entre diagrama de rede tradicional, como CPM/ PERT e TCPN, foi apresentado com o objetivo de simular a programação de vários projetos e para encontrar o valor ideal de aproximação do RCMPSP.

Para gerenciar o instável ambiente de múltiplos projetos e os conflitos decorrentes, ressalta-se a necessidade de as organizações que atuam em múltiplos projetos estabelecerem metodologias adequadas de priorização de projetos e atividades, capazes de otimizar o fornecimento de recursos, custos, prazos e qualidade dos projetos, obedecendo a relações de precedência existentes entre as atividades.

Hans *et al.* (2007), por exemplo, fizeram um levantamento de diversos pontos de vista sobre a complexidade de gestão e planejamento de múltiplos projetos em condições de incerteza nas organizações, principalmente quando envolve recursos escassos. Com base nesses pontos de vista, foi proposto um quadro de posicionamento para distinguir entre diferentes tipos de projetos orientados por organizações.

Xu & Zhang (2012) tiveram como objetivo realizar um estudo com problemas de programação de múltiplos projetos com recursos limitados sob um ambiente difuso, utilizando um algoritmo genético híbrido com controlador de lógica *fuzzy*, em reservatórios de água em grande escala e projeto de construção de hidrelétrica na região sudoeste da China, cujo principal projeto é um dique da barragem. As funções objetivo neste trabalho são minimizar o tempo total do projeto, que é a soma do tempo de conclusão para todos os projetos, e minimizar a pena de atraso total de vários projetos, que é a soma dos custos de penalidade para todos os projetos. Depois de descrever o problema do processo de trabalho no projeto e

apresentar o modelo de formulação matemática de um problema de programação de projeto de recursos limitados em um ambiente difuso aleatório, algumas definições e propriedades sobre difusos variáveis e aleatórias são discutidas.

Gestores de vários projetos com recursos excessivamente restritos enfrentam decisões difíceis sobre como alocar recursos para minimizar o atraso médio por projeto ou o tempo para completar o conjunto de projetos. Esse tema foi abordado no trabalho de Browning & Yassine (2010), em que foi mostrada a estática de problemas de programação de múltiplos projetos com recursos limitados (RCMPSP) com dois objetivos de atraso - atraso de projeto e atraso de carteira. Neste contexto, a investigação do passado tem reportado resultados conflitantes sobre o desempenho da atividade heurística na regra de prioridade e não fornece aos gestores uma orientação clara sobre qual regra usar em várias situações.

Usando recentemente reforço das medidas de características RCMPSP, foi feita uma análise global de 20 regras de prioridade em 12.320 problemas de teste gerados para as especificações de projeto, atividade, recursos e características relacionadas, incluindo a complexidade da rede, a distribuição de recursos e a contenção. Foram encontradas várias situações em que as regras de prioridade amplamente defendidas foram mal executadas. Também confirmou que os gestores de carteiras e gerentes de projeto vão preferir regras de prioridade diferentes, dependendo de seus objetivos locais ou globais.

No estudo Zhang & Sun (2011), também foi apresentada uma nova forma de resolver a programação de múltiplos projetos com recursos limitados (RCMPSP), o que muda a condição de que vários projetos não podem ser desenvolvidos simultaneamente por causa do limite para o uso de recursos. Foram definidos um limite inferior e um limite superior para limitar o uso de recursos de cada atividade em múltiplos projetos. Então, a regra de prioridade heurística adequada é escolhida para lidar com o problema de programação de recursos limitados em múltiplos projetos. Finalmente, é dado um exemplo para demonstrar a melhoria do modelo de (RCMPSP).

Hagan *et al.* (2011) fizeram uma análise da natureza complexa dos projetos de construção no ambiente de múltiplos projetos de uma empreiteira e desenvolveram um quadro holístico. O quadro foi construído no conceito sociotécnico do sistema. Essa forma ampla e enriquecida de conceituar projetos complexos em ambiente de múltiplos projetos vai ajudar as organizações a não se concentrar em qualquer assunto, em detrimento de outros. O documento conclui que a utilização desta abordagem holística tem um potencial considerável para a melhoria de gestão das empresas de construção.

2.3.5 Problemática de Seleção Priorização dos Projetos com recursos escassos

Vários são os métodos citados na literatura para auxiliar a seleção e priorização de projetos, como, por exemplo, Métodos financeiros, Métodos de estratégia de negócio, Diagramas de bolhas, Modelos de escore (*Scoring models*), Checklists, Métodos de otimização (Programação Linear Inteira), QSort e os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, como Teoria da Utilidade, Métodos TODIM, ELETRE e PROMETHEE e o Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), além dos Métodos híbridos financeiros e de estratégia de negócio e Programação linear inteira e AHP (CHU *et al.*, 1996; ARCHER & GHASEMZADEH, 1999; GHASEMZADEH *et al.*, 1999; PADOVANI, 2007; PASEK & ASI, 2002; MORAES & LAURINDO, 2003; CAMANHO *et al.*, 2007).

Em um ambiente em que o financiamento é limitado, a seleção e a priorização de projetos são necessárias para garantir que os fundos limitados sejam utilizados da forma mais rentável, ou seja, os altos projetos prioritários precisam ser implementados em primeiro lugar, e, posteriormente, os projetos de menor prioridade. Uma estratégia de seleção e priorização foi proposta por Pretorius *et al.* (2006) como parte das viagens mais seguras para escolas do município do Cabo, Distrito Winelands. Esta estratégia de seleção e priorização não só considera a viabilidade técnica de projetos e programas, mas o impacto social e o nível de apoio da comunidade também são considerados. Trata-se de um processo de seleção e priorização passo a passo que as autoridades locais podem seguir para escolher quais projetos devem ser, primeiramente, implementados. Este trabalho tem como objetivo descrever a metodologia de seleção e priorização, bem como diversos estudos de caso em que foi testado.

Liu & Wang (2011) apresentaram um modelo de otimização utilizando programação restrição (CP) para a seleção de projetos e problemas de programação com restrições de recursos e de tempo. Dentro deste enfoque, um modelo genérico foi proposto para maximizar o lucro total de projetos selecionados para a construção de departamentos, dados problemas de programação com restrições de recursos durante vários intervalos de tempo especificados, incluindo as limitações de recursos consumidos e renováveis.

Devido a diferentes estratégias de aquisições periódicas e preocupações orçamentárias anuais, esta pesquisa considera várias limitações práticas para a programação e alocação de recursos, tais como limitações de orçamento e restrições de recursos. Para praticidade adicional, o modelo de otimização integra um mecanismo de seleção de projetos, programação precedência e as relações entre projetos.

Para ilustrar as capacidades do modelo para a solução de seleção de projetos e problemas de programação, o estudo apresenta dois cenários para maximização do lucro, incluindo 15 projetos candidatos com restrições de tempo-dependente de recursos. Os resultados da análise mostram que o modelo proposto permite que os planejadores determinem um portfólio ótimo com restrições de recursos especificados de acordo com vários intervalos de tempo e os benefícios de tomada de decisão para a seleção de projetos e programação.

O modelo relacionado com problemas de programação com restrições de recursos e de tempo, proposto por Liu & Wang (2011), mostrado logo a seguir, supondo os projetos já selecionados, foi adaptado e utilizado nessa dissertação com o propósito de minimizar o custo total dos projetos, respeitando a restrição do orçamento e o período para conclusão dos projetos.

$$TC_y = \sum_{i=1}^{ST_y} C_i \cdot pt_{iy} \quad \forall i \in ST_y; \quad y = 1, \dots, Y \quad (2.10)$$

Sujeito a

$$TC_y \leq BL_y \quad (2.11)$$

$$TSC = \sum_{y=1}^Y TC_y \quad \text{para } y = 1, \dots, Y \quad (2.12)$$

$$TSC \leq \sum_{y=1}^Y BL_y \quad \text{para } y = 1, \dots, Y \quad (2.13)$$

Em que TC_y representa o custo total de todos os projetos executados no ano y ; ST_y representa o conjunto de projetos selecionados e executados no ano y ; C_i denota o custo do projeto i ; pt_{iy} é a porcentagem de conclusão planejada do projeto i durante o ano y ; Y é o ano total previsto para a conclusão dos projetos selecionados; BL_y denota o limite de orçamento do ano y ; e TSC representa o custo total dos projetos selecionados.

Este estudo também está preocupado com o tratamento de recursos renováveis como equipamentos, máquinas e equipe de pessoas, como mostrado na restrição:

$$\sum_{i=1}^{SE_k} R_i^j \leq RL_k^j \forall i \in SE_k; k = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, J \quad (2.14)$$

Em que SE_k representa o conjunto de projetos em andamento em k dia; R_i^j representa as necessidades diárias para recurso do tipo j para o projeto i; RL_k^j denota o máximo recurso do tipo j disponível no dia k; T denota a data de conclusão do projeto anterior; e J representa o número de tipos de recursos.

2.3 Decisão Multicritério

Uma decisão precisa ser tomada sempre que estamos diante de um problema que apresenta mais que uma alternativa para sua solução. Mesmo quando, para solucionar um problema, temos uma única ação a tomar, temos as alternativas de tomar ou não essa ação. Roy (1996) acrescenta que “decisões são necessárias quando uma oportunidade ou um problema existe, ou quando algo não é o que deveria ser ou, ainda, quando existe uma oportunidade de melhoria”.

Pode-se dizer que um problema de decisão multicritério consiste numa situação em que há pelo menos duas alternativas de ação para escolher, e esta escolha é conduzida pelo desejo de entender múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. Estes objetivos estão associados às consequências da escolha pela alternativa a ser seguida. A estes objetivos são associadas variáveis que os representem e permitem a avaliação de cada alternativa, com base em cada objetivo. Estas variáveis podem ser chamadas de critérios, atributos ou dimensões (ALMEIDA, 2011).

Segundo Belton & Stewart (2002), critério pode ser entendido como um meio ou padrão de julgamento. No contexto de tomada de decisão, isto insinuaria algum tipo de padrão pelo qual uma escolha particular ou curso de ação poderiam ser julgados mais desejáveis que outros. Assim, toda decisão a ser tomada requer um balanceamento desses múltiplos fatores (critérios).

De acordo com Gusmão (2005), as decisões humanas se dão em presença de pelo menos dois critérios. Logo, decidir é escolher uma alternativa em um conjunto de alternativas possíveis sob a influência de pelo menos dois parâmetros. Em decorrência disso, surgiram as

metodologias de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), que compreendem vários princípios, axiomas (proposição que se admite como verdadeira porque dela se podem deduzir as proposições de uma teoria ou de um sistema lógico ou matemático) e métodos analíticos para auxiliar na tomada de decisões num ambiente considerado complexo.

O AMD proporciona ao decisor algumas ferramentas que lhe possibilitam resolver problemas, levando em consideração diferentes pontos de vista, muitas vezes contraditórios (VINCKE, 1992). De acordo com Roy (1996), pode ser definido como a atividade de um analista que, com base em modelos formalizados, busca respostas às questões colocadas pelos decisores ao longo do processo, levando, muitas vezes, a recomendações de ação ou simplesmente a um favorecimento de uma evolução do processo mais consistente com os objetivos e sistemas de valores dos decisores.

É necessário que seja observado que os métodos de decisão multicritério não visam a encontrar uma solução que seja uma verdade única representada pela ação selecionada, ou seja, uma solução ótima para determinado problema, como observado em Pesquisa Operacional, e sim apoiar o processo decisório, recomendando uma sugestão de curso de ação a ser seguido pelo decisor. Portanto, tão importante quanto a qualidade da informação disponível é a forma de tratamento analítico aplicado (ROY, 1996).

Neste enfoque, o AMD envolve uma vasta gama de métodos que têm como princípio buscar o estabelecimento de estrutura de preferências de um decisor, relacionado às consequências no problema de decisão, e propiciar as avaliações que estão sendo consideradas no problema de decisão (ALMEIDA, 2011).

2.3.1 Métodos Multicritério

O suporte de decisão multicritério objetiva proporcionar aos tomadores de decisão algumas ferramentas para permitir avançar na resolução de problemas de decisão em que vários pontos de vista devem ser levados em consideração. Inicialmente, segundo Gomes *et al.* (2009), tem-se a classificação dos métodos em função do conjunto de alternativas: “discreto quando se trata de um número finito de alternativas ou contínuo quando tal número pode ser pensado como infinitamente grande”. A utilização desses métodos, tanto discretos como contínuos, é imensamente facilitada por *softwares* especializados.

Os métodos de Apoio Multicritério a Decisão estão divididos em três grandes abordagens, de acordo com as técnicas utilizadas de agregação de preferências. Vincke (1992) apresenta uma divisão desses métodos:

- Abordagem do critério único de síntese: idealizada pela Escola Americana, que agrega diferentes pontos de vistas em uma função única de síntese a partir do desenvolvimento de modelos analíticos de agregação. Todos os critérios são agregados pela função de agregação, que poderá ser maximizada ou minimizada. A função é estimada pelo analista por meio de questionamentos feitos ao decisor, assumindo que todos os estados sejam comparáveis. Entre os métodos desta abordagem, destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT);
- Abordagem *out ranking* ou de sobreclassificação: abordagem da Escola Francesa, que procura construir relações de sobreclassificação entre as alternativas, de acordo com as informações de preferências estabelecidas pelo decisor, a fim de auxiliar o decisor no problema. A principal diferença em relação à abordagem Americana é que permite a incomparabilidade entre alternativas. Nesta abordagem, destacam-se os métodos da família ELECTRE e PROMETHEE;
- Abordagem de métodos iterativos: abordagem mais recente, que apresenta métodos que se alternam entre etapas de cálculo, construindo acordos de solução, e etapas de diálogo, obtenção de importantes informações sobre as preferências do decisor. Utiliza modelagens baseadas em Programação Matemática Multiobjetivo.

A escolha do método a ser empregado para apoiar a resolução do problema de decisão irá depender, segundo Almeida (2011), de diversos fatores, tais como: o tipo de problema de decisão, o contexto em estudo, os tipos de atores envolvidos, a estrutura de preferência e o tipo de solução que se quer alcançar, ou seja, deve ser identificada a problemática de referência.

Neste trabalho, é empregada a abordagem de sobreclassificação. Os métodos multicritério pertencentes a esta abordagem buscam o tratamento das alternativas potenciais de um problema de decisão através da relação de dominância estabelecida entre os pares de alternativas, representando as preferências do decisor. A ideia principal desses métodos consiste no enriquecimento das relações de dominância, evitando-se a formulação de

hipóteses matemáticas muito rígidas e questionamentos complexos ao decisor, como ocorre no emprego da teoria da utilidade multiatributo pertencente à abordagem de critério único de síntese, que introduz diversas dificuldades na modelagem de problemas reais (VINCKE, 1992).

Em geral, os métodos multicritério de abordagem de sobreclassificação envolvem a realização de duas etapas. A primeira etapa consiste na construção das relações de sobreclassificação, representando as preferências estabelecidas pelo decisor; a outra etapa corresponde à exploração dessas relações para apoiar o decisor na resolução do problema de decisão (DIAS *et al.*, 1998). Entre os métodos desta abordagem, destacam-se os métodos da família PROMETHEE.

2.3.1.1 Método PROMETHEE

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (BRANS & VINCKE, 1985) é um método de apoio à decisão fundamentada na construção de relações de sobreclassificação para fornecer uma ordenação das alternativas de decisão. Em seu processo, são feitas comparações entre os pares de alternativas, estabelecendo uma relação que acompanha limiares de preferência definidos pelo decisor (VINCKE, 1992).

Para dar início à construção das relações de sobreclassificação, as alternativas e critérios do processo decisório, definidos pelo decisor, são dispostos em uma matriz de avaliação das alternativas em relação ao conjunto de critérios.

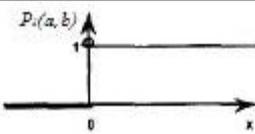
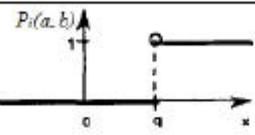
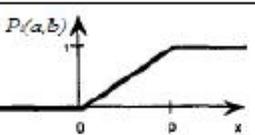
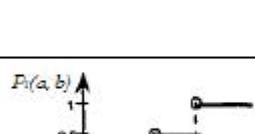
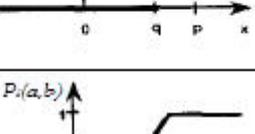
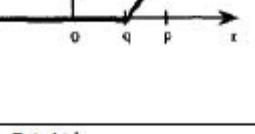
Para apoiar o processo de avaliação, o método PROMETHEE requer uma informação adicional: é necessário que o decisor defina uma função de preferência para cada critério definido para o problema de decisão para auxiliar a comparação entre os pares de alternativas. Esta informação é definida como informação intracritério. A função de preferência definida para cada critério i representa o comportamento do aumento da preferência do decisor com a diferença entre as avaliações de pares de alternativas a e b ($g_i(a) - g_i(b)$) em cada um dos critérios i . A função de preferência associada a cada critério é utilizada para definir os valores de comparações entre os pares de alternativas em relação ao critério, assumindo valores entre 0 e 1 nas avaliações. Algumas funções exigem que o decisor defina parâmetros que reflitam limiares de suas preferências: o parâmetro p , valor acima do qual há preferência de uma

alternativa em relação à outra, e o parâmetro q , que representa o limiar abaixo do qual há indiferença entre as alternativas (BELTON & STERWART, 2002).

O valor assumido pela função de preferência para cada par de alternativas $P_i(a,b)$ é denominado de intensidade de preferência. Segundo Belton & Stewart (2002), a intensidade de preferência de uma opção a sobre uma opção b , $P_i(a,b)$ é descrita por uma função da diferença em níveis de performance g para um critério i para as duas alternativas a e b , notação $g_i(a) - g_i(b)$. A metodologia definida para o PROMETHEE sugere opções de coesões de preferências associadas a critérios generalizados para facilitar a definição da informação intracritério por parte do decisor (DIAS *et al.*, 1998). O decisor seleciona o modelo desejável da função e especifica alguns parâmetros necessários. As funções de preferências estão ilustradas no Quadro 2.1.

Claramente, para diferenças positivas ($g_i(a) > g_i(b)$), a função apresenta o valor para $P_i(a,b)$, enquanto $P_i(b,a) = 0$. De modo oposto, quando $g_i(a) < g_i(b)$, a função escolhida entre os gráficos padrão gera o valor solicitado para $P_i(b,a)$, enquanto $P_i(a,b) = 0$ (BELTON & STEWART, 2002).

Quadro 2.1 – Tipos de funções de preferência sugeridas pela metodologia PROMETHEE para definir a informação intracritério

Tipo de Função	Função de preferência	Intensidade de preferência e limiares
Tipo I – Critério Usual		$P_i(a,b) = 0$, se $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$ $P_i(a,b) = 1$, se $g_i(a) - g_i(b) > 0$ Limiares: não há
Tipo II – Critério U		$P_i(a,b) = 0$, se $g_i(a) - g_i(b) \leq q$ $P_i(a,b) = 1$, se $g_i(a) - g_i(b) > q$ Limiares: q
Tipo III – Função V		$P_i(a,b) = 0$, se $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$ $P_i(a,b) = [g_i(a) - g_i(b)]/p$, se $0 < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $P_i(a,b) = 1$, se $g_i(a) - g_i(b) > p$ Limiares: p
Tipo IV – Critério em Nível		$P_i(a,b) = 0$, se $ g_i(a) - g_i(b) \leq q$ $P_i(a,b) = 1/2$, se $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $P_i(a,b) = 1$, se $ g_i(a) - g_i(b) > p$ Limiares: p e q
Tipo V – Critério Linear		$P_i(a,b) = 0$, se $ g_i(a) - g_i(b) \leq q$ $P_i(a,b) = g_i(a) - g_i(b) - q / (p - q)$, se $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $P_i(a,b) = 1$, se $ g_i(a) - g_i(b) > p$ Limiares: p e q
Tipo VI – Critério Gaussiano		$P_i(a,b) = 1 - e^{-(g_i(a) - g_i(b))^2 / 2\sigma^2}$ A preferência aumenta segundo uma distribuição normal

Fonte: Adaptado de Dias et al. (1998); Belton & Sterwart (2002)

Para construir as relações de sobreclassificação, a metodologia do PROMETHEE também requer uma informação intercritério, que corresponde à importância relativa entre os critérios do processo decisório que devem ser definidos pelo decisor. O peso de um critério representará a importância que o critério apresenta comparado aos demais critérios. Esta informação é traduzida na seguinte variável a ser incorporada na formulação matemática do método: w_i , representando o peso atribuído ao critério i (DIAS et al., 1998).

Definidas as intensidades de preferência entre os pares de alternativas $P_i(a,b)$, introduz-se a formulação matemática, que constitui a metodologia do PROMETHEE, visualizada na

Equação 2.16. Para obter as relações de sobreclassificação entre as alternativas, determina-se o índice de preferência da alternativa a sobre a alternativa b , $P(a,b)$, ou grau de sobreclassificação de a em relação a b , uma medida de apoio para a hipótese que a seja preferível a b . O índice de preferência é definido pela média dos pesos das preferências no critério individual i (BELTON & STEWART, 2002).

$$P(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (2.15)$$

O índice de preferência define as relações de sobreclassificação. Segundo Belton & Stewart (2002), uma vez definidos, inicia-se a exploração dessas relações. São definidos dois índices denominados fluxo de sobreclassificação positiva para a alternativa a , $\Phi^+(a)$, e fluxo de sobreclassificação negativa para a alternativa a , $\Phi^-(a)$.

- Fluxo de sobreclassificação positiva para a alternativa a :

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \neq a} P(a,b)$$

- Fluxo de sobreclassificação negativa para a alternativa a :

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \neq a} P(b,a)$$

As somas são obtidas sobre todas as alternativas consideradas. O valor $\Phi^+(a)$ expressa o quanto a alternativa a sobreclassifica todas as outras opções. O valor $\Phi^-(a)$ expressa o quanto a alternativa a é sobreclassificada por todas as outras opções. Cada um desses índices define uma pré-ordem completa das alternativas (BELTON & STEWART, 2002).

De acordo com Vincke (1992), uma vez determinados os fluxos de sobreclassificação das alternativas, é estabelecida sua ordenação da seguinte forma:

- Ordem decrescente de $\Phi^+(a)$, também denominada de Fluxo de Saída, que representa a intensidade de preferência de a sobre todas as alternativas, quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa;

- Ordem crescente de $\Phi^- (a)$, também denominada de Fluxo de Entrada, que representa a intensidade de preferência de todas as alternativas sobre a , quanto menor $\Phi^- (a)$, melhor a alternativa.

A metodologia PROMETHEE foi desenvolvida com adaptações complementares. As seguintes implementações do PROMETHEE são descritas na literatura (BRANS & VINCK, 1985; BRANS *et al.*, 1986; BRANS & MARESCHAL, 1998 *apud* GOMES *et al.*, 2002)

- PROMETHEE I: a interseção entre os fluxos e estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas;
- PROMETHEE II: Estabelece uma ordem completa entre as alternativas;
- PROMETHEE III: amplia a noção de indiferença do resultado obtido no PROMETHEE II associando a cada ação um intervalo e define uma ordem intervalar completa;
- PROMETHEE IV: é uma extensão do PROMETHEE II para o caso de um conjunto contínuo de ações;
- PROMETHEE V: após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira;
- e
- PROMETHEE VI: quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos para os critérios, podem ser especificados intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso.

A) PROMETHEE I

Definidos os fluxos de sobreclassificação para as alternativas do processo decisório, $\Phi^+ (a)$ e $\Phi^- (a)$, a metodologia do PROMETHEE I define uma ordem parcial das alternativas, considerando o seguinte procedimento, segundo Belton & Stewart (2002):

- A alternativa a sobreclassifica a alternativa b se:

$$1. \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \text{ ou}$$

$$2. \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \text{ ou}$$

$$3. \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) < \Phi^-(b)$$

- A alternativa a é indiferente à alternativa b se:

$$1. \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) = \Phi^-(b)$$

- As alternativas a e b são incomparáveis se:

$$1. \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(b) < \Phi^-(a) \text{ ou}$$

$$2. \Phi^+(b) > \Phi^+(a) \text{ e } \Phi^-(a) < \Phi^-(b)$$

B) PROMETHEE II

Na extensão do Método PROMETHEE II, de acordo com Belton & Stewart (2002), uma pré-ordem completa das alternativas é derivada de um “fluxo líquido” para cada alternativa, definida por:

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

Tem-se que:

- A alternativa a sobreclassifica a alternativa b se:

$$\Phi(a) > \Phi(b)$$

- A alternativa a é indiferente à alternativa b se:

$$\Phi(a) = \Phi(b)$$

A ordenação das alternativas é estabelecida a partir da ordenação decrescente de $\Phi(a)$. Logo, pode-se observar que no PROMETHEE I pode ocorrer incomparabilidade, enquanto no PROMETHEE II, tem-se uma ordem completa. Na realidade, o PROMETHEE II introduz uma forma de agregação com certa distorção, dentro da concepção do método de sobreclassificação, e acarreta uma perda de informação em relação ao PROMETHEE I. A questão é que este método pode captar situações de incomparabilidade que deveriam ser examinadas com mais detalhes e não encobertas por meio de tal artifício. De qualquer forma, o PROMETHEE II tende a ser mais usado por dar uma ideia aparentemente mais confortável, apresentando uma ordem completa (ALMEIDA, 2011).

C) PROMETHEE V

Os métodos PROMETHEE I e II são particularmente apropriados para escolher uma alternativa. No entanto, em certos casos, o problema colocado não é selecionar uma ação particular ou ordenar as ações partindo da melhor para a pior, mas o contrário, selecionar um subconjunto de ações, dado um conjunto de restrições. A problemática não é mais do tipo P_α ou P_β , mas de um tipo mais complexo, $P_{\alpha,\theta/n}$. Em geral, esse problema não se resume à escolha das θ primeiras ações do ordenamento PROMETHEE II (BRANS & MARESCHAL, 1992).

Esse método é utilizado quando se deseja selecionar um subconjunto de alternativas possíveis, cumprindo com certas restrições impostas pelas características do problema. Neste contexto o problema do PROMETHEE V pode ser definido por Brans & Mareschal (1992) da seguinte forma:

$$\text{Max } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \mid x \in A \text{ sob as restrições adicionais}\}$$

Para que possa fazer com mais facilidade a seleção de θ ações entre n (tendo ou não fixado o θ), sendo $\{a_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ o conjunto das possíveis alternativas, foram introduzidas, segundo os autores acima citados, as seguintes variáveis *booleanas* para cada alternativa tal que:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{se } a_i \text{ é selecionado;} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Ainda de acordo com Brans & Mareschal (1998) esse método tem duas etapas importantes:

1. O problema multicritério sem restrições é primeiramente considerado. Os fluxos líquidos de sobreclassificação $\phi_i, i = 1, 2, \dots, n$ são calculadas e a ordenação do PROMETHEE II é obtida.
2. As restrições adicionais são agora integradas levando-se em, consideração a seguinte programação linear (0 – 1):

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \tag{2.16}$$

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B \tag{2.17}$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Em que:

x_i é uma variável binária, indicando se o projeto i está incluído no portfólio ou não;

b_i representa o custo do projeto; e

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

Os coeficientes da função objetivo, Equação 2.17, são os valores associados ao fluxo líquido de sobreclassificação. Tal função expressa que x procura selecionar um conjunto de projetos totalizando o fluxo líquido mais elevado possível, levando-se em consideração as restrições, Equação 2.18 (BRANS & MARESCHAL, 1998)

Há um importante aspecto relacionado aos fluxos líquidos das alternativas. Algumas alternativas apresentam fluxos líquidos positivos, enquanto outras, fluxos líquidos negativos. Mavrotas *et. al.* (2006) mencionam que este aspecto não estava claro no estudo anterior do PROMETHEE V, feito por Brans & Mareschal (1998), dado que os sinais de todos os fluxos líquidos devem ser positivos na função objetivo da etapa de otimização do problema, Equação 2.18, em que os projetos serão ou não selecionados. Eles sugeriram transformar todos os fluxos líquidos do PROMETHEE II em valores não-negativos através de uma mudança de escala dos fluxos líquidos, como a seguinte transformação:

$$\phi'_i = \phi_i + |\min_i(\phi_i)| \quad (2.18)$$

Em que:

$\min_i(\phi_i)$ é o menor valor do fluxo líquido, que é negativo, considerando todas as alternativas.

