



MODELO PARA ALOCAÇÃO DE PESSOAS A PROJETOS EM AMBIENTE  
MULTI-PROJETOS CONSIDERANDO QUESTÕES DE AMBIENTAÇÃO DAS  
PESSOAS AOS PROJETOS

Ricardo Constant Dickstein

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Rio de Janeiro

Março de 2011

MODELO PARA ALOCAÇÃO DE PESSOAS A PROJETOS EM AMBIENTE  
MULTI-PROJETOS CONSIDERANDO QUESTÕES DE AMBIENTAÇÃO DAS  
PESSOAS AOS PROJETOS

Ricardo Constant Dickstein

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Heitor Mansur Caulliraux, D. Sc.

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D. Sc.

---

Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, D. Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2011

Dickstein, Ricardo Constant

Modelo para alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos / Ricardo Constant Dickstein – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XIII, 145 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia de Produção, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 89-93

1. Alocação de pessoas a projetos. I. Caulliraux, Heitor Mansur. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

*Aos meus pais*

## **Agradecimentos**

Gostaria de começar agradecendo aos meus companheiros de ELO que me incentivaram e ajudaram antes e ao longo desse percurso.

Agradeço aos meus amigos que, apesar do pouco tempo dedicado a eles nos últimos tempos, continuam morando no meu coração.

Agradeço ao Paulo mais uma vez por ter me ajudado na escolha de profissão e por ter, junto à minha mãe ter dado um presente pra todos nós.

À Ivone por cuidar de mim e pelo exemplo que é na minha vida.

À Bia, pela sua generosidade.

A todos os meus tios e tias, avôs e avós, primos e primas, pelo carinho que sempre me deram.

À Mari, pela sua infinda doçura.

Ao André, meu irmãozão, por todos os papéis que realizou e realiza em minha vida, mas principalmente, por ser meu amigo.

Ao Marcos e Gabriel, meus irmãozinhos, por existirem e iluminarem minha vida.

À Tatiana, por ter estado comigo e me apoiado ao longo do último ano e por ser o meu amor.

Finalmente, a meus pais por todo o amor e compreensão.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELO PARA ALOCAÇÃO DE PESSOAS A PROJETOS EM AMBIENTE  
MULTI-PROJETOS CONSIDERANDO QUESTÕES DE AMBIENTAÇÃO DAS  
PESSOAS AOS PROJETOS

Ricardo Constant Dickstein

Março/ 2011

Orientador: Heitor Mansur Caulliraux

Programa: Engenharia de Produção

Esta pesquisa foca em ambientes organizacionais onde uma série de projetos precisa ser executada em paralelo contanto com uma equipe comum a todos para tanto, isto é, os ambientes multi-projetos. Embora uma série de estudos já tenha sido realizada com a proposição de modelos para a alocação de pessoas a projetos, nenhum deles contemplou restrições de formação e mudança de equipes de projeto. No entanto, na prática e a partir da literatura percebe-se que as equipes de projeto, uma vez formadas, tornam-se elementos que apresentam rigidez na sua alteração.

Esta dissertação busca propor um modelo para a alocação de pessoas a projetos considerando essas restrições de alteração de equipe e habilidades e níveis de proficiência diversos entre as pessoas para apoio à tomada de decisão. O modelo proposto é baseado em programação inteira linear multi-critérios onde o objetivo do modelo é minimizar três elementos: gap de proficiência para realização das tarefas, tarefas não executadas e mudança de pessoas entre projetos. O modelo foi implementado utilizando-se os softwares Microsoft Excel e What'sBest! e um exemplo foi aplicado em uma empresa de soluções de software para demonstrar sua utilização.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MULTIPROJECT PEOPLE ASSIGNMENT MODEL CONSIDERING ISSUES OF  
PEOPLE ADAPTATION TO PROJECTS

Ricardo Constant Dickstein

March/2011

Advisor: Heitor Mansur Caulliriaux

Department: Production Engineering

This research focuses organizational environments where several projects need to be executed in parallel counting on a common team to do so for all of them, i. e., a multi-project environment. Even though many studies have been done proposing people assignment to projects models, none of them has contemplated project team formation and change constraints. However, in practice and in the literature it can be seen that project teams, once formed, become rigid elements to be changed.

This dissertation proposes a people assignment to project model considering such team changing constraints and diverse skills and proficiency levels among the people to support the decision making. The proposed model is based in multi-criteria linear integer programming in which the objective is to minimize three elements: proficiency gap in the task execution, non-executed tasks and people change among projects. The model was implemented using Microsoft Excel and What'sBest! softwares and an example was applied in a software solutions company in order to demonstrate its utilization.

## Sumário

<b>1.</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2.	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	4
1.3.	RELEVÂNCIA DO TEMA NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO .....	4
1.4.	CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO .....	5
1.5.	VISÃO GERAL DO TRABALHO .....	6
<b>2.</b>	<b>Método de pesquisa</b> .....	<b>7</b>
2.1.	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	7
2.2.	DESCRIÇÃO DA PESQUISA REALIZADA .....	7
<b>3.</b>	<b>Revisão da Literatura</b> .....	<b>11</b>
3.1.	PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO .....	12
3.2.	GESTÃO DE MULTI-PROJETOS.....	17
3.3.	PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS .....	22
3.4.	PROBLEMAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS A PROJETOS .....	26
3.4.1.	Modelos multiagente de alocação de recursos a projetos .....	27
3.4.2.	Modelos diversos de alocação de recursos a projetos.....	29
3.4.3.	Modelos de programação inteira e derivados para alocação de pessoas a projetos .....	32
3.5.	MODELOS MULTI-CRITÉRIOS.....	38
3.6.	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DAS EQUIPES DE PROJETO .....	39
<b>4.</b>	<b>Modelo para alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos</b>	<b>50</b>

4.1.	O MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO.....	56
4.1.1.	Parâmetros.....	56
4.1.2.	Variáveis .....	57
4.1.3.	Função objetivo.....	57
4.1.4.	Restrições .....	59
4.1.5.	Verificações de Pré-processamento .....	62
4.2.	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	63
<b>5.</b>	<b>Aplicação do modelo proposto.....</b>	<b>65</b>
5.1.	A ORGANIZAÇÃO: INTELIE.....	65
5.2.	A APLICAÇÃO DO MODELO.....	65
<b>6.</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>82</b>
6.1.	SÍNTESE .....	82
6.2.	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA .....	86
6.3.	LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	87
6.4.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO I: BUSCAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO II: TABELAS DA APLICAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>125</b>
	PARÂMETROS DO PROBLEMA .....	125
	VARIÁVEIS SOLUÇÃO CENÁRIO 1 .....	131
	VARIÁVEIS SOLUÇÃO CENÁRIO 2 .....	134
	VARIÁVEIS SOLUÇÃO CENÁRIO 3 .....	138
	VARIÁVEIS SOLUÇÃO CENÁRIO 4 .....	141

## Lista de figuras

Figura 1 - Níveis de planejamento de alocação de recursos humanos em um contexto de projetos – Fonte: HEIMERL e KOLISCH (2010).....	3
Figura 2 - Framework Hierárquico – Fonte: Adaptado de HANS et al. (2007).....	19
Figura 3 - Framework de Gestão Hierárquica de Multi-Projetos – Fonte: adaptado de BALLOU e TAYI (1996).....	20
Figura 4 - Links entre os vários processos de alocação de recursos - Fonte: HENDRIKS et al. (1999).....	21
Figura 5 - Níveis de planejamento de alocação de recursos humanos em um contexto de projetos – Fonte: HEIMERL e KOLISCH (2010).....	22
Figura 6 - Visão interativa entre programação e alocação - Fonte: O autor.....	23
Figura 7 - Uma organização multiagente para alocação multi-projetos – Fonte: LEE et al. (2003).....	28
Figura 8 - Procedimento de alocação via simulação - Fonte: adaptado de CHENG et al. (2006) .....	30
Figura 9 - Exemplo de alocação de recursos através de Rede de Petri – Fonte: CHEN et al. (2008).....	31
Figura 10 – O grafo representando o problema do jantar – Fonte: Bhadury et al., 2000.....	46
Figura 11 – Framework conceitual para a formação de equipes de projeto – Fonte: TSENG et al., 2004 .....	47
Figura 12 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 1 - Fonte: O autor.....	70
Figura 13 - Quantidade de projetos por consultor no Cenário 1- Fonte: O autor.....	71
Figura 14 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 1 - Fonte: O autor.....	71

Figura 15 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor.....	73
Figura 16 - Quantidade de projetos por consultor no Cenário 2 - Fonte: O autor.....	74
Figura 17 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 2 - Fonte: O autor.....	74
Figura 18 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor.....	77
Figura 19 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 4 - Fonte: O autor.....	78
Figura 20 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor.....	79

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Três processos de alocação de recursos e seus objetivos específicos - Fonte: adaptado de HENDRIKS et al. (1999) .....	22
Tabela 2 - Quadro comparativo entre artigos de alocação de recursos a projetos - Fonte: O autor .....	37
Tabela 3 - Componentes da função objetivo no cenário 1 - Fonte: O autor.....	68
Tabela 4 - Quadro resumo da alocação no Cenário 1 - Fonte: O autor .....	69
Tabela 5 - Componentes da função objetivo no cenário 2 - Fonte: O autor.....	72
Tabela 6 - Quadro resumo da alocação no Cenário 2 - Fonte: O autor .....	72
Tabela 7 - Componentes da função objetivo no cenário 1 - Fonte: O autor.....	75
Tabela 8 - Quadro resumo da alocação no Cenário 3 - Fonte: O autor .....	75
Tabela 9 - Componentes da função objetivo no cenário 4 - Fonte: O autor.....	77
Tabela 10 - Quadro resumo da alocação no Cenário 4 - Fonte: O autor .....	78
Tabela 11 - Tabela de projetos .....	125
Tabela 12 - Tabela de atividades .....	126
Tabela 13 - Tabela de recursos .....	126
Tabela 14 - Tabela de habilidades .....	126
Tabela 15 - Tabela de períodos.....	126
Tabela 16 - Tabela b .....	127
Tabela 17 - Tabela n .....	129

Tabela 18 - Tabela d .....	129
Tabela 19 - Tabela e/s.....	131
Tabela 20 - Tabela x Cenário 1 .....	132
Tabela 21 - Tabela v Cenário 1 .....	133
Tabela 22 - Tabela y Cenário 1 .....	134
Tabela 23 - Tabela z Cenário 1.....	134
Tabela 24 - Tabela x Cenário 2 .....	136
Tabela 25 - Tabela v Cenário 2 .....	137
Tabela 26 - Tabela y Cenário 2 .....	137
Tabela 27 - Tabela z Cenário 2.....	138
Tabela 28 - Tabela x Cenário 3 .....	139
Tabela 29 - Tabela v Cenário 3 .....	140
Tabela 30 - Tabela y Cenário 3 .....	141
Tabela 27 - Tabela z Cenário 3.....	141
Tabela 32 - Tabela x Cenário 4 .....	143
Tabela 33 - Tabela v Cenário 4 .....	144
Tabela 34 - Tabela y Cenário 4 .....	144
Tabela 35 - Tabela z Cenário 4.....	145

## **1. Introdução**

O documento será iniciado com uma introdução através da qual se deseja contextualizar o leitor em relação ao trabalho realizado bem como trazer as motivações que levaram à realização do mesmo.

Para tanto, inicialmente será trazida a contextualização do problema, ou seja, qual é a questão que se deseja resolver e por que ela é importante. Em seguida, serão delimitados os objetivos dessa pesquisa deixando claro, assim, de que forma os problemas apresentados serão endereçados.

Explicados a importância do tema e os objetivos da pesquisa, será feita uma explanação de por que o tema é relevante dentro do contexto da engenharia de produção e qual a contribuição que se espera prover à comunidade a partir deste estudo.

Ao final deste capítulo, será dada uma visão geral do trabalho trazendo um resumo daquilo que será abordado em todos os seus capítulos.

### **1.1. Contextualização do problema**

Antes de começar a entrar no tema proposto propriamente dito, é importante que alguns conceitos sejam elucidados uma vez que estes serão utilizados ao longo deste trabalho. O projeto é o tema fundamental ao redor do qual todo este estudo será estruturado. HANS et al. (2007) definem o projeto da seguinte forma:

Um projeto pode ser definido informalmente como uma iniciativa única consistindo de um conjunto complexo de atividades com relações de precedência que precisam ser executadas utilizando-se recursos diversos e, principalmente, limitados de uma companhia. (HANS et al., 2007)

GIRARD e ROBIN (2006) definem um projeto como “a intenção de satisfazer um objetivo projetado (uma função técnica, uma parte, uma montagem ou um mecanismo complexo)”.

O PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2008) define um projeto da seguinte forma:

Um projeto é um esforço temporário tomado para criar um único produto, serviço ou resultado. A natureza temporária dos projetos indica uma definição de início e fim. O fim é atingido quando os objetivos do projeto foram alcançados ou quando o projeto é terminado porque seus objetivos não serão ou não poderão ser alcançados ou quando a necessidade pelo projeto não mais existe. Temporário não necessariamente significa curto em duração. Temporário geralmente não se aplica ao produto, serviço ou resultado criado pelo projeto; a maior parte dos projetos é conduzida para se criar um resultado duradouro. Por exemplo, um projeto de construção de um monumento nacional irá criar um resultado que se espera dure séculos. Projetos também podem ter impactos sociais, econômicos e ambientais que duram por muito mais tempo do que os projetos em si. (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008)

É importante que se defina também o termo ‘gestão de projeto’ já que o mesmo será utilizado ao longo deste trabalho. O PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2008) define a gestão de projetos da seguinte forma: “Gestão de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidade, ferramentas e técnicas para que as atividades do projeto atinjam os seus requisitos.”.

Os projetos vêm ganhando cada vez mais atenção dentro do ambiente organizacional. No entanto, a maior parte da literatura voltada para projetos se foca em projetos individuais. O trecho a seguir demonstra essa ênfase maior da literatura na gestão de projetos individuais:

Tradicionalmente, a pesquisa na área de planejamento de projeto vem se focando no planejamento de chamado organizações de projetos individuais. Um crescente número de companhias, no entanto, tende a uma estrutura organizacional na qual múltiplos projetos são executados simultaneamente. [...] Frequentes conflitos de interesse podem surgir quando mais de um projeto requer os mesmos recursos ao mesmo tempo. Nesse artigo nós nos referimos à coordenação geral de tais organizações de multi-projeto como gestão de multi-projeto. (HANS et al., 2007)

ISAKOW-ANAVI e GOLANY (2003) também trazem um trecho descrevendo esse foco maior da literatura de projetos em projetos individuais.

A maior parte da literatura sobre gestão de projetos vem sendo dedicada a projetos individuais. No entanto, nos anos recentes vem havendo um crescente interesse em problemas relacionados a mecanismos de controle para ambientes multi-projetos. (ISAKOW-ANAVI e GOLANY, 2003)

Apesar desse foco maior em questões relacionadas aos projetos individuais, a importância de se pensar os múltiplos projetos é tão grande quanto se pensar cada um dos projetos individualmente.

Um plano agregado e combinado de projeto é uma boa ajuda para a gestão assegurar que a organização não conduza mais projetos do que ela pode completar. Ele também pode facilitar análise e relatórios através dos projetos. Manter um plano integrado é difícil, no entanto, por

causa do tamanho dos projetos, da natureza dinâmica do portfólio, da incerteza inerente a cada projeto individual e do fato de que diferentes projetos normalmente possuem gerentes de projetos diferentes com objetivos diversos e até mesmo conflitantes. (HANS et al., 2007)

Percebe-se, portanto, que existem questões ao planejamento em ambientes com diversos projetos que possuem alta complexidade e que também são críticas às organizações. Estes ambientes multi-projetos são o foco deste trabalho.

HEIMERL e KOLISCH (2010) dividem a discussão de gestão de multi-projetos em três etapas: seleção de projetos, programação de projetos (do inglês, *project scheduling*) e alocação de pessoas a projetos (do inglês, *staff assignment*).



**Figura 1 - Níveis de planejamento de alocação de recursos humanos em um contexto de projetos –  
Fonte: HEIMERL e KOLISCH (2010)**

O foco deste estudo será na terceira etapa, a etapa de alocação. Considera-se que este seja um problema de alta complexidade para as organizações quando envolve um número elevado de projetos, atividades, recursos, etc.. A maior parte das organizações atualmente lida com esse tipo de problema e precisa tomar decisões com relação a como alocar suas pessoas aos projetos e acabam por fazer isso de forma tácita ou através de ferramentas simples, sem recorrer a técnicas matemáticas que possivelmente aumentem a precisão dessa escolha.

Esse problema ganha ainda mais complexidade quando se leva em consideração questões relacionadas a habilidades, níveis de proficiência e dificuldades de mudança nas configurações das equipes de projeto. HENDRIKS et al. (1999) demonstram essa complexidade, quando se fala de um ambiente de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de uma organização:

Em organizações de pesquisa e desenvolvimento, o conhecimento humano é o recurso mais importante e mais escasso. Alocar os recursos humanos certos a um projeto é vital. Quanto mais projetos estão envolvidos e quanto mais específico é o conhecimento necessário em cada projeto, mais importante, mas também mais difícil, se torna o processo de alocação. (HENDRIKS et al., 1999)

O foco desta pesquisa será explorar o problema descrito acima, entendendo as soluções propostas até hoje para problemas similares e, posteriormente, propor um modelo específico para solução dos mesmos.

## **1.2. Objetivos da pesquisa**

A partir do entendimento do problema que se deseja estudar e solucionar a partir deste estudo, propõe-se o seguinte objetivo para o mesmo: proposição de um modelo para alocação de pessoas a projetos levando-se em consideração diferentes habilidades, níveis de proficiência nas habilidades e dificuldades de alterações de equipes de projeto. Coloca-se ainda como sub-objetivos:

- Entendimento dos modelos já propostos para alocação de pessoas a projetos
- Implantação do modelo proposto em uma ferramenta para uso real
- Aplicação do modelo proposto em um caso real para teste e validação do mesmo

## **1.3. Relevância do tema na Engenharia de Produção**

A gestão e organização do trabalho são temas tipicamente tratados pelo engenheiro de produção. Quando se pensa a função de selecionar equipes de projeto, dada uma determinada disponibilidade de pessoas, no sentido de se atingir os objetivos dos projetos da melhor forma possível, está-se tipicamente falando do trabalho de um engenheiro de produção. A Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) coloca dentre as competências do engenheiro de produção, o seguinte:

Ser capaz de dimensionar e integrar recursos físicos, humanos e financeiros a fim de produzir, com eficiência e ao menor custo, considerando a possibilidade de melhorias contínuas; (ABEPRO, 2010)

Para tanto, uma série de técnicas podem ser utilizadas, desde técnicas completamente tácitas, passando por técnicas com algum tipo de ferramenta de apoio chegando-se a técnicas matemáticas. Mais uma vez, o domínio dessas últimas técnicas

fazem parte da formação do engenheiro de produção e devem ser dominadas por este, conforme mais uma vez destaca a ABEPRO.

Ser capaz de utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na tomada de decisões; (ABEPRO, 2010)

Finalmente, para o caso específico da aplicação de modelos matemáticos na alocação de pessoas a projetos, outras competências como a análise de demandas, captura e seleção de habilidades de pessoas e outros recursos devem ser empregados. Essas também são competências que fazem parte da formação e do campo de pesquisa da engenharia de produção. A ABEPRO mais uma vez pode ser utilizada como referência.

Ser capaz de prever e analisar demandas, selecionar tecnologias e know-how, projetando produtos ou melhorando suas características e funcionalidade; (ABEPRO, 2010)

Assim, conclui-se que por tratar de questões referentes a organização do trabalho no sentido de torná-lo mais eficaz e eficiente através da utilização de ferramentas matemáticas e análise de demanda e competências, o trabalho proposto está totalmente aderente ao programa de mestrado de engenharia de produção.

#### **1.4. Contribuição do estudo**

O estudo tem como contribuição principal prover um modelo que seja útil a organizações para tomada de decisão com relação à alocação de pessoas a atividades em um ambiente multi-projetos. Embora já exista uma série de estudos voltados para esse mesmo objetivo, este estudo pretende se diferenciar dos métodos até hoje propostos por combinar questões relacionadas a diferenças de habilidades e níveis de proficiência dos recursos nessas habilidades e dificuldades relacionadas a alterações das equipes de projeto ao longo do tempo.

A partir da utilização deste modelo, espera-se que uma organização seja capaz de tomar melhores decisões com relação a como fazer a alocação de suas pessoas a uma série de projetos que precisem ser realizados dentro de um determinado horizonte de tempo.

Além disso, considera-se uma contribuição relevante deste estudo, a disponibilização de uma organização bibliográfica e revisão literária do tema tratado. Outros pesquisadores que venham futuramente a tratar de tema relacionado poderão utilizar esta dissertação como uma base de orientação para explorar a literatura existente.

### **1.5. Visão geral do trabalho**

Os próximos capítulos serão organizados da seguinte forma:

- O capítulo dois apresenta a caracterização acadêmica e o método de pesquisa utilizado para se chegar à base de literatura pesquisada para a construção do trabalho;
- O terceiro capítulo apresenta a revisão da literatura pesquisada com o objetivo de contextualizar o leitor no campo e enquadrar o foco do trabalho dentro do mesmo;
- O quarto capítulo foca no modelo proposto em si. Nele será apresentado e descrito o modelo matemático proposto para resolução do problema estudado e a forma como o mesmo foi implantado em uma ferramenta para execução do mesmo em casos reais;
- O quinto capítulo trará a descrição do modelo em um caso real. A aplicação do modelo foi feita em uma empresa de soluções de desenvolvimento de software
- O sexto, e último, capítulo trará a conclusão do trabalho fazendo um apanhado geral da pesquisa realizada e propondo possíveis desdobramentos futuros para a mesma.

## **2. Método de pesquisa**

Este capítulo apresenta a caracterização da pesquisa realizada e descreve a estrutura da pesquisa utilizada para se chegar aos resultados finais propostos.

### **2.1. Caracterização da pesquisa**

Segundo BOOTH (2003), existem basicamente dois tipos de pesquisa. A pesquisa pura se dá quando a “solução para um problema não impacta em qualquer situação prática no mundo, mas melhora o entendimento de uma comunidade de pesquisadores”. Já a pesquisa aplicada acontece quando “a solução para o problema de pesquisa tem conseqüências práticas”.

Claramente, o foco desta pesquisa é eminentemente prático na medida em que o objetivo da mesma é a concepção de um modelo de apoio à tomada de decisão organizacional.

Olhando pela perspectiva inversa, o problema não pode ser visto como uma pesquisa pura uma vez que a aplicação prática é seu objetivo principal e a melhora do entendimento de uma comunidade pesquisadores, embora aconteça de forma intrínseca, não é a intenção primária deste trabalho de pesquisa.

Dessa forma, torna-se claro que a pesquisa proposta se trata de uma pesquisa aplicada.

### **2.2. Descrição da Pesquisa Realizada**

A pesquisa foi basicamente realizada através da busca por palavras-chave na base ISI. Depois de pesquisas superficiais para familiarização com as palavras-chave, foi feita a pesquisa na base pela expressão “*project assign\**”. A utilização do \* ao final do radical “*assign*” foi feita para que a busca contemplasse ambos os vocábulos “*assignment*” e “*assigning*”. A busca inicial retornou 4.165 títulos. Foi aplicado então um filtro, conforme abaixo:

- Categorias gerais

- SCIENCE & TECHNOLOGY
- SOCIAL SCIENCES
- Áreas de assunto
  - ENGINEERING
  - COMPUTER SCIENCE
  - HEALTH CARE SCIENCES & SERVICES
  - EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH
  - MATHEMATICS
  - BUSINESS & ECONOMICS
  - INFORMATION SCIENCE & LIBRARY SCIENCE
  - OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE
  - SCIENCE & TECHNOLOGY - OTHER TOPICS
- Tipo de document
  - ARTICLE
- Anos de publicação
  - 2000
  - 2001
  - 2002
  - 2003
  - 2004
  - 2005
  - 2006
  - 2007
  - 2008
  - 2009
  - 2010

A partir do filtro aplicado, remanesceram 1.176 títulos. Todos esses itens tiveram seus títulos analisados para que se fossem selecionados os títulos que pudessem ter pertinência à pesquisa. Em função do termo de pesquisa muito amplo, muitos títulos

não apresentaram pertinência, restando, ao final, apenas 42 artigos<sup>1</sup>. A partir daí, todos os artigos foram buscados para análise de *abstract*. A partir dessa análise, somente 17 artigos foram selecionados para leitura completa.

Em seguida, o mesmo procedimento foi replicado para a expressão “*assign\* work\* plan\**”. 617 resultados foram encontrados. O filtro aplicado foi:

- Categorias Gerais
  - SCIENCE & TECHNOLOGY
  - SOCIAL SCIENCES
- Tipo de document
  - ARTICLE
- Áreas de assunto
  - ENGINEERING
  - OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE
  - COMPUTER SCIENCE
  - BUSINESS & ECONOMICS
  - MATHEMATICS
  - HEALTH CARE SCIENCES & SERVICES
  - SCIENCE & TECHNOLOGY - OTHER TOPICS
  - EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH
  - SOCIAL SCIENCES - OTHER TOPICS

Restaram 300 títulos a partir do filtro. Os trezentos títulos foram analisados restando 58 artigos<sup>2</sup> a ter seus *abstracts* analisados. A partir da leitura dos *abstracts*, sete artigos foram selecionados para leitura integral.

Finalmente, o procedimento foi repetido uma última vez para a expressão “*team project allocat\**”. 85 títulos foram retornados. Neste caso o único filtro aplicado foi o de tipo de documento para retornar somente os artigos. 61 títulos remaneceram. A

---

<sup>1</sup> Esses 42 artigos estão listados no anexo I para posterior referência a outros pesquisadores que venham a se utilizar desta dissertação como ponto de partida para suas buscas bibliográficas.

<sup>2</sup> Os 58 artigos também estão listados no anexo I

partir da análise dos títulos, 13 *abstracts*<sup>3</sup> permaneceram para análise. Após a leitura dos *abstracts*, somente três artigos foram selecionados para leitura integral.

Após a eliminação dos títulos replicados entre as pesquisas, 20 artigos foram obtidos para leitura integral. A partir do estudo desses artigos e de suas fontes bibliográficas, outros 27 artigos foram sendo selecionados gradualmente ao longo das leituras sucessivas dos mesmos. Ao final, a base bibliográfica estudada teve um total de 47 artigos principais. No anexo I esses artigos são listados.

---

<sup>3</sup> Os 13 artigos estão listados no anexo I.

### 3. Revisão da Literatura

Este capítulo trará uma revisão da literatura adotada para a construção da pesquisa. A idéia é elucidar a estrutura desse campo de pesquisa e dar as bases para a construção do modelo que será descrito no capítulo seguinte.

Inicialmente, será feita uma introdução sobre problemas de alocação (*assignment problem*). Esse problema é o núcleo fundamental para a construção do modelo que se pretende propor de alocação de pessoas a projetos.

Em seguida, será feita uma introdução a problemas de planejamento em ambientes multi-projetos com o objetivo de delimitar mais claramente qual o problema do planejamento multi-projetos que se pretende endereçar com o modelo proposto.

Uma vez introduzidos os problemas de planejamento em ambiente multi-projetos, um de seus problemas específicos, o problema de programação de projetos, será aprofundado. Embora a programação de projetos não vá ser contemplado no modelo final proposto, entende-se que a compreensão desses problemas seja fundamental ao entendimento geral do problema e até mesmo para justificar a sua exclusão do modelo proposto.

Finalmente, o foco principal da pesquisa, os problemas de alocação de recursos em projetos, será explorado. Esses problemas foram divididos em três categorias para melhor compreensão e delimitação ainda mais clara da abordagem escolhida para tentativa de solução do problema proposto.

Inicialmente serão mostrados os modelos multiagente para alocação de recursos em projetos. Em seguida serão explorados modelos diversos para alocação de recursos em projetos. Finalmente, será mostrada a abordagem trazida pelos artigos considerados principais da pesquisa: modelos de programação inteira e derivados para alocação de recursos a projetos. Essa será a abordagem escolhida para se tentar solucionar o problema proposto.

Explicadas as principais abordagens para alocação de pessoas a projetos, alguns pontos também importantes para a elaboração do modelo final serão trazidos para que sejam contextualizados em meio à discussão geral proposta.

Primeiro será feita uma passagem breve sobre modelo multi-critérios uma vez que o modelo proposto se enquadrará nessa categoria de modelos.

Finalmente, algumas considerações serão também feitas a respeito da questão de equipes de projetos uma vez que se entende que o principal diferencial do modelo proposto em relação ao que já foi abordado anteriormente está na contemplação da dificuldade das trocas de pessoas de equipes em projetos.

### **3.1. Problemas de alocação**

Para iniciar a contextualização ao problema tratado, os problemas de alocação serão inicialmente descritos. O trecho a seguir traz uma explicação sobre o que são os problemas de alocação:

No problema de alocação, em um grafo ponderado bipartido  $G=(N,A)$ , onde para todo  $(i, j) \in A$ ,  $i \in N_1$  e  $j \in N_2$ , ou vice-versa, procura-se parear nós em  $N_1$  e  $N_2$  de tal forma que o custo total do pareamento é minimizado. Em outras palavras, dados dois conjuntos de objetos, o melhor, mais eficiente, menos custoso pareamento é buscado.

Existem diversas aplicações do problema de alocação: Por exemplo, alocar professores a classes; combinar pessoas a trabalhos, cômodos, eventos, máquinas, projetos ou umas às outras; alocar tripulações a vôos, trabalhos a máquinas, e assim por diante. Cada alocação possui um valor e nós queremos fazer as alocações minimizarem a soma desses valores. (RAVINDRAN, 2009, p. 108)

PENTICO (2007) define os problemas de alocação da seguinte forma:

Problemas de alocação envolvem combinar otimamente os elementos de dois ou mais conjuntos, onde a dimensão do problema se refere ao número de conjuntos de elementos a serem combinados. Quando existem apenas dois conjuntos, como será o caso da maior parte das variações que consideraremos, eles serão referidos a tarefas e agentes. Assim, “tarefas” podem ser trabalhos a serem feitos e “agentes” podem ser pessoas ou máquinas que podem fazê-los. (PENTICO, 2007)

Percebe-se que a segunda definição dá uma ênfase mais clara a questões relacionadas à alocação de executores de tarefas ou trabalhos a estes, enquanto a primeira definição deixa o foco dos problemas de alocação mais aberto. Além disso, o segundo trecho abre para a possibilidade de mais de dois conjuntos envolvidos no

problema enquanto o primeiro admite apenas dois. Essas diferenças, no entanto, não causam nenhum tipo de interferência ao problema tratado já que esse terá apenas dois conjuntos envolvidos e tratará de alocação de pessoas a atividades. Fica claro, portanto, que essa abordagem permite a aproximação ao problema que se deseja tratar.

Os termos propostos por PENTICO (2007) “agente” e “tarefas” serão utilizados a partir de agora neste texto da mesma forma proposta por ele.

