

## **AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA A RESOLUÇÃO DE JOB SHOP PROBLEM COM UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS EM PROJETOS**

*Evaluating the Mathematical Models to Solve Job Shop Problem with the Use of Human Resources Specialists in Projects*

*Renato Penha*

Mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Administração, Universidade Nove de Julho – São Paulo – SP, Brasil.  
E-mail: Renato.Penha@uninove.br

*Cláudia Terezinha Kniess*

Professora do Programa de Mestrado Profissional em Administração – Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – São Paulo – SP, Brasil. E-mail: ctkniess@uninove.br

*Daniel Reed Bergmann*

Professor do Programa de Mestrado Profissional em Administração – Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – São Paulo – SP, Brasil. E-mail: danielrb@usp.br

*César Augusto Biancolino*

Professor do Programa de Mestrado Profissional em Administração – Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – São Paulo – SP, Brasil. E-mail: biancolino@uninove.br

### **Resumo**

Um projeto pode ser definido como um sistema complexo que exige o emprego de recursos (recursos humanos, materiais, tecnologia, entre outros), alocados entre fins alternativos, como meio de atingir objetivos específicos, mediante a presença de restrições de diferentes ordens. O planejamento, a alocação e a priorização de recursos humanos, inclusive Recursos Humanos Especialistas (RHE) são realizados por meio do gerenciamento de projetos de forma individual. Esse tratamento pode causar disputa interna pela utilização do mesmo recurso ou até mesmo a sua subutilização. Isso pode ser mais pronunciado em ambientes de desenvolvimento de *softwares* devido ao alto grau de interdependência, de incerteza e de risco de cada projeto. Tal necessidade está relacionada ao chamado Job Shop Problem (JSP). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar modelos matemáticos de algoritmo genético e de otimização e suas contribuições para a resolução de Job Shop Problem em projetos de desenvolvimento de *software* com a utilização de Recursos Humanos Especialistas.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Projetos. Recursos Humanos Especialistas. Job Shop Problem (JSP).

### **Abstract**

A project can be defined as a complex system. This requires the use of resources (human, material, technology, etc.), allocated among alternative uses, as a means to achieve specific goals by the presence of constraints of different orders. The planning, allocation and prioritization of resources, including human resource specialists (HRE), is performed by means of single project management. This treatment can cause internal strife by using the same resource or even its underuse, and may worsen in software development environments due to the high degree of interdependence, uncertainty and risk of each project. This need is related to the so called Job Shop Problem (JSP). In this context, the objective of this study is to evaluate the mathematical models of genetic algorithm and optimization and their contributions to solve Job Shop Problem in software development projects with the use of human resources specialists.

**Key words:** Project Management. Human Resources Specialists. Job Shop Problem (JSP).



## 1 INTRODUÇÃO

Organizações são sistemas abertos e complexos que processam os recursos como meio de atingir objetivos na presença de múltiplas restrições, internas e externas. Particularmente, o gerenciamento de projetos compreende os esforços destinados a conceber, preparar, organizar, dirigir e controlar certas ações orientadas para alocação de recursos mediante a presença de múltiplas restrições (TAVARES, 2002). Nesse sentido, projetos também podem ser definidos como sistemas abertos e complexos orientados a algum tipo de propósito (desenvolver um produto ou processo, atender um pedido de um cliente, responder a um choque tecnológico, entre outros). Ao absorver uma quantidade limitada de recursos, tais empreendimentos demandam o uso de técnicas gerenciais destinadas a integrar ações, objetivando garantir um equilíbrio entre as restrições primárias de escopo, prazo, custo e qualidade. (SHENHAR; DVIR 2010)

De acordo com o PMI (2008), cada uma das atividades de um projeto possui certo conjunto de atributos (relação de precedência, especificação de duração, definição de datas de início e término, estimativas de recursos, estimativa de custo, etc.). Devido à disponibilidade de recursos, tal ação sempre condicionará a definição do prazo de duração, bem como o custo de cada uma das atividades e do projeto. (VASCONCELOS, 2007). Desse modo, abstraindo outros aspectos, um dos fatores que relaciona unilateralmente diferentes projetos é a dotação limitada de recursos. Assim, sempre há um *trade-off* na busca de melhor desempenho quando um ou mais projetos são priorizados em detrimento dos demais (ARTTO; MARTINSUO; AALTO, 2001). Recursos ordinários (máquinas ou recursos humanos não especializados) podem ser substituídos, (re) programados e ou (re) contratados com relativa facilidade. O grande desafio surge quando os diferentes projetos demandam ou concorrem por uma quantidade limitada de um mesmo recurso escasso ou que apresenta dificuldades em termos de substituição. Do ponto de vista deste estudo, tal recurso será denominado como recurso especialista (RE). Um RE pode ser definido como: (i) um recurso escasso (que pode ser uma máquina ou recurso humano especializado); (ii) relativamente caro ou oneroso; (iii) de difícil contratação e ou substituição; (iv) que realiza

tarefas específicas de alta complexidade necessárias à execução de atividades de um ou mais projetos; (v) que, sob o ponto de vista desses projetos, apresenta acesso limitado (sendo disputado em diferentes atividades de diferentes projetos) e que, por essa razão; (vi) demanda a fixação de critérios de acesso por parte do gerente de portfólio de projetos, os quais; (vi) visam tender um dado objetivo do ponto de vista da gestão de projetos (minimização de custo, minimização de prazo, entre outros), que; (viii) pode ou não ser mutuamente excludente. (VASCONCELOS, 2007)

Com efeito, pela definição de recurso especialista, o problema da Programação de Projetos com Restrição de Recursos (Resource Constraint Project Scheduling Problem – RCPSP) consiste na definição da Programação (Scheduling) das atividades de um projeto de modo a atingir um dado objetivo (VASCONCELOS, 2007). No entanto, tal como apontado por Laslo (2010), o RCPSP também se encontra relacionado ao gerenciamento de projetos.

