

# O USO DA THEORY OF CONSTRAINTS E DO LEAN MANUFACTURING COMO ESTRATÉGIA OPERACIONAL EM UMA EMPRESA BRASILEIRA DO SETOR METAL MECÂNICO

Cristina Weissheimer<sup>1</sup>  
Eduardo da Motta Xavier<sup>2</sup>

## Resumo

Para que as empresas sejam competitivas, as mesmas devem maximizar os resultados de suas operações. No que tange a área produtiva, estratégias como o emprego da *Theory of Constraints* (TOC) e do *Lean Manufacturing* (LM), podem ser utilizadas para que as empresas obtenham vantagens competitivas. Baseado neste contexto, este artigo faz uma revisão da literatura sobre as filosofias da TOC e do LM, e algumas de suas técnicas de sustentação, apresentando um estudo de caso desenvolvido no setor de estamparia da empresa Alfa, um tradicional fabricante de ferragens do segmento da construção civil, localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O artigo ilustra como as filosofias da TOC e do LM podem ser empregadas para melhorar o desempenho da empresa Alfa, apresentando como resultados um aumento da capacidade produtiva de 83,4% no equipamento gargalo, além de outros ganhos, como a redução do custo de mão de obra direta e de despesas com a terceirização de serviços.

**Palavras chaves:** Estratégias Operacionais, *Theory of Constraints*, *Lean Manufacturing*.

## Abstract

For companies to be competitive, they must maximize the results of their operations. Regarding productivity areas, strategies such as the use of the Theory of constraints (TOC) and Lean Manufacturing (LM), can be used by companies to gain competitive advantages. Based on this background, this article reviews the literature on the philosophies of TOC and LM, and some of their support techniques, presenting a case study by the stamping division of Alfa Co., an architectural hardware manufacturer, located in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The article illustrates how these philosophies of TOC and LM can be used to improve this company's performance, resulting in a productivity increase of 83.4% of production equipment, and additional gains of cost reduction on labor and outsourcing services.

**Keywords:** Operational Strategies, Theory of Constraints, Lean Manufacturing.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante de um mercado globalizado, competitivo e dinâmico, onde critérios como o custo, a qualidade, o prazo de entrega, a flexibilidade e a inovação, são fatores determinantes para a perpetuação das empresas no mercado, torna-se cada vez mais necessário o emprego das melhores práticas disponíveis. Estas, se bem aplicadas, podem proporcionar as empresas

---

<sup>1</sup> Graduanda em Administração pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Brasil. Graduada em Relações Públicas pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), Brasil. E-mail: [cris\\_weissheimer@hotmail.com](mailto:cris_weissheimer@hotmail.com).

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Brasil. Mestre em Administração pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), Brasil. Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), Brasil. E-mail: [eduardokaster@gmail.com](mailto:eduardokaster@gmail.com)

um diferencial competitivo em relação à concorrência, permitindo a perpetuação das mesmas no mercado e o aumento da lucratividade.

Para as empresas obterem sucesso, as mesmas devem maximizar os resultados de suas operações. No que tange a área produtiva, várias estratégias operacionais podem ser empregadas para atingir à redução dos custos dos produtos, o aumento da flexibilidade, a redução do tempo de resposta e a redução dos prazos de entrega, critérios competitivos estes, comuns para um grande número de empresas. Um exemplo de estratégia operacional que pode ser empregada para a área de produção, é o desenvolvimento de um sistema de produção enxuto, baseado nos princípios do *Lean Manufacturing* (LM). Este deve contemplar além dos aspectos técnicos, a eliminação das operações que não agregam valor, o combate às perdas produtivas e o estabelecimento de um fluxo contínuo (WOMACK; JONES, 2004).

A atividade de implantação da filosofia do LM deve ser aplicada pelos gestores para maximizar o resultado das operações das empresas, porém identificar onde aplicar esta filosofia e suas ferramentas de sustentação, de forma a gerar resultado para a empresa, pode não ser uma tarefa fácil (TOC-LEAN INSTITUTE, 2013). Baseado nesta dificuldade, este artigo pesquisa a aplicação combinada da TOC e do LM, por meio de um estudo de caso, fazendo uma revisão bibliográfica destas filosofias, e de ferramentas como: 5'S, *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), 5'S, *Total Productive Maintenance* (TPM) e *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), ilustrando os resultados obtidos com a aplicação destas filosofias e ferramentas.

O estudo de caso que trata este artigo foi realizado na empresa Alfa, um tradicional fabricante de ferragens para o segmento da construção civil, localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Neste estudo, a TOC é aplicada com o objetivo de guiar os esforços de implantação dos conceitos do LM, evitando as armadilhas de aplicá-lo onde o mesmo não produzirá resultados financeiros favoráveis para a empresa, ou seja, aplicar os conceitos do LM sobre recursos ou processos não restritivos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Estratégias Operacionais**

Após a disseminação dos conceitos contidos no trabalho W. Skinner, nas décadas de 60 e 70, pesquisas sobre estratégia de manufatura foram desenvolvidas por diferentes abordagens, sendo três delas consideradas como os novos paradigmas. As três abordagens são a competição por meio das capacidades; a busca de consistência interna e externa entre o contexto dos negócios e do produto; e a adoção das “melhores práticas” na busca da fabricação de classe mundial (MARTINS, 1999).

A abordagem de competição por meio das capacidades defende que a empresa deve alinhar suas capacidades com os fatores críticos de sucesso, com as estratégias corporativas e de *marketing*, e com as demandas do mercado consumidor. Os fatores críticos do sucesso de uma empresa são os critérios competitivos, os quais a mesma prioriza para se qualificar, com o objetivo de competir em um determinado segmento de atuação, ganhando os pedidos de clientes (MARTINS, 1999).

