

MODELOS PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS DE DIFERENTES PERFIS EM PROJETOS DE TI

RESUMO

A gestão de projetos vem sendo aplicada nas mais diversas áreas, em especial empresas de Tecnologia da Informação (TI) têm feito cada vez mais uso de metodologias de gestão. Instituições que executam projetos de TI, periodicamente existem demandas de alocação de recursos humanos a estes projetos. Esta tarefa é realizada normalmente de forma manual, o que a torna custosa e sensível à propagação de erros pela má alocação de pessoas às tarefas adequadas. É preciso alocar os recursos nas mais diversas atividades do projeto, atentando sempre para as diferentes afinidades que os profissionais possuem de acordo com seu perfil. Neste cenário, objetiva-se avaliar e propor modelos estruturados em programação matemática para otimizar a alocação de recursos humanos que possuem diferentes perfis e aptidões em atividades de projetos de TI. A pesquisa desenvolvida foi do tipo aplicada e explicativa quanto à sua natureza e objetivos; experimental, quanto ao procedimento; e quantitativa, quanto à abordagem. Foram usados projetos reais de uma fábrica de software para verificação dos resultados dos modelos, que em linhas gerais as soluções revelaram uma economia nos custos em horas de pessoal acima de 15%, assim como maior agilidade para definir as alocações ao adotar os modelos matemáticos aqui apresentados. Estes resultados contribuem para que os projetos de TI sejam finalizados dentro do orçamento e cronograma previstos.

Palavras-chave: Gestão de Projetos; Alocação de Recursos Humanos; RCPSP; RCMPSP.

MODELS FOR HUMAN RESOURCE ALLOCATION PROFILES IN DIFFERENT IT PROJECTS

ABSTRACT

The project management has been applied in many areas in special Information Technology (IT) companies have increasingly using project management methodologies. Institutions that performs IT projects periodically have demands for human resources allocation. This task is normally done manually, which makes it expensive and sensitive to under allocations. It is needed allocate all of the resources in the most several project activities, always paying attention to the different affinities that the professionals have according to their profile. In this scenario, the aim of this study is to evaluate and develop structured mathematical programming models to optimize the allocation of human resources from different profiles into activities of IT projects. The research developed was of type applied and explanatory, regarding to the nature and the objectives; experimental, regarding to the procedure; and quantitative, regarding to the approach. The experiments were done using real data projects extracted from a software factory, which in general lines the results revealed a cost saving of 15% in labor hours and higher agility in adopting mathematical models to define the allocations. This results contribute to IT project be completed better plans in budget and schedule.

Keywords: Project Management; Human Resource Allocation; RCPSP; RCMPSP.

Emanuel Dantas Filho¹
Marcos José Negreiros Gomes²

¹ Mestre em Computação Aplicada pela Universidade Estadual do Ceará - UECE. Professor do Instituto Federal de Educação - IFCE. Brasil. E-mail: emanueldan@gmail.com

² Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Professor da Universidade Estadual do Ceará - UECE. Brasil. E-mail: negreiro@graphvs.com.br

1 INTRODUÇÃO

Conforme Lamoréa, Higashi e Ruschel (2007), o PMI é uma das principais associações mundiais em Gerenciamento de Projetos, e atualmente lidera o desenvolvimento de padrões que regulam a área, principalmente através de seu documento padrão, o guia PMBOK. Atualmente o guia está na quinta edição, versão lançada em 2013 pelo PMI. O guia PMBOK é formado por processos distribuídos nas diversas fases do projeto, desde a iniciação ao encerramento. Esses processos também são agrupados por áreas ou disciplinas, neste trabalho o foco está na área de gerenciamento de recursos humanos.

Os processos de gerenciamento de projetos descritos no PMBOK podem ser utilizados em diversos setores. Em especial as empresas de Tecnologia da Informação (TI) têm feito cada vez mais uso das boas práticas descritas no PMBOK. Neste cenário, uma das atividades mais complexas está relacionada à alocação de recursos humanos. Em empresas de TI existem profissionais com habilidades distintas, com diferentes afinidades para executar as diversas atividades dos projetos.

Uma gerência de projeto eficaz consegue trazer as pessoas certas no tempo certo, de forma a conseguir que o trabalho seja realizado com sucesso, (Reifer, 2002). Enquanto que uma gerência de recursos humanos mal conduzida pode resultar no não atendimento de planos, estimativas ou prazos pré-estabelecidos, impactando a qualidade dos produtos a serem entregues, (Murch, 2000).

Quanto maior a organização, mais projetos são conduzidos e conseqüentemente mais recursos humanos são necessários. Alocar um número alto de profissionais, com diferentes perfis, em um grande número de atividades é uma tarefa árdua e passível a distribuições equivocadas de tarefas. Dado a alta complexidade que o problema pode atingir, é de se esperar o uso de ferramentas de otimização (Pesquisa Operacional) seja um grande facilitador para o apoio à tomada de decisões.

É sabido que os projetos enfrentam diversos desafios em sua execução, o que acarreta que muitos desses ainda sejam concluídos sem atender a algum critério, seja relacionado ao tempo, custo ou qualidade. Neste cenário, algo que contribui fortemente para esses problemas está relacionado à ausência de métodos automatizados, como os baseados em modelos matemáticos para tratar a alocação dos recursos com habilidades heterogêneas de execução de tarefas.

No universo de Modelagem Matemática, o problema de alocação de recursos humanos é conhecido como uma variação do problema do escalonamento. Em essência, o problema do escalonamento é um problema de otimização –

procura-se satisfazer os requisitos previstos, a um custo mínimo, respeitando as restrições impostas (Rus, Halling & Biffel, 2003).

O objetivo deste trabalho é avaliar e propor modelos matemáticos para alocação automatizada e otimizada dos recursos humanos em projetos de TI. Seja em um projeto exclusivo ou em um portfólio de projetos, considerando que os recursos humanos têm aptidões distintas para realizar diferentes tarefas, e estas aptidões são expressamente medidas por uma estimativa de tempo provável para realizar determinada tarefa.

Nesse trabalho será considerado um cenário específico de uma fábrica de software, admitindo-se conhecida a heterogeneidade dos recursos humanos e suas afinidades em desempenhar as diversas atividades que a eles são atribuídas em um projeto. Um detalhe importante é que os modelos propostos não fazem a revisão do caminho crítico, apenas a mais econômica alocação dos recursos humanos em um projeto já definido. Portanto o fator de otimização analisado será o do custo total do projeto com recursos humanos.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na segunda seção apresenta-se uma revisão da literatura no que diz respeito a gerenciamento de recursos humanos e modelos de alocação. Na terceira seção apresentamos a metodologia para resolução de nosso problema. A seção quatro é dedicada à apresentação dos modelos propostos e análise dos resultados. Por fim, apresenta-se a conclusão e as contribuições deste trabalho na seção cinco, bem como suas perspectivas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é evidenciado o conceito de gerenciamento de projeto, em especial ao gerenciamento de recursos humanos. Também é apresentada uma revisão de trabalhos relacionados ao problema de alocação de recursos em projetos exclusivos e em múltiplos projetos.