Não obstante, um dos principais problemas em RCPSP está associado ao Job Shop Problem (JSP). Tecnicamente, o JSP consiste em definir uma forma de garantir a alocação eficiente e eficaz de recursos especialistas, sujeito a diferentes restrições (momento de iniciação do projeto, tipificação das relações de precedências, etc), fundamentalmente a presença de relações de precedências arbitrárias (*discretionary*). Desse modo, o que caracteriza o JSP é o fato de as atividades de diferentes projetos dependerem e/ou competirem entre si pelo uso de um ou mais RE, sendo necessário o estabelecimento de critérios orientados ao gerenciamento do acesso a eles. O critério estará associado à definição prévia de objetivos a serem perseguidos. Esses podem ser: minimização do custo total do projeto, minimização do prazo total do projeto (VASCONCELOS, 2007), minimização da penalidade associada a atrasos (LASLO, 2010), maximização do valor presente do projeto (NPV), entre outros, que podem ou não ser mutuamente desprezados.

Diante desse cenário, o JSP surge em função da interdependência entre diferentes projetos e está associado à necessidade de alocar uma quantidade limitada de recursos (fundamentalmente recursos especialistas) entre esses. Dadas as suas características, o JSP é muito comum na indústria de *software*. Segundo Pressman (2006), o desenvolvimento de *softwares* é caracterizado

por três elementos: (i) produção sob encomenda; (ii) foco no desenvolvimento; e (iii) ênfase no ciclo de vida do produto. De acordo com Shenhar e Dvir (2010), a depender de sua complexidade, novidade, ritmo e ou urgência, o desenvolvimento de *softwares* pode exigir tanto o emprego de recursos humanos ordinários como também determinada quantidade de Recursos Humanos Especializados (RHE).

Diante do cenário descrito anteriormente, este trabalho circunscreve a discussão de temas ligados ao gerenciamento de projetos em ambiente de desenvolvimento de *software* marcado pela presença de JSP com a utilização de recursos humanos especialistas. Nesse sentido, alguns modelos matemáticos encontrados na literatura buscam resolver os problemas de JSP referentes ao escalonamento e ao sequenciamento de atividades, tendo como agravante os problemas relacionados à alocação de recursos humanos especialistas. Dentro desse contexto, este trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa: “Quais as contribuições dos modelos matemáticos de algoritmo genético e otimização para a resolução prática de problemas de JSP em projetos de desenvolvimento de *software* com restrição de RHE?”

Desse modo, o objetivo deste trabalho é analisar os modelos matemáticos de algoritmo genético e de otimização e suas contribuições para a resolução de Job Shop Problem em projetos de desenvolvimento de *software* com a utilização de RHE, apontando as vantagens e as limitações de cada modelo por meio de estudo teórico comparativo. Foram analisados os modelos matemáticos propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo o PMI (2008), o Gerenciamento de Projetos (GP) está relacionado com a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas em atividades não rotineiras destinadas a atender às necessidades e às expectativas específicas, internas e externas à organização. Do ponto de vista deste estudo, dar-se-á grande importância ao ambiente interno. Um aspecto crítico, diretamente associado ao ambiente interno, é o de que diferentes projetos concorrem por

uma quantidade limitada de recursos humanos e materiais (CAMPANARIO *et al.*, 2009). Do ponto de vista operacional, o GP compreende esforços destinados à criação de produto(s) e ou serviço(s) único(s) por meio de esforços temporários em meio a um contexto mais amplo do que o do próprio projeto (KERZNER, 2009). Assim, as práticas de GP cada vez mais se encontram associadas à identificação de recursos corporativos escassos e ao melhor uso deles. (PINTO; KHARBANDA, 1996)

Em certas indústrias, devido às suas particularidades inerentes, há um esforço no sentido de desenvolvimento de abordagens customizadas em GP. Tal é o caso da indústria de *softwares*, que foi objeto de estudos por parte de diversos autores, entre eles: Boehm (1988), Fairley (1994) e Presman (2006). Devido à natureza do produto, que visa atender necessidades específicas em diferentes contextos, a indústria de *software* se caracteriza por elevado grau de projetização. De fato, certas características comuns do processo de desenvolvimento de *softwares* contrastam com o processo de desenvolvimento de produtos manufaturados. Segundo Pressman (2006), o desenvolvimento de *softwares* é caracterizado por três elementos: (i) produção sob encomenda; (ii) foco no desenvolvimento; e (iii) ênfase no ciclo de vida do produto. Pressman (2006) assevera que empresas operando em indústrias que produzem sob encomenda devem possuir certas competências críticas: boa capacidade de planejamento e de controle da produção; criação ou adoção de ferramentas que sustentem a programação das ordens de produção; garantia de alocação e emprego de recursos (internos e externos) de maneira exequível e confiável, evitando subutilização e estrangulamento nos processos de execução (causados por competição interna pelo mesmo recurso); desenvolvimento de competências específicas em engenharia de projeto, produto e serviços; capacidade comercial e de oferta de serviços de assistência técnica pós-venda, entre outras. Em suma, a produção sob encomenda, característica na indústria de *software*, implica unicidade no processo de desenvolvimento, grande esforço no levantamento de requisitos/funcionalidades do produto exigindo *expertise*, alto grau de capacitação técnica e competências em gerenciamento de projetos. Devido ao alto conteúdo de urgência, complexidade e unicidade, possíveis ocorrências de desvios no orçamento e nos custos são recorrentes

nessa indústria. Em parte esses estão associados ao que se denomina Job Shop Problem (JSP), tal qual explorado nos estudos de Laslo (2010), Fattahi *et al.* (2006), Ahmed *et al.* (2004), Golenko-Ginsburg e Laslo (2004).

