



Production

ISSN: 0103-6513

production@editoracubo.com.br

Associação Brasileira de Engenharia de

Produção

Brasil

CERÁVOLO CALIA, ROGÉRIO; MÜLLER GUERRINI, FÁBIO  
Projeto Seis Sigma para a implementação de software de programação  
Production, vol. 15, núm. 3, septiembre-diciembre, 2005, pp. 322-333  
Associação Brasileira de Engenharia de Produção  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=396742025004>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Projeto Seis Sigma para a implementação de software de programação

ROGÉRIO CERÁVOLO CALIA

FÁBIO MÜLLER GUERRINI

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

## Resumo

O artigo visa analisar a eficácia organizacional da metodologia Seis Sigma na gestão de projetos para a redução de atrasos e redução de estoques na manufatura, por meio da implementação de um *software* com algoritmos da Teoria das Restrições. Inicialmente, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a gestão de projetos na perspectiva da gestão da mudança organizacional nos processos de negócios. Em seguida, são revistos os conceitos sobre a metodologia Seis Sigma para a gestão de projetos e sobre os algoritmos da Teoria das Restrições. Então, são descritos os estudos de caso em dois projetos de implementação do *software* da Teoria das Restrições, sendo que apenas uma das implementações utilizou-se da metodologia Seis Sigma para a gestão do projeto. Na análise dos resultados, busca-se compreender os motivos de o projeto com a metodologia Seis Sigma ter reduzido inventário três vezes mais rápido do que o projeto sem o Seis Sigma.

## Palavras-chave

Gestão de Projetos, Seis Sigma, *Software* de Programação, Teoria das Restrições.

# *Six Sigma project for scheduling software Implementation*

## Abstract

*The article aims to analyze the organizational effectiveness of the Six Sigma methodology for project management to reduce delays and to reduce inventory in manufacture, by the implementation of software with Theory of Constraints algorithms. Initially, the article presents a bibliographic revision on project management and its impact on the organizational change management for improving business processes. Then, the article revises the concepts about the Six Sigma methodology for project management and about the Theory of Constraints algorithms. It follows, the case studies descriptions on two implementation projects of the Theory of Constraints software, in which only one of these implementations adopted the Six Sigma methodology in the project management. In the results analyzes, the article discusses the reasons why the project with the Six Sigma methodology was three times faster than the other project.*

## Key words

*Project management, Six Sigma, Scheduling Software, Theory of Constraints.*

## INTRODUÇÃO

O grau de dificuldade na gestão de projetos de implementação de uma metodologia de gestão na manufatura depende das características das mudanças por ela geradas nos processos organizacionais. Quanto mais as melhorias forem radicais, mais as mudanças tendem a ser turbulentas e arriscadas. Por outro lado, quanto mais as melhorias forem incrementais, mais as mudanças tendem a ser estáveis e orgânicas (SLACK, 2002).

Na empresa analisada pelos estudos de caso, observou-se que as metodologias de gestão surgidas e sistematizadas no interior de organizações contam com uma proporção mais equilibrada, entre mudanças radicais e mudanças incrementais, do que uma metodologia descoberta no laboratório de um cientista. Por exemplo, a tão difundida Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) surgiu diretamente do Sistema Toyota de Produção, sistematizado ao longo de décadas nessa empresa automobilística japonesa. Também a metodologia Seis Sigma passou pelo amadurecimento organizacional, primeiramente na Motorola, depois na Allied Signal e na General Electric. Em oposição, a Teoria das Restrições surgiu da engenhosidade de um cientista de *hard science*. Disto decorre uma maior proporção de mudanças radicais durante a implementação da Teoria das Restrições no processo de atendimento a pedidos, o que representa um interessante desafio na gestão de projetos de implementação de um *software* de programação da produção com algoritmos da Teoria das Restrições.

Em sua pesquisa de doutorado em física, o Dr. Eliyahu Goldratt descobriu princípios de otimização de fluxo de líquidos. Na década de 1980, Goldratt transpôs tais princípios aos problemas de programação de produção de uma fábrica. Desta experiência, foi criado o *software Optimized Production Technology*, que utiliza os princípios que Goldratt denominou de Teoria das Restrições (GOLDRATT, 1991). Na década de 1990, Goldratt redirecionou seu foco. Saiu do mercado de *software* para se dedicar à diversificação das aplicações da Teoria das Restrições e a apoiar que empresas de *software* ao redor do mundo desenvolvessem aplicativos com base nos algoritmos da Teoria das Restrições.

A Teoria das Restrições contribuiu para a diminuição de atrasos, diminuição de inventário e diminuição de *lead-time* em várias manufaturas (CSILLAG & CORBETT, 1998). No entanto, em muitas manufaturas, a implementação da Teoria das Restrições na programação e controle da produção significa uma profunda mudança no processo de atendimento de pedidos e na forma de os departamentos envolvidos interagirem.

Além disso, Woeppe (2000) descreve os problemas na transferência de *know-how* da Teoria das Restrições. Com mais de dez anos de experiência como implementador, o autor observa que, em várias manufaturas, o profissional interno que liderou a implementação da Teoria das Restrições obtém os resultados e, em seguida, muitas vezes abandona o seu cargo, devido a uma promoção ou a uma proposta de trabalho em outra empresa. Com a saída deste profissional com maior conhecimento na metodologia, o uso de Teoria das Restrições, freqüentemente, se deteriora e os resultados obtidos, em grande parte, se perdem.

Por outro lado, a metodologia Seis Sigma (PANDE, NEUMAN & CAVANAGH, 2001) tem contribuído significativamente para a implementação de projetos de melhoria de processos organizacionais. Jack Welch (2001), ex-CEO da *General Electric*, descreve como a metodologia Seis Sigma, utilizada para a gestão de projetos com validação estatística, foi um fator decisivo para melhorar a eficácia da GE.

**A**s pesquisas mais recentes sobre inovação têm enfocado os condicionantes organizacionais que viabilizam a inovação.

O propósito do artigo é descrever o resultado da gestão de projetos pela metodologia Seis Sigma na implementação de um *software* de programação e controle da produção com algoritmos da Teoria das Restrições. Para isso, foram realizados dois estudos de caso nos quais um dos autores coordenou a implementação da Teoria das Restrições em duas manufaturas de uma subsidiária brasileira de uma multinacional americana. Na primeira manufatura, a gestão de projetos não utilizou a metodologia Seis Sigma, enquanto que, na segunda manufatura, a implementação da Teoria das Restrições foi realizada por um projeto Seis Sigma.

A pesquisa descreve os resultados de ambos os projetos e compara como o tempo de duração do projeto (variável dependente) foi determinado pela metodologia de gestão do projeto (variável independente), conforme mostra a Figura 1.