2.1 Gerenciamento de Recursos Humanos

O projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Um projeto cria entregas exclusivas, que são produtos, serviços ou resultados (PMI, 2013). No tocante a projetos de TI os produtos são novos softwares ou evoluções de sistemas já existentes. O projeto é temporário, pois tem início e fim definidos, sendo que o fim é atingido quando seus objetivos são alcançados.

Para (Vargas, 2009), gerenciamento de projetos é um conjunto de ferramentas gerenciais

que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais, destinados ao controle de eventos não repetitivos, únicos e complexos, dentro de um cenário de tempo, custo e qualidade pré-determinados. A gerência de projeto pode ser assim definida como o processo de planejamento, organização, direção e controle de recursos da organização para um objetivo relativamente de curto prazo, que seja estabelecido para a conclusão dos objetivos, seja de caráter geral como específico (Kerzner, 2013).

O guia PMBOK é o principal documento de referência utilizado para o gerenciamento de projetos (PMI, 2013). O guia possui a descrição de processos entre todas as fases do ciclo de vida do projeto, que vão desde a iniciação até o encerramento. O PMBOK é organizado em dez áreas de conhecimento, são elas: gerenciamento de integração, escopo, tempo, custos, recursos humanos, riscos, comunicações, qualidade, aquisições e gerenciamento das partes interessadas.

Uma das áreas mais importantes do PMBOK consiste no gerenciamento de recursos

humanos. A equipe deve possuir as competências e habilidades particulares necessárias à realização do projeto. O gerente de projeto coordena o trabalho da equipe, bem como as atividades externas no sentido de atender às expectativas da contratante (ou proprietário).

O Gerenciamento de Recursos Humanos do projeto descreve os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto. De acordo com o PMI (2013) esta área possui os processos: planejamento de recursos humanos, contratação ou mobilização da equipe do projeto, desenvolvimento da equipe do projeto e gerenciamento da equipe do projeto. Uma visão geral destes processos, bem como algumas atividades correspondentes pode ser observada na Figura 1.

Como pode ser visto na Figura 1, a atividade de alocação de recursos humanos está presente no processo de gerenciar a equipe do projeto. É uma tarefa realizada pelo gestor do projeto e normalmente realizada de forma manual sem ajuda de ferramentas de otimização.

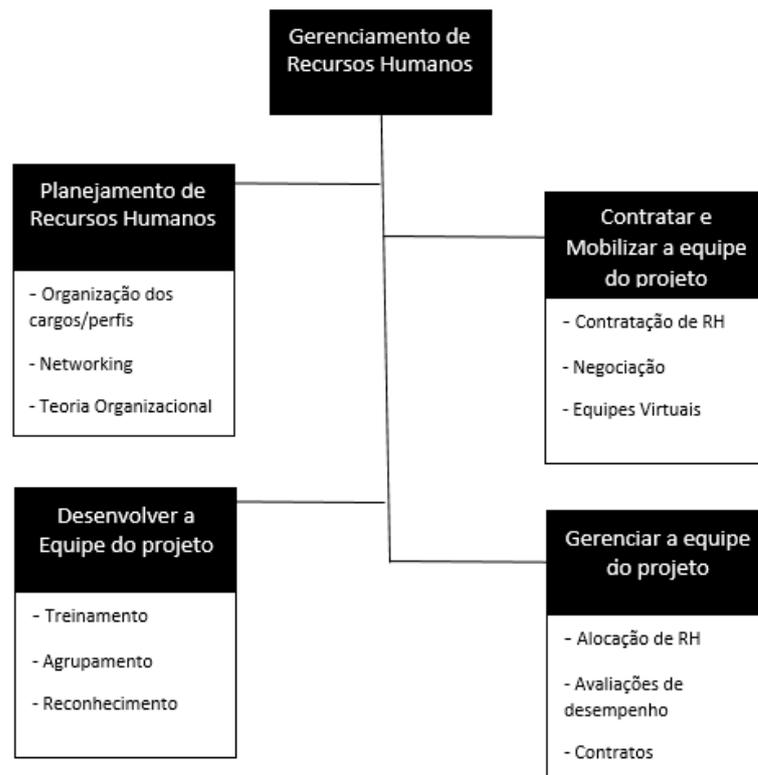


Figura 1 –Gerenciamento de Recursos Humanos.

Fonte: Adaptado de Project Management Institute (PMI). (2013) PMBOK: Project Management Body of Knowledge. 5ª Edição: Autor.

2.2 O Problema de Alocação de Recursos

A tarefa de definir a alocação, ou seja, designar qual recurso vai desempenhar cada atividade, é uma tarefa custosa e passível de distorções, e na maioria das vezes realizadas de forma manual pelos gerentes de projetos. Basicamente, essa tarefa consiste em escolher quais atividades devem ser realizadas por cada recurso. Normalmente os gerentes de projetos fazem uso de ferramentas que facilitam a criação de cronogramas, onde as atividades e recursos do projeto são distribuídas. Porém, essas ferramentas não possuem mecanismos automatizados que levem em consideração os dados históricos dos recursos em projetos anteriores.

Modelos matemáticos podem ser usados para representar e resolver o problema de alocação de recursos em projetos. Esses problemas são conhecidos na literatura como problemas de alocação de recursos limitados em projetos. Há dois tipos de abordagens de problemas neste contexto, a primeira denominada de RCPSP (*Resource Constrained Project Scheduling Problem* – Problema de Planejamento de Projetos com Restrições de Recursos), e a segunda denominada de RCMPSP (*Resource Constrained Multiple Project Scheduling Problem* – Problema de Planejamento de Múltiplos Projetos com Restrições de Recursos).

2.2.1 RCPSP

O problema RCPSP está relacionado com a otimização na alocação de recursos em um projeto específico. Durante as últimas décadas, os problemas do tipo RCPSP tem sido amplamente estudados. Nesta classe de problema várias pesquisas tomam objetivos distintos no processo de otimização, normalmente relacionadas com a minimização de custos e tempos.

Um dos objetivos possíveis é o de gerar uma alocação com o menor custo possível, levando em consideração os recursos disponíveis, as tarefas a serem desempenhadas e o prazo do projeto. Cada modelo que seja instanciado para resolver o problema RCPSP deve atentar para as restrições na execução de um projeto, como a quantidade de recursos para desempenhar cada tarefa e a possibilidade de cada recurso executar uma ou mais tarefas em um instante de tempo.

Em Kolisch e Hartmann (2006) o problema RCPSP é tratado para a minimização da duração em dias do projeto, também conhecido como *makespan*. Também é abordada a maximização do valor presente líquido (VPL). De acordo com Boctor (1993), o principal critério de otimização consiste em minimizar os custos do projeto. Este critério considera o caso em que as atividades podem ser realizadas de vários modos, que correspondem a diferentes configurações de recursos, como conseguinte com custos diferentes.