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

$$\phi'_i = \phi_i + L \quad (2.19)$$

Com a aplicação da Equação 2.20 todos os projetos podem ser incluídos no portfólio selecionado pelo modelo, pois contribuem com o aumento da função objetivo.

Almeida & Vetschera (2012) mostraram que tornar todos os fluxos positivos não é o suficiente, uma vez que a mudança de escala com a Equação 2.20 pode também levar a recomendação de portfólios diferentes. Os autores mostraram que diferentes resultados podem ser obtidos pela Equação 2.20.

Como mostrado por Almeida & Vetschera (2012), enquanto transformações lineares de escalas não mudam os resultados do PROMETHEE II, elas podem alterar os resultados para portfólios no PROMETHEE V. Este tipo de alteração de escala funciona bem quando se avaliam alternativas através do PROMETHEE II, porém não funciona quando se avaliam portfólios, em que o valor do portfólio (p) depende do número de alternativas que ele apresenta.

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

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \quad (2.20)$$

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B \quad (2.21)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = c \quad (2.22)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

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

D) PLANO GAIA

O plano GAIA (*Geometrical Analysis for Iterative Assistance*) é um método por meio do qual é possível descrever e visualizar interativamente os dados dos métodos PROMÉTHÉE, de tal forma que completa de forma harmoniosa a análise dos resultados obtidos (BRANS & MARESCHAL, 2002). A partir das fórmulas dos fluxos de entrada, de saída e líquidos, pode-se obter a expressão para os fluxos líquidos unicritérios, conforme a Equação 2.20 a seguir:

$$\phi(a) = \sum_{j=1}^k \phi_j(a) \cdot w_j \tag{2.23}$$

$$\phi = \begin{vmatrix} \phi_1(a_1) & \phi_2(a_1) & \dots & \phi_j(a_1) & \dots & \phi_k(a_1) \\ \phi_1(a_2) & \phi_2(a_2) & \dots & \phi_j(a_2) & \dots & \phi_k(a_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_1(a_i) & \phi_2(a_i) & \dots & \phi_j(a_i) & \dots & \phi_k(a_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_1(a_n) & \phi_2(a_n) & \dots & \phi_j(a_n) & \dots & \phi_k(a_n) \end{vmatrix}$$

A informação relativa a um problema de decisão, incluindo k critérios, pode ser representada em um espaço k-dimensional (BRANS & MARESCHAL, 2002). No plano GAIA, são projetados pontos que representam:

- Ações α_i ($\Phi_1(a_i), \Phi_2(a_i), \dots, \Phi_j(a_i), \dots, \Phi_k(a_i)$) como A_i ($i = 1, 2, \dots, n$)
- Critérios e_j ($j=1, 2, \dots, k$) como c_j ($j=1, 2, \dots, k$)
- Pesos w : ($w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_k$), projetado como o eixo de decisão, que aponta para ações com melhores fluxos líquidos. À medida que os pesos são modificados, apenas o eixo de decisão se altera, o que fornece uma visualização da sensibilidade das ações aos pesos.

Um parâmetro δ possibilita medir o percentual de informação preservada na projeção sobre o plano. Na maior parte das aplicações reais, o valor de δ é superior a 70%. A Figura

2.2 mostra um exemplo da representação gráfica no plano GAIA para o caso de 12 (doze) ações e 6 (seis) critérios.

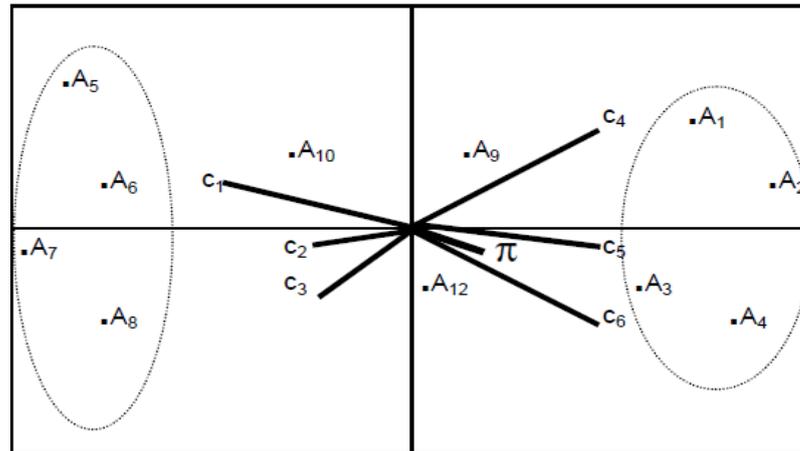


Figura 2.1 – Visualização das ações, critérios e eixo de decisão

Segundo Resende (2007), as seguintes conclusões podem ser obtidas na visualização do GAIA:

- Ações com projeções próximas têm performances similares no conjunto dos critérios;
- Se a imagem de uma ação estiver situada na direção de certos eixos de critérios, seu desempenho será melhor em relação aos critérios respectivos;
- Ações são incomparáveis (ou dificilmente comparáveis) se elas estiverem situadas em direções opostas no plano, como por exemplo, os grupos demarcados de ações na Figura 2.2;
- O tamanho do vetor π (eixo de decisão) é inversamente proporcional ao conflito dos critérios, isto é, quanto maior a concordância dos critérios, maior o vetor π ; e
- A ação será tanto melhor quanto mais distante estiver na direção do eixo de decisão π .

3 MODELO PROPOSTO PARA SELEÇÃO, PRIORIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS EM AMBIENTES DE RECURSOS RESTRITOS

A literatura apresenta vários modelos para seleção, priorização e programação de projetos. Nesses trabalhos, geralmente, os projetos são tratados de forma isolada ou, em casos em que há projetos inter-relacionados, as unidades de análise são as atividades. Sabe-se, no entanto, que as atividades dos projetos podem ser inúmeras, dependendo do trabalho a ser realizado. Percebe-se, portanto, a tendência de programar projetos, analisando-os de forma micro, ou seja, observando cada atividade separadamente.

Já no ambiente de múltiplos projetos, a quantidade de atividades aumenta e, conseqüentemente, a programação se torna mais complexa e apresenta uma linguagem difícil para o tomador de decisão. Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma visão macro para seleção, priorização e programação de projetos em ambientes de recursos restritos, através de um modelo. A abordagem envolve a programação de projetos a partir do melhor sequenciamento de sua execução, após eles terem sido selecionados e fazerem parte de um portfólio de projetos, respeitando as restrições existentes.

Em relação à programação de projetos, na literatura, podem ser visualizados também modelos nos quais os projetos já estão selecionados, não sendo priorizados no momento de execução. Esse tipo de cenário pode ocasionar atrasos na conclusão dos projetos, aumento no custo de execução final do projeto, entre outras conseqüências negativas.

Dessa forma, o modelo proposto neste estudo apresenta uma linguagem de fácil entendimento para os decisores compreenderem como ocorre o procedimento de seleção, priorização e programação de projetos. Tal modelo faz uso de uma visão macro, na qual se analisa o melhor sequenciamento de execução dos projetos, em vez de analisar cada atividade separadamente. Cabe ressaltar que a abordagem procura resultar em menores custos e respeitar todas as restrições existentes.

Os resultados gerados pelo modelo sugerido contarão com a análise de mais de um critério, ou seja, é um estudo no qual serão utilizados tanto critérios quantitativos como qualitativos. Essa consideração irá ajudar o tomador de decisão no momento de escolher os melhores sequenciamentos de execução dos projetos, assim como no procedimento para seleção e priorização do portfólio de projetos.

O modelo proposto envolve duas etapas: (1) seleção e priorização de projetos e (2) programação de projetos. A elaboração do modelo se baseou na revisão da literatura sobre seleção, priorização e programação de projetos com restrição de recursos, no ambiente de múltiplos projetos e no estudo dos principais modelos elaborados pela comunidade científica nos últimos anos.

Para definir a estrutura do modelo proposto, o processo de modelagem de problemas utilizando a decisão no âmbito clássico da Pesquisa Operacional foi adaptado à realidade do problema em estudo. O Quadro 3.1 apresenta os elementos que definiram a construção do modelo proposto, sumarizados ao longo das etapas definidas para estruturar o modelo.

Quadro 3.1 – Elementos empregados na construção do modelo

Etapa do Modelo	Metodologia da Pesquisa Operacional	Objetivo
Identificação do Cenário	Identificação do problema	Identificar os elementos essenciais que fazem parte do cenário de múltiplos projetos, auxiliando no entendimento da complexidade deste cenário.
Estruturação do Problema	Definição do problema	Definir o problema de decisão para facilitar a compreensão do problema e o tratamento dos seus dados.
Avaliação das Alternativas	Construção do modelo	Realizar a construção do modelo através da adaptação de métodos matemáticos já existentes na área de seleção, priorização e programação de projetos com restrição de recursos, no ambiente de múltiplos projetos.
Tomada de Decisão	Solução do modelo e sua implementação	Encontrar o portfólio dos n melhores projetos e, posteriormente, fazer as combinações desses projetos que gerem um uso eficiente de recursos, através da otimização do custo total dos projetos, atendendo as restrições de orçamento, o período de conclusão dos projetos e o tratamento dos recursos renováveis.

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Segundo Dye & Pennypacker (2000), ao selecionar e priorizar projetos, especialmente quando a alocação de recursos é um problema de gestão de múltiplos projetos, é importante considerar que:

“Os projetos devem ser: similares em tamanho e nível de complexidade; necessitam de poucos recursos únicos; prioridades completamente semelhantes a requisitos de licenciamento e balanceamento, sem omitir alguns projetos na atribuição de recursos; semelhantes disciplinas ou tecnologias.”.

Com isso, nesta pesquisa, os projetos serão priorizados com base na sua importância relativa e na sua contribuição para a estratégia global. Cada projeto deverá ser priorizado em relação a outros projetos que estão sendo avaliados, bem como àqueles que se encontram em andamento. Além disso, como as atividades e técnicas sofrem mudanças no ambiente, a prioridade de um ou mais projetos também pode mudar. Essas considerações permitirão que o tomador de decisão compare mais eficientemente os projetos.

Em múltiplos projetos, é relevante saber quanto tempo é necessário para completar todos os projetos. Mais precisamente, é interesse estimar a função de distribuição para o tempo total de duração do projeto. Essa distribuição depende diretamente da função distribuição do tempo de cada tarefa e das relações de precedência envolvidas. Assumindo que se tem um número fixo de recursos para o projeto todo, o tempo total de duração do projeto também depende da disponibilidade de recursos. Quando considerados aspectos econômicos, deve haver um *trade off* entre o tempo de duração do projeto e a utilização geral dos recursos (GHOMI & ASHJARI, 2002).

Os recursos utilizados na execução das atividades podem ser classificados atendendo à categoria, ao seu tipo ou ao valor associado, como afirma Leal (2007). Assim, os recursos se dividem em três categorias:

- Recursos renováveis: limitados apenas num dado período. Após sua utilização num dado período do horizonte de planejamento para a execução de uma determinada atividade, esses recursos voltam a estar disponíveis para nova utilização na mesma ou noutra atividade. Exemplos de recursos renováveis são as máquinas ou os recursos humanos;
- Recursos não renováveis: são aqueles limitados em todo o horizonte de planejamento do projeto. Existe uma quantidade limitada de um determinado recurso que, uma vez consumida, não volta a estar disponível para utilizar novamente. O orçamento disponível para a execução de um projeto é um exemplo de recurso não renovável;
- Recursos duplamente restritos: são recursos limitados num dado período e ao mesmo tempo no horizonte global de planejamento do projeto. Esses recursos podem sempre ser desdobrados em pelo menos um recurso renovável e num recurso não renovável. Um exemplo deste tipo de recursos poderá ser o dinheiro disponível para a realização global do projeto e que em cada período apenas está disponível um determinado montante.

Este trabalho compreende duas etapas: a de seleção e priorização de projetos e, em seguida, dentre os projetos selecionados, será realizada a programação de projetos com foco na minimização dos custos totais dos projetos. O esquema do modelo deste estudo pode ser visualizado na Figura 3.1.

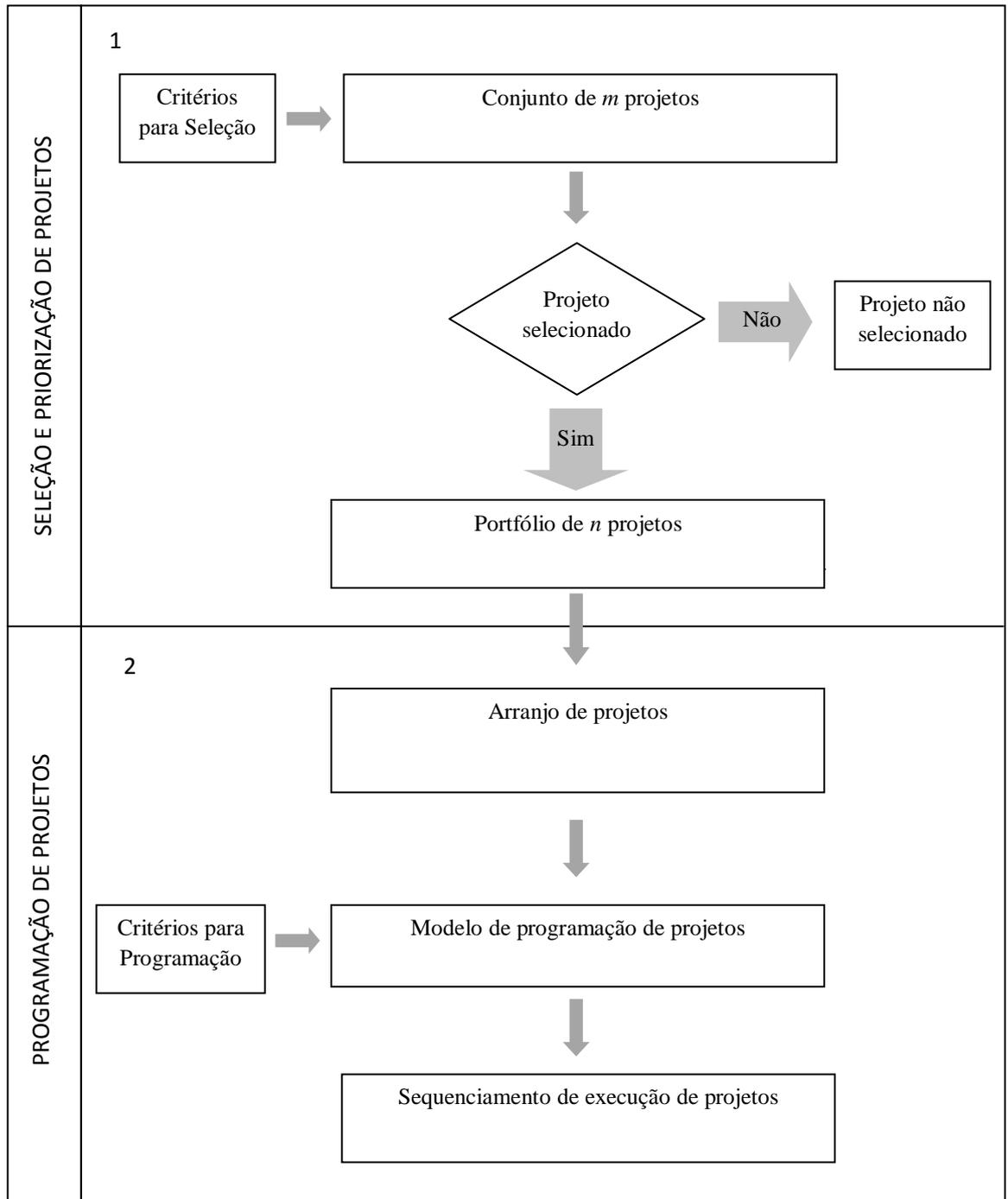


Figura 3.1 – Modelo proposto para seleção, priorização e programação de projetos com restrição de recursos em ambiente de múltiplos projetos

O problema em estudo trata da seleção de projetos dentro de um conjunto de m projetos que devem ser executados. Decidiu-se, portanto, selecionar o método PROMETHEE para trabalhar a problemática de escolha, considerando as restrições impostas. A vantagem desse método, segundo Brans & Mareschal (1998), é que ele requer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor quanto pelo analista. Além do mais, o método apresenta uma maior flexibilidade, uma vez que a seleção é do tipo de função de preferência e constitui um grau de liberdade importante para o decisor. Nesse caso, há dois graus de liberdade: o primeiro é relativo ao tipo de critério generalizado e o segundo, aos limites a definir.

No próximo tópico, será abordada de forma mais detalhada cada etapa da seleção e priorização de projetos.

3.1 Seleção e Priorização de Projetos

Na primeira etapa, como pôde ser observado na Figura 3.1, será considerado um conjunto de m projetos candidatos. Desse conjunto de projetos, será selecionado um portfólio contendo os n projetos resultantes da aplicação do método PROMETHEE.

No conjunto de m projetos candidatos, será necessário aplicar os métodos PROMETHEE II e V para selecionar um portfólio contendo os n projetos, já que são os métodos do AMD sugeridos para essa finalidade. Quando aplicado o PROMETHEE II, com auxílio do Visual PROMETHEE, os projetos são ordenados no sentido decrescente de $\Phi(a)$ como explicado no tópico 2.3.1.1. Posteriormente, os $\Phi(a)$ servirão como entrada para o desenvolvimento do método PROMETHEE V. Será utilizado nesse estudo um modelo que emprega o conceito de portfólios c -ótimos para o PROMETHEE V, sugerido por Almeida & Vetschera (2012).

Esses m projetos, pertencentes ao conjunto de projetos candidatos, apresentam as características necessárias apontadas por Dye & Pennypacker (2000), quando se está numa situação em que se pretende selecionar e priorizar projetos, especialmente quando a alocação de recursos é um problema de gestão de múltiplos projetos. Tais atributos são: similaridade em tamanho e nível de complexidade; necessidade de poucos recursos únicos; presença de prioridades completamente semelhantes a requisitos de licenciamento e balanceamento, sem

omitir alguns projetos na atribuição de recursos; e existência de semelhantes disciplinas ou tecnologias.

Entre os métodos oferecidos pela família PROMETHEE, foi selecionado o método PROMETHEE V, que mais se enquadra no problema em estudo. Para a aplicação desse método, é necessário decidir anteriormente quais critérios de decisão serão abordados na pesquisa. Por essa razão, foi feita uma busca na literatura dos principais critérios que estão sendo trabalhos recentemente para seleção e priorização de projetos. Os critérios em questão serão abordados a seguir.

A) Critérios de Decisão para Seleção e Priorização de Projetos

A identificação de critérios de decisão para seleção e priorização de projetos foi tratada por diversos autores, como: Amiri (2010), Asosheh *et al.*, (2010), Eilat *et al.*, (2008) e Duarte & Reis (2006) . Tais trabalhos adotam critérios de acordo com o tipo do projeto e o tipo da organização. Os estudos de casos de Padovani *et al.* (2008) mostram a existência de critérios de seleção e priorização de projetos, independentemente do tipo da instituição (pública ou privada), do setor em que a instituição atua, da sua rentabilidade e da sua localização. Na literatura, os principais critérios abordados estão contidos no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Proposta de critérios para seleção e priorização de projetos

Ênfase da Seleção	Critério da Seleção	Trabalhos que utilizaram o critério
Benefícios estratégicos	Melhoria da competitividade	Duarte & Reis (2006); Eilat <i>et al.</i> , (2008); Henriksen & Røstad (2010); Hsu <i>et al.</i> , (2003); Wey <i>et al.</i> (2007)
	Alinhamento estratégico	Asosheh <i>et al.</i> , (2010); Cáñez & Garfias (2006); Eilat <i>et al.</i> , (2008); Franco e Lord (2011); Meade & Presley (2002)
	Benefícios sociais	Dey (2006); Halouani <i>et al.</i> , (2009); Ren & Zhang (2008); Shang <i>et al.</i> (2004);
	Relacionamento com os outros projetos	Chen & Cheng (2009); Duarte & Reis (2006); Eilat <i>et al.</i> , (2008)
	Atendimento às necessidades dos colaboradores	Bai & Feng (2010); Meade & Presley (2002); Eilat <i>et al.</i> , (2008)
	Benefícios ambientais	Halouani <i>et al.</i> , (2009); Dey (2006); Meade & Presley (2002)
	Redução do uso de recursos naturais	Shang <i>et al.</i> (2004); Wang <i>et al.</i> (2005); Wey <i>et al.</i> (2007)
	Aprendizagem e conhecimento	Farrukh (2000); Lee & Kim (2001)
	Motivação da equipe	Eilat <i>et al.</i> , (2008); Tohumcu & Marasakal (2010)

Ênfase da Seleção	Critério da Seleção	Trabalhos que utilizaram o critério
Benefícios comerciais	Potencial de mercado/ faturamento	Asosheh et al., (2010); Cáñez & Garfias (2006); Chen & Cheng (2009); Eilat et al., (2008); Franco e Lord (2011)
	Benefícios totais	Wang et al. (2005); Wey et al. (2007); Hsu et al., (2003); Avineri <i>et al.</i> , (2000)
	Concorrência na área de projeto	Meade & Presley (2002); Jolly (2003)
Dificuldade técnica	Complexidade do Projeto	Eilat et al., (2008); Amiri (2010); Tohumcu & Marasakal (2010)
	Tempo envolvido	Amiri (2010); Tohumcu & Marasakal (2010); Eilat et al., (2008)
	Facilidade de execução e manutenção	Wang et al. (2005); Eilat et al., (2008); Chen & Cheng (2009)
Custos financeiros	Investimento total	Amiri (2010); Asosheh et al., (2010); Eilat et al., (2008); Farrukh (2000); Tohumcu & Marasakal (2010)
	Incertezas envolvidas	Asosheh et al., (2010); Eilat et al., (2008); Farrukh (2000); Tohumcu & Marasakal (2010)
	Investimento em tecnologia	Amiri (2010); Eilat et al., (2008)

Fonte: Esta pesquisa (2012)

A seguir, Quadro 3.3, será apresentado uma lista de proposta de critérios a serem considerados para esse modelo, na etapa de seleção e priorização de projetos. Contendo também seus conceitos.

Quadro 3.3 – Proposta de critérios para seleção e priorização de projetos consideradas nesse modelo

Critérios	Conceitos
Retorno esperado do projeto	O quanto se espera que o projeto retorne de lucro para a organização.
Alinhamento com a estratégia da empresa	Ferramenta de gestão que busca o alinhamento do conjunto de projetos de uma organização às suas metas.
Percepção de sucesso do projeto	Percepção adquirida pela experiência do decisor, obtida na execução de projetos anteriores e na previsão de execução de um determinado projeto no período determinado.
Complexidade do projeto	Grau de dificuldade técnica existente, influenciando tecnicamente no desenvolvimento e execução do projeto.

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Esses critérios podem ser mudados dependendo do ambiente no qual deseja aplicar esse modelo, sendo que esse ambiente tem que respeitar as características necessárias apontadas por Dye & Pennypacker (2000), e, sobretudo ser um portfólio com poucos projetos.

Por exemplo, no ambiente de TI esse modelo não é sugerido já que é um ambiente que possui muitos projetos distintos em tamanho e nível de complexidade, não possui semelhantes disciplinas ou tecnologias, necessita de muitos recursos únicos, dentre outras características que não respeitam os atributos apontados por Dye & Pennypacker (2000). Caso contrário da construção pesada que é um bom exemplo da aplicação do modelo, por ser um ambiente que apresenta as características necessárias apontadas por Dye & Pennypacker (2000).

O método multicritério PROMETHEE V, elaborado inicialmente por Brans & Mareschal (1992), apresenta uma abordagem voltada para seleção de portfólios. Esse método, porém, apresenta problemas em relação aos fluxos negativos gerados. Para solucionar esse impasse, foram sugeridas por Mavrotas *et al.* (2006) transformações de escala. Tais transformações, entretanto, ainda ocasionam distorções no resultado. Dessa forma, será utilizado neste estudo um modelo que emprega o conceito de portfólios c-ótimos, sugerido por Almeida & Vetschera (2012), para eliminar tais distorções decorrentes das mudanças de escalas. O algoritmo é exibido a seguir.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = c \quad (3.3)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Esse modelo consiste em selecionar o melhor portfólio contendo c projetos. Na equação, x_i é uma variável binária, indicando se o projeto i está incluso no portfólio ou não; b_i representa o custo do projeto; B é o orçamento avaliado, sendo a restrição para a implementação dos projetos. Almeida & Vetschera (2012) provaram que o portfólio c-ótimo para um dado valor c permanece o mesmo para qualquer valor do parâmetro de transformação k da formulação do modelo.

Neste estudo, o número de projetos pertencentes ao portfólio será fixado. A consequência dessa restrição é a eliminação do problema com as distorções devidas às mudanças de escala do PROMETHEE V, verificadas por Almeida & Vetschera (2012). Isso acontece porque, fixando a quantidade de projetos pertencentes ao portfólio, qualquer portfólio escolhido pelo problema fará parte da classe de portfólios.

Essa etapa terá como resultado um portfólio de projetos contendo n projetos, fixados de acordo com a sugestão de Almeida & Vetschera (2012). O resultado é o *input* para a realização da segunda etapa, referente à programação de projetos.

3.2 Programação de Projetos

Na etapa de programação de projetos, o método proposto por Liu & Wang (2011) será adaptado, a partir da combinação de todos os arranjos possíveis dos n projetos que farão parte do portfólio de projetos. Posteriormente, será empregado o método PROMETHEE II, um método de ordenação, que mostrará os melhores sequenciamentos de projetos. O método consegue priorizar as alternativas através de uma ordenação completa e, portanto, será capaz de fornecer o melhor sequenciamento de execução dos projetos. Tal sequência será definida com base na minimização dos custos totais, respeitando as restrições de orçamento, recurso e tempo, bem como outros fatores quantitativos e qualitativos.

No próximo tópico, será abordada de forma mais detalhada cada etapa da programação de projetos.