Nesta análise exploratória, buscar-se-á compreender como e por que estas variáveis dependentes e independentes interagem. Tal explicação será avaliada ao se observar as alterações na gestão de mudança organizacional, pois a metodologia de gestão de projetos pode

direcionar a evolução das capacidades organizacionais que geram as mudanças nos processos de negócio e as decorrentes melhorias de desempenho.

O artigo será iniciado com uma revisão conceitual sobre gestão de mudança, sobre aspectos gerais de gestão de projetos, sobre gestão de projetos pela metodologia Seis Sigma e sobre os algoritmos da Teoria das Restrições para o planejamento e controle da produção. Em seguida, os estudos de caso serão apresentados e comparados. Por fim, serão sintetizadas as conclusões sobre a contribuição da metodologia Seis Sigma na gestão de projetos, tanto para implementar o *software* da Teoria das Restrições, como para desenvolver a gestão de mudança que gera e mantém o conhecimento tácito nos procedimentos organizacionais de planejamento e controle da produção pela Teoria das Restrições.

### A Gestão da Mudança

Com base em estudos empíricos em mais de cem empresas ao longo de uma década, o pesquisador de Harvard Kotter (1995) identificou as principais fases necessárias para um processo de mudança eficaz na empresa.

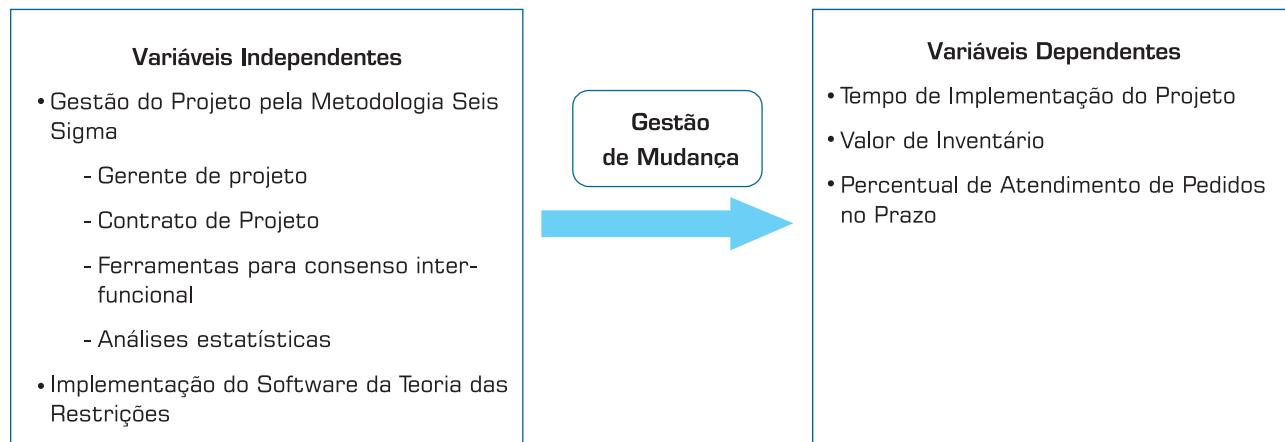
Kotter (1995) enumera as seguintes fases essenciais:

1. A primeira fase consiste em criar, na organização, o “senso de urgência” para motivar a mudança. Para isso, analisa-se a real posição competitiva da empresa e as tendências tecnológicas, para confrontá-las com o desempenho atual da organização;
2. Como segundo passo, as empresas que souberam conduzir o processo de mudança criaram um grupo coeso de líderes que se comprometem com a melhoria do desempenho organizacional e a direcionam;
3. A terceira fase visa definir uma clara visão, uma imagem de

futuro facilmente comunicável para os empregados e acionistas da empresa, de modo a transmitir a todos qual será a trajetória futura. Esta fase é importante por proporcionar coesão aos vários projetos e ações pontuais necessárias para efetivar a mudança. É o texto da visão que, quando bem elaborado, cria a compreensão e o interesse pela mudança;

4. Na quarta fase, as empresas que souberam gerenciar a mudança também comunicaram eficientemente a sua visão. Essa comunicação deve ser tanto abrangente, quanto coerente. Abrangente por utilizar diversos veículos de comunicação complementares. E coerente por se expressar no comportamento dos líderes da empresa;
5. Em seguida, na quinta fase, a empresa identifica e remove os obstáculos organizacionais que impedem a realização da visão. Apenas ao demonstrar ser capaz de remover os principais obstáculos à visão de mudança, a alta gerência adquire a credibilidade necessária para realmente obter o comprometimento da organização;
6. A sexta fase também torna a mudança tangível, ao sistematicamente planejar e obter alguns resultados de curto prazo na direção da mudança, para mostrar claramente que, apesar de a mudança almejada requerer um longo e trabalhoso percurso, existem melhorias perceptíveis comprovando que vale a pena o esforço. Tais resultados podem estar em indicadores como produtividade, participação de mercado, lucratividade ou eficácia no lançamento de novos produtos;
7. Na sétima fase, a empresa em processo de mudança organizacional procura metas maiores do que as de curto prazo para manter o bom desempenho, sem abandonar o comprometimento com os novos sistemas organizacionais, devido a uma falsa sensação precoce de já se ter obtido a vitória;

Figura 1: Modelo conceitual do estudo.



Fonte: Figura dos autores

8. Por fim, a oitava fase realiza a “ancoragem” das mudanças obtidas dentro da cultura organizacional, ou seja, no estilo de trabalho dominante na empresa. Isso é realizado ao se evidenciar como os resultados obtidos se devem à mudança realizada e ao ficar evidente, por meio dos critérios de promoção de carreira, que a liderança da empresa adota integralmente a nova forma de trabalho resultante do processo de mudança.

### Gestão de Projetos

A gestão de projetos para a implementação de tecnologia de informação deve se adequar ao tipo do *software*, em relação ao seu papel para a organização, além de se adequar ao risco e retorno do projeto. Deste modo, a carteira de projetos de implementações de *softwares* em uma empresa pode ser classificada em projetos: obrigatórios; de infra-estrutura; incrementais; e exploratórios (MORAES & LAURINDO, 2003). Os projetos obrigatórios são um imperativo para que as operações da empresa possam continuar a funcionar, como, por exemplo, os projetos para eliminar o “bug do milênio”. Já os projetos de infra-estrutura, não costumam gerar benefícios imediatos, mas viabilizam que projetos futuros obtenham retorno. Os projetos incrementais trazem ganhos incrementais por meio de tecnologias e processos de baixo risco e já dominados pela empresa. Por fim, os projetos exploratórios envolvem tecnologias novas para a empresa ou novos processos organizacionais, resultando em projetos de maior incerteza, porém de maior expectativa de retorno.