Na literatura temos estudos que usam diversas metaheurísticas para resolver o problema de alocação de recursos em projetos, existem pesquisas que utilizam os métodos de busca tabu (Baar, Brucker & Knust, 1998) e *simulated annealing* (Bouleimen & Lecocq, 2003), essas mantêm apenas a melhor solução em cada iteração. Outras pesquisas são voltadas para métodos que mantêm um conjunto de soluções em cada iteração, como os algoritmos genéticos (Hartmann, 1998).

Em Al-fawzan e Haouari (2005) é formulado um modelo matemático para tomada de decisão na alocação de recursos em um projeto. As restrições de precedências de atividades, disponibilidade de recursos, duração de cada atividade e duração total do projeto são tratadas pelo modelo. A Tabela 1 mostra um resumo dos trabalhos pesquisados, o mecanismo de otimização e algumas características da abordagem.

Tabela 1 – Resumo dos trabalhos relacionados do problema RCPSP

Autor	Mecanismo	Otimização	Perfis dos Recursos
Kolisch e Hartmann	Modelagem	Tempo/ VPL	Homogêneos
Boctor	Modelagem	Custo	Homogêneos
Baar, Brucker, Knust	MetaHeurística	Custo	Homogêneos
Bouleimen	MetaHeurística	Tempo	Homogêneos
Hartmann	MetaHeurística	Tempo	Homogêneos
Al-fawzan e Haouari	Modelagem	Tempo	Homogêneos

Os trabalhos relatados (Tabela 1) resolvem o problema de alocação de recursos em cenários específicos que não contemplam as restrições de uma fábrica de software. Em instituições como

essas, existem diversos recursos com competências heterogêneas. No trabalho aqui relatado, utilizamos modelagem matemática com a finalidade de otimizar custos de uso de pessoal, levando em consideração

que a equipe do projeto possui membros com diferentes perfis, cada membro pode encarar cada tarefa a ser realizada por si com diferentes graus de dificuldade.

2.2.2 RCMPSP

O modelo RCMPSP tem a particularidade de ser voltado para otimizar a alocação de recursos levando em consideração vários projetos simultâneos. A ideia do modelo é a mesma do RCPSP, com o acréscimo de variáveis para representar os n projetos e critérios para priorização destes projetos. Um número de projetos deve simultaneamente repartir recursos limitados, satisfazendo às condições de precedência de atividades tendo como objetivo minimizar a soma dos custos de alocações de cada recurso a todas as atividades dos projetos, (Bowers, Groom & Morris, 1996)

Em Hartmann (1998) o problema de alocação de recursos em múltiplos projetos é tratado através de um algoritmo genético. O autor propôs um algoritmo para otimizar o uso de recursos limitados na alocação em atividades de um conjunto de vários projetos simultâneos. Os indivíduos característicos em algoritmos genéticos no problema de alocação

são representados por sequência de atividades. A escolha do indivíduo deve sempre obedecer às regras de precedência, estas precisam ser armazenadas para que o algoritmo atenda a essa restrição. As mutações da população de indivíduos não devem violar as restrições.

No trabalho de Silva, Ochi e Santos (2008) uma nova abordagem para o problema de otimização de recursos em projetos é apresentada. O algoritmo proposto também é utilizado para realizar alocações em vários projetos simultâneos e trata as relações de precedência de atividades. Como diferencial, o algoritmo leva em consideração o custo para realizar cada atividade para definir a prioridade. Para cada atividade disponível a ser realizada, as atividades com maior prioridade serão agendadas mais cedo com relação às outras de prioridade inferior.

No estudo de Gagnon, d'Avignon e Aouni (2012), foi apresentada uma abordagem de programação de múltiplos projetos para auxiliar os gerentes a decidir sobre o melhor cronograma a ser seguido pela equipe. Foi abordado que existem diversos softwares que auxiliam os gerentes de projetos na construção do cronograma, mas nenhum tem a finalidade de otimizar de recursos. A alocação sempre é uma atividade manual. A Tabela 2 mostra um resumo dos trabalhos RCMPSP pesquisados.

Tabela 2 – Resumo dos trabalhos relacionados do problema RCMPSP

Autor	Mecanismo	Otimização	Perfis dos Recursos
Bowers	Modelagem	Custo	Homogêneos
Hartmann	MetaHeurística	Tempo	Homogêneos
Silva	MetaHeurística	Custo	Homogêneos
Gagnon	MetaHeurística	Tempo	Homogêneos

Como detalhado na Tabela 2, nos trabalhos RCMPSP pesquisados são propostos mecanismos para auxiliar o uso de recursos em vários projetos da organização. Porém, as alocações são propostas considerando recursos multidisciplinares ou homogêneos. Ou seja, qualquer recurso tem competência para realizar qualquer atividade do projeto. Essa realidade se adequa a vários cenários de mercado.

Como visto, sejam os trabalhos pesquisados para o problema RCPSP ou RCMPSP, não é se leva em consideração a restrição relativa aos diferentes perfis de recursos. Daí a necessidade de se focar em propostas de modelos matemáticos para otimizar custos e alocação de recursos em projetos considerando a heterogeneidade dos recursos em realizar tarefas de um ou vários projetos simultâneos de TI.

3 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida é de finalidade aplicada, uma vez que se pretende colaborar com o processo de gerenciamento de recursos humanos, especificamente no que se refere ao processo de alocação de recursos em atividades do projeto. A problemática consiste em conseguir a melhor alocação dado o grande número de variáveis envolvidas no processo.

Com relação aos objetivos e procedimentos, a pesquisa é explicativa e experimental, onde o foco é selecionar variáveis e determinar um objeto de estudo, podendo assim verificar os efeitos que as variáveis inferem no objeto. No problema em específico, o objeto de estudo corresponde à otimização de alocação de recursos humanos em projetos de TI. As principais variáveis analisadas estão relacionadas à afinidade de cada recurso para

realizar cada tipo de atividade, o custo das atividades e a disponibilidade dos recursos.

Os projetos selecionados para os experimentos têm algumas características em comum, tratam de demandas para desenvolvimento de novos sistemas de uma fábrica de software localizada em Fortaleza/CE. Os desenvolvedores utilizam a linguagem de programação Java, e a equipe de projeto faz uso das mesmas ferramentas computacionais para auxílio no desenvolvimento e gestão. Com relação aos recursos humanos, foram utilizados todos os profissionais do departamento que trabalham com projetos dessa natureza.

Para coleta de dados, foram extraídas as informações históricas de projetos já encerrados do *Project Server* da empresa. Essa é uma ferramenta onde todos os recursos lançam suas horas trabalhadas, nas mais diversas atividades a eles designadas. A coleta desses dados foi importante para construção de uma base histórica de estimativas, insumo para algumas das variáveis do modelo.