3.2.1 Programação de Projetos – Etapa 2

Nessa etapa foi escolhido o método proposto por Liu & Wang (2011), abordado no tópico 2.3.5, mostrado aqui novamente através das Equações 3.4 a 3.8. Pelo fato que o mesmo propôs um modelo de otimização, utilizando programação de problemas com restrição tempo-dependente de recursos. Apresentando, com isso, subsídios teóricos para construção do modelo proposto nesse estudo, cujo objetivo principal é o da minimização dos custos totais dos projetos, respeitando a restrição de orçamento, período para conclusão dos projetos e dos recursos renováveis. Com isso, esse método foi adaptado e utilizado nesse estudo, a partir da

combinação de todos os arranjos possíveis dos n projetos que farão parte do portfólio de projetos.

Segundo Iezzi *et al.* (1997), o conceito de arranjo é originado do princípio fundamental da contagem (PFC), e tem o seguinte definição: “dado um conjunto com n elementos distintos, chama-se de arranjos dos n elementos, tomados k a k a qualquer sequência ordenada de k elementos distintos escolhidos entre os n existentes”. A principal diferença entre o arranjo e combinação é que no arranjo, se mudarmos a ordem dos elementos de certo agrupamento, obteremos um novo agrupamento, já na combinação, mudando a ordem dos elementos de certo agrupamento, obteremos o mesmo agrupamento.

O método adaptado, de Liu & Wang (2011), para ser utilizado nessa etapa do trabalho ficou da seguinte forma:

$$TC_y = \sum_{i=1}^{ST_y} C_i \cdot pt_{iy} \quad \forall i \in ST_y; \quad y = 1, \dots, Y \quad (3.4)$$

Sujeito a

$$TC_y \leq BL_y \quad (3.5)$$

$$TSC = \sum_{y=1}^Y TC_y \quad \text{para } y = 1, \dots, Y \quad (3.6)$$

$$TSC \leq \sum_{y=1}^Y BL_y \quad \text{para } y = 1, \dots, Y \quad (3.7)$$

As Equações 3.4 a 3.7 mostram os cálculos de custos e restrições relacionadas com os n projetos selecionados durante um específico período de tempo. Nas equações, TC_y denota o custo total de todos os projetos executados no ano y . A mesma nomenclatura foi utilizada no método original. ST_y representa o número de projetos executados durante o ano y . No método original, não só apenas representa o número de projetos executados, mas, também, o número de projetos selecionados durante o ano y . Foi necessária uma modificação, já que o método atual partiu do pressuposto de que os projetos já estão selecionados.

C_i denota o custo do projeto i , sendo a mesma nomenclatura utilizada no método original. pt_{iy} é a porcentagem do arranjo de conclusão planejada do projeto (i) durante o ano y . A mesma nomenclatura foi utilizada no método original. Y é o ano total previsto para a

conclusão dos projetos executados. No modelo original, é o ano total previsto para a conclusão de projetos selecionados, portanto, foi necessário promover essa mudança de nomenclatura pelo fato de que nessa etapa se pressupõe que os projetos já estejam selecionados e serão apenas executados.

BL_y denota o limite de orçamento do ano y . A mesma nomenclatura foi utilizada no método original. TSC representa o custo total dos projetos executados. No método original, é o custo total dos projetos selecionados e foi necessário promover essa mudança de nomenclatura pelo fato de que neste estudo se pressupõe que os projetos já estejam selecionados e serão apenas executados.

Este trabalho também está preocupado com o tratamento de recursos renováveis tais como equipamentos, máquinas e recursos humanos especializados. A aquisição de diferentes estratégias ou comportamento da terceirização durante o horizonte de tempo planejado pode resultar em quantidades disponíveis variáveis de fontes renováveis ao longo do tempo, e limitações de recursos podem mudar continuamente.

Por exemplo, uma empresa de construção pesada pode executar projetos usando cinco guindastes no primeiro ano. No segundo ano, pode comprar ou arrendar mais dois guindastes, com o propósito de melhorar a eficiência do trabalho. Em contrapartida, é igualmente possível à empresa reduzir seu estoque de guindastes no segundo ano para reduzir seus custos.

Nesse contexto, o método adaptado de Liu & Wang (2011) para o tratamento de recursos renováveis a ser utilizado nessa etapa ficou com a seguinte restrição:

$$\sum_{i=1}^{SE_k} R_i^j \leq RL_k^j \quad \forall i \in SE_k; k = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, J \quad (3.8)$$

Em que SE_k é o conjunto de projetos em andamento em k dia; R_i^j representa as necessidades diárias para o recurso do tipo j para o projeto i ; RL_k^j denota o máximo recurso do tipo j disponível no dia k ; T denota a data de conclusão do projeto anterior; e J é o número de tipos de recursos. Os mesmos significados de todas variáveis para o tratamento de recursos renováveis utilizadas no método de Liu & Wang (2011) estão sendo utilizados neste estudo.

A adaptação do método de Wang & Liu (2011) proposta neste trabalho apresenta de forma sucinta a programação de problemas com restrição tempo-dependente de recursos, pressupondo os projetos já selecionados, pertencentes ao ambiente múltiplos de projetos. É

interessante lembrar que os projetos analisados são poucos e têm as características mencionadas no trabalho de Dye & Pennypacker (2000) para selecionar e priorizar projetos, especialmente quando a alocação de recursos é um problema de gestão de múltiplos projetos.

Através do método adaptado, o principal objetivo deste estudo é considerar a Equação 3.4, função objetivo de minimização do custo total dos projetos. Já as Equações de 3.4 a 3.8 são suas respectivas restrições. Tais restrições podem variar de acordo com o sequenciamento de execução de projetos.

Com auxílio do software de desenvolvimento e programação C/ C++ integrado e livre, denominado Dev C++, versão 4.9.9.2, foi possível elaborar dois pseudocódigos: o primeiro contendo as Equações 3.4 a 3.7, Apêndice 1, e o segundo contendo a Equação 3.8, mostrado no Apêndice 2.

Logo depois de feita a programação de projetos através da pesquisa operacional clássica, será realizada simulações utilizando um método de apoio de decisão multicritério. O propósito para tal é analisar não apenas critérios quantitativos utilizados na pesquisa operacional clássica, mas também critérios qualitativos, ou seja, critérios subjetivos do decisor, que em conjunto com a pesquisa operacional, fornecem um resultado mais próximo da realidade.

Dessa forma, o apoio de decisão multicritério veio complementar a programação de projetos feita pelo método proposto por Liu & Wang (2011), que será adaptado e utilizado nesta pesquisa.

É necessário que seja observado que os métodos de decisão multicritério não visam a encontrar uma solução que seja uma verdade única representada pela ação selecionada, ou seja, uma solução ótima para determinado problema, como observado na Pesquisa Operacional Clássica. A abordagem multicritério visa a apoiar o processo decisório, recomendando um curso de ação a ser seguido pelo decisor. Portanto, tão importante quanto à qualidade da informação disponível é a forma de tratamento analítico aplicado (ROY, 1996).

O problema de decisão em estudo, de programação de projetos, no ambiente de múltiplos projetos, envolve diversas alternativas que não são facilmente julgáveis pelo decisor, uma vez que sua avaliação sofre a influência de importantes critérios conflituosos que dificultam a programação entre as alternativas. Logo, trata-se de um problema multicritério. Neste contexto, a abordagem de Apoio Multicritério à Decisão pode ser utilizada em complemento à programação de projetos, utilizando a pesquisa operacional clássica.

Para definir o método multicritério a ser empregado na modelagem do problema de decisão, foram analisadas as características e as restrições do problema. Foi verificado que o método multicritério deve fornecer um *ranking* das alternativas de decisão, de acordo com a melhor performance média das alternativas relacionadas a todos os critérios considerados no processo decisório.

Como cada um dos critérios definidos deve ser considerado como critério de avaliação, o processo requer uma informação intercritério, resultante da importância relativa entre os critérios atribuída de acordo com as preferências do decisor. Dessa forma, a ordem obtida do *ranking* não pode ser compensatória, não devendo favorecer a compensação entre os critérios, ou seja, não deve priorizar alternativas que apresentam baixa performance em um critério.

A análise permitiu concluir que o problema de decisão requer o apoio de métodos multicritério não compensatórios que incorporam em sua formulação a informação intercritério. Logo, o método multicritério, que será utilizado neste estudo, é o método PROMETHEE II, que possibilita um ordenamento completo de alternativas, bem como apresenta flexibilidade para diversos tipos de aplicações e critérios.

Dessa forma, o método será utilizado para auxiliar no resultado dos melhores sequenciamentos de projetos. Interessante lembrar que esses ordenamentos devem gerar o uso eficiente de recursos através da minimização do custo total da execução dos projetos.

Além do PROMETHEE II, neste estudo, foi adicionado ao modelo o Plano GAIA com o intuito de contribuir na análise, de forma que seja possível visualizar graficamente o desempenho das alternativas em relação aos critérios. Por fim, vale dizer que o método PROMETHEE II, em conjunto com o plano GAIA, é recomendado para situações em que seja possível atribuir pesos aos critérios para o problema de programação de projetos.

Uma vez compreendidos os motivos de ter escolhido esse modelo de decisão multicritério, o PROMETHEE II, para ser trabalhado nesse estudo, pode-se descrever seu procedimento de aplicação. Para isso, a Figura 3.2 mostra um fluxo com a sequência do procedimento a ser adotado.

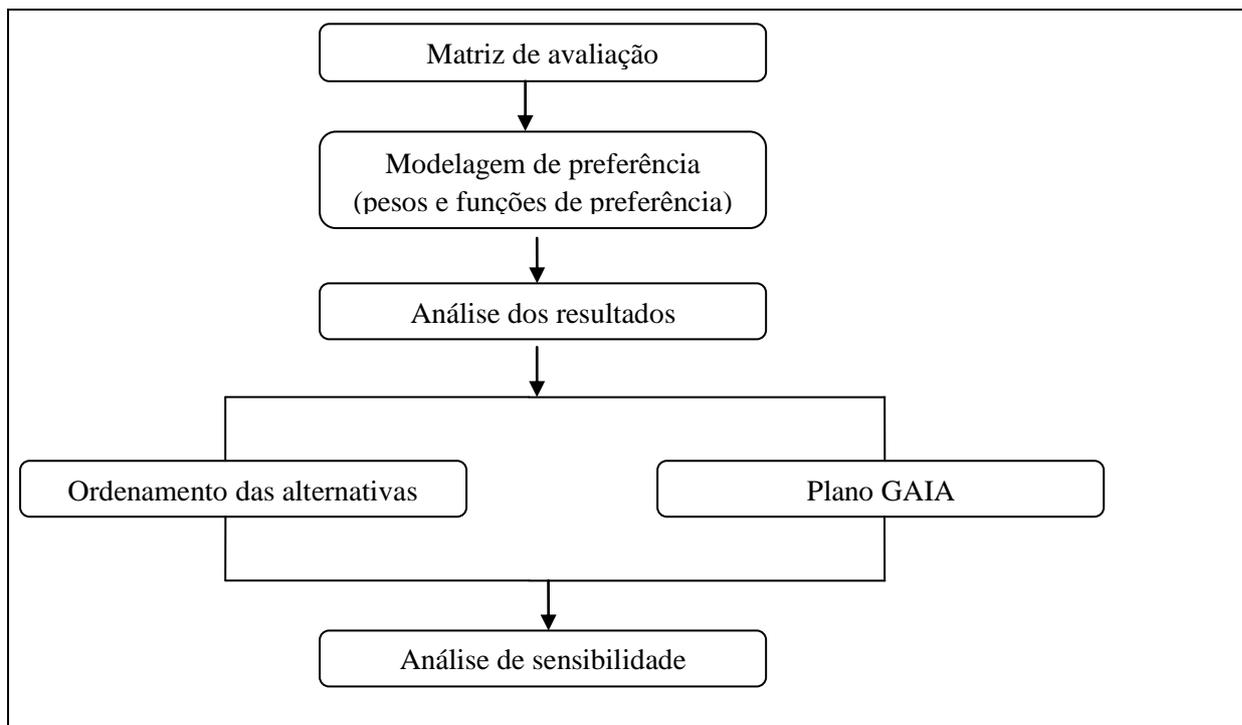


Figura 3.2 – Fluxo do PROMETHEE e o plano GAIA

Para aplicação da metodologia multicritério do PROMETHEE II, podem ser empregados os softwares PROMCALC, *Decision Lab 2000* e o Visual PROMETHEE, desenvolvidos para apoiar a utilização destes métodos para a resolução de problemas de decisão. Esses programas facilitam a obtenção do *ranking* das alternativas considerando os critérios definidos e as preferências do decisor. Para esse trabalho, será utilizado o software Visual PROMETHEE.

O resultado da aplicação da metodologia multicritério do PROMETHEE II, que se deseja obter nesse trabalho, é o ordenamento dos arranjos de projetos. Dessa forma, haverá o melhor sequenciamento de execução dos projetos, com base na minimização dos custos totais de projetos, respeitando as restrições de orçamento, recurso e tempo, bem como outros fatores quantitativos e qualitativos. Através da utilização do método PROMETHEE II, é possível priorizar as alternativas por intermédio de uma ordenação completa.

Para a aplicação desse método, é necessário decidir anteriormente quais critérios de decisão serão abordados na pesquisa. Por essa razão, foi feita uma busca na literatura dos principais critérios que estão sendo trabalhados recentemente para programação de projetos. Os critérios em questão serão abordados a seguir.

B) Critérios de Decisão para Programação de Projetos

Diversos critérios estão sendo utilizados para a análise de programação de projetos. Entre eles, segundo Cánez & Garfias (2006), se destacam os critérios pertencentes à área financeira como o VPL (valor presente líquido), o TIR (taxa interna de retorno) e o *Pay Back* (período de retorno do capital).

Avaliar projetos, entretanto, somente sob a ótica financeira tem se revelado insuficiente, já que se deixa de considerar outros fatores quantitativos ou qualitativos que podem impactar fortemente o resultado. No estudo de Cánez & Garfias (2006), foram identificadas também propostas de critérios adotados por diversas empresas, mostrados no Quadro 3.4. No mesmo estudo, alguns critérios foram levantados para a programação de projetos. Nesse trabalho, critérios foram apontados por diferentes empresas. Tais critérios foram indicados por serem aqueles mais utilizados na tomada de decisão pelos gestores, pertencentes aos três níveis organizacionais: operacional, tático e estratégico.

Quadro 3.4 – Critérios para programação de projetos para algumas empresas

Critérios Propostos por Diferentes Empresas	
Celanese	Adequação à estratégia do negócio
	Alavancagem da estratégia
	Probabilidade de sucesso técnico
	Probabilidade de sucesso comercial
	Recompensa para a companhia
DuPont	Alinhamento com a estratégia
	Valor
	Vantagem competitiva
	Atratividade de <i>marketing</i>
	Adequação à cadeia de suprimento existente
	Valor Presente Líquido
Exfo Engineering	Adequação à estratégia
	Potencial de mercado
	Análise financeira
	Capacidade interna de pesquisa e desenvolvimento
CENPES Petrobrás	Análise financeira
	Probabilidade de sucesso
	Impacto no meio ambiente
	Segurança operacional

Critérios Propostos por Diferentes Empresas	
CENPES Petrobrás	Segurança operacional
	Inovação
	Sustentabilidade
Lucent/Bell Laboratories	Impacto nas categorias de marketing
	Razão benefício/custo
	Risco (cenários otimista, mais provável e pessimista)
	Contribuição para iniciativas estratégicas
	Impacto em propriedade intelectual
	Impacto na Unidade de Negócio
Cooper	Alinhamento estratégico e importância
	Produto e vantagem competitiva
	Atratividade de marketing
	Alavancagem das competências core
	Viabilidade técnica
	Retorno financeiro versus risco

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Além desses estudos, foram desenvolvidos outros trabalhos aplicando o PROMETHEE II em cenários específicos. Entre eles, observou-se que os principais critérios utilizados pela comunidade científica, usados para programação de projetos, são aqueles descritos no Quadro 3.5. A maioria desses critérios é semelhante aos critérios descritos no Quadro 3.4.

Quadro 3.5 – Principais critérios utilizados para programação de projetos

Fator (Critério)	Tipo do Critério (Maximização ou Minimização)	Justificativa	Trabalhos que utilizaram o critério
Custo	Minimização	Utilizado como um dos fatores críticos de sucesso para as empresas	Lopes & Costa (2007); Duarte (2007); Albuquerque & Núñez (2010); Castro (2010); Almeida & Costa (2002); Prvulovic <i>et al.</i> (2011); Morcos (2008)
Custo e duração dos projetos	Maximização	Quanto maior o investimento e a duração na realização de uma atividade, maior será a prioridade desta atividade em relação às demais.	Guimarães (2009); Castro (2010)

Fator (Critério)	Tipo do Critério (Maximização ou Minimização)	Justificativa	Trabalhos que utilizaram o critério
Alinhamento estratégico	Maximização	Avalia o quanto o projeto está alinhado com o plano estratégico, refletindo a visão da gerência executiva da empresa.	Saliba (2009); Resende (2009); Duarte (2007); Castro (2010); Morcos (2008)
Valor Presente Líquido	Maximização	É o valor agregado para a empresa em milhões de dólares	Saliba (2009)
Investimento necessário	Minimização	Investimento direcionado para execução dos projetos, quanto menor, mais a empresa economiza.	Resende (2007)
Despesas operacionais	Minimização	Quando menor melhor para reduzir os gastos da empresa	Resende (2007); Castro (2010)
Sinergia entre as atividades do projeto	Maximização	São atividades em comum dos projetos para as quais as contribuições em conjunto é superior à soma das contribuições individuais	Duarte (2007); Saliba (2009)
Importância relativa entre os projetos	Maximização	É a importância relativa entre os critérios julgada pelo decisor segundo as suas preferências	Guimarães (2009)
Interdependência entre os projetos	Maximização	São projetos cujas contribuições estão condicionadas a outros projetos do grupo	Coffin & Taylor III (1996); Ghasemzadeh et al. (1999); Bradi et al. (2001); Liesio et al. (2006)
Importância Tecnológica	Maximização	É o grau da tecnologia utilizada para execução das atividades dos projetos	Duarte (2007); Guimarães (2009)
Complexidade de implementação do projeto.	Minimização	Quando envolve diversos ambientes e soluções tecnológicas como BI, ERP e Tecnologia web, tecnológicos como BI, ERP e Tecnologia web, além de envolver também acesso externo.	Castro (2010)

Fonte: Esta pesquisa (2012)

A seguir, Quadro 3.6, será apresentado uma lista de proposta de critérios a serem considerados para esse modelo, na etapa de programação de projetos. Contendo também seus conceitos.

Quadro 3.6 – Proposta de critérios para programação de projetos consideradas nesse modelo

Critérios	Conceitos
Custo	Diferença entre os custos totais gerados no primeiro ano para cada arranjo e o limite de orçamento disponível para execução dos n projetos no primeiro ano.
Prioridade do projeto	Prioridade de execução do projeto em relação ao ganho de conhecimento gerado.
Razão entre os recursos renováveis necessários e os recursos limitados	Avaliar a utilização eficiente dos recursos renováveis disponíveis para execução dos n projetos, para cada arranjo de projetos.
Interdependência entre os projetos	Analisar a relação de execução de projetos, ou seja, a relação na qual os projetos são executados juntos.

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Esses critérios podem ser mudados dependendo do ambiente no qual deseja aplicar esse modelo, sendo que esse ambiente tem que respeitar as características necessárias apontadas por Dye & Pennypacker (2000), e, sobretudo ser um portfólio com poucos projetos.

Para aplicação do modelo proposto, será necessário utilizar algumas ferramentas abordadas no próximo tópico.

3.3 Ferramentas utilizadas para aplicação do Modelo Proposto

Será utilizado o software Excel por ser um sistema de planilhas que pode ser facilmente usado por qualquer usuário. Para as simulações, nas quais será necessária a aplicação do PROMETHEE II, será empregado o software Visual PROMETHEE, que consiste numa ferramenta de análise multicritério e de apoio à decisão para a implementação dos métodos PROMETHEE. Também será utilizado o Solver, pertencente ao Excel, para a resolução do método PROMETHEE V.

É importante ressaltar que para a resolução do PROMETHEE V, será utilizado o Solver do Software Excel, com tolerância de 0,1%. Cabe colocar ainda que esse programa (0-1) também é nomeado como programação inteira e lida com problemas de otimização com função de várias variáveis, sujeitas às limitações do tipo equações e/ou inequações e também às restrições em que uma ou mais variáveis devem assumir apenas valores inteiros.

Em muitos modelos, variáveis inteiras são usadas para representar relações lógicas e por isso são limitadas a assumir valores iguais a 0 ou 1. Tais casos são denominados problemas de programação inteira 0-1 (zero-um) (NEMHAUSER & WOLSEY, 1999).

No próximo capítulo, será realizada uma simulação numérica, utilizando cenários hipotéticos que se aproximam da realidade das empresas da construção pesada, como exemplo, para demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto.

4 SIMULAÇÃO EM AMBIENTE DE CONSTRUÇÃO PESADA

Segundo pesquisas anteriores, uma investigação em empreiteiras de pequeno e médio porte mostrou que 84% das empresas de construção executam seus projetos em um ambiente de múltiplos projetos. Nesse tipo de ambiente, os problemas de programação com restrições de recursos são muito mais complicados do que aqueles em um único projeto. Um dos fatores mais importantes que influenciam esse tipo de problema é a política de alocação de recursos, de acordo com os tipos de recursos, que podem ser definidos pelo modo de aquisição de recursos e comportamento de compartilhamento.

Como o principal objetivo deste trabalho é a minimização dos custos totais dos projetos, respeitando a restrição de orçamento, período para conclusão dos projetos e dos recursos renováveis. Foi escolhido o ambiente da construção pesada por se tratar de um problema cujo portfólio de projetos é pequeno, os recursos renováveis são limitados e precisam ser compartilhados entre os projetos. Além de se tratar de um ambiente de múltiplos projetos que necessita de poucos recursos únicos, apresentam semelhantes disciplinas ou tecnologias, similaridade em tamanho e nível de complexidade e presença de prioridades completamente semelhantes a requisitos de licenciamento e balanceamento, sem omitir alguns projetos na atribuição de recursos.

Logo, esse ambiente foi escolhido para simulação do modelo proposto, já que nesse tipo de ambiente o tratamento com recursos limitados é bastante trabalhado e apresentam todos os atributos apontados por Dye & Pennypacker (2000).

Nesse contexto, será feita uma simulação em ambientes de construção pesada, dividida em duas etapas. A primeira será composta pela seleção e priorização de projetos e a segunda será a programação de projetos utilizando pesquisa operacional clássica. Posteriormente, essa simulação receberá o apoio da decisão multicritério.

Nessa simulação, os dados numéricos utilizados foram estipulados de acordo com as informações contidas nos diversos trabalhos citados ao longo desse estudo, dentre eles a pesquisa de Wang & Liu (2011), que também abordou o ambiente de múltiplos projetos para seleção, priorização e programação de projetos, utilizando dados realísticos através de estudo de caso, cuja programação de programação de projetos era realizada para cada atividade do projeto.

4.1 Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Seleção e Priorização de Projetos

Neste trabalho, serão apresentados cenários hipotéticos para seleção, priorização e programação de projetos. Considera-se que o conjunto de m projetos candidatos ao portfólio de projetos equivale a seis projetos nomeados de forma fictícia, a exemplo de A, B, C, D, E e F, e que, para selecionar um portfólio de projetos, será necessário utilizar os métodos PROMETHEE II e V.

Sendo assim, esse portfólio será constituído pelos n melhores projetos. Quando aplicado o PROMETHEE II, com auxílio do Visual PROMETHEE, os projetos serão ordenados no sentido decrescente de $\Phi(a)$, como explicado no tópico 2.4.4.1. Em seguida, os $\Phi(a)$ servirão para aplicar o método PROMETHEE V. Será utilizado neste estudo um modelo que emprega o conceito de portfólios c-ótimos para o PROMETHEE V, sugerido por Almeida & Vetschera (2012).

Esse conjunto de candidatos ao portfólio de projetos pertence ao ambiente de múltiplos projetos e apresenta as seguintes características: similares em tamanho e nível de complexidade; necessitem de poucos recursos únicos; possuem prioridades completamente semelhantes a requisitos de licenciamento e balanceamento, sem omitir alguns projetos na atribuição de recursos; e possuem semelhantes disciplinas ou tecnologias, conforme sugerido por Dye & Pennypacker (2000).

A partir disso, foram estipuladas de forma fictícia as restrições existentes para selecionar o portfólio dos projetos, que são os valores dos custos dos projetos, a duração de execução dos projetos, os recursos renováveis necessários R1 (considerados equipamentos) e os recursos renováveis R2 (considerados recursos humanos especializados).

Os dados sobre as restrições podem ser visualizadas na Tabela 4.1, elaborada no software Excel. O Excel foi adotado por ser um sistema de planilhas que pode ser facilmente utilizado por qualquer usuário.

Tabela 4.1 – Restrições para seleção e priorização dos projetos

Projetos	Custo de execução	Duração de execução dos projetos	Recursos renováveis necessários R1	Recursos renováveis necessários R2
A	90.000,00	395	10	8
B	92.000,00	285	15	7
C	100.000,00	355	14	9
D	170.000,00	515	16	10
E	150.000,00	405	20	11
F	190.000,00	550	19	15

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Definiu-se ainda que o limite de tempo para realização dos projetos é de até dois anos (720 dias). Já o limite de orçamento previsto para os dois anos foi determinado em R\$ 305.000,00. Por último, os limites dos recursos renováveis, R1 e R2, foram considerados como, respectivamente, 20 e 15.

O portfólio de projetos terá uma quantidade fixa de projetos equivalente a três projetos. A consequência dessa escolha é que serão eliminadas as distorções devidas à mudança de escala do PROMETHEE V, verificadas por Almeida & Vetschera (2012). Fixando a quantidade de projetos pertencentes ao portfólio, qualquer portfólio escolhido pelo problema fará parte da classe de portfólios com três alternativas, ou seja, três projetos.

Como está sendo feita uma simulação, supõe-se que o contexto do problema tenha sido avaliado e seus valores estipulados de acordo com aquilo que se espera do decisor. Logo, para fazer a seleção e priorização de projetos, será necessário construir a matriz de avaliação das alternativas em relação aos critérios cujas alternativas são o conjunto de candidatos a projetos, mencionados anteriormente. Os critérios adotados foram escolhidos com base os critérios sugeridos por diversos autores (Quadro 3.2).

Para essa etapa do estudo, os critérios analisados foram: o retorno esperado do projeto – Cr 1, o alinhamento com a estratégia – Cr 2, a percepção de sucesso – Cr 3 e a complexidade dos projetos – Cr 4. O critério Cr 1 refere-se ao retorno esperado do projeto, que é o quanto se espera que o projeto seja lucrativo para a organização.