PENTICO (2007) propõe uma classificação dos problemas de alocação existentes na literatura. Segundo ele, os problemas de alocação se dividem em modelos que no máximo uma tarefa por agente, modelos que múltiplas tarefas por agente e problemas de alocação multi-dimensionais. Essa classificação será detalhada a seguir:

- Modelos com no máximo uma tarefa por agente. Estes modelos se subdividem em:
  - O problema de alocação clássico – essa abordagem busca encontrar uma combinação um para um entre  $n$  tarefas e  $n$  agentes.
  - O problema de alocação clássico reconhecendo qualificação de agentes – nessa variação existem  $m$  agentes e  $n$  tarefas e nem todo agente é qualificado para toda tarefa.
  - O problema de alocação de cardinalidade  $k$  – nessa variação existem  $m$  agentes e  $n$  tarefas, mas apenas  $k$  dos agentes e tarefas devem ser alocados onde  $k$  é menor do que ambos  $m$  e  $n$ .
  - O problema de alocação com gargalo – o objetivo dessa abordagem é, em vez de minimizar o custo total da alocação ou algo que o valha, minimizar o maior custo das alocações.
  - O problema de alocação balanceado – busca minimizar a diferença entre o máximo e o mínimo custo de alocação.
  - O problema de alocação de desvio mínimo – parecido com o problema de alocação balanceado, porém busca minimizar a diferença entre o máximo custo de alocação e o custo de alocação médio.
  - O problema do gargalo lexicográfico – similar ao problema de alocação com gargalo, essa abordagem busca não apenas minimizar o custo

máximo de alocação, mas também o segundo maior, o terceiro e assim por diante.

- O problema de alocação  $\sum_k$  – similar ao problema do gargalo lexicográfico, essa abordagem busca minimizar o somatório dos  $k$  maiores custos de alocação.
- O problema de semi-alocação – reconhece que elementos de um dos conjuntos podem ser idênticos.
- O problema de alocação categorizado – reconhece que as tarefas podem ter uma ordem sequencial entre elas dividindo elas em categorias.
- Problemas de alocação multi-critério – reconhece que pode haver mais de um critério de decisão para alocação e leva isso consideração no modelo de alocação utilizado.
- O problema de alocação fracionário – utiliza programação fracionária para resolver o problema de alocação.
- O problema de alocação com restrições adicionais – reconhece a existência de outras restrições que não apenas as restrições de cada tarefa ter de ser alocada a um único agente e cada agente ser alocado a no máximo uma tarefa.
- O problema de alocação quadrático – mais utilizado para o problema de alocação de instalações industriais a locais, reconhece uma função objetivo quadrática.
- O problema de alocação robusto – reconhece a incerteza com relação aos valores das variáveis contempladas no modelo.
- Modelos com múltiplas tarefas por agente. Esses modelos podem ser subdivididos de acordo com a classificação a seguir:
  - O problema de alocação generalizado – permite a alocação de diversas tarefas a uma agente reconhecendo a capacidade desses agentes e quanto cada tarefa alocada a ele toma dessa capacidade.
  - O problema de alocação generalizado com múltiplos recursos – adiciona restrições ao problema de alocação generalizado ao reconhecer que outros recursos estão envolvidos na alocação e impõem restrições a ela.

- O problema de alocação generalizado com gargalo – da mesma que no problema de alocação com gargalo, o objetivo nesse caso é minimizar o maior custo de alocação
- O problema de alocação desbalanceado de minimização de tempo – o objetivo é a minimização do tempo total de execução das tarefas reconhecendo que, por conta das restrições de capacidade dos agentes, elas deverão ser feitas de forma seqüencial.
- O problema de alocação  $\beta$  – reconhece que nem todo agente está qualificado para executar todas as tarefas, mas não considera quanto de capacidade do agente cada tarefa irá tomar
- O problema de alocação generalizado quadrático – da mesma forma que o problema de alocação quadrático, reconhece uma função objetivo quadrática
- Problemas de alocação multi-dimensionais – esses problemas buscam a alocação ótima de mais do que apenas dois conjuntos de elementos. Essa categoria de problemas de alocação não será explorada por se considerar que esse detalhamento não trará ganhos ao objetivo desta pesquisa.

A importância de se trazer essa classificação é a contextualização da pesquisa dentro de um campo amplamente explorado.

Depois de introduzido o problema de alocação, alguns exemplos de aplicações num contexto de alocação de pessoas tarefas encontrados na literatura serão mostrados.

BRUSCO e JOHNS (1998) apresentam um problema de alocação de uma força de trabalho com diferentes níveis de produtividade a atividades em um turno de trabalho durante um horizonte de tempo. Eles também utilizam um modelo de programação inteira para resolver o problema objetivando a minimização dos custos de alocação.

BILLIONNET (1999) traz um problema de alocação de força de trabalho respeitando hierarquias, isto é, onde trabalhador mais qualificado pode substituir um menos qualificado, mas o contrário não é verdadeiro. Os requisitos de trabalho diários podem mudar durante a semana, mas cada trabalhador deve receber n dias de folga

durante a semana. Para solucionar o problema, é proposto um modelo de programação inteira e um software para solução de modelo de programação inteira.

CAMPBELL (1999) traz um modelo para alocação em turnos de trabalhadores com possibilidades de executar tarefas diferentes entre si a departamentos possuem uma série de atividades a serem realizadas. O objetivo é a maximização das funções objetivo de cada departamento de acordo com sua importância.

CAMPBELL e DIABY (2002) apresentam uma heurística baseada em algoritmo guloso e relaxação lagrangiana para um problema muito semelhante ao relatado no parágrafo acima.

FRENCH e WILSON (2002) propõem duas heurísticas para resolução do problema de alocação generalizado de vários níveis, isto é, problema de alocação generalizado onde o nível de eficiência dos agentes para execução das tarefas varia. O objetivo proposto é sempre a maximização de lucros. Em uma primeira heurística, as restrições de quantidade de que cada tarefa deve ser alocada a um único agente e de capacidade dos agentes para posteriormente, buscar uma solução que atenda às restrições progressivamente. A segunda heurística propõe que as tarefas vão sendo alocadas aos agentes gradativamente de acordo com o lucro gerado pela alocação das tarefas aos agentes.

TOPALOGLU e OZKARAHAN (2004) trazem um modelo multi-critério para a programação de turnos de trabalho considerando diferentes produtividades dos trabalhadores e também as preferências desses trabalhadores a determinados tipos de tarefa.

COROMINAS et al. (2006) propõem um modelo para alocação de pessoas a tarefas onde cada pessoa é capaz de realizar um sub-conjunto dado das tarefas. O objetivo é que o percentual de tempo dedicado por cada pessoa a cada tarefa seja tão próximo quanto possível de um valor de referência. O problema é resolvido através de uma abordagem de resolução de uma seqüência de problemas de alocação, um para cada período de horizonte de planejamento.

THOMPSON e GOODALE (2006) trazem um problema parecido ao apresentado acima de alocação de trabalhadores com diferentes produtividades a tarefas em um turno de trabalho. No entanto, eles focam na indústria de serviços e levam em consideração a natureza estocástica das chegadas de clientes para tratar o problema.

Finalmente, SAYIN e KARABATI (2007) também trazem o problema de alocação de trabalhadores com diferentes qualificações a departamentos em turnos de trabalho. Eles trazem um modelo baseado em dois estágios de otimização com funções objetivos diferentes. A primeira foca no aumento do valor de utilidade do departamento atendido e a segunda foca no aumento das habilidades dos trabalhadores. Esse modelo leva em conta o possível aumento das habilidades dos trabalhadores a partir do treinamento dos mesmos.

Esses são alguns exemplos de aplicações que do problema de alocação que foram estudados ao longo do processo de pesquisa e construção do modelo final a ser proposto neste trabalho.

O objetivo desta subseção foi o de introduzir os problemas de alocação de problemas e mostrar exemplos de aplicação estudados. Na seqüência do capítulo, essa discussão será estendida aos problemas específicos relacionados à alocação de pessoas a projetos.

### **3.2. Gestão de multi-projetos**

Uma vez finalizada a introdução a respeito de problemas de alocação, é importante que se contextualize agora a discussão específica onde será aplicada a abordagem de problemas de alocação.

Conforme já descrito na página 2, HANS et al. (2007) coloca o termo gestão de multi-projetos como a coordenação geral de organizações onde diversos projetos competem pelos mesmos recursos. Esse conceito será aproveitado para a localização do problema que se deseja resolver neste trabalho.

Conforme feito por HANS et al. (2007), é importante antes de se explorar a gestão de multi-projetos, diferenciá-lo de outros termos consagrados do campo da

gestão de projetos. A gestão de portfólio se diferencia da gestão de multi-projetos na medida em que este possui um foco maior em questões operacionais dos projetos como a programação de atividades e alocação dos recursos enquanto aquele enfatiza com questões relacionadas à seleção e priorização de projetos visando médio e longo prazo, normalmente. Da mesma forma, a gestão de multi-projetos se distingue da gestão de programa uma vez que o segundo acontece quando um conjunto de projetos possui um fim comum enquanto o primeiro não possui esse compromisso.

Para grande parte das organizações atuais, o ambiente multi-projetos é uma realidade e a boa gestão de multi-projetos é uma necessidade que muitas vezes não possui a atenção devida, como ilustra o trecho a seguir:

Na parte da organização baseada em projetos, os projetos competem pelos mesmos recursos. Infelizmente, muitas abordagens multi-projetos não reconhecem isso e tratam o problema do planejamento multi-projeto como um conjunto de planejamentos de projetos individuais independentes dividindo os recursos pelos projetos baseando-se nas prioridades ou status de projetos. Dessa forma, o típico conflito de recursos que emerge quando gerindo múltiplos e concorrentes projetos é negligenciado. Mais do que isso, muitos chamados sistemas de planejamento avançados carecem de uma função de planejamento multi-projeto no nível de capacidade agregada. Muitas vezes, essa carência é preenchida com um módulo de programação agregada, i. e., programação de grandes trabalhos agregados e com capacidade de recursos fixa, que não é capaz de utilizar a flexibilidade da capacidade em níveis táticos (HANS et al., 2007)

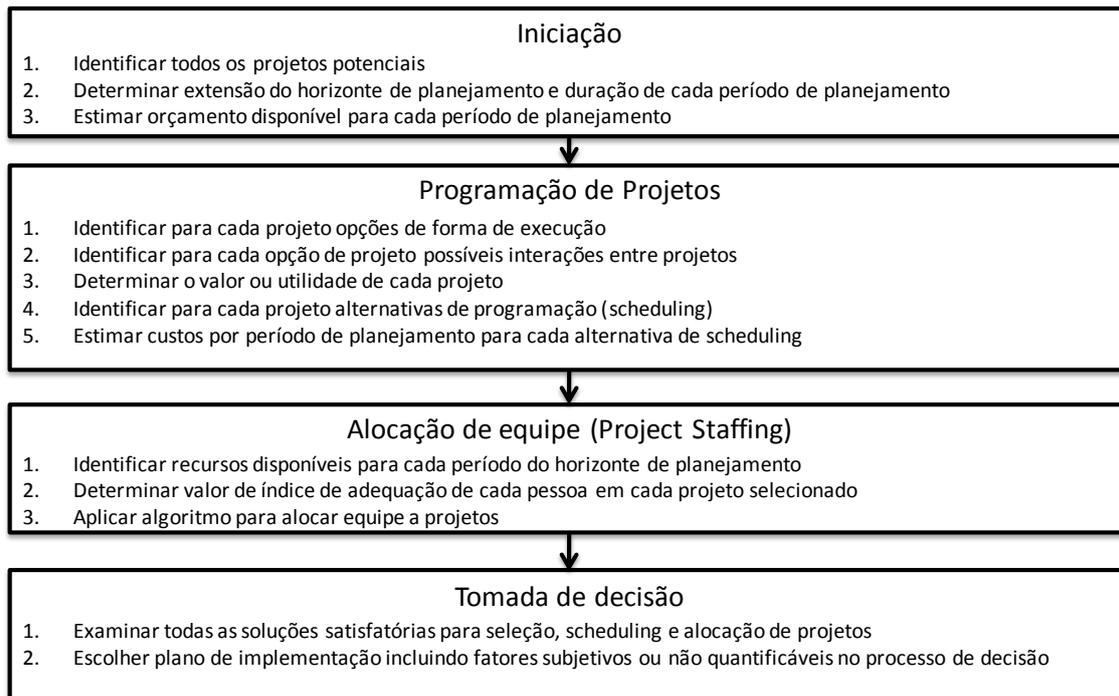
HANS et al. (2007) trata a questão do planejamento multi-projetos como um assunto tratado em hierarquias e propõe um quadro para planejamento hierárquico para organizações multi-projetos:



**Figura 2 - Framework Hierárquico – Fonte: Adaptado de HANS et al. (2007)**

A coluna central da figura mostra o desdobramento desde o nível estratégico chegando ao operacional da questão do planejamento de recursos passando pela seleção de projetos e planejamento grosso de capacidade até chegar à programação de atividades dos projetos e alocação dos recursos nos mesmos. O problema que se pretende tratar nesta pesquisa está contido nesse último nível hierárquico, mais especificamente na parte de ‘Programação detalhada e alocação de recursos’.

BALLOU e TAYI (1996) propõem um quadro focado na gestão de multi-projetos de manutenção de software que pode ser adaptado para detalhar a discussão de gestão de multi-projetos genérica.



**Figura 3 - Framework de Gestão Hierárquica de Multi-Projetos – Fonte: adaptado de BALLOU e TAYI (1996)**

Essa figura resume de forma bastante apropriada à discussão a qual se busca conduzir, especificamente o terceiro componente ‘Alocação de equipe’ é a ênfase principal desta pesquisa. A figura traz também outro componente interessante: o quarto componente, ‘Tomada de decisão’. É importante que se ressalte que por melhor que seja o modelo matemático que se pretende propor, a tomada de decisão levando-se em consideração fatores qualitativos é inevitável. O que se pretende fazer ao se propor um modelo como o que será proposto neste trabalho é auxiliar e acelerar essa tomada de decisão, mas não substituí-lo.

Trazendo-se a visão especificamente para a questão de alocação de recursos, HENDRIKS et al. (1999) traz uma visão hierárquica específica para essa discussão. Segundo eles, a maior parte da literatura no tema trazida até então, tinha um foco no curto prazo, no dia a dia. Eles afirmam que cinco elementos são fundamentais para alocação de recursos em um ambiente multi-projetos:



		críticos dos projetos Alocação grosseira acordada como input para a alocação de curto prazo		
Curto prazo	Alocação operacional de pessoas dia a dia	Alocação de tarefas a pessoas a partir da alocação de recursos de médio prazo	Bi-semanal	~6 semanas

**Tabela 1 - Três processos de alocação de recursos e seus objetivos específicos - Fonte: adaptado de HENDRIKS et al. (1999)**

Foi feita uma breve introdução a respeito da gestão de multi-projetos com o objetivo de se contextualizar o problema da alocação de recursos num ambiente multi-projetos. A seguir, será feita uma revisão da literatura focada nos problemas de programação de projetos e alocação de recursos a projetos.

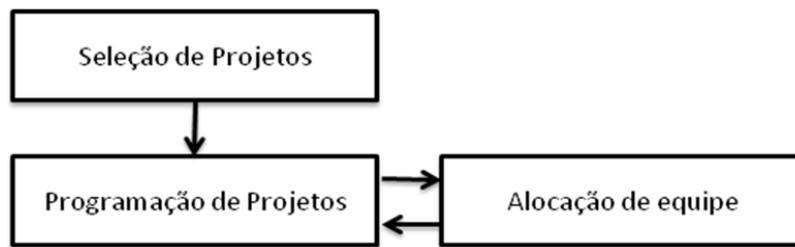
### 3.3. Problemas de programação de projetos

Conforme já descrito anteriormente, a gestão de multi-projetos pode ser basicamente dividida em três etapas: Seleção de projetos, programação de projetos e alocação de recursos a projetos.



**Figura 5 - Níveis de planejamento de alocação de recursos humanos em um contexto de projetos – Fonte: HEIMERL e KOLISCH (2010)**

Embora já se tenha também deixado claro que esta pesquisa será focada na terceira caixa, alocação de equipe, julgou-se importante se fazer um breve aprofundamento sobre a segunda, programação de projetos. Isso porque ao se explorar a literatura, verificou-se que, em muitos casos, essas duas etapas são tratadas de forma conjunta e interativa. A figura abaixo ilustra essa forma de abordagem.



**Figura 6 - Visão interativa entre programação e alocação - Fonte: O autor**

Isso se dá porque em muitos contextos as duas coisas precisam ser feitas de forma associada, isto é, a programação dos projetos precisa ser feita levando-se em consideração a equipe disponível para executá-lo. O trecho que segue descreve a importância de se fazer um planejamento integrado em vez de fazê-lo seqüencialmente.

Um algoritmo de programação de projeto primeiro determina uma data de início e uma duração, que é uma função do nível de trabalho, para cada tarefa. Esses resultados estabelecem um perfil de demanda por trabalho diária que é então utilizada por um algoritmo de programação de força de trabalho. Para determinar o número de trabalhadores alocados a jornadas de trabalho factíveis. Uma jornada de trabalho semanal é definida como um conjunto de cinco dias de trabalho e dois dias consecutivos de folga; existem sete tais conjuntos possíveis para qualquer semana.

Fixar a programação de tarefas antes de resolver o problema da programação de trabalho leva a soluções sub-ótimas. Claramente, quando cada tarefa começa, quanto trabalho é alocado a ela e quanto dura a atividade afeta o perfil de demanda por trabalho. Esse perfil, por sua vez, restringe o problema de programação de trabalho. Dessa forma, para determinar o custo de programação mínimo, devem-se integrar os problemas de programação de tarefas e de trabalho. (ALFARES e BAILEY, 1997)

Esse trecho mostra o início da preocupação de se fazer as duas etapas de forma integrada em 1997. De lá pra cá muitos trabalhos foram desenvolvidos seguindo essa linha.

Assim, muito embora a programação não seja contemplada no modelo proposto, achou-se por bem explicar brevemente o que é a programação de projeto até mesmo como uma forma de posteriormente se justificar o porquê da mesma não ter sido contemplada no modelo final.

Como muitas vezes a programação e alocação são tratadas simultaneamente ou até mesmo existe confusão nos termos utilizados pelos próprios autores para classificação dos trabalhos propostos, a distinção entre um artigo de programação e um de alocação pode se tornar um tanto quanto subjetiva. O trecho a seguir demonstra isso.

Existe uma vasta literatura nesse tópico; parte enfatiza a visão de programação como os artigos de problema de programação de projeto com restrição de recursos, enquanto em outros trabalhos a visão de alocação de pessoal prevalece. Tipicamente, o último grupo também endereça questões relacionadas a diferenças ou competências dos empregados. (GUTJAHR et al., 2010)

Dessa forma, basicamente, o que se fez no caso foi selecionar aqueles que possuísem contribuições específicas para a discussão de alocação e classificá-los nessa categoria ainda que tratassem também de questões relacionadas à programação. Nesse momento, portanto, serão tratados apenas os artigos com foco claro na programação ainda que os recursos sejam colocados como restrições na maioria dos casos.

O problema de programação de projeto consiste em definir as datas e durações das atividades de forma a terminá-lo com o menor custo possível ou no menor tempo possível. (ALFARES e BAILEY, 1997) Para tanto, não necessariamente o objeto de programação será um ambiente multi-projeto. A programação de um único projeto também vem sendo estudada. (LOVA et al., 2000). A este tipo de problema dá-se o nome de ‘problema de programação de projeto com restrição de recurso (do inglês *resource constrained project scheduling problem, RCPSP*). Segundo ANAVI-ISAKOW e GOLANY, (2003), “como o problema de programação é NP-difícil, muitos artigos focaram no desenvolvimento de heurísticas de programação e alocação para ambientes estáticos.”

Alguns exemplos de artigos centrados nesse problema serão apresentados de forma a tornar mais material essa discussão.

ALFARES e BAILEY (1997) propõem um modelo integrado para programação de atividades e de força de trabalho. Para tanto, eles utilizam um modelo de programação inteira onde o objetivo é a minimização dos custos de trabalho. Uma vez que o problema integrado torna-se muito complexo para ser resolvido através de programação inteira, eles trazem uma heurística em que o problema é quebrado em diversos subproblemas, cada um referindo-se a uma semana. Eles comparam as soluções encontradas através dessa abordagem integrada com a que seria obtida através do método tradicional dividindo-se em duas etapas sequenciais de programação de atividades e alocação de recursos o provam que a solução encontrada é melhor no primeiro método.

LOVA et al. (2000) propõem um modelo multi-critério onde se leva em consideração tanto a necessidade de minimização de tempo quanto um segundo não ligado a tempo como interrupções de projeto, quantidade de trabalho em espera, nivelamento de recursos e recursos ociosos. Nessa abordagem, a programação de mais de um projeto é feita simultaneamente levando-se em consideração os recursos que precisam ser compartilhados. Para solucionar o problema, um método heurístico de duas fases é proposto. Ele é iniciado a partir de uma programação factível dos projetos depois melhora o critério de tempo até encontrar uma boa solução. Depois disso o critério não relacionado a tempo é melhorado. Esse processo é feito iterativamente até que se chegue a uma solução satisfatória.

ALBA e CHICANO (2007) também possuem foco na programação de um único projeto. Eles também consideram as diferenças de habilidades entre os recursos a serem alocados. O objeto de estudo são projetos de software e eles propõem um modelo baseado em algoritmo genético para solucionar o problema.

LIU e WANG (2007) propõem um modelo baseado em programação de restrições (*constraint programming*) para o problema de programação de projetos e alocação de recursos num contexto de construção civil. Nesse modelo, a consideração de possível contratação de recursos externos para auxiliar na execução dos projetos (*outsourcing*) é utilizada. O objetivo é a minimização dos tempos de projeto e custos de execução.

KRÜGER e SCHOLL (2007) exploram o problema de programação de multi-projetos, mas trazem um conceito novo que será muito importante na construção de modelo proposto, o de custo de transferência de recursos entre projetos. Esse artigo observa que as abordagens trazidas até então não contemplam nenhum tipo de restrição quanto às trocas de recursos entre diferentes projetos. No entanto, no mundo real percebemos que essa troca não é feita de forma tão suave e na maioria dos casos representam perdas significativas. Como o próprio artigo destaca, esse mesmo conceito pode ser extrapolado para outros contextos onde a mudança de um recurso entre projetos trará questões relacionadas a tempo de *setup*, ambientação, aprendizado, etc.. Mais à frente, essa discussão será retomada de forma a enquadrá-la no modelo proposto.

Um modelo de programação mista inteira linear é proposto e resolvido através de um algoritmo.

BELLENGUEZ-MORINEAU (2008) traz uma revisão de uma série de métodos para se resolver o problema de programação de projeto considerando recursos com diferentes habilidades.

Como último exemplo das aplicações do problema de programação de projetos, traz-se o artigo de VALLS et al. (2009) que buscam solucionar o problema de programação de projetos e alocação de recursos com habilidades diferentes em um centro de serviços. O problema é focado no nível 2 desse centro de serviços. O nível 1 consiste em um call center. O nível 2 consiste de um conjunto de especialistas. Para solucionar o problema, eles se utilizam de algoritmo genético.

### **3.4. Problemas de alocação de recursos a projetos**

Os problemas de alocação de recursos a projetos são um caso específico dos problemas de alocação já explicados anteriormente. No caso, os conjuntos a serem associados são normalmente atividades ou partes de atividades pertencentes a projetos e recursos capazes de executar essas atividades.

HEIMERL e KOLISCH (2010) classificam a literatura em quatro categorias:

- Modelos de seleção e programação de projetos e alocação de pessoas
- Modelos de seleção de projetos e alocação de pessoas
- Modelos de programação de projetos e alocação de pessoas
- Modelos de alocação de pessoas

Ou seja, o que se altera é quais das etapas anteriores (seleção de projetos e programação de projetos) serão considerados no escopo do modelo.

A seguir, uma série de abordagens para resolução desse tipo de problema será apresentada. Inicialmente, serão explicados os modelos multiagente que são baseados em inteligência artificial. Em seguida, serão apresentados modelos diversos com abordagens pouco exploradas na literatura. Finalmente, serão apresentados os modelos

baseados em programação intera que são os mais comuns para abordagem desse tipo de problema e são também nos quais serão baseados o modelo proposto nesta dissertação.

Vale ressaltar que o termo ‘recurso’ poderá ser utilizado de forma a substituir o termo ‘pessoa’ ao longo desta dissertação no contexto dos problemas de alocação. Nem todas as abordagens que focam na alocação de recursos tratam necessariamente da alocação de pessoas uma vez que os recursos podem ser de outras naturezas como financeiro, material, físico, etc.. No entanto, em determinados momentos o termo recurso poderá ser utilizado como uma redução para o termo ‘recurso humano’. Entende-se que a distinção ficará clara ao longo do texto sem perdas de compreensão para o leitor.

#### **3.4.1. Modelos multiagente de alocação de recursos a projetos**

Inicialmente, será explorada a abordagem multiagente para resolução do problema de alocação de recursos. Os sistemas multiagente são um ramo de pesquisa da inteligência artificial utilizados para tratar problemas complexos, abertos (que componentes que aparecem no sistema não se conhecem com antecedência, podem mudar ao longo do tempo, são altamente heterogêneos e dinâmicos), dinâmicos, estocásticos e ubíquos (a atividade e a tomada de decisão se distribuem ao longo de toda a estrutura do sistema. (ARAÚZO-ARAÚZO et al., 2009)

Um sistema multiagente é formado por certas entidades de software que dotamos de capacidade de interagir entre elas e com o entorno. Como objetos que são, possuem um estado (dados, conhecimento); mas, além disso, são autônomos (não apenas atuam a partir de instruções, possuem regras para a tomada de decisão autônoma); reativos (reagem a estímulos externos); proativos (tem objetivo próprio e realizam seus próprios planos para consegui-los); e sociais (interagem com outros agentes). (ARAÚZO-ARAÚZO et al., 2009)

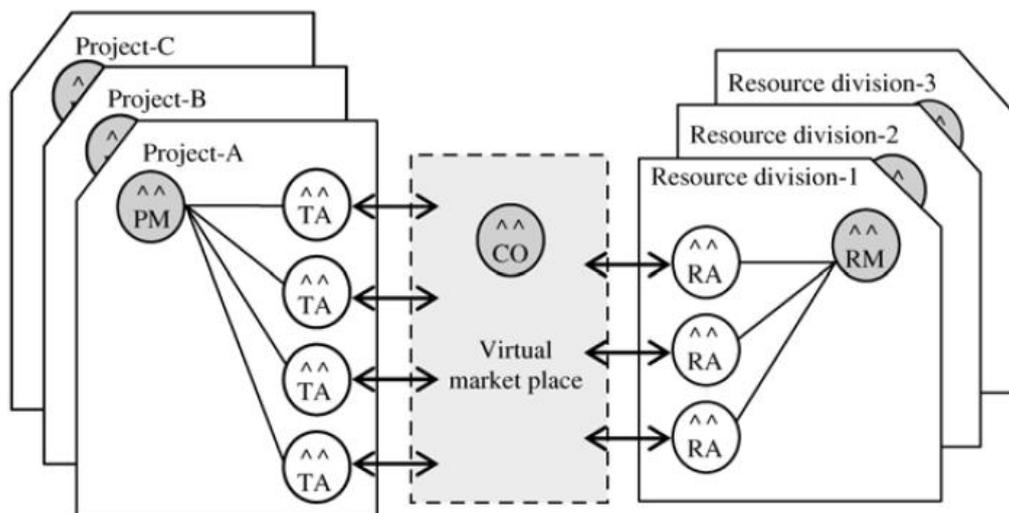
Basicamente, em um sistema multiagente, os elementos do problema podem ser modelados como agentes que possuem objetivos próprios dentro do contexto. No caso do contexto de alocação de recursos a projetos, os agentes podem ser os recursos que têm o objetivo de serem alocados em atividades e atividades que têm o objetivo de serem plenamente executadas.

Vale ressaltar que aqui o termo ‘agente’ é utilizado de uma forma diferente daquela proposta por PENTICO (2007) e assumida no restante deste texto. Somente

nesta sessão, o termo ‘agente’ será utilizado de acordo com a definição acima por não haver outro termo a ser utilizado uma vez que é o termo consagrado nesse campo de pesquisa.

Uma série de exemplos de execução desta abordagem no contexto da alocação de recursos num ambiente multi-projetos será dada de forma a materializá-la melhor.

O primeiro exemplo é trazido por LEE et al. (2003) no qual um mercado é emulado onde de um lado existem projetos comprando tempo de recursos com objetivo de minimização do risco de não ser completado e do outro existem recursos vendendo seu tempo com o objetivo de maximizar sua alocação. Para cada intervalo de tempo definido no modelo, um leilão virtual é realizado onde as atividades buscam “comprar” o tempo dos recursos. Esse leilão é baseado em um valor de utilidade que as tarefas ganham para cada intervalo de tempo baseado na ameaça de atraso de no respeito às relações de precedência entre tarefas. Assim, tarefas com maior chance de atraso e que estejam respeitando as relações de precedência ganham prioridade para escolha dos recursos que irão executá-la em cada intervalo de tempo.



**Figura 7 - Uma organização multiagente para alocação multi-projetos – Fonte: LEE et al. (2003)**

CONFESSORE et al. (2007) trazem um exemplo muito parecido com o anterior onde existem projetos comprando o tempo de recursos. O que se altera nesse caso é fundamentalmente a forma como o leilão é conduzido. Nesse caso, em vez de se fazer

um leilão para cada intervalo de tempo, um único leilão com diversas iterações é conduzido para todo o horizonte de tempo.

ARAÚZO-ARAÚZO (2009) também segue uma idéia muito similar colocando os projetos e os recursos como agentes do modelo e emulando leilões para alocação desses recursos às atividades. Nesse caso, o preço pago pelo cliente pelo projeto e o seu valor estratégico são levados em consideração para se definir a prioridade do projeto. A lógica do leilão é feita, assim como no primeiro exemplo, para cada intervalo de tempo de forma separada.

CHEN e WEI (2009) utilizam a lógica fuzzy para modelar aspectos subjetivos das pessoas a serem alocadas nos projetos como extroversão, facilidade para trabalhar em equipe, criatividade, etc.. Depois disso, foram modelados quatro tipos de agente: gerente, engenheiro, técnico e assistente. De acordo com as necessidades de conhecimento das tarefas e das interações entre agentes ditadas pelas características dos mesmos, as pessoas são alocadas às tarefas.

Embora essa abordagem não vá ser utilizada no modelo proposto, considera-se importante trazê-la a esse trabalho de pesquisa uma vez que representa uma alternativa importante de abordagem ao problema que se deseja tratar. A não utilização desse tipo de modelo é justificada simplesmente por uma questão de necessidade de escolha entre alternativas e preferência do autor pela abordagem que será trazida na sessão 3.4.3.

### **3.4.2. Modelos diversos de alocação de recursos a projetos**

Antes de se entrar nas referências principais para a construção do modelo, algumas outras abordagens existentes na literatura pesquisada serão apresentadas com o objetivo de descrever a trajetória de pesquisa percorrida.

CHENG et al. (2006) utilizam a simulação para fazer tanto a programação quanto a alocação de recursos a projetos num ambiente multi-projetos. O modelo é rodado em duas etapas, primeiro a programação dos projetos é feita, em seguida a simulação faz com que diversas alternativas de alocação sejam tentadas até que uma delas atinja um nível mínimo considerado satisfatório de sucesso na execução dos projetos. A figura abaixo ilustra esse modelo de simulação.