Para construir a base histórica, todas as atividades dos projetos encerrados foram catalogadas em um número de tipos de atividades. Foi realizado um mapeamento de todos os recursos por atividades. Para melhor organização, esses dados foram sumarizados em uma planilha no Microsoft Excel.

Com as informações agrupadas e organizadas na base histórica, o próximo passo foi a elaboração do modelo matemático pertinente ao problema. No primeiro momento foi criado e analisado um modelo para alocação de recursos para um projeto isolado. A seguir um segundo modelo matemático foi proposto, dessa vez para tratar da alocação dos recursos de vários projetos simultâneos.

Para avaliar os resultados dos modelos matemáticos, foram instanciados no software de otimização LINGO alguns projetos que estavam na iminência de iniciar. O LINGO é um software (*solver*) de Otimização que é capaz de resolver diferentes tipos de problemas de programação matemática (Linear, Inteira, Não Linear, etc), através de seus modelos matemáticos e instâncias. Para o nosso caso foi usada a versão 14.00 sem restrições de limite de variáveis e restrições, gentilmente cedida pela fabricante do software (LINDO Systems) para esta pesquisa. Esse software é uma

importante ferramenta para utilização de técnicas de otimização linear ou não linear.

No software LINGO foram cadastradas as variáveis de recursos e atividades, e inseridas os tempos relativos às afinidades resultantes da base histórica de projetos de cada recurso humano. Mesmo sabendo que diversos fatores externos influenciam na produtividade dos profissionais de qualquer segmento, os resultados de tempo de atividade por recurso humano foram calculados por um modelo de estimação que usa séries temporais, conforme proposto por (Dantas & Gomes, 2014).

O ambiente de simulação foi organizado para aplicar os modelos propostos em cenários reais de uma fábrica de software. A alocação proposta pelas soluções encontradas dos modelos pelo software LINGO foi armazenada, e em um momento posterior comparados com o resultado real alcançado pela empresa utilizando sua forma de alocação. Os resultados foram contabilizados como forma de identificar a eficácia de cada modelo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir detalhamos como foram preparadas e resolvidas instâncias do RCPSP e RCMPSP, somente considerando alocação de recursos e minimização de custos desta alocação pela disponibilidade de um indivíduo realizar uma dada tarefa no tempo máximo que a ela é atribuída a sua realização.

4.1 Base Histórica

Foram extraídas dos repositórios da organização, informações de três projetos já encerrados para construir uma base histórica. Todos esses projetos têm características comuns, tratam de demandas para o desenvolvimento de novos sistemas utilizando a linguagem de programação Java.

Para construção da base histórica foi necessário catalogar todas as atividades e recursos humanos dos projetos. Todos os dados foram condensados e organizados em uma planilha. Assim, foi possível encontrar os dados necessários aos experimentos de forma mais rápida e consistente. Na Tabela 3 é apresentada uma perspectiva dessa base histórica.

Tabela 3 – Base histórica de estimativas (visão das atividades do tipo T2 e Recurso RC4)

Nome da tarefa	Projeto	Tipo da tarefa	Recurso Humano	Estimado (horas)	Realizado (horas)
Auditar a configuração	PJ01	T2	RC4	1,00	2,00
Auditar a configuração E1	PJ01	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C1	PJ01	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C2	PJ01	T2	RC4	1,00	2,00
Auditar a configuração	PJ02	T2	RC4	1,00	2,50
Auditar a configuração E1	PJ02	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C1	PJ02	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C2	PJ02	T2	RC4	1,00	1,50
Auditar a configuração C3	PJ02	T2	RC4	1,00	1,50
Auditar a configuração C4	PJ02	T2	RC4	1,00	2,00
Auditar a configuração	PJ03	T2	RC4	1,00	3,00
Auditar a configuração E1	PJ03	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C1	PJ03	T2	RC4	1,00	1,00
Auditar a configuração C2	PJ03	T2	RC4	1,00	1,50
Auditar a configuração C3	PJ03	T2	RC4	1,00	2,00
Auditar a configuração C4	PJ03	T2	RC4	1,00	2,00

A base histórica apresentada na Tabela 3 é apenas a visão de uma perspectiva específica. Nesse caso foi realizada uma busca na base das atividades do tipo T2 (Auditar Configuração) realizadas pelo recurso RC4 (Analista de Configuração). A planilha retorna as atividades desse tipo que foram executadas por esse recurso nos três projetos contidos na base histórica. Pode-se observar na Tabela 3 o tempo estimado para cada atividade e o que realmente foi realizado. Essas informações foram retiradas dos repositórios dos projetos da organização. É importante ressaltar que esses valores correspondem exatamente o que o profissional gastou para executar cada atividade. É sabido que todo ser humano precisa de tempo para necessidades básicas, como falar ao telefone e ir ao banheiro. Porém todos os projetos reservam um percentual de tempo para esses tipos de situações.

As informações contidas na base histórica irão servir como insumos para os modelos RCPSP e

RCMPSP descritos nas seções seguintes. Como os modelos devem priorizar a alocação do recurso com mais afinidade de realizar cada atividade, as informações do tempo que eles levaram para desempenhar atividades deste tipo em projetos anteriores será uma informação imprescindível para realizar a otimização.

4.2 Modelo RCPSP

O modelo RCPSP pode ser instanciado para diferentes cenários, aqui nosso objetivo foi de alcançar uma alocação que levasse em consideração a heterogeneidade dos recursos humanos. A otimização deve buscar o menor custo com recursos para o projeto, a priorização na alocação deve se basear no custo e afinidade do recurso em desempenhar cada atividade. A formalização do modelo proposto pode ser observada no Quadro 01.

Conjuntos:

- I** // Os instantes no horizonte “h” para execução do projeto. (1...h)
- R** // Os recursos do projeto. (1...n)
- A** // As atividades do projeto. (1...m)
- RA** (r, a) // Indica os recursos **r** aptos a desempenhar a atividade **a**
- AI** (a, i) // Indica as atividades **a** alocadas a cada instante **i**
- RAI** (r, a, i) // Os recursos **r** que podem executar a atividade **a** no instante **i**
- Início** (a, i) // Indica que a atividade **a** inicia no instante **i**

Parâmetros:

- Disp**(r) // Disponibilidade do recurso **r**
- Custo** (r, a) // custo por unidade de tempo para o recurso **r** executar atividade **a**
- Estimativa** (r, a) // estimativa de tempo para o recurso **r** executar atividade **a**
- Duração**(a) // duração (em dias) da atividade **a**

Variáveis:

$$X(r,a) = \begin{cases} 1, & \text{se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$M(r,a)$ = duração em tempo do recurso r realizar a atividade a ;

$$Y(r,a,i) = \begin{cases} 1, & \text{se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a \text{ no instante } i; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Modelo (RCPSP):