Tratando-se de alocação de recursos, Laslo (2010) aponta que o planejamento e a programação de recursos ocorrem entre fins alternativos em diferentes projetos, no contexto de certos objetivos (minimização de prazo, minimização de custo, ou outros.), remete a aplicação de técnicas de otimização por meio do emprego de abordagens ligadas ao Job Shop. O que é plausível em um ambiente que demanda o emprego de técnicas de gerenciamento de projetos. Assim, o modelo Job Shop está relacionado à atuação em ambientes de planejamento marcados pela presença de restrições associadas à disponibilidade limitada de recursos. (LASLO, 2010)

Fattahi *et al.* (2006) definem o JSP como o problema em se determinar um cronograma de alocação de recursos com o sequenciamento de atividades predeterminados em um ambiente de multiprojetos. Tal discussão sobre JSP também é apresentada por Ahmed *et al.* (2004) como uma das mais complicadas tarefas em se tratando de alocação de recursos. Os autores definem o objetivo da alocação de recursos como a busca de um algoritmo para se efetuar a otimização do uso de tais recursos. Dentro de um ambiente de gestão de projetos, o planejamento, a alocação e o uso de vários recursos em um ou mais projetos se tornam complexos. Ainda sobre alocação e utilização de recursos, Fattahi *et al.* (2006) apontam que o agendamento de recursos especializados é muito importante no campo da gestão de produção, mas é difícil de alcançar uma solução ótima para resolver esse problema com o melhor desempenho de otimização possível, devido à alta complexidade do ambiente computacional. Por fim, e de acordo com Fattahi *et al.* (2006), as abordagens tradicionais de gerenciamento de projetos esta questão de forma simples, tratando os recursos, inclusive os especialistas, sem restrição de alocações. Fato que, como apresentado anteriormente, também foi apontado por Mendes (2003).

Mendes (2003) define que um dos principais benefícios em se utilizar de forma otimizada os recursos por um determinado período de tempo em um projeto é a liberação do recurso o mais rápido possível para

alocação em outros projetos da carteira e redução dos riscos de não cumprimento dos prazos previamente estabelecidos. Nesse cenário, o grande desafio é definir a relação de precedência entre as atividades dos projetos e o tempo total de espera de alocação de um determinado recurso, pois existe, em um ambiente de múltiplos projetos, a restrição de recursos e a necessidade de redução de prazo das atividades. Finalmente, ao se tratar dos desafios associados à necessidade de balanceamento de recursos especialistas entre os múltiplos projetos, Laslo (2010) aponta que o grande problema é estabelecer uma regra que permita que a organização opere diferentes projetos em um ambiente de escassez dos recursos especialistas e demandas trazidas pela estratégia da empresa. Baker (1974) aponta que se o processo de sequenciamento e de escalonamento de atividades não for efetuado corretamente podem surgir problemas relacionados à alocação de recursos humanos especialistas no decorrer do tempo.

Na busca de uma solução ótima para o problema de JSP, alguns modelos matemáticos são apresentados na literatura. De acordo com Lagewag, Lenstra e Rinnoy Kan (1979), o JSP é considerado um problema de fator combinatorial e de complexidade NP-completo. Assim, Pacheco e Santoro (1999) apontam que os modelos compostos por algoritmos de otimização são considerados computacionalmente viáveis quando são aplicados a problemas pequenos. Já para problemas considerados de grande porte, às vezes, pode-se penalizar a obtenção de otimização da solução do problema por uma solução de caráter subótimo através do uso de métodos heurísticos, obtendo como resultado um tempo computacional aceitável. Por esse motivo, Pacheco e Santoro (1999) apresentam os modelos matemáticos para resolução de JSP, baseado em teste de hipóteses, em dois conjuntos: conjuntos de solução ótima (testes paramétricos) e conjuntos de soluções heurísticas (testes não paramétricos).

A classificação hierarquizada para a solução de JSP é Pacheco e Santoro (1999). De acordo com Siegel e Castellan (2006), os testes de hipótese são estabelecidos por meio de um conjunto de dados. Para isso, é necessário possuir um procedimento para aceitar ou rejeitar a hipótese em questão. Siegel e Castellan (2006) apontam também que testes de hipóteses se dividem em testes paramétricos e testes não paramétricos. Testes paramétricos são aqueles que utilizam os parâmetros

da distribuição, ou valores estimados deles para estabelecer o cálculo de sua estatística. Na maioria das vezes, esses testes são mais rigorosos e possuem mais pressuposições para sua validação. Em contrapartida, os testes não paramétricos utilizam, para o cálculo de sua estatística, postos atribuídos aos dados ordenados e são livres da distribuição de probabilidades dos valores em questão. Segundo Callegari-Jacques (2003), testes paramétricos são caracterizados pelo fato da variável estudada ter distribuição normal ou aproximação normal. Em contrapartida, testes não paramétricos, não têm exigências quanto ao conhecimento da distribuição da variável na população. Por fim, Shimakura (2012) conclui que testes paramétricos são mais rigorosos e robustos em relação aos testes não paramétricos, devido ao fato de possuírem mais pressuposições para a sua validação; enquanto os testes não paramétricos possuem para a composição da sua estatística pontos atribuídos por dados ordenados livres da faixa da distribuição das probabilidades dos dados em questão. A seguir serão descritos os modelos de soluções ótimas, soluções ótimas baseadas em programação dinâmica, modelos de soluções heurísticas e, por fim, soluções heurísticas baseados em algoritmos genéticos.