Além disso, a forma de gerenciar projetos deve ser distinta, de acordo com a classificação do projeto em escalas como: o grau de clareza da definição da meta do projeto, o grau de tangibilidade da meta do projeto, a forma de medir o sucesso do projeto (quantitativa versus qualitativa), o grau de dependência do projeto a influências externas, o número de opções de soluções, o grau de competência do usuário do projeto e o grau de estruturação da forma de se controlar o projeto (CRAWFORD & POLLACK, 2004).

Um modelo organizacional utilizado para aumentar a eficiência na gestão de projetos é o Escritório de Gestão de Projetos, mais conhecido pela sigla PMO, a partir da denominação em inglês *Project Management Office* (KENDALL & ROLLINS, 2003). O escritório de gestão de projetos é um órgão de confiança da alta gestão para implementar as estratégias da diretoria da empresa por meio de projetos. Para isso, o escritório de projetos deve prover os times com conhecimento sobre gestão de projetos e conduzir os projetos com segurança, para minimizar

o risco e aumentar a velocidade, além de assegurar a otimização dos retornos dos projetos.

As “comunidades de práticas” representam também uma técnica organizacional para aumentar a transferência de conhecimento entre times de projeto. Neste modelo, um coordenador ajuda os membros dos times de projetos a estabelecerem relacionamentos e desenvolverem competência prática no novo conhecimento adquirido, a fim de gerar os resultados dos projetos. Ruuska e Vatiainen (2005) constataram que a transferência de conhecimento é mais eficaz quando os membros, de fato, exercitam a prática do conhecimento, ao invés de apenas descreverem tal prática.

Dentre os requisitos organizacionais para a gestão de projetos inovadores, destaca-se o requisito de que os integrantes do time do projeto possam se comunicar presencialmente de forma intensa ao longo de toda a fase de desenvolvimento do projeto. Analisando 104 projetos inovadores, Gemünden, Salomo & Krieger (2005) constataram que os projetos mais bem-sucedidos contam com maior autonomia social, por meio da localização dos integrantes do time em um espaço comum. Com isso, aumenta a comunicação pessoal direta, face a face, entre os integrantes do time, o que propicia maior apoio mútuo entre os membros da equipe, maior aceitação para assumir risco e maior abertura para novas idéias.

**A**s “comunidades de práticas” representam também uma técnica organizacional para aumentar a transferência de conhecimento entre times de projeto.

Para que um projeto seja bem-sucedido na transição para os usuários finais, é de significativa importância que o usuário participe da fase de desenvolvimento do projeto. Dvir (2004) analisou 110 projetos em Israel e constatou que a participação de usuários finais no projeto tem elevada correlação (0,45) com a eficiência do projeto, enquanto que o treinamento do usuário final se correlaciona (0,46) com o benefício que o usuário obtém do projeto.

Uma vez que a empresa opte por desenvolver a sua capacidade de conduzir a mudança organizacional por meio de uma cultura de gestão por projetos, seus dirigentes se defrontam com a escolha por um modelo de estrutura organizacional condizente. Para isso, é necessário prever-se para que a rotina de trabalho na organização não se transforme num obstáculo à gestão de projetos. Por este motivo, a responsabilidade pelos projetos ino-

vadores e a responsabilidade pela rotina devem ser atribuídas a pessoas diferentes.

Clark e Wheelwright (1992) descrevem como a mudança organizacional é favorecida por uma adequada estrutura organizacional dos times de projeto com a finalidade de integrar as múltiplas capacidades especializadas necessárias. Os autores recomendam uma estrutura do tipo “peso pesado”, ou seja, uma estrutura matricial, na qual os integrantes do time se subordinam tanto aos gerentes das áreas funcionais, quanto a um gerente de projeto. Segundo os autores, times peso-pesado são mais efetivos por terem uma clara liderança com elevada capacidade para a resolução de problemas e com a capacidade de integração por meio das diversas áreas funcionais. No entanto, tal estrutura requer intensa comunicação organizacional.

Com uma amostra de 60 projetos de cinco empresas brasileiras de grande porte, Sbragia (2000) analisou o impacto da interface entre gerentes de projeto e gerentes funcionais no desempenho de times de inovação em uma estrutura matricial. O autor conclui que os projetos mais bem-sucedidos contam com: a) Uma clara definição de papéis de cada gerente; b) Maior proporção de decisões conjuntas; c) Comunicação direta entre o gerente de projeto e seu time.

### Gestão de Projetos pela Metodologia Seis Sigma

Pande, Neuman e Cavanagh (2001) descrevem o processo de implementação da metodologia Seis Sigma na gestão de projetos, de modo a se conduzir mudanças significativas na empresa.

Essa metodologia começou na Motorola, em 1987, no Setor de Comunicações com o propósito de melhorar a qualidade dos produtos. O seu nome se origina da letra do alfabeto grego utilizada em estatística para simbolizar o desvio-padrão, ou seja, uma medida para quantificar a variação e inconsistência de um determinado processo.

O Seis Sigma é uma metodologia abrangente que prescreve: a) uma estrutura organizacional matricial (CLARK & WHEELWRIGHT, 1992) para a condução de projetos; b) uma abordagem de se modelar os processos de negócio para a definição de projetos de melhoria; c) fases de estruturação de projetos; d) uma seqüência estruturada de um conjunto de ferramentas analíticas e organizacionais.

A metodologia define um redesenho na estrutura organizacional da empresa. Esta estrutura é centralizada em um departamento de especialistas na metodologia Seis Sigma (Faixas-Preta) alocados em cargos temporais de dois a três anos. O departamento Seis Sigma opera como um Escritório de Gestão de Projetos ou PMO (KENDALL & ROLLINS, 2003), que interage intensamente com a diretoria da empresa para transformar suas

estratégias em resultados, pela gestão de projetos. Em alusão às artes marciais, os papéis exercidos na estrutura organizacional Seis Sigma indicam o grau de presteza na condução da metodologia:

*Faixa-Preta* – O papel-chave é o do gerente do projeto, que é um funcionário capacitado em todas as ferramentas da metodologia Seis Sigma e que comprovou ter um desempenho de carreira diferenciado e alta habilidade de comunicação.

*Patrocinador* – Os gerentes de área exercem o papel de patrocinadores, ou seja, são responsáveis por remover quaisquer barreiras que o time venha a ter no projeto.

*Faixa-Verde* – Os funcionários das áreas funcionais recebem um treinamento menos intenso do que os *Faixa-Preta*, porém com conteúdo suficiente para liderar projetos Seis Sigma.

*Proprietário de Processo* – É o funcionário designado para garantir o cumprimento dos novos procedimentos de trabalho definidos pelo projeto Seis Sigma. Trata-se do usuário final (DVIR, 2004), o qual participa do desenvolvimento do projeto liderado pelo *Faixa-Preta* ou pelo *Faixa-Verde* para garantir a obtenção dos resultados do projeto.