// Minimizar o custo do projeto com recursos humanos;

$$(RCPSP) \text{ Minimizar } \sum_{r \in R} \sum_{a \in A} \text{Custo}_{r,a} M_{r,a} \quad (\text{Eq. 5.1.0})$$

// A alocação de um recurso não pode ultrapassar a sua disponibilidade de tempo;

$$\sum_{r,a \in RA} M_{ra} \leq \text{Disp}_r, \forall r \in R \quad (\text{Eq. 5.1.1})$$

// Para cada atividade em dado instante de tempo somente pode ter um recurso alocado a ela;

$$\sum_{(r,a,i) \in RAI} Y_{r,a,i} \leq 1, \forall (a, i) \in AI \quad (\text{Eq. 5.1.2})$$

// No início da atividade a tem que haver um único recurso r alocado para ela

$$\sum_{(r,a) \in RA} Y_{r,a,i} = 1, \forall (a, i) \in \text{Inicio} \quad (\text{Eq. 5.1.3})$$

// Uma atividade uma vez iniciada com certo recurso r tem que ir até o final com ele

$$\sum_{(a,i) \in AI} Y_{r,a,i} \leq M_{ra}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.4})$$

$$\text{Estimativa}_{r,a} X_{r,a} \leq M_{r,a} \leq \text{Duracao}_a X_{r,a}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.5})$$

// As variáveis de decisão são binárias

$$X_{r,a} \in \{0,1\}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.6})$$

$$Y_{r,a,i} \in \{0,1\}, \forall (r, a, i) \in RAI, \quad (\text{Eq. 5.1.7})$$

Quadro 1 – Modelo proposto para o RCPSP

Como pode ser observado no Quadro 01, o modelo representa os instantes de tempo de duração do projeto, as atividades a serem desempenhadas e os recursos disponíveis para execução das atividades. Respectivamente os conjuntos I, R e A.

Buscando otimizar e automatizar o processo de alocação, foi definido no modelo o conjunto RA. Esse conjunto associa para cada par ordenado de recurso/atividade o custo e estimativa de tempo

necessário para aquele recurso desempenhar a atividade em questão definidos nos parâmetros $\text{Custo}(r,a)$ e $\text{Estimativa}(r,a)$. Importante ressaltar que essas informações de estimativas foram definidas de acordo com os dados da base histórica descrita na seção 4.1.

Os recursos utilizados no modelo são heterogêneos, ou seja, têm competências distintas e são capazes de desempenhar apenas um subconjunto

de atividades do projeto. Para o cenário onde um recurso não tem competência para desempenhar a atividade, na instanciação do modelo, foi usada a estratégia de associar ao par ordenado RA correspondente, um valor de estimativa e custo elevados. Com isso, o modelo matemático se encarrega de não utilizar os recursos que não têm competência para desempenhar determinada atividade.

O modelo matemático considera que as atividades têm duração e início definidos “a priori” e deve segui-los, para representar esse cenário foi definido o parâmetro DURACAO, e o conjunto INICIO. Isto retira um pouco a missão de planejamento (“Scheduling”) do modelo, e foca na alocação de recurso, no entanto é possível adaptá-lo à condição de escala, porém aumentando-se razoavelmente o número de restrições do modelo. Como nosso foco não é este, seguiremos apenas com a visão ortodoxa sobre os recursos e a realização das atividades.

Com relação às restrições do modelo, algumas situações foram tratadas de acordo com a realidade de uma fábrica de *software*. O modelo considera que um recurso só pode executar até uma atividade num dado instante de tempo (Eq. 5.1.2) e que no início de uma atividade deve haver alocação de um único recurso (Eq. 5.1.3). Ou seja, ou o recurso está ocioso ou executando uma única atividade em dado instante de tempo.

A restrição (Eq. 5.1.1) define que as alocações de um recurso não podem ultrapassar sua disponibilidade. As restrições (Eq. 5.1.4 e 5.1.5) indicam que o recurso deve seguir na execução da atividade até o seu término. Aqui também se define que uma atividade não deve ultrapassar a sua duração. Como o tempo de execução de uma atividade por um recurso foi determinado pelo método de previsão analisado, é de se esperar que o tempo gasto na execução da atividade seja menor que a duração estabelecida. Estas restrições garantem também que não haverá atividades sem alocação, pois para que o projeto seja finalizado todas as atividades precisam ser executadas.

Na função objetivo temos a minimização de custo do projeto (Eq. 5.1.0). A alocação deve levar em consideração o custo de cada recurso, alocando para cada atividade o recurso de menor custo e que possui maior afinidade em desempenhar a atividade. O modelo aloca apenas os recursos necessários, buscando diminuir que recursos fiquem ociosos.

Com a criação do modelo matemático básico, o próximo passo é instanciar projetos reais, rodar no *solver* (LINGO) e analisar os resultados obtidos. Foram escolhidos aleatoriamente alguns projetos de uma fábrica de *software* para serem de análise. Verificou-se em cada projeto o cronograma definido pelo seu gestor, com esse planejamento em

mãos, foi extraído o diagrama de precedências com as atividades e as alocações realizadas. As informações das atividades, suas precedências, e os recursos disponíveis para o projeto foram em seguida instanciadas no modelo. Após a resolução do modelo pelo *solver* fim foi realizada uma comparação do custo total resultante e os custos reais do projeto com a alocação.

Importante ressaltar que o modelo não revê o caminho crítico, como também não realiza *fast tracking*, as tarefas iniciam nos tempos definidos previamente assim como as precedências entre tarefas são mantidas como planejado inicialmente pelo gerente. Nesse trabalho o objetivo analisado é o custo total com a alocação dos recursos humanos às tarefas.

4.3 Aplicação do RCPSP na Fábrica de Software

Atualmente, o processo de criar cronogramas de projetos de TI em fábricas de *software* é realizado de forma manual pelos gerentes. Normalmente nesse ambiente os projetos que foram concluídos servem como referência para os novos, e toda estrutura do cronograma é usada como fator de reuso. Essa forma de criar os cronogramas é passível de erros e problemas, visto que além de ser uma atividade manual, cada projeto tem recursos e atividades distintas. Tratar as diferentes afinidades e perfis dos recursos humanos é uma tarefa complexa, espera-se que um método de otimização para gerar as alocações automáticas seja uma ferramenta útil para os gerentes de projetos.

Para ilustrar os resultados alcançados com a aplicação do modelo RCPSP foram utilizados quatro projetos da fábrica de *software*. Em cada projeto foi realizado o levantamento das informações necessárias para fazer as simulações.

Para cada instância foi contabilizada a duração do projeto (instantes de tempo), as diferentes atividades, a duração em dias de cada atividade, bem como suas relações de precedência. Somado a essas informações, foi realizado um levantamento dos recursos humanos designados com informações de seu custo e disponibilidade. Com essas informações foi possível realizar as análises dos resultados.