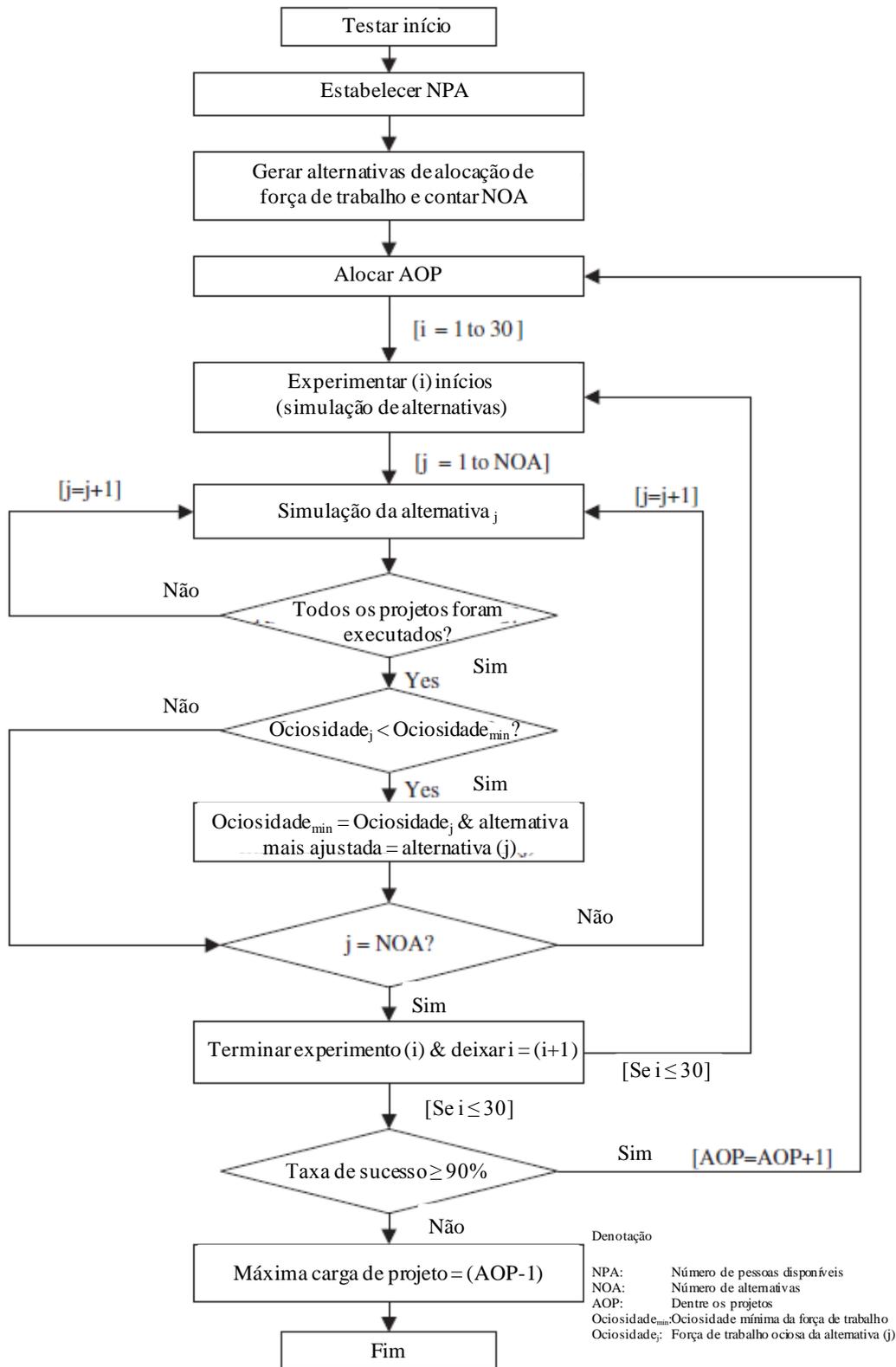


Figura 8 - Procedimento de alocação via simulação - Fonte: adaptado de CHENG et al. (2006)

CHEN et al. (2008) utilizam uma abordagem de Rede de Petri para modelar e solucionar o problema de alocação de recursos a projetos. O modelo é baseado em cinco tipos de locais: local atividade (AP), local espera (WP), local recurso (RP), local atraso (DP) e local final (FP); e três tipos de transição: transição de coordenação (CT), transição de alocação de recurso (RDT) e transição de liberação de recurso (RRT). Uma atividade de um projeto é representada por dois lugares, um AP e um WP. Um AP com um *token* significa que essa atividade está sendo executada, enquanto um WP com um *token* significa que a atividade está aguardando um recurso. Se um recurso se torna disponível, o *token* passa para a AP correspondente à atividade. Cada RP é o repositório de um tipo de recurso. Um RP com *tokens* significa que um tipo particular de recurso está disponível. A ordem temporal entre as atividades é coordenada pelos DPs. Um DP mantém um *token* para durante um intervalo para atrasar a execução de uma atividade. Quando um projeto é terminado, todos os *tokens* das APs são limpos e um FP fica com um *token* para representar a finalização do projeto. Essa Rede de Petri é programada com as necessidades dos projetos e características dos recursos e o modelo é executado para que se encontre uma solução para o problema. A figura abaixo exemplifica a construção de uma solução através da Rede de Petri.

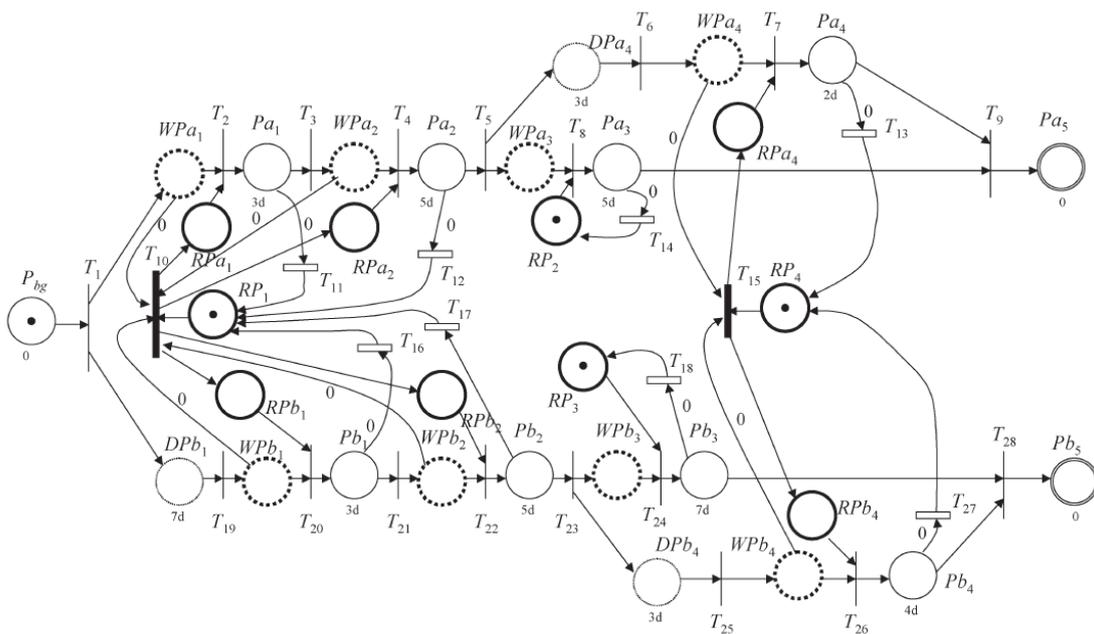


Figura 9 - Exemplo de alocação de recursos através de Rede de Petri – Fonte: CHEN et al. (2008)

ZHOU e CHEN (2008) utilizam notação de modelagem de processos para resolver o problema de alocação de pessoas a projetos. Eles desenvolvem um modelo de otimização, porém consideram que tarefas podem ter relações, assim como tradicionalmente utilizado em modelagem de processos, de “e”, “ou” e “ou exclusivo”. Esse conceito é introduzido no modelo proposto por eles e solucionado através de um modelo baseado em algoritmo genético.

Alguns exemplos de abordagens diversas foram apresentados como uma forma de demonstrar as possibilidades inúmeras de forma de abordagem de um mesmo problema e explicitar a trajetória de pesquisa até a chegada ao modelo final que será proposto.

### **3.4.3. Modelos de programação inteira e derivados para alocação de pessoas a projetos**

Finalmente, esta sessão apresentará os modelos mais similares ao modelo adotado para a resolução do problema de alocação de pessoas a projetos num ambiente multi-projetos. Esses modelos são baseados em programação inteira e seus derivados. Inicialmente será feita uma breve introdução sobre modelos de programação inteira e em seguida os artigos estudados com aplicação em alocação de recursos serão apresentados.

Na maioria das vezes, quando se faz referência a problemas de programação inteira, estamos nos referindo a problemas de programação inteira linear. Problemas de programação linear aqueles nos quais deseja encontrar os valores de variáveis com o objetivo de maximizar ou minimizar uma função linear dessas variáveis sujeito a restrições que também são lineares em relação às variáveis. (BLUMENFELD, 2009).

Os problemas programação linear inteira, ou problemas de programação inteira mista, são problemas de programação linear nos quais alguma ou todas as variáveis de decisão são restritas a serem inteiras. (BLUMENFELD, 2009). Alguns exemplos famosos de aplicação do problema de programação inteira são o problema da mochila e o problema do caixeiro viajante.

No problema da mochila o objetivo é maximizar o valor dos itens a serem levados em uma mochila restritos à capacidade de peso ou volume dessa mochila. No problema do caixeiro viajante, o objetivo é encontrar a menor rota para que certo número de localidades seja visitado exatamente uma vez.

No entanto, nem todos os problemas de programação inteira são lineares. Existem também problemas de programação inteira não lineares que são aqueles onde nem todas as funções envolvidas no modelo de otimização são lineares em relação às variáveis de decisão. Conforme será visto, esses modelos também são utilizados para o problema de alocação de pessoas a projetos.

Uma vez introduzidos os problemas de programação inteira, os artigos pesquisados que trouxeram esse tipo de abordagem para resolução do problema de alocação a projetos serão apresentados.

BASSETT (2000) traz um modelo que busca melhor utilizar expertise dos recursos ao minimizar os custos de contratação externa de mão de obra de pesquisa e desenvolvimento num ambiente de desenvolvimento de produto. O modelo leva em consideração restrições de localização, nível de proficiência e disponibilidade de tempo dos recursos. A programação de tarefas é incluída no modelo uma vez que seu tempo de execução depende do nível de proficiência do recurso a executá-la. O modelo é formulado através programação inteira mista. Para agilizar a execução do modelo, uma heurística é proposta onde todos os papéis a serem preenchidos são percorridos em uma ordem determinada e, para cada uma, as pessoas são percorridas num determinado ranking até que se encontre uma disponível para executar o papel.

WU e SUN (2006) introduzem o aprendizado na modelagem de programação de projetos e alocação de recursos. Eles formulam um programa misto inteiro não linear uma vez que o aprendizado é uma função não linear de uma constante de aprendizado  $r$ . O modelo considera que sempre que uma atividade não vá ser completada a tempo, recursos externos serão contratados para finalizá-la. O objetivo do modelo é justamente minimizar esses custos de contratação externa. Para resolver o problema, um modelo de algoritmo genético é proposto.

FOWLER et al. (2008) trazem um modelo onde os trabalhadores possuem diferentes habilidades que são necessitadas pelas atividades dos projetos. Além disso, o modelo considera a possibilidade de se contratar e demitir mão de obra e o treinamento de funcionários nas habilidades. O problema é formulado por programação inteira mista onde o objetivo é a minimização dos custos totais dados os salários, custos de contratação, demissão e treinamento. Para tornar a execução do modelo mais ágil, duas heurísticas baseadas em programação linear são propostas. Ambas propõem uma relaxação do problema e depois a variação sucessiva das variáveis de decisão até se chegar a uma solução viável. A diferença entre as duas é que uma faz isso uma vez só para todos os períodos do modelo enquanto a segunda resolve esse modelo para cada período sucessivamente. Eles propõem ainda uma terceira solução baseada em algoritmo genético.

NGO-THE e RUHE (2009) trazem um problema de alocação de pessoas a projetos num contexto de desenvolvimento de software. Nesse caso, existe uma série de lançamentos de pacotes de melhoria a serem feitos. O objetivo do problema é alocar os desenvolvedores que possuem habilidades diferentes às atividades com o objetivo de maximizar o valor total das melhorias lançadas. Para tanto, o problema permite a entrada ou não de uma melhoria dentro de um pacote de melhorias. Cada melhoria possui uma função utilidade a partir da qual será calculado o valor total dos lançamentos feitos. A alocação na modelagem proposto permite que apenas um desenvolvedor seja alocado a uma atividade e vice-versa. Para solucionar o problema, os autores propõem uma otimização em duas fases. Na primeira um modelo de programação inteira linear é executado para uma versão relaxada do problema. Na segunda, é feito um modelo de algoritmo genético para busca de uma solução em um universo já reduzido. A aplicação é feita a 600 problemas gerados aleatoriamente para testar o modelo.

HEIMERL e KOLISCH (2010) propõem um modelo de programação inteira mista para a programação de projetos de TI e alocação de pessoas simultaneamente. O modelo considera que as pessoas possuem habilidades diversas e também níveis de proficiência nessas habilidades diversos. As durações dos projetos são calculadas em função das eficiências das pessoas alocadas nas habilidades necessárias. O modelo considera ainda a possibilidade de hora-extra por parte das pessoas alocadas com custos

diferentes das horas normais e a contratação de recursos externos para auxílio na execução das tarefas. O objetivo do modelo é a minimização dos custos totais para execução dos projetos.

LIANG et al. (2010) tratam um problema particular de alocação de engenheiros a projetos onde todos os engenheiros a serem alocados são idênticos, isto é, não existe distinção de competência ou produtividade entre eles. Os projetos, sim, são diferentes entre si. Eles acontecem num contexto de um departamento de P&D de uma grande firma de brinquedos e podem contemplar atividades como contratação, prototipagem, testes de piloto, produção, inspeção e envio de produto. O objetivo, no caso, não é o de minimização de custos como na maioria dos casos, mas de balancear a carga de trabalho total entre os engenheiros, medida a partir da diferença entre a máxima e mínima carga de trabalho. Esse objetivo vem do fato de que há desbalanceamento de carga de trabalho entre os engenheiros e variação brusca de carga de trabalho ao longo do tempo. Outra característica diferente trazida nessa abordagem é o fato de que uma vez que um projeto tenha sido alocado a um engenheiro, esse engenheiro terá de conduzi-lo até o final. Essa é uma característica importante trazida nesse trabalho que será adaptada ao modelo proposto, conforme será descrito no próximo capítulo. Um modelo de programação inteira é proposto, mas uma vez que o problema envolve dezenas de engenheiros, uma heurística de dois estágios é proposta onde inicialmente alguma solução viável é encontrada e posteriormente essa solução é gradualmente melhorada tentando melhorar o balanceamento de carga de trabalho entre os engenheiros.

O último artigo dessa revisão é trazido por GUTJAHR et al. (2010). Esse modelo contempla num contexto de P&D as três fases do planejamento multi-projetos: seleção de projetos, programação de projetos e alocação de recursos. Para tanto, eles propõem uma abordagem multi-objetivo inteira mista para maximização dos ganhos econômicos obtidos a partir da seleção dos projetos assim como ganhos obtidos a partir do incremento de competências da equipe a partir do aprendizado. Como as pessoas possuem diferentes níveis de proficiência em diferentes habilidades, a duração da execução das tarefas é calculada em função da pessoa alocada o que dá flexibilidade para a programação de atividades dos projetos respeitando relações de precedência entre elas. Para solucionar o problema, uma decomposição do problema em duas partes é

proposta. A primeira consiste no que é chamado de problema mestre onde é feita a seleção do portfólio de projetos considerado. O segundo, problema escravo, consiste na programação e alocação de pessoas. O problema é resolvido dessa forma através da aplicação de meta-heurísticas.

A partir dessa revisão, propõe-se uma comparação entre os sete artigos descritos no que diz respeito a o que esses artigos contemplam em seus modelos. Para tanto, as seguintes características serão analisadas:

- A função objetivo do modelo – o que se deseja minimizar ou maximizar a partir do modelo
- A contemplação ou não dos seguintes itens:
  - Seleção de projetos (SP) – a seleção de quais projetos, de uma gama de possibilidades, serão trabalhados ou não
  - Programação de projetos (PP) – as momentos de início e duração de execução das tarefas são mutáveis
  - Restrição de mudança de recursos ao longo do projeto (RM) – a entrada ou saída de recursos de projetos uma vez que este já tenha sido começada é restrita
  - Localização geográfica (LG) – a localização geográfica dos recursos impõe alguma restrição
  - Outsourcing (O) – é possível trazer terceiros para auxiliar na execução das tarefas que os recursos internos não sejam capazes de finalizar
  - Contratação (C) – é possível ao longo do tempo que novos recursos sejam contratados para compor a equipe de recursos disponíveis
  - Habilidades heterogêneas (HH) – os recursos possuem habilidades diferentes entre si o que altera a capacidade de executar ou não as tarefas
  - Aprendizado (A) – os recursos podem aprender novas habilidades ou se tornarem melhores nelas ao longo do tempo
  - Proficiências heterogêneas (PH) – recursos possuem habilidades iguais em níveis diferentes tornando-os mais ou menos aptos à execução de determinadas tarefas

Artigo	Função Objetivo	SP	PP	RM	LG	O	C	HH	A	PH
BASSETT (2000)	Minimizar custo de outsourcing		X		X	X		X		
WU e SUN (2006)	Minimizar custo de outsourcing		X			X		X	X	
FOWLER et al. (2008)	Minimizar custos totais						X	X	X	
NGO-THE e RUHE (2009)	Maximizar o valor da função utilidade dos releases	X	X					X		X
HEIMERL e KOLISCH (2010)	Minimizar custo de trabalho					X		X		X
GUTJAHR et al. (2010)	Maximização ganhos econômicos obtidos a partir dos projetos selecionados e incremento de competências da equipe	X	X					X	X	X
LIANG et al. (2010)	Balancar carga de trabalho entre engenheiros			X						

**Tabela 2 - Quadro comparativo entre artigos de alocação de recursos a projetos - Fonte: O autor**

Esse entendimento é importante para que se tenha noção de quais são os elementos que serão contemplados no modelo proposto e entender de que forma esses elementos já foram implementados em abordagens anteriores.

Foi realizada, portanto, uma revisão de diversos modelos voltados aos problemas de alocação a projetos. Com isso, a parte da revisão de literatura voltada aos problemas relacionados a planejamento de multi-projetos é fechada aqui. As próximas sessões abordarão outros itens importantes à construção do modelo que será proposto.

### 3.5. Modelos multi-critérios

Muitas vezes os problemas de decisão apresentam critérios diversos e conflitantes para julgar as alternativas e necessidade de se fazer comprometimentos ou *trade-offs* no que diz respeito aos resultados de ações diferentes. (RAVINDRAN, 2009).

Esses critérios podem ser verdadeiros ou substitutos (do inglês, *surrogate*). Quando um critério é diretamente mensurável, ele é chamado um critério real. Um exemplo claro disso é a medida de custo mensurada financeiramente. Quando um critério não é diretamente mensurável, ele é chamado substituto. Por exemplo, o conforto de um cliente em uma operação de serviço. (RAVINDRAN, 2009)

Quando se tem um único critério de decisão, pode-se buscar uma solução ótima para o problema, onde o valor o critério é maximizado ou minimizado. Quando se tem mais de um critério, o conceito de solução ótima perde o sentido uma vez que esses critérios possuem valores que não são absolutamente comparáveis. (RAVINDRAN, 2009). Uma operação logística, por exemplo, pode ter o objetivo de fazer uma entrega no menor tempo possível ao menor custo possível. Não é possível se dizer qual é a solução ótima de um problema como esse uma vez que um aumento de custo pode significar uma redução na velocidade e vice-versa. Dessa forma, alguma subjetividade na tomada de decisão quanto à solução a ser adotada sempre estará presente.

Além disso, por esses critérios possuírem formas de mensuração diferentes entre si, a comparação entre seus valores se torna ilegítima. Pode-se utilizar o mesmo exemplo da operação logística dado acima para ilustrar isso. O tempo de entrega será medido em horas e o custo em reais. Para que se possam utilizar esses critérios de forma conjunta na busca de uma solução satisfatória, faz-se a normalização de critérios. A normalização linear converte uma medida em uma proporção do caminho ao longo de um horizonte possível, onde o horizonte possível é transformado em valores entre 0 e 1. Uma medida  $C_j(x^i)$ , resultado do critério j para alternativas  $x^i$  é normalizada para  $r_{ij}$  como segue:

$$r_{ij} = \frac{C_i(x^i) - L_j}{H_j - L_j} \quad (\text{Para critérios de maximização})$$

$$r_{ij} = \frac{L_j - C_i(x^i)}{L_j - H_j} \quad (\text{Para critérios de minimização})$$

onde

$L_j$  é o valor máximo de  $C$  para critérios de minimização e mínimo para critérios de maximização.

$H_j$  é o valor mínimo de  $C$  para critérios de minimização e máximo para critérios de maximização.

Utilizando-se desse conceito, os critérios serão levados a valores comparáveis entre si para composição de uma função objetivo única. Uma vez feito isso, ponderações aos diferentes critérios podem ser atribuídas para que se tenha uma mensuração da importância relativa entre os diferentes critérios e assim se chegue à função objetivo que será trabalhada.

A apresentação dessa discussão se dá uma vez que, conforme já mencionado anteriormente, no problema de alocação de pessoas a projetos que se deseja resolver, pretende-se levar em consideração restrições de mudança de equipes de projetos ao longo de sua execução. A modelagem multi-critérios será utilizada para isso. Por ora, no entanto, será feita apenas essa introdução teórica ao método. No capítulo seguinte, quando da apresentação do modelo proposto, a discussão será retomada para que se detalhe como foi feita a aplicação desse tipo de abordagem.

### **3.6. Considerações a respeito das equipes de projeto**

Conforme já comentado anteriormente, um dos pontos que o modelo proposto nessa dissertação irá contemplar é a questão das equipes de projeto. Ao se analisar os diversos artigos apresentados anteriormente, percebe-se que não há um foco nas equipes de projeto, mas sim nos indivíduos, isto é, em nenhum momento a equipe de projeto é tratada como uma entidade que deve ser formada e mantida ao longo da execução do projeto. Em vez disso, o projeto é tratado na maioria dos casos como um conjunto de “pacotes de trabalho” independentes que serão realizados pelos indivíduos capacitados e disponíveis.

O que se verifica na realidade, no entanto, na maior parte dos contextos de ambientes multi-projeto, é que as equipes desempenham um papel fundamental no sucesso ou não dos projetos. A formação e coesão da equipe de projeto é algo que possui importância prática e, por isso, deveria ser contemplada em modelos de alocação de pessoas a projetos.

Nesta sessão, será apresentada uma revisão bibliográfica não exaustiva sobre o tema das equipes de projeto com o objetivo de se comprovar a ponto de que as equipes são de fato mais do que apenas os indivíduos que a compõem. Serão trazidos também alguns exemplos de modelos propostos para a formação de equipes que poderiam servir como base para construção de modelos de alocação de pessoas a projetos contemplando a formação de equipes.

Inicialmente, é importante ressaltar o papel da equipe nos ambientes organizacionais de hoje. FARR-WHARTON (2003) coloca que “quanto maior a interdependência dos indivíduos, maior a produtividade do grupo além da simples soma (o todo será maior do que a soma de suas partes)”. Esse ponto é corroborado por uma série de outros autores como ZAKARIAN e KUSIAK (1999), CASTKA et al. (2001), STEVENS e CAMPION (1994) e outros. O êxito em formar uma equipe coesa e harmoniosa pode ser determinante para o sucesso de um projeto.

Onde equipes tinham uma relação de trabalho confortável entre os membros e uma cultura de equipe definida, era esperado e confirmado que tais equipes seriam efetivas e produtivas. (FARR-WHARTON, 2003)

No entanto, a formação de equipes é algo complexo que deve levar em consideração uma série de fatores desde mais objetivos como competências até questões mais subjetivas como habilidades interpessoais, como destaca CASTKA et al. (2001).

Trabalho de equipe vem se tornando um crescente pré-requisito para lidar com um ambiente turbulento em muitas organizações, ainda assim, existem muitos obstáculos para sua implementação com sucesso. (CASTKA et al., 2001)

COATES et al. (2007) também traz um trecho que demonstra a complexidade existente na formação de equipes.

No entanto, a combinação certa de membros a serem incluídos em uma equipe é muito difícil de especificar e, por isso, um desafio significativo existe na formação de uma boa equipe de projeto. Falhas em selecionar os membros certos podem resultar em orçamento extra sendo

consumido, prazos perdidos, realização de pagamento de compensação a clientes. (COATES et al., 2007)

CASTKA et al. (2001) propõem uma série de fatores críticos à implantação de uma equipe de trabalho que desempenhe adequadamente.

- Impacto organizacional (suporte organizacional)
- Foco definido
- Alinhamento e interações com entidades externas
- Cultura de grupo
- Conhecimento e habilidades
- Necessidades individuais
- Medidas de desempenho

STEVENS e CAMPION (1994) identificam requisitos de conhecimento, capacidade e habilidade (CCH) para o trabalho em equipe.

- CCH interpessoais
  - CCH de resolução de conflitos
    - CCH para reconhecer o tipo e fonte do conflito confrontando a equipe e para implementar uma estratégia apropriada de resolução de conflito
    - CCH para reconhecer o tipo e fonte do conflito confrontando a equipe
    - CCH para empregar uma estratégia de negociação integrativa (ganha-ganha)
  - CCH de resolução colaborativa de problema
    - CCH para identificar situações que requerem resolução de problema em grupo participativa e para utilizar o grau e tipo adequados de participação
    - CCH para reconhecer os obstáculos para resolução de problema em grupo participativa e implementar ações corretivas adequadas
  - CCH de comunicação
    - CCH para entender redes de comunicação e utilizar redes descentralizadas para melhorar a comunicação onde possível

- CCH para comunicar abertamente, ou seja, enviar mensagens que sejam (1) orientadas a comportamento ou evento; (2) congruentes; (3) validadoras; (4) conjuntivas; e (5) com responsável
  - CCH para ouvir de forma imparcial e para utilizar apropriadamente técnicas de audição ativas
  - CCH para maximizar a consonância entre mensagens não verbais e verbais e para reconhecer e interpretar as mensagens não verbais de outros
  - CCH para entrar em cumprimentos rituais e “fofocas” e o reconhecimento de sua importância
- CCH de auto-gestão
  - CCH de estabelecimento de meta e gestão de performance
    - CCH para ajudar a estabelecer metas de equipe específicas, desafiadoras e aceitas
    - CCH para monitorar, avaliar e prover feedback em ambos performance de equipe e performance individual de membro de equipe
  - CCH de planejamento e coordenação de tarefa
    - CCH para coordenar e sincronizar interdependências de atividades, informações e tarefas entre os membros da equipe
    - CCH para ajudar a estabelecer expectativas de tarefas e papéis nos membros individuais da equipe e assegurar balanceamento adequado de carga de trabalho na equipe

GIRARD e ROBIN (2006) desenvolvem uma pesquisa sobre colaboração em equipe num contexto de projetos de design e ressaltam a sua importância.

Os processos de design são complexos e para melhorar sua performance, o foco não deve ser somente no artefato, mas também na relações entre os designers. O produto é o resultado da atividade de design. O processo de design é o caminho através do qual o resultado é atingido. O próprio processo de design é o resultado da colaboração entre os designers durante a fase de design. (GIRARD e ROBIN, 2006)

Eles propõem uma taxonomia de colaborações possíveis dentro de uma equipe de trabalho. São 12 categorias propostas obtidas a partir da combinação de características da colaboração:

- Pré-determinadas ou inesperadas
- Livre, encorajada ou forçada
- Estabelecida ou não estabelecida

Uma série de autores fez pesquisas de campo com o intuito de comprovar ou rejeitar determinadas hipóteses a respeito do comportamento das equipes.

HIGGS et al. (2005) propõe uma pesquisa a respeito da influência da diversidade entre os membros de uma equipe de projeto. Ele identifica uma série de fatores existentes nas equipes: Satisfação/motivação dos membros, criatividade, conflitos, competências de resolução de problemas, coesão do grupo, comunicação. Posteriormente, ele correlaciona a influência da diversidade da equipe nesses itens. Uma série de análises é feita e a principal conclusão retirada é de que a diversidade é positivamente relacionada ao desempenho para tarefas complexas e negativamente relacionada para tarefas simples.

ODUSAMI et al. (2003) faz uma pesquisa em um contexto de projetos de construção na Nigéria. O objetivo do estudo é identificar relações a performance do projeto e quatro fatores: profissão do líder de projeto, qualificações profissionais do líder de projeto, estilo de liderança do líder de projeto e composição da equipe. A conclusão retirada é de que há alta relação entre a qualificação profissional, seu estilo de liderança, composição da equipe e a performance geral do projeto. Os autores colocam ainda:

Membros da equipe de projeto tendem a se desempenhar bem quando estão localizados perto uns dos outros. Isso é natural porque o fluxo de informação é facilitado. Uma vez que os membros devem ter trabalhado em projetos diferentes antes, eles estariam familiarizados uns com os outros (ODUSAMI et al., 2003)

FARR-WHARTON (2003) avalia 28 projetos de multi-mídia para determinar a efetividade e eficiência de várias abordagens para desenvolvimento de multi-mídia contratada. A pergunta principal que ele deseja responder através de sua pesquisa é:

“Quais são os fatores importantes em uma equipe de projeto que maximiza a oportunidade de um projeto de sucesso em termos de custos, prazo e qualidade de produto?”. A pesquisa chega a um resultado onde são colocados três fatores como os mais importantes:

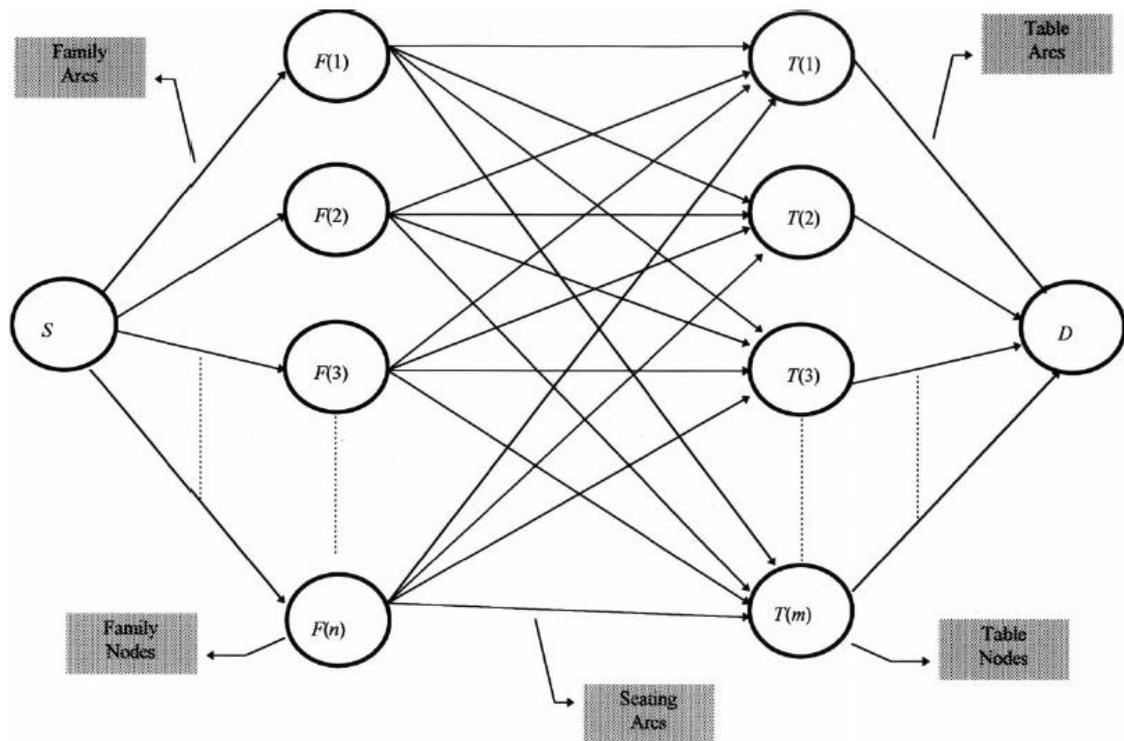
- Líder do projeto
  - Com boa rede de contatos: conhece pessoas a quem pedir ajuda
  - Envolvido: podia passar algum tempo participando ativamente na operação do projeto
  - Foco estratégico: pode enxergar o projeto como parte de um processo para a organização atingir seus objetivos
- Gerente do projeto
  - Habilidade de planejamento de projeto: história prévia de conhecimento tácito de planejamento de projetos semelhantes
  - Conhecimento da tarefa: uma história prévia de entendimento tácito de projetos semelhantes
  - Envolvimento ativo: habilidade de ser comprometido ao prazo do projeto
- Desenvolvedores
  - Utilização de produtos existentes: utilizam uma extensão ou adaptação de um produto existente que pelo menos parte da equipe tenha previamente desenvolvido
  - Leitura do cliente: possuíam alguma forma de contato direto com o cliente no início e estágios subsequentes do projeto
  - Comunicação direta: possuíam comunicação direta e envolvimento com outros membros da equipe, em vez de agirem simplesmente como subcontratados que trabalham apenas com o gerente ou líder do projeto

A partir dessa importância e complexidade sobre a formação de equipes demonstrada até aqui, alguns autores buscam propor modelos para auxílio a essa tarefa em diversos contextos. Serão agora apresentados algumas das abordagens estudadas para tanto.