A abordagem da busca de consistência interna e externa entre o contexto de negócios e produto é uma abordagem contingencial. Considerando as contingências existentes no ambiente externo (leis, regulamentações, concorrência, tecnologia, necessidades e expectativas dos consumidores, etc.) e no ambiente interno em relação ao produto e à estrutura da empresa (tanto física, como administrativa), deve-se buscar consistência entre a forma de competir, e a forma de organizar e gerir a empresa (MARTINS, 1999).

A abordagem da adoção das melhores práticas, a qual é empregada com o objetivo de tornar a fabricação das empresas de classe mundial, é a mais recente das três abordagens. A

crença que está por trás da busca das melhores práticas, é que a adoção delas levará a empresa a um desempenho superior. Isso nem sempre é verdadeiro, pois a melhor prática pode não ser adequada, pode ser mal adaptada às necessidades específicas do ambiente externo e interno da empresa, ou pode ser mal implementada (MARTINS, 1999).

## **2.2 Theory of Constraints (TOC)**

A *Theory of Constraints* (TOC), ou Teoria das Restrições, foi introduzida por Eliyahu M. Goldratt e Jeff Cox em 1984 no livro: “A Meta”. Esta teoria é baseada na ideia de que o objetivo das empresas é ganhar dinheiro hoje e no futuro, e parte do princípio de que um sistema sempre possui uma ou mais restrições que limitam o seu desempenho, como o elo mais fraco de uma corrente (ANTUNES *et al.* 2008). Corbett (2005) sugere a TOC como sendo uma das grandes revoluções na administração, abandonando o paradigma mecanicista da administração científica, passando a encarar empresas como sistemas dinâmicos.

A base do raciocínio da TOC é sustentada pelos conceitos de causa e efeito, e na relação de interdependência dos elementos de um sistema, onde cada um destes depende um do outro de alguma forma, e que, o desempenho global está relacionado ao desempenho do conjunto como um todo, e não do desempenho individual e isolado de cada parte do sistema, ou seja, o ótimo local não garante o ótimo global (GOLDRATT; COX, 2004).

Existem dois tipos de recursos que tornam restrito o desempenho de sistemas produtivos: os gargalos ou *bottlenecks* e os recursos com capacidade restritiva. Os gargalos são estruturais e, portanto constituem-se em recursos cuja capacidade global é menor que à demanda do mercado, enquanto os recursos com capacidade restritiva são restrições conjunturais ao desempenho do sistema produtivo (ANTUNES *et al.*, 2008).

As restrições podem ser políticas e físicas, ou de recursos, sendo a primeira relativa a normas, procedimentos e práticas usuais do passado, e a segunda se refere a mercados, fornecedores, equipamentos, materiais, pedidos e pessoas (PELEIAS, 2002).

O procedimento do processo decisório da TOC foi descrito por Goldratt e Cox (2004), sendo ele: passo 1 - identificar a(s) restrição(ões) do sistema; passo 2 - explorar a(s) restrição(ões); passo 3 - subordinar tudo à restrição; passo 4 - elevar a restrição do sistema; passo 5 - se uma restrição for eliminada, deve-se voltar ao passo 1. Este procedimento é um processo de raciocínio que permite a avaliação dos impactos das decisões e ações locais no desempenho total do sistema produtivo (DETTMER, 2001). Para Cox e Spencer (2002), este procedimento capacita gerentes e administradores a planejarem todo o processo de produção, tendo como foco o gerenciamento das restrições, que causa um maior impacto.

## **2.3 Lean Manufacturing (LM)**

O Sistema Toyota de Produção (STP) é considerado referência para a maioria das empresas do mundo, pois contrasta fortemente com o sistema de produção em massa. Este foi criado por Henry Ford para a fabricação de veículos em altas escalas produtivas, sendo estes padronizados quanto aos seus componentes e operações, visando à substituição de um sistema de produção artesanal, até então empregado na indústria, permitindo a utilização de mão de obra pouco qualificada e de baixo custo. O sistema artesanal era constituído por artesões qualificados, que utilizavam ferramentas manuais para realizar uma produção sob encomenda, gerando produtos com alta qualidade e diferenciação, contudo, com altos custos de produção (WOMACK; JONES, 2004).

O sistema de produção em massa permitia uma redução do custo por meio do ganho de escala, possibilitando a colocação de produtos a custos competitivos em um mercado onde a demanda era maior que a oferta. Em contrapartida, este sistema gerava uma baixa diferenciação dos produtos, devido ao alto grau de padronização que era empregado. Além disso, este sistema necessitava de estoques elevados de matérias primas para suprir o

maquinário quase que dedicado para a produção de componentes, além de gerar um elevado nível de estoque de peças em processo e de produtos acabados (WOMACK; JONES, 2004).

Taiichi Ohno idealizou um sistema produtivo próprio, que combinou as vantagens da produção artesanal, com as da produção em massa, gerando um sistema de baixo custo e alta flexibilidade, voltado para operar em situações adversas de mercado. Este foi batizado de Sistema Toyota de Produção (STP), que mais tarde foi denominado de sistema *Lean Manufacturing* (LM) (WOMACK; JONES, 2004).

A base do STP é a absoluta eliminação do desperdício, sendo que os pilares de sustentação são o *Just in Time* (JIT) e a autonomia. O JIT significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas e necessárias alcançam a linha de montagem no momento necessário e somente na quantidade necessária, sendo que uma empresa que estabelece esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero (OHNO, 1997). As técnicas de sustentação do JIT são: 5'S, *kaizen*, o TQC, TRF, *kanban* e TPM (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2013).