Na Tabela 4 podemos observar algumas dessas informações para os projetos analisados. Respectivamente, as colunas representam: a indicação da instância analisada, a duração em dias do projeto, o número de recursos envolvidos em sua execução, o número total de atividades do projeto, e por fim as variáveis binárias e restrições processadas ao rodar a instância em questão no *solver* LINGO.

Além das informações do projeto, a Tabela 4 mostra as variáveis binárias e restrições geradas pelo modelo após execução da simulação. Pode-se

observar que quanto maior o prazo, recursos e atividades, maior é o número de variáveis geradas pelo modelo. Para executar o modelo foi utilizada a

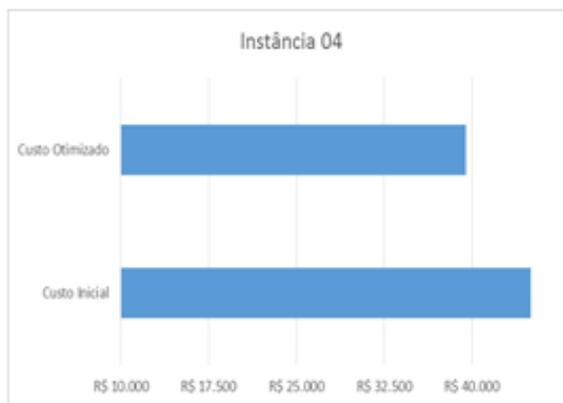
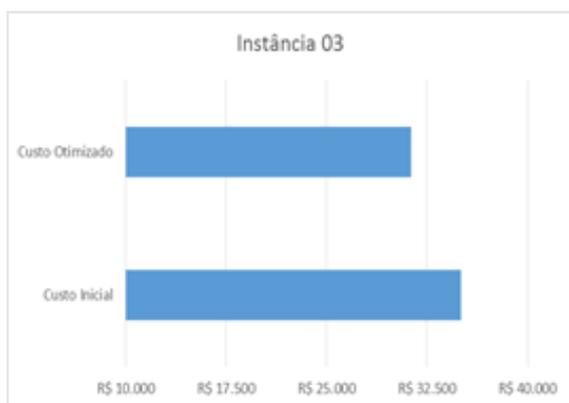
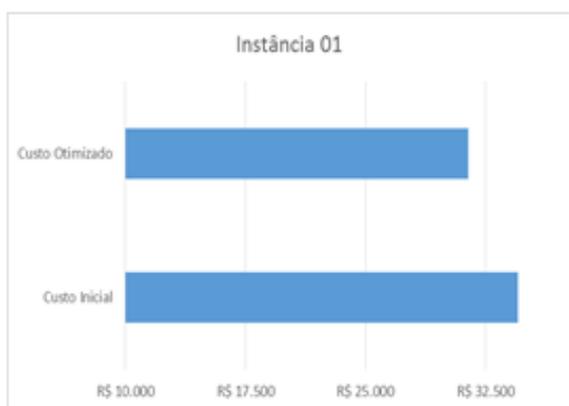
versão 14.00 ilimitada do LINGO, gentilmente cedida pela LINDO Systems para esta pesquisa.

Tabela 4 - Característica das instâncias dos projetos do modelo RCPSP

Instância	Duração (em dias)	Nº Recursos	Nº Atividades	Variáveis Binárias	Restrições
01	83	7	48	1611	1199
02	73	8	42	1617	1178
03	74	8	44	1681	1232
04	83	8	49	1725	1223

O indicador analisado é o de custo de pessoal. O objetivo é verificar o quanto realmente foi gasto com recursos humanos em um projeto, e comparar com o valor otimizado gerado pelo modelo

sobre a instância. Nos gráficos 01, 02, 03 e 04 pode-se observar a relação do custo real e o custo otimizado despendido com os recursos humanos para cada instância.



Gráficos 01, 02, 03 e 04 – Comparativo do custo das instâncias 01,02,03 e 04 do RCPSP

O custo real foi calculado de acordo com o batimento de horas destes recursos no projeto, enquanto que o custo otimizado é a solução do modelo RCPSP na instância correspondente. O custo otimizado após a resolução do modelo proposto foi inferior ao custo real despendido para o projeto em

todas instâncias analisadas de acordo com os gráficos 01, 02, 03 e 04. As economias obtidas nos quatro projetos analisados nesse grupo de experimentos foram de respectivamente 9.85%, 11.39%, 11.98% e 14.68%.

Quando se estuda modelos matemáticos, um fator que deve ser considerado são os limites do modelo, ou seja, qual o intervalo de cenários em que o modelo proposto pode gerar resultados satisfatórios em tempo para obtenção da solução ótima. Neste caso específico, o modelo é misto – linear e binário, e possui uma complexidade inerente que deve ser investigada.

Para testar os limites do LINGO para este modelo, pode-se fazer simulações aumentando o tamanho das instâncias do problema. Com o aumento do número de variáveis e restrições, a tendência é que haja um aumento da complexidade do modelo, que irá gerar soluções satisfatórias até um limiar onde não se consegue obter uma solução ótima em tempo aceitável.

Para o modelo RCPSP foi utilizado o cenário de fixar o número de recursos e prazo do projeto e verificar como se comporta o modelo se mudarmos o número atividades. Foi fixado o número de 7 recursos e um prazo de 83 dias, o que corresponde a quatro meses de projeto. Nas simulações foi alterado o número de atividades do projeto e avaliado os resultados. Ao final dos experimentos, foi observado que para esse cenário o modelo consegue alocar até 174 atividades distintas, o que gera um total de 7.221 variáveis binárias, com

um tempo de execução de 15 segundos. Para uma quantidade maior de atividades o *solver* LINGO não alcançou uma solução.

4.4 Modelo RCMPSP

O modelo RCMPSP difere por tratar da alocação de recursos humanos em múltiplos projetos. O modelo pode ser instanciado para diferentes cenários, porém assim como no RCPSP, neste trabalho o objetivo foi de alcançar uma alocação que levasse em consideração a heterogeneidade dos recursos humanos da fábrica de software.

Primeiro o modelo matemático prioriza os projetos a executar de acordo com o retorno financeiro de cada um. Em seguida realiza a otimização que busca o menor custo com recursos, nesse caso de um conjunto de $K(\geq 2)$ projetos. A priorização na alocação deve se basear no custo e afinidade do recurso em desempenhar cada atividade. Como no primeiro modelo não consideramos a revisão do início das atividades. A formalização do modelo RCMPSP pode ser observada no Quadro 02.