Para iniciar um projeto Seis Sigma, primeiramente se seleciona um processo de negócio. Ao longo do projeto, as análises buscam identificar as variáveis independentes que mais contribuem para causar uma mudança na variável dependente que expressa o desempenho do processo de negócio. A variável dependente é denominada de Y e as variáveis independentes de X. Tem-se, então, que  $Y = f(X)$ .

Os projetos Seis Sigma passam por cinco fases: Definição, Mensuração, Análise, Melhoria e Controle. Estas fases são mais conhecidas pela sigla DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*). A cada fase, são utilizadas as seguintes ferramentas:

*Fase de Definição* – Nessa fase, a ferramenta utilizada é o Contrato de Projeto, no qual as partes envolvidas definem os papéis de cada membro do time, as métricas do projeto, escopo e prazo.

*Fase de Mensuração* – São utilizadas ferramentas estatísticas para se medir o Y e para se quantificar a confiabilidade dos dados.

*Fase de Análise* – Nesta fase, se descreve o processo de negócio, por meio do Diagrama de Processo (fases do processo, variáveis de entrada e variáveis de saída). A partir do Diagrama de Processo, obtém-se todos os possíveis X, ou seja, as variáveis independentes.

Em seguida, os X são priorizados e analisados em detalhe com outra ferramenta para análise, o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) que estuda: a) os modos de falha; b) os seus respectivos efeitos para os Ys do projeto; c) as causas de cada modo de falha.

Os X priorizados pelo FMEA passam, então, por uma Análise de Múltiplas Variáveis, na qual se usam ferramentas estatísticas como a regressão, ANOVA, dentre outras. Deste modo, se quantifica a correlação entre os X e os Ys do projeto. Feito isso, conclui-se o diagnóstico do projeto e o time sabe em que variáveis independentes deve enfocar.

**Fase de Melhoria** – O time utiliza ferramentas como Simulação ou Desenho de Experimentos com técnicas estatísticas para definir os pontos ótimos de cada X selecionado, de modo a otimizar o desempenho do Y para atingir os objetivos do projeto.

**Fase de Controle** – Por fim, a fase de controle é concluída com ferramentas estatísticas de monitoramento dos Ys e dos X melhorados. Também fazem parte desta fase, documentos para os novos procedimentos que garantem o controle dos Xs, conforme especificado na fase de Melhoria (PANDE, NEUMAN & CAVANAGH, 2001).

### **Algoritmos da Teoria das Restrições para o Planejamento e Controle de Produção**

Com base na Teoria das Restrições, Eliyahu Goldratt desenvolveu os algoritmos de programação da produção denominados Tambor-Pulmão-Corda (TPC), ou “*Drum-Buffer-Rope*”, os quais divulgou em seu livro *A Meta* (GOLDRATT & COX, 2002).

A seguir, serão descritos os algoritmos e rotinas do Tambor-Pulmão-Corda.

a) *Drum* (Tambor) – A Definição do Ritmo Viável de Produção.

A programação da produção pela Teoria das Restrições visa alinhar o ritmo de todo o fluxo de produção com o ritmo de vendas. Para isso, apenas um recurso ou um centro de trabalho é programado.

Se a demanda for maior do que a capacidade, alguns pedidos não serão entregues no prazo e o volume de produção do fluxo de produção, como um todo, vai ser determinado pelo recurso de menor capacidade, ou seja, pelo gargalo. Portanto, a seqüência de produção que irá maximizar a entrega de produtos no prazo deve ser definida no gargalo, de acordo com sua capacidade real. Deste modo, o recurso com restrição de capacidade deve ser o responsável pelo ritmo de todo o fluxo de produção. Ele é o *Drum* (tambor), numa analogia ao exército que marchava sincronizadamente pelo ritmo de um tambor. Caso a demanda seja menor que a capacidade, o ritmo para o fluxo de produção deve ser dado pela seqüência da expedição.

b) *Buffer* (Tempo de Proteção) – Imunização do Fluxo contra Paradas Imprevistas.

Nem tudo ocorre conforme o planejado em uma fábrica. Os pedidos de produção podem atrasar por falta de materiais ou embalagens, erro no sistema de informação, defeito de qualidade, falta de mão-de-obra, etc. Apesar de não se saber o que dará errado, pode-se fazer um levantamento da freqüência e duração das paradas imprevistas durante os últimos meses e programar a liberação de materiais e o recurso com restrição de capacidade com um tempo de proteção dimensionado em função deste levantamento.

c) *Rope* (Corda) – Limitação Controlada do Estoque em Processo.

Para que a proteção de tempo seja formada, o programa da liberação de materiais deve ser subordinado ao programa da restrição e da expedição, sendo que esta “amarração” entre os programas em diferentes pontos do fluxo é feita pela “Corda”. Assim, a seqüência da liberação de materiais respeita a capacidade do gargalo e, além disso, é antecipada pela duração dos Tempos de Proteção.

### **Metodologia de Pesquisa**

Para conduzir a pesquisa, optou-se pela metodologia de estudo de caso. Segundo Yin (2005), a metodologia de estudo de caso se presta para pesquisas que procuram respostas a perguntas do tipo “como” e “por que”, quando a ênfase se encontra em fenômenos inseridos em algum contexto da vida real.

Uma vez que a pesquisa visa identificar a relação entre o tempo de implementação dos algoritmos da Teoria das Restrições e a metodologia de gestão de projeto utilizada para esta implementação, será necessário entender como e por que as implementações são eficazes e eficientes, por meio de uma pesquisa explanatória.

**A** velocidade da implementação na Manufatura II foi favorecida por um modelo organizacional que neutralizou as resistências às mudanças.

Os estudos de caso foram realizados nas Manufaturas I e II de uma subsidiária brasileira de uma empresa norte-americana. A implementação na Manufatura I ocorreu entre 2001 e 2003, enquanto que a implementação na Manufatura II ocorreu de 2003 a 2004. As implementações nas Manufaturas I e II foram escolhidas por conveniência, a fim de se aproveitar a fonte de dados provinda da observação direta participante (YIN, 2005).

A vantagem de estudos de caso realizados pela coleta

de dados a partir da observação participante é a oportunidade de se perceber a realidade do ponto de vista de alguém de “dentro” do estudo de caso, para proporcionar um retrato acurado do fenômeno analisado (YIN, 2005). No entanto, a observação participante incorre no risco de o pesquisador chegar a conclusões tendenciosas, por não ter a perspectiva imparcial de observador externo (YIN, 2005). Para se minimizar este risco e se obter construtos válidos a partir do estudo de caso, foram utilizadas diversas fontes de dados além da observação direta participante. A pesquisa utilizou-se de:

- Relatórios dos projetos de implementação dos algoritmos da Teoria das Restrições;
- Levantamentos de dados de percentual de pedidos atendidos no prazo e de inventário antes e depois da implementação da Teoria das Restrições;
- Entrevistas com os principais envolvidos nas implementações: os planejadores de produção, os líderes de produção e os gerentes de manufatura.