O sucesso da implantação do LM depende de se iniciar um processo de mudança cultural nas organizações, para que em um segundo momento haja o treinamento dos funcionários, e o início da implantação dos princípios e técnicas de sustentação, permitindo o combate eficiente das perdas do sistema produtivo (WOMACK; JONES, 2004).

O STP é fundamentalmente baseado na absoluta eliminação dos desperdícios, assim o passo preliminar para a aplicação deste sistema, é a identificação completa dos desperdícios, os quais são classificados por esse autor como desperdícios por: superprodução; espera; transporte; processamento em si; estoque; movimento; e por produzir produtos defeituosos (OHNO, 1997). Eliminar os desperdícios significa analisar todas as atividades realizadas no sistema de produção e eliminar aquelas que não agregam valor ao produto. A eliminação de tudo que não agrega valor implica inicialmente, identificar o que acrescenta valor para o cliente, e em seguida identificar o que não acrescenta valor (WOMACK; JONES, 2004).

O segundo pilar de sustentação do STP é a autonomia, que significa conferir aos equipamentos a capacidade de detectar falhas automaticamente. Este conceito permitiu que os mesmos fossem operados sem necessitar da presença do operador em tempo integral, mas apenas no momento que houvesse uma parada, possibilitando aos mesmos operar vários equipamentos simultaneamente, reduzindo com isso o custo e permitindo a capacitação de uma mão de obra multifuncional (OHNO, 1997).

Para Shingo (1996) o STP está baseado em 11 princípios básicos, sendo eles:

- a) princípio do não custo, onde o preço de venda é ditado pelo mercado e a obtenção de lucro depende da capacidade da empresa em reduzir o custo de seus produtos;
- b) princípio do estoque zero: a pedra fundamental da eliminação da perda, o que originou o conceito de JIT, permitindo a eliminação das perdas por superprodução;
- c) princípio das operações de fluxo, as quais visam à integração dos processos de produção;
- d) princípio da redução dos tempos de troca de ferramentas, utilizando para isso a técnica para a troca rápida de ferramentas (SMED);
- e) princípio da eliminação das quebras e defeitos, com o objetivo de reduzir as interrupções da produção e os custos de manutenção, obtidos por meio da técnica da *Total Productive Maintenance* (TPM);
- f) princípio do balanceamento da produção, buscando eliminar os transtornos causados pelas flutuações de carga e atingir o “estoque zero”;
- g) princípio das operações de fluxo totalmente integradas, sendo alcançadas pela expansão do conceito de operações de fluxo (item 3), buscando a superação das barreiras criadas pela divisão do trabalho em plantas e seções;

- h) princípio da redução do custo da mão de obra: a segunda pedra fundamental da eliminação da perda. Ela foi efetivada de três formas:
  - i) melhoria nos movimentos de trabalhos humanos;
  - ii) combinação das folgas marginais;
  - iii) transferência dos movimentos humanos para as máquinas.
- i) princípio da mecanização à autonomia, a qual consiste em transferir as funções manuais para às máquinas, conferindo-as os mesmos dispositivos que detectam irregularidades e situações anormais;
- j) princípio de manter e desenvolver operações padrão, o qual facilitou a melhoria contínua e acelerou ainda mais o desenvolvimento do sistema;
- k) princípio do sistema *kanban*, o qual é um sistema de controle visual auto regulador e simplificado, que se concentra no “chão de fábrica”, e faz com que seja possível responder as mudanças na produção de forma simples e rápida.

Este artigo utiliza os princípios da eliminação das quebras e defeitos, por meio da aplicação da técnica da TPM; da redução dos tempos de troca de ferramentas, por meio da aplicação do método SMED; da redução do custo de mão de obra; e da autonomia.

### **2.3.1 Programa 5'S**

Segundo pesquisa realizada por Godoy *et al.* (2001), o programa 5'S influencia, positivamente a organização, as pessoas, o ambiente, potencializando a melhoria da qualidade. O Programa 5'S tem como objetivo a melhoria do ambiente de trabalho no sentido físico (organização geral do espaço físico) e mental (mudança da maneira de pensar das pessoas na direção de um melhor comportamento) (SILVA *et al.*, 2001).

A origem deste programa vem de palavras japonesas iniciadas com a letra S: *seiri*, *seiton*, *seisou*, *seiketsu* e *shitsuke*. Senso traduz com perfeição as ideias de atitude e de pré-disposição para gerar os comportamentos de utilização, ordenação, limpeza, asseio e autodisciplina, sendo uma metodologia para a organização de quaisquer ambientes, principalmente os de trabalho (QUEIROGA, 2005).

### **2.3.2 Single Minute Exchange of Dies (SMED)**

Em 1950, passados 13 anos da fundação da *Toyota Motor Company*, a empresa tinha como meta a equiparação com os Estados Unidos da América em 3 anos. Nesta época a Toyota produzia menos da metade dos veículos que a Ford produzia num só dia, ou seja, 2.685 automóveis para 7.000 (WOMACK; JONES, 2004).

Diante deste cenário, o engenheiro Eiji Toyoda realizou uma visita à fábrica da Ford de Rouge, nos Estados Unidos, a qual era considerada a maior e mais eficiente do mundo na época. Toyoda percebeu que era possível melhorar o sistema de produção da Toyota, mas que o modelo de produção da Ford, revelava-se de difícil aplicação para a realidade do Japão. Baseado nesta constatação, após o seu retorno para o Japão, Toyoda, juntamente com seu engenheiro, Taiichi Ohno, concluiu que a produção em massa jamais funcionaria em seu país, sendo que a partir destas análises e deduções iniciais surgiram os primeiros *insights* do STP (WOMACK; JONES, 2004).