Para o Cr1, foi definida uma escala de prioridade, considerando como escala verbal os níveis muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo de retorno esperado do projeto. Como as escalas verbais não podem ser utilizadas numa análise quantitativa, foi necessário converter

essas avaliações em porcentagens relacionadas ao quanto se espera de retorno econômico para execução de cada projeto. Dessa forma, tem-se uma transformação numérica. As conversões feitas para esse critérios estão descritas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 1

Escala Verbal	Descrição da escala verbal	Porcentagem	Escala Numérica
Muito Alto	Retorno esperado do projeto é muito alto, acima de 20%	Acima de 20%	5
Alto	Retorno esperado do projeto é alto, entre o intervalo[15%; 20%]	15% - 20%	4
Médio	Retorno esperado do projeto é médio, entre o intervalo[10%; 15%]	10% - 15%	3
Baixo	Retorno esperado do projeto é baixo, entre o intervalo[5%; 10%]	5% - 10%	2
Muito Baixo	Retorno esperado do projeto é muito baixo, até 5%	Até 5%	1

Fonte: Esta pesquisa (2012)

O critério Cr 2 refere-se ao alinhamento com a estratégia, pois a seleção de portfólio é uma ferramenta de gestão que busca o alinhamento do conjunto de projetos de uma organização às suas metas, proporcionando, com isso, os desdobramentos de seu plano estratégico. É um critério qualitativo, ou seja, subjetivo ao decisor, e por isso também foi definida uma escala de prioridade. Foram considerados na escala os níveis muito forte, forte, moderado, fraco e desprezível de alinhamento com a estratégia. Novamente, foi necessário converter essas avaliações subjetivas em escala numérica. As conversões feitas para esses critérios estão descritas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 2

Escala Verbal	Descrição da escala verbal		Escala Numérica
Muito Forte	Alinhamento com a estratégia muito forte		1,33
Forte	Alinhamento com a estratégia forte		1
Moderada	Alinhamento com a estratégia moderado		0,67
Fraco	Alinhamento com a estratégia fraco		0,33
Desprezível	Alinhamento com a estratégia desprezível		0

Fonte: Esta pesquisa (2012)

O critério Cr 3 tem ligação com a percepção de sucesso do projeto. Essa percepção é adquirida com a experiência do decisor na execução de projetos anteriores e na previsão de execução de um determinado projeto em um dado período. É um critério qualitativo, para tanto, foi definida uma escala de percepção de sucesso, considerando como escala verbal os níveis muito experiente, experiente, moderadamente experiente, pouco experiente e não experiente. Como essa escala verbal não pode ser utilizada numa análise comparativa foi necessário converter essas avaliações subjetivas, realizadas pelo decisor, em uma escala numérica. As conversões feitas para esse critério estão descritas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 3

Escala Verbal	Descrição da escala verbal	Escala Numérica
Muito Experiente	O decisor é muito experiente	4
Experiente	O decisor é experiente	3
Moderadamente Experiente	O decisor é moderadamente experiente	2
Pouco Experiente	O decisor é pouco experiente	1
Não Experiente	O decisor não é experiente	0

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Por fim, o critério Cr 4 está relacionado com a complexidade do projeto, que é o grau de dificuldade técnica existente, influenciando tecnicamente no desenvolvimento e execução do projeto. Esse também é um critério qualitativo e, por essa razão, foi definida uma escala de prioridade, considerando como escala verbal os níveis alta dificuldade, dificuldade acentuada, média dificuldade, baixa dificuldade e sem dificuldade técnica. Essa escala também foi transformada para uma escala numérica. As conversões feitas para esses critérios estão descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 4

Escala Verbal	Descrição da escala verbal	Escala Numérica
Alta Dificuldade	Alta dificuldade técnica	4
Dificuldade Acentuada	Acentuada dificuldade técnica	3
Média Dificuldade	Média dificuldade técnica	2
Baixa Dificuldade	Baixa dificuldade técnica	1
Sem Dificuldade	Sem dificuldade técnica	0

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Além disso, nessa simulação numérica, os pesos foram considerados com base na preferência do decisor fictício, utilizando uma escala no valor de 0 a 100, na qual o valor 0 representa a menor importância dada ao critério e o valor 100, a maior importância atribuída ao critério.

Depois de atribuídos os pesos dos critérios, seus valores foram normalizados, resultando em Cr 1=0,30, Cr 2=0,25, Cr 3=0,30 e Cr 4=0,15 (Tabela 4.6). Para os pesos dos critérios um e três, foi considerado o maior valor (100) porque, para qualquer organização, o foco está no lucro gerado pela execução do projeto e, conseqüentemente, no sucesso de sua execução.

Tabela 4.6 – Matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios de seleção e priorização de projetos

Alternativas	Cr 1 Retorno esperado do projeto	Cr 2 Alinhamento com a estratégia	Cr 3 Percepção de sucesso	Cr 4 Complexidade do projeto
A	2	1	3	3
B	3	1	3	2
C	3	0,67	2	3
D	1	0,33	1	1
E	2	0,33	1	2
F	1	0,67	2	1
Unidade de Medida	Escala Numérica	Escala Numérica	Escala Numérica	Escala Numérica
Peso	0,30	0,25	0,30	0,15
Tipo de Função	MAX	MAX	MAX	MAX
Função de Preferência	Tipo I– Critério Usual	Tipo I– Critério Usual	Tipo I– Critério Usual	Tipo I– Critério Usual
Limiar de Indiferença – q	-	-	-	-
Limiar de Preferência – p	-	-	-	-

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Para cada critério, foi solicitado ao decisor definir uma função de preferência para a comparação entre os pares de alternativas escolhidas entre as opções de funções de preferência associadas aos critérios generalizados sugeridos pelo PROMETHEE, contidos no Quadro 2.1. Na Tabela 4.6, também estão contidos a definição do decisor para cada função de preferência, de acordo com cada critério considerado, e os parâmetros requeridos por cada função.

Os objetivos dos critérios também estão expostos na Tabela 4.6. O objetivo em todos os critérios é uma função de maximização, já que se deseja resultar em um portfólio de projetos contendo os n melhores projetos, nos quais se utiliza o menor número de recursos renováveis, com uma menor duração e custo de execução.

Com auxílio do software Visual PROMETHEE, que consiste numa ferramenta de análise multicritério e de apoio à decisão para a implementação dos métodos PROMETHEE, foram introduzidos no software todos os dados contido na Tabela 4.6. A interface do software com o usuário é apresentada na Figura 4.1.

Scenario1	critério 1	critério 2	critério 3	critério 4
Unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆
Preferences				
Min/Max	max	max	max	max
Weight	0,30	0,25	0,30	0,15
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics				
Minimum	1,00	0,33	1,00	1,00
Maximum	3,00	1,00	3,00	3,00
Average	2,00	0,67	2,00	2,00
Standard Dev.	0,82	0,27	0,82	0,82
Evaluations				
A	2,00	1,00	3,00	3,00
B	3,00	1,00	3,00	2,00
C	3,00	0,67	2,00	3,00
D	1,00	0,33	1,00	1,00
E	2,00	0,33	1,00	2,00
F	1,00	0,67	2,00	1,00

Figura 4.1 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para seleção e priorização de projetos

Após a inserção das informações definidas pelo decisor, foi possível que o Visual PROMETHEE fornecesse o resultado da aplicação do PROMETHEE II para o problema de

decisão de seleção e priorização de projetos em ambientes de múltiplos projetos com restrição de recursos.

Foram obtidos os fluxos de sobreclassificação positivo ($\Phi+$) e negativo ($\Phi-$) e, conseqüentemente, o fluxo líquido de sobreclassificação Φ , para cada uma das alternativas. De acordo com o método PROMETHEE II, descrito no Capítulo 2, tópico 2.4, é o fluxo líquido que define as relações de sobreclassificação entre as alternativas. Os resultados são apresentados na Tabela 4.7

Tabela 4.7 – Resultado obtido para o fluxo líquido de sobreclassificação de cada uma das alternativas do processo decisório para seleção e programação de projetos

Alternativas	$\Phi+$	$\Phi -$	Φ
A	0,68	0,12	0,56
B	0,74	0,06	0,68
C	0,58	0,22	0,36
D	0,00	0,80	-0,80
E	0,18	0,62	-0,44
F	0,22	0,58	-0,36

Fonte: Esta pesquisa (2012)

O resultado da aplicação do método PROMETHEE II é dado pela ordenação decrescente dos valores dos fluxos líquidos das alternativas, estabelecendo uma pré-ordem completa entre as alternativas. Dessa forma, tem-se o *ranking* das alternativas definido pela ordem decrescente de preferências do decisor, Tabela 4.8, que mostra o ordenamento total das alternativas para o PROMETHEE II.

Tabela 4.8 – Ordenamento das alternativas para o PROMETHHE II – seleção e priorização de projetos

Ordem das Alternativas	Alternativas	Φ
1	B	0,68
2	A	0,56
3	C	0,36
4	F	-0,36
5	E	-0,44
6	D	-0,80

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Cabe lembrar que, neste estudo, o número de projetos pertencentes ao portfólio é fixado, sendo equivalente a três projetos. A consequência desta restrição é que serão eliminadas do problema as distorções devidas à mudança de escala do PROMETHEE V, verificadas por Almeida & Vetschera (2012). Assim, fixando a quantidade de projetos pertencentes ao portfólio, qualquer portfólio escolhido pelo problema fará parte da classe de portfólios com três alternativas, ou seja, três projetos.

Apesar de o PROMETHEE V usar a problemática de portfólio, suas bases utilizam o fluxo líquido do PROMETHEE II, fazendo apenas uma mudança de escala. Dessa forma, para efeito de comparação das alternativas, a Tabela 4.9 mostra a ordenação de todas as alternativas do problema considerado, com o fluxo líquido original e o fluxo adaptado, com auxílio da Equação 2.21. É bom lembrar que a adaptação com mudança de escala não muda a ordenação das alternativas, visto que o mesmo valor é somado ao fluxo de todas elas.

Tabela 4.9 – Ordenamento de todas alternativas com fluxo líquido e o fluxo adaptado ao PROMETHEE V

Alternativas	Fluxo líquido - PROMETHHE II	Fluxo líquido - PROMETHHE V
B	0,68	2,04
A	0,56	1,92
C	0,36	1,72
F	-0,36	1
E	-0,44	0,92
D	-0,8	0,56

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Esses novos valores dos fluxos líquidos adaptados, Tabela 4.9, são os coeficientes da função objetivo necessários para o procedimento do PROMETHEE V, visualizado na Equação 4.1.

$$\text{MAX } (1,92x_1 + 2,04x_2 + 1,72x_3 + 0,56x_4 + 0,92x_5 + x_6) \quad (4.1)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} 90.000,00x_1 + 92.000,00x_2 + 100.000,00x_3 + 100.000,00x_3 + 170.000,00x_4 + 150.000,00x_5 + \\ 190.000,00x_6 \leq 305.000,00 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$395x_1 + 285x_2 + 355x_3 + 515x_4 + 405x_5 + 550x_6 \leq 720 \quad (4.3)$$

$$10x_1 + 15x_2 + 14x_3 + 16x_4 + 20x_5 + 19x_6 \leq 20 \quad (4.4)$$

$$8x_1 + 7x_2 + 9x_3 + 10x_4 + 11x_5 + 15x_6 \leq 15 \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^6 x_i = 3 \quad (4.6)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

Com os fluxos calculados, o PROMETHEE V selecionou, através do modelo que emprega o conceito de portfólios c-ótimos sugerido por Almeida & Vetschera (2012), como seu portfólio “ótimo”, os seguintes projetos: $x_1 = 1$, $x_2 = 1$, $x_3 = 1$, $x_4 = 0$, $x_5 = 0$, $x_6 = 0$; $Z_{otimização} = 5,68$.

Portanto, pela aplicação do PROMETHEE V, sugerido por Almeida & Vetschera (2012), é recomendada a realização dos projetos A, B e C. Assim, esses são os três melhores projetos para constituir o portfólio de projetos necessários para a realização da segunda etapa desse estudo, referente à programação de projetos. Logo, esse portfólio de projetos é a solução que satisfaz as restrições das Equações 4.2 a 4.6 e permite a maior quantidade de fluxo líquido.

É importante ressaltar que, para a resolução do PROMETHEE V, foi utilizado o Solver do Software Excel, com tolerância de 0,1%. Esse programa (0-1), também nomeado como de programação inteira, lida com problemas de otimização de uma função de várias variáveis, sujeitas a limitações do tipo equações e/ou inequações e sujeita a restrições em que uma ou mais variáveis devem assumir apenas valores inteiros. Em muitos modelos, variáveis inteiras são usadas para representar relações lógicas, e por isso são limitadas a serem iguais a 0 ou 1, caso que denominamos problema de programação inteira 0-1 (zero-um) (NEMHAUSER & WOLSEY, 1999).

Para avaliar a consistência dos pesos estabelecidos pelo decisor, foi feita a análise de sensibilidade do problema. Durante a análise de sensibilidade, os pesos dos critérios foram variados em intervalos de 10%. Conclui-se de tal análise que o problema é robusto, uma vez que a ordem e a seleção dos projetos não foram modificadas quando foram alterados os pesos dos critérios em pequenas proporções.

4.2 Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Programação de Projetos

Como observado nos estudos mencionados anteriormente, seleção, priorização e programação de projetos com restrição de recursos em ambiente de múltiplos projetos na construção pesada ainda são um problema bastante discutido, merecendo atenção por se tratar de uma gestão de projetos complexos e de grande porte. Com isso, esta dissertação aborda esse tema e adapta o modelo proposto por Liu & Wang (2011), mostrado pelas Equações 2.12 a 2.15.

O modelo sugerido é aplicado aos três projetos fictícios A, B e C, já selecionados no tópico anterior. O propósito era encontrar os melhores sequenciamentos desses projetos, originados dos seis arranjos gerados pela combinação deles. O melhor sequenciamento deve otimizar o custo total dos projetos e usar eficientemente os recursos, respeitando as restrições de orçamento, tratamento de recursos renováveis e o período para conclusão dos projetos.

Foi necessária a adaptação do método de Liu & Wang (2011), explicada no capítulo três deste estudo, já que ele propôs um modelo de otimização utilizando programação de restrição para seleção de projetos e programação de problemas com restrição de tempo-dependente de recursos. Neste trabalho, os projetos A, B e C já foram selecionados com auxílio dos métodos PHOMETHEE II e V e serão executados por se tratar de projetos fundamentais para a construção pesada.

Buscando o melhor sequenciamento de execução de projetos que gerem um menor custo durante o período de execução, busca-se o melhor arranjo dos projetos que gerem o menor custo no final de cada ano até a conclusão de todos os projetos.

Atentando a estas ponderações, neste tópico será realizada a programação de problemas com restrição de tempo-dependente de recursos. Restrições de tempo-dependente são recursos especiais que estão disponíveis apenas em um determinado período de tempo, como o limite de orçamento anual (recurso não renovável) e o limite máximo de determinado recurso renovável.

Através do modelo adaptado, o principal objetivo desse estudo é considerar a Equação 3.4 como a função objetivo de minimização do custo total dos projetos e as Equações de 3.5 a 3.8 suas respectivas restrições, variando de acordo com o sequenciamento de execução de projetos, ou seja, dependendo de todos os arranjos originados pela combinação de todos os projetos.

Com auxílio do software de desenvolvimento e programação C/ C++ integrado e livre denominado Dev C++, versão 4.9.9.2, foi possível elaborar dois pseudocódigos: o primeiro contendo as Equações, 3.4 a 3.7, Apêndice 1, e o segundo contendo a Equação 3.8 (Apêndice 2). A finalidade foi simular seis cenários hipotéticos cuja função objetivo tem foco na minimização do custo total dos projetos e respeita a restrição de orçamento (recurso não renovável). O montante disponível do orçamento anual é considerado uma restrição, e seu valor pode ser determinado pelo planejador. As restrições referentes ao período de conclusão dos projetos e ao tratamento de recursos renováveis também devem ser observadas.

Foi necessária a elaboração de seis cenários já que o objetivo principal desse estudo é buscar o melhor sequenciamento de execução dos três projetos fictícios A, B e C, que gerem um menor custo durante o período de execução. Há uma procura pelo melhor arranjo dos projetos, que resulte no menor custo no final de cada ano, até a conclusão de todos os projetos.

É bom lembrar que o conceito de Arranjo, originado do princípio fundamental da contagem (PFC), segundo Iezzi *et al.* (1997), é: “dado um conjunto com n elementos distintos, chama-se arranjos dos n elementos, tomados k a k , a qualquer sequência ordenada de k elementos distintos escolhidos entre os n existentes”. A principal diferença entre o arranjo e a combinação é que no arranjo, se mudarmos a ordem dos elementos de certo agrupamento, obteremos um novo agrupamento. Já na combinação, mudando a ordem dos elementos de certo agrupamento, obteremos o mesmo agrupamento.

Logo nesse estudo, os n elementos distintos são os três projetos A, B e C e todos os seus possíveis arranjos são: (A, B, C), (A, C, B), (B, A, C), (B, C, A), (C, A, B) e (C, B, A).

A partir disso, foram estipulados de forma fictícia a data inicial, duração, data final e o custo de execução total de cada projeto para os seis cenários (Tabelas 4.10 a 4.16). A elaboração de Gráficos de Gantt da programação planejada para cada arranjo de projetos pode ser verificada nas Figuras 4.2 a 4.7. Todos os gráficos, nesta pesquisa, foram construídos com auxílio do software Excel.

Nessa simulação, para os custos de execução dos projetos A, B e C, foram considerados, respectivamente, os valores R\$ 90.000,00 R\$ 92.000,00 e R\$ 100.000,00, tendo o limite de tempo para realização dos projetos sido estipulado em dois anos. E ainda os limites anuais de orçamento previsto para os dois anos são, respectivamente, de R\$ 150.000,00 e R\$ 155.000,00 para cada ano.

Nesse estudo, como observado nas Tabelas 4.10 a 4.16, a data inicial, a duração e a data final foram estipuladas, de forma fictícia, com valores fixos para os seis cenários, alternando-se apenas o sequenciamento dos projetos A, B e C, correspondentes aos seis arranjos e, conseqüentemente, aos custos individuais referentes a cada projeto.

Podem ser encontrados nos Apêndices 3 a 8 tabelas referentes aos custos acumulados para cada cenário. As Figuras 4.17 a 4.22 trazem gráficos de custo acumulado para os seis cenários. Foram utilizadas como suporte para gerar os resultados contidos nessas tabelas e figuras a Equação 3.4, referente à função objetivo, e as Equações 3.5 a 3.8, referentes às restrições.

Para o primeiro cenário, a programação estipulada para o projeto A tem data inicial de 0 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto B tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto C tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.10 e Figura 4.2).

Tabela 4.10 - Dados utilizados para o primeiro cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
A	0	395	395	90.000,00
B	185	285	470	92.000,00
C	365	355	720	100.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

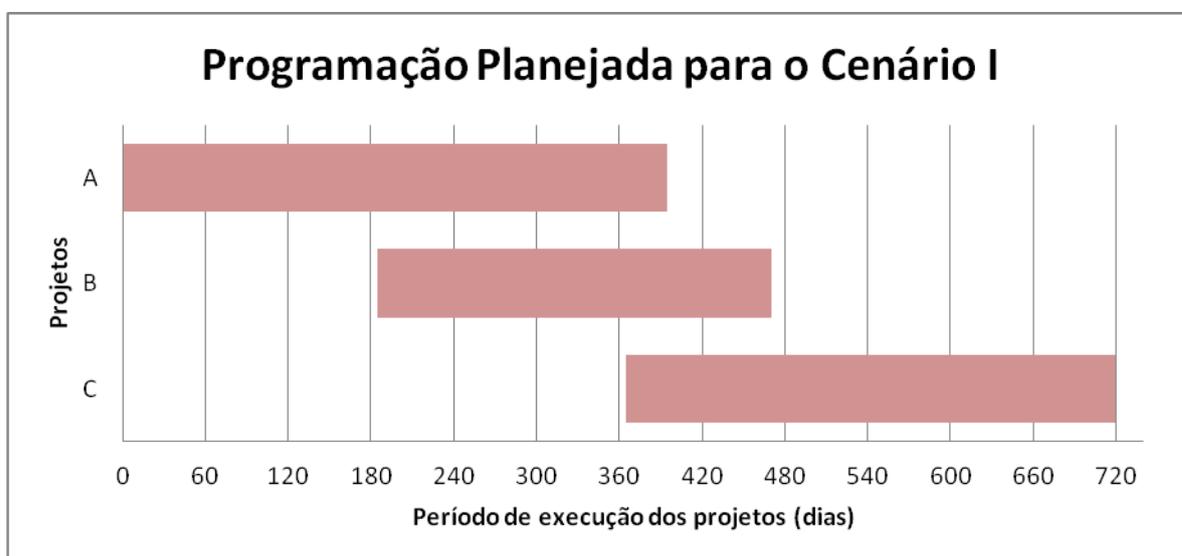


Figura 4.2 – Programação Planejada para o Cenário I

Para o segundo cenário, a programação estipulada para o projeto A tem data inicial de 0 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto C tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto B tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.11 e Figura 4.3).

Tabela 4.11 - Dados utilizados para o segundo cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
A	0	395	395	90.000,00
C	185	285	470	100.000,00
B	365	355	720	92.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

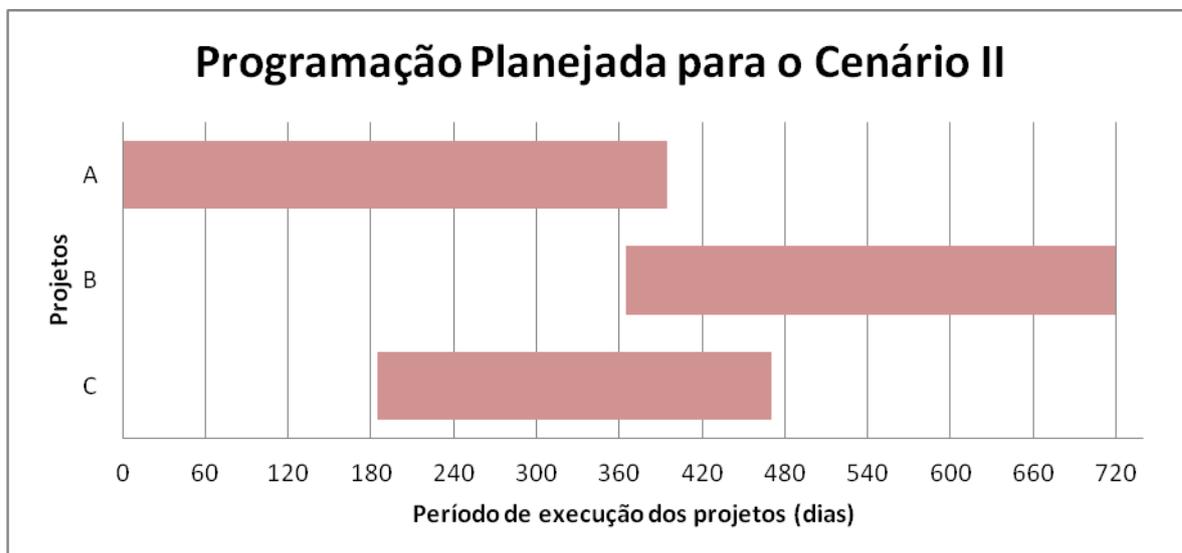


Figura 4.3 – Programação Planejada para o Cenário II

Para o terceiro cenário, a programação estipulada para o projeto B tem data inicial de 0 dia para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto A tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto C tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.12 e Figura 4.4).

Tabela 4.12 - Dados utilizados para o terceiro cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
B	0	395	395	92.000,00
A	185	285	470	90.000,00
C	365	355	720	100.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

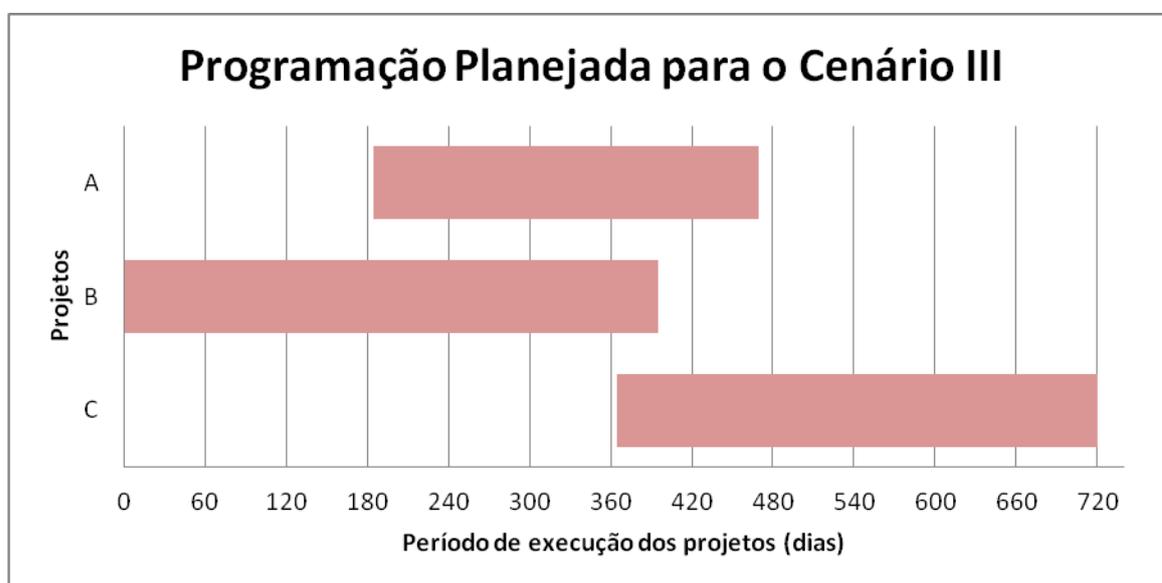


Figura 4.4 – Programação Planejada para o Cenário III

Para o quarto cenário, a programação estipulada para o projeto B tem data inicial de 0 dia para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto C tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto A tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.13 e Figura 4.5).

Tabela 4.13 - Dados utilizados para o quarto cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
B	0	395	395	92.000,00
C	185	285	470	100.000,00
A	365	355	720	90.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

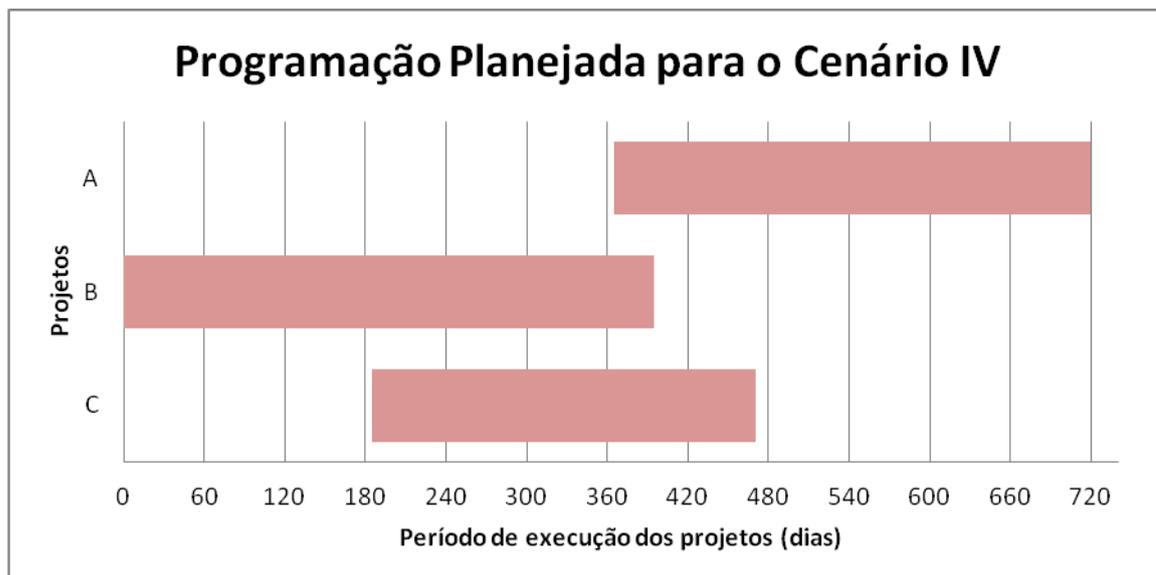


Figura 4.5 – Programação Planejada para o Cenário IV

Para o quinto cenário, a programação estipulada para o projeto C tem data inicial de 0 dia para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto A tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto B tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.14 e Figura 4.6).