### Implementação da Teoria das Restrições na Manufatura I

A empresa analisada decidiu implementar um *software* de programação da produção com os algoritmos da Teoria das Restrições na sua maior manufatura no Brasil. A empresa contratou um especialista em Teoria

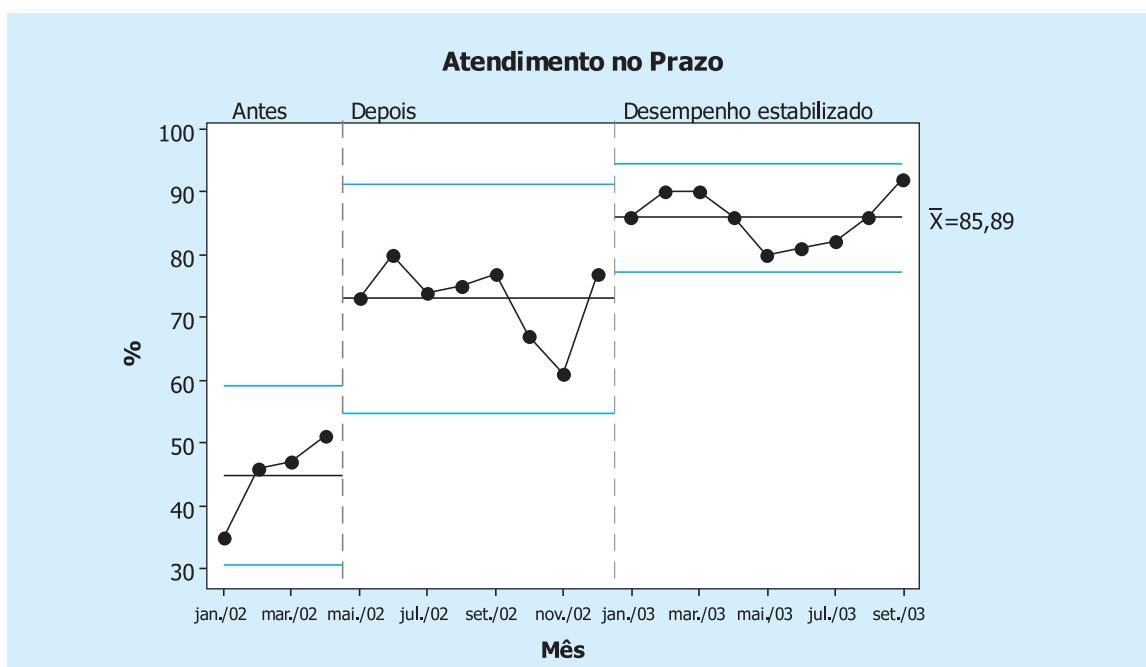
das Restrições para conduzir um treinamento sobre essa abordagem e ajudar a planejar a implementação dos algoritmos. Em seguida, a empresa comprou um *software* da Teoria das Restrições, assim como um treinamento nesta ferramenta eletrônica e a sua prototipagem. Como este *software* representa um *know-how* novo nesta manufatura, pode-se classificar este projeto como do tipo exploratório (MORAES & LAURINDO, 2003), por envolver risco de execução, por um lado, e uma boa expectativa de retorno, por outro lado.

A primeira fase do projeto de implementação tinha como missão diminuir os atrasos de entrega dos pedidos. A área em questão estava com sérios problemas de atrasos, a ponto de alguns clientes diminuírem a quantidade de pedidos.

Antes do projeto, a média da entrega no prazo para produtos feitos para pedidos (*make-to-order*) era 45%. Depois do projeto, o desempenho foi para 86%, conforme representa a Figura 2.

Na segunda fase de implementação, o objetivo do projeto passou a ser a diminuição de inventário. A principal causa identificada para os estoques elevados de produto acabado foi o longo tempo de ressuprimento (*lead-time*). O fluxo de produção para essa linha de produtos estava repleto de ordens de produção abertas. Com isso, perdeu-se a gerenciabilidade do fluxo. O time

**Figura 2: Evolução mensal da percentagem de pedidos atendidos no prazo antes e depois dos algoritmos da Teoria das Restrições.**



Fonte: figura dos autores.

de implementação passou a registrar as principais causas de parada imprevista e, mensalmente, foram definidos projetos de melhoria enfocados para resolver a principal causa identificada. Com o fluxo de produção mais estável e robusto, foi possível diminuir gradativamente os tempos de proteção (*Time Buffers*) de 15 para 3 dias e reduzir Meses de Estoque em 32% (Figura 3).

### Implementação da Teoria das Restrições na Manufatura II

Diferente da primeira implementação, a segunda implementação não tinha como objetivo principal a diminuição de atrasos, pois o percentual de pedidos atendidos no prazo era considerado como aceitável. A finalidade desta segunda implementação era a diminuição do valor de estoques.

Nesta segunda implementação, o time do projeto obteve os resultados desejados a partir de 45 dias de implementação. Esta rapidez na implementação foi beneficiada por vários fatores de negócio mais favoráveis do que os fatores presentes na primeira implementação. A segunda manufatura é bem menor do que a primeira manufatura e processa uma menor variedade de produtos, por atender a segmentos de mercado mais bem definidos. Além disso, o time da Manufatura I passou toda sua

experiência prática para o time da Manufatura II sobre a implementação e utilização dos algoritmos da Teoria das Restrições na produção.