### 3 METODOLOGIA

De acordo com Acevedo e Nohara (2006), Cooper e Schindler (2008), Gil (2006), Vergara (1988), o tipo de pesquisa exploratória tem como objetivo promover aproximação ou entendimento inicial de um dado tema. Tal estratégia deve viabilizar uma boa compreensão do problema a ser estudado, entendimento de suas variáveis e inter-relacionamento entre elas, decomposição e/ou estratificação de fases necessárias para sua solução e o levantamento e a análise de informações disponíveis associadas a um problema. Nesse tipo de investigação, a pesquisa parte de certas premissas, em que tais informações são geralmente originadas por meio de estudos bibliográficos e ou levantamento de dados por meio de entrevistas.

Segundo Vergara (1998), uma pesquisa pode ser classificada quanto aos seus objetivos e meios de investigação. Nesse sentido, quanto à natureza, optou-se pela pesquisa exploratória, pois se pretendeu, com seus resultados, um entendimento melhor do JSP no contexto de projetos de desenvolvimento de *softwares*.

A questão de pesquisa descrita nesse trabalho é abordada por meio de avaliação dos modelos matemáticos, para a solução do problema de Job Shop Problem (JSP), propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) em um ambiente projetizado de desenvolvimento de *software*, conforme procedimento explicitado a seguir.

Em um primeiro momento foi realizada a descrição dos modelos matemáticos propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) para o entendimento dos parâmetros dos modelos e suas respectivas contribuições para a resolução do problema de Job Shop Problem. Para a identificação e a avaliação das contribuições dos modelos matemáticos para o objeto em estudo, foram criados os seguintes indicadores a partir de requisitos previamente estabelecidos:

- a) dimensão (tamanho da dimensão do modelo – quantidade de atividades x quantidade de recursos);
- b) processamento (tempo de processamento e espaço computacional utilizado de cada modelo matemático);
- c) escalonamento (tratamento de cada modelo em relação à priorização da data de entrega do projeto e o atraso das atividades ou atraso total do projeto);
- d) custos (finalidade de estimar o tratamento do custo por atividade em relação ao custo total do projeto); e
- e) características (determinam o tipo de modelo matemático usado e seu comportamento em relação ao JSP e estimam a utilização do modelo em um ambiente de desenvolvimento de *software*) com o objetivo de avaliar o comportamento e a eficácia de cada modelo dentro de um ambiente de desenvolvimento de *software*.

Num segundo momento foi realizado um estudo de caso único em uma empresa de desenvolvimento de *software* com o objetivo de avaliar a aderência dos modelos matemáticos em estudo em um caso real. O estudo de caso é uma pesquisa de caráter empírico que tem por objetivo investigar os fenômenos em seu contexto real (YIN, 2005). Para alcançar tais objetivos, esse tipo de metodologia de pesquisa proporciona a coleta estruturada de informações sobre um ou vários objetos de estudo e pode ser aplicado para descrever,

explicar, avaliar e explorar fenômenos contemporâneos que não estão sob o controle do investigador.

Para Yin (2005, p. 20):

O estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos acontecimentos da vida real – tais como ciclos de vida individuais, processos organizacionais e administrativos, mudanças ocorridas em regiões urbanas, relações internacionais e a maturação de setores econômicos.

Nesse sentido, para o estudo de caso em questão, foram levantados dados primários e secundários por meio de análise documental, observação e entrevista semiestruturada com o gestor de projetos da empresa.

A empresa estudada é uma companhia líder no mercado de idioma hispano-português de Contact Center. Iniciou suas atividades no Brasil no estado de São Paulo, no ano de 1999, no ramo de *Call Center*. O gestor de projetos é responsável por toda a carteira de projetos financeiros da empresa analisada, participando na tomada de decisões desde a fase de planejamento até o acompanhamento pós-implantação de todos os projetos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os problemas relacionados ao escalonamento, segundo Baker (1974), são aqueles que estão referentes à alocação de recursos no tempo com o objetivo de executar um conjunto de tarefas além de suas soluções serem consideradas complexas e de grandes desafios computacionais. Nesse contexto, um recurso é considerado uma máquina e uma tarefa é denominada *job* e cada *job* tem seu início e término bem definidos. No geral, problemas de escalonamento estimam um conjunto de tarefas (atividades) que devem ser executadas em um determinado conjunto de máquinas com a finalidade de efetuar a melhor distribuição dessas atividades às máquinas visando aperfeiçoar o desempenho, caracterizando assim o JSP.

Laslo (2010), Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) apresentam modelos matemáticos em busca da solução dos problemas de JSP. Laslo (2010) apresenta um modelo matemático de otimização não paramétrico, enquanto

Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) apresentam seus modelos baseados em algoritmos genéticos.

Este trabalho procurou avaliar as contribuições de cada modelo na busca da solução dos problemas causados pelo JSP, dentro de uma empresa de desenvolvimento de *softwares* com utilização de RHE. Os resultados são descritos a seguir.

### 4.1 Modelo Proposto por Laslo (2010)

O modelo proposto por Laslo (2010) é um modelo não paramétrico para cálculo da melhor solução ótima para o problema de JSP baseado no processo de otimização e de alocação de recursos humanos especialistas. Para isso, esse modelo utiliza transferências dos recursos de seus departamentos para determinados projetos por um período de tempo predeterminado, obtendo assim melhores resultados. O modelo de Laslo (2010) é um modelo matemático não paramétrico para cálculo da melhor solução ótima para o problema de JSP baseado no processo de otimização e de alocação de recursos humanos especialistas. O modelo de Laslo (2010) faz o tratamento da minimização dos custos das penalidades contratuais. Para isso, baseia-se na informação da contratação de recursos especialistas entre diferentes projetos de um portfólio.

### 4.2 Modelo Proposto por Gonçalves, Mendes e Resende (2002)

Gonçalves, Mendes e Resende (2002) apresentam um modelo para solução do JSP, baseado em algoritmo genético, utilizando o conceito de chaves aleatórias para o tratamento de tempo das operações (atividades). O modelo utiliza um algoritmo genético para a definição de prioridades das operações, parametrizando os tempos. Como forma de saída, o modelo apresenta um cronograma com o objetivo de buscar a melhor solução ótima para o problema.