Tabela 4.14 - Dados utilizados para o quinto cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
C	0	395	395	100.000,00
A	185	285	470	90.000,00
B	365	355	720	92.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

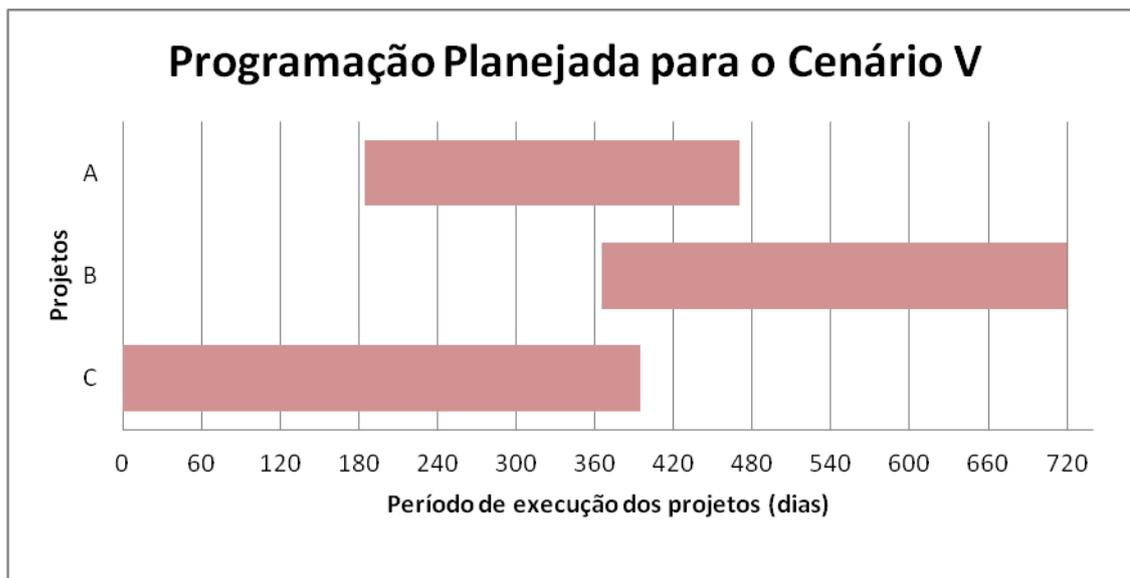


Figura 4.6 – Programação Planejada para o Cenário V

Para o sexto cenário, a programação estipulada para o projeto C tem data inicial de 0 dia para iniciar a execução do projeto e data final de 395 dias; o projeto B tem data inicial de 185 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 470 dias; e o projeto A tem data inicial de 365 dias para iniciar a execução do projeto e data final de 720 dias (Tabela 4.15 e Figura 4.7).

Tabela 4.15 - Dados utilizados para o sexto cenário

Projeto	Data Inicial	Duração	Data Final	Custo (R\$)
C	0	395	395	100.000,00
B	185	285	470	92.000,00
A	365	355	720	90.000,00

Fonte: Esta pesquisa (2012)

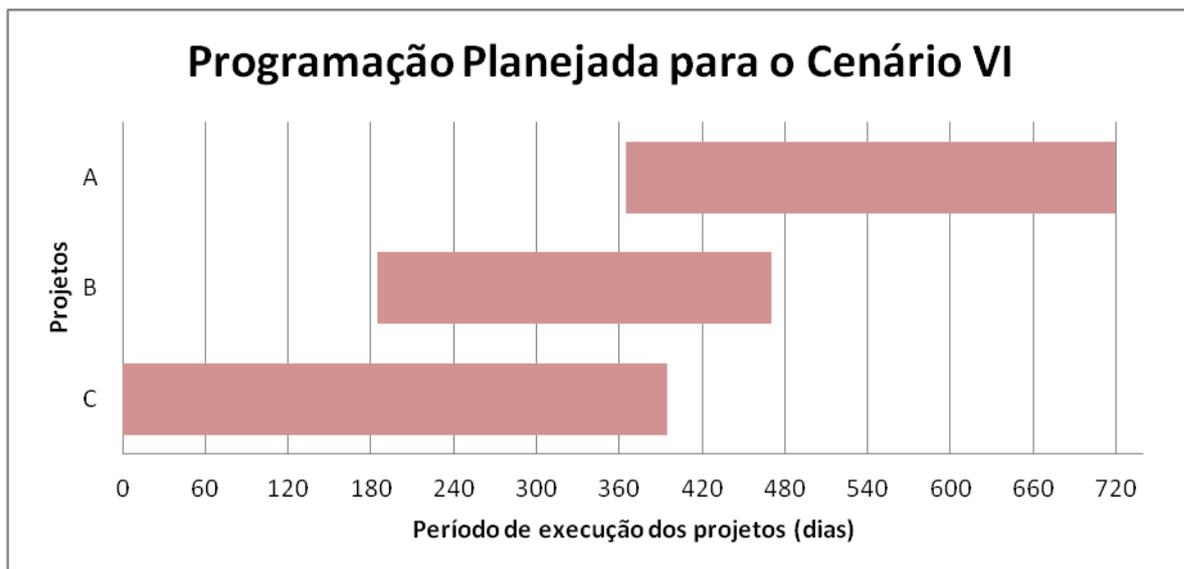


Figura 4.7 – Programação Planejada para o Cenário VI

Os gráficos contidos nas Figuras 4.8 a 4.13 mostram o custo acumulado para os seis cenários, elaborado pela Equação 3.4, referente à função objetivo, e pelas Equações 3.5 a 3.8, referente às restrições que resultaram nas tabelas contidas nos Apêndices 3 a 8.

A Figura 4.8 mostra que os custos para executar o arranjo (A, B, C) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 138.516,54 e R\$ 143.483,46, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

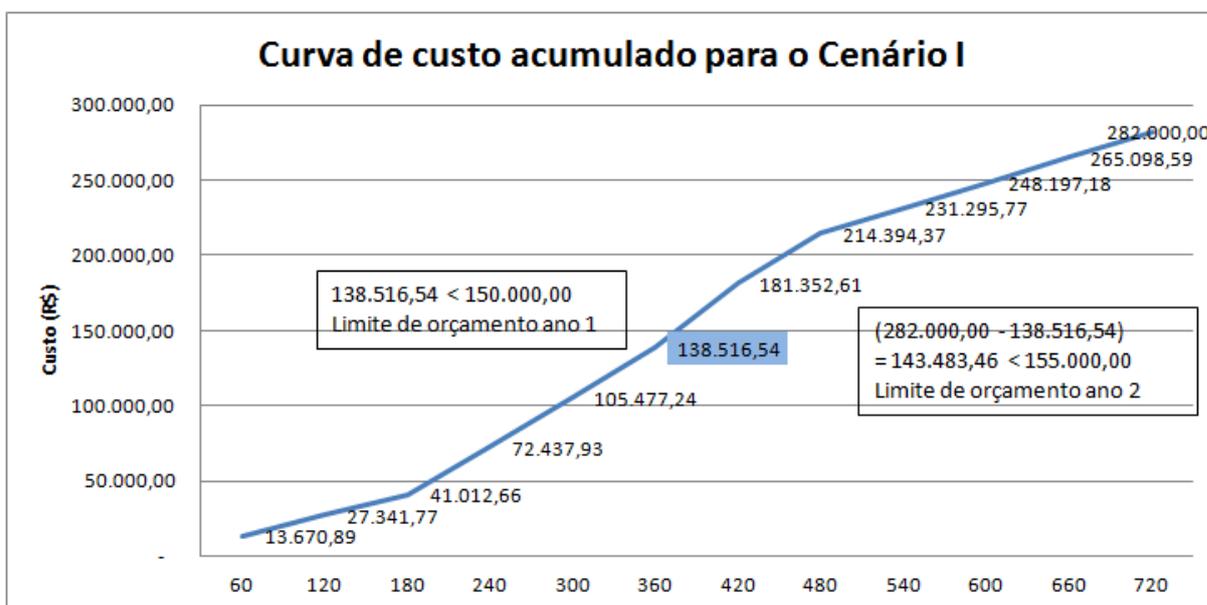


Figura 4.8 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário I

A Figura 4.9 mostra que os custos para executar o arranjo (A, C, B) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 143.428,83 e R\$ 138.571,17, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

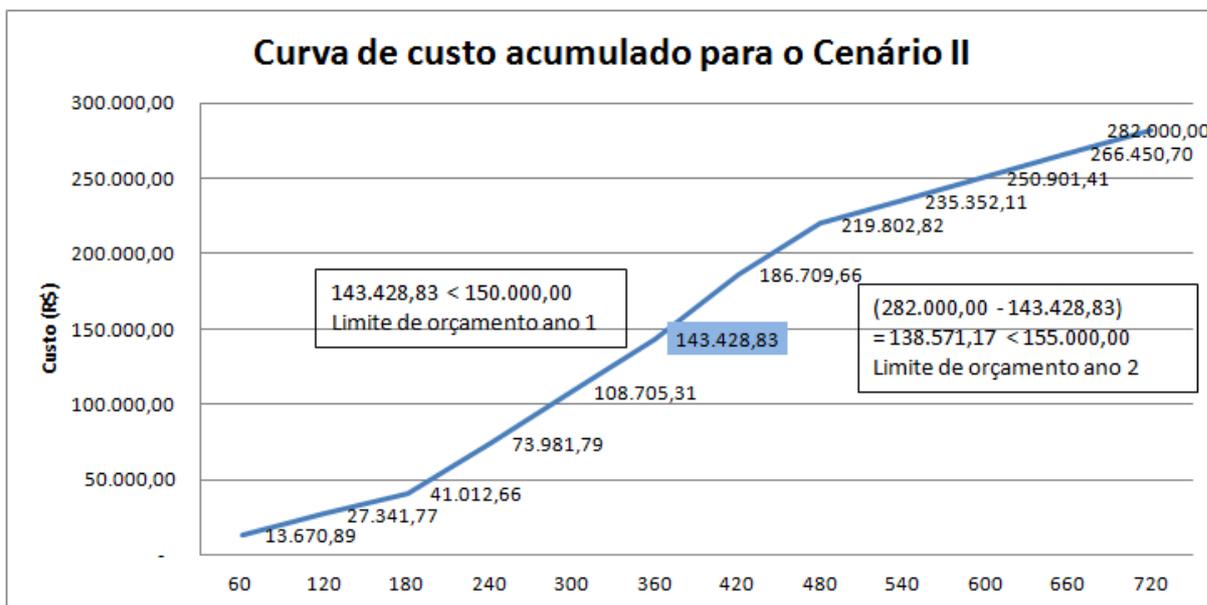


Figura 4.9 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário II

A Figura 4.10 mostra que os custos para executar o arranjo (B, A, C) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 139.111,26 e R\$ 142.888,74, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

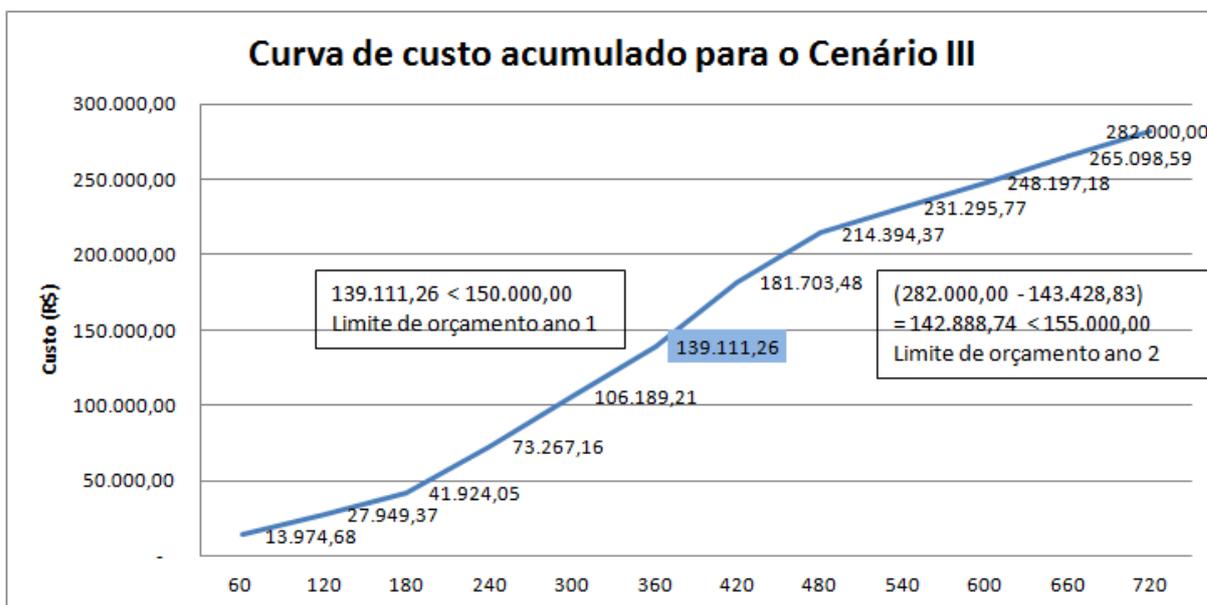


Figura 4.10 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário III

A Figura 4.11 mostra que os custos para executar o arranjo (B, C, A) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 145.251,61 e R\$ 136.748,39, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

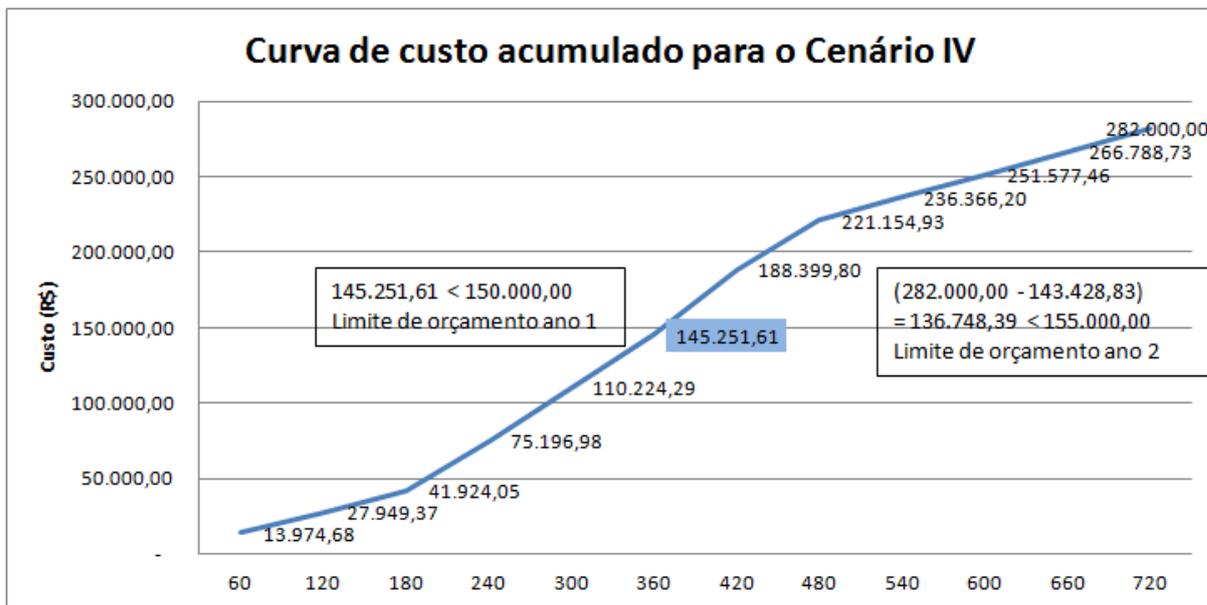


Figura 4.11 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário IV

A Figura 4.12 mostra que os custos para executar o arranjo (C, A, B) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 146.402,40 e R\$ 135.597,60, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

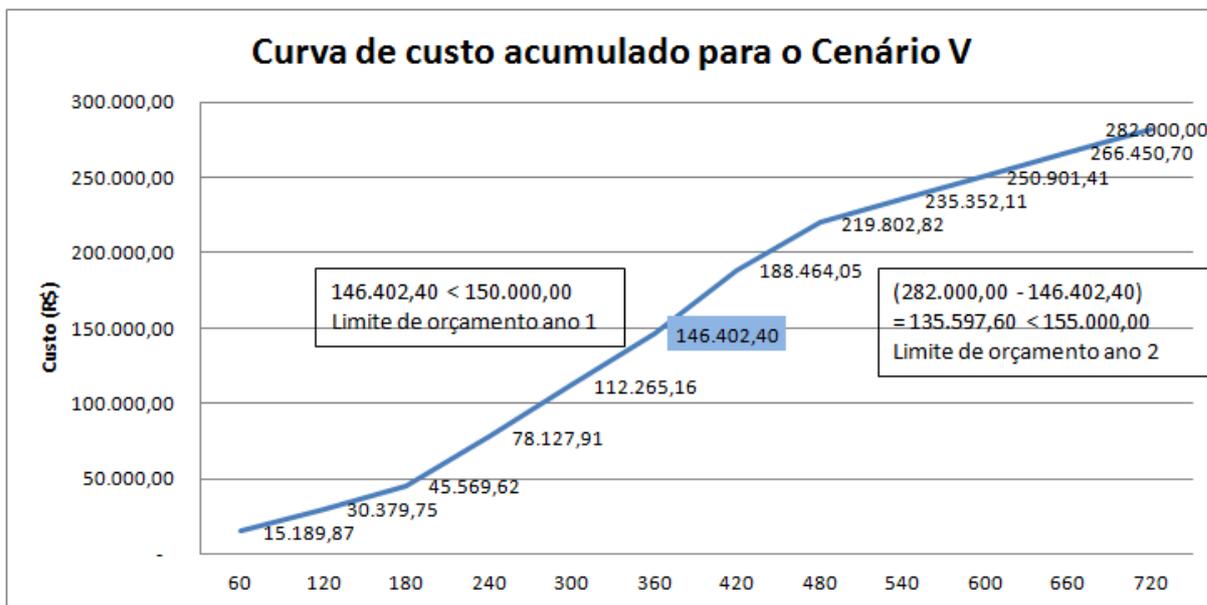


Figura 4.12 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário V

A Figura 4.13 mostra que os custos para executar o arranjo (C, B, A) para o primeiro e o segundo ano equivalem, respectivamente, a R\$ 147.630,47 e R\$ 134.369,53, respeitando a restrição de orçamento para o primeiro e o segundo ano.

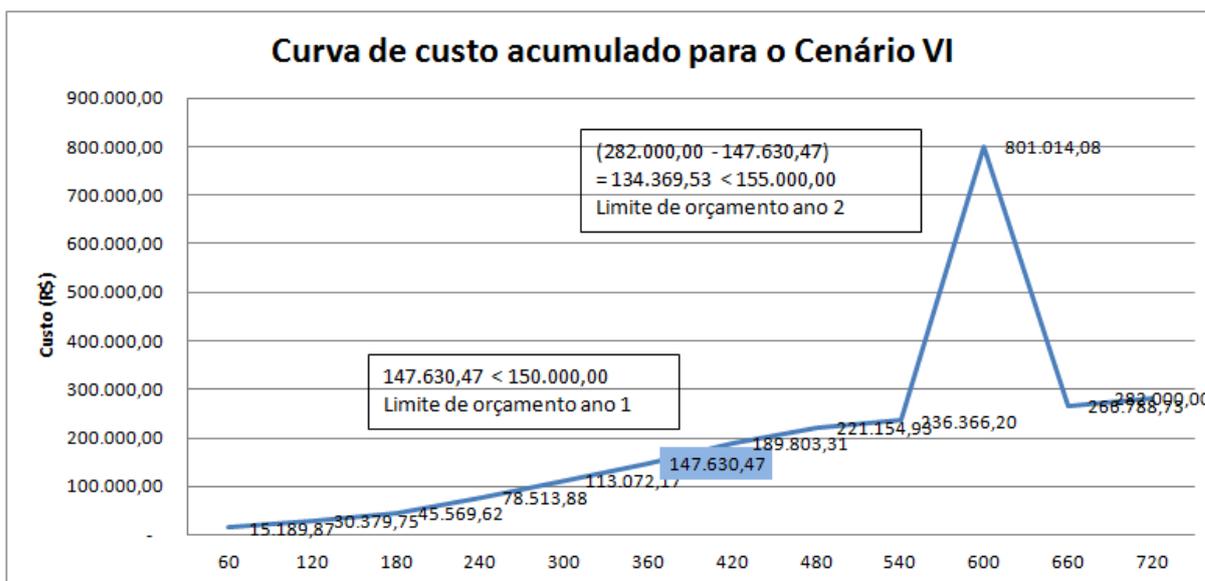


Figura 4.13 – Curva de Custo Acumulado para o Cenário VI

Os gráficos das Figuras 4.8 a 4.13 mostram que a ordem crescente dos arranjos que minimizam o custo de execução dos projetos para o primeiro ano é: (A, B, C), (B, A, C), (A, C, B), (B, C, A), (C, A, B) e (C, B, A). E a ordem crescente dos arranjos que minimizam o custo de execução dos projetos para o segundo ano é: (C, B, A), (C, A, B), (B, C, A), (A, C, B), (B, A, C) e (A, B, C).

Assim, pode-se concluir que, no primeiro ano, os arranjos (A, B, C) e (B, A, C) apresentam os custos mais reduzidos e os arranjos (C, B, A) e (C, A, B), os custos mais elevados. Já no segundo ano, os arranjos (C, B, A) e (C, A, B) apresentaram os custos mais reduzidos e os arranjos (B, A, C) e (A, B, C), os custos mais elevados. Os arranjos que apresentaram custos mais reduzidos no primeiro ano apresentaram custos elevados no segundo ano, sendo o inverso também recíproco. Logo, os arranjos que minimizam o custo de execução dos projetos são: (A, C, B) e (B, C, A).

Analisando agora o tratamento dos recursos renováveis, correspondente à restrição contida na Equação 3.8, com auxílio do pseudocódigo, localizado no Apêndice 2, foram elaborados as Tabelas, 4.16 a 4.21 e as Figuras, 4.14 a 4.25 para os seis cenários.

Nas Tabelas 4.16 a 4.21, estão contidos os limites dependentes do tempo, ou seja, dependentes do período, em dias, que cada recurso está disponível para os seis cenários. Esses

limites foram estipulados através da relação de porcentagem de conclusão planejada do projeto i durante o ano y e da quantidade necessária de cada recurso para execução de cada projeto, com o propósito de gerar um uso eficiente dos recursos.

A quantidade de recursos R1 e R2 necessários para execução de cada projeto foi estipulada de forma fictícia, para um período de tempo e para cada cenário, mostrada pelas Figuras 4.14 a 4.25, levando em consideração o tratamento dos recursos renováveis.

Cabe lembrar que os dois recursos renováveis hipotéticos, nomeados de R1 e R2, correspondem, respectivamente, a equipamentos e recursos humanos especializados. As tabelas representam o limite máximo de recursos R1 e R2 disponíveis para os períodos: 0-180 dias, 180-360 dias, 360-540 dias e 540-720 dias. Já as figuras mostram a quantidade de recursos R1 e R2 necessários para execução de cada projeto de acordo com os períodos: 0-180 dias, 180-360 dias, 360-540 dias e 540-720 dias.

Para o cenário I, exibido na Figura 4.14, os recursos R1 necessários para execução dos projetos, correspondente ao sequenciamento (A, B, C), são, respectivamente, 18, 24 e 29 unidades para os projetos. Esses valores estão respeitando, como observado na Tabela 4.16, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.16 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o primeiro cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	9	23	26	15
Recurso R2	10	22	21	12

Fonte: Esta pesquisa (2012)

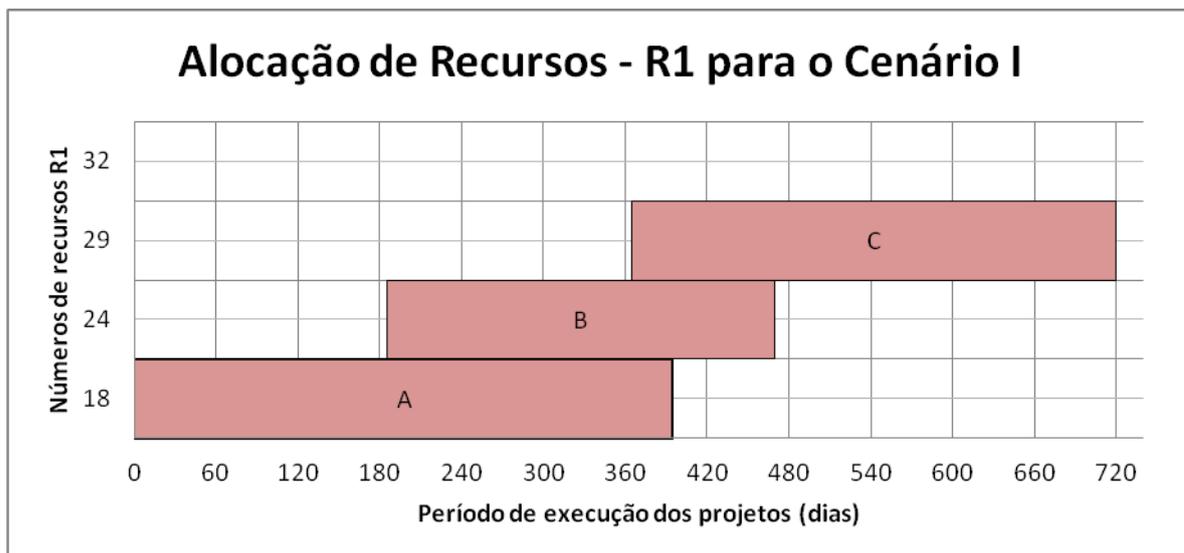


Figura 4.14 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário I

Para o cenário I, exibido na Figura 4.15, os recursos R2 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (A, B, C), são, respectivamente, 20, 21 e 22 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.16, o limite disponível de recursos R2.