ZAKARIAN e KUSIAK (1999) propõem um modelo de decisão multi-critério baseada em análise hierárquica para a composição de equipes multi-funcionais. Na

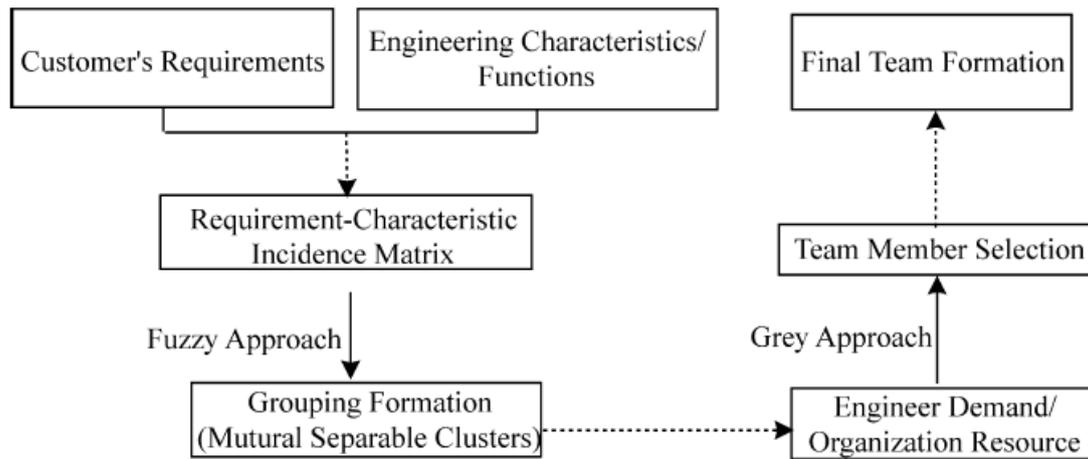
abordagem proposta, os requisitos dos clientes dão origem a características de engenharia. Posteriormente essas características de engenharia dão origem a membros de equipe capazes de executá-las. Um sistema de pontuação é formulado e um modelo de programação inteira é executado para que se chegue à melhor configuração de equipe para um determinado projeto. A maior vantagem dessa abordagem, segundo os próprios autores é que ela pode ser facilmente modificada e estendida para incorporar alguns outros fatores como liderança, moral, valores de grupo, personalidades, etc. que são importantes na formação de equipes.

BHADURY et al. (2000) introduzem um modelo para maximizar a diversidade em equipes de trabalho. Para tanto, ele assume que a população é dividida em famílias bem delimitadas em que o grau de similaridade dentro da família é alto e entre as famílias é baixo. Um exemplo para esse caso trazido pelos próprios autores é uma comunidade onde famílias precisam ser alocadas a iniciativas de moradia pública. Para tanto, é necessário contemplar membros de etnias negra, branca, asiática e hispânica. O modelo é feito baseado em um problema pouco explorado chamado problema do jantar. Nesse problema,  $n$  famílias com quantidades diferentes de entes que estão indo jantar devem ser alocadas a  $m$  mesas com quantidades de lugares diferentes de tal forma a maximizar a integração social entre as famílias. A resolução do problema é feita a partir de um grafo onde existe um nó de origem,  $n$  nós representando as famílias,  $m$  nós representando as mesas e um nó de destino. Os arcos que ligam a origem às famílias representam as quantidades de membros das famílias. Os nós que ligam as famílias às mesas são as quantidades máximas de membros de uma mesma família em uma mesma mesa. E os nós que ligam as mesas ao destino são os números de lugares das mesas. A resolução através de um grafo gera a solução para o problema do jantar. Um ponto fraco reconhecido pelos próprios autores é que esse modelo só pode ser utilizado em casos onde as famílias são facilmente distinguíveis.



**Figura 10 – O grafo representando o problema do jantar – Fonte: Bhadury et al., 2000**

TSENG et al. (2004) trazem uma abordagem para a formação de um grupo multi-funcional. Segundo os autores, “um grupo de pessoas de diferentes departamentos funcionais ou várias áreas de responsabilidade, trabalhando juntas e trocando informações através de redes é chamado uma equipe multi-funcional”. O modelo se baseia na teoria de conjuntos fuzzy e teoria da decisão cinza.



**Figura 11 – Framework conceitual para a formação de equipes de projeto – Fonte: TSENG et al., 2004**

A abordagem fuzzy é utilizada para transformar as requisições de clientes em grupos de características a serem trabalhadas. Essa separação em grupos de características não é clara e direta, por isso os conjuntos fuzzy são utilizados como uma forma de tirar a característica discreta da matemática tradicional. Os grupos formados a partir dessa abordagem representarão as características de engenharia. A tomada de decisão cinza é utilizada para selecionar os membros da equipe baseada nos requisitos de engenharia. A tomada de decisão cinza é um processo que envolve elementos cinza que representam pontos de incerteza ou informação incompleta no sistema.

COATES et al. (2007) apresentam uma abordagem para a formação de equipes de engenheiros. Nessa abordagem, as habilidades dos engenheiros são pontuadas com base numa comparação entre estes e o engenheiro com maior nível de proficiência naquela habilidade na equipe. Com base em uma série de requisitos de engenharia de um determinado projeto, uma equipe de projeto é determinada para o mesmo. Depois de determinada a equipe de projeto, um modelo baseado em algoritmo genético é utilizado para determinar de que forma as habilidades serão mais bem utilizadas dentro do projeto.

Finalmente, BARCUS e MOTIBELLER (2008) trazem um modelo para suporte à alocação de trabalhos de desenvolvimento de software a equipes distribuídas geograficamente. No caso apresentado, existem dois escritórios, um no Reino Unido e

outro na Ásia. O escritório do Reino Unido é o principal onde estão os desenvolvedores mais qualificados e o escritório da Ásia serve para cobrir os picos de trabalho no Reino Unido. O problema que se quer resolver é: “quando passar o projeto para o escritório da Ásia?”. Para isso, os projetos são pontuados segundo seis critérios: risco de qualidade, atraso na entrega, prioridade da equipe do Reino Unido, oportunidades de treinamento para equipe da Ásia, encaixe estratégico e dias economizados no Reino Unido. Como base em sistema de pontuação multi-critérios, chega-se a uma decisão.

Finalizada essa revisão de literatura sobre as equipes de trabalho e seu papel, fica claro que as equipes de projeto são algo que deve ser pesado de forma cuidadosa ao se pensar na alocação de pessoas a projetos. Elas são mais do que a simples junção de um grupo de pessoas trabalhando em conjunto. A união dessas pessoas em uma equipe é feita de uma forma complexa levando-se em consideração uma série de fatores de diversas naturezas diferentes.

Sendo assim, uma crítica às abordagens de alocação de pessoas a projetos apresentadas anteriormente emerge: nenhuma delas leva em consideração a equipe de projetos como um elemento importante a ser mantido em suas abordagens.

Não se teve aqui a pretensão de ser exaustivo em relação à pesquisa sobre o tema de equipes de trabalho uma vez que esse tema por si só apresenta complexidade muito grande bem como uma literatura vastíssima. O objetivo foi apenas trazer alguns elementos que ilustram toda essa complexidade e importância.

Foram apresentadas ainda algumas abordagens propostas de modelagem para formação de equipes num contexto de projeto único uma vez que estas fizeram parte da pesquisa na busca de uma forma própria de abordar essa questão num contexto multi-projetos.

Embora o modelo proposto também não tenha a pretensão de contemplar toda a complexidade envolvida nas questões referentes às equipes, entende-se que seu estudo e compreensão sejam importantes no processo de construção de um modelo que poderá ser considerado introdutório a outras abordagens semelhantes que venham a ser propostas no futuro.

Encerra-se aqui, também, o capítulo de revisão da literatura. Todo ele foi focado em apresentar os principais estudos prévios pertinentes ao trabalho desenvolvido e mostrar os diversos elementos que comporão o modelo final a ser proposto no próximo capítulo.

#### **4. Modelo para alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos**

Depois de apresentada a revisão bibliográfica, será agora apresentado o modelo concebido para o problema de alocação de pessoas em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação de pessoas aos projetos.

Esse modelo foi inspirado pensando-se em um ambiente de projetos de serviços, ou seja, projetos implantados diretamente em um cliente que contratou previamente esse projeto. Pode-se pensar como exemplo projetos de consultoria, implantação de sistemas de informação, ou o desenvolvimento de um projeto conceitual de engenharia. Isso terá impactos no modelo, como será visto à frente, uma vez que a flexibilidade nesses casos é menor já que os projetos são regidos por contratos que estipulam a duração, escopo e preço dos projetos. Esses, por sua vez, são negociados previamente baseados em comparações de mercado que não permitem ao fornecedor determinar ao seu desejo a forma de implantação dos projetos. Na maioria dos casos o cliente possui uma expectativa prévia quanto à duração e custo do projeto para um determinado escopo requisitado por ele.

Para caracterizar o modelo e os pontos contemplados por ele, aos mesmos itens utilizados para classificar os artigos de alocação de pessoas no capítulo anterior serão utilizados para classificar o modelo proposto. Para cada um dos itens, será colocado se o item será ou não contemplado no modelo e o porquê dessa escolha.

##### **SELEÇÃO DE PROJETOS**

Não será contemplado.

A idéia do modelo será partir de uma situação onde já existem dados uma série de projetos e um problema de como executá-los. Numa operação de serviço essa costuma ser a realidade uma vez que as vendas de projeto acontecem em áreas independentes das áreas responsáveis pela implantação. Dificilmente vendas de projetos

serão recusadas em decorrência da capacidade de execução. Cabe à área de entrega de projetos se estruturar para atender as demandas da melhor forma possível.

### PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS

Não será contemplado.

Conforme já explicado anteriormente, em operações de serviço os projetos são vendidos de acordo com determinadas expectativas dos clientes balizadas pelas práticas habituais de mercado. Além disso, uma vez acordado o cronograma de projeto, existem contratos que restringem mudanças nesse cronograma. Dessa forma, não há flexibilidade para programação do projeto em uma realidade como essa.

### RESTRICÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSOS AO LONGO DO PROJETO

Será contemplado.

Um dos objetivos desse trabalho de pesquisa é incorporar ao modelo de alocação de pessoas a projetos a questão da inflexibilidade nas mudanças dessas pessoas trazida pela necessidade de respeito à equipe de projeto. No capítulo anterior, uma sessão foi dedicada a trazer uma série de informações a respeito do papel da equipe e de sua complexidade. Embora não se pretenda contemplar toda essa complexidade na abordagem que será proposta, entende-se que prejuízos são causados à execução do projeto quanto pessoas são deslocadas de suas equipes. LIANG et al. (2010), traz alguns trechos que demonstram isso:

O engenheiro atualmente trabalhando no projeto já gastou algum tempo em atividades tediosas e triviais, como ligar para fornecedores. Alocar o projeto a outro engenheiro requererá esforços adicionais para refazer tal trabalho e toma tempo a mais desnecessariamente. (LIANG et al., 2010)

Mais importante, quando um engenheiro trabalha em um projeto, ele acumula certa quantidade de conhecimento e compreensão sobre o projeto e o produto em particular. Realocar pode colocar o projeto em situação perigosa porque a transferência de conhecimento toma tempo e o novo engenheiro pode não estar apto a assimilar todas as informações necessárias em um período curto, isso pode resultar em perda de qualidade. (LIANG et al., 2010)

Embora LIANG et al. (2010) tenha, portanto, trazido em sua abordagem restrições quanto à movimentação das pessoas entre os projetos, entende-se que sua

abordagem não seja suficiente para o problema que se deseja tratar uma vez que eles consideram uma realidade onde todas as pessoas são idênticas e cada uma é responsável individualmente por um projeto sem opções de troca uma vez que o projeto seja iniciado. Neste trabalho, pretende-se estender essa abordagem colocando-se restrições nas mudanças de equipes de projeto e uma realidade onde as pessoas possuem capacitações diferentes. Vale ainda observar que a abordagem trazida por LIANG et al. (2010) é muito recente o que mostra um caráter de baixa exploração de problemas similares.

A forma como se pretende incorporar essa restrição de mudanças de equipe é inspirada na abordagem trazida por KRÜGER e SCHOLL (2007). O modelo trazido por eles, já apresentado anteriormente, busca a programação de projetos levando-se em consideração os custos e tempos de transferências de recursos entre as localidades de um projeto e outro. Os autores destacam que esse mesmo conceito pode ser extrapolado para outros contextos onde a mudança de um recurso entre projetos trará questões relacionadas a tempo de setup, ambientação, aprendizado, etc.. No caso de projetos de serviço, entende-se essa penalidade possa ser mais bem expressada pela questão da ambientação do profissional. Essa ambientação diz respeito principalmente à inserção do profissional a uma equipe de projeto, mas também dirá respeito à ambientação ao projeto em si, as informações que precisam ser assimiladas sobre ele, sobre o cliente e assim por diante.

#### LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Não será contemplado.

Optou-se por não incluir a localização geográfica como uma restrição do problema uma vez que esse não era o foco a ser explorado. Entende-se, no entanto, que adaptações ao modelo proposto incluindo as restrições de localização podem vir a serem feitas para adaptação a determinadas realidades onde isso seja de fato algo importante a ser levado em consideração.

#### OUTSOURCING

Não será contemplado.

A possibilidade do outsourcing é utilizada na maioria das abordagens como um recurso a ser utilizado para o caso de os recursos internos não serem capazes de terminarem as atividades no prazo desejado. Considera-se que esses recursos terão custos mais altos e isso será levado em consideração na função objetivo de minimização de custos totais. Conforme será detalhado mais à frente, o modelo proposto não terá uma função objetivo relacionada à minimização de custos. O não cumprimento das atividades será registrado no modelo como uma penalidade dentro de um sistema de pontuação que se deseja minimizar. A idéia é que se registre a incapacidade de execução de todo o plano de atividades com o quadro atual de recursos, mas não se determine de antemão a solução que será dada ao problema.

### CONTRATAÇÃO

Não será contemplado.

Na mesma linha colocada para o outsourcing, não se deseja através do modelo prescrever a solução que será dada aos problemas de falta de capacidade para executar o plano de atividades. A idéia será o registro das penalidades decorrentes da falta de capacidade para que o tomador de decisão possa pensar a melhor forma de se solucionar o problema.

### HABILIDADES HETEROGÊNEAS

Será contemplado.

Inicialmente, faz-se necessário elucidar a terminologia utilizada daqui para frente na construção do modelo. No inglês, língua na maioria dos textos estudados, uma série de termos são utilizados para caracterizar as diferenças de capacidade para realização de tarefas entre pessoas como *capability*, *knowledge*, *skill*, *ability*, *competence*, etc.. Neste texto, será adotada a definição proposta por CARDOSO (2004).

Assim, pode-se dizer que a competência é uma propriedade emergente do sistema humano, fruto das interações de suas partes, portanto, um processo em andamento, que cessa assim que estas interações cessem, por qualquer motivo interno ou externo ao sistema. A competência é uma capacidade de agir individual que se manifesta intencionalmente e, conforme as circunstâncias, materializa resultados que já são esperados. O termo habilidade neste texto será utilizado como sinônimo de competência. (CARDOSO, 2004)

A diferença entre as competências entre as diversas pessoas é um dos pontos fundamentais na abordagem de alocação de pessoas proposta. Na verdade, a maior parte dos modelos de alocação de pessoas a projetos leva em consideração as diferenças de habilidades das mesmas.

A forma como essa diferenciação será implementada no modelo será através de notas para cada pessoa em cada habilidade definida. Essa abordagem cobrirá também a questão dos níveis de proficiência heterogêneos das pessoas nas habilidades. A idéia é que na prática essas notas sejam atribuídas por alguém que tenha a capacidade de fazer essa avaliação.

COATES et al. (2007) utiliza esse tipo de abordagem, conforme o trecho a seguir:

Inicialmente, através de consultas com gerentes de projetos, as habilidades dos engenheiros serão identificadas e o nível de proficiência nessas habilidades será quantificado. Os gerentes de projetos executam suas avaliações subjetivas baseados nas tarefas definidas no projeto em consideração e informações históricas como performance dos engenheiros em tarefas correspondentes ou similares realizadas em projetos passados. Representações numéricas do nível de proficiência de um engenheiro em uma habilidade são essenciais para uma análise adequada a ser realizada.

Para identificar as habilidades dos engenheiros, primeiro, as tarefas dos projetos associadas com as habilidades precisaram ser especificadas [...] Subseqüentemente, para cada habilidade de cada engenheiro, o gerente de P&D quantificou o nível de proficiência utilizando o indivíduo mais proficiente naquela habilidade como benchmark. (COATES et al., 2007)

#### APRENDIZADO

Não será contemplado.

Embora o aprendizado seja algo presente nos contextos de projetos de serviço, entende-se que eles aconteçam de forma efetiva em horizontes de tempo mais longos do que o horizonte para o modelo será utilizado. Assim, para efeito do planejamento realizado através do modelo, considera-se que o aprendizado das pessoas não poderá ser levado com consideração de forma sistemática.

#### PROFICIÊNCIAS HETEROGÊNEAS

Será contemplado.

Conforme já descrito no item ‘habilidade heterogêneas’, as proficiências heterogêneas serão tratadas a partir de notas dadas das pessoas nas habilidades definidas. Os itens serão, portanto, tratados em conjunto.

Uma vez finalizada a classificação do modelo através de suas diversas características, cabe descrever outros pontos gerais a seu respeito.

A abordagem de modelagem adotada será baseada nos modelos multi-critérios. Uma pontuação de penalidades será consolidada com base em três itens que serão penalizados.

- Gap de proficiência – para cada atividade, serão especificadas as habilidades necessárias e os níveis de proficiência nessas habilidades necessários ao longo do projeto. Um recurso, com um determinado nível de proficiência nessa mesma habilidade será alocado para executar essa tarefa. Uma penalidade para a diferença entre o nível de proficiência requerido e o nível de proficiência alocado será contabilizada.
- Tarefas não executadas – Cada tarefa terá uma duração prevista que terá de ser respeitada. Sempre que houver tempo de tarefa sem alocação de pessoas, outra penalidade será contabilizada.
- Mudança de recurso de projeto – para cada projeto diferente trabalhado por cada pessoa, um valor de penalidade de acordo com o projeto será contabilizado. Essa penalidade corresponde à dificuldade de ambientação das pessoas aos projetos. A partir dessa abordagem pretende-se reduzir as alterações de equipe a casos onde realmente seja necessário.

Na próxima sessão, a modelagem matemática adotada será detalhada. Em seguida, será descrita a forma como esse modelo foi implantado utilizando-se planilha *Excel* e o software *What’sBest!*.

#### 4.1. O modelo matemático proposto

Será agora apresentado o modelo matemático utilizado para resolução do problema de alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos. O modelo será multi-critérios baseado em programação inteira mista, conforme já descrito anteriormente.

O problema é caracterizado por  $P$  projetos. Existem  $A$  atividades que pertencem a esses projetos. Cada atividade  $a$  pertence a apenas um projeto  $p$ . Os projetos devem ser executados ao longo de  $T$  períodos. Para executar esses projetos, existem  $R$  pessoas.  $H$  habilidades podem ser necessárias para executar essas atividades. Cada pessoa  $r$  possui um nível de proficiência na habilidade  $h$  caracterizado por  $n_{rh}$ . O nível de proficiência necessário da habilidade  $h$  na atividade  $a$  no período  $t$  é caracterizado por  $s_{hta}$ . A quantidade de tempo de esforço necessário da habilidade  $h$  na atividade  $a$  no período  $t$  é caracterizada por  $e_{hta}$ . As pessoas  $r$  possuem um total de tempo de disponibilidade no período  $t$  caracterizado por  $d_{rt}$ . Além disso, cada projeto possui uma complexidade de ambientação caracterizada por  $c_p$ .

A variável principal do modelo a ser determinada é  $x_{rhta}$  que determina quanto tempo do recurso  $r$  será alocado à habilidade  $h$  da atividade  $a$  no período  $t$ . Além disso, será importante para o modelo o registro da alocação da pessoa  $r$  na habilidade  $h$  da atividade  $a$  caracterizado por  $v_{hra}$ . Da mesma forma, será importante o registro da alocação da pessoa  $r$  na habilidade  $h$  do projeto  $p$  caracterizado por  $y_{rhp}$  e da alocação da pessoa  $r$  ao projeto  $p$  caracterizado por  $z_{rp}$ .

##### 4.1.1. Parâmetros

$p \rightarrow$  projeto = 1 a P

$a \rightarrow$  atividade = 1 a A

$r \rightarrow$  pessoa = 1 a R

$t \rightarrow$  período = 1 a T

$h \rightarrow$  habilidade = 1 a H

$b_{ap} \rightarrow$  atividade  $a$  pertence ao projeto  $p = [0,1]$

$n_{rh} \rightarrow$  nível de proficiência do recurso  $r$  na habilidade  $h$

$d_{rt} \rightarrow$  disponibilidade do recurso  $r$  no período  $t$

$c_p \rightarrow$  complexidade de ambientação no projeto  $p$

$s_{hta} \rightarrow$  nível de proficiência necessário na habilidade  $h$  no período  $t$  na atividade  $a$

$e_{hta} \rightarrow$  quantidade de tempo de esforço necessário na habilidade  $h$  no período  $t$  na atividade  $a$

#### 4.1.2. Variáveis

$v_{hra} \rightarrow$  pessoa  $r$  foi alocada à habilidade  $h$  da atividade  $a$

$y_{hrp} \rightarrow$  recurso  $r$  trabalhou na habilidade  $h$  do projeto  $p = [0,1]$

$z_{rp} \rightarrow$  recurso  $r$  trabalhou no projeto  $p = [0,1]$

$x_{hrta} \rightarrow$  quantidade de tempo de trabalho alocada do recurso  $r$  na habilidade  $h$  da atividade  $a$  no período  $t$

#### 4.1.3. Função objetivo

Conforme explicado anteriormente, a função objetivo será quebrada em três partes.

MINIMIZAÇÃO DE GAP DE PROFICIÊNCIA

$$\sum_h^H \sum_r^R \sum_t^T \sum_a^A (x_{hrta} \times (|s_{hta} - n_{rh}|))$$

Somatório dos produtos entre a quantidade de horas alocadas de cada pessoa em cada habilidade de cada atividade em cada período pelo valor absoluto da subtração entre a o nível de habilidade necessária na habilidade da atividade no período e o nível do recurso alocado na habilidade.

A idéia é que seja somada uma penalidade para cada hora de trabalho alocada onde exista uma diferença entre o nível de habilidade exigido e o nível de habilidade alocado. O motivo do uso do valor absoluto é punir também a alocação de um nível de habilidade mais alto do que o exigido uma vez que isso representa desperdício de habilidade e possível desmotivação de profissional.

#### MINIMIZAÇÃO DE TAREFAS NÃO EXECUTADAS

$$\sum_h^H \sum_t^T \sum_a^A ((e_{hta} - \sum_r^R x_{hrt a}) \times s_{hta})$$

Somatório para todas as habilidades, períodos e atividades do produto da subtração entre o tempo de trabalho exigido para a habilidade da atividade no período e o somatório dos tempos alocados de todos os recursos pelo nível exigido de habilidade da atividade para o período.

Essa equação traz uma penalidade para cada hora a qual não houve alocação de trabalho realizada. Essa penalidade é maior na medida em que o nível exigido de habilidade seja maior. Ou seja, caso o nível de habilidade exigido seja muito alto, a criticidade em se deixar tempo não alocado para ela é muito grande.

#### MINIMIZAÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSO DE PROJETO

$$\sum_r^R \sum_p^P (z_{rp} \times c_p)$$

Somatório para toda pessoa e projeto dos produtos entre o recurso ter trabalhado ou não no projeto e a complexidade de ambientação do projeto.

Será somada uma penalidade para vez que um recurso precisar trabalhar em um projeto diferente. Isso quer dizer que a pessoa passará por um processo de ambientação ao projeto cada vez que precisar trocar de projeto.

Apresentados os três componentes da função objetivo, será necessário agora fazer a consolidação da função objetivo final. Conforme já explicado, os modelos multi-critérios precisam ser normalizados para que cada componente possa ser comparado com os outros. Relembrando a fórmula de normalização, temos:

$$r_{ij} = \frac{L_j - C_i(x^i)}{L_j - H_j} \quad (\text{Para critérios de minimização})$$

onde

$L_j$  é o valor máximo de  $C$  para critérios de minimização e mínimo para critérios de maximização.

$H_j$  é o valor mínimo de  $C$  para critérios de minimização e máximo para critérios de maximização.

Nesse caso, os valores mínimos de cada componente será sempre zero, portanto,  $H_j$  será sempre zero. Como todos os componentes são de minimização, a fórmula de normalização será simplificada retirando-se o valor do componente do numerador e fazendo-se a minimização do somatório de todos os componentes normalizados.

Além disso, será colocado um ponderador  $\alpha$  para cada componente que será estipulado de acordo com a importância dada a cada componente dentro do objetivo final. Assim, a função objetivo final ficará da seguinte forma:

Minimizar

$$\alpha_1 \times \left( \frac{\sum_h^H \sum_r^R \sum_t^T \sum_a^A (x_{hrta} \times (|s_{hta} - n_{rhl}|))}{L_1} \right) + \alpha_2 \times \left( \frac{\sum_h^H \sum_t^T \sum_a^A ((s_{hta} - \sum_r^R x_{hrta}) \times s_{hta})}{L_2} \right) + \alpha_3 \times \left( \frac{\sum_r^R \sum_p^P (z_{rp} \times c_p)}{L_3} \right)$$

#### 4.1.4. Restrições

Dez conjuntos de restrições foram concebidos para o problema. Para cada um deles, será apresentada a fórmula matemática proposta e um descritivo.

$$(1) \sum_h^H \sum_a^A x_{hrta} \leq d_{rt} \quad \forall r, t$$

Para toda pessoa e todo período, o somatório dos tempos alocados em todas as habilidades de todas as atividades deve ser menor ou igual à disponibilidade de tempo daquele recurso naquele período.

$$(2) \sum_r^R v_{hra} \leq 1 \quad \forall h, a$$

Para toda habilidade e toda atividade, somatório das verificações se a pessoa foi alocada à habilidade da atividade deve ser menor ou igual a 1. Ou, no máximo uma pessoa pode ser alocada a uma habilidade de uma atividade. Essa é uma restrição imposta no intuito de organizar a modelagem do problema. Considera-se que uma habilidade de uma atividade seja um pedaço indivisível de trabalho. Caso haja a necessidade de divisão de trabalho, a modelagem deve ser alterada quebrando-se a atividade e duas ou mais.

$$(3) x_{hrta} \leq e_{hta} \quad \forall h, r, t, a$$

Para toda habilidade, pessoa, período e atividade, o número de horas alocadas tem que ser menor ou igual ao número de horas exigidas. Essa restrição foi colocada para evitar que na hora da execução da solução, o programa aumente o valor de  $x$  acima do permitido visando à redução do valor objetivo uma vez que no segundo componente da função objetivo, o aumento de  $x$  significa uma redução do componente.

$$(4) v_{hra} \times M \geq \sum_t^T x_{hrta} \quad \forall h, r, a$$

Para toda habilidade, pessoa e atividade, o produto da verificação se a pessoa foi alocada à habilidade da atividade por um número muito grande deverá ser maior ou igual ao somatório, em todos os períodos, de número de horas alocadas do recurso na habilidade da atividade. Em outras palavras, sempre que houver horas alocadas de um recurso em uma habilidade de uma atividade, a variável de verificação deverá ser 1.

$$(5) v_{hra} \leq \sum_t^T x_{hrta} \times M \quad \forall h, r, a$$

Por outro lado, para toda habilidade, pessoa e atividade, a verificação se a pessoa foi alocada à habilidade da atividade deverá ser menor ou igual ao produto do somatório, em todos os períodos, de número de horas alocadas do recurso na habilidade da atividade por um número muito grande. Em outras palavras, sempre que não houver horas alocadas de um recurso em uma habilidade de uma atividade, a variável de verificação deverá ser 0.

$$(6) y_{rhp} \times M \geq \sum_a^A (v_{hra} \times b_{ap}) \forall r, h, p$$

Para toda pessoa, habilidade e projeto, o produto da verificação se a pessoa foi alocada à habilidade do projeto por um número muito grande deverá ser maior ou igual ao somatório, em todas as atividades, dos produtos das verificações se a pessoa foi alocada à habilidade das atividades pelas verificações se as atividades pertencem ao projeto. Em outras palavras, sempre que um recurso tiver sido alocado a uma habilidade de uma atividade e essa atividade pertencer a um projeto, a verificação se a pessoa foi alocada à habilidade do projeto deve ser 1.

$$(7) y_{rhp} \leq \sum_a^A (v_{hra} \times b_{ap}) \times M \forall r, h, p$$

Por outro lado, para toda pessoa, habilidade e projeto, a verificação se a pessoa foi alocada à habilidade do projeto deverá ser menor ou igual ao produto do somatório, em todas as atividades, dos produtos das verificações se a pessoa foi alocada à habilidade das atividades pelas verificações se as atividades pertencem ao projeto por um número muito grande. Em outras palavras, sempre que um recurso não tiver sido alocado a uma habilidade de um projeto, a verificação se a pessoa foi alocada à habilidade do projeto deve ser 0.

$$(8) z_{rp} \times M \geq \sum_h^H y_{rhp} \forall r, p$$

Para toda pessoa e projeto, o produto da verificação se a pessoa foi alocada ao projeto por um número muito grande deve ser maior ou igual ao somatório, em todas as habilidades, das verificações se a pessoa foi alocada às habilidades do projeto. Em

outras palavras, sempre que a pessoa tiver sido alocada a alguma habilidade do projeto, a verificação se ela participou do projeto deve ser 1.

$$(9) z_{rp} \leq \sum_h^H y_{rhp} \times M \quad \forall r, p$$

Por outro lado, para toda pessoa e projeto, a verificação se a pessoa foi alocada ao projeto deve ser menor ou igual ao produto do somatório, em todas as habilidades, das verificações se a pessoa foi alocada às habilidades do projeto por um número muito grande. Em outras palavras, sempre que a pessoa não tiver sido alocada a nenhuma habilidade do projeto, a verificação se ela participou do projeto deve ser 0.

$$(10) x_{hrt} \geq 0 \quad \forall h, r, t, a$$

O tempo alocado de qualquer pessoa a qualquer habilidade de qualquer atividade em qualquer período deve ser maior ou igual a zero. Isto é, o tempo alocado nunca pode ser negativo.