Os autores utilizaram em seu modelo o conceito de programação ativa com o objetivo de controlar esses atrasos e de diminuir o tempo de conclusão da operação. (GONÇALVES; BEIRÃO, 1999)

O modelo proposto por Gonçalves, Mendes e Resende (2002) é o resultado da combinação entre o uso de algoritmo genético, um processo que calcula o

tempo ativo das operações e de uma funcionalidade que efetua a busca local das operações, respeitando as seguintes fases: (i) atribuição das prioridades das operações; (ii) processo de construção; e (iii) procedimento de busca local (efetua a análise do resultado da programação ativa, visando melhorar a solução obtida).

#### 4.3 Modelo Proposto por Müller, Rodrigues e Gómez (2006)

O modelo proposto por Müller, Rodrigues e Gómez (2006) utiliza o makesplan, o tempo total de paradas e o tempo total de atrasos para a solução de JSP clássico. O modelo aborda dois problemas associados ao JSP: (i) seleção das partes – para o processo de geração de famílias, o modelo se baseou no método de análise por fluxo de produção proposto por Kusiak e Chow (1987); e (ii) escalonamento das partes (a finalidade é efetuar o melhor sequenciamento das atividades (*Jobs*) nas máquinas disponíveis por meio de percurso predefinido em função do tempo). O processo de sequenciamento é feito de por meio de métodos de otimização (um dos algoritmos em destaque para esse método são os algoritmos genéticos).

Müller, Rodrigues e Gómez (2006) ressaltam que além de ter como objetivo a otimização do makesplan, o modelo efetua a gestão das datas de entrega (minimização do atraso) e a produtividade (minimizar as paradas de produção).

#### 4.4 Características dos Modelos Matemáticos em Relação ao Tratamento do JSP

A partir da apresentação dos modelos matemáticos descrita anteriormente, o Quadro 1 apresenta as principais características de cada modelo em relação à solução de JSP.

MODELO MATEMÁTICO	CARACTERÍSTICAS
Laslo (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo matemático paramétrico</li> <li>• Otimização de recursos</li> <li>• Minimização de penas contratuais</li> <li>• Transferência de recursos em diversos projetos por um período pré-determinado</li> </ul>
Gonçalves, Mendes e Resende (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo matemático não paramétrico</li> <li>• Chaves aleatórias para o tratamento do tempo</li> <li>• Algoritmo genético para definição de prioridades e parametrização de tempos das atividades</li> <li>• Cronograma com a melhor solução</li> </ul>
Müller, Rodrigues e Gómez (2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo matemático não paramétrico</li> <li>• Utiliza o tempo total de parada e atraso das atividades</li> <li>• Algoritmo genético responsável pelo sequenciamento das atividades</li> <li>• Busca do melhor sequenciamento de atividades</li> </ul>

Quadro 1: Modelos matemáticos utilizados e suas principais características.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

#### 4.5 Requisitos de Aderência x Modelos Matemáticos para a Solução de JSP

A solução para os problemas de escalonamento consiste em efetuar a melhor distribuição das tarefas e da máquina ao longo do tempo. Tratando-se de Job Shop Problem, Ahmed *et al.* (2004) aponta que uma das mais complicadas tarefas é a alocação ótima de recursos, cujo objetivo é sempre a busca de um algoritmo para se efetuar a otimização do uso de tais recursos. A complexidade para a solução também é discutida por Reeves (1994), apontando que os problemas de otimização combinatória são problemas em que se busca encontrar um arranjo de variáveis de decisão, representadas por objetos discretos, em que a solução encontrada represente a solução ótima ao problema proposto.

O Quadro 2 apresenta as contribuições dos modelos propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e seus respectivos resultados para o tratamento de JSP, por meio da avaliação de indicadores predefinidos.

REQUISITO	INDICADOR	RESULTADO
Dimensão	Modelos até 10x10 (quantidade de <i>Jobs</i> x quantidade recursos)	De acordo com Gonçalves, Mendes e Resende (2002), a utilização de modelos matemáticos paramétricos – modelo proposto por Laslo (2010) – tem obtido resultados eficazes em busca da solução ótima para modelos de JSP de até 10x10.
	Modelos superiores a 10x10 (quantidade de máquinas x quantidade de <i>Jobs</i> – operações)	Para modelos com dimensões superiores a 10x10, Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller e Rodrigues e Gómez (2006) asseveram a necessidade do uso de modelos heurísticos (modelos Não Paramétricos).
Processamento	Tempo de processamento estimado	Indicador não é tratado nos três modelos propostos neste estudo.
	Volume de dados gerados pelas equações	Tratado apenas pelo modelo proposto por Gonçalves, Mendes e Resende (2002), em que o algoritmo genético responsável pela elaboração do caminho ótimo das atividades.
Custos	Por <i>Job</i> (atividade)	O modelo de Laslo (2010) trata o custo direto associado ao emprego do recurso por período de tempo e o custo da penalidade por unidade de tempo em atraso. Os modelos de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) não abordam este requisito.
	Total	O modelo de Laslo (2010) trata o custo da penalidade por não conclusão do projeto no prazo contratual. Os modelos de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) não abordam este requisito.
Escalonamento	Priorização da data de entrega	O modelo de Laslo (2010) trata o início e o término de cada atividade sem a possibilidade de priorização. O modelo de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) permite a priorização levando em consideração o tempo de cada atividade. Já o modelo de Müller, Rodrigues e Gómez (2006) procura efetuar o melhor sequenciamento das atividades através do seu percurso ótimo, sem a possibilidade de priorização.
	Tratamento ao atraso	Em caso de atraso, o modelo de Laslo (2010) calcula as despesas do makesplan, a ociosidade dos recursos humanos especialistas e o custo das despesas de atraso. Gonçalves, Mendes e Resende (2002) em seu modelo abordam o indicador efetuando o tratamento de cada iteração através de seu algoritmo de programação. O modelo proposto por Müller, Rodrigues e Gómez (2006) efetua o tratamento ao atraso de cada iteração através de algoritmo genético.
Características	Modelo matemático usado	O modelo de Laslo (2010) é um modelo matemático de solução ótima (Paramétrico) com utilização de Programação Dinâmica com exercício de Minimização. Os modelos de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) são modelos matemáticos heurísticos (não paramétricos) baseados em algoritmos genéticos. O modelo de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) utiliza-se de distribuição CrossOver para a solução do JSP, enquanto o modelo de Müller, Rodrigues e Gómez (2006) faz o tratamento do JSP levando-se em consideração o algoritmo genético SMF proposto por Stecker (1986).
	Uso do modelo em ambiente de softwares	O uso do modelo de Laslo (2010) através de <i>software</i> ou planilha pode se tornar inviável devido a grande quantidade de equações, restrições e parâmetros de entrada dos algoritmos. A construção de um <i>software</i> especializado ou planilha eletrônica, respeitando as regras de confecção do modelo é viável para os modelos propostos por modelos de Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006).