Os esforços para construir o STP se baseavam também na necessidade de descobrir um novo método de produção que eliminasse o desperdício e que auxiliasse na tarefa de alcançar os Estados Unidos. Um aspecto fundamental identificado na época foi à necessidade de buscar rápidas respostas de produção para pequenos lotes, sem que houvesse comprometimento de custos ou qualidade, com isso, em 1955 foi contratado o consultor Shigeo Shingo para desenvolver técnicas de troca rápida de ferramentas e divulgá-las aos fornecedores da Toyota (OHNO, 1997).

O desenvolvimento do conceito do método SMED de troca rápida de ferramentas, levou 19 anos e surgiu como resultado de estudos de aspectos teóricos e práticos da melhoria do tempo de *setup*. Ambos, análise e implementação, são fundamentais para o método SMED e devem integrar qualquer programa de melhoria (SHINGO, 2000).

Um argumento comum contra os tamanhos de lotes pequenos é o aumento no número de *setups*. Usando a lógica econômica clássica do tamanho do lote, o pensamento tradicional propõe um limite fixo no relacionamento entre o número de *setups* e os custos totais de fabricação. Uma das regras tradicionais do tamanho do lote é o *trade-off* entre um custo de *setup* fixo e os custos adicionais decorrentes de uma produção crescente, que se nivelariam (SANTOS, 1999).

O conceito de lote econômico está correto em sua lógica, mas este está embasado no modelo tradicional de que as reduções significativas de tempos de *setup* não são possíveis. O método SMED consiste em reduzir o tempo de *setup* para um valor em minutos de no máximo um dígito, ou seja, para um tempo inferior a 10 minutos, sendo que todo o tempo de *setup* que exercer a um dígito de minuto é um desperdício (SHINGO, 2000).

O tempo de *setup* é fragmentado em dois tipos, sendo eles: *setup* interno, que se refere às operações que somente podem ser realizadas quando a máquina estiver parada; e *setup* externo, que se refere às operações que podem ser realizadas enquanto a máquina ainda está em operação. O método SMED é ordenado no estágio preliminar: identificação das operações e tempos que compõe o *setup*; no estágio 1: separação das operações de *setup* interno e externo; no estágio 2: conversão de *setup* interno em externo; e no estágio 3: racionalização das operações de *setup* (SHINGO, 2000).

O estágio preliminar consiste em identificar e coletar os tempos de todas as atividades que compõem a operação de *setup*, não diferenciando as operações de *setup* interno e externo. Para isso, deverá ser realizada uma análise contínua da produção com o uso de um cronômetro ou filmadora (SHINGO, 2000).

O estágio 1 é considerado o passaporte para se atingir o SMED. Neste estágio todas as atividades da operação de *setup* são analisadas e classificadas como operações que são realizadas com a máquina parada ou em funcionamento, ou seja, nesta etapa as atividades de *setup* são classificadas em operações de *setup* interno ou externo (SHINGO, 2000).

No estágio 2 são analisadas quais as operações de *setup* interno podem ser convertidas em externo. As operações que são realizadas como *setup* interno podem geralmente ser convertidas em *setup* externo reexaminando a sua real função. Isto significa que muitas operações que são efetuadas durante o período não produtivo do equipamento, podem ser remanejadas para os momentos de produtividade de tal máquina (SHINGO, 2000).

No estágio 3 deverá ser feito um exame das operações de *setup* interno e externo, observando oportunidades adicionais de melhoria. Neste estágio se observa o funcionamento do sistema de acordo com o projeto, implantando possíveis ações que permitam melhorias, comparando os dados adquiridos antes da implantação do sistema, com os dados adquiridos após a implantação (SHINGO, 2000).

### **2.3.3 Total Productive Maintenance (TPM)**

Slack, Chambers e Johnston (2009) definiram manutenção como o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas ao cuidar de suas instalações físicas. Os tipos de manutenção podem ser classificados de acordo com a atitude dos usuários em relação às falhas. Seis categorias são normalmente identificadas, sob este aspecto, sendo elas as manutenções: corretiva; preventiva; preditiva; proativa; produtiva; e detectiva (SIQUEIRA, 2005).

*Total Productive Maintenance* (TPM) é um programa de manutenção amplo, que compreende todos os funcionários da organização, desde a alta administração até os operários.

Os cinco objetivos principais da TPM são: otimizar o ciclo de vida dos equipamentos; garantir a eficiência global; promover o trabalho em equipe; envolver todos os setores; e solicitar informações de todos os funcionários (TAKAHASHI; OSADA, 2000). O TPM faz referência à normalização, sistematização, qualidade, redução de custos e acidentes de trabalho, meio ambiente e clima organizacional (NAKAJIMA, 1988).

O TPM é uma metodologia estruturada e centrada no processo de melhoria contínua, que se esforça para otimizar a eficiência de produção, identificando e eliminando as perdas em todo o sistema. Empresas que praticam o TPM podem alcançar resultados surpreendentes, especialmente quanto ao aumento de produtividade, reduzindo as quebras dos equipamentos, pequenas paradas, defeitos de qualidade, custos de manutenção, estoques e acidentes de trabalho (AHUJA; KUMAR, 2009).

### **2.3.4 Overall Effectiveness Efficiency (OEE)**

O conceito de eficiência dos equipamentos foi formulado durante o desenvolvimento da técnica da *Total Productive Maintenance* (TPM), sendo a terminologia *Overall Effectiveness Efficiency* (OEE), desenvolvida por Nakajima (1988).