Com isso, são fechados todos os conjuntos de restrições pertencentes à modelagem do problema.

#### 4.1.5. Verificações de Pré-processamento

Vale ainda colocar algumas verificações que devem ser feitas quanto à consistência dos dados de entrada do modelo. Essas verificações serão descritas a seguir.

$$(11) e_{hta} \times M \geq s_{hta} \quad \forall h, t, a$$

$$(12) s_{hta} \times M \geq e_{hta} \quad \forall h, t, a$$

Os dois conjuntos de verificações acima significam que para toda habilidade, período e atividade, sempre que a quantidade de esforço necessária para executar a habilidade da tarefa no período for igual a zero, o nível da habilidade exigido também terá que ser zero. Da mesma forma, quando um deles for diferente de zero, o outro também deverá ser.

$$(13) \sum_p^P b_{ap} = 1 \forall a$$

O conjunto de verificações acima representa que toda atividade deverá pertencer a exatamente um projeto. Nenhuma atividade pode não pertencer a projeto algum ou pertencer a mais de um projeto.

## 4.2. Implementação do modelo proposto

A implementação do modelo matemático foi feito utilizando-se o *Microsoft Excel* e um software que funciona como *add-in* ao *Excel* específico para modelos de otimização de larga escala chamado *LINDO What'sBest!*.

Para cada um dos parâmetros, uma tabela foi criada no *Excel*. Aos parâmetros, primários, ou seja, aqueles que não são indexados a outros parâmetros, foram criados IDs, isto é, números de identificação seqüenciais. Os parâmetros de complexidade de ambientação a projeto e habilidade foram acrescentados às próprias tabelas de projeto e habilidade. Para os parâmetros indexados a outros como  $b_{ap}$  e  $n_{rh}$ , tabelas foram criadas com todas as combinações possíveis dos parâmetros primários que os compõem e seus valores.

Para as variáveis, o mesmo conceito foi seguido. Tabelas com todas as combinações dos índices das variáveis foram criadas e o campo para a determinação do valor da variável colocado como última coluna da tabela. Esses valores devem ser indicados no *What'sBest!* como variáveis do modelo.

As restrições foram concentradas todas em uma planilha. Cada restrição foi colocada em uma planilha. Os valores são calculados normalmente através de fórmulas do *Excel*. A inequação é colocada através de uma fórmula especial do *What'sBest!* para que ele reconheça no momento da execução do modelo que se trata de uma restrição.

As verificações de pré-processamento foram feitas utilizando-se somente fórmulas *Excel* uma vez que essas não precisam estar incluídas no modelo a ser executado pelo *What'sBest!*. A idéia é apenas que fique indicado quando algum dos parâmetros esteja tenha sido colocado de forma incoerente.

A função objetivo foi calculada a partir de três tabelas diferentes, uma para cada componente. A partir dessas tabelas, chegou-se ao somatório de cada componente. Os valores máximos dos componentes foram calculados também com base nessas tabelas. Os valores de ponderação de cada componente foram deixados em células a parte para poderem ser alterados facilmente. O cálculo de cada componente foi feito a partir desses elementos de forma separada. A função objetivo foi formada a partir da soma desses componentes. Para essa função objetivo, uma indicação no *What'sBest!* foi feita estabelecendo a célula na qual está o cálculo da função objetivo e qual é o objetivo, no caso, a minimização.

A partir daí, basta executar o modelo do *What'sBest!* para que este busque a solução ótima. Depois de executado o modelo, um relatório é gerado automaticamente pelo software com algumas informações sobre o modelo e suas variáveis.

Um exemplo fictício de pequena escala foi criado e implementado no modelo para fins de teste. O modelo foi otimizado um pouco segundos. Os resultados foram checados para se ter certeza de que o modelo estaria produzindo resultados coerentes.

## **5. Aplicação do modelo proposto**

Este capítulo irá apresentar uma aplicação do modelo proposto em um exemplo baseado em uma empresa real a fim de demonstrar a sua utilidade na prática. O objetivo dessa aplicação é demonstrar o funcionamento do software em um caso exemplo e fazer uma análise de cenários no intuito de verificar como se comporta o modelo proposto diante de situações diversas. Inicialmente será apresentada a empresa escolhida para a aplicação do modelo e o seu contexto de projetos. Em seguida será apresentada a aplicação em si. Ao final, será feita uma conclusão a respeito do estudo de caso.

### **5.1. A organização: Intelie**

A empresa onde foi feita a aplicação do modelo de alocação de pessoas a projetos proposto se chama Intelie. A Intelie é uma empresa voltada para o desenvolvimento de soluções de software fundada em 2008. O trecho a seguir, retirado do *website* da empresa, conta um pouco de seu perfil:

A Intelie foi criada com o objetivo de criar sistemas de alta tecnologia capazes de fornecer informações integradas, filtradas e precisas para que empresas possam operar sua infraestrutura de TI com maior qualidade e de forma otimizada. (INTELIE, 2011)

Um dos principais serviços oferecidos pela Intelie é Intelie Event Manager (IEM).

O Intelie Event Manager é um software capaz de analisar e correlacionar milhares de eventos sobre a sua infra-estrutura de TI a cada segundo. Assim, possibilita às equipes de operação identificar tendências e possíveis problemas instantaneamente, mesmo em datacenters maiores e cada vez mais complexos. (INTELIE, 2011)

O portfólio de projetos da Intelie se divide basicamente em projetos relacionados à implantação do IEM e outros projetos em desenvolvimento e consultoria de software.

### **5.2. A aplicação do modelo**

A aplicação do modelo envolveu seis projetos, nove habilidades, seis pessoas, 25 atividades e seis períodos. A implantação do modelo foi feita com base em um horizonte passado de projetos em um período de seis semanas nas quais uma série de projetos foi executada. Embora a aplicação tenha sido feita a partir de dados reais de

projetos, pessoas, habilidades, etc., algumas mudanças nos dados do problema foram feitas no sentido de se reduzir o problema. Essa redução não traz simplificações para o modelo, mas sim uma redução do número de variáveis a serem manipuladas no modelo o que torna o tempo de solução mais rápido. Entende-se que a redução não traz qualquer prejuízo ao objetivo deste capítulo que é o de demonstrar o funcionamento do modelo proposto.

Projetos – foram seis os projetos executados ao longo do período estudado

- Upgrade do serviço IEM
- Desenvolvimento de plugin para IEM para monitoramento da parte de vídeos de grande provedor de internet brasileiro
- Implantação do IEM em grande editora brasileira
- Implantação de plugin para IEM para monitoramento de usuários para grande provedor de internet brasileiro
- Consultoria em estruturação da área de desenvolvimento de software de grande empresa de telecomunicações brasileira
- Implantação do IEM em grande provedor de internet brasileiro

Pessoas – a aplicação foi feita considerando-se seis pessoas na equipe. As pessoas serão chamadas de desenvolvedor 1 a 6. Considerou-se que todas as pessoas teriam a princípio disponibilidade total para alocação ao longo de todas as semanas, o que significam 40 horas de disponibilidade por pessoa por semana.

Habilidades – foram nove as habilidades mapeadas com base na divisão utilizada previamente pela própria Intelie para fazer o dimensionamento e propostas dos projetos

- Desenvolvimento Frontend – desenvolvimento das telas de interface com usuário
- Desenvolvimento Backend – desenvolvimento dos códigos internos e manipulação de bancos de dados de suporte ao software
- P&D Algoritmos – desenvolvimento de modelo matemáticos e implantação dos mesmos nos softwares

- Administração de sistema – suporte ao uso diário do sistema e suas permissões
- Event Proces Language – Linguagem específica para a utilização de eventos no código do software
- Gestão de projeto – Habilidade para fazer a gestão geral do projeto e interações com o cliente
- Requisitos – Entendimento de requisitos de software
- Consultoria – Metodologias de gestão de desenvolvimento de software
- Design – Projetos visuais e de usabilidade para interface com usuário

Segundo ROUSE et al. (1989), existem duas classes gerais de métodos para capturar as habilidades humanas: os métodos subjetivos e algorítmicos. Os métodos subjetivos confiam quase totalmente na habilidade de um investigador humano de fazer inferências consistentes e apropriadas dos dados. Já os métodos algorítmicos utilizam programas de computador para ajustar relações entre os dados.

No caso proposto, foi escolhido o método subjetivo para atribuição das notas das pessoas nas habilidades. Essa escolha se deu basicamente por dois motivos. Primeiramente, pela sua maior simplicidade para obtenção das habilidades. Em segundo lugar, uma vez que o foco da aplicação era na demonstração da utilização do modelo matemático proposto, considerou-se eventuais perdas de precisão na captura das habilidades não traria prejuízos ao objetivo desta aplicação. Foi utilizada uma escala de 0 a 10. Um dos diretores da empresa foi responsável por fazer essa atribuição. Esse diretor é também o responsável pelas vendas, portanto, faz parte do seu dia a dia, conhecer as pessoas e suas habilidades a fim de fazer as propostas de projeto. Portanto, esse é um trabalho que tacitamente ele já pratica em seu dia a dia.

Para se atribuir as notas de complexidade de ambientação nos projetos, o mesmo método foi utilizado. Por se tratarem de projetos já realizados, entende-se que essa atribuição de notas se tornou mais fácil do que seria num caso onde se estivesse olhando para o futuro. O mesmo diretor da empresa atribuiu notas de 1 a 10 para cada projeto.

Para se verificar e comparar o comportamento das soluções trazidas pelo modelo, propõem-se quatro cenários: o primeiro, chamado cenário base, traz uma

demanda bem próxima à capacidade em cada período. Nele, os pesos atribuídos a cada componente da função objetivo são 0,3 para o componente de minimização de gap de proficiência, 0,4 para o de minimização de tarefas não executadas e 0,3 para o de minimização de mudança de recursos de projeto. O segundo cenário traz apenas uma variação nos pesos atribuídos a cada componente. Seguindo a mesma ordem descrita anteriormente, os pesos passaram a ser 0,2, 0,6 e 0,2, respectivamente. O segundo componente foi o que ganhou maior peso em ambos os casos. Isso acontece porque se considera que a prioridade será sempre tentar cumprir as atividades. No segundo cenário, no entanto, esse componente possui peso maior do que a soma dos outros dois juntos, o que torna sua prioridade ainda maior.

O terceiro cenário mantém os pesos do cenário 1, porém traz um aumento de demanda. As quantidades de horas necessárias à execução de todas as tarefas são aumentadas em 20%. No quarto cenário, o contrário é feito. As demandas são reduzidas em 20%.

Os resultados dos quatro cenários serão mostrados e comparados a seguir. As tabelas de parâmetros e dos resultados finais atribuídos às variáveis em cada cenário são mostrados no anexo II.

No cenário 1, o valor da função objetivo final ficou em 0,125427599, onde:

Componente da Função Objetivo	Valor Absoluto	Valor Normalizado
MINIMIZAÇÃO DE GAP DE PROFICIÊNCIA	1519	0,027115316
MINIMIZAÇÃO DE TAREFAS NÃO EXECUTADAS	235	0,011948646
MINIMIZAÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSO DE PROJETO	57	0,086363636

**Tabela 3 - Componentes da função objetivo no cenário 1 - Fonte: O autor**

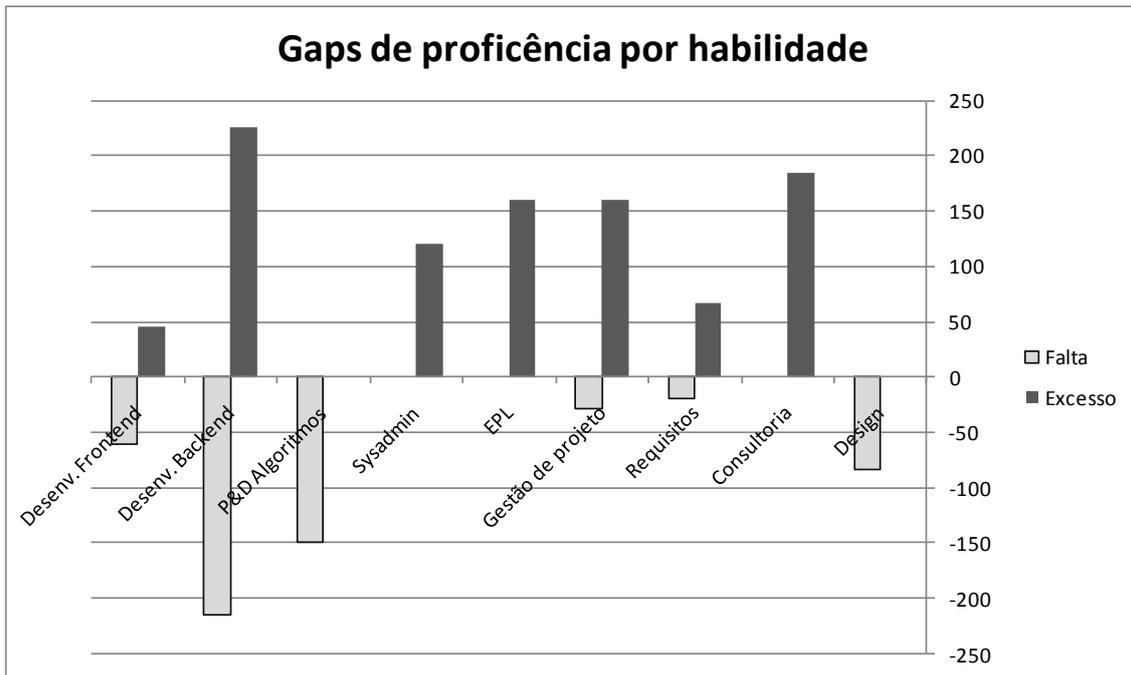
O quadro a seguir apresenta a alocação de horas por recurso por semana que foi feita no cenário 1.

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	Disponibilidade	Ociosidade
Recurso	1	0	40	40	40	40	0	240	80
	2	40	40	40	40	40	40	240	0
	3	40	40	40	40	40	40	240	0
	4	40	40	40	40	40	40	240	0
	5	0	40	40	40	40	40	240	40
	6	0	40	40	40	40	40	240	40
		120	240	240	240	261	240	Demanda de trabalho	
		0	0	0	0	21	40	Horas não executadas	

**Tabela 4 - Quadro resumo da alocação no Cenário 1 - Fonte: O autor**

A demanda de trabalho é baixa na primeira semana, mas se torna tão grande quanto a disponibilidade nas semanas 2, 3 e 4. Na quinta semana, ela se torna mais alta do que a disponibilidade e na sexta volta ao patamar de 240 horas. As 21 horas excedentes de demanda de trabalho na quinta semana provavelmente seriam tratadas através da alocação de horas extras uma vez que não significam um excedente muito significativo. Na sexta semana, porém, uma coisa interessante acontece. Embora exista disponibilidade tão grande quanto a necessidade, um dos recursos é deixado ocioso e uma das habilidades não é executada. Isso aconteceu porque o nível demandado na habilidade “requisitos” era 3. O recurso deixado ocioso possuía nível 8 nessa habilidade. Alocar esse recurso nessa habilidade dessa atividade significaria uma subalocação que gera desmotivação e subaproveitamento dos recursos. O modelo “prefere”, portanto, deixar de alocar o recurso. É claro que a atividade não pode deixar de ser realizada, no entanto, essa é uma situação que teria de ser tratada a parte.

Outra análise interessante que pode ser feita a partir da alocação proposta é sobre as habilidades. O gráfico a seguir mostra, para cada habilidade, quanto se teve de déficit e excesso de habilidade a partir do mesmo conceito utilizado para o cálculo de gap de proficiência: produto entre quantidade de horas trabalhadas pelo gap entre a necessidade de proficiência e a proficiência do recurso alocado.



**Figura 12 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 1 - Fonte: O autor**

As habilidades “desenvolvimento de *frontend*”, “desenvolvimento de *backend*”, “gestão de projetos” e requisitos apresentaram tanto falta quanto excesso. Isso demonstra que o nível de proficiência alocado está acima ou abaixo do nível necessário. Provavelmente, uma política de treinamento para que outras pessoas também adquirissem essa habilidade em níveis de proficiência diversos desse maior flexibilidade para uma alocação mais ajustada. A habilidade “P&D Algoritmos” apresentou déficit. A análise dos dados mostrou que o nível exigido para essa habilidade em três períodos era 8 enquanto o recurso alocado possuía nível 6. Embora existisse um recurso exatamente com nível 8 na equipe, o modelo alocou ele em outras habilidade de outras atividades. Nesse caso, provavelmente uma política de incentivo a esse recurso de nível 6 para aprendizado nessa habilidade poderia ser uma boa opção para que no futuro esse gap seja reduzido. As habilidades “sysadmin”, “EPL” e “consultoria” apresentaram excesso de proficiência e a habilidade de design apresentou um déficit.

Quanto à questão da troca de recursos entre projetos, três dos recursos trabalharam em dois projetos e outros três trabalharam em apenas um, como mostra a figura 13. Sob o ponto de vista dos projetos, apenas um dos projetos foi executado por

mais de uma pessoa. Foi o projeto “Upgrade do serviço IEM”. A figura 14 ilustra esse dados.

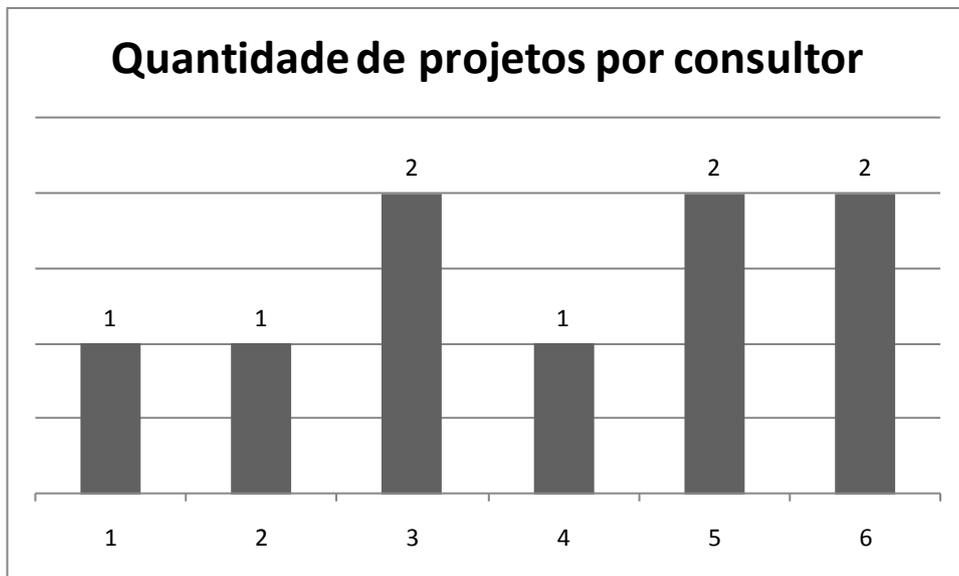


Figura 13 - Quantidade de projetos por consultor no Cenário 1- Fonte: O autor

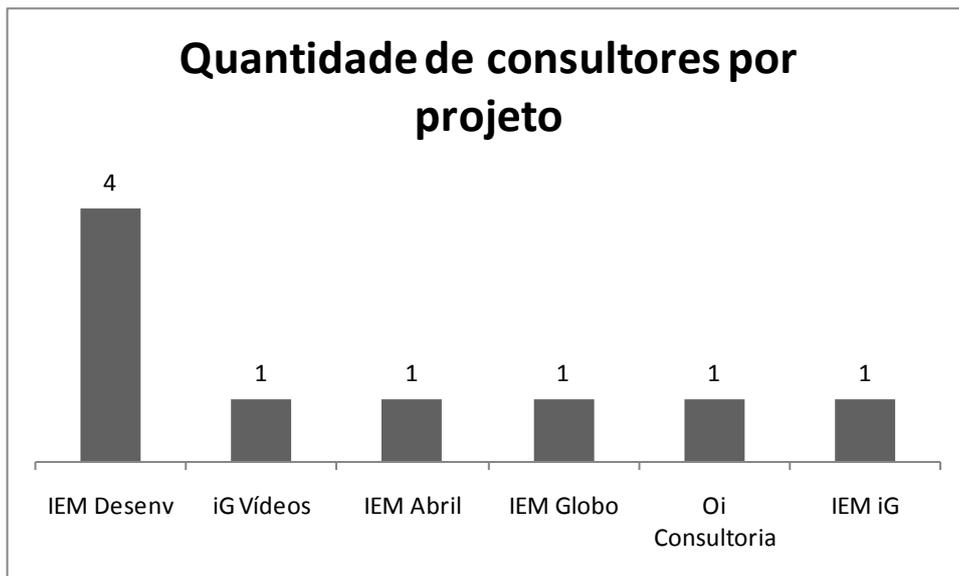


Figura 14 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 1 - Fonte: O autor

O valor da função objetivo no cenário 2, onde o peso dado ao segundo componente, de minimização de tarefas não executadas, foi maior foi calculado em 0,087260295, onde:

Componente da Função Objetivo	Valor	Valor

	Absoluto	Normalizado
MINIMIZAÇÃO DE GAP DE PROFICIÊNCIA	1607	0,019124122
MINIMIZAÇÃO DE TAREFAS NÃO EXECUTADAS	59	0,004499809
MINIMIZAÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSO DE PROJETO	63	0,063636364

**Tabela 5 - Componentes da função objetivo no cenário 2 - Fonte: O autor**

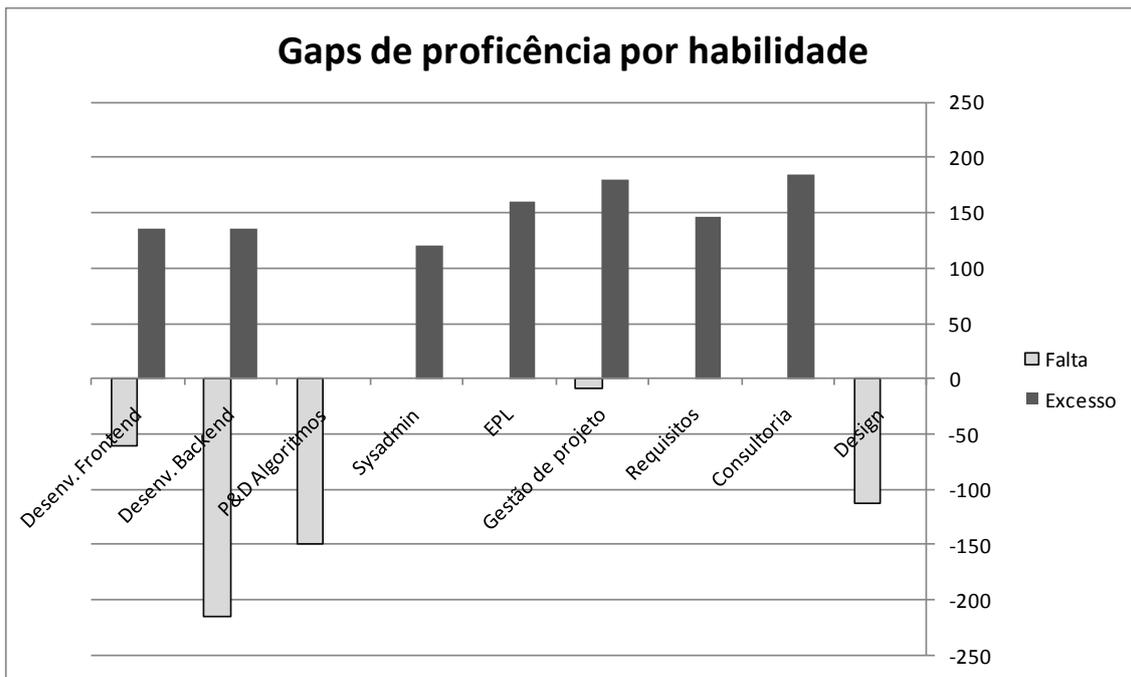
O quadro resumo para o cenário 2 ficou da seguinte forma:

		Semana								
		1	2	3	4	5	6		Disponibilidade	Ociosidade
Recurso	1	40	40	40	40	40	40		240	0
	2	40	40	40	40	40	40		240	0
	3	0	40	40	40	40	40		240	40
	4	40	40	40	40	40	40		240	0
	5	0	40	40	40	40	40		240	40
	6	0	40	40	40	40	40		240	40
		120	240	240	240	261	240		Demanda de trabalho	
		0	0	0	0	21	0		Horas não executadas	

**Tabela 6 - Quadro resumo da alocação no Cenário 2 - Fonte: O autor**

Ao contrário do cenário 1, não houve horas de trabalho não executadas em nenhum caso quando havia horas de trabalho disponível na equipe. As únicas horas de trabalho não executadas aconteceram na semana 5, quando a demanda de trabalho ultrapassou a disponibilidade. Isso ocorre uma vez que foi aumentado o peso dado ao segundo componente da função objetivo de minimização de tarefas não executadas. Outra comparação interessante em relação ao cenário 1 é alocação feita na primeira semana. Enquanto naquele cenário o recurso 3 tenha sido alocado, no cenário 2 o recurso 1 foi alocado. Isso se dá em função da redução do peso do componente de minimização de mudança de recursos entre projetos. No cenário 2, o modelo “optou” por alocar um recurso com proficiência mais próxima do nível requisitado mesmo significando recursos participando de mais projetos.

O gráfico de gap de proficiência por habilidade ficou da seguinte forma para o cenário 2:



**Figura 15 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor**

Na maior parte dos casos os gaps apresentados foram iguais ou maiores do que os apresentados no cenário 1. A soma dos gaps absolutos no cenário 2 foi de 1607 contra 1519 no cenário 1. Isso ocorre porque, com o aumento do foco no componente de minimização de tarefas não executadas e redução do componente de gap de proficiência, o modelo busca alocar as pessoas às tarefas independente da diferença entre o nível da habilidade da pessoa e o nível necessário para execução da mesma.

No que diz respeito ao terceiro componente, o de minimização de recursos entre projetos, também houve uma alteração em relação à solução apresentada no cenário 1, conforme já descrito anteriormente. Enquanto naquela três dos projetos haviam sido executados por apenas uma pessoa, aqui somente dois projetos tiveram somente uma pessoa alocada e outros quatro tiveram duas. A mesma mudança se reflete na quantidade de pessoas por projeto. Enquanto apenas um dos projetos teve mais de uma pessoa alocada no cenário 1, no cenário 2, dois projetos tiveram mais de uma pessoa o que se explica a partir da redução do peso do terceiro componente da função objetivo de um cenário para o outro.

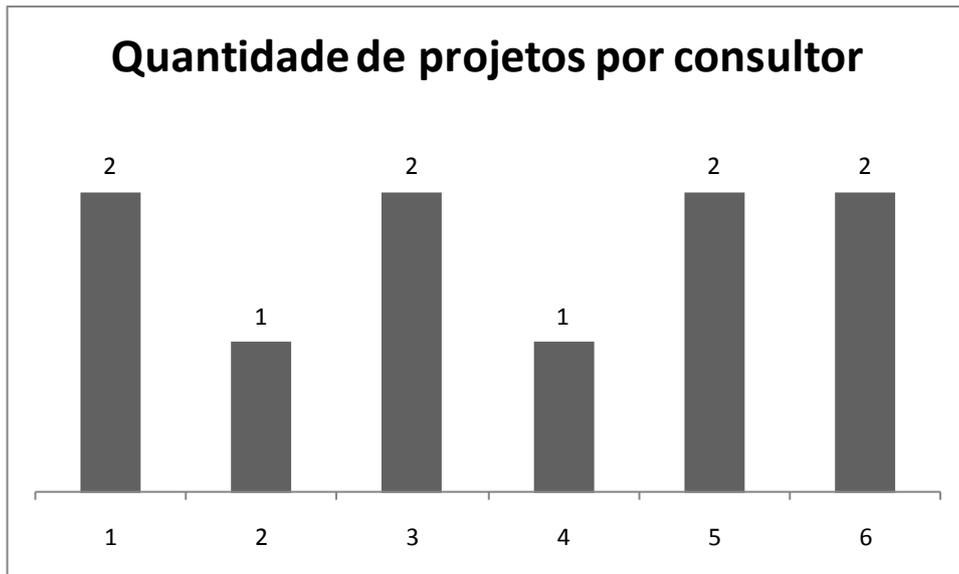


Figura 16 - Quantidade de projetos por consultor no Cenário 2 - Fonte: O autor

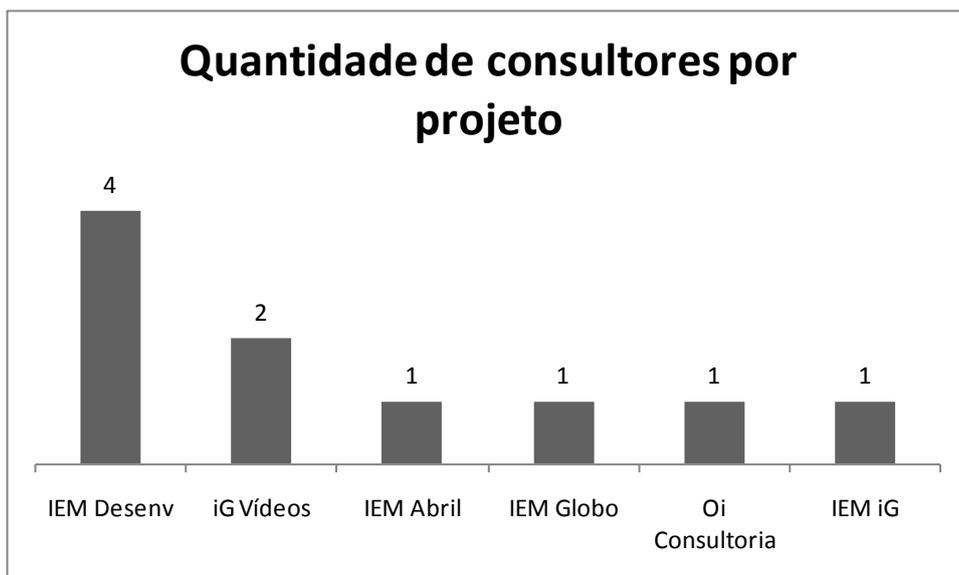


Figura 17 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 2 - Fonte: O autor

O cenário 3 trouxe um aumento na quantidade horas necessárias à execução das tarefas fazendo com que a equipe se tornasse pequena frente à demanda de trabalho. Nessas condições, o valor da função objetivo foi calculado em 0,175069254, onde:

Componente da Função Objetivo	Valor Absoluto	Valor Normalizado
MINIMIZAÇÃO DE GAP DE PROFICIÊNCIA	1371,6	0,020403427

MINIMIZAÇÃO DE TAREFAS NÃO EXECUTADAS	1612	0,068302191
MINIMIZAÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSO DE PROJETO	57	0,086363636

**Tabela 7 - Componentes da função objetivo no cenário 1 - Fonte: O autor**

O quadro resumo nesse cenário ficou o seguinte:

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	Disponibilidade	Ociosidade
Recurso	1	24	40	40	40	40	0	240	56
	2	40	40	40	40	40	40	240	0
	3	24	40	40	40	40	40	240	16
	4	40	40	40	40	40	40	240	0
	5	0	40	40	40	40	40	240	40
	6	0	40	40	40	40	40	240	40
		144	288	288	288	313	288	Demanda de trabalho	
		16	48	48	48	73	88	Horas não executadas	

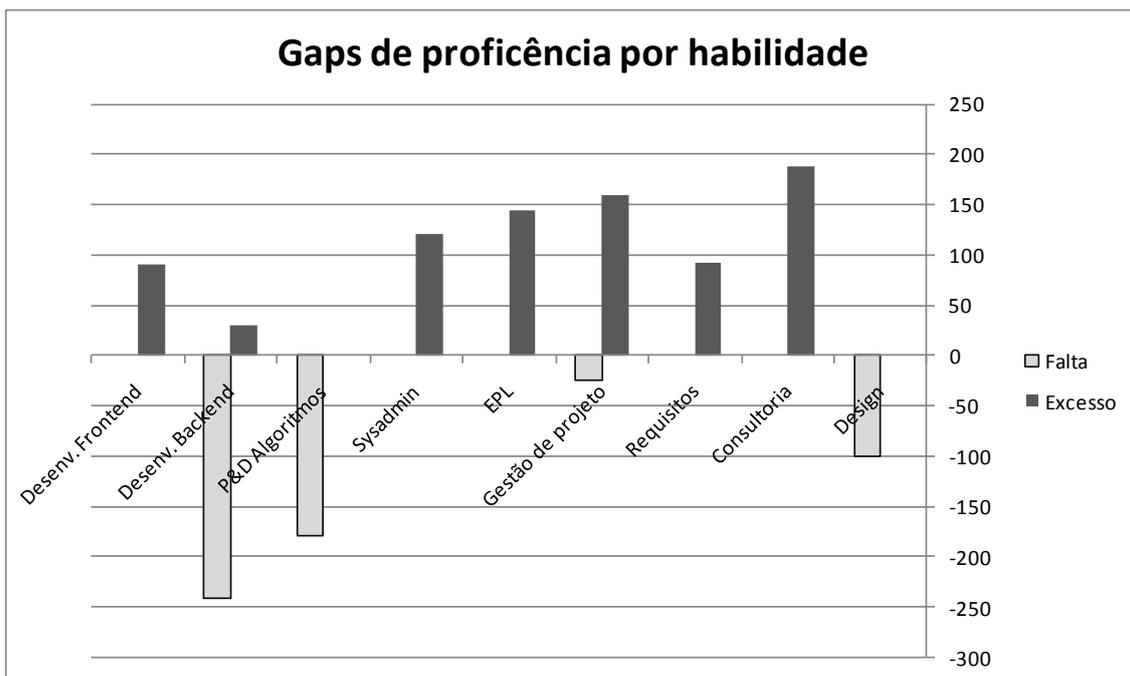
**Tabela 8 - Quadro resumo da alocação no Cenário 3 - Fonte: O autor**

Interessante notar, ao se comparar com o quadro geral do cenário 1, que as horas alocadas de cada recurso em cada semana é muito parecido ao feito naquele cenário. Na verdade, nas semanas 2 a 6 a alocação geral foi exatamente a mesma. Dada a manutenção dos pesos dos componentes, isso era de se esperar nas semanas em que a quantidade de horas de trabalho demanda já era igual ou maior à disponibilidade da equipe. As horas a mais de demanda de trabalho que entraram, não puderam ser cobertas para essas semanas. As únicas diferenças foram nas horas alocadas aos recursos 1 e 3 na semana 1. O recurso 1 passou a ter alocação uma alocação de 24 horas e o recursos 3 teve sua alocação reduzida de 40 para 24 horas. Essa mudança se deu porque, dada a disponibilidade de tempo de apenas 40 horas dos recursos, não era possível mais manter as atividades em um único recurso, portanto, as alocações foram divididas entre dois recursos para se poder cobrir o total de horas necessárias. Porém, para a semana 1, mesmo havendo disponibilidade de horas, houve ociosidade de equipe. Ao contrário do que ocorreu na semana 6 do cenário 1, onde mesmo havendo disponibilidade de equipe, o modelo “optou” por não alocar o recurso disponível em

função do alto gap de proficiência, nesse caso uma análise detalhada demonstrou que a não alocação de recursos disponíveis ocorreu por uma questão da modelagem. Ao se acrescentar 20% ao tempo de execução de atividades, diversas necessidades de horas de trabalho para uma habilidade em um período (parâmetro  $e$ ) ultrapassaram as 40 horas de disponibilidade dos recursos por semana. Com a restrição de apenas um recurso poder trabalhar em uma habilidade de uma atividade, essas horas excedentes à disponibilidade não poderiam ser cobertas mesmo havendo a disponibilidade de outros recursos. Seria necessário, portanto, se fazer uma quebra na modelagem dessas atividades ou aumentar a disponibilidade dos recursos para se ter a possibilidade de executar essas tarefas plenamente. Esse ponto foi mantido propositalmente para explicitar esse cuidado que se deve ter na modelagem do problema. De toda forma, essa é uma situação que pode acontecer em casos reais onde o esforço necessário à finalização de uma tarefa individual é maior do que a capacidade do recurso devido a prazos agressivos ou mal calculados. Nesses casos, a questão deve ser tratada individualmente para se definir como solucioná-la.