Quadro 2: Indicadores de eficácia do modelo de otimização propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) para a solução de JSP

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

## 4.6 Estudo de Caso – Projetos de Desenvolvimento de *Software*

A empresa abordada nesta pesquisa é uma companhia líder no mercado de idioma hispano-português de *Contact Center*. Iniciou suas atividades no Brasil no Estado de São Paulo, no ano de 1999, no ramo de *Call Center*. A partir de 2000 começou a expansão de seus negócios com a criação de novos serviços nas áreas de finanças, telecomunicações, seguros, tecnologia e indústrias, alcançando como resultado o *status* de uma empresa de *Contact Center* com a prestação de serviços em múltiplas plataformas e tecnologias. Alguns dados importantes da atuação da empresa no Brasil no ano de 2010 são descritos a seguir:

- a) atuação em 17 países;
- b) em 2010, a receita da empresa apresentou um crescimento de 1.663 bilhões de euros;
- c) desde o ano 2000, a empresa multiplicou por três o número de funcionários, passando de 40.324 para 152.000;
- d) administra operações em todos os níveis de complexidade e tamanho; e
- e) possui mais de 500 clientes de diversos setores em todo o mundo.

Os ramos de negócios da empresa objeto deste trabalho estão divididos em três regiões ao redor do mundo: Os ramos de negócios da empresa objeto deste trabalho estão divididos em três regiões ao redor do mundo: (i) Brasil (país onde a empresa possui elevado volume de receita); (ii) Américas (região que compreende as operações do continente Americano, nos países Estados Unidos, Porto Rico, Argentina, Chile, Colômbia, El Salvador, Guatemala, México, Panamá, Peru, Uruguai e Venezuela) e (iii) EMEAA – Europa, Oriente Médio, África e Ásia (região que compreende os países Espanha, França, Marrocos e República Checa).

### 4.6.1 Problemas Enfrentados pela Empresa

A disputa acirrada pela alocação de recursos humanos especialistas em projetos de desenvolvimento de *softwares* cresceu de forma abrupta devido ao crescimento de sua carteira de clientes. A rigor, a área responsável pelo desenvolvimento de *softwares* cresceu no ritmo da empresa. Com o aumento de projetos e a escassez de recursos humanos especialistas dentro da área de desenvolvimento de *softwares* da empresa,

a disputa por esse tipo de recurso humano se tornou acirrada. A Tabela 1 apresenta a quantidade anual de projetos de desenvolvimento de *software* e a quantidade de projetos com desvio de prazo (causados por problemas de escalonamento de recursos e sequenciamento de atividades), durante o período de janeiro 2008 até junho de 2010.

Tabela 1: Quantidade total de projetos e de projetos com problemas de desvio de prazos originados por sequenciamento de atividades e escalonamento de recurso

ANO	TOTAL DE PROJETOS	PROJETOS COM DESVIO DE PRAZO
2008	150	42
2009	176	48
2010	96	17

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo

Em suma, os problemas dos desvios de prazos dos projetos de desenvolvimento de *software* se processaram em meio:

- a) à escassez de recursos humanos especialistas;
- b) à competitividade por utilização de recursos humanos especialistas nos projetos;
- c) à complexidade em se calcular os custos ocasionados pelos desvios (custo total e por desvio de atividade); e
- d) às dificuldades em efetuar a priorização de projetos com o objetivo de minimizar os problemas nos atrasos dos projetos.

### 4.6.2 Aspectos Relacionados à Resolução de JSP no Caso em Estudo

Para a validação dos resultados obtidos por meio da avaliação dos requisitos descritos anteriormente, foi avaliada a aderência do uso dos modelos propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) em um caso real em uma empresa de desenvolvimento de desenvolvimento de *software*. Foi realizada uma entrevista semiestruturada com o gestor de projetos da empresa em estudo de acordo com a estrutura apresentada no Quadro 3. O gestor de projetos é responsável por toda a carteira de projetos de desenvolvimento de *software* financeiros da empresa analisada, participando na tomada de decisões desde a fase de planejamento até o acompanhamento pós-implantação de todos os projetos.