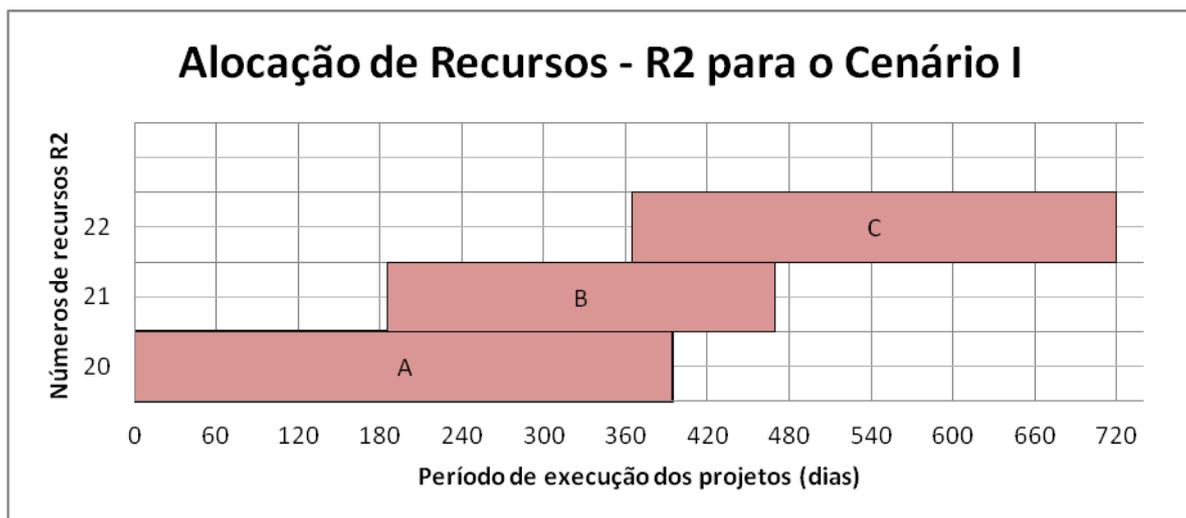


Figura 4.15 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário I

Para o cenário II, exibido na Figura 4.16, os recursos R1 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (A, C, B), são, respectivamente, 18, 22 e 20 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.17, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.17 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o segundo cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	9	22	20	11
Recurso R2	9	22	20	12

Fonte: Esta pesquisa (2012)

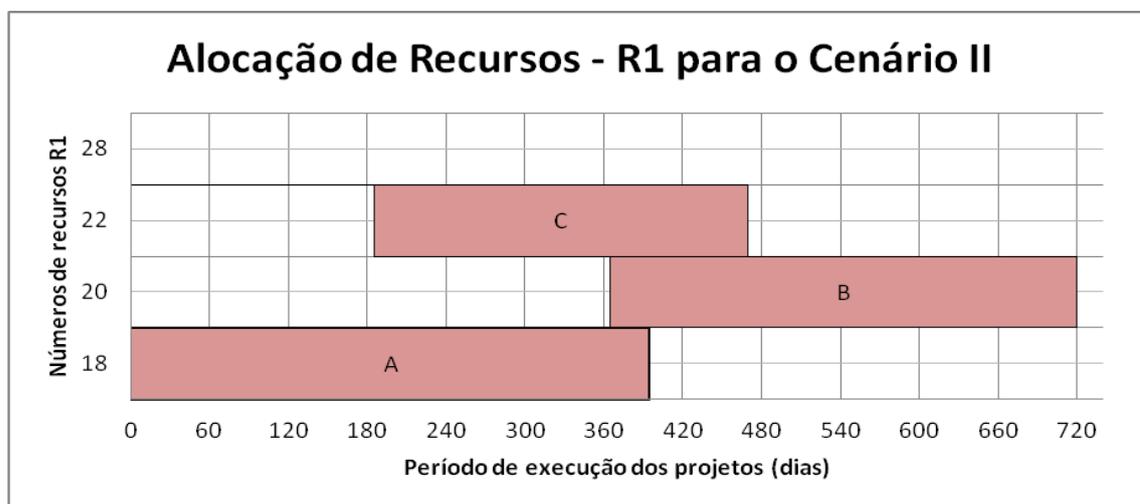


Figura 4.16 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário II

Para o cenário II, exibido na Figura 4.17, os recursos R2 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (A, C, B), são, respectivamente, 18, 21 e 19 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.17, o limite disponível de recursos R2.

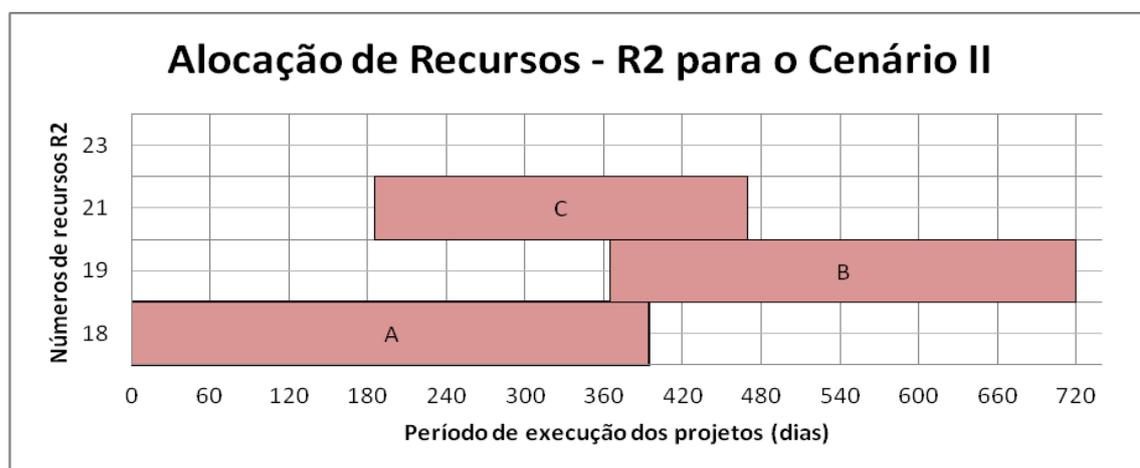


Figura 4.17 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário II

Para o cenário III, exibido na Figura 4.18, os recursos R1 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (B, A, C), são, respectivamente, 20, 19 e 23 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.18, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.18 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o terceiro cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	10	21	21	12
Recurso R2	9	20	19	11

Fonte: Esta pesquisa (2012)

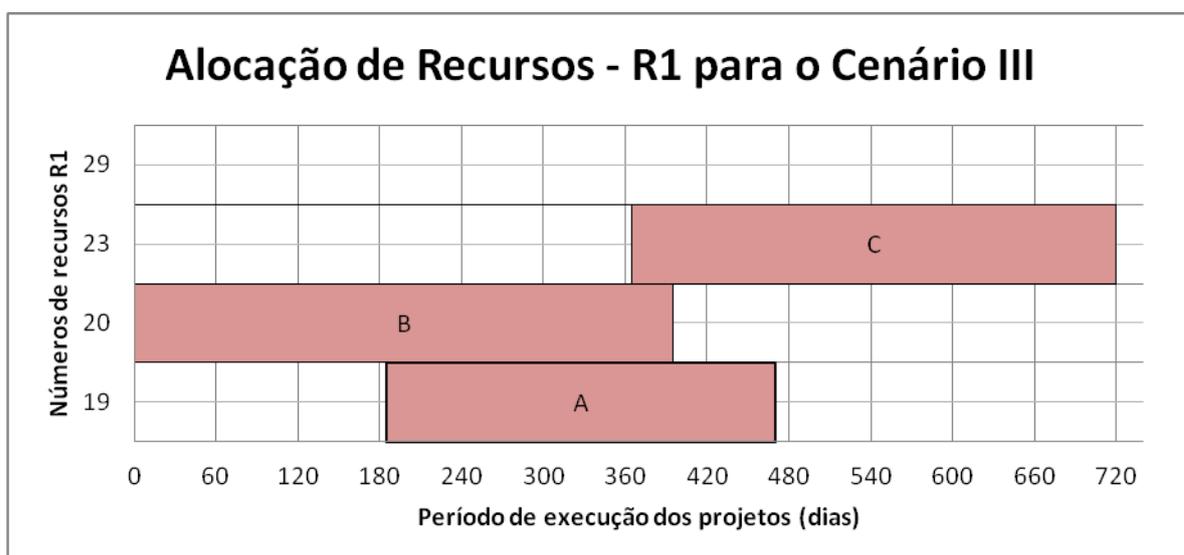


Figura 4.18 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário III

Para o cenário III, exibido na Figura 4.19, os recursos R2 necessários para execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (B, A, C), são, respectivamente, 19, 18 e 20 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.18, o limite disponível de recursos R2.

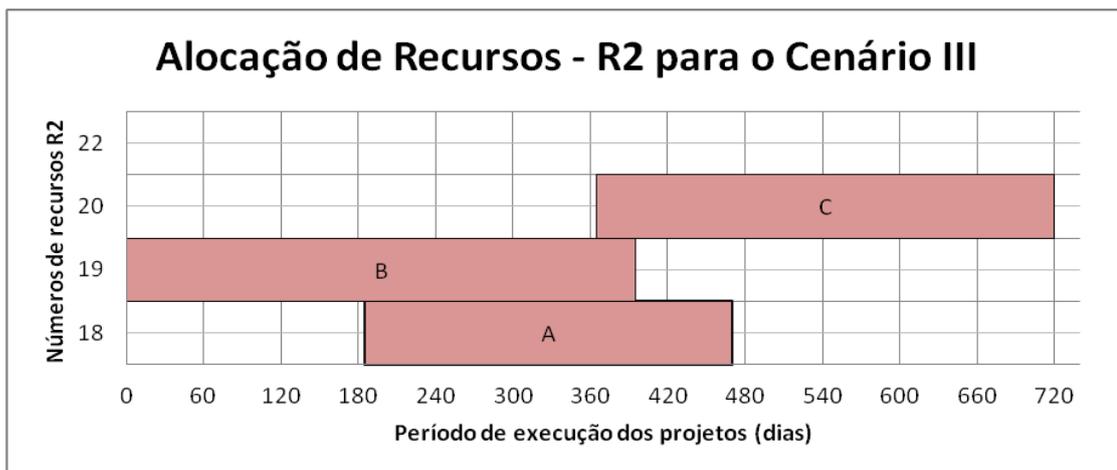


Figura 4.19 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário III

Para o cenário IV, exibido na Figura 4.20, os recursos R1 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (B, C, A), são, respectivamente, 20, 21 e 19 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.19, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.19 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o quarto cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	10	22	20	10
Recurso R2	9	20	18	9

Fonte: Esta pesquisa (2012)

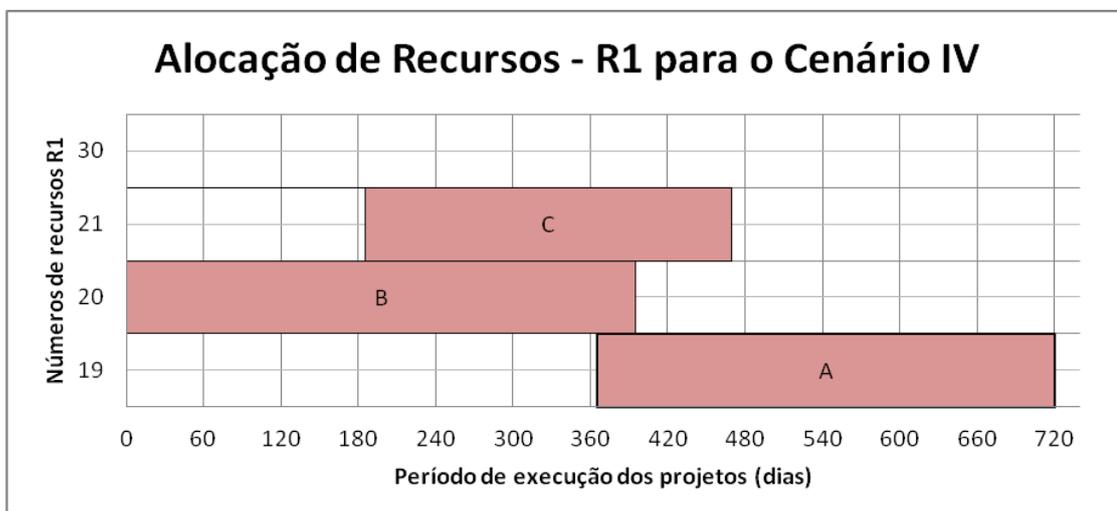


Figura 4.20 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário IV

Para o cenário IV, exibido na Figura 4.21, os recursos R2 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (B, C, A), são, respectivamente, 18, 19 e 17 unidades para os projetos, respeitando, como observado na Tabela 4.19, o limite disponível de recursos R2.

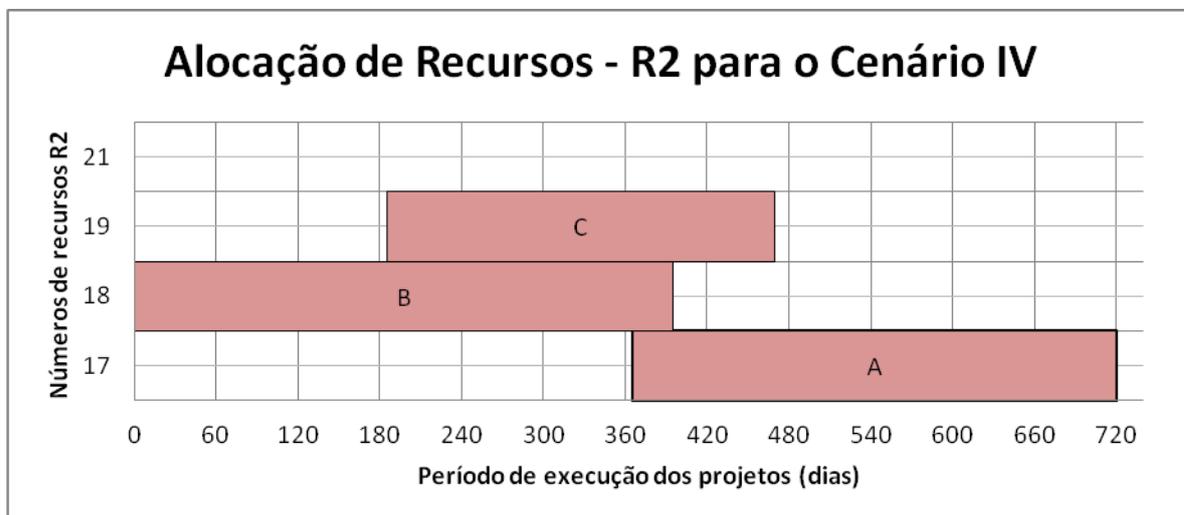


Figura 4.21 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário IV

Para o cenário V, exibido na Figura 4.22, os recursos R1 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (C, A, B), são, respectivamente, 22, 20 e 21 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.20, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.20 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o quinto cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	11	23	20	11
Recurso R2	9	20	18	10

Fonte: Esta pesquisa (2012)

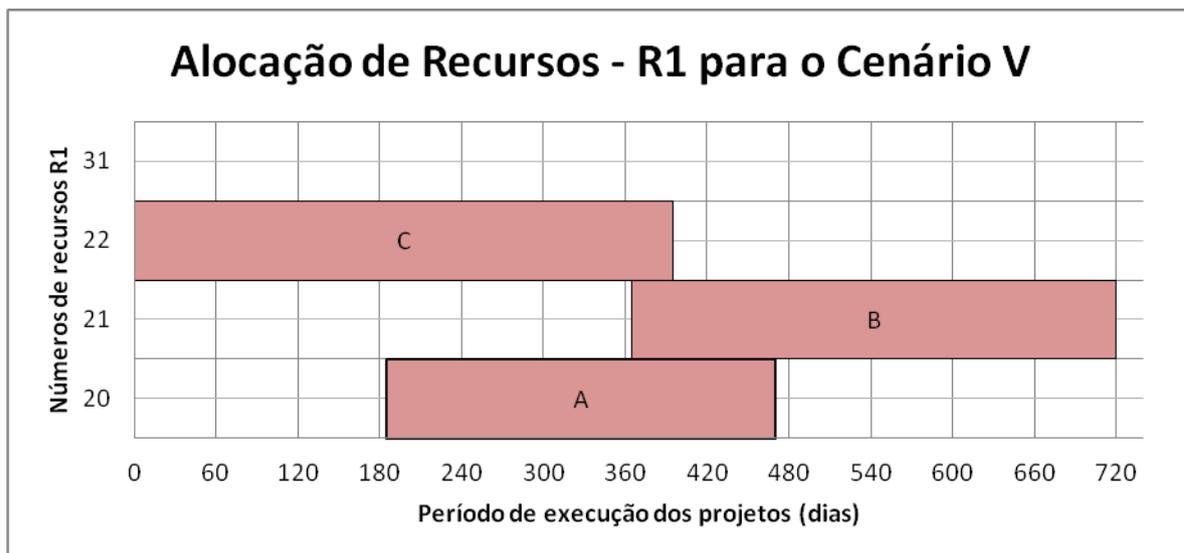


Figura 4.22 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário V

Para o cenário V, exibido na Figura 4.23, os recursos R2 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (C, A, B), são, respectivamente, 19, 17 e 18 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.20, o limite disponível de recursos R1.

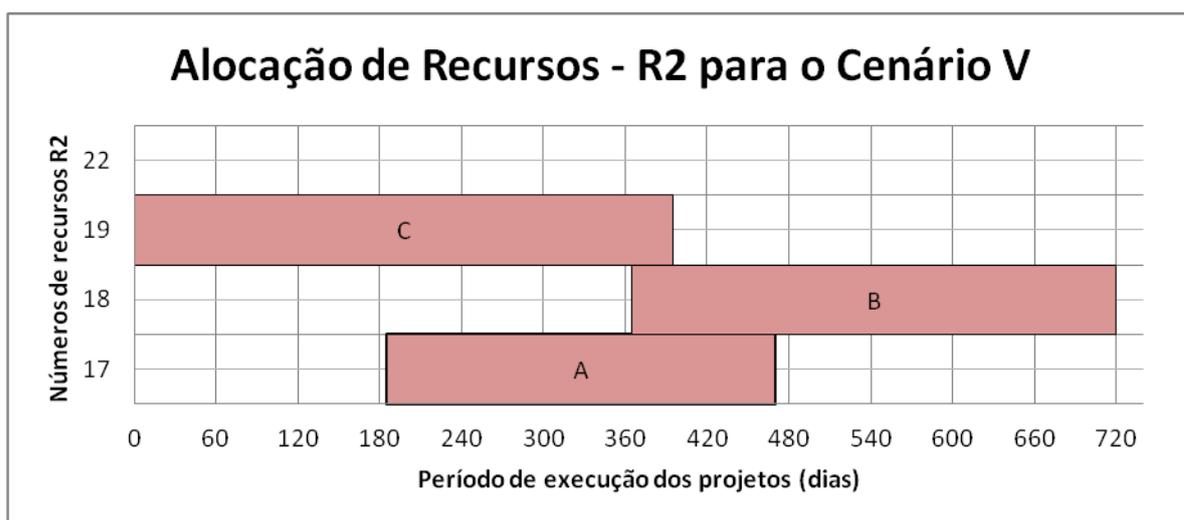


Figura 4.23 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário V

Para o cenário VI, exibido na Figura 4.24, os recursos R1 necessários para a execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (C, B, A), são, respectivamente, 21, 20 e 19

unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.21, o limite disponível de recursos R1.

Tabela 4.21 – Limites de Recursos dependentes do tempo para o sexto cenário

Período (dias)	0-180	180-360	360-540	540-720
Limite de Recursos				
Recurso R1	10	22	19	10
Recurso R2	9	20	17	9

Fonte: Esta pesquisa (2012)

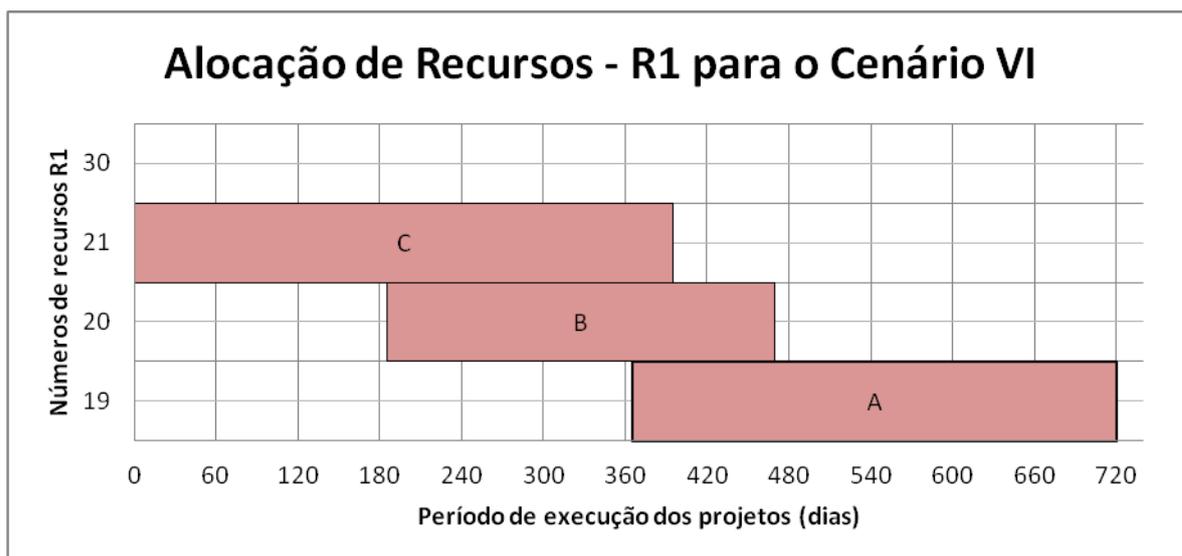


Figura 4.24 – Alocação de Recursos –R1 para o Cenário VI

Para o cenário VI, exibido na Figura 4.25, os recursos R2 necessários para execução dos projetos, correspondentes ao sequenciamento (C, B, A), são, respectivamente, 19, 18 e 17 unidades para os projetos, respeitando, como pode ser observado na Tabela 4.21, o limite disponível de recursos R2.

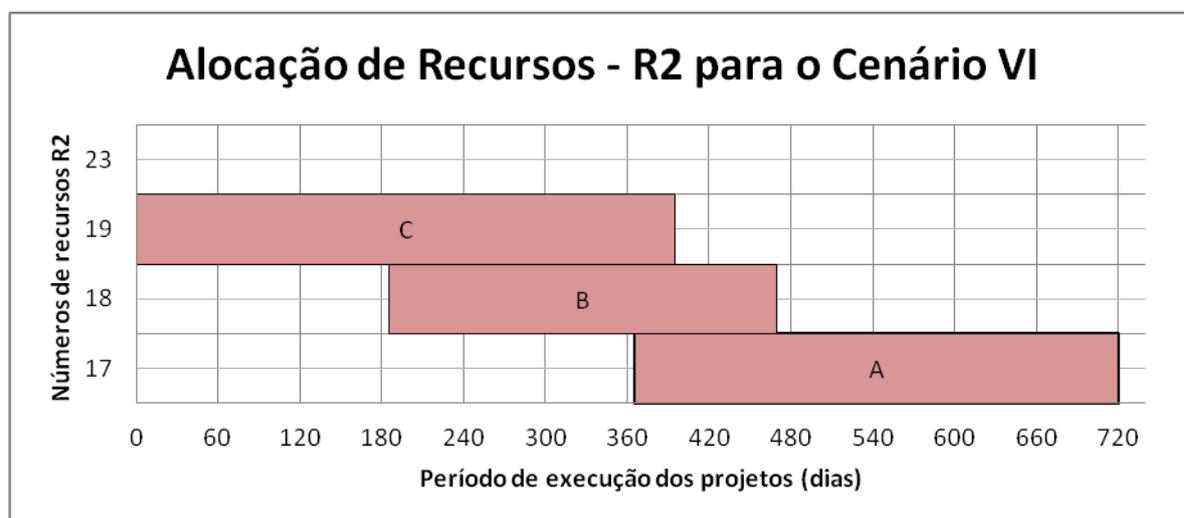


Figura 4.25 – Alocação de Recursos –R2 para o Cenário VI

Com os dados apresentados nos gráficos das Figuras 4.14 a 4.25 e das Tabelas 4.16 a 4.21, foi construída a Tabela 4.22, que se refere à razão dos recursos necessários para a execução de cada arranjo de projetos pelo limite de recursos renováveis para cada arranjo de projetos. O recurso necessário para execução de cada arranjo equivale à soma de todos os recursos R1 de cada projeto, bem como à soma de todos os recursos R2 de cada projeto. E os limites de recursos renováveis para cada arranjo equivalem à soma de todos os recursos R1 para os períodos de 0-180 dias, 180-360 dias, 360-540 dias e de 540-720 dias e à soma de todos os recursos R2 para os períodos de 0-180 dias, 180-360 dias, 360-540 dias e de 540-720 dias.

Tabela 4.22 – Razão entre os Recursos Renováveis necessários e os Recursos Limitados

Arranjos	R1	R2
(A, B, C)	0,9726	0,9692
(A, C, B)	0,9677	0,9206
(B, A, C)	0,9688	0,9661
(B, C, A)	0,9677	0,9643
(C, A, B)	0,9692	0,9474
(C, B, A)	0,9836	0,91818

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Essa razão foi calculada para saber se os recursos estavam sendo utilizados de forma eficiente. Quanto menor essa proporção, menor será a utilização dos recursos disponíveis, e conseqüentemente, ocorrerá uma maior redução dos custos. Por esse motivo, na simulação realizada no tópico 4.3, utilizando decisão multicritério, essas razões serão consideradas problemas de minimização.

Pela Tabela 4.22, referente ao ordenamento completo das alternativas, pode-se concluir que a ordem crescente dos arranjos que utilizam de forma eficiente os recursos, minimizando a utilização dos recursos, é: (A, C, B), (C, B, A), (C, A, B), (B, C, A), (B, A, C) e (A, B, C).

Analisando apenas os gráficos das Figuras 4.8 a 4.13, os arranjos que minimizam o custo de execução dos projetos são: (A, C, B) e (B, C, A). Inserindo a análise do tratamento de recurso renovável, falado anteriormente, pela Tabela 4.22, pode-se concluir que o melhor sequenciamento de execução dos projetos é o arranjo (A, C, B), que apresentou uma melhor minimização dos custos totais de todos os projetos executados, bem como utilizou uma menor quantidade de recursos renováveis disponibilizados para os cenários analisados.

Como na simulação com pesquisa operacional clássica não se consideram fatores qualitativos, não se pode concluir que o arranjo (A, C, B) seja a melhor combinação da execução dos projetos. Logo, através desse modelo proposto para programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos da construção pesada, com restrição de recursos, desenvolvido em seis cenários hipotéticos, será utilizada, como suporte, a metodologia de apoio multicritério à decisão. Assim, será possível considerar a influência dos múltiplos critérios conflituosos, tanto qualitativos como quantitativos. E, portanto, encontrar as melhores combinações/soluções de projetos que gerem um uso eficiente de recursos, através da minimização do custo total dos projetos, atendendo as restrições de orçamento, o período de conclusão dos projetos e o tratamento dos recursos renováveis.

4.3 Simulação em Ambientes de Construção Pesada: Programação de Projetos com base em Decisão Multicritério

Os métodos multicritério têm sido desenvolvidos com o propósito de ajudar tomadores de decisão a organizar e sintetizar diversas informações de forma a levá-los a se sentir mais confortáveis e confiantes acerca da decisão tomada, minimizando, assim, a possibilidade de arrependimento, já que se está considerando todos os fatores ou critérios.