Conjuntos:

I	// Os instantes no horizonte “h” para execução do projeto. (1...h)
R	// Os recursos do projeto. (1...n)
A	// As atividades do projeto. (1...m)
PROJETOS	// Os projetos analisados em concomitância. (1...k)
RA (r, a)	// Indica os recursos r aptos a desempenhar a atividade a
AI (a, i)	// Indica as atividades a alocadas a cada instante i
PA (p, a)	// Indica as atividades a presentes no projeto p
PAI (p, a, i)	// Indica no projeto p as atividades a alocadas a cada instante i
RAI (r, a, i)	// Os recursos r que podem executar a atividade a no instante i
PRAI (p, r, a, i)	// No projeto p os recursos r que podem executar a atividade a no instante i
Início (p, a, i)	// Indica que no projeto p a atividade a inicia no instante i

Parâmetros:

Disp (r)	// Disponibilidade do recurso r
Custo (r, a)	// custo para o recurso r executar atividade a
Estimativa (r, a)	// estimativa de tempo para o recurso r executar atividade a
Duração (a)	// duração (em dias) da atividade a ;
Valor (p)	// valor financeiro do projeto p ;

Variáveis:

$$X(r,a) = \begin{cases} 1, & \text{se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$M(r,a)$ = duração em tempo do recurso r realizar a atividade a ;

$Y(p,r,a,i)$ = $\begin{cases} 1, & \text{se no projeto } p \text{ o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a \text{ no instante} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

$Z(p)$ = $\begin{cases} 1, & \text{se projeto } p \text{ é selecionado;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

Modelo (RCMPSP):

// Maximizar o retorno financeiro, menos o custo do projeto com recursos humanos;

$$(RCMPSP) \text{ Maximizar } \sum_{p \in \text{Projetos}} \text{Valor}_p Z_p - \sum_{r \in R} \sum_{a \in A} \text{Custo}_{r,a} M_{r,a} \quad (\text{Eq. 5.2.0})$$

// A alocação de um recurso não pode ultrapassar a sua disponibilidade de tempo;

$$\sum_{r,a \in RA} M_{r,a} \leq \text{Disp}_r, \forall r \in R \quad (\text{Eq. 5.2.1})$$

// No início da atividade a tem que haver um único recurso r alocado para ela

$$\sum_{(r,a) \in RA} Y_{r,a,i} = Z_p, \forall (p, a, i) \in \text{Inicio} \quad (\text{Eq. 5.2.2})$$

// Uma atividade uma vez iniciada com certo recurso r tem que ir até o final com ele

$$\sum_{(p,a,i) \in PAI} Y_{p,r,a,i} \leq M_{r,a}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.2.3})$$

$$\text{Estimativa}_{r,a} X_{r,a} \leq M_{r,a} \leq \text{Duracao}_a X_{r,a}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.2.4})$$

// As variáveis de decisão são binárias

$$X_{r,a} \in \{0,1\}, \forall (r, a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.2.5})$$

$$Y_{p,r,a,i} \in \{0,1\}, \forall (p, r, a, i) \in RAI, \quad (\text{Eq. 5.2.6})$$

$$Z_p \in \{0,1\}, \forall p \in \text{Projetos}, \quad (\text{Eq. 5.2.7})$$

Quadro 2 – Modelo proposto para o RCMPSP

O modelo RCMPSP formalizado no Quadro 02 é uma adaptação do modelo RCPSp definido inicialmente no Quadro 01. Para que o modelo funcione para N projetos, foi necessário realizar algumas customizações.

Inicialmente foi preciso definir o conjunto PROJÉTOS, que representa os projetos que estão sendo executados de forma simultânea. Para representar quais atividades fazem parte de cada projeto foi criado o conjunto PA. E para definir em que instantes cada uma dessas atividades se desenvolve foi criado o conjunto PAI.

Algumas restrições são mantidas do modelo RCPSp para o RCMPSP, como a que define as alocações dos recursos que não podem ultrapassar sua disponibilidade (Eq. 5.2.1). Outra restrição diz

respeito que um recurso deve continuar alocado até o final uma vez que inicia uma atividade (Eq. 5.2.3). A restrição que indica que no início de uma atividade deve haver um recurso alocado foi adaptada para levar em consideração o projeto que esta atividade se encontra (Eq. 5.2.2). O modelo RCMPSP também não revê o caminho crítico, pois as tarefas iniciam em tempos definidos.

A função objetivo do modelo RCMPSP é diferente do modelo RCPSp. Além de escolher as alocações de recursos com os menores custos e maiores afinidades, o modelo deve selecionar quais projetos devem ser priorizados.

O modelo RCMPSP seleciona dentre um conjunto de projetos quais tem um melhor retorno financeiro para organização. Em seguida, os recursos

humanos da fábrica de software devem ser alocados nestes projetos com a finalidade de termos ao final, os projetos com maior retorno e com o menor custo possível com recursos humanos (Eq. 5.2.0).

4.5 Aplicação do RCMPSP na Fábrica de Software

Para ilustrar os resultados alcançados com a aplicação do modelo RCMPSP de alocação foi utilizada a seguinte abordagem:

1. Definir um intervalo de tempo para análise;
2. Instanciar o conjunto de projetos disponíveis a serem executados nesse período;

3. Rodar o modelo RCMPSP e verificar a solução com o custo otimizado;
4. Comparar o custo otimizado com o custo real;

O intervalo de tempo escolhido foi de 15 dias úteis, ou seja, três semanas, o que corresponde em gerenciamento de projetos como uma SPRINT. Para cada instância analisada no modelo, um conjunto de projetos são executados de forma simultânea no decorrer dessa SPRINT.

Na Tabela 5 podem ser observadas as características das quatro instâncias analisadas para o modelo RCMPSP.

Tabela 5 - Característica das instâncias dos projetos do modelo RCMPSP

Instância	Nº Projetos	Nº Projetos priorizados	Nº Recursos	Nº Atividades	Variáveis Binárias	Restrições
01	04	03	08	32	1111	812
02	04	02	06	32	835	618
03	05	03	08	39	1272	937
04	06	04	08	46	1497	1112

Como pode ser observado (Tabela 5), o modelo seleciona uma quantidade de projetos para priorizar. Essa priorização como visto no Quadro 02 acontece de acordo com o valor do retorno financeiro de cada projeto. Os demais projetos são descartados, por não existir recursos disponíveis para alocação em todos os projetos. Em seguida o modelo executa a alocação dos recursos de acordo com seu custo e afinidade com as atividades dentre os projetos priorizados.

O indicador para fazer a análise de otimização será o de custo, o objetivo é comparar o quanto realmente foi gasto com recursos humanos nestes projetos e comparar com o valor otimizado gerado com a aplicação do modelo. Com base nisso, foi executado o modelo RCMPSP nas quatro instâncias. As relações dos custos reais com os otimizados podem ser observadas nos gráficos 05, 06, 07 e 08.



Gráficos 05, 06, 07 e 08 – Comparativo do custo das instâncias 01,02,03 e 04 do RCMPSP

Os gráficos 05, 06, 07 e 08 mostram os ganhos com adoção do modelo RCMPSP em instâncias de cenários reais. Esse ganho foi calculado fazendo a divisão do custo otimizado após a utilização do modelo com o custo real gasto nesse cenário. Os ganhos foram de respectivamente 24.07%, 14.06%, 11.74% e 19.08%. Assim como nas instâncias do modelo RCPSP, vale ressaltar que na análise dos custos do RCMPSP consideram-se apenas os custos com pessoal do projeto.