QUESTIONAMENTO	PRINCIPAIS PONTOS DA RESPOSTA
Qual a média anual da alocação de recursos (humanos e máquinas) nos projetos de sua competência?	Foram 11 recursos, compostos por analistas de sistemas e programadores.
Como são tratados os atrasos em relação aos projetos?	<p>Todo projeto com risco de atraso passa por uma análise onde são verificados os motivos do atraso, seus impactos e as alternativas possíveis para recuperá-lo.</p> <p>A decisão de que ação será tomada varia de acordo com o projeto, pois depende do impacto que esse atraso trará ao negócio e da viabilidade da ação. Normalmente são três opções discutidas:</p> <p>a) negociação com cliente para prorrogação do prazo;                      b) superalocação de recursos (uso de hora extra); e                      c) alocação de recursos adicionais.</p>
Em caso de desvio de prazo de entrega do projeto, quais são os fatores críticos que são analisados?	<p>São analisados os motivos do atraso, que normalmente podem ser: (i) o atraso originado no cliente; (ii) a desempenho/produzitividade abaixo da expectativa; (iii) a alteração de escopo não controlado; (iv) erro nas estimativas das atividades; (v) o atraso por parte do fornecedor; e (vi) a ausências/faltas não planejadas de recursos. Também são analisados os impactos no negócio, como: (i) a relação direta com processos de negócio, por exemplo, regra obrigatória a partir de determinada data; (ii) perdas financeiras decorrentes do atraso; (iii) os custos associados; (iv) impacto na imagem da empresa e; (v) impacto na satisfação do cliente. A partir dessas informações serão analisadas as alternativas para recuperação ou adiamento do projeto.</p>
Como é feita a alocação de recursos humanos especialistas nos projetos, principalmente para projetos com alto nível de criticidade?	<p>São avaliados os seguintes itens para alocação do recurso:</p> <p>a) complexidade/característica da demanda x perfil dos recursos da equipe;                      b) urgência/prazo da entrega;                      c) disponibilidade dos recursos;                      e                      d) projetos em andamento e na fila de espera.</p>

QUESTIONAMENTO	PRINCIPAIS PONTOS DA RESPOSTA
A priorização da data de entrega dos projetos é uma prática frequente dentro da carteira de projetos?	Sim. Muitas vezes os projetos estão associados a um início de vigência de regras de negócio, início de vigência de legislação ou necessidades específicas de negócio que demandam repriorização, revisão das alocações e reprogramação de datas de entrega dos projetos.
Como um modelo matemático poderia ajudar no processo de alocação de recursos em projetos?	<p>Um modelo matemático poderá ajudar contemplando os seguintes requisitos:</p> <p>a) servir como ferramenta de apoio no processo de alocações de forma a agilizar e facilitar a identificação de melhor cenário de alocação; e                      b) redução de ociosidade e consequentemente de custos por alocação mais adequada dos recursos.</p>

Quadro 3: Aspectos relacionados à entrevista realizada com o gestor de projetos

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

Com base nas respostas descritas no Quadro 3, o Quadro 4 demonstra a aderência dos modelos de otimização proposto por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) a cada indicador de eficácia ao ambiente de desenvolvimento de *software* da empresa objeto deste estudo.

REQUISITO	INDICADOR	LASLO (2010)	GOÑÇALVES, MENDES E RESENDE (2002)	MÜLLER, RODRIGUES E GÓMEZ (2006)
Dimensão	Modelos até 10x10	Aderente	Não Aderente	Não Aderente
	Modelos superiores a 10x10	Não Aderente	Aderente	Aderente
Processamento	Tempo de processamento estimado	Não Aderente	Não Aderente	Não Aderente
	Volume de dados gerados pelas equações	Não Aderente	Não Aderente	Aderente

REQUISITO	INDICADOR	LASLO (2010)	GONÇALVES, MENDES E RESENDE (2002)	MÜLLER, RODRIGUES E GÓMEZ (2006)
Custos	Por Job (Atividade)	Aderente	Não Aderente	Não Aderente
	Total	Aderente	Não Aderente	Não Aderente
Escalonamento	Priorização da data de entrega	Não Aderente	Aderente	Não Aderente
	Tratamento ao atraso	Aderente	Aderente	Aderente
Características	Modelo matemático usado	Não Aderente	Aderente	Aderente
	Uso do modelo em ambiente de softwares	Não Aderente	Aderente	Aderente

Quadro 4: Aderência dos modelos de Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) x indicador de eficácia

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou as contribuições dos modelos de otimização propostos por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Mendes e Resende (2002) para a resolução prática de problemas de JSP em projetos dentro de um ambiente de desenvolvimento de *software*. Como discutido, um dos grandes desafios dessas empresas é quando diferentes projetos necessitam ou concorrem por uma quantidade limitada de um mesmo recurso humano. Esse cenário torna-se agravante quando a disputa é em relação aos recursos que executam tarefas de alta criticidade, denominados recursos humanos especialistas. Esse cenário contribui para a formulação de um dos maiores desafios a serem solucionados – o JSP. As informações apresentadas neste estudo têm como objetivo avaliar a aderência da utilização do modelo de otimização para o JSP proposto por Laslo (2010), Müller, Rodrigues e Gómez (2006) e Gonçalves, Men-

des e Resende (2002) em projetos de desenvolvimento de *software*. Para isso, foram observadas algumas características desses modelos.

O fato de a empresa possuir um cenário no qual fica incontestável a existência de modelo de JSP superior a 10x10, para se atingir uma melhor eficácia na busca pela melhor solução ótima, torna-se necessário a utilização de modelos matemáticos heurísticos (não paramétricos). Desse modo, a utilização do modelo proposto por Laslo (2010) não é recomendado, devido às suas características matemáticas usadas, além da complexidade das equações utilizadas.

Para o requisito de escalonamento, o indicador “Tratamento ao atraso” é aderente aos três modelos utilizados neste estudo, variando apenas a forma como são abordados por seus algoritmos internos para o cálculo do sequenciamento das atividades. Em relação ao indicador “Priorização da data de entrega”, apenas o modelo proposto por Gonçalves, Mendes e Resende (2002) é aderente, uma vez que a priorização da data de entrega dos processos é uma prática utilizada pela empresa em seus projetos.