O problema de decisão, em estudo, de programação de projetos, no ambiente de múltiplos projetos, envolve diversas alternativas que não são facilmente julgáveis pelo decisor, uma vez que sua avaliação sofre a influência de importantes critérios conflituosos que dificultam a programação entre as alternativas. Logo, trata-se de um problema de multicritério. Nesse contexto, a abordagem de Apoio Multicritério à Decisão pode ser utilizada em complemento à simulação realizada anteriormente no tópico 4.2.

O método multicritério utilizado nessa etapa de simulação foi descrito no capítulo três e será o PROMETHEE II, que possibilita um ordenamento completo de alternativas, bem como apresenta flexibilidade para diversos tipos de aplicações e critérios.

Além do PROMETHEE II, neste estudo, foi adicionado ao modelo, o Plano GAIA, com o intuito de contribuir com a análise, de forma que seja possível visualizar graficamente o desempenho das alternativas em relação aos critérios. Por fim, vale dizer que o método PROMETHEE II em conjunto com o plano GAIA é recomendado para situações em que seja possível atribuir pesos aos critérios para o problema de programação de projetos.

Para aplicação da metodologia multicritério do PROMETHEE II, podem ser empregados os softwares PROMCALC, *Decision Lab* 2000 e o Visual PROMETHEE, desenvolvidos para apoiar a utilização desses métodos para a resolução de problemas de decisão. Tais programas facilitam a obtenção do *ranking* das alternativas, considerando os critérios definidos e as preferências do decisor. Para esse trabalho, será utilizado o software Visual PROMETHEE.

Como está sendo feita uma simulação, supõe-se que o contexto do problema seja avaliado e seus valores estipulados de acordo com aquilo que se espera do decisor. Logo, através dos dados gerados pelos seis cenários desenvolvidos anteriormente no tópico 4.1, foi elaborada a Tabela 4.26, equivalente à matriz de avaliação das alternativas em relação aos critérios.

As alternativas são todos os arranjos originados da combinação dos três projetos fictícios A, B e C, que são: (A, B, C), (A, C, B), (B, A, C), (B, C, A), (C, A, B) e (C, B, A). Os critérios analisados foram: o atendimento do recurso custo – Cr 1, prioridade do projeto – Cr 2, razão entre os recursos renováveis necessários e os recursos limitados para o recurso R1 – Cr 3, razão entre os recursos renováveis necessários, os recursos limitados para o recurso R2 – Cr 4 e a interdependência entre os projetos – Cr 5.

O critério Cr 1, relacionado ao custo, corresponde à diferença entre os custos totais gerados no primeiro ano para cada arranjo e o limite de orçamento disponível para execução

dos três projetos no primeiro ano, que, na simulação proposta anteriormente, foi considerado no valor de R\$ 150.000,00, tendo o resultado gerado dessa diferença sido utilizado como Cr 1 (Tabela 4.23).

Tabela 4.23 – Dados utilizados para elaborar o Cr 1

Custo Total - Ano 1	Limite disponível para execução dos projetos no primeiro ano	Cr 1 - Atendimento do recurso custo
R\$ 138.516,54	R\$ 150.000,00	R\$ 11.483,46
R\$ 143.428,83	R\$ 150.000,00	R\$ 6.571,17
R\$ 139.111,26	R\$ 150.000,00	R\$ 10.888,74
R\$ 145.251,61	R\$ 150.000,00	R\$ 4.748,39
R\$ 146.402,40	R\$ 150.000,00	R\$ 3.597,60
R\$ 147.630,47	R\$ 150.000,00	R\$ 2.369,53

Fonte: Esta pesquisa (2012)

O critério Cr 2 refere-se à prioridade do projeto, ou seja, à prioridade de execução do projeto em relação ao ganho de conhecimento gerado, isto é, a escolha de execução de um projeto irá impactar no subsídio de conhecimentos técnicos para execução do próximo projeto. É um critério construído, tendo sido definida uma escala de prioridade, considerando-se como escala verbal os níveis alto, médio e baixo de prioridade, na sequência de execução dos projetos. Como essa escala verbal não pode ser utilizada numa análise comparativa, foi necessário converter essas avaliações construídas, realizadas pelo decisor, em uma escala numérica. As conversões feitas para esses critérios estão descritas na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 – Conversão de escala verbal em escala numérica para o critério Cr 2

Escala Verbal	Descrição da escala verbal	Escala Numérica
Alto	Alto ganho de conhecimento gerado	1
Médio	Médio ganho de conhecimento gerado	0,67
Baixo	Baixo ganho de conhecimento gerado	0,33

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Os critérios Cr 3 e Cr 4 correspondem, respectivamente, à razão entre os recursos renováveis necessários e o recursos limitados de R1 e R2. Essa razão é necessária para avaliar a utilização eficiente dos recursos renováveis disponíveis para execução dos três projetos, para cada arranjo de projetos. Os dados utilizados para a análise desse critério são mostrados na Tabela 4.22, elaborada no tópico anterior 4.2.

O critério Cr 5 reflete a interdependência entre os projetos, atribuída pelo decisor de acordo com as suas preferências. Projetos interdependentes, de acordo com Chien (2002), 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”.

Esse critério tem o propósito de analisar a relação de execução de projetos, ou seja, a relação na qual os projetos são executados juntos, por apresentarem, por exemplo, recursos renováveis ou não renováveis em comum, atividades semelhantes que podem ser executadas simultaneamente entre os pares de projetos que apresentam uma interdependência forte, moderada ou fraca. Quanto mais forte essa interdependência, maior a possibilidade de reduzir o custo total com a execução dos pares de projetos. E quanto mais fraco, menor a possibilidade de reduzir o custo total com a execução de pares de projetos.

Com base nestes dados, foi elaborada a Tabela 4.25, que mostra a interdependência entre os pares de projetos, considerada pelo decisor. Fez-se a suposição de que o decisor tivesse capacidade para atribuir essa interdependência a cada par de projetos, o que permitiu a utilização da metodologia de avaliação global direta.

Tabela 4.25 – Escala de interdependência entre os projetos

Projetos	Projetos interdependentes	Escala de interdependência entre os projetos	Descrição da escala verbal
A	C	Forte	Forte interdependência entre os projetos
B	C	Moderada	Moderada interdependência entre os projetos
C	A	Fraca	Fraca interdependência entre os projetos

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Como esse critério é qualitativo, ou seja, subjetivo ao decisor, foi definida uma escala de interdependência, considerando como escala verbal os níveis forte, moderado e fraco de

interdependência entre os projetos. Como essa escala verbal não pode ser utilizada numa análise comparativa foi necessário converter essas avaliações subjetivas, feitas pelo decisor, em uma escala numérica (Tabela 4.26).

Além disso, nessa simulação numérica, os pesos foram considerados a partir da preferência do decisor, utilizando uma escala no valor de 0 a 100, na qual o valor 0 representa a menor importância dada ao critério e o valor 100, a maior importância atribuída ao critério. Depois de atribuídos os pesos aos critérios, seus valores foram normalizados, resultando em Cr 1=0,34, Cr 2=0,19, Cr 3=0,11, Cr 4=0,11 e Cr 5=0,25 (Tabela 4.26). Os pesos para o critério 1 e 5 foram considerados os valores maiores pelo decisor, já que nessa simulação o foco principal é a minimização dos custos totais da execução dos três projetos, sendo o tratamento dos recursos renováveis uma restrição. Os pesos dos critérios 3 e 4 foram considerados valores mais baixos pelo decisor, e o critério 2 teve como peso um valor intermediário.

Tabela 4.26 – Matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios para programação de projetos

Alternativas	Cr 1 Atendimento do recurso Custo	Cr 2 Prioridade do Projeto	Cr 3 Razão entre os recursos renováveis necessários e os recursos limitados - R1	Cr 4 Razão entre os recursos renováveis necessários e os recursos limitados - R2	Cr 5 Interdependência entre os projetos
(A, B, C)	11.483,46	3	0,9726	0,9692	0,67
(A, C, B)	6.571,17	2,67	0,9677	0,9206	1,00
(B, A, C)	10.888,74	2,34	0,9688	0,9661	1,00
(B, C, A)	4.748,39	2	0,9677	0,9643	1,00
(C, A, B)	3.597,60	1,67	0,9692	0,9474	0,33
(C, B, A)	2.369,53	1,66	0,9836	0,9182	0
Unidade de Medida	R\$	Escala Numérica	Escala Numérica	Escala Numérica	Escala Numérica
Peso	0,34	0,19	0,11	0,11	0,25
Tipo de Função	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX
Função de Preferência	Tipo V – Critério Linear	Tipo II– Critério U	Tipo I– Critério Usual	Tipo I– Critério Usual	Tipo II– Critério U
Limiar de Indiferença - q	500,00	0,2	-	-	0,2
Limiar de Preferência - p	5.000,00	-	-	-	-

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Para cada critério, é solicitado ao decisor definir uma função de preferência para a comparação entre os pares de alternativas, escolhidas entre as opções de funções de preferência associadas aos critérios generalizados sugeridos pelo PROMETHEE, contidos no Quadro 2.1. Na Tabela 4.26 também estão a definição do decisor para cada função de preferência, de acordo com cada critério considerado, e os parâmetros requeridos por cada função e o seu objetivo. Para os critérios Cr 1, Cr 2 e Cr 5, o objetivo é de maximização, já para os critérios Cr 3 e Cr 4, de minimização.

Com auxílio do software Visual PROMETHEE, ferramenta de análise multicritério e de apoio à decisão para aplicação dos métodos PROMETHEE e GAIA, todos os dados contidos na Tabela 4.26 foram introduzidos no software. Uma visualização da interface do software pode ser conferida na Figura 4.26.

Cenário	critério 1	critério 2	critério 3	critério 4	critério 5
Unit	unit	unit	unit	unit	unit
Category	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences					
Min/Max	max	max	min	min	max
Weight	0,34	0,19	0,11	0,11	0,25
Preference Fn.	Linear	U-shape	Usual	Usual	U-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	500,00	0,20	n/a	n/a	0,20
- P: Preference	5000,00	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	2369,53	1,66	0,97	0,92	0,00
Maximum	11483,46	3,00	0,98	0,97	1,00
Average	6609,81	2,22	0,97	0,95	0,67
Standard Dev.	3478,06	0,50	0,01	0,02	0,39
Evaluations					
(A,B,C)	11483,46	3,00	0,97	0,97	0,67
(A,C,B)	6571,17	2,67	0,97	0,92	1,00
(B,A,C)	10888,74	2,34	0,97	0,97	1,00
(B,C,A)	4748,39	2,00	0,97	0,96	1,00
(C,A,B)	3597,60	1,67	0,97	0,95	0,33
(C,B,A)	2369,53	1,66	0,98	0,92	0,00

Figura 4.26 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para programação de projetos

Após a inserção das informações definidas pelo decisor, foi possível ao Visual PROMETHEE fornecer o resultado da aplicação do PROMETHEE II para o problema de decisão de programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos, com restrição de recursos.

Foram obtidos os fluxos de sobreclassificação positivo ($\Phi+$) e negativo ($\Phi-$) e, conseqüentemente, o fluxo líquido de sobreclassificação Φ , para cada uma das alternativas. De acordo com o método PROMETHEE II, descrito no Capítulo 2, tópico 2.4, o fluxo líquido define as relações de sobreclassificação entre as alternativas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 – Resultado obtido para o fluxo líquido de sobreclassificação de cada uma das alternativas do processo decisório

Alternativas	$\Phi+$	$\Phi -$	Φ
(A,B,C)	0,5841	0,3480	0,2361
(A,C,B)	0,5913	0,1844	0,4069
(B,A,C)	0,6137	0,2094	0,4043
(B,C,A)	0,3962	0,3360	0,0602
(C,A,B)	0,1710	0,6452	-0,4702
(C,B,A)	0,1100	0,7433	-0,6333

Fonte: Esta pesquisa (2012)

O resultado da aplicação do método PROMETHEE II é dado pela ordenação decrescente dos valores dos fluxos líquidos das alternativas, estabelecendo uma pré-ordem completa entre elas. Tem-se, portanto, o *ranking* das alternativas definido pela ordem decrescente de preferências do decisor, visualizadas através da Tabela 4.28, que mostra o ordenamento total das alternativas para o PROMETHEE II.

Tabela 4.28 – Ordenamento das alternativas para o PROMETHEE II

Ordem das Alternativas	Alternativas	Φ
1	(A,C,B)	0,4069
2	(B,A,C)	0,4043
3	(A,B,C)	0,2361
4	(B,C,A)	0,0602
5	(C,A,B)	-0,4742
6	(C,B,A)	-0,6333

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Através da Tabela 4.28, foi elaborada a Figura 4.27, que mostra o ordenamento final das alternativas. Analisando apenas os gráficos das Figuras 4.8 a 4.13, os arranjos que minimizam o custo de execução dos projetos são: (A, C, B) e (B, C, A). Observando agora a Tabela 4.22, a razão entre os recursos renováveis necessários e os recursos limitados à ordem crescente dos arranjos que utilizam de forma eficiente os recursos, minimizando a utilização dos recursos, é: (A, C, B), (C, B, A); (C, A, B), (B, C, A), (B, A, C) e (A, B, C).

Com isso, pode-se concluir que tanto na simulação numérica feita com auxílio da programação matemática, através do problema de Pesquisa Operacional clássico abordado anteriormente, no tópico 4.2, como na simulação realizada com aplicação do método PROMETHEE II, através do software Visual PROMETHEE, houve consistência nos resultados. As metodologias sugerem que o arranjo que apresentou o melhor sequenciamento de execução dos projetos, no qual os custos totais dos projetos são minimizados, é o arranjo (A, C, B).

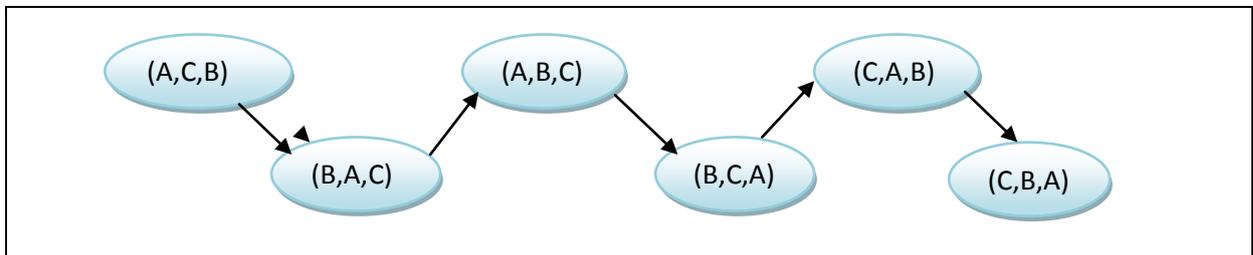


Figura 4.27 – Ordenamento das alternativas a partir da aplicação do método do PROMETHEE II através do software Visual PROMETHEE II para programação de projetos

O resultado final alcançado consiste na recomendação da solução adequada à tomada de decisão e não constitui uma recomendação imposta pelo modelo. Dessa forma, o modelo proposto incorpora à fase de tomada de decisão a verificação da existência de conflitos relacionados à solução recomendada. A proposta do modelo permite ao decisor transitar entre as fases do modelo, caso sejam estabelecidos conflitos resultantes da insatisfação quanto à solução alcançada, revelando a dinamicidade do modelo proposto.

4.3.1 Análise do Resultado da Aplicação do Método PROMETHEE II

Ao analisar a ordenação obtida pela aplicação do método PROMETHEE II, pode-se concluir que o resultado está de acordo com o esperado, dado que tal método favorece alternativas mais balanceadas. No caso estudado, o arranjo (A, C, B), que se apresentou em primeiro lugar no *ranking*, exibe uma performance média ou ótima em todos os critérios, o

mesmo ocorrendo com o arranjo (B, A, C), alocado em segundo lugar, como visualizado na Figura 4.27.

Para avaliar a consistência dos pesos estabelecidos pelo decisor, foi feita a análise de sensibilidade do problema. Na análise de sensibilidade, os pesos dos critérios foram variados em intervalos de 10%. Conclui-se de tal análise que o problema é robusto, uma vez que os arranjos (A, C, B) e (B, A, C) não foram modificados quando alteramos os pesos dos critérios em pequenas proporções.

Comprova-se tal análise com o intervalo de estabilidade dos critérios fornecido pelo software Visual PROMETHEE, detalhado na Tabela 4.29. Com base nestes parâmetros, pode-se concluir que os pesos conferidos a cada critério são consistentes e coerentes, pois variam de acordo com a performance das alternativas em cada critério.

Tabela 4.29 – Intervalo de estabilidade dos pesos dos critérios

Intervalo de Estabilidade (%)	Critérios				
	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
Limite Inferior	22,04	18,45	10,60	10,80	5,04
Limite Superior	34,22	33,07	20,63	25,77	38,52

Fonte: Esta pesquisa (2012)

Outra forma de analisar o problema é por meio do plano GAIA (*Geometric Analysis Interactive Aid*), o qual fornece a representação visual do problema de decisão. Na Figura 4.28, percebe-se a projeção do vetor peso ou eixo de decisão π (em vermelho), que corresponde à direção do compromisso resultante dos pesos atribuídos aos critérios.

A Figura 4.28 mostra que a alternativa (A, C, B), que apresentou o maior fluxo líquido, se caracteriza por ser, entre as alternativas estudadas, a que apresentou desempenho melhor em relação aos critérios 1, 2, 3 e 5. De forma análoga, pode-se observar que as alternativas (C, B, A) e (C, A, B), que obtiveram as piores posições na classificação, mostradas na Tabela 4.28, estão situadas em pontos opostos à direção do eixo de decisão π .

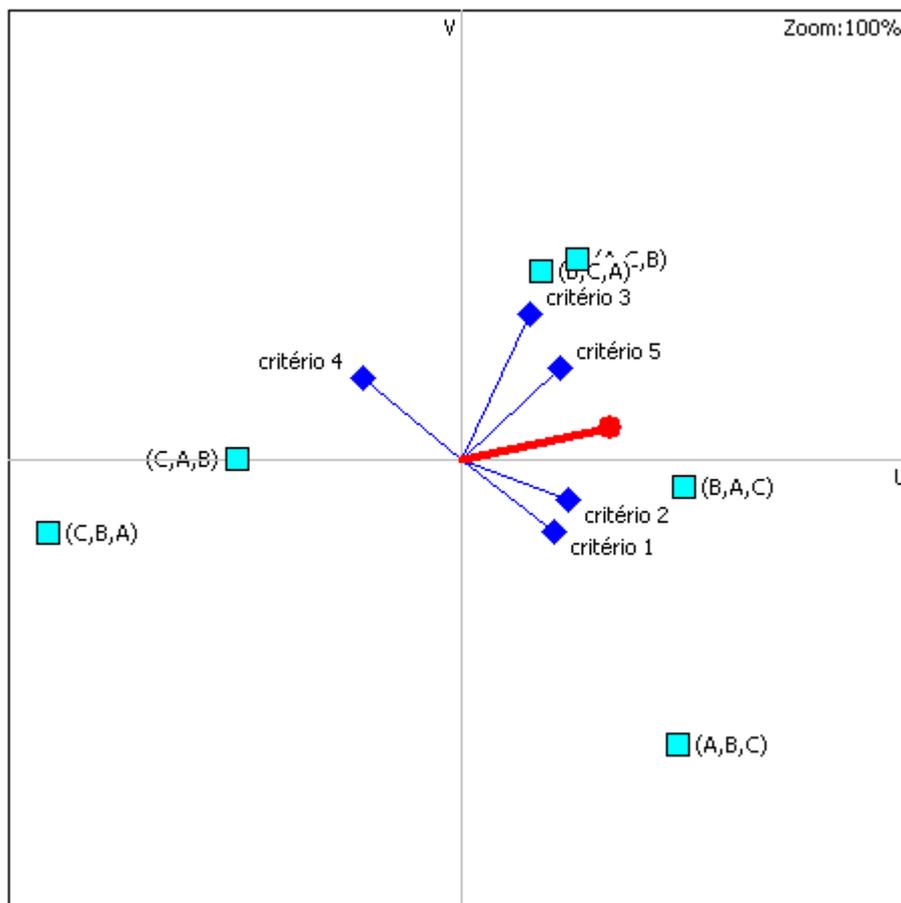


Figura 4.28 – Interface do software Visual PROMETHEE e introdução dos dados de entrada necessários a aplicação do PROMETHEE II para programação de projetos

Quando os pesos foram modificados, as posições das alternativas e critérios permaneceram as mesmas, somente a direção do vetor peso foi redirecionada. Portanto, os resultados fornecidos por essa ferramenta visual são consistentes e compatíveis com aqueles fornecidos pelo método PROMETHEE II, representando um mecanismo adicional no apoio à decisão.

Além disso, é importante ressaltar o valor do $\Delta = 89,8\%$, que é a medida da qualidade do gráfico do Plano GAIA. De acordo com Almeida & Araújo (2009), se Δ for maior que 70%, a qualidade do gráfico pode ser considerada adequada. Para valores inferiores a 70%, a interpretação do Plano GAIA deve ser feita com precaução. Logo, como Δ foi maior que 70%, a qualidade do gráfico pode ser considerada adequada, e a análise do plano representa um mecanismo adicional no apoio à decisão.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa, apoiada pela revisão da literatura, permitiu descrever e analisar a seleção, priorização e a programação de projetos através de cenários hipotéticos, com auxílio da adaptação de modelos matemáticos já existentes na área de restrição de recursos. Tais conhecimentos originaram o modelo proposto neste estudo, de programação de projetos em ambientes de múltiplos projetos, com restrição de recursos. Além disso, foi utilizada a metodologia de apoio multicritério à decisão como suporte, permitindo assim a consideração da influência dos múltiplos critérios conflituosos, definidos pelo decisor como relevantes, sobre o processo de seleção, priorização e programação de projetos.

Este capítulo aborda os resultados desta pesquisa e sugere recomendações para outros trabalhos.

5.1 Conclusões

Com base na revisão de literatura, constatou-se que o processo de seleção, priorização e programação dos projetos constitui um dos principais problemas para o gestor, principalmente num ambiente de múltiplos projetos com restrição de recursos, resultando em dificuldades para equacionar a programação e prioridade de um projeto em relação a outro.

Dessa forma, o presente trabalho contribuiu com uma abordagem alternativa para auxiliar, principalmente aos gestores de múltiplos projetos, no processo de seleção, priorização e programação de projetos no ambiente que, além de gerir múltiplos projetos, trabalha com restrição de recursos. Esse tipo de problema tem origem na programação matemática e é estudado através da pesquisa operacional clássica, em que o foco principal é otimizar a função objetivo, seja ela de maximização ou minimização, obedecendo a todas as suas restrições existentes.

Logo, através das duas etapas mencionadas neste estudo, originadas da dúvida de qual o melhor portfólio constituído por n projetos, inseridos num conjunto de m projetos candidatos, deveria ser utilizado para gerar um sequenciamento mais adequado, pode-se perceber a importância do modelo formulado por Demeulemeester & Herroelen (1996) para os problemas de alocação de recursos limitados (RCPS). Essa abordagem, mostrada pelas Equações de 2.3.1 a 2.3.5, deu origem a diversos métodos como o de Liu & Wang (2011), que

foi adaptado e utilizado nesta pesquisa. O modelo sugerido nasceu da necessidade de simular cenários próximos à realidade, como exemplo da construção pesada, em que a existência de múltiplos projetos com restrição de recursos é bem significativa.

A metodologia de apoio multicritério à decisão aplicada através dos métodos PROMETHE II e V foi utilizada como suporte. Permitiu-se, portanto, considerar a influência dos múltiplos critérios conflituosos, tanto quantitativos como qualitativos, definidos pelo decisor como relevantes, sobre o processo de seleção, priorização e programação de projetos.

Pode-se observar que, para esse tipo de problema, a decisão multicritério pode ser utilizada em conjunto com a programação matemática, como um apoio para analisar a veracidade do resultado gerado através da modelagem matemática. Neste trabalho, o resultado foi o mesmo nas duas simulações realizadas, tanto utilizando pesquisa operacional clássica como utilizando o método PROMETHEE II na segunda etapa do trabalho.

Sendo assim, as simulações realizadas nesse estudo, utilizando pesquisa operacional clássica e decisão multicritério no qual o ambiente escolhido como exemplo para aplicar o método foi à construção pesada, podendo ser escolhido outros ambientes, que obedeçam aos atributos mencionados por Dye & Pennypacker (2000). Sugeriram que o arranjo mais adequado que minimizou os custos totais de execução dos projetos, obedecendo a suas respectivas restrições e critérios quantitativos e qualitativos, foi o (A, C, B).

O modelo sugerido por Almeida & Vetschera (2012), que emprega o conceito de portfólios c-ótimos para o PROMETHEE V, foi de suma importância para a etapa da seleção e priorização de projetos, pelo fato de esse modelo ter eliminado as distorções existentes no modelo original do PROMETHEE V, elaborado por Brans & Mareschal (1992), e no modelo sugerido, posteriormente, por Mavrotas *et al.* (2006), que também observaram outras distorções.

Com isso, pelos resultados sugeridos nas simulações numéricas, foi possível verificar que o modelo apresentado é capaz de proporcionar o *ranking* das alternativas do processo de decisão, levando em consideração todos os critérios analisados no processo decisório, no qual foram incorporadas as preferências do decisor. Sendo, também capaz de proporcionar o melhor sequenciamento de execução dos projetos, promovendo a minimização dos custos totais de execução dos mesmos, respeitando as restrições do período de execução dos projetos, orçamento anual para execução e o tratamento de recursos renováveis no cenário de múltiplos projetos com recursos limitados.

Além disso, através do estudo realizado, na revisão da literatura e na pesquisa bibliográfica, bem como no método proposto por Wang & Liu (2011) que foi adaptado nesse trabalho, podem-se perceber inúmeros trabalhos envolvendo seleção, priorização e programação de projetos nas atividades dos projetos.

Esses trabalhos analisam de forma micro a programação de projetos, ou seja, analisam cada atividade do projeto. Cabe lembrar que, dependendo do projeto, são inúmeras as atividades inerentes a eles e, conseqüentemente, a programação é bem mais complexa e de difícil entendimento por pessoas que não compreendem profundamente o assunto. Logo, esse trabalho tem como vantagem a questão da visão macro, destacando a análise da programação de projetos a partir do melhor sequenciamento de sua execução depois de selecionados e pertencentes a um portfólio de projetos, respeitando as restrições existentes.

O modelo abordado nessa pesquisa apresenta uma linguagem de fácil entendimento para os decisores compreenderem como se dá o procedimento de seleção, priorização e programação de projetos, utilizando uma visão macro. Nessa abordagem, ao invés de avaliar cada atividade dos projetos, analisa-se qual o melhor sequenciamento de sua execução que resulte em menores custos e respeite todas as restrições existentes. Essas restrições podem envolver o período de execução dos projetos, bem como a limitação de recursos renováveis e não renováveis existentes.

A adaptação do método Wang & Liu (2011), proposta neste trabalho, representa uma forma sucinta de programação de problemas com restrição tempo-dependente de recursos, pressupondo os projetos já selecionados, pertencentes ao ambiente de múltiplos de projetos. A abordagem é recomendada para análise de poucos projetos que tenham as características mencionadas por Dye & Pennypacker (2000) ao selecionar e priorizar projetos, especialmente quando a alocação de recursos é um problema de gestão de múltiplos projetos.