As ociosidades se deram quase totalmente na semana 1, onde ainda com o aumento de esforço necessário, a demanda ficou abaixo da capacidade total. A exceção se deu na semana 6 onde houve ociosidade mesmo com a demanda maior do que disponibilidade. Isso se deu pelo mesmo motivo já explicado no cenário 1, isto é, com os pesos atribuídos aos componentes da função objetivo, o gap de competência que se teria pela alocação do recurso disponível à atividade aumentaria o valor da função objetivo em relação à não alocação. Por isso, a segunda opção foi utilizada pelo modelo.

Com relação aos gaps de proficiência, uma coisa interessante acontece, o valor do gap total é reduzido no cenário 3 em relação ao cenário 1, com 1371,6 contra 1519 pontos, respectivamente, ao contrário do que o instinto inicial poderia dizer. Isso se dá porque, em função do aumento da carga de esforço necessário à execução das tarefas, o modelo prioriza as atividades com baixo gap de proficiência para executar e deixa de executar aquelas com maior gap.



**Figura 18 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor**

Com relação à mudança de recursos entre projetos, não há mudanças em relação ao cenário 1. Os mesmos recursos são alocados aos mesmos projetos que naquele cenário.

Finalmente, o quarto e último cenário foi executado com uma demanda menor do que a do cenário 1. Nesse caso, o valor da função objetivo foi calculado em 0,110399852.

Componente da Função Objetivo	Valor Absoluto	Valor Normalizado
MINIMIZAÇÃO DE GAP DE PROFICIÊNCIA	982,4	0,021920743
MINIMIZAÇÃO DE TAREFAS NÃO EXECUTADAS	224	0,014236685
MINIMIZAÇÃO DE MUDANÇA DE RECURSO DE PROJETO	49	0,074242424

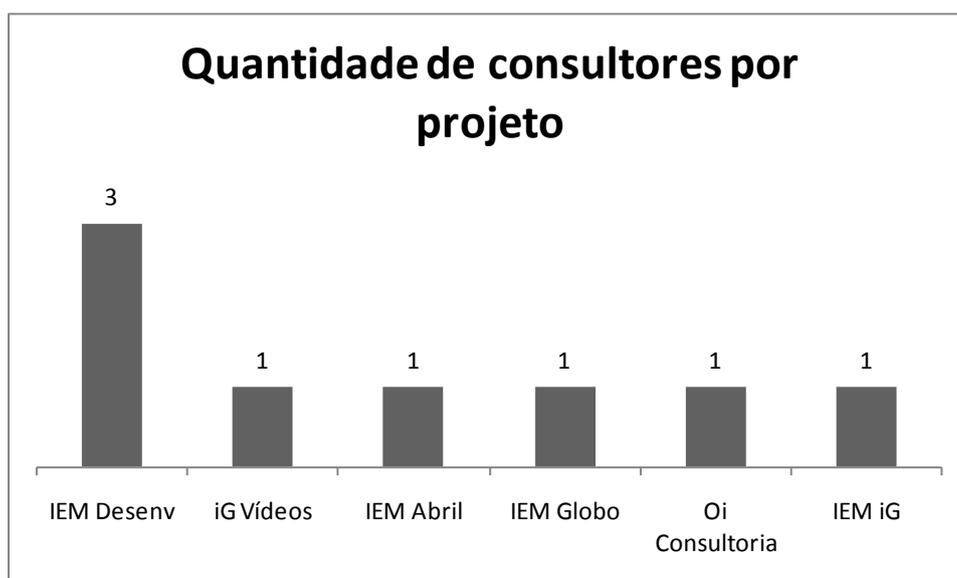
**Tabela 9 - Componentes da função objetivo no cenário 4 - Fonte: O autor**

O quadro de alocação ficou da seguinte forma:

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	Disponibilidade	Ociosidade
Recurso	1	32	40	40	40	32	0	240	56
	2	32	32	32	32	32	32	240	48
	3	0	40	40	40	40	32	240	48
	4	32	32	32	32	32	32	240	48
	5	0	0	0	0	32	32	240	176
	6	0	40	40	40	40	40	240	40
		96	192	192	192	209	192	Demanda de trabalho	
		0	8	8	8	0,8	24	Horas não executadas	

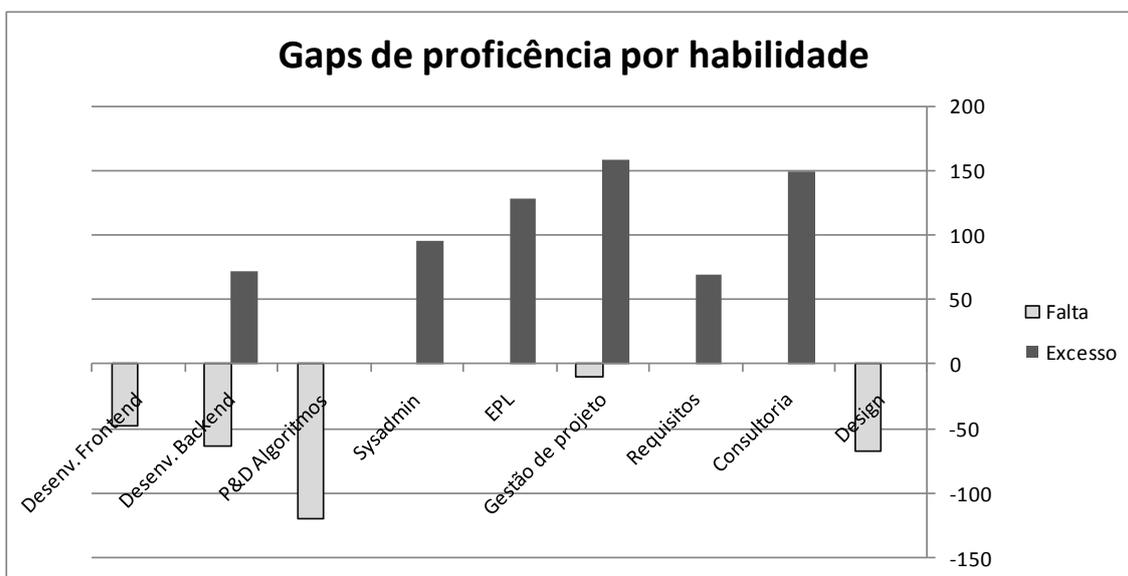
**Tabela 10 - Quadro resumo da alocação no Cenário 4 - Fonte: O autor**

Contrariando uma possível estimativa de que, com disponibilidade excedente, todas as tarefas seriam executadas, nas semanas de 2 a 6 houve horas não executadas. A explicação para tal comportamento está no gráfico de quantidade de consultores por projeto. O projeto “Desenvolvimento IEM” teve três pessoas alocadas em vez das quatro alocadas no cenário 1. Isto é, o modelo deixou de alocar uma pessoa para reduzir o componente de mudanças de pessoas entre projetos e com isso deixou atividades descobertas. No cálculo geral do modelo, essa configuração possibilitou a redução do valor da função objetivo final.



**Figura 19 - Quantidade de consultores por projeto no Cenário 4 - Fonte: O autor**

Com relação ao gap de proficiência houve uma redução de 1519 pontos do cenário 1 para 982,4. Isso se dá em função da redução da duração das atividades que entra no cálculo do gap e por conta também da possibilidade de escolha mais apropriada do recurso a executar a atividade dada a alta disponibilidade. A figura a seguir ilustra o gap de proficiência por habilidade.



**Figura 20 - Gaps de proficiência por habilidade no Cenário 2 - Fonte: O autor**

Encerra-se, portanto, a descrição do caso de aplicação do modelo proposto. Considera-se que foi obtido êxito na execução do modelo proposto uma vez que uma solução inicial foi trazida pelo mesmo. Não se pretende, no entanto, eliminar completamente a necessidade da interpretação e intervenção humana na solução final de alocação a ser utilizada, mas sim dar uma referência inicial a partir da qual se possa trabalhar. Isso será especialmente verdade no caso de um modelo multicritério onde os pesos atribuídos aos componentes da função objetivo possuem grande subjetividade alteram de forma significativa a solução final do modelo.

Para fins de demonstrar sua utilidade e fazer análise acerca da modelagem utilizada considera-se que a aplicação realizada tenha cumprido o seu papel. A partir de um problema de pequeno porte torna-se mais fácil ao leitor entender de que forma o modelo funciona na busca de uma solução para alocação das pessoas disponíveis nos projetos a serem executados.

A utilização de quatro cenários de solução alterando-se os pesos dados aos componentes da função objetivo e as demandas de trabalho demonstram de forma clara o modelo se comporta diante de variados contextos. Embora a liberdade na escolha dos pesos traga subjetividade à ferramenta, considera-se que muitas vezes os *trade-offs* existentes no mundo real são de fato subjetivos. O que se tenta, portanto, é buscar uma solução inicial a partir da qual um ser humano possa se basear para tomar sua decisão final de alocação incorporando a sua subjetividade e inteligência à solução.

Ao final da aplicação, considera-se que o modelo por ter utilidade prática dentro de certos limites. Para casos de pequeno porte, é possível que o esforço necessário ao levantamento de competências e atividades, esforços e níveis de proficiência necessários tornem o custo de se configurar o modelo não compensatório em relação a uma solução tácita. No entanto, na medida em que se cresce a quantidade de variáveis, a decisão tácita pode não ser suficiente. Nesse caso, o esforço inicial de levantamento de dados pode ser compensado pelo benefício de se utilizar o modelo. O próprio exemplo dado neste capítulo mostra isso. Para um problema de proporções não grandes, a complexidade de uma alocação tácita já pode se tornar grande quanto se pensa questões como gaps de proficiência e restrições com relação a mudanças de recursos entre projetos.

Por outro lado, o modelo também possui dificuldades em chegar a uma solução na medida em que se aumenta a quantidade de variáveis envolvidas. Para o exemplo dado, houve um tempo médio 40 minutos para se chegar a uma solução em cada cenário. No entanto, a quantidade de variáveis aumenta significativamente na medida em que se aumenta o modelo em termos de horizonte de tempo, quantidade de pessoas, quantidade de habilidades e quantidade de atividades abordados. Embora o modelo não tenha sido testado para problemas de proporções significativamente maiores, acredita-se que alternativas tanto em termos de software utilizado como em relação à utilização de soluções heurísticas tenham que se buscadas.

Além do porte em si, outras dificuldades podem ser encontradas quando da aplicação do modelo em casos reais. Uma delas, já mencionada, diz respeito à dificuldade na captura dos parâmetros necessários ao modelo, tanto no que diz respeito ao esforço quanto à precisão final. Notas de nível de proficiência e complexidade de

ambientação são parâmetros imprecisos e muitas vezes subjetivos. Essa imprecisão fará parte do modelo inevitavelmente. Por outro lado, mais uma vez, considera-se que, ainda que traga certa imprecisão embutida, a utilização de um modelo matemático auxilia a tomada de decisão humana.

Quando comparado à literatura consultada, percebe-se que a maior parte dos outros modelos propostos apresentam as mesmas questões, de maneira geral, que as apresentadas acima. Todos os que tentam explorar o problema da alocação de recursos em projetos de uma forma minimamente profunda, possuem também complexidade e imprecisão do estabelecimento dos parâmetros. Muitos tentam reduzir essa imprecisão utilizando-se parâmetros financeiros e funções objetivo de minimização de custos. No entanto, um dos propósitos desta dissertação era o de incorporar o que ainda não havia sido feito em outros modelos que é a questão das restrições de pessoas entre projetos. Para tanto, acredita-se que um modelo multi-critério seja a melhor forma de fazê-lo ainda que ele possua inerentemente essa imprecisão.

Com relação ao caso escolhido para aplicação, entende-se que seu papel de ilustração da utilização do modelo e análise de seu comportamento em diversas situações diferentes tenha sido cumprido. A utilização de uma empresa real para aplicação teve o objetivo de dar “materialidade” e ajudar o leitor no entendimento de como seria a aplicação num caso real. A aplicação num caso totalmente real em si teria trazido maior riqueza à dissertação, no entanto, entende-se que para fins da demonstração do modelo não houve prejuízos.

O próximo capítulo trará a conclusão final da dissertação.

## **6. Conclusões**

O trabalho será fechado com algumas considerações finais. Inicialmente será feita uma síntese de tudo o que foi tratado ao longo da dissertação. Em seguida serão feitos comentários a respeito das contribuições trazidas pela pesquisa. Alguns pontos relacionados a limitações da pesquisa serão comentados, posteriormente. Finalmente, serão feitas sugestões para possíveis trabalhos futuros na mesma linha do que foi trazido nesta pesquisa.

### **6.1. Síntese**

O trabalho foi iniciado com uma introdução a respeito da importância do tema tratado. Nela, foi visto o aumento que o tema “projeto” vem tendo dentro das organizações. Cada vez mais as organizações se estruturam para realizar seus projetos e, assim, tentar aumentar sua chance de sucesso. No entanto, a maior parte da literatura acerca de projetos foca em projetos individuais, isto é, nas questões associadas à gestão de um único projeto.

Por outro lado, um importante fator de sucesso na execução dos projetos é a gestão de diversos projetos que acontecem em paralelo em uma mesma organização competindo por recursos, tanto no que diz respeito às pessoas que os executam como dos materiais, espaço e verba necessários a eles. A esse tipo de discussão, utilizou-se o nome “gestão de multi-projetos”. Segundo uma série de autores, a gestão de multi-projetos pode ser dividida, grosso modo, em três grandes discussões: a seleção dos projetos que farão parte dessa carteira a ser trabalhada; a programação das atividades dos projetos no tempo; e a alocação dos recursos compartilhados entre esses projetos entre eles da melhor forma possível.

A partir daí, foi possível chegar-se ao objetivo da pesquisa: proposição de um modelo para alocação de pessoas a projetos levando-se em consideração diferentes habilidades, níveis de proficiência nas habilidades e dificuldades de alterações de equipes de projeto.

A relevância desse tema dentro da engenharia de produção foi comprovada uma vez que são partes do escopo de atuação do engenheiro de produção: a capacidade de dimensionamento e integração de recursos físicos humanos e financeiros a fim de produzir, com eficiência e ao menor custo, considerando a possibilidade de melhorias contínuas; ser capaz de utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na tomada de decisões. (ABEPRO, 2010)

Em seguida, foi apresentada a metodologia de pesquisa adotada. Inicialmente, foi feita a caracterização da pesquisa. Esta foi caracterizada como uma pesquisa prática, segundo a classificação de BOOTH (2003), uma vez que possui como objetivo a concepção de um modelo para apoio à tomada de decisão organizacional.

O processo de obtenção da base bibliográfica foi feito a partir da busca de palavras-chave na base ISI. Centenas de títulos de artigos e dezenas de *abstracts* de artigos foram analisadas até se chegar a uma base final de 47 artigos que serviram como a base principal para pesquisa.

O terceiro capítulo foi dedicado à revisão da literatura selecionada. A primeira parte da revisão foi dedicada aos problemas de alocação. Na pesquisa operacional, os problemas de alocação envolvem combinar otimamente os elementos de dois ou mais conjuntos. Uma série de exemplos de aplicações dos problemas de alocação voltados para pessoas e atividades foi apresentada.

Em seguida, foi apresentada a revisão bibliográfica acerca do tema “gestão de multi-projetos”, ou seja, a gestão de diversos projetos concomitantes que competem pelos mesmos recursos para serem executados. Uma série de quadros conceituais para gestão de multi-projetos foram apresentados. A alocação de pessoas a projetos foi contextualizada dentro desse tema como o foco principal deste trabalho de pesquisa.

Antes, no entanto, de se entrar em detalhes na parte de alocação pessoas, foi feita uma revisão da parte de programação de projetos, ou seja, a definição dos momentos nos quais as atividades de projetos serão realizadas dadas restrições de recursos para executá-las. Embora o foco do trabalho não tenha sido a programação de projetos, considerou-se importante esse aprofundamento uma vez que a programação e a

alocação são abordadas muitas vezes de forma conjunta na literatura. Uma série de exemplos na literatura de problemas de programação de projetos foi também apresentada.

Finalmente, foi feita a parte principal da revisão bibliográfica, a parte voltada para os problemas de alocação de recursos a projetos. Esses são casos particulares dos problemas de alocação onde normalmente os conjuntos a serem alocados são atividades ou partes delas e recursos necessários à execução dessas atividades. A revisão da literatura de problemas de alocação de recursos a projetos foi dividida em três partes: a abordagem multiagente, os modelos diversos e os modelos de programação inteira e derivados, conforme será descrito a seguir.

A primeira parte foi voltada aos modelos multiagente. Esses modelos são caracterizados pela modelagem de agentes que possuem, cada um, seus próprios objetivos a serem atingidos dentro do modelo. No caso específico da alocação de pessoas a projetos, os agentes são, normalmente, as pessoas com o objetivo de ter seu tempo alocado a projetos e as atividades, com o objetivo de serem completadas. Alguns exemplos de aplicação desse tipo de abordagem foram apresentados.

A segunda parte da revisão focou modelos diversos de alocação de recursos a projetos, ou seja, abordagens específicas e pouco exploradas na literatura. Dentre as abordagens apresentadas, há a utilização da simulação, Redes de Petri e notação de modelagem de processo para solucionar o problema.

A terceira parte, e mais importante para a pesquisa, foi voltada para os modelos de programação inteira e seus derivados. Os problemas de programação inteira são aqueles nos quais alguma ou todas as variáveis de decisão são restritas a serem inteiras. Eles podem ser lineares ou não lineares. Essa foi considerada a parte mais importante da revisão bibliográfica uma vez que o modelo final gerado seguiu também essa linha de abordagem. Uma série de exemplos de aplicação da mesma também foi apresentada.

Terminada a revisão dos problemas de alocação de recursos a projetos, foi feita uma breve revisão sobre modelos multi-critérios. Esses modelos são utilizados quando se possui mais um critério de decisão, ou seja, não apenas uma grandeza a ser

maximizada ou minimizada no modelo. No caso do modelo proposto, essa abordagem foi utilizada, por isso, optou-se por se fazer uma introdução conceitual a esse tipo de modelo. Métodos para lidar com dificuldades relacionadas a grandezas diversas entre as variáveis de decisão foram apresentados.

Para finalizar a revisão bibliográfica, uma série de artigos que tangenciam as questões referentes às equipes de projeto foram estudados. Um dos focos desta pesquisa foi o de propor um modelo de alocação de pessoas que, ao contrário da maior parte dos modelos já propostos, contemplasse restrições quanto a trocas de pessoas entre equipes. As abordagens de alocação de pessoas a projetos prévias consideram que as pessoas podem ser alocadas a diferentes atividades de diferentes projetos sem haver qualquer tipo de perda por isso. No entanto, a realidade não funciona dessa forma na maior parte dos casos e a equipe de projeto é um elemento que deve ser considerado uma vez que sua formação e manutenção possuem uma série de complexidades. As equipes funcionam além da simples soma dos indivíduos que a compõem e isso precisa ser levado em consideração para que se chegue a uma boa solução de alocação de pessoas. Uma série de estudos sobre fatores a serem levados em consideração na formação das equipes e pesquisas para comprovação de determinadas hipóteses a respeito das equipes foram apresentados. Alguns modelos para formação de equipes também foram vistos.

Após a revisão bibliográfica, o modelo proposto para alocação de pessoas a projetos em ambiente multi-projetos considerando questões de ambientação das pessoas aos projetos foi apresentado. Foi proposto um modelo de programação inteira linear multi-critérios que considera restrições de mudanças de recursos entre projetos e habilidades. Essa foi a forma utilizada para se refletir os impactos das alterações das equipes ao longo do trabalho em curso. Além disso, o modelo considera que as pessoas possuem habilidades diferentes e níveis de proficiência nessas habilidades também diferentes. O objetivo do modelo foi dividido em três componentes: minimização de gap de proficiência, minimização de tarefas não executadas e minimização de mudança de recurso de projeto. Para a formação do modelo foram utilizados 11 conjuntos de parâmetros, quatro conjuntos de variáveis de decisão, 10 conjuntos de restrições e três conjuntos de verificações pré-processamento.

A implantação do modelo foi feita utilizando-se as ferramentas *Microsoft Excel* e *Lindo What'sBest!*, um *add-in* para *Excel* para execução de modelos complexos de otimização.

Finalmente, foi feita uma aplicação do modelo em um exemplo baseado num caso real. Foi escolhida uma empresa chamada Intelie, especializada em soluções de desenvolvimento de software. O caso utilizou uma parte dos projetos realizados pela empresa bem como parte de sua equipe atual. No total, foram seis projetos, 25 atividades, nove habilidades, seis recursos e seis períodos.

Quatro cenários variando pesos dados aos componentes da função objetivo e demanda foram criados e o modelo foi executado para todos eles. No cenário 1, as questões de gap de proficiência e alteração de recursos entre projetos foram mais valorizadas em detrimento das atividades não executadas. No cenário 2, as atividades não executadas tiveram foco maior. No terceiro cenário a demanda foi aumentada para se testar o comportamento do modelo em um cenário de demanda maior que capacidade. No último cenário foi feito o contrário, a demanda foi reduzida para que a capacidade da equipe fosse maior do que a necessidade de trabalho.

## **6.2. Contribuições da pesquisa**

Considera-se que a pesquisa realizada possui algumas contribuições reais ao campo da engenharia de produção e da gestão. A principal contribuição trazida é o modelo proposto em si que se espera poder ser utilizado para apoiar a tomada de decisão em organizações e, posteriormente, aprofundado por futuras pesquisas para aprimoramento e adaptação a realidade às quais o modelo não de adéque tal como foi concebido.

O modelo se diferencia dos modelos previamente propostos uma vez que une os principais fatores a serem considerados na alocação de pessoas a projetos, habilidades e proficiências heterogêneas, e a dificuldade existente na movimentação dessas pessoas entre diferentes equipes de projetos. Considera-se, portanto, que o modelo endereça uma necessidade real das organizações até então não contemplada nos modelos previamente propostos.

Pode-se considerar também como contribuição da pesquisa uma revisão bibliográfica extensa sobre modelos de alocação de pessoas a projetos. Futuras pesquisas sobre o tema poderão utilizar a revisão apresentada nesta dissertação como referência.

Foi demonstrada assim a aplicabilidade do modelo proposto, embora uma série de melhorias e incrementos possam ser desenvolvidos futuramente. A próxima sessão trará as principais limitações do trabalho.

### **6.3. Limitações da pesquisa**

Algumas limitações do trabalho de pesquisa de forma geral devem ser levantadas.

A primeira limitação diz respeito ao aprofundamento do tema “equipes de projeto” e a forma como este foi trazido para o modelo final proposto. A intenção desta pesquisa não foi ser extensiva no tema e nem contemplar toda a sua complexidade na modelagem do problema, mas sim trazer a restrição imposta pelas equipes de projeto à alocação das pessoas.

Uma segunda limitação diz respeito às variáveis contempladas pelo modelo proposto. Questões como a programação de projetos, aprendizado e localização geográfica foram deliberadamente deixadas de fora do escopo do modelo final, mas entende-se que isso pode gerar limitações à aplicabilidade do mesmo em determinados contextos.

Entende-se, no entanto, que essas limitações são desejáveis uma vez que o objetivo desta dissertação era trazer um modelo novo na medida em que contempla elementos não contemplados de forma conjunta em um único modelo. A opção foi, portanto, de focá-lo em poucas restrições e variáveis. Aprimoramentos podem vir como resultado de pesquisas subseqüentes, caso o modelo aqui proposto obtenha êxito em futuras utilizações.

A última limitação colocada diz respeito à aplicação realizada. Entende-se que um estudo de caso totalmente real poderia trazer maior riqueza à aplicação. No entanto,

essa aplicação teria um porte muito grande o que geraria um tempo de execução maior assim como complexidade na análise dos dados posteriormente. Assim, a redução do problema foi feita no sentido agilizar o tempo de aplicação do modelo bem como dar simplicidade às análises ilustrativas das soluções trazidas pelo modelo.

#### **6.4. Sugestões para trabalhos futuros**

Como item final deste texto, algumas sugestões para trabalhos futuros que dêem seqüência ao que foi realizado nesta pesquisa são feitas.

A primeira sugestão é o aprofundamento e utilização de outras variáveis das equipes de projeto na modelagem. Alguns dos exemplos de modelo para a formação de equipes apresentados mostram a utilização de aspectos subjetivos das pessoas como extroversão, capacidade de trabalho em equipe, etc.. Embora a modelagem e captura dessas características tragam grande complexidade ao modelo, em determinados casos, avanços significativos podem ser atingidos através desse tipo de abordagem.

Outro desdobramento interessante seria o aumento do modelo a partir da consideração de outras variáveis como o aprendizado pessoal, a seleção e programação de projetos, a contratação e outros que não foram contemplados no modelo proposto.