A Equação 1 apresenta uma fórmula para o cálculo do OEE, que pode ser obtido por meio do produto do Índice do Tempo Operacional (ITO) pelo Índice de Performance Operacional (IPO) e pelo Índice de Produtos Aprovados (IPA) (ANTUNES *et al.* 2008).

$$\text{OEE} = \text{ITO} \times \text{IPO} \times \text{IPA} \dots\dots\dots(1)$$

ITO representa o tempo em que o equipamento ficou disponível, excluindo-se as paradas não programadas; IPO representa os tempos de operações em vazio, paradas momentâneas e quedas de velocidade, sendo estas de difícil visualização; e IPA representa o tempo total de produção de peças boas, excluindo o tempo gasto para a produção de sucata e para a realização de retrabalho. Quanto menor for o valor de ITO, maior será o potencial de aumento de utilização do posto de trabalho por meio do ciclo de melhoria. Um baixo índice de ITO representa que o equipamento sofreu paradas não programadas com tempo e/ou frequência excessivo (ANTUNES *et al.* 2008).

## **3 METODOLOGIA**

A pesquisa realizada neste artigo se classifica por ser quantitativa, de caráter descritivo, operacionalizada por meio de um estudo de caso. Como instrumento de pesquisa será empregado à técnica da análise documental, com objetivo de levantar os dados obtidos com a aplicação das filosofias da TOC e do LM, e como ferramenta de análise dos dados, será empregada estatística descritiva.

A análise de dados quantitativos constitui-se em um trabalho que propicia que a informação que não pode ser diretamente visualizada a partir de uma massa de dados, poderá sê-lo, se tais dados sofrerem algum tipo de tratamento que permita esta observação. Estes autores complementam que a quantificação abrange um conjunto de procedimentos, técnicas e algoritmos destinados a auxiliar o pesquisador a extrair de seus dados, subsídios para responder à(s) pergunta(s) que o mesmo estabeleceu como objetivo(s) de sua pesquisa (FALCÃO; RÉGNIER, 2002). A pesquisa quantitativa envolve a coleta de dados, de modo que as informações possam ser quantificadas e submetidas a um tratamento estatístico, a fim de apoiar ou refutar afirmações de conhecimento alternativo (CRESWELL, 2007).

A pesquisa descritiva pode assumir diversas formas, entre as quais se destacam a bibliográfica, documental, de campo, de opinião, de motivação, estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos de caso (CERVO; BERVIAN, 2002). Na pesquisa descritiva os fatos são

observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles (ANDRADE, 2007).

O estudo de caso é uma análise detalhada de um objeto de pesquisa, com o objetivo de ampliar o conhecimento relativo ao elemento avaliado (GIL, 2008). O estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que utiliza múltiplas fontes de evidências e que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do contexto da vida real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidas (YIN, 2010).

A estatística descritiva preocupa-se como descrever dados, tendo com objetivo sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação destes valores, organizando os dados de três maneiras: por meio de tabelas, gráficos e medidas descritivas (BUSSAB; MORETTIN, 2003).

A pesquisa realizada neste artigo se classifica por ser quantitativa, de caráter descritivo e operacionalizada por meio de um estudo de caso, pois analisa em profundidade, por meio de estatística descritiva, os resultados alcançados com o emprego das filosofias da TOC e do LM como estratégias operacionais em uma empresa metal mecânica, fabricante de ferragens para o segmento da construção civil, localizada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, sem interferir nestes resultados.

## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso que trata este artigo foi realizado na empresa Alfa, um tradicional fabricante de ferragens para o segmento da construção civil, e buscou ilustrar a aplicação das filosofias da TOC e do LM, juntamente com algumas de suas ferramentas de sustentação, como: 5'S, TPM, SMED e OEE, como estratégia operacional para aumentar a eficiência produtiva de um equipamento considerado um gargalo produtivo.

A empresa Alfa enfrentava problemas de não atingir a demanda do mercado, em função da falta de capacidade produtiva em uma prensa do seu setor de estamparia, a qual é o único equipamento com capacidade de produzir dois tipos de componentes utilizados em sua principal linha de produtos, que é responsável por 67,6% do faturamento da empresa.

A aplicação da estratégia operacional analisada neste artigo, composta pela aplicação conjunta das filosofias da TOC e do LM, as quais são filosofias amplamente empregadas por empresas que possuem processos de fabricação de classe mundial, teve como objetivo aumentar a eficiência produtiva (OEE) da prensa do setor de estamparia, fazendo com que a mesma deixasse de ser um gargalo produtivo.

Na sequência serão apresentados os passos que foram seguidos para a implantação da estratégia operacional, juntamente com dados e indicadores do processo produtivo da empresa Alfa antes e após a intervenção. É importante destacar que a empresa iniciou a implantação da estratégia operacional descrita neste artigo no mês de Março de 2011 e que os resultados obtidos foram medidos no mês de Setembro de 2012.

### 4.1 Identificação do Gargalo Produtivo

Para identificar o gargalo produtivo foi analisada a capacidade x demanda (C x D) da prensa gargalo, estando os dados ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Capacidade x Demanda (C x D) da Prensa Gargalo

Componente	Capacidade Mensal	Demanda Mensal	% demanda/capacidade
Tipo A	764.906	900.000	117,7
Tipo B	382.453	450.000	117,7
<b>Total</b>	<b>1.147.359</b>	<b>1.350.000</b>	<b>117,7</b>

Fonte: Empresa Alfa (2013)



Na prensa gargalo são produzidos dois tipos de componentes, os quais são comuns a vários produtos da empresa. Podemos observar no Quadro 1 que a demanda exigida da prensa é 17,7% maior que a capacidade produtiva da mesma, tornando-a um gargalo produtivo. Para contornar este problema, a empresa Alfa terceirizou o excedente da produção, o que gerava custos extras, como frete e inspeção de qualidade no recebimento. No Quadro 2 é apresentada a carga máquina da prensa gargalo. Podemos observar que o equipamento operava 480 horas por mês, o que corresponde a 3 turnos de produção, durante 20 dias úteis por mês.