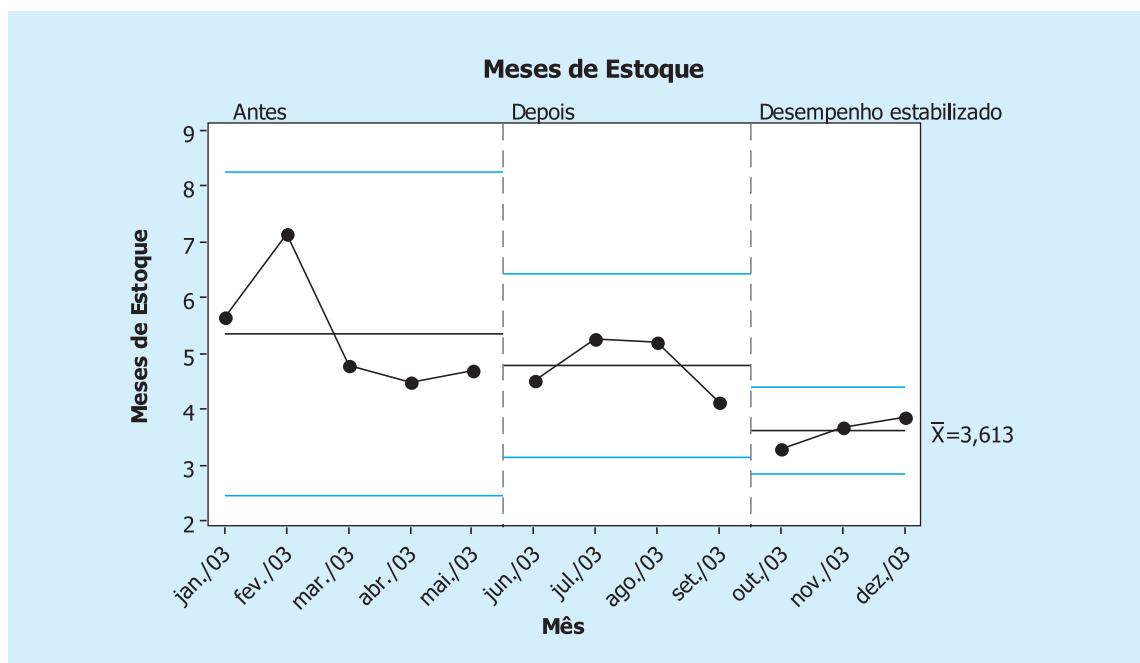
**A** implementação contou com a utilização de instrumentos organizacionais para buscar o consenso entre as pessoas participantes do processo.

O desempenho da segunda manufatura melhorou gradativamente e, após três meses de implementação, o valor de inventário reduziu 45%. Como as vendas aumentaram significativamente, o giro de inventário do fluxo de produção como um todo (produtos acabados, material em processo e matéria-prima) melhorou em 70% (Figura 4).

No entanto, esta redução de estoque não causou atrasos. Pelo contrário, concomitantemente à redução de inventário, observou-se uma melhoria no atendimento no prazo para produtos feitos contra pedidos (*make-to-order*), que passou de 93% para 99,4% (Figura 5).

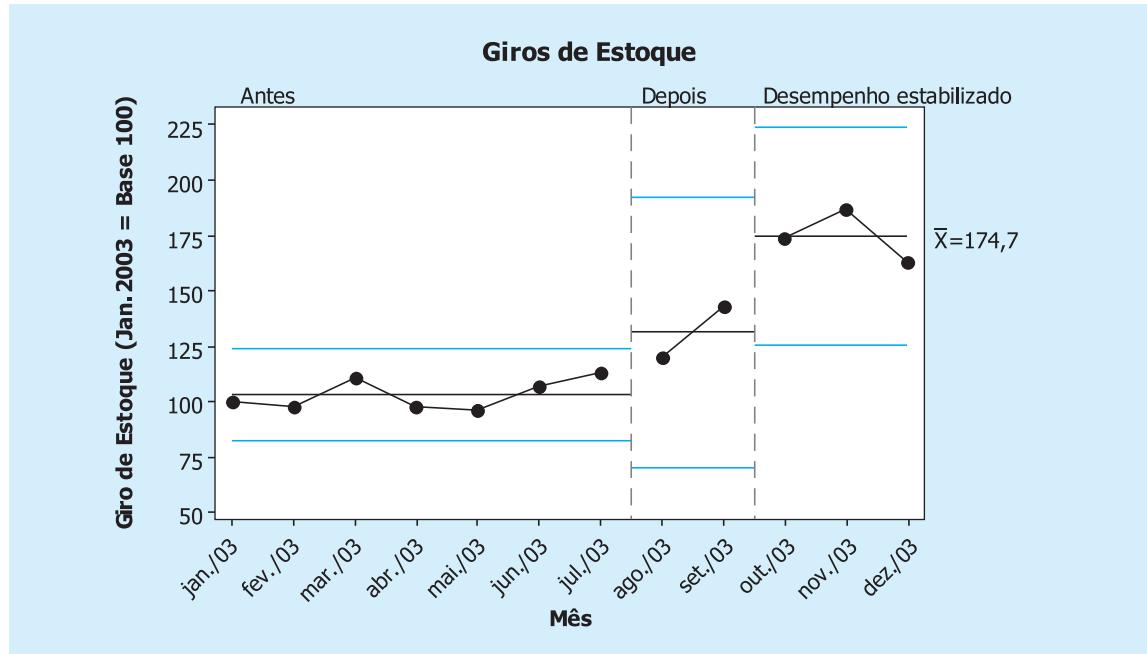
Estes resultados ocorreram devido às seguintes mudanças nos procedimentos de planejamento e controle de

Figura 3: Comportamento do inventário ao longo da implementação.



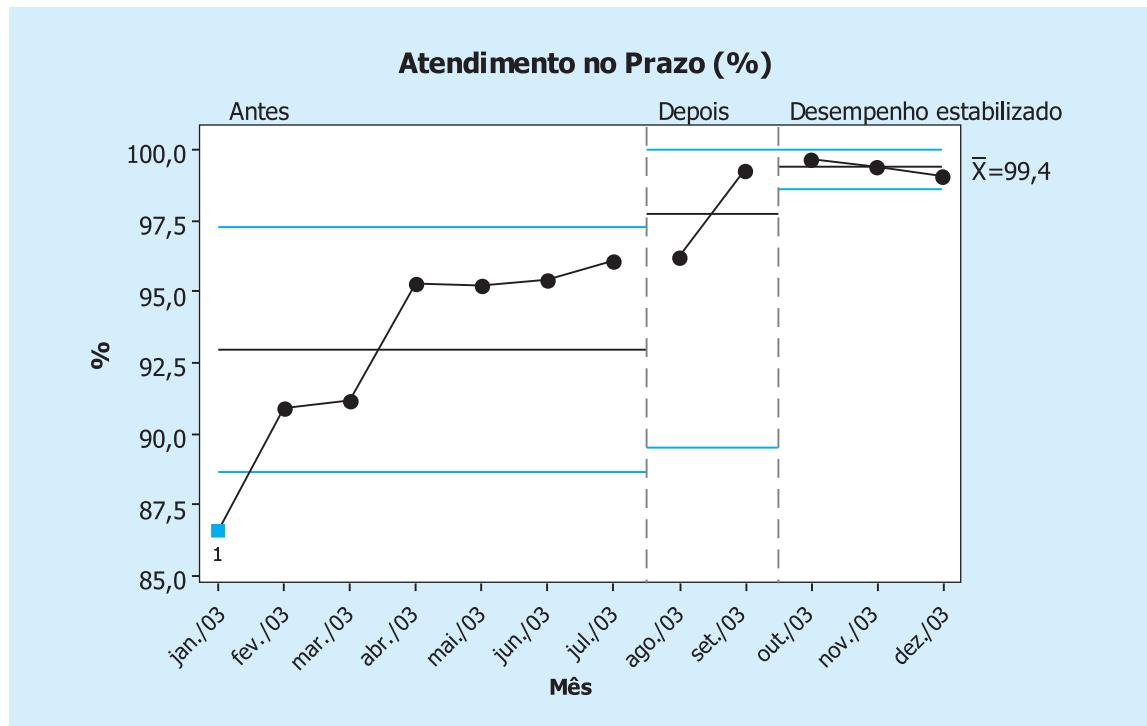
Fonte: figura dos autores.