A empresa efetua o cálculo dos custos (total e por atividade) de seus projetos causados por desvios de prazo. Como os modelos propostos por Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) não abordam esses indicadores, recomenda-se a utilização do modelo de Laslo (2010). Ainda tratando-se de custos, a empresa possui a necessidade de calcular o custo da ociosidade de recursos, principalmente recursos humanos especialistas. Para esse fator, é recomendada também a utilização do modelo de Laslo (2010), pois somente esse modelo trata tal requisito.

Outro indicador contido no ambiente de desenvolvimento de *softwares* da empresa é a priorização de atividades. Essa prática ocorre de maneira constante dentro do ambiente de projetos da empresa. Para esse indicador, é aconselhado o uso do modelo proposto por Gonçalves, Mendes e Resende (2002).

Neste trabalho, não se pretendeu apontar qual é o melhor modelo matemático a ser utilizado para as necessidades apresentadas pelo gestor de projetos da empresa objeto deste estudo, mas o de apresentar o nível de aderência de cada modelo em busca da melhor solução dos problemas enfrentados em um ambiente caracterizado pela presença de JSP com utilização de RHE; uma vez que Pacheco e Santoro (1999) definem

que um modelo matemático mais adequado para tratamento do JSP seria baseado na união dos modelos exato e heurístico, juntando as melhores técnicas entre ambos na busca da melhor solução ótima.

Como sugestão para trabalhos futuros destaca-se a realização de pesquisas relacionando a aplicação dos modelos propostos por Laslo (2010), Gonçalves, Mendes e Resende (2002) e Müller, Rodrigues e Gómez (2006) em relação à aderência de outros indicadores. Entende-se também como relevante uma análise comparativa por meio da utilização de outros modelos de otimização para a resolução do problema de JSP em projetos.

## REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. **Monografia no curso de administração, guia completo de conteúdo e forma**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- AHMED, P. *et al.* Solving stochastic job shop scheduling problems by a hybrid method. **University of Wolverhampton**, Reino Unido, 2004.
- ARTTO, K.; MARTINSUO, M.; AALTO, T., Project portfolio management: strategic management through projects. **Project Management Association Finland**, Helsinki: PMA - Project Management Association Finland, p. 5-22, 2001.
- BAKER, K. R. **Introduction to sequencing and scheduling**. Canada: John Wiley and Sons Inc, 1974.
- BOEHM, B. A spiral model of software development and enhancement. **IEEE Software**, IEEE Computer Society Press (Los Alamitos, CA, US), v. 21, p. 61-72, 1988.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CAMPANARIO, M. A. *et al.* Desenvolvimento de um curso de mestrado profissional sob a perspectiva de gestão de projetos. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, v. 11, p. 423-442, 2009.
- COOPER, D., R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- FAIRLEY, R. Risk management for software's projects. **IEEE Software**, IEEE Computer Society Press (Los Alamitos, CA, US), p. 54-66, 1994.
- FATTAHI, P. *et al.* An algorithm for multi-objective job shop scheduling problem. **Journal of Industrial Engineering International**, Germany, v. 2.006, n. 3, p. 43-53, 2006.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- GOLENKO-GINZBURG, D.; LASLO, Z. Chance constrained oriented dispatching rules for flexible job shop scheduling. **Computer Modelling & New Technologies**, Transport and Telecommunication Institute (Latvia), v. 8, n. 2, p. 14-18, 2004.
- GONÇALVES, J. F.; MENDES, J. M.; RESENDE M. C. G. A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, The Netherlands, To appear, 2004.
- KERZNER, H. **Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling**. Tenth Edition. ed. New York: John Wiley and Sons, 2009.
- LAGEWAG, B. J.; LENSTRA, J. K.; RINNOOY KAN, A. H. G. Job shop scheduling by implicit enumeration. **Management Science**, Hanover – USA, v. 24, p. 441-450, 1979.
- LASLO, Z. Project portfolio management: an integrated method for resource planning and scheduling to minimize planning/scheduling-dependent expenses. **International journal of project management**, The Netherlands, p. 609-618, 2010.
- MENDES, J. J. M. **Sistema de apoio à decisão para planejamento de sistemas de produção tipo projecto**. 256 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de engenharia da universidade do Porto, Porto, 2003.
- MÜLLER, G. I.; RODRIGUES, A. G.; GÓMEZ, A.T. Um modelo baseado na busca tabu aplicado ao problema do escalonamento do job-shop com setup e data de entrega. **Hifen**, Uruguaiana, v. 30, 2006.

PACHECO, R. F.; SANTORO, M. C. Proposta de classificação hierarquizada dos modelos de solução para o problema de job shop scheduling. **Gestão e produção**. Revista do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Carlos, p. 1-15, 1999.

PINTO, J. K.; KHARBANDA, O. P. How to fail at project management (without really trying). **Software Management**, Indiana University, Indiana, v. 39, cap. 4, p. 45-53, 1996.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide**. 4. ed. Newton Square: Project Management Institute, 2008.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**. São Paulo: Makron Books, 2006.

SHENHAR, A.; DVIR, D. **Reinventando gerenciamento de projetos: a abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos**. São Paulo: Makron Books, 2010.

SHIMAKURA, S. E. **Bioestatística A**. Departamento de Estatística, UFPR. [2012]. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~shimakur/CE055/>>. Acesso em: 14 abr. 2012.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

TAVARES, M. G. P. **Cultura Organizacional**. Rio de Janeiro: Quality Mark, 2002.

VASCONCELOS, R. V. J. C.; FERREIRA FILHO, V. J. M. Algoritmo Genético para o Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recurso: uma aplicação em operações em poços de petróleo. **Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Goiânia, 2007.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1998.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.