Quadro 2 – Carga Máquina da Máquina Gargalo

<b>Carga Máquina Mensal da Máquina Gargalo</b>	
<b>Componente</b>	<b>Carga Máquina</b>
Tipo A	331,0
Tipo B	149,0
<b>Total</b>	<b>480,0</b>

Fonte: Empresa Alfa (2013)

## 4.2 Identificação das Possibilidades de Aumento de Capacidade

Para aumentar a capacidade produtiva da prensa gargalo, primeiramente foi realizada uma análise da eficiência produtiva da mesma, por meio do OEE. Esta ação permitiu identificar o índice de eficiência que corresponde à disponibilidade do equipamento para a produção (ITO); o índice de eficiência da produtividade do equipamento (IPO); e o índice de eficiência da qualidade dos produtos (IPA), que mede o percentual de peças boas produzidas.

No Quadro 3 estão ilustrados os índices de eficiência mencionados.

Quadro 3 – Eficiência da Máquina Gargalo

<b>Índices</b>	<b>Eficiência Produtiva</b>
ITO	48,2%
IPO	89,6%
IPA	99,1%
<b>OEE</b>	<b>42,8%</b>

Fonte: Empresa Alfa (2013)

Conforme podemos observar no Quadro 3, a eficiência global do equipamento é de 42,8%, muito aquém de índices de padrão mundial (acima de 85,0%), e a principal causa que leva a este baixo índice são as paradas da máquina, as quais estão refletidas em ITO, já que a mesma fica somente 48,20% do tempo disponível para a produção.

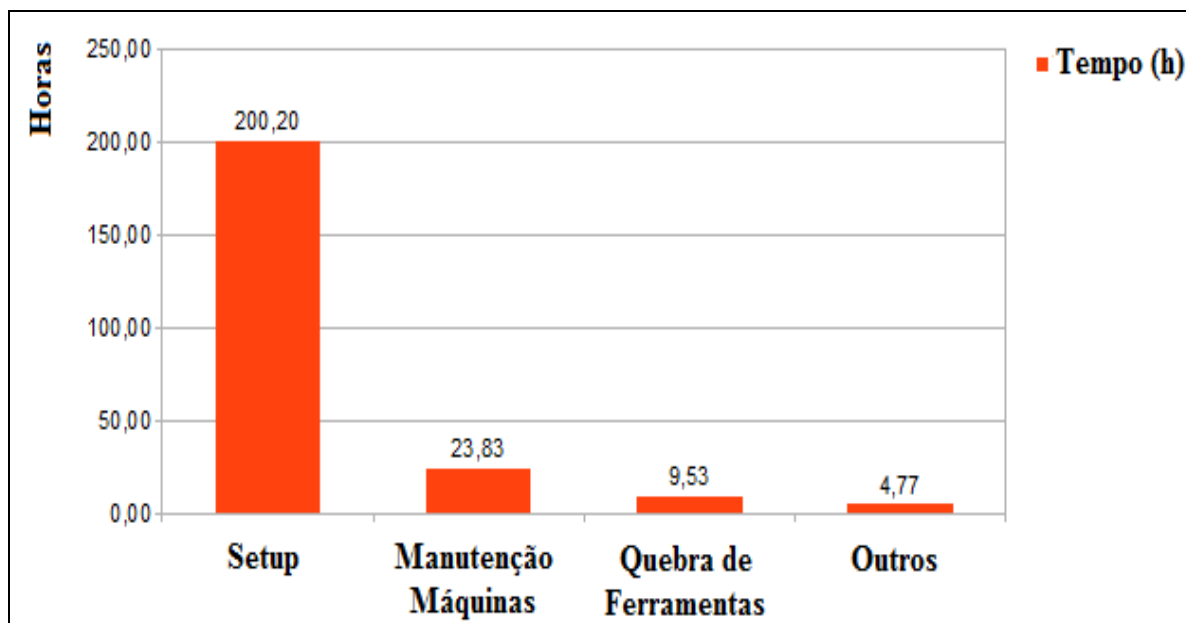
## 4.3 Combate aos Principais Motivos de Parada da Prensa Gargalo

Para aumentar a eficiência da prensa gargalo, primeiramente foram levantados os principais motivos de parada que contribuem para reduzir ITO. No Gráfico 1 estão ilustrados estes motivos.

Conforme podemos observar no Gráfico 1, o principal motivo de parada da prensa gargalo são as paradas para *setup*. Isso se deve, pois apesar de existir dois tipos de básicos de componentes estampados, existe uma variedade elevada de modelos, exigindo a troca de ferramentas e de matéria prima (aço baixo SAE 1010 carbono e aço inox AISI 430).

Para reduzir o tempo de *setup* da prensa gargalo, foi empregado o método 5'S, o qual permitiu estabelecer as condições iniciais necessárias para a aplicação do método SMED, que se baseou nas seguintes etapas: filmagem da operação de *setup*; separação das atividades de *setup* interno e externo; conversão das atividades internas em externas; e racionalização de todas as atividades da operação de *setup*.