Figura 4: Evolução do giro de inventário ao longo da implementação.



Fonte: figura dos autores.

Figura 5: Percentagem de pedidos atendidos no prazo para produtos não estocados.



Fonte: figura dos autores.

produção: Produção “puxada” pela demanda real e sincronização da manufatura.

O planejamento da produção passou a ser baseado no reabastecimento para a demanda real e não para as previsões de venda (que não tinham um índice de acerto satisfatório). Com isso, a programação da produção para os produtos estocados passou a ser regida por estoques do tipo “supermercado”, ou seja, estoques que só são reabastecidos pela operação fornecedora quando o mercado efetivamente consome o produto até que o nível de estoque fique abaixo do ponto de reposição. Deste modo, os estoques do tipo “supermercado” puxam a programação das operações que fabricam os produtos estocados.

Outra mudança no processo de programação é que o fluxo de manufatura foi sincronizado. Isso significou que as operações deixaram de ser programadas independentemente uma das outras, mas que o fluxo de produção por inteiro passou a ser programado, ao se programar apenas a operação com restrição de capacidade que passou a ditar o

ritmo para as demais operações. Deste modo, as operações sem restrição de capacidade tiveram sua seqüência e seu ritmo de produção subordinados à seqüência e ritmo de produção da operação gargalo. Com isso, evitou-se o excesso de inventário em processo entre as operações e os materiais passaram a fluir mais rapidamente ao longo das operações. Essas intervenções no processo seguiram, portanto, o modelo preconizado pela Teoria das Restrições.

### Síntese do Desempenho das Duas Implementações

Em síntese, as duas implementações foram eficazes na redução de atraso e redução de estoques, conforme apresenta a Tabela 1.

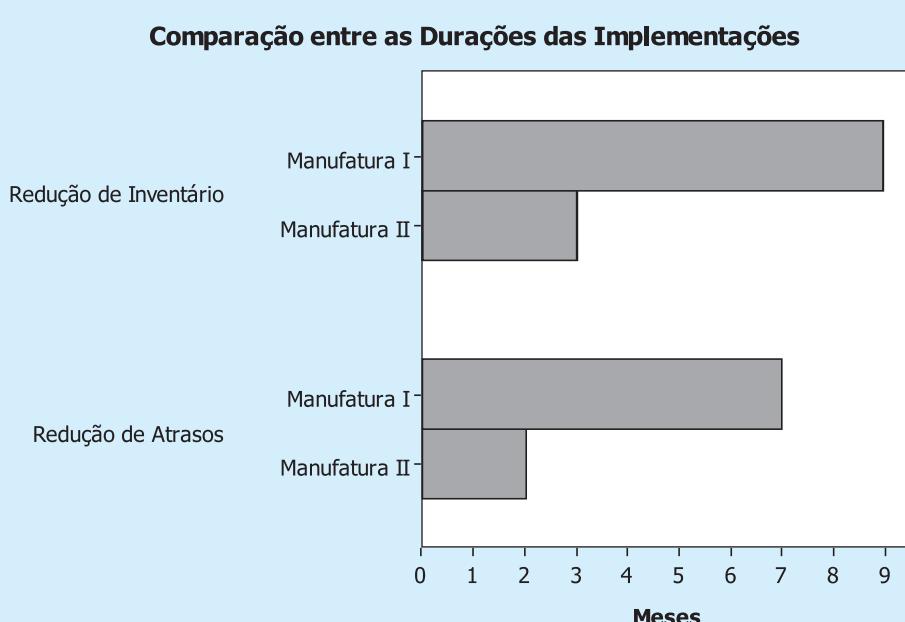
No entanto, as duas implementações não tiveram a mesma eficiência: a Manufatura II diminuiu o inventário três vezes mais rapidamente do que a Manufatura I (Figura 6).

**Tabela 1: Comparação entre as duas implementações da Teoria das Restrições.**

	ATENDIMENTO NO PRAZO	REDUÇÃO DE INVENTÁRIO	REDUÇÃO DE LEAD-TIME	INÍCIO DOS RESULTADOS	ESTABILIZAÇÃO DOS RESULTADOS
Manufatura I	De 45 para 86%	32%	De 15 para 10 dias	3 meses	9 meses
Manufatura II	De 93 para 99,4%	45%	De 12 para 6 dias	1,5 mês	3 meses

Fonte: figura dos autores.

**Figura 6: Comparação da duração das implementações da Teoria das Restrições (figura dos autores).**



Fonte: figura dos autores.

### Comparação entre as Duas Implementações

A equipe de implementação da Manufatura I era composta por profissionais que estavam bastante desmotivados, pelo fato de terem que conviver durante anos com o baixo desempenho no percentual de pedidos entregues no prazo e no nível de inventário.

De fato, devido ao tamanho da operação, as áreas funcionais (planejamento, produção e engenharia de processos) trabalhavam de forma relativamente isolada, com baixo grau de comunicação (GEMÜNDEN, SALOMO & KRIEGER, 2005) e de envolvimento interfuncional.

O projeto foi conduzido por um coordenador de projeto especialista nos algoritmos de Teoria das Restrições. No entanto, grande parte do tempo do coordenador foi gasto com as decorrências políticas do projeto ao longo da implementação.

Já na Manufatura II, a estrutura organizacional da empresa e a gestão de projetos adotaram as recomendações da metodologia Seis Sigma. Para isso, a corporação criou papéis organizacionais de gerentes de projetos, treinadores e especialistas internos em Seis Sigma. O gerente de projeto da implementação na Manufatura II era um gerente de projeto Seis Sigma e utilizou as técnicas estatísticas desta metodologia para comprovar a eficácia da implementação da Teoria das Restrições.

**O gerente de projeto fez validações estatísticas que comprovaram a validade dos parâmetros de programação definidos pelo projeto.**

No início da implementação, foi criada uma “Comunidade de Prática” (RUUSKA & VATIAINEN, 2005) sobre a Teoria das Restrições, na qual o time da Manufatura I passou toda sua experiência prática para o time da Manufatura II sobre a implementação e utilização dos algoritmos da Teoria das Restrições na produção.