Assim como analisado no modelo RCPSP, também foi verificado os limites do modelo RCMPSP. Analisar qual o intervalo de cenários em que o modelo proposto pode gerar resultados satisfatórios em tempo de obtenção da solução ótima.

Para testar os limites do *solver* LINGO para este modelo, as simulações foram semelhantes às utilizadas para o modelo RCPSP. Busca-se aumentar o tamanho das instâncias do problema e verificar o limiar para gerar soluções satisfatórias em tempo aceitável.

Para o modelo RCMPSP foi realizada uma análise para verificar quantos projetos simultâneos e quantas atividades a fábrica de software em questão

consegue executar, de acordo com o número de recursos humanos disponíveis.

Fixou-se o número de recursos humanos em doze e o intervalo de tempo de quinze dias úteis, em seguida verificou-se como se comporta o modelo com o aumento da quantidade de atividades e do número de projetos simultâneos. O limite alcançado com o modelo para esse cenário foi o de rodar 12 projetos simultâneos e 134 atividades distintas. Para essa situação foram utilizadas 8.955 variáveis binárias e um tempo de processamento de 18 segundos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o exposto, notória é a relevância de mecanismos de otimização para alocação de recursos humanos em projetos de TI. Os modelos matemáticos propostos neste trabalho alcançaram resultados satisfatórios ao serem aplicados em cenários reais de uma fábrica de software. Em todas as simulações realizadas, foi possível gerar alocações com custos menores em relação aos custos reais dispendidos no tocante as alocações de recursos humanos.

Chega-se à conclusão que tanto o modelo RCPSP, quanto o modelo RCMPSP podem ser usados para alocação de recursos heterogêneos de projetos de TI em uma fábrica de software para o contexto da fábrica de software estudada. Os ganhos foram observados em todas as instâncias analisadas, seja quando feita análise de projetos em separado (instâncias RCPSP), quanto para projetos concomitantes (instâncias RCMPSP).

Durante a fase de desenvolvimento desta pesquisa alguns gestores se mostraram interessados em aplicar na prática nossos resultados em seus projetos. Os modelos estão auxiliando no planejamento e execução dos projetos de TI da organização. O primeiro passo consiste em instanciar no LINGO o modelo para o projeto em questão, após realizar a simulação, a alocação é seguida na construção do cronograma real do projeto. Como define a alocação por dados históricos, foi possível observar que os cronogramas apresentaram para cada atividade, o recurso com mais afinidade e com menor custo disponível naquele momento. Esse trabalho de definir a alocação dos recursos do projeto até então era desenvolvido de forma manual, sem auxílio de mecanismos automatizados ou de otimização.

A automatização e otimização do processo de alocação faz com que os riscos do projeto sejam minimizados, uma vez que as distribuições das atividades são definidas de acordo com as aptidões e não dependem de uma alocação manual. A forma antiga de montar cronogramas na organização é passível de falhas haja vista a quantidade de variáveis a serem consideradas na alocação. Com adoção do modelo, tem-se observado que as atividades dos novos projetos têm menos atrasos, e os custos com recursos estão sendo minimizados.

O modelo proposto, portanto, é de grande valia para o planejamento e execução de projetos em fábricas de software. Além das contribuições práticas, esse trabalho serve de referencial teórico para interessados na área. Com os resultados positivos do modelo, essa abordagem pode ser trabalhada em paralelo com outras soluções já estudadas para o problema de alocação de recursos. Como exemplo, heurísticas GRASP, Algoritmos Genéticos e Busca Tabu podem ser implementadas de acordo com o modelo definido nesse trabalho para alcançar resultados ainda melhores em cenários com um número maior de variáveis e restrições.

Como perspectiva de trabalho futuro, vislumbram-se melhorias para o modelo de alocação. O modelo pode ser aperfeiçoado para rever o caminho crítico e realizar *fast tracking*, auxiliando ainda mais no processo de alocação. Por fim, um ponto potencial de evolução é a realização de mais estudos e simulações da aplicação do modelo com base em dados de outras empresas afins, objetivando

avaliar a aderência a diversos cenários de fábricas de softwares.

REFERÊNCIAS

- Al-Fawzan, M. A., & Haouari, M. (2005). A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling. *International Journal of Production Economics*, 96(2), 175–187.
- Baar, T., Brucker, P., & Knust, S. (1999). Tabu search algorithms and lower bounds for the resource-constrained project scheduling problem (pp. 1-18). Springer US.
- Boctor, F. F. (1993). Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes. *The International Journal of Production Research*, 31(11), 2547-2558.
- Bowers, M. R., Groom, K., & Morris, R. (1996). A practical application of a multi-project scheduling heuristic. *Production and Inventory Management Journal*, 37(4), 19.
- Bouleimen, K. L. E. I. N., & Lecocq, H. O. U. S. N. I. (2003). A new efficient simulated annealing algorithm for the resource-constrained project scheduling problem and its multiple mode version. *European Journal of Operational Research*, 149(2), 268-281.
- FILHO, E. D., GOMES, M. J. N. Um método para auxiliar as estimativas de atividades em projetos de TI. III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 2014, São Paulo-SP.
- Gagnon, M., d'Avignon, G., & Aouni, B. (2012). Resource-constrained project scheduling through the goal programming model: integration of the manager's preferences. *International Transactions in Operational Research*, 19(4), 547-565.
- Hartmann, S. (1998). A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 45(7), 733-750.
- Kerzner, H. R. (2013). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. (11th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Kolisch, R., & Hartmann, S. (2006). Experimental investigation of heuristics for resource-

- constrained project scheduling: An update. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 23-37.
- Lamoréa, F. M. M, Higashi, T. B., Ruschel, R. C., Fabricio, M. M. (2007). Técnicas de coordenação: o uso de extranets, sobreposição de projetos e listas de checagem. In: *Workshop Brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios*, Curitiba.
- Murch, R. (2000). *Project Management: best practices for IT professionals* (1st ed.). United States: Prentice Hall.
- Project Management Institute (PMI). (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (5th ed.). Autor.
- Reifer, D. J. (2002). A Little Bit of Knowledge Is a Dangerous Thing. *IEEE Software*, 19(3), 14-15.
- Rus, I., Halling, M., & Biffl, S. (2003). Supporting decision-making in software engineering with process simulation and empirical studies. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 13(05), 531-545.
- Silva, A. R. V., Ochi, L. S., & Santos, H. G. (2008, June). New effective algorithm for dynamic resource constrained project scheduling problem. In *Proc. of Int. Conf. on Eng. Optim. (ENGOPT)*, Rio de Janeiro, Brazil (June 2008).
- Vargas, R. V. (2009). *Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos* (7a ed.). Rio de Janeiro: Brasport.