Gráfico 1 – Principais Motivos de Parada do Gargalo Antes da Intervenção



Fonte: Empresa Alfa (2013)

Dentre as ações desenvolvidas e implantadas para a redução do tempo de *setup*, podemos destacar: confecção de ferramentas com sistema de troca rápida de punções, que permitiu configurar ferramentas de uma mesma família de componentes, sem extrair as mesmas da máquina; criação de um setor de *preset* de ferramentas, que permitiu que todas as ferramentas necessárias na produção estejam configuradas adequadamente e em bom estado, no momento necessário; implantação de sistemas de deslizamento nas prateleiras de armazenagem das ferramentas, na mesa da prensa e no carro de movimentação das ferramentas; padronização das alturas das ferramentas, a fim de evitar ajustes nas regulagens do alimentador das bobinas de aço e no sistema de fixação das ferramentas; e utilização de sistema de fixação rápida das ferramentas e de ajuste do curso do martelo da prensa. A implantação das atividades descritas permitiu reduzir as perdas por movimentação, espera e transporte na operação de *setup*, permitindo a otimização da mesma.

#### 4.4 Combate as Demais Ineficiências da Máquina Gargalo

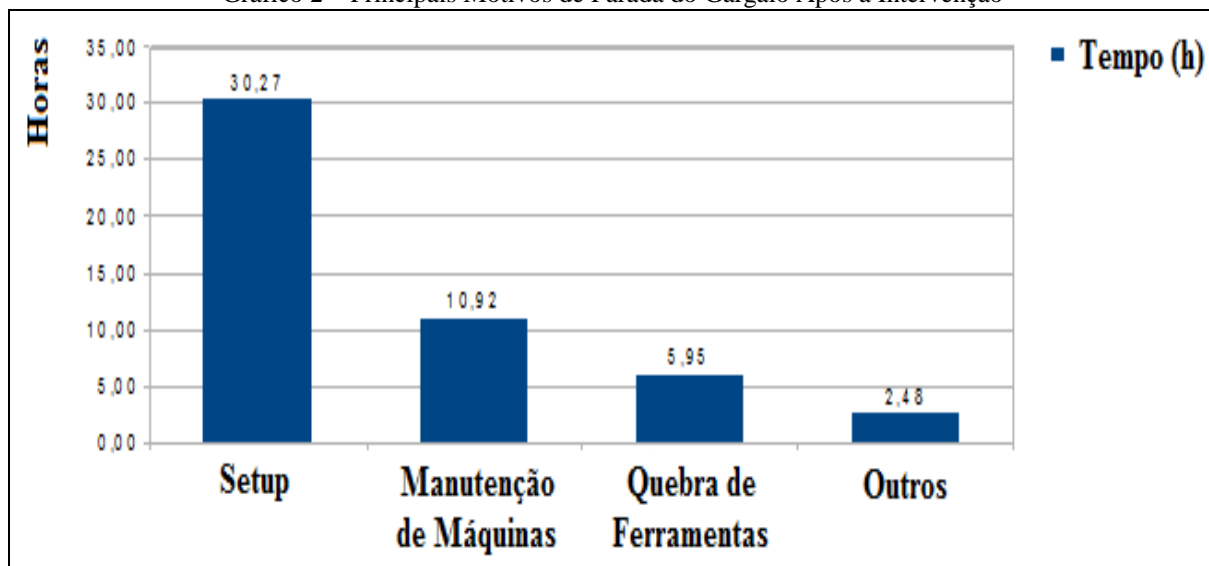
Para combater as paradas para manutenção da prensa gargalo foi implantado a técnica da *Total Productive Maintenance* (TPM), que permitiu reduzir o tempo de parada para manutenção deste equipamento, devido as seguintes ações: implantação da manutenção autônoma, onde os operadores da prensa gargalo passaram a realizar manutenções de baixa complexidade e a lubrificação do equipamento; e a implantação do programa de manutenção preventiva, que passou a ser realizado a cada três meses, no qual os sistemas mecânico, hidráulico e elétrico da prensa passaram a ser checados e consertados, caso haja a necessidade.

Quanto às paradas por quebra de ferramentas, foi verificado que as mesmas ocorriam em função da baixa confiabilidade do sistema de alimentação de bobinas de aço. Este, além de provocar a quebra dos ferramentais, contribuía para a redução da produtividade do equipamento e para a geração de peças defeituosas. Para corrigir esta ineficiência, foi investido em um sistema de alimentação de bobinas de aço de alto desempenho, que aumentou a confiabilidade e a produtividade do processo, reduzindo os motivos de parada citados.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na sequência estão apresentados os resultados obtidos com a implantação conjunta das filosofias da TOC e do LM na prensa do setor de estamparia da empresa Alfa, a qual era considerada um gargalo produtivo. No Gráfico 2 estão ilustrados os principais motivos de parada do equipamento após a implantação da estratégia operacional.

Gráfico 2 – Principais Motivos de Parada do Gargalo Após a Intervenção



Fonte: Empresa Alfa (2013)

Pode-se observar que os principais motivos de parada se mantiveram os mesmos, porém podemos verificar que houve uma redução significativa no tempo que a prensa ficava indisponível devido à realização de *setups*, já que antes da intervenção eram dispendidos 220,2 horas por mês para esta atividade e após a intervenção passou-se há empregar 30,3 horas. Podemos perceber que também houve reduções no tempo que a prensa ficava indisponível por manutenção e por quebra de ferramentas. No Quadro 4 está ilustrado um comparativo dos dados e indicadores da prensa antes e após a intervenção.