Deste modo, a velocidade da implementação na Manufatura II foi favorecida por um modelo organizacional que neutralizou as resistências às mudanças, que costumam ser intensas nas interfaces entre as diversas áreas funcionais das grandes organizações. Nesta segunda manufatura, o processo de implementação dos algoritmos da Teoria das Restrições ocorreu por meio de uma estrutura matricial por projeto, com clara definição dos papéis e responsabilidades do time de projeto e com sistemática mensuração das variáveis dependentes.

Esta estrutura de projeto liberou o foco do especialista

em Teoria das Restrições para dedicar-se exclusivamente à implementação, sem ter que se preocupar com as decorrências políticas do projeto, que ficaram a cargo do gerente de projeto.

### CONCLUSÃO

Vários fatores podem ter feito com que a implementação na Manufatura II tenha sido três vezes mais rápida do que a implementação na Manufatura I. Contudo, neste artigo, é analisada a contribuição da gestão de projetos pela metodologia Seis Sigma nas implementações dos algoritmos da Teoria das Restrições no planejamento e controle da produção.

A implementação na Manufatura I não contou com uma forma estruturada e organizacionalmente legitimada de definir o escopo do projeto de implementação. De fato, o time do projeto só conseguiu diminuir os atrasos e implementar o *software* da Teoria das Restrições, por reduzir o escopo inicial para a implementação piloto.

Além disso, a primeira implementação também não estabeleceu participativamente os principais critérios para a definição dos parâmetros do *software*. Em realidade, os parâmetros mudaram várias vezes antes de se conseguir um programa de produção viável.

Sem uma elaboração sistemática dos conhecimentos de um conjunto representativo de pessoas envolvidas no processo, a implementação na Manufatura I precipitou-se em incorporar um novo *software* de programação, o que resultou em vários retrabalhos nas reformulações de escopo de projeto e nas redefinições de parâmetros de programação.

Já a implementação na Manufatura II contou com a utilização de instrumentos organizacionais que visam à busca de consenso entre as pessoas participantes do processo de atendimento de pedidos. De fato, antes de serem feitas análises quantitativas e de se implementar um novo *software*, foi utilizado um conjunto de ferramentas Seis Sigma para que o time concordasse unanimemente sobre as principais hipóteses dos determinantes do desempenho atual.

A estrutura matricial por projeto fez com que o projeto Seis Sigma tivesse forte liderança, pois o gerente de projeto recebeu da diretoria da empresa plena autoridade para conduzir a mudança, removendo as resistências políticas às recomendações do time de implementação. Além disso, o gerente de projeto fez validações estatísticas que comprovaram a validade das ações de melhoria e dos parâmetros de programação definidos pelo projeto. Com isso, a liderança do projeto contou

com intensa legitimação organizacional para conduzir a mudança.

No Contrato de Projeto, todas as partes envolvidas no projeto (o gerente de área, o gerente do projeto e o especialista de finanças) concordaram sobre: a) o escopo do projeto; b) os objetivos mensuráveis; c) a relação do projeto com as prioridades corporativas.

A busca do consenso também se fez presente durante a elaboração das ferramentas iniciais do Seis Sigma, que são o Diagrama de Processo e o FMEA. Ambas as ferramentas foram utilizadas por um time com integrantes representan-

do todas as áreas envolvidas no projeto de redução de inventário: o programador da produção, a gerência da manufatura, o engenheiro de processo e o líder dos operários.

Portanto, no projeto que reduziu o inventário três vezes mais rápido, a implementação do *software* foi enfocada e não necessitou de retrabalhos, pois foi precedida por várias fases de projeto nas quais predominou a integração das diferentes áreas funcionais envolvidas para se buscar uma visão comum, por meio de ferramentas consensuais, como o Contrato de Projeto, o Diagrama de Processo e a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).

**Artigo recebido em 15/06/2005**

**Aprovado para publicação em 02/09/2005**

## ■ Referências Bibliográficas

---

- CLARK, K. B. e WHEELWRIGHT, S. C. *Organizing and Leading "heavyweight" development teams*. California Management Review, pp. 9-27, Spring, 1992.
- CRAWFORD, L. e POLLACK, J. *Hard and soft projects: a framework for analysis*. International Journal of Project Management, v. 22, p. 645-653, 2004.
- CSILLAG, J.M. e CORBETT, T. *Projeto de pesquisa de utilização da teoria das restrições no ambiente de manufatura em empresas no Brasil*. São Paulo: Núcleo de Pesquisas e Publicações – FGV, 1998.
- DVIR, D. *Transferring projects to their final users: The effect of planning and preparations for commissioning on project success*. International Journal of Project Management, v. 23 p. 257–265, 2005.
- GEMÜNDEN, H. G., SALOMO, S. e KRIEGER, A. The influence of project autonomy on project success. *International Journal of Project Management*, 2005.
- GOLDRATT, E. e COX, J. *A Meta: Um Processo de Melhoria Contínua*. São Paulo: Nobel, 2002.
- GOLDRATT, E. *The Haystack Syndrome: Sifting Information Out of the Data Ocean*. Great Barrington-MA: North River Press, 1991.
- KENDALL, G. I. e ROLLINS, S. C. *Advanced Project Portfolio Management and the PMO*. Ross Publishing, Inc. 2003.
- KOTTER, J. Liderando a Mudança. In: Mudança. *Harvard Business Review*. Campus. 1996.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R.P. e CAVANAGH, R.R. *Estratégia Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2001.
- RUUSKA, I. e VARTAINEN, M. Characteristics of knowledge sharing communities in project organizations. *International Journal of Project Management*, 2005.
- WOEPPEL, M. *Manufacturer's Guide to Implementing TOC*. St Lucie Press, 2000.
- YIN, R. K. *Estudo de Caso – Planejamento e Método*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- SBRAGIA, R. The interface between project and functional managers in matrix organized NPD projects. In: *8th International Conference on Management of Technology*, Miami, 2000.
- SLACK, N., CHAMBERS, S. e HARRISON, A. et al. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2002.
- WELCH, J. *Jack Definitivo: Segredos do Executivo do Século*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

## ■ Sobre os autores

---

### Rogério Cerávolo Calia

Mestrando do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Endereço: Rua Comendador Eduardo Saccab, 333 – Campo Belo – CEP 04601-071 – São Paulo – SP  
Telefone: (19) 9612-7332 ou (11) 5561-6983  
E-mail: rccalia@yahoo.com.br

### Fábio Müller Guerrini

Professor do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Endereço: Avenida Trabalhador Sãocarlense, 400 – Centro – CEP 13566-590 – São Carlos – SP  
Telefone: (16) 3373-8126 - Fax: (16) 3373-9425  
E-mail: fabmg@prod.eesc.usp.br