Diante de tais atributos, o portfólio de projetos é restringido, já que o número de projetos não pode ser tão grande e os projetos analisados têm que apresentar características semelhantes. Sabe-se que, na prática, tais características não são facilmente encontradas, principalmente em grandes obras, por terem inúmeros projetos.

Essa, portanto, é uma dificuldade encontrada para a aplicação desse modelo. Antes de sua aplicação, é necessária a formação de grupos de projetos semelhantes para analisar o melhor sequenciamento de execução dos projetos e fazer esse modelo para cada grupo de projetos.

Foi escolhida a construção pesada pelo fato de que estão sendo considerados projetos de grande porte, focando numa visão macro da seleção, priorização e programação desses projetos em ambientes de recursos restritos.

5.2 Recomendações

As recomendações quanto à elaboração de trabalhos futuros têm como objetivo dar prosseguimento ao estudo realizado e proporcionar o enriquecimento do trabalho, contribuindo com o cenário de múltiplos projetos com restrições de recursos. São elas:

- O desenvolvimento de outros modelos para auxiliar o processo de seleção, priorização e programação de projetos em ambiente de múltiplos projetos com recursos limitados, incorporando outros métodos matemáticos como a Programação Linear Multiobjetivo – PLMO. Esse tipo de programação analisa vários objetivos a serem alcançados, geralmente conflitantes entre si, raramente havendo uma solução ótima para todos os objetivos, simultaneamente;
- A aplicação do modelo proposto, utilizando um estudo de caso, com empresas que operam com múltiplos projetos com restrição de recursos, na qual os números de projetos e os critérios a serem analisados serão maiores;
- Elaborar outro modelo, a partir deste, no qual seriam analisadas as atividades de cada projeto e suas respectivas necessidades de recursos renováveis e não renováveis, utilizando a programação linear apoiada pela decisão multicritério, através do uso de outros métodos multicritério; e
- O aprofundamento dos estudos relacionados com a problemática da seleção, priorização e programação de projetos no ambiente de múltiplos projetos e recursos limitados, identificados no presente trabalho e através de novos levantamentos bibliográficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F. S.; NÚÑEZ, W. P. Critérios para a tomada de decisão em obras rodoviárias sustentáveis. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 03, p. 151–163, 2010.
- ACKOFF, R.L.; SASIENI, M.W. *Pesquisa operacional*. Trad. de José L. Moura; Cláudio Grael Reis; rev. de Antônio Garcia de Miranda Netto. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974.
- AKKAN, C.; DREXL, A.; KIMMS, A. Network decomposition-based benchmark results for the discrete time-cost tradeoff problem. *European Journal of Operational Research*, v. 165, p. 339-358, 2005.
- ALENCAR, L. H. *Modelo Multicritério de Decisão em Grupo para Seleção de Fornecedores em Gestão de Projeto*. Recife, 2006. 147p. (Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco / UFPE).
- ALMEIDA, A T ; VETSCHERA, R . A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *European Journal of Operational Research* , v. 219, p. 198-200, 2012.
- ALMEIDA, A. T. *O Conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio à decisão*. 2 ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.
- ALMEIDA, A. T.; ARÁUJO, A. G. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHE. *Gestão e Produção*, São Carlos, v. 16, p. 534-543, out-dez, 2009.
- ALMEIDA, A. T.; MIRANDA, C. M.M. Método multicritério Electre IV-H para priorização de atividades em projetos. *Pesquisa Operacional*, v.27, n.2, p.247-269, 2007.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMTEHEE. *Gestão e Produção*, v.9, n.2, p.201-214, 2002.
- AMIRI, M. P. Project selection for oil-filds development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Aplications*, v. 37, p. 6218-6224, 2010.
- 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.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Elsever, 1 ed. 2007.
- ASOSHEH, A.; NALCHIGAR, S.; JAMPORAZMEY, M. Information technology Project evaluation: Na integrated data envelopment analysis and balanced scorecard approach. *Expert Systems With Applications*, v. 37, p. 5931-5938, 2010.

- AVINERI, E.; PRASHKER, J.; CEDER, A. Transportation projects selection process using fuzzy sets theory. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 116, p. 35-47, 2000.
- BAI, S; FENG, R.; GUO, Y. Organizational project selection based on fuzzy multi-index evaluation and BP neural network. In: International conference on management and service science (mass). *Anais. IEE*, p. 1-5, 2010.
- BARCAUI, A & QUELHAS, O. Corrente Crítica: Uma alternativa à gerência de projetos tradicional. In: Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n. 2, p. 1-21, 2004.
- BELTON, V.; STEWART, J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. kluwer Academic Publishers, London, 2002.
- BOCTOR, F.F. Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes. *International Journal of Production Research*, v. 31, n. 11, p. 2547-2558, 1993.
- BOWERS, M. R.; GROOM, K.; MORRIS, R.. A practical application of a multi-project scheduling heuristic. *Production and Inventory Management Journal*, v. 37, n. 4, p. 19-24, 1996.
- BRADI, M. A.; DAVIS, D.; DAVIS, D. A comprehensive 0-1 goal programming model for project selection. *Internacional Journal of Project Management*. V. 19, p. 243-252, 2001.
- LIESIO, J.; MILD, P.; SALO, A. Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 2006.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE Procedure. *Journal of Decision Systems*, v.7, p. 283-307, 1998.
- BRANS, J.P; VINCKE P.H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v. 31, n.6, p. 647-656, 1985.
- BRANS, J-P.; MARESCHAL, B. *PROMÉTHÉE-GAIA Une Méthodologie D'Aide à La Décision en Présence de Critères Multiples*. Bruxelas: Éditions de l'Université de Bruxelles, 2002.
- BRITISH STANDARD INSTITUTE. *Guide to project management*. BS 6079. BSI. UK. 2000.
- BROWNING, T. R.; YASSINE, A. A. Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited. *Int. J. Production Economics*, v. 126, n. 2, p. 212-228. 2010.
- BRUCKER, P.; DREXL, A; MOHRING, R; NEUMANN, K; PESCH, E. Resource-constrained project scheduling: notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, v. 112, p. 3-41, 1999.
- CÁNEZ, L.; GARFIAS, M. Portfolio Management in the Literature. *Research Technology Management*, v. 49,n. 4, p. 52-54, jul-ago, 2006.

- CAMANHO, R. *et al.*, 2007. Project Portfolio Management using AHP. In: 9th *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Viña, p.10, 2007.
- CASTRO, E. M. O. *Priorização de projetos, através da identificação e análise de critérios de seleção, relacionados aos objetivos estratégicos de negócio*. Rio de Janeiro, 2010. 88p. (Mestrado – Fundação Getulio Vargas / FGV).
- CERVO, A. L. *Metodologia científica*. 6. ed, São Paulo, Pearson, 2007.
- CHEN, J.; ASKIN, R.G. Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent returns. *European Journal of Operational Research*, v. 193, n. 1, p. 23-34, 2009.
- CHEN; C. T.; CHENG, H. A comprehensive model for selecting information system project under fuzzy environment. *International Journal of Project Management*, v. 27, p. 389-399, 2009.
- CHENGA, S.; CHANB, C. W.; HUANGE, G. H. An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 16, n. 5-6, p. 543–554, 2003.
- CHIEN, C. F. A portfolio evaluation framework for selecting R&D projects. *R&D Management*, v.32, n.4, p. 359-368, 2002.
- CHU, P.Y. V.; HSU, Y.L.; FEHLING, M., 1996. A Decision Support System for Project Portfolio Selection. *Computers in Industry*, v. 32, p.141-149, 1996.
- COFFIN, M.A.; TAYLOR III, B.W. Multiple Criteria R&D Project Selection and Sheduling using Fuzzy Logic. *Computers & Operations Research*, v. 23, n. 3, p. 207-220,1996.
- CONFESSORE, G.; GIORDANI, S.; RISMONDO, S. A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling. *Annals of Operations Research*, v.150, n.1, p. 115-135, 2007.
- COOPER, R. G.; EDGETT, S. J. KLEINSCHMID, E. J. New Problems, New Solutions: Making Portfolio Management more effective, *ResearchTechnology Management*, v. 432, 2000.
- DEMEULEMEESTER, E.L., HERROELEN, W.S. An Efficient Optimal Solution Procedure for the Preemptive Resource-Constrained Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, v. 90, n. 2, p. 334-348. 1996.
- DEY, P. Integrated project evaluation and selection using multiple-atribute decision-making techineque. *Intenational Journal of Production Economics*, v. 103, p. 90-103, 2006.
- DIAS, L. C; COSTA, J.P; CLÍMACO J.N. A parallel implementation of the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*. v. 104, n.2, p. 521-531, 1998.
- DINSMORE, P. C.; SILVEIRA F. H. S. *Gerenciamento de projetos – como gerencias seu produto com qualidade, dentro do prazo e custos previstos*. Qualitymark, 2004.

- DUARTE, B. P. M.; REIS, A. Developing a projects evaluation system based on multiple attribute value theory. *Computers & Operations Research*, v. 33, p. 1488-1504, 2006.
- DUARTE, M. D. O. *Modelo multicritério para seleção de portfólio de produtos considerando sinergia*. Recife, 2007. 63p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco / UFPE).
- DYE, L.; PENYPACKER, J. Managing Multiple Projects: Planning, Scheduling, and Allocating Resources for Competitive. *Marcel Dekker/Center for Business Practices*, p. 323, EUA, 2002.
- DYE, L.; PENYPACKER, J. Project Portfolio Management and Managing Multiple Projects: Two Sides of the Same Coin?, *In: Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium*, Houston, Texas, USA, 2000.
- EILAT, H; GOLANY, B.; SHTUB, A. R&D project evaluation: Na integrated DEA and balanced scorecard approach. *Omega*, v. 36, p. 895-912, 2008.
- ENGWALL, M; JERBRANT, A. The resource allocation syndrome: the prime challenge of multi-project management? *Internacional Journal of Project Management*, v. 21, n.6, p. 403-409, 2003.
- FARRUKH, C.; PHAAL, R.; PROBERT, D. GREGORY, M.; WRIGHT, J. Developing a process for the relative valuation of R & D programmes. *R & D Mangement*, v. 1, p. 43-53, 2000.
- FRANCO; L.A.; LORD, E. Understanging multi-methodology: evaluating the perceived impacto f mixing methods for group budgetary decisios. *Omega*, v. 39, p. 362-372, 2011.
- GAGNON, Michel. Resource-constrained project scheduling through the goal programming model: integration of the manager's preferences. *International Transactions Inoperational Research*, v. 19, p. 547-565, 2012.
- 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.
- GHOMI, S.M.T.; ASHJARI, B. A simulation model for multi-project resource allocation. *International Journal of Project Management*, v. 20, n.2, p.127-130, 2002.
- GODINHO, P.; BRANCO, F. G. Adaptive policies for multi-mode project scheduling under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, v. 216, n. 3, p. 553-562, 2012.
- GOLANY, B.; ANAVI-ISAKON, S. Managing multi-project environments through constant work-in-process. *International Journal of Project Management*, v. 21, n. 1, p. 9-18, 2003.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. 3 ed. São Paulo, Atlas, 2009.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. São Paulo: Atlas, 2002.

- GONÇALVES, J.F.; MENDES, J.J.M.; RESENDE, M.G.C. *A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem*, European Journal of Operational Research, v. 189, n3, p. 1171-1190, 2008.
- GUIMARÃES, L. C. *Sistemática proposta para priorização de projetos e atividades em ambientes de múltiplos projetos*. Recife, 2009. 121p. (Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco / UFPE).
- GUSMÃO, A. P. H. *Modelo Multicritério para priorização de portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento*. Recife, 2005. 91p. (Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco / UFPE).
- HAGAN, G.; BOWER, D.; SMITH, N. Managing complex projects in multi-project environments. *Researchers in Construction Management*, v.2, p.787-796, 2011.
- HALOUANI, N.; CHABCHOUB, H.; MARTEL, J. PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*, v. 195, p. 841-849, 2009.
- HANS E. W. *et al.* Ahierarchical approach to multi-project planning under uncertainty. *The International Journal of Management Science*, v. 35, n.5, p. 563-377, 2007.
- HARTMANN, S; BRISKORN, D. A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, v. 207, n. 1, p. 1–14, 2010.
- HEIMERL, C.; KOLISH, R. Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce. *OR Spektrum*, v.32, n. 2, p. 343-368, 2009.
- HENRIKSEN, B.; RØSTAD, C. C. Evaluating and prioritizing projects – setting targets: the business effect evaluation methodology (BEEM). *International Journal of Managing Projects in Business*, v. 3, p. 275-291, 2010.
- HOMBERGER, J. A multi-agent system for the decentralized resource-constrained multi-project scheduling problem. *International Transactions in Operational Research*, v. 14, n. 6, p. 565-589, 2007.
- HOSSAIN, L.; RUWANPURA, J. .An Optimization Model for Dynamic Multi-project Environment in Construction. *Construction Research Congress*. P.277-287, 2010.
- ICHIHARA, Jorge de Araújo. O problema de programação de projetos com restrição de recursos. XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba. *Anais*. São Paulo, 2002.
- ICHIHARA, J. A. *Um método de solução heurístico para a programação de edifícios dotados de múltiplos pavimentos – tipo*. Florianópolis, 1998, 198p. (Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina / UFSC).
- IEZZI, G.; DOLCE, O.; DEGENSZAJN, David Mauro; PÉRIGO, Roberto. *Matemática Volume Único*. 6 ed. São Paulo, Atual, 1997.

- JOLLY, D. The issue of weighting in technology portfolio management. *Technovation*, v. 23, p. 383-391, 2003.
- KOLISCH, R.; HARTMANN, S. Experimental evaluation of heuristics for the resource constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*, v. 174, n. 1, p. 23-37, 2006.
- KURTULUS, I. S.; DAVIS, E. Multi-project scheduling: Categorization of heuristic rules performance. *Management Science*, v. 28, n. 2, p. 161-172, 1982.
- LEAL, A. J. S. *Algoritmos de Investigação Operacional para um problema de sequenciamento de projetos*. Portugal, 2007, 123p. (Mestrado - Universidade do Minho / UM, Escola de Engenharia.
- LEE, J. W.; KIM, S. H. Using analytic network process and goal programming for interdependent informatios syrtem project selection. *Computers & Operations Research*, v. 27, p. 367-382, 2000.
- LIANG, T. Application of fuzzy sets to multi-objective project management Decisions. *International Journal of General Systems*, v. 38, n. 3, p. 311–330, 2009.
- LIU, S.; CHEN, W. T. Construction multi-project scheduling model considering different resource allocation behavior. *Applied Mechanics and Materials*, v.174-177, p. 2815-2819, 2012.
- LIU, Shi-Xi; SONG, Jian-Ha. Combination of constraint programming and mathematical programming for solving resources-constrained project-scheduling problems. *Control Theory & Applications*, v. 28, n. 8, p. 1113-1120. 2011.
- LIU, Shu-Shun; WANG, Chang-Jung. Optimizing project selection and scheduling problems with time-dependent resource constraints. *Automationin Construction*. V. 20, n.8, p.1110–1119, 2011.
- LOPES, Y.; COSTA, A. P. C. Modelo de decisão para seleção de sistemas de informação baseado em decisão multicritério e programação inteira 0-1. *Revista Gestão Industrial*. V. 03, n. 04, p. 135–146, 2007.
- LÓPEZ VACA, O. C. *Um algoritmo evolutivo para a programação de projetos multi-modos com nivelamento de recursos limitados*. Florianópolis, 1995. 198p. (Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina / UFSC.
- LOVA, A.; MAROTO, C.; TORMOS, P. A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, v. 127, n. 2, p. 408-424, 2000.
- MA, H.. Resource-constrained project scheduling: A case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*. v.10, n. 2. P. 148 – 163, 2012.
- MANOS, B. *et al.* A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n.7, p.1593-1600, 2010.

- MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*. 171, pp 296–308, 2006.
- MEADE, L.M.; PRESLEY, A. R & D Project selection using the analytic network process. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 49, p. 59-66, 2002.
- NIKULIN, Y.; DREXL, A.. Theoretical aspects of multicriteria flight gate scheduling: deterministic and fuzzy models. *J Sched*, n. 13, p. 261–280, 2010.
- MOKHTARI, H. *et al.* Project time-cost trade-off scheduling: A hybrid optimization approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 50, n.5-8, p. 811-822, 2010.
- MORAES, R. de O.; LAURINDO, F. J. B. Um Estudo de Caso de Gestão de Portfólio de Projetos de Tecnologia da Informação. *Gestão & Produção*, v. 10, n. 3, p. 311-328, 2003.
- MOSCOS, M. S. Modelling resource allocation of R&D project portfolios using a multi-criteria decision-making methodology. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.57, n. 10, p. 778-784, 2011.
- NEUHAUSER, G. L. & WOLSWY, L. A. *Integer and combinatorial optimization*. Wiley – Interscience, Estados Unidos, 1999.
- PADOVANI, M. *Apoio à decisão na seleção do portfólio de projetos / uma abordagem híbrida usando os métodos AHP e programação inteira*. São Paulo, 2007. 267Pp. (Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ EPUSP).
- PASEK, Z. J.; ASI, F. M., 2002. Linking Strategic Planning with R&D Portfolio Management in an Engineering Research Center. *Proceedings of the 5th International Conference on Managing Innovations in Manufacturing*, Milwaukee, Wisconsin, USA, p. 911, 2002.
- PENTEGHEM, V. V.; VANHOUCHE, M. Using resource scarceness characteristics to solve the multi-mode resource-constrained project scheduling problem. *Journal of Heuristics*, v.17, n. 6, p. 705-728, 2011.
- PMI - PROJECT Management Institute. *A guide to the project management body of knowledge*. PMBOK Guide, Pennsylvania, 2008.
- PINEDO, M. *Scheduling: Theory, algorithms and Systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. Editora Springer, 1995.
- PRETORIUS, L.A. , TOFIE, Z.b, KURTZ, B. *Project prioritisation for safer journeys to schools in Cape Winelands district municipality*. Annual Southern African Transport Conference. P. 407-418, 2006.
- PROMON, S.A. Gerenciamento de Projetos. *Promon Business & Technology Review*. 2008.
- PRVVULOVIC, S; TOLMAC, D. RADOVANOVIC, L. Application of Promethee-Gaia Methodology in the Choice of Systems for Drying Paltry-Seeds and Powder Materials *.Journal of Mechanical Engineering*, v.57, n. 10, p. 778-784, 2011.

- RESENDE, R. C. *Priorização de portfólio de projetos de telecomunicações usando o PROMETHEE V*. Rio de Janeiro, 2007. 91p. (Mestrado – Faculdade de Economia e Finanças / IBMEC).
- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1996.
- RYAM, T. *Estatística Moderna para Engenharia*. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.
- SALIBA, G. C. *Priorização de projetos em petroquímica: Análise multicritério pelo método TODIM*. Rio de Janeiro, 2009. 85p. (Mestrado – Faculdade de Economia e Finanças / IBMEC).
- SANTOS, M. T. S.; MOCCELLIN, J. V. Método heurístico para programação de projetos baseados em critérios gerenciais de empresas construtoras. XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador. *Anais*. São Paulo, 2001.
- SHANG, J. S.; TJADER, Y.; DING, Y. A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 51, p. 3000-313, 2004.
- SILVA, P. G.; COSTA, S. R. R. F. Gerenciamento de projetos em instituições públicas: Um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2010, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, 2010.
- SILVA, S. A. R.. *Métodos de programação de empreendimentos: avaliação e critérios para seleção*. São Paulo, 1993. (Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ USP).
- SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 2 ed. 2002.
- T'KINDT, V., BILLAUT, J. C. *Multicriteria Scheduling: Theory, Models and Algorithms*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 2002.
- TOHUMCU, Z.; KARASAKAL, E. R & D Project performance evaluation with multiple and interdependent criteria. *IEE Transactions on Engineering Management*, v. 57, p. 620-633, 2010.
- VALERIANO, D. L. *Gerenciamento estratégico e administração por projetos*. São Paulo: Makron, 2001.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Bruxelles: Wiley & Sons, 1992.
- WANG, K.; WANG, C. K.; HU, C. AHP with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R & D projects in China. *IEE Transactions on Engineering Management*, v. 52, p. 119-129, 2005.

- WEGLARZ, J. *et al.* Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes – A survey. *European Journal of Operational Research*, v. 208, n.3, p. 177–205, 2011.
- WEI, C. C.; LIANG, G. S.; WANG, M.J. J. A comprehensive supply chain management project selection framework under fuzzy environment. *International Journal of Project Management*, v. 25, p. 627-636, 2007.
- WU, Yu *et al.* Solving Resource-constrained Multiple Project Scheduling Problem Using Timed Colored Petri Nets. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, v. 14, n. 6, p. 713-719, 2009.
- XU, J.; ZHANG, Z. A fuzzy random resource-constrained scheduling model with multiple projects and its application to a working procedure in a large-scale water conservancy and hydropower construction project. *Journal of Scheduling*, v. 15, n. 2, p. 253-272, 2012.
- YANG, B., GEUNES, J., O'BRIEN, W. Resource-Constrained Project Scheduling: Past Work and New Directions. *Research Report*, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida. 2001.
- ZHANG, L.; SUN, R.. An improvement of resource-constrained multi-project scheduling model based on priority-rule based heuristics. *Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, v.8, p. 1-5, 2011.

APÊNDICE 1

```
#include <stdio.h>

main()
{

float pty[3];
int custo [3] = {90000, 92000, 100000};
int cont;
int TCy= 0;
int Y;

printf("Entre com os valores do ptiY: \n");
for (cont =0; cont<3;cont++)
{
    printf("projeto %d: ", cont+1);
    scanf("%f", &pty[cont]);
}

printf("\n Digite a quantidade de meses: ");
scanf("%d", &Y);
int BLy[Y];

for (cont=0; cont<Y;cont++)
```

```
{  
    printf("\n Digite o limite de orcamento para o ano %d: ", cont+1);  
    scanf("%d", &BLy[cont]);  
}  
  
for (cont=0; cont<3;cont++)  
{  
    TCy = TCy + custo[cont]*pty[cont];  
}  
  
printf("\nTCy = %d", TCy);  
  
for(cont=0;cont<Y;cont++)  
{  
    if(TCy<=BLy[cont])  
        printf("\n A restricao foi atendida para o ano %d!", cont+1);  
  
    else  
        printf("\n A restricao nao foi atendida para o ano %d!", cont+1);  
}  
system("pause");  
  
return 0;  
}
```

APÊNDICE 2

```
#include <stdio.h>

main()
{
int sek, r1,r2, cont;
float somaR1=0, somaR2=0;

printf("\n Digite a quantidade máxima de recursos R1: \n");
scanf ("%d", &r1);
printf("\n Digite a quantidade de máxima recursos R2: \n");
scanf ("%d", &r2);
printf("\n Digite a quantidade de projetos analisados: \n");
scanf ("%d", &sek);

//rlj = malloc(j * sizeof(int));
//rj = malloc(j * sizeof(float));
float rlj [sek];
float rj[sek];

for (cont=0; cont<sek; cont++)
{
printf("\n Digite a quantidade de recustos R1 para o projeto %d:", cont+1);
scanf ("%f", &rlj[cont]);
```

```
}

for (cont=0; cont<sek; cont++)
{
    printf("\nDigite a quantidade de recustos R2 para o projeto %d:", cont+1);
    scanf ("%f", &rj[cont]);
}

for (cont=0; cont<sek; cont++)
{
    somaR1 = somaR1+rj[cont];
    somaR2 = somaR2+rj[cont];
}

if (somaR1 <= r1)
    printf ("\na restricao de recursos renovaveis avaliada foi atendida para R1\n\n");
else
    printf ("\na restricao de recursos renovaveis avaliada nao foi atendida para R1\n\n");

if (somaR2 <= r2)
    printf ("\na restricao de recursos renovaveis avaliada foi atendida para R2\n\n");
else
    printf ("\na restricao de recursos renovaveis avaliada nao foi atendida para R2\n\n");
    system("pause");
return 0;
}
```

APÊNDICE 3

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
A	13670,89	27341,77	41012,66	54683,54	68354,43	82025,32	90000	90000	90000	90000	90000	90000
B	0,00	0,00	0,00	17754,39	37122,81	56491,23	75859,65	92000	92000	92000	92000	92000
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15492,96	32394,37	49295,77	66197,18	83098,59	100000
Custo Acumulado	13.670,89	27.341,77	41.012,66	72.437,93	105.477,24	138.516,54	181.352,61	214.394,37	231.295,77	248.197,18	265.098,59	282.000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 138.516,54					Segundo Ano:	R\$ 143.483,46				

APÊNDICE 4

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
A	13670,89	27341,77	41012,66	54683,54	68354,43	82025,32	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00
C	0,00	0,00	0,00	19298,25	40350,88	61403,51	82456,14	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14253,52	29802,82	45352,11	60901,41	76450,70	92000,00
Custo Acumulado	13670,89	27341,77	41012,66	73981,79	108705,31	143428,83	186709,66	219802,82	235352,11	250901,41	266450,70	282000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 143.428,83					Segundo Ano:	R\$ 138.571,17				

APÊNDICE 5

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
B	13974,68	27949,37	41924,05	55898,73	69873,42	83848,10	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00
A	0,00	0,00	0,00	17368,42	36315,79	55263,16	74210,53	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15492,96	32394,37	49295,77	66197,18	83098,59	100000,00
Custo Acumulado	13974,68	27949,37	41924,05	73267,16	106189,21	139111,26	181703,48	214394,37	231295,77	248197,18	265098,59	282000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 139.111,26					Segundo Ano:	R\$ 142.888,74				

APÊNDICE 6

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
B	13974,68	27949,37	41924,05	55898,73	69873,42	83848,10	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00
C	0,00	0,00	0,00	19298,25	40350,88	61403,51	82456,14	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00
A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13943,66	29154,93	44366,20	59577,46	74788,73	90000,00
Custo Acumulado	13974,68	27949,37	41924,05	75196,98	110224,29	145251,61	188399,80	221154,93	236366,20	251577,46	266788,73	282000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 145.251,61					Segundo Ano:	R\$ 136.748,39				

APÊNDICE 7

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
C	15189,87	30379,75	45569,62	60759,49	75949,37	91139,24	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00
A	0,00	0,00	0,00	17368,42	36315,79	55263,16	74210,53	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00	90000,00
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14253,52	29802,82	45352,11	60901,41	76450,70	92000,00
Custo Acumulado	15189,87	30379,75	45569,62	78127,91	112265,16	146402,40	188464,05	219802,82	235352,11	250901,41	266450,70	282000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 146.402,40					Segundo Ano:	R\$ 135.597,60				

APÊNDICE 8

	Data (dias)											
Projeto	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
C	15189,87	30379,75	45569,62	60759,49	75949,37	91139,24	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00	100000,00
B	0,00	0,00	0,00	17754,39	37122,81	56491,23	75859,65	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00	92000,00
A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13943,66	29154,93	44366,20	609014,08	74788,73	90000,00
Custo Acumulado	15189,87	30379,75	45569,62	78513,88	113072,17	147630,47	189803,31	221154,93	236366,20	801014,08	266788,73	282000,00
Despesa Anual	Primeiro Ano:	R\$ 147.630,47						Segundo Ano:	R\$ 134.369,53			