Quadro 4 – Resumo dos Ganhos Obtidos

Característica	Mar-2011	Set-2012	Variação
Demanda total [pçs]	1.350.000	1.800.000	33,3%
Capacidade total [pçs]	1.147.359	2.104.364	83,4%
OEE [%]	42,8	84,2	96,7%
ITO [%]	48,2	89,2	85,1%
IPO [%]	89,6	95,1	6,1%
IPA [%]	99,1	99,3	0,2%
Carga máquina necessária [h]	564,8	314,8	-44,3%
Carga máquina disponível [h]	480,0	480,0	0,00%
Número de operadores [un]	3	2	-33,3%
Perda mensal por <i>setup</i> [h]	200,2	30,3	-84,9%
Tempo médio mensal de <i>setup</i> [min]	99,3	13,8	-86,1%
Número médio mensal de <i>setup</i> [un]	121	132	9,1%
Perda mensal manutenção de máquinas [h]	23,8	10,9	-54,2%
Perda mensal quebra ferramentas [h]	9,6	6,0	-37,6%
Despesas com terceirização [US\$]	22.290,00	0,00	100,0%

Fonte: Empresa Alfa (2013)

Analisando o Quadro 4, pode-se avaliar que houve um aumento da eficiência produtiva da prensa gargalo (OEE de 96,7%), o qual subiu de 42,8 para 84,2%, entre os períodos de março de 2011 e Setembro de 2012, estando muito próximo de índices considerados de padrão mundial (acima de 85,0%).

O aumento de eficiência descrito foi obtido por meio da implantação conjunta das filosofias da TOC e do LM, gerado por meio dos seguintes aumentos parciais de eficiência: aumento de 85,1% do índice ITO, obtido por meio da redução dos tempos de parada do equipamento para *setup*, e para manutenção e quebra de ferramentas, os quais podem ser observados detalhadamente comparando o Gráfico 1 e 2; e aumento de 6,1% do índice IPO, obtido por meio da otimização do sistema de alimentação de bobinas de aço, gerando aumento de produtividade do equipamento e contribuindo para reduzir o tempo de parada por quebra de ferramenta.

Como ganhos, a empresa Alfa obteve um aumento de 83,4% na capacidade produtiva, o que permitiu atender ao aumento de demanda ocorrido entre Março de 2011 e Setembro de 2012, com redução de custos de mão de obra e eliminação dos custos com terceirização.

## 6 CONCLUSÃO

Baseado na análise dos resultados, conclui-se que a aplicação da estratégia operacional, baseada na aplicação combinada das filosofias da TOC e do LM, a qual está baseada na abordagem das melhores práticas, foi bem sucedida, proporcionando resultados positivos para a empresa Alfa, já que os resultados comparados antes e após a intervenção refletem cenários sem alteração significativa no *mix* de produção e com aumento de demanda.

Pode-se concluir que a filosofia da TOC foi empregada como direcionador para a aplicação da filosofia do LM e de ferramentas como o 5'S, TPM, SMED e OEE, permitindo concentrar os esforços sobre o gargalo produtivo da empresa Alfa.

Como resultados, a empresa Alfa obteve um aumento de capacidade produtiva, o que permitiu obter um maior faturamento e menores custos produtivos, atingindo com isso o objetivo da TOC, que é ganhar mais dinheiro hoje e no futuro. Baseado nisso a empresa garantiu a sua permanência no mercado e a possibilidade de aumento de participação no mesmo, já que ainda dispõe de 165,2 horas de carga máquina na prensa, que deixou de ser um gargalo produtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, I. P. S. KUMAR, N. P. **A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills**, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 15, n. 3, p.241-258, 2009.

ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P.; PELLEGRIN, I. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Editora Saraiva, 2003.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CORBETT, N. T. **Bússola financeira: o processo decisório da teoria das restrições**. São Paulo: Nobel, 2005.

COX, J. F.; SPENCER, M. S. **The constraints management handbook**. St. Lucie Press/ APICS Series on Constraints Management: Boca Raton, 2002.

CRESWELL, J. W. **Research design: qualitative, quantitative and mixed methods approaches**, 2. ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2007.

DETTMER, H. W. **Beyond lean manufacturing: combining lean and the theory of constraints for higher performance**. Port Angeles, US, 2001.

FALCÃO, J. T. R.; RÉGNIER, J. **Sobre os métodos quantitativos na pesquisa em ciências humanas: riscos e benefícios para o pesquisador**. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos, Brasília, v. 81, n. 198, p. 229-243, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

GODOY, L. P.; BELINAZO, D.P.; PEDRAZZI, F. K. **Gestão da qualidade total e as contribuições do programa 5S's**. ENEGEP, 2001.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The goal: a process of ongoing improvement**. 3. ed. New York: North River Press, 2004.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **As técnicas de sustentação do JIT**. 2013. Disponível em: <<http://www.leaninstitute.org.br>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

MARTINS, R. A. **Sistemas de medição de desempenho: um molde para a estruturação do uso**. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

OHNO, T. **O sistema toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. Tradução de Cristina Schumacher.

PELEIAS, I. R. **Controladoria: gestão eficaz utilizando padrões**. São Paulo: Saraiva, 2002.

QUEIROGA, J.M. **Gerenciamento da qualidade total – CVRD**, 2005.

SANTOS, A. **Application of flow principles in the production management of construction sites**. 1999. 463 f. PhD Thesis (School of Construction and Property Management) – Salford, England, 1999.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SILVA, C. E. S.; SILVA, D. C.; NETO, M. F.; SOUSA, L. G. M. **5S: Um programa passageiro ou permanente?** XXI ENEGEP, 2001.

SHINGO, S. **O sistema toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

\_\_\_\_\_. **Sistema de troca rápida de ferramentas: uma revolução nos sistemas produtivos.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

TAKAHASHI, Y; OSADA, T. **Manutenção produtiva total.** 2. ed. São Paulo: Instituto IMAN, 2000.

TOC-LEAN INSTITUTE. Disponível em: <<http://www.toc-lean.com>> Acesso em: 19 fev. 2013.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.