Pode-se ainda pensar uma abordagem de programação diferente da que foi utilizada. Uma das abordagens estudadas foi a de sistemas multiagentes. Embora esta não tenha sido empregada, entende-se que os modelos estudados geram resultados muito interessantes e que, portanto, este tipo de abordagem poderia ser empregado para contemplar a questão das equipes de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEPRO Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Página consultada em 06 de julho de 2010, <http://www.abepro.org.br/interna.asp?ss=1&c=924>
- ALBA, E. e CHICANO, F., 2007, “Software Project management with GAs”, *Information Sciences*, v. 177, pp. 2380-2401
- ALFARES, H. e BAILEY, J., 1997, “Integrated project task and manpower scheduling”, *IIE Transactions*, v. 29, pp. 711-717
- ANAVI-ISAKOW, S. e GOLANY, B., 2003, “Managing multi-project environments through constant work-in-process”, *International Journal of Project Management*, v. 21, pp. 9-18
- ARAÚZO-ARAÚZO, J., GALÁN-ORDAX, J., PAJARES-GUTIÉRREZ, J. e LÓPEZ-PAREDES, A., 2009, “Gestión eficiente de carteras de proyectos – Propuesta de un sistema inteligente de soporte a la decisión para oficinas técnicas y empresas consultoras”, *Dyna*, v. 84, n. 6
- BALLOU, D. e TAYI, G., 1996, “A Decision Aid for the Selection and Scheduling of Software Maintenance Projects”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, v. 26, n. 2
- BARCUS, A. e MONTIBELLER, G., 2008, “Supporting the allocation of software development work in distributed teams with multi-criteria decision analysis”, *Omega*, v. 36, pp. 464-475
- BASSET, M., 2000, “Assigning projects to optimize the utilization of employees’ time and expertise”, *Computer and Chemical Engineering*, v. 24, pp. 1013-1021
- BELLENGUEZ-MORINEAU, O., 2008, “Methods to solve multi-skill project scheduling problem”, *4OR*, v. 6, pp. 85-88
- BHADURY, J., MIGHTY, E. e DAMAR, H., 2000, “Maximizing workforce diversity in project teams: a network flow approach”, *Omega*, v. 28, pp. 143-153
- BILLIONNET, A., 1999, “Integer programming to Schedule a hierarchical workforce with variable demands”, *European Journal of Operational Research*, v. 114, pp. 105-114

- BLUMENFELD, D., 2009, *Operations Research Calculations Handbook*, 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press
- BOOTH, Wayne *et al.*, 2003, *The Craft of Research*. University of Chicago Press.
- BRUSCO, M. e JOHNS, T., 1998, “Staffing a Multiskilled Workforce with Varying Levels of Productivity: An Analysis of Cross-training Policies”, *Decision Sciences*, v. 29, n. 2
- CAMPBELL, G., 1999, “Cross-Utilization of Workers Whose Capabilities Differ”, *Management Science*, v. 45, n. 5
- CAMPBELL, G. e DIABY, M., 2002, “Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers”, *European Journal of Operational Research*, v. 138, pp. 9-20
- CARDOSO, V., 2004, *Gestão de Competências Por Processos: Um Método Para a Gestão do Conhecimento Tácito da Organização*, D. Sc. Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
- CASTKA, P., BAMBER, C., SHARP, J. e BELOHOUBEK, P., 2001, “Factors affecting successful implementation of high performance teams”, *Team Performance Management: An International Journal*, v. 7, pp. 123-134
- CHEN, Y., HSU, P. e CHANG, Y., 2008, “A Petri Net Approach to Support Resource Assignment in Project Management”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Human*, v. 38, n. 3
- CHEN, Y. e WEI, C., 2009, “Multiagent approach to solve project team work allocation problems”, *International Journal of Production Research*, v. 47, n. 13, pp. 3453-3470
- CHENG, M., TSAI, M. e XIAO, Z., 2006, “Construction management process reengineering: Organizational human resource planning for multiple projects”, *Automation in Construction*, v. 15, pp. 785-799
- COATES, G., DUFFY, A., HILLS, W. e WHITFIELD, R., 2007, “A preliminary approach for modelling and planning the composition of engineering project teams”, *Proc. IMechE*, v. 221, Part B: J. Engineering Manufacture
- CONFESSORE, G., GIORDANI, S. e RISMONDO, S., 2007, “A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling”, *Ann Oper Res*, v. 150, pp. 115-135

- COROMINAS, A., PASTOR, R. e RODRÍGUEZ, E., 2006, “Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry”, *Int. J. Production Economics*, v. 103, pp. 3-9
- FOWLER, J., WIROJANAGUD, P. e GEL, E., 2008, “Heuristics for workforce planning with worker differences”, *European Journal of Operational Research*, v. 190, pp. 724-740
- FRENCH, A. e WILSON, J., 2002, “Heuristic Solution Methods for the Multilevel Generalized Assignment Problem”, *Journal of Heuristics*, v. 8, pp. 143-153
- GIRARD, P. e ROBIN, V., 2006, “Analysis of collaboration for project design management”, *Computers in Industry*, v. 57, pp. 817-826
- GUTJAHR, W., KATZENSTEINER, S., REITER, P., STUMMER, C. e DENK, M., 2010, “Multi-objective decision analysis for competence-oriented project”, *European Journal of Operational Research*, v. 205, pp. 670-679
- HANS, E. W., HERROELEN, W., LEUS, R., WULLINK, G., 2007, “A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty”, *Omega*, v. 35, pp 563-577
- HEIMERL, C. e KOLISCH, R., 2010, “Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce”, *OR Spectrum*, v. 32, pp. 343-368
- HENDRIKS, MHA, VOETEN, B. e KROEP, L., 1999, “Human resource allocation in a multi-project R&D environment - Resource capacity allocation and project portfolio planning in practice”, *International Journal of Project Management*, v. 17, n. 3, pp. 181-188
- HIGGS, M., PLEWNIA, U. e PLOCH, J., 2005, “Influence of team composition and task complexity on team performance”, *Team Performance Management*, v. 11, n. 7/8, pp. 227-250
- INTELIE, Página consultada em 16 de janeiro de 2011, <http://www.intelie.com.br/about/>
- KRÜGER, D. e SCHOLL, A., 2007, “A heuristic solution framework for the resource constrained multi-project scheduling problem with sequence-dependent transfer times”, *Working and Discussion Paper Series – School of Economics and Business Administration – Friedrich-Schiller-University Jena*

- LEE, Y., KUMARA, S. e CHATTERJEE, K., 2003, "Multiagent based dynamic resource scheduling for distributed multiple projects using a market mechanism", *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 14, pp. 471-484
- LIANG, Z., LI, Y., LIM, A. e GUO, S., 2010, "Load balancing in project assignment", *Computers & Operations Research*, v. 37, pp. 2248-2256
- LIU, S. e WANG, C., 2007, "Optimization model for resource assignment problems of linear construction projects", *Automation in Construction*, v. 16, pp. 460- 473
- LOVA, A., MAROTO, C. e TORMOS, P., 2000, "A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling", *European Journal of Operational Research*, v. 127, pp. 408-424
- NGO-THE, A. e RUHE, G., 2009, "Optimized Resource Allocation for Software Release Planning", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 35, n. 1
- ODUSAMI, K., IYAGBA, R. e OMIRIN, M., 2003, "The relationship between project leadership, team composition and construction project performance in Nigeria", *International Journal of Project Management*, v. 21, pp. 519-527
- PENTICO, D., 2007 "Assignment problems: A golden anniversary survey", *European Journal of Operational Research*, v. 176, pp. 774-793
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Fourth Edition, Project Management Institute, Inc.
- RAVINDRAN, A., 2009 *Operations Research Methodologies*, CRC Press
- ROUSE, W., HAMMER, J. e LEWIS, C., 1989 "On Capturing Human Skills and Knowledge: Algorithmic Approaches to Model Identification", *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics*, v. 19, n. 3, may/june
- SAYIN, S. e KARABATI, S., 2007 "Assigning cross-trained workers to departments: A two-stage optimization model do maximize utility and skill improvement", *European Journal of Operational Research*, v. 176, pp. 1643-1658
- STEVENS, M. e CAMPION, M., 1994, "The Knowledge, Skill, and Ability Requirements for Teamwork: Implications for Human Resource Management", *Journal of Management*, v. 20, pp. 503-530
- THOMPSON, G. e GOODALE, J., 2006, "Variable employee productivity in workforce scheduling", *European Journal of Operational Research*, v. 170, pp. 276-390

- TOPALOGLU, S. e OZKARAHAN, I., 2004, “An Implicit Goal Programming Model for the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences”, *Annals of Operations Research*, v. 128, pp. 135-158
- TSENG, T., HUANG, C. CHU, H. e GUNG, R., 2004, “Novel approach to multi-functional project team formation”, *International Journal of Project Management*, v. 22, pp. 147-159
- VALLS, V., PÉREZ, Á. e QUINTANILLA, S., 2009, “Skilled workforce scheduling in Service Centres”, *European Journal of Operational Research*, v. 193, pp. 791-804
- WHARTON, R., 2003, “Multimedia projects and the optimum choice of individuals and teams”, *International Journal of Project Management*, v. 21, pp. 271-280
- WU, M. e SUN, S., 2006, “A project scheduling and staff assignment model considering learning effect”, *Int J Adv Manuf Technol*, v. 28, pp. 1190-1195
- ZAKARIAN, A. e KUSIAK, A., 1999, “Forming teams: an analytical approach”, *IIE Transactions*, v. 31, pp. 85-97
- ZHOU, Y. e CHEN, Y., 2008, “Project-oriented resource assignment: from business process modelling to business instantiation with operational performance consideration”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 21, n. 1, pp. 97-110

## ANEXO I: BUSCAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGOS SELECIONADOS PARA LEITURA DO ABSTRACT PARA PALAVRA-CHAVE “PROJECT ASSIGN\*” (42 ARTIGOS)<sup>4</sup>

- Title: Economic optimization of resource-constrained project scheduling: a two-phase metaheuristic approach
  - Author(s): Chen, AHL; Chyu, CC
  - Source: JOURNAL OF ZHEJIANG UNIVERSITY-SCIENCE C-COMPUTERS & ELECTRONICS Volume: 11 Issue: 6 Pages: 481-494 Published: 2010
  - Times Cited: 0
  
- Title: Work in Self-Directed Teams: Personal Competences and Behaviors Needed for Success
  - Author(s): Mantilla, M; Garcia, D
  - Source: REVISTA VENEZOLANA DE GERENCIA Volume: 15 Issue: 49 Pages: 51-71 Published: 2010
  - Times Cited: 0
  
- Title: Work assignment to and qualification of multi-skilled human resources under knowledge depreciation and company skill level targets
  - Author(s): Heimerl, C; Kolisch, R
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 48 Issue: 13 Pages: 3759-3781 Published: 2010
  - Times Cited: 0

---

<sup>4</sup> Os artigos foram listados exatamente da mesma forma que a base ISI os dispõe

- Title: Multi-objective decision analysis for competence-oriented project portfolio selection
  - Author(s): Gutjahr, WJ; Katzensteiner, S; Reiter, P, et al.
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 205 Issue: 3 Pages: 670-679 Published: 2010
  - Times Cited: 1
  
- Title: Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce
  - Author(s): Heimerl, C; Kolisch, R
  - Source: OR SPECTRUM Volume: 32 Issue: 2 Pages: 343-368 Published: 2010
  - Times Cited: 1
  
- Title: Efficient project portfolio management. An intelligent decision support system for engineering and consultancy firms
  - Author(s): Arauzo-Arauzo, JA; Galan-Ordax, JM; Pajares-Gutierrez, J, et al.
  - Source: DYNA Volume: 84 Issue: 9 Pages: 761-772 Published: 2009
  - Times Cited: 1
  
- Title: An Examination of Engineering Personnel Assignment Policies in the Multi-Project, Capacity Constrained Situation
  - Author(s): Ash, R
  - Source: EMJ-ENGINEERING MANAGEMENT JOURNAL Volume: 21 Issue: 4 Pages: 58-70 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: Personality traits and group-based information behaviour: an exploratory study
  - Author(s): Hyldegard, J

- Source: INFORMATION RESEARCH-AN INTERNATIONAL ELECTRONIC JOURNAL Volume: 14 Issue: 2 Article Number: 402 Published: 2009
  - Times Cited: 0
- Title: Copositive and semidefinite relaxations of the quadratic assignment problem
  - Author(s): Povh, J; Rendl, F
  - Source: DISCRETE OPTIMIZATION Volume: 6 Issue: 3 Pages: 231-241 Published: 2009
  - Times Cited: 1
- Title: Scheduling projects with multi-skilled personnel by a hybrid MILP/CP benders decomposition algorithm
  - Author(s): Li, HT; Womer, K
  - Source: JOURNAL OF SCHEDULING Volume: 12 Issue: 3 Pages: 281-298 Published: 2009
  - Times Cited: 0
- Title: Optimized Resource Allocation for Software Release Planning
  - Author(s): Ngo-The, A; Ruhe, G
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING Volume: 35 Issue: 1 Pages: 109-123 Published: 2009
  - Times Cited: 4
- Title: A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-)project scheduling problem with sequence-dependent transfer times
  - Author(s): Kruger, D; Scholl, A

- Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 197 Issue: 2 Pages: 492-508 Published: 2009
- Times Cited: 1
- Title: An efficient hybrid genetic algorithm for scheduling projects with resource constraints and multiple execution modes
  - Author(s): Lova, A; Tormos, P; Cervantes, M, et al.
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS Volume: 117 Issue: 2 Pages: 302-316 Published: 2009
  - Times Cited: 3
- Title: Scheduling projects with heterogeneous resources to meet time and quality objectives
  - Author(s): Tiwari, V; Patterson, JH; Mabert, VA
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 193 Issue: 3 Pages: 780-790 Published: 2009
  - Times Cited: 1
- Title: Skilled workforce scheduling in Service Centres
  - Author(s): Valls, V; Perez, A; Quintanilla, S
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 193 Issue: 3 Pages: 791-804 Published: 2009
  - Times Cited: 3
- Title: Optimization Support for Senior Design Project Assignments
  - Author(s): Lopes, L; Aronson, M; Carstensen, G, et al.
  - Source: INTERFACES Volume: 38 Issue: 6 Pages: 448-464 Published: 2008
  - Times Cited: 0

- Title: A new project scheduling approach for improving multi-product multi-period production planning problems
  - Author(s): Noori, S; Bagherpour, M; Zorriassatine, F, et al.
  - Source: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART B-JOURNAL OF ENGINEERING MANUFACTURE Volume: 222 Issue: 11 Pages: 1517-1527 Published: 2008
  - Times Cited: 0
  
- Title: Optimized staffing for product releases and its application at Chartwell Technology
  - Author(s): Kapur, P; An, NT; Ruhe, G, et al.
  - Source: JOURNAL OF SOFTWARE MAINTENANCE AND EVOLUTION-RESEARCH AND PRACTICE Volume: 20 Issue: 5 Pages: 365-386 Published: 2008
  - Times Cited: 4
  
- Title: Competence-driven project portfolio selection, scheduling and staff assignment
  - Author(s): Gutjahr, WJ; Katzensteiner, S; Reiter, P, et al.
  - Source: CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONS RESEARCH Volume: 16 Issue: 3 Pages: 281-306 Published: 2008
  - Times Cited: 6
  
- Title: Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms
  - Author(s): Chang, CK; Jiang, HY; Di, Y, et al.
  - Source: INFORMATION AND SOFTWARE TECHNOLOGY Volume: 50 Issue: 11 Pages: 1142-1154 Published: 2008
  - Times Cited: 6

- Title: A Petri net approach to support resource assignment in project management
  - Author(s): Chen, YL; Hsu, PY; Chang, YB
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART A-SYSTEMS AND HUMANS Volume: 38 Issue: 3 Pages: 564-574 Published: 2008
  - Times Cited: 3
  
- Title: Evaluating a conceptual model-based assignment
  - Author(s): Katz, J; Purath, J; Allen, C, et al.
  - Source: NURSE EDUCATOR Volume: 33 Issue: 4 Pages: 172-175 Published: 2008
  - Times Cited: 0
  
- Title: Rescuing troubled software projects by team transformation: A case study with an ERP project
  - Author(s): Lui, KM; Chan, KCC
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT Volume: 55 Issue: 1 Pages: 171-184 Published: 2008
  - Times Cited: 3
  
- Title: Project-oriented resource assignment: from business process modelling to business process instantiation with operational performance consideration
  - Author(s): Zhou, Y; Chen, Y
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING Volume: 21 Issue: 1 Pages: 97-110 Published: 2008
  - Times Cited: 2

- Title: Effects of resource allocation policies for reducing project durations: A systems modelling approach
  - Author(s): Lee, ZW; Ford, DN; Joglekar, N
  - Source: SYSTEMS RESEARCH AND BEHAVIORAL SCIENCE Volume: 24 Issue: 6 Pages: 551-566 Published: 2007
  - Times Cited: 2
  
- Title: A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty
  - Author(s): Hans, EW; Herroelen, W; Leus, R, et al.
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 35 Issue: 5 Pages: 563-577 Published: OCT 2007
  - Times Cited: 12
  
- Title: A decision support model for project manager assignments
  - Author(s): Patanakul, P; Milosevic, DZ; Anderson, TR
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT Volume: 54 Issue: 3 Pages: 548-564 Published: AUG 2007
  - Times Cited: 3
  
- Title: Optimization model for resource assignment problems of linear construction projects
  - Author(s): Liu, SS; Wang, CJ
  - Source: AUTOMATION IN CONSTRUCTION Volume: 16 Issue: 4 Pages: 460-473 Published: JUL 2007
  - Times Cited: 3
  
- Title: A preliminary approach for modelling and planning the composition of engineering project teams
  - Author(s): Coates, G; Duffy, AHB; Hills, W, et al.

- Source: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART B-JOURNAL OF ENGINEERING MANUFACTURE Volume: 221 Issue: 7 Pages: 1255-1265 Published: JUL 2007
- Times Cited: 1
  
- Title: Project assignments when budget padding taints resource allocation
  - Author(s): Arya, A; Mittendorf, B
  - Source: MANAGEMENT SCIENCE Volume: 52 Issue: 9 Pages: 1345-1358 Published: SEP 2006
  - Times Cited: 0
  
- Title: A project scheduling and staff assignment model considering learning effect
  - Author(s): Wu, MC; Sun, SH
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY Volume: 28 Issue: 11-12 Pages: 1190-1195 Published: 2006
  - Times Cited: 8
  
- Title: Approximation algorithms for dynamic resource allocation
  - Author(s): Farias, VF; Van Roy, B
  - Source: OPERATIONS RESEARCH LETTERS Volume: 34 Issue: 2 Pages: 180-190 Published: MAR 2006
  - Times Cited: 1
  
- Title: Designing teams for speedy product development: The moderating effect of technological complexity
  - Author(s): Carbonell, P; Rodriguez, AI

- Source: JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH Volume: 59 Issue: 2 Pages: 225-232 Published: FEB 2006
- Times Cited: 4
- Title: A multiobjective evolutionary algorithm for scheduling and inspection planning in software development projects
  - Author(s): Hanne, T; Nickel, S
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 167 Issue: 3 Pages: 663-678 Published: DEC 16 2005
  - Times Cited: 10
- Title: A branch-and-cut algorithm for scheduling of projects with variable-intensity activities
  - Author(s): Kis, T
  - Source: MATHEMATICAL PROGRAMMING Volume: 103 Issue: 3 Pages: 515-539 Published: JUL 2005
  - Times Cited: 13
- Title: A genetic algorithm for the project assignment problem
  - Author(s): Harper, PR; de Senna, V; Vieira, IT, et al.
  - Source: COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH Volume: 32 Issue: 5 Pages: 1255-1265 Published: MAY 2005
  - Times Cited: 14
- Title: Modeling team member characteristics for the formation of a multifunctional team in concurrent engineering
  - Author(s): Chen, SJ; Lin, L

- Source: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT Volume: 51 Issue: 2 Pages: 111-124 Published: MAY 2004
- Times Cited: 21
- Title: Applied mathematics modeling of intelligent mapping and scheduling of interdependent and multi-functional project resources
  - Author(s): Milatovic, M; Badiru, AB
  - Source: APPLIED MATHEMATICS AND COMPUTATION Volume: 149 Issue: 3 Pages: 703-721 Published: FEB 22 2004
  - Times Cited: 1
- Title: Optimized scheduling of linear projects
  - Author(s): Moselhi, O; Hassanein, A
  - Source: JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE Volume: 129 Issue: 6 Pages: 664-673 Published: NOV-DEC 2003
  - Times Cited: 5
- Title: Assignment and allocation optimization of partially multiskilled workforce
  - Author(s): Gomar, JE; Haas, CT; Morton, DP
  - Source: JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE Volume: 128 Issue: 2 Pages: 103-109 Published: MAR-APR 2002
  - Times Cited: 14
- Title: Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects
  - Author(s): Beaujon, GJ; Marin, SP; McDonald, GC
  - Source: NAVAL RESEARCH LOGISTICS Volume: 48 Issue: 1 Pages: 18-40 Published: FEB 2001

- Times Cited: 21
- Title: Maximizing workforce diversity in project teams: a network flow approach
  - Author(s): Bhadury, J; Mighty, EJ; Damar, H
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 28 Issue: 2 Pages: 143-153 Published: APR 2000
  - Times Cited: 7

ARTIGOS SELECIONADOS PARA LEITURA DO ABSTRACT PARA PALAVRA-CHAVE “ASSIGN\* WORK\* PLAN\*” (58 ARTIGOS)<sup>5</sup>

- Title: An integrated load-planning problem with intermediate consolidated truckload assignments
  - Author(s): Uster, H; Agrahari, H
  - Source: IIE TRANSACTIONS Volume: 42 Issue: 7 Pages: 490-513 Published: 2010
  - Times Cited: 0
- Title: A computational study of exact knapsack separation for the generalized assignment problem
  - Author(s): Avella, P; Boccia, M; Vasilyev, I
  - Source: COMPUTATIONAL OPTIMIZATION AND APPLICATIONS Volume: 45 Issue: 3 Pages: 543-555 Published: 2010
  - Times Cited: 0
- Title: Operational workforce planning for check-in counters at airports
  - Author(s): Stolletz, R

---

<sup>5</sup> Os artigos foram listados exatamente da mesma forma que a base ISI os dispõe

- Source: TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW Volume: 46 Issue: 3 Pages: 414-425 Published: 2010
- Times Cited: 0
  
- Title: Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce
  - Author(s): Heimerl, C; Kolisch, R
  - Source: OR SPECTRUM Volume: 32 Issue: 2 Pages: 343-368 Published: 2010
  - Times Cited: 1
  
- Title: Efficient project portfolio management. An intelligent decision support system for engineering and consultancy firms
  - Author(s): Arauzo-Arauzo, JA; Galan-Ordax, JM; Pajares-Gutierrez, J, et al.
  - Source: DYNA Volume: 84 Issue: 9 Pages: 761-772 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: Worker allocation in make-to-order assembly cells
  - Author(s): Niemi, E
  - Source: ROBOTICS AND COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING Volume: 25 Issue: 6 Pages: 932-936 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: Influence of workload imbalances on the need for worker flexibility
  - Author(s): Davis, DJ; Kher, HV; Wagner, BJ
  - Source: COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING Volume: 57 Issue: 1 Pages: 319-329 Published: 2009
  - Times Cited: 0

- Title: A job assignment model for conveyor-aided picking system
  - Author(s): Hou, JL; Wu, NT; Wu, YJ
  - Source: COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING Volume: 56 Issue: 4 Pages: 1254-1264 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: Resource assignment and scheduling based on a two-phase metaheuristic for cropping system
  - Author(s): Guan, S; Nakamura, M; Shikanai, T, et al.
  - Source: COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE Volume: 66 Issue: 2 Pages: 181-190 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell
  - Author(s): McDonald, T; Ellis, KP; Van Aken, EM, et al.
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 47 Issue: 9 Pages: 2427-2447 Published: 2009
  - Times Cited: 1
  
- Title: A methodology for planning and controlling workload in a job-shop: a four-way decision-making problem
  - Author(s): Moreira, MRA; Alves, RAFS
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 47 Issue: 10 Pages: 2805-2821 Published: 2009
  - Times Cited: 0
  
- Title: SimMan-A simulation model for workforce capacity planning

- Author(s): Huang, HC; Lee, LH; Song, HQ, et al.
  - Source: COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH Volume: 36 Issue: 8 Pages: 2490-2497 Published: 2009
  - Times Cited: 0
- Title: Dynamic cell formation and the worker assignment problem: a new model
    - Author(s): Aryanezhad, M; Deljoo, V; Mirzapour Al-e-Hashem, SMJ
    - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY Volume: 41 Issue: 3-4 Pages: 329-342 Published: 2009
    - Times Cited: 1
- Title: Skilled workforce scheduling in Service Centres
    - Author(s): Valls, V; Perez, A; Quintanilla, S
    - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 193 Issue: 3 Pages: 791-804 Published: 2009
    - Times Cited: 3
- Title: Heuristics for workforce planning with worker differences
    - Author(s): Fowler, JW; Wirojanagud, P; Gel, ES
    - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 190 Issue: 3 Pages: 724-740 Published: 2008
    - Times Cited: 3
- Title: Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization
    - Author(s): Kabak, O; Uelengin, F; Aktas, E, et al.
    - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 184 Pages: 76-90 Published: 2008
    - Times Cited: 1

- Title: On the problem of capacity allocation and flow assignment in self-healing ATM networks
  - Author(s): Woungang, I; Misra, S; Obaidat, MS
  - Source: COMPUTER COMMUNICATIONS Volume: 30 Pages: 3169-3178 Published: 2007
  - Times Cited: 2
  
- Title: Short-term work scheduling with job assignment flexibility for a multi-fleet transport system
  - Author(s): Peters, E; de Matta, R; Boe, W
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 180 Issue: 1 Pages: 82-98 Published: JUL 1 2007
  - Times Cited: 0
  
- Title: Multicommodity network flow approach to the railroad crew-scheduling problem
  - Author(s): Vaidyanathan, B; Jha, KC; Ahuja, RK
  - Source: IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT Volume: 51 Issue: 3-4 Pages: 325-344 Published: MAY-JUL 2007
  - Times Cited: 2
  
- Title: Cyclic preference scheduling for nurses using branch and price
  - Author(s): Purnomo, HW; Bard, JF
  - Source: NAVAL RESEARCH LOGISTICS Volume: 54 Issue: 2 Pages: 200-220 Published: MAR 2007
  - Times Cited: 1

- Title: Assigning cross-trained workers to departments: A two-stage optimization model to maximize utility and skill improvement
  - Author(s): Sayin, S; Karabati, S
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 176 Issue: 3 Pages: 1643-1658 Published: FEB 1 2007
  - Times Cited: 1
  
- Title: Modeling and solving a Crew Assignment Problem in air transportation
  - Author(s): Zeghal, FM; Minoux, M
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 175 Issue: 1 Pages: 187-209 Published: NOV 16 2006
  - Times Cited: 3
  
- Title: Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry
  - Author(s): Corominas, A; Pastor, R; Rodriguez, E
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS Volume: 103 Issue: 1 Pages: 3-9 Published: SEP 2006
  - Times Cited: 8
  
- Title: Preference scheduling for nurses using column generation
  - Author(s): Bard, JF; Purnomo, HW
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 164 Issue: 2 Pages: 510-534 Published: JUL 16 2005
  - Times Cited: 28
  
- Title: Multi-objective allocation of multi-function workers with lower bounded capacity

- Author(s): Corominas, A; Ojeda, J; Pastor, R
  - Source: JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY Volume: 56 Issue: 6 Pages: 738-743 Published: JUN 2005
  - Times Cited: 6
- Title: Hybrid evolutionary algorithm-based real-world flexible job shop scheduling problem: application service provider approach
    - Author(s): Tanev, IT; Uozumi, T; Morotome, Y
    - Source: APPLIED SOFTWARE COMPUTING Volume: 5 Issue: 1 Pages: 87-100 Published: DEC 2004
    - Times Cited: 20
- Title: Tolerance-based process plan evaluation using Monte Carlo simulation
    - Author(s): Huang, SH; Liu, Q; Musa, R
    - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 42 Issue: 23 Pages: 4871-4891 Published: DEC 1 2004
    - Times Cited: 4
- Title: Application of multi-agent planning to the assignment problem
    - Author(s): Kornienko, S; Kornienko, O; Priese, J
    - Source: COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 54 Issue: 3 Pages: 273-290 Published: AUG 2004
    - Times Cited: 9
- Title: A simulation approach for planning and re-assigning of personnel in manufacturing
    - Author(s): Zulch, G; Rottinger, S; Vollstedt, T

- Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS Volume: 90 Issue: 2 Pages: 265-277 Published: JUL 28 2004
- Times Cited: 9
- Title: Long-range reserve crew manpower planning
  - Author(s): Sohoni, MG; Johnson, EL; Bailey, TG
  - Source: MANAGEMENT SCIENCE Volume: 50 Issue: 6 Pages: 724-739 Published: JUN 2004
  - Times Cited: 1
- Title: An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences
  - Author(s): Topaloglu, S; Ozkarahan, I
  - Source: ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH Volume: 128 Issue: 1-4 Pages: 135-158 Published: APR 2004
  - Times Cited: 8
- Title: Distributed and devolved work allocation planning
  - Author(s): Winstanley, G
  - Source: APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE Volume: 18 Issue: 2 Pages: 97-115 Published: FEB 2004
  - Times Cited: 2
- Title: Workforce planning and allocation for mid-volume truck manufacturing: a case study
  - Author(s): Gronalt, M; Hartl, RF
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 41 Issue: 3 Pages: 449-463 Published: 2003
  - Times Cited: 3

- Title: Applying mathematical modeling to create job rotation schedules for minimizing occupational noise exposure
  - Author(s): Tharmmaphornphila, W; Green, B; Carnahan, BJ, et al.
  - Source: AIHA JOURNAL Volume: 64 Issue: 3 Pages: 401-405 Published: MAY-JUN 2003
  - Times Cited: 9
  
- Title: Capacitated, finish-to-order production planning with customer ordering day assignments
  - Author(s): Dobson, G; Stavroulaki, E
  - Source: IIE TRANSACTIONS Volume: 35 Issue: 5 Pages: 445-455 Published: MAY 2003
  - Times Cited: 3
  
- Title: SANet: A service-agent network for call-center scheduling
  - Author(s): Yang, Q; Wang, Y; Zhang, Z
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART A-SYSTEMS AND HUMANS Volume: 33 Issue: 3 Pages: 396-406 Published: MAY 2003
  - Times Cited: 3
  
- Title: Task complexity effects on between-individual learning/forgetting variability
  - Author(s): Nembhard, DA; Osothsilp, N
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS Volume: 29 Issue: 5 Pages: 297-306 Published: MAY 2002
  - Times Cited: 16

- Title: Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers
  - Author(s): Campbell, GM; Diaby, M
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 138 Issue: 1 Pages: 9-20 Published: APR 1 2002
  - Times Cited: 21
  
- Title: Rota: a research project on algorithms for workforce scheduling and shift design optimization
  - Author(s): Gartner, J; Musliu, N; Slany, W
  - Source: AI COMMUNICATIONS Volume: 14 Issue: 2 Pages: 83-92 Published: 2001
  - Times Cited: 6
  
- Title: Uncertainty modelling in software development projects (with case study)
  - Author(s): Ozdamar, L; Alanya, E
  - Source: ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH Volume: 102 Pages: 157-178 Published: 2001
  - Times Cited: 7
  
- Title: Planning the project management way: Efficient planning by effective integration of causal and resource reasoning in RealPlan
  - Author(s): Srivastava, B; Kambhampati, S; Do, MB
  - Source: ARTIFICIAL INTELLIGENCE Volume: 131 Issue: 1-2 Pages: 73-134 Published: SEP 2001
  - Times Cited: 11
  
- Title: Operator allocation planning for a product-mix VLSI assembly facility
  - Author(s): Arima, S; Saito, K

- Source: IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS Volume: E84C Issue: 6 Pages: 832-840 Published: JUN 2001
- Times Cited: 4
- Title: Comparing the effectiveness of workload balancing objectives in FMS loading
  - Author(s): Kumar, N; Shanker, K
  - Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 39 Issue: 5 Pages: 843-871 Published: MAR 2001
  - Times Cited: 7
- Title: Allocation of tasks to specialized processors: A planning approach
  - Author(s): Becker, KJ; Gaver, DP; Glazebrook, KD, et al.
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 126 Issue: 1 Pages: 80-88 Published: OCT 1 2000
  - Times Cited: 3
- Title: Maximizing workforce diversity in project teams: a network flow approach
  - Author(s): Bhadury, J; Mighty, EJ; Damar, H
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 28 Issue: 2 Pages: 143-153 Published: APR 2000
  - Times Cited: 7
- Title: Planning of shift scheduling and working time with SP-EXPERT
  - Author(s): Feldmann, HW; Droth, D; Nachtrab, R
  - Source: WIRTSCHAFTSINFORMATIK Volume: 40 Issue: 2 Pages: 142-+ Published: APR 1998
  - Times Cited: 3

- Title: An algorithm for single shift scheduling of hierarchical workforce
  - Author(s): Narasimhan, R
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 96 Issue: 1 Pages: 113-121 Published: JAN 10 1997
  - Times Cited: 7
  
- Title: A linear programming model to manage the maintenance backlog
  - Author(s): Taylor, RW
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 24 Issue: 2 Pages: 217-227 Published: 1996
  - Times Cited: 1
  
- Title: Model based decision support for planning of road maintenance
  - Author(s): Worm, JM; vanHarten, A
  - Source: RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY Volume: 51 Issue: 3 Pages: 305-316 Published: 1996
  - Times Cited: 6
  
- Title: IMPROVING PERSONNEL SCHEDULING AT AIRLINE STATIONS
  - Author(s): BRUSCO, MJ; JACOBS, LW; BONGIORNO, RJ, et al.
  - Source: OPERATIONS RESEARCH Volume: 43 Issue: 5 Pages: 741-751 Published: SEP-OCT 1995
  - Times Cited: 42
  
- Title: DECISION-SUPPORT FOR CLINICAL LABORATORY CAPACITY PLANNING
  - Author(s): VANMERODE, GG; HASMAN, A; DERKS, J, et al.

- Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF BIO-MEDICAL COMPUTING Volume: 38 Issue: 1 Pages: 75-87 Published: JAN 1995
- Times Cited: 9
- Title: SOLVING LARGE-SCALE TOUR SCHEDULING PROBLEMS
  - Author(s): JARRAH, AIZ; BARD, JF; DESILVA, AH
  - Source: MANAGEMENT SCIENCE Volume: 40 Issue: 9 Pages: 1124-1144 Published: SEP 1994
  - Times Cited: 53
- Title: A COMPUTER-SIMULATION SYSTEM FOR THE EVALUATION OF MAN ASSIGNMENTS ON CAR ASSEMBLY TRACKS
  - Author(s): BHATTACHARYYA, SK; ROY, R; LOW, MJ
  - Source: SIMULATION Volume: 61 Issue: 2 Pages: 124-133 Published: AUG 1993
  - Times Cited: 5
- Title: KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR ROSTERING
  - Author(s): CHOW, KP; HUI, CK
  - Source: EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS Volume: 6 Issue: 3 Pages: 361-375 Published: JUL-SEP 1993
  - Times Cited: 7
- Title: CONSTRAINED NURSE STAFFING ANALYSIS
  - Author(s): BRUSCO, MJ; SHOWALTER, MJ
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 21 Issue: 2 Pages: 175-186 Published: MAR 1993
  - Times Cited: 4

- Title: PRODUCTION PLANNING FOR AN ARTISTS STUDIO - A CASE-STUDY
  - Author(s): HENDRY, LC; ELINGS, P; PEGG, D
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 64 Issue: 1 Pages: 12-20 Published: JAN 8 1993
  - Times Cited: 4
  
- Title: A HEURISTIC-PROCEDURE FOR THE CREW ROSTERING PROBLEM
  - Author(s): BIANCO, L; BIELLI, M; MINGOZZI, A, et al.
  - Source: EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 58 Issue: 2 Pages: 272-283 Published: APR 27 1992
  - Times Cited: 25
  
- Title: MATHEMATICAL-MODELING OF THE AGVS CAPACITY REQUIREMENTS PLANNING PROBLEM
  - Author(s): KASILINGAM, RG
  - Source: ENGINEERING COSTS AND PRODUCTION ECONOMICS Volume: 21 Issue: 2 Pages: 171-175 Published: MAY 1991
  - Times Cited: 7

ARTIGOS SELECIONADOS PARA LEITURA DO ABSTRACT PARA PALAVRA-CHAVE “TEAM PROJECT ALLOCAT\*” (13 ARTIGOS)<sup>6</sup>

- Title: Multiagent approach to solve project team work allocation problems
  - Author(s): Chen, YM; Wei, CW

---

<sup>6</sup> Os artigos foram listados exatamente da mesma forma que a base ISI os dispõe

- Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 47 Issue: 13 Pages: 3453-3470 Published: 2009
- Times Cited: 0
- Title: Attribution Biases in the Evaluation of New Product Development Team Members
  - Author(s): Faure, C
  - Source: JOURNAL OF PRODUCT INNOVATION MANAGEMENT Volume: 26 Issue: 4 Pages: 407-423 Published: 2009
  - Times Cited: 0
- Title: Project team effectiveness: the case for sufficient setup and top management involvement
  - Author(s): McComb, SA; Kennedy, DM; Green, SG, et al.
  - Source: PRODUCTION PLANNING & CONTROL Volume: 19 Issue: 4 Pages: 301-311 Published: 2008
  - Times Cited: 1
- Title: Supporting the allocation of software development work in distributed teams with multi-criteria decision analysis
  - Author(s): Barcus, A; Montibeller, G
  - Source: OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE Volume: 36 Issue: 3 Pages: 464-475 Published: 2008
  - Times Cited: 6
- Title: A preliminary approach for modelling and planning the composition of engineering project teams
  - Author(s): Coates, G; Duffy, AHB; Hills, W, et al.
  - Source: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART B-JOURNAL OF ENGINEERING

MANUFACTURE Volume: 221 Issue: 7 Pages: 1255-1265 Published: JUL 2007

- Times Cited: 1
  
- Title: Competency characterisation by means of work situation modelling
  - Author(s): Belkadi, F; Bonjour, E; Dulmet, M
  - Source: COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 58 Issue: 2 Pages: 164-178 Published: FEB 2007
  - Times Cited: 5
  
- Title: Analysis of collaboration for project design management
  - Author(s): Girard, P; Robin, V
  - Source: COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 57 Issue: 8-9 Pages: 817-826 Published: DEC 2006
  - Times Cited: 4
  
- Title: Construction management process reengineering: Organizational human resource planning for multiple projects
  - Author(s): Cheng, MY; Tsai, MH; Xiao, ZW
  - Source: AUTOMATION IN CONSTRUCTION Volume: 15 Issue: 6 Pages: 785-799 Published: NOV 2006
  - Times Cited: 6
  
- Title: A task allocation optimizer for software construction
  - Author(s): Duggan, J; Byrne, J; Lyons, GJ
  - Source: IEEE SOFTWARE Volume: 21 Issue: 3 Pages: 76-+ Published: MAY-JUN 2004
  - Times Cited: 8
  
- Title: Managing project portfolios

- Author(s): McDonough, EF; Spital, FC
- Source: RESEARCH-TECHNOLOGY  
MANAGEMENT Volume: 46 Issue: 3 Pages: 40-  
46 Published: MAY-JUN 2003
- Times Cited: 8
  
- Title: Technology portfolio management: Optimizing interdependent projects  
over multiple time periods
  - Author(s): Dickinson, MW; Thornton, AC; Graves, S
  - Source: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING  
MANAGEMENT Volume: 48 Issue: 4 Pages: 518-  
527 Published: NOV 2001
  - Times Cited: 27
  
- Title: On allocating R & D budgets among and within projects
  - Author(s): Gerchak, Y
  - Source: R & D MANAGEMENT Volume: 28 Issue: 4 Pages: 305-  
309 Published: OCT 1998
  - Times Cited: 5
  
- Title: OPTIMAL ALLOCATION OF PROJECT-MANAGEMENT  
RESOURCES FOR ACHIEVING SUCCESS
  - Author(s): JASELSKIS, EJ; ASHLEY, DB
  - Source: JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND  
MANAGEMENT-ASCE Volume: 117 Issue: 2 Pages: 321-  
340 Published: JUN 1991
  - Times Cited: 25

## ARTIGOS SELECIONADOS A PARTIR DA BUSCA NA BASE ISI (20 ARTIGOS)

- ARAÚZO-ARAÚZO, J., GALÁN-ORDAX, J., PAJARES-GUTIÉRREZ, J. e LÓPEZ-PAREDES, A., 2009, “Gestión eficiente de carteras de proyectos – Propuesta de un sistema inteligente de soporte a la decisión para oficinas técnicas y empresas consultoras”
- BARCUS, A. e MONTIBELLER, G., 2008, “Supporting the allocation of software development work in distributed teams with multi-criteria decision analysis”
- BHADURY, J., MIGHTY, E. e DAMAR, H., 2000, “Maximizing workforce diversity in project teams: a network flow approach”
- CAMPBELL, G. e DIABY, M., 2002, “Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers”
- CHEN, Y. e WEI, C., 2009, “Multiagent approach to solve project team work allocation problems”
- CHEN, Y., HSU, P. e CHANG, Y., 2008, “A Petri Net Approach to Support Resource Assignment in Project Management”
- CHENG, M., TSAI, M. e XIAO, Z., 2006, “Construction management process reengineering: Organizational human resource planning for multiple projects”
- COATES, G., DUFFY, A., HILLS, W. e WHITFIELD, R., 2007, “A preliminary approach for modelling and planning the composition of engineering project teams”
- COROMINAS, A., PASTOR, R. e RODRÍGUEZ, E., 2006, “Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry”
- FOWLER, J., WIROJANAGUD, P. e GEL, E., 2008, “Heuristics for workforce planning with worker differences”
- GIRARD, P. e ROBIN, V., 2006, “Analysis of collaboration for project design management”
- HANS, E. W., HERROELEN, W., LEUS, R., WULLINK, G., 2007, “A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty”

- HEIMERL, C. e KOLISCH, R., 2010, “Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce”, *OR Spectrum*, v. 32, pp. 343-368
- KRÜGER, D. e SCHOLL, A., 2007, “A heuristic solution framework for the resource constrained multi-project scheduling problem with sequence-dependent transfer times”
- LIU, S. e WANG, C., 2007, “Optimization model for resource assignment problems of linear construction projects”
- NGO-THE, A. e RUHE, G., 2009, “Optimized Resource Allocation for Software Release Planning”
- SAYIN, S. e KARABATI, S., 2007 “Assigning cross-trained workers to departments: A two-stage optimization model do maximize utility and skill improvement”
- TOPALOGLU, S. e OZKARAHAN, I., 2004, “An Implicit Goal Programming Model for the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences”
- VALLS, V., PÉREZ, Á. e QUINTANILLA, S., 2009, “Skilled workforce scheduling in Service Centres”
- WU, M. e SUN, S., 2006, “A project scheduling and staff assignment model considering learning effect”

#### ARTIGOS SELECIONADOS A PARTIR DAS BIBLIOGRAFIAS (27 ARTIGOS)

- ALBA, E. e CHICANO, F., 2007, “Software Project management with GAs”
- ALFARES, H. e BAILEY, J., 1997, “Integrated project task and manpower scheduling”
- ANAVI-ISAKOW, S. e GOLANY, B., 2003, “Managing multi-project environments through constant work-in-process”
- BALLOU, D. e TAYI, G., 1996, “A Decision Aid for the Selection and Scheduling of Software Maintenance Projects”
- BASSET, M., 2000, “Assigning projects to optimize the utilization of employees’ time and expertise”

- BELLENGUEZ-MORINEAU, O., 2008, “Methods to solve multi-skill project scheduling problem”
- BILLIONNET, A., 1999, “Integer programming to Schedule a hierarchical workforce with variable demands”
- BRUSCO, M. e JOHNS, T., 1998, “Staffing a Multiskilled Workforce with Varying Levels of Productivity: An Analysis of Cross-training Policies”, *Decision Sciences*, v. 29, n. 2
- CAMPBELL, G., 1999, “Cross-Utilization of Workers Whose Capabilities Differ”
- CASTKA, P., BAMBER, C., SHARP, J. e BELOHOUBEK, P., 2001, “Factors affecting successful implementation of high performance teams”
- CONFESSORE, G., GIORDANI, S. e RISMONDO, S., 2007, “A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling”
- FRENCH, A. e WILSON, J., 2002, “Heuristic Solution Methods for the Multilevel Generalized Assignment Problem”
- GUTJAHR, W., KATZENSTEINER, S., REITER, P., STUMMER, C. e DENK, M., 2010, “Multi-objective decision analysis for competence-oriented project portfolio selection”
- HENDRIKS, MHA, VOETEN, B. e KROEP, L., 1999, “Human resource allocation in a multi-project R&D environment - Resource capacity allocation and project portfolio planning in practice”
- HIGGS, M., PLEWNIA, U. e PLOCH, J., 2005, “Influence of team composition and task complexity on team performance”
- LEE, Y., KUMARA, S. e CHATTERJEE, K., 2003, “Multiagent based dynamic resource scheduling for distributed multiple projects using a market mechanism”
- LIANG, Z., LI, Y., LIM, A. e GUO, S., 2010, “Load balancing in project assignment”
- LOVA, A., MAROTO, C. e TORMOS, P., 2000, “A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling”
- ODUSAMI, K., IYAGBA, R. e OMIRIN, M., 2003, “The relationship between project leadership, team composition and construction project performance in Nigeria”

- PENTICO, D., 2007 “Assignment problems: A golden anniversary survey”
- STEVENS, M. e CAMPION, M., 1994, “The Knowledge, Skill, and Ability Requirements for Teamwork: Implications for Human Resource Management”
- THOMPSON, G. e GOODALE, J., 2006, “Variable employee productivity in workforce scheduling”
- TSENG, T., HUANG, C. CHU, H. e GUNG, R., 2004, “Novel approach to multi-functional project team formation”
- WHARTON, R., 2003, “Multimedia projects and the optimum choice of individuals and teams”
- ZAKARIAN, A. e KUSIAK, A., 1999, “Forming teams: an analytical approach”
- ZHOU, Y. e CHEN, Y., 2008, “Project-oriented resource assignment: from business process modelling to business instantiation with operational performance consideration”

## ANEXO II: TABELAS DA APLICAÇÃO DO MODELO

A seguir são colocadas as tabelas utilizadas na aplicação do modelo proposto para possibilitar a verificação de dados. As tabelas foram divididas em parâmetros do problema e soluções dos cenários 1 e 2. Foram colocados nas tabelas apenas os valores diferentes de zero.

### Parâmetros do problema

ID Projeto	Complexidade	Nome
2	8	IEM Desenv
3	6	iG Vídeos
4	4	IEM Abril
5	5	IEM Globo
6	5	Oi Consultoria
8	5	IEM iG

**Tabela 11 - Tabela de projetos**

ID Atividade	Nome
25	Definição da próxima release
26	Desenv. De algoritmos
27	Implementação do frontend
28	Implementação do backend
29	Revisão de testes
30	Homologação
31	aSubida para produção
32	Review com clientes
33	Validação de requisitos e conceitualização
34	Projeto de telas
40	Desenv. integração IEM - GSC Portal
47	Entendimento da infra fo rprojeto Globo
48	Criação do manual de monitoração
49	Reunião com clientes
50	Implementação de EPL
51	Entendimento da infra fo rprojeto Globo
52	Criação do manual de monitoração
59	Definição do próximo problema
60	Pesquisa e solução do problema
72	Entendimento da infra do rprojeto iG
73	Criação do manual de monitoração

74	Reunião com clientes
75	Implementação de EPL
76	Entendimento da infra do rprojeto iG
77	Criação do manual de monitoração

**Tabela 12 - Tabela de atividades**

<u>ID Recurso</u>
1
2
3
4
5
6

**Tabela 13 - Tabela de recursos**

<u>ID Habilidade</u>	<u>Nome</u>
1	Desenv. Frontend
2	Desenv. Backend
3	P&D Algoritmos
5	Sysadmin
6	EPL
7	Gestão de projeto
8	Requisitos
9	Consultoria
10	Design

**Tabela 14 - Tabela de habilidades**

<u>ID Período</u>
1
2
3
4
5
6

**Tabela 15 - Tabela de períodos**

a	p	b
25	2	1
26	2	1
27	2	1
28	2	1
29	2	1
30	2	1
31	2	1
32	2	1
33	3	1
34	3	1
40	4	1
47	5	1
48	5	1
49	5	1
50	5	1
51	5	1
52	5	1
59	6	1
60	6	1
72	8	1
73	8	1
74	8	1
75	8	1
76	8	1
77	8	1

**Tabela 16 - Tabela b**

r	h	n
6	1	5
6	2	5
6	3	1
6	4	3
6	5	2
6	6	2
6	7	1
6	8	5
6	9	1
6	10	4
5	1	6
5	2	7
5	3	1

5 4 3  
5 5 2  
5 6 2  
5 7 3  
5 8 3  
5 9 1  
5 10 3  
4 1 8  
4 2 8  
4 3 8  
4 4 6  
4 5 6  
4 6 6  
4 7 6  
4 8 6  
4 9 6  
4 10 3  
3 1 8  
3 2 9  
3 3 10  
3 4 8  
3 5 6  
3 6 8  
3 7 6  
3 8 6  
3 9 7  
3 10 3  
2 1 10  
2 2 8  
2 3 6  
2 4 9  
2 5 7  
2 6 6  
2 7 6  
2 8 7  
2 9 6  
2 10 6  
1 1 3  
1 2 6  
1 3 6  
1 4 7  
1 5 7  
1 6 8  
1 7 8  
1 8 8

1 9 9  
1 10 3

**Tabela 17 - Tabela n**

r	t	d
1	1	40
1	2	40
1	3	40
1	4	40
1	5	40
1	6	40
2	1	40
2	2	40
2	3	40
2	4	40
2	5	40
2	6	40
3	1	40
3	2	40
3	3	40
3	4	40
3	5	40
3	6	40
4	1	40
4	2	40
4	3	40
4	4	40
4	5	40
4	6	40
5	1	40
5	2	40
5	3	40
5	4	40
5	5	40
5	6	40
6	1	40
6	2	40
6	3	40
6	4	40
6	5	40
6	6	40

**Tabela 18 - Tabela d**

h	t	a	e	s
1	2	27	25	8
1	2	28	15	5
1	2	29	20	6
1	3	27	25	8
1	3	28	15	5
1	3	29	20	6
1	4	27	25	8
1	4	28	15	5
1	4	29	20	6
2	2	26	15	5
2	2	27	15	5
2	2	28	25	8
2	2	29	20	6
2	3	26	15	5
2	3	27	15	5
2	3	28	25	8
2	3	29	20	6
2	4	26	15	5
2	4	27	15	5
2	4	28	25	8
2	4	29	20	6
2	5	40	40	8
2	6	40	40	8
3	2	26	25	8
3	3	26	25	8
3	4	26	25	8
5	1	47	40	6
5	1	72	40	6
5	5	31	40	6
5	5	51	40	6
5	5	76	40	6
6	2	48	20	4
6	2	73	20	4
6	4	50	40	6
6	4	75	40	6
6	6	52	20	4
6	6	77	20	4
7	1	25	20	7
7	3	49	40	4
7	3	74	40	4
7	5	30	13	2
7	5	32	10	4
7	5	59	15	6
8	1	25	20	7

8	5	30	27	4
8	5	32	10	4
8	5	59	13	5
8	6	33	40	5
8	6	34	12	3
8	6	60	17	5
9	2	48	20	4
9	2	73	20	4
9	5	59	13	5
9	6	52	20	4
9	6	60	23	7
9	6	77	20	4
10	6	34	28	7

Tabela 19 - Tabela e/s

### Variáveis Solução Cenário 1

	<u>h</u>	<u>r</u>	<u>t</u>	<u>a</u>	<u>x</u>
1	3	2	27	25	
1	3	3	27	25	
1	3	4	27	25	
1	5	2	28	15	
1	5	3	28	15	
1	5	4	28	15	
1	6	2	29	20	
1	6	3	29	20	
1	6	4	29	20	
2	1	2	26	15	
2	1	3	26	15	
2	1	4	26	15	
2	3	2	27	15	
2	3	3	27	15	
2	3	4	27	15	
2	5	2	28	25	
2	5	3	28	25	
2	5	4	28	25	
2	5	5	40	40	
2	5	6	40	40	
2	6	2	29	20	
2	6	3	29	20	
2	6	4	29	20	
3	1	2	26	25	

3 1 3 26 25  
 3 1 4 26 25  
 5 1 5 31 40  
 5 2 1 47 40  
 5 2 5 51 40  
 5 4 1 72 40  
 5 4 5 76 40  
 6 2 2 48 20  
 6 2 4 50 40  
 6 2 6 52 20  
 6 4 2 73 20  
 6 4 4 75 40  
 6 4 6 77 20  
 7 2 3 49 40  
 7 3 1 25 20  
 7 3 5 59 15  
 7 4 3 74 40  
 7 6 5 32 3  
 8 3 1 25 20  
 8 3 5 59 13  
 8 3 6 60 17  
 8 6 5 30 27  
 8 6 5 32 10  
 8 6 6 33 12  
 9 2 2 48 20  
 9 2 6 52 20  
 9 3 5 59 12  
 9 3 6 60 23  
 9 4 2 73 20  
 9 4 6 77 20  
 10 6 6 34 28

**Tabela 20 - Tabela x Cenário 1**

<u>h</u>	<u>r</u>	<u>a</u>	<u>v</u>
1	3	27	1
1	5	28	1
1	6	29	1
2	1	26	1
2	3	27	1
2	5	28	1
2	5	40	1
2	6	29	1

3 1 26 1  
 5 1 31 1  
 5 2 47 1  
 5 2 51 1  
 5 4 72 1  
 5 4 76 1  
 6 2 48 1  
 6 2 50 1  
 6 2 52 1  
 6 4 73 1  
 6 4 75 1  
 6 4 77 1  
 7 2 49 1  
 7 3 25 1  
 7 3 59 1  
 7 4 74 1  
 7 6 32 1  
 8 3 25 1  
 8 3 59 1  
 8 3 60 1  
 8 6 30 1  
 8 6 32 1  
 8 6 33 1  
 9 2 48 1  
 9 2 52 1  
 9 3 59 1  
 9 3 60 1  
 9 4 73 1  
 9 4 77 1  
 10 6 34 1

**Tabela 21 - Tabela v Cenário 1**

r	h	p	y
3	1	2	1
5	1	2	1
6	1	2	1
1	2	2	1
3	2	2	1
5	2	2	1
6	2	2	1
1	3	2	1
1	5	2	1

3 7 2 1  
 6 7 2 1  
 3 8 2 1  
 6 8 2 1  
 6 8 3 1  
 6 10 3 1  
 5 2 4 1  
 2 5 5 1  
 2 6 5 1  
 2 7 5 1  
 2 9 5 1  
 3 7 6 1  
 3 8 6 1  
 3 9 6 1  
 4 5 8 1  
 4 6 8 1  
 4 7 8 1  
 4 9 8 1

**Tabela 22 - Tabela y Cenário 1**

r p z  
 1 2 1  
 3 2 1  
 5 2 1  
 6 2 1  
 6 3 1  
 5 4 1  
 2 5 1  
 3 6 1  
 4 8 1

**Tabela 23 - Tabela z Cenário 1**

## Variáveis Solução Cenário 2

h r t a x  
 1 3 2 27 25  
 1 3 2 28 15

1 3 3 27 25  
1 3 3 28 15  
1 3 4 27 25  
1 3 4 28 15  
1 6 2 29 20  
1 6 3 29 20  
1 6 4 29 20  
2 1 2 26 15  
2 1 3 26 15  
2 1 4 26 15  
2 5 2 27 15  
2 5 2 28 25  
2 5 3 27 15  
2 5 3 28 25  
2 5 4 27 15  
2 5 4 28 25  
2 5 5 40 40  
2 5 6 40 40  
2 6 2 29 20  
2 6 3 29 20  
2 6 4 29 20  
3 1 2 26 25  
3 1 3 26 25  
3 1 4 26 25  
5 1 5 31 40  
5 2 1 47 40  
5 2 5 51 40  
5 4 1 72 40  
5 4 5 76 40  
6 2 2 48 20  
6 2 4 50 40  
6 2 6 52 20  
6 4 2 73 20  
6 4 4 75 40  
6 4 6 77 20  
7 1 1 25 20  
7 2 3 49 40  
7 3 5 59 15  
7 4 3 74 40  
7 6 5 32 3  
8 1 1 25 20  
8 1 6 34 12  
8 3 5 59 13  
8 3 6 60 17  
8 6 5 30 27

8 6 5 32 10  
 8 6 6 33 40  
 9 2 2 48 20  
 9 2 6 52 20  
 9 3 5 59 12  
 9 3 6 60 23  
 9 4 2 73 20  
 9 4 6 77 20  
 10 1 6 34 28

**Tabela 24 - Tabela x Cenário 2**

<u>h</u>	<u>r</u>	<u>a</u>	<u>v</u>
1	3	27	1
1	3	28	1
1	6	29	1
2	1	26	1
2	5	27	1
2	5	28	1
2	5	40	1
2	6	29	1
3	1	26	1
5	1	31	1
5	2	47	1
5	2	51	1
5	4	72	1
5	4	76	1
6	2	48	1
6	2	50	1
6	2	52	1
6	4	73	1
6	4	75	1
6	4	77	1
7	1	25	1
7	2	49	1
7	3	59	1
7	4	74	1
7	6	32	1
8	1	25	1
8	1	34	1
8	3	59	1
8	3	60	1
8	6	30	1

8 6 32 1  
 8 6 33 1  
 9 2 48 1  
 9 2 52 1  
 9 3 59 1  
 9 3 60 1  
 9 4 73 1  
 9 4 77 1  
 10 1 34 1

**Tabela 25 - Tabela v Cenário 2**

r	h	p	y
3	1	2	1
6	1	2	1
1	2	2	1
5	2	2	1
6	2	2	1
1	3	2	1
1	5	2	1
1	7	2	1
6	7	2	1
1	8	2	1
6	8	2	1
1	8	3	1
6	8	3	1
1	10	3	1
5	2	4	1
2	5	5	1
2	6	5	1
2	7	5	1
2	9	5	1
3	7	6	1
3	8	6	1
3	9	6	1
4	5	8	1
4	6	8	1
4	7	8	1
4	9	8	1

**Tabela 26 - Tabela y Cenário 2**

r	p	z
1	2	1
3	2	1
5	2	1
6	2	1
1	3	1
6	3	1
5	4	1
2	5	1
3	6	1
4	8	1

**Tabela 27 - Tabela z Cenário 2**

### **Variáveis Solução Cenário 3**

<u>h</u>	<u>r</u>	<u>t</u>	<u>a</u>	<u>x</u>
1	3	2	27	30
1	3	2	28	10
1	3	3	27	30
1	3	3	28	10
1	3	4	27	30
1	3	4	28	10
1	5	2	29	10
1	5	3	29	10
1	5	4	29	10
2	1	2	26	10
2	1	3	26	10
2	1	4	26	10
2	5	2	28	30
2	5	3	28	30
2	5	4	28	30
2	5	5	40	40
2	5	6	40	40
2	6	2	27	16
2	6	2	29	24
2	6	3	27	16
2	6	3	29	24
2	6	4	27	16
2	6	4	29	24
3	1	2	26	30

3 1 3 26 30  
 3 1 4 26 30  
 5 1 5 31 40  
 5 2 1 47 40  
 5 2 5 51 40  
 5 4 1 72 40  
 5 4 5 76 40  
 6 2 2 48 16  
 6 2 4 50 40  
 6 2 6 52 16  
 6 4 2 73 24  
 6 4 4 75 40  
 6 4 6 77 16  
 7 2 3 49 40  
 7 3 1 25 24  
 7 3 5 59 18  
 7 4 3 74 40  
 8 1 1 25 24  
 8 3 5 59 16  
 8 3 6 60 12  
 8 6 5 30 32  
 8 6 5 32 8  
 8 6 6 33 6  
 9 2 2 48 24  
 9 2 6 52 24  
 9 3 5 59 6  
 9 3 6 60 28  
 9 4 2 73 16  
 9 4 6 77 24  
 10 6 6 34 34

**Tabela 28 - Tabela x Cenário 3**

<u>h</u>	<u>r</u>	<u>a</u>	<u>v</u>
1	3	27	1
1	3	28	1
1	5	29	1
2	1	26	1
2	5	28	1
2	5	40	1
2	6	27	1
2	6	29	1
3	1	26	1

5 1 31 1  
 5 2 47 1  
 5 2 51 1  
 5 4 72 1  
 5 4 76 1  
 6 2 48 1  
 6 2 50 1  
 6 2 52 1  
 6 4 73 1  
 6 4 75 1  
 6 4 77 1  
 7 2 49 1  
 7 3 25 1  
 7 3 59 1  
 7 4 74 1  
 8 1 25 1  
 8 3 59 1  
 8 3 60 1  
 8 6 30 1  
 8 6 32 1  
 8 6 33 1  
 9 2 48 1  
 9 2 52 1  
 9 3 59 1  
 9 3 60 1  
 9 4 73 1  
 9 4 77 1  
 10 6 34 1

**Tabela 29 - Tabela v Cenário 3**

<u>r</u>	<u>h</u>	<u>p</u>	<u>y</u>
3	1	2	1
5	1	2	1
1	2	2	1
5	2	2	1
6	2	2	1
1	3	2	1
1	5	2	1
3	7	2	1
1	8	2	1
6	8	2	1
6	8	3	1

6	10	3	1
5	2	4	1
2	5	5	1
2	6	5	1
2	7	5	1
2	9	5	1
3	7	6	1
3	8	6	1
3	9	6	1
4	5	8	1
4	6	8	1
4	7	8	1
4	9	8	1

**Tabela 30 - Tabela y Cenário 3**

r	p	z
1	2	1
3	2	1
5	2	1
6	2	1
6	3	1
5	4	1
2	5	1
3	6	1
4	8	1

**Tabela 31 - Tabela z Cenário 3**

### Variáveis Solução Cenário 4

h	r	t	a	x
1	3	2	27	20
1	3	3	27	20
1	3	4	27	20
1	6	2	28	12
1	6	2	29	16
1	6	3	28	12
1	6	3	29	16

1 6 4 28 12  
1 6 4 29 16  
2 1 2 26 4  
2 1 2 29 16  
2 1 3 26 4  
2 1 3 29 16  
2 1 4 26 4  
2 1 4 29 16  
2 3 2 28 20  
2 3 3 28 20  
2 3 4 28 20  
2 5 5 40 32  
2 5 6 40 32  
2 6 2 27 12  
2 6 3 27 12  
2 6 4 27 12  
3 1 2 26 20  
3 1 3 26 20  
3 1 4 26 20  
5 1 5 31 32  
5 2 1 72 32  
5 2 5 76 32  
5 4 1 47 32  
5 4 5 51 32  
6 2 2 73 16  
6 2 4 75 32  
6 2 6 77 16  
6 4 2 48 16  
6 4 4 50 32  
6 4 6 52 16  
7 1 1 25 16  
7 2 3 74 32  
7 3 5 32 7  
7 3 5 59 12  
7 4 3 49 32  
7 6 5 30 10  
8 1 1 25 16  
8 3 5 59 10  
8 3 6 60 14  
8 6 5 30 22  
8 6 5 32 8  
8 6 6 33 18  
9 2 2 73 16  
9 2 6 77 16  
9 3 5 59 10

9 3 6 60 18  
 9 4 2 48 16  
 9 4 6 52 16  
 10 6 6 34 22

**Tabela 32 - Tabela x Cenário 4**

<u>h</u>	<u>r</u>	<u>a</u>	<u>v</u>
1	3	27	1
1	6	28	1
1	6	29	1
2	1	26	1
2	1	29	1
2	3	28	1
2	5	40	1
2	6	27	1
3	1	26	1
5	1	31	1
5	2	72	1
5	2	76	1
5	4	47	1
5	4	51	1
6	2	73	1
6	2	75	1
6	2	77	1
6	4	48	1
6	4	50	1
6	4	52	1
7	1	25	1
7	2	74	1
7	3	32	1
7	3	59	1
7	4	49	1
7	6	30	1
8	1	25	1
8	3	59	1
8	3	60	1
8	6	30	1
8	6	32	1
8	6	33	1
9	2	73	1
9	2	77	1
9	3	59	1

9 3 60 1  
 9 4 48 1  
 9 4 52 1  
 10 6 34 1

**Tabela 33 - Tabela v Cenário 4**

r	h	p	y
3	1	2	1
6	1	2	1
1	2	2	1
3	2	2	1
6	2	2	1
1	3	2	1
1	5	2	1
1	7	2	1
3	7	2	1
6	7	2	1
1	8	2	1
6	8	2	1
6	8	3	1
6	10	3	1
5	2	4	1
4	5	5	1
4	6	5	1
4	7	5	1
4	9	5	1
3	7	6	1
3	8	6	1
3	9	6	1
2	5	8	1
2	6	8	1
2	7	8	1
2	9	8	1

**Tabela 34 - Tabela y Cenário 4**

r	p	z
1	2	1
3	2	1
6	2	1
6	3	1

5 4 1  
4 5 1  
3 6 1  
2 8 1

**Tabela 35 - Tabela z Cenário 4**