



TEORIA DAS RESTRIÇÕES: UM ESTUDO DE CASO ATRAVÉS DA REDUÇÃO DO TEMPO DE *SET UP* EM UMA METALÚRGICA DO ABC

HAMILTON POZO (hprbrazil@hotmail.com)

FACCAMP

TAKESHY TACHIZAWA (usptakes@uol.com.br)

FACCAMP

JOSÉ HENRIQUE SOUZA (josehenriquesouza@yahoo.com.br)

PUC CAMPINAS

Resumo

Este trabalho desenvolve os procedimentos e técnicas para a redução do tempo de preparação de máquina (*set up*), através de ação sistematizada denominada sistema de troca rápida a minuto (STRM) de forma a proporcionar facilidade e rapidez no manejo do processo de finalização e inicialização de uma operação para outra. Os conceitos e elementos do STRM foram aplicados em uma empresa de porte pequeno da região do ABC, que utiliza a Teoria das Restrições (TOC), para otimizar seu processo. Os resultados positivos do sistema mostram as reduções nos tempos de *set up* que proporcionam flexibilidade operacional e reduções de gargalos.

Palavras-chave: *Set up*; Flexibilidade e Redução de *lead time*; Redução de gargalos; Redução de custos.

1. Introdução

A aplicação da ferramenta STRM consiste no princípio de capacitação que permite às empresas produzir em lotes pequenos, o que resulta em reduções drásticas de inventário e torna o sistema de produção flexível. Para um sistema de produção com lotes pequenos de peças, devemos projetar os equipamentos e os leiautes de forma organizada e que facilitem o movimento do material de um processo ou operação para outro. Uma produção de lote pequeno requer que o tempo de preparação das máquinas seja pequeno ou tenda a zero minuto. E para que isto ocorra, todos os trabalhadores precisam estar envolvidos e treinados na metodologia de redução de tempo de *set up* (i.e., troca rápida em um dígito de minuto - STRM).

Uma equipe, cujo objetivo é buscar a redução do tempo de preparação de máquina, trabalhando com esse enfoque, consegue alcançar resultados excepcionais, obtendo reduções de até 80 % do seu tempo, praticamente sem investimentos. O objetivo de STRM é reduzir e simplificar o tempo de preparação dos equipamentos tendendo-o a zero. Quando o tempo do *set up* aproxima-se de um dígito de minuto ou próximo a zero, os lotes de fabricação podem, também, tender para a unidade. Com isso, reduzem-se os desperdícios como rejeição de conformidade, retrabalho e os tempos de espera. Como o tempo de preparação é uma necessidade dentro do processo onde são produzidos diversos produtos, ele sempre foi visto como uma determinada tarefa que tem de ser feita, algo que deva ser aceito e pronto. O tempo de preparação sempre foi medido ou calculado convertendo-se em um custo que usa uma quantidade de ordem econômica, que é o lote econômico de fabricação (LEF), para efetuar seu cálculo. Isto é, seu custo será rateado em um lote de produção elevado, fazendo com que o rateio por peça seja muito

baixo, insignificante. Essa era uma solução considerada boa, mas incompatível com as necessidades do sistema de manufatura atual.

Em face às oportunidades proporcionadas pelo STRM, deve-se mudar totalmente nosso modo de pensar e ver o sistema produtivo; quanto menor o tempo de preparação de máquinas, menor serão os lotes de fabricação, os inventários, os desperdícios, os que agregam custos e os tempos de atendimentos do mercado, em suma, maior flexibilidade e maior lucratividade.

Atualmente, uma série de transformações no universo da manufatura tem ocorrido devido à mudança do foco de produção em massa para produção de pequenos lotes, fazendo com que ocorram novos procedimentos no jeito de administrar um sistema produtivo. Esses elementos são bem explicados por Slack (1999). E uma delas é a troca rápida de ferramentas e dispositivos nas máquinas, com o objetivo de reduzir e simplificar o tempo de *set up*, provocando a eliminação de refugos, retrabalho, esperas e ainda a redução de tempo de inspeção. Para a produção de pequenos lotes, muitos equipamentos são projetados e organizados com o objetivo de facilitar a movimentação e troca de materiais de um processo para outro rapidamente, reduzindo assim ou eliminando completamente o tempo de *set up* e desperdícios.

A Teoria das Restrições Goldratt & Cox (1988, v. 1, n. 2), conhecida como TOC (*Theory of Constraints*) ou OPT (*Optimized Production Technology*), caracteriza-se como um novo procedimento para gerenciar fatores, processos de fabricação, decisões organizacionais e situações nas quais existam restrições. O TOC é uma ferramenta do administrador moderno, que faz a junção de todas as técnicas administrativas de manufatura em uso na conceituação atual. É uma metodologia científica que permite focar as soluções aos problemas críticos da empresa (independente de seu porte), para que possam assegurar seu processo de melhoria contínua.

Como premissa fundamental, a Teoria das Restrições expõe que todas as empresas possuem ao menos uma *restrição crítica* que limita sua capacidade produtiva. Restrição é todo e qualquer elemento que ocorre em um sistema que o impeça de obter o seu melhor desempenho. O gestor, com a utilização da Teoria das Restrições, controla a margem de contribuição e o ciclo produtivo unitário do produto em seus recursos críticos, suas restrições (gargalos), alterando sua capacidade produtiva para cima. A Teoria das Restrições pode ser usada em três níveis diferentes, conforme mostra o quadro 1, abaixo.

Quadro 1. Os três níveis da teoria das restrições

NÍVEL 1	Administração de produção – Na resolução de problemas de gargalos, programação da produção e redução de inventário;
NÍVEL 2	Análise de processos - Aplicação de custo baseado em absorção em lugar de análise de custo tradicional, permitindo tomar ações baseadas em melhoria contínua de processos, melhoria de sistema, restrições dos sistemas, que estatisticamente determinam capacidades protetoras e pontos críticos e os elementos chaves;
NÍVEL 3	A aplicação geral de TOC que visa atacar uma variedade de problemas de processo dentro da organização através de sua lógica aplicada para identificar quais são os fatores que estão limitando uma organização, para alcançar suas metas, desenvolvendo uma solução ao problema para a melhoria contínua.

Fonte: Goldratt & Cox (2002),

Como uma nova metodologia científica de gestão da manufatura, a TOC tem como objetivo primordial promover uma contínua otimização do desempenho esperado em qualquer organização que possua uma meta bem definida, por meio do enfoque das ações gerenciais nos elementos que a restringem. Visa, também, um comprometimento com a qualidade total e o fluxo perfeito de um processo no ganho contínuo de produtividade. Assim, podemos afirmar que produtividade é o ato de fazer uma empresa ficar mais próxima de sua meta (Goldratt, 2003).

Principalmente, dentro de um processo de fabricação, todas as ações devem convergir para que a manufatura caminhe no sentido de cumprir sua meta, ou seja, as necessidades do cliente. Deve ficar claro que, para uma organização fabril aumentar seu desempenho, melhorar sua produtividade e, assim ampliar seu lucro, é necessário que, no nível de chão de fábrica, o fluxo produtivo seja dinâmico e ampliado e que, ao mesmo tempo, os estoques sejam reduzidos drasticamente, reduzindo-se, assim, as despesas operacionais.

2. Metodologia e referencial teórico do TOC e STRM

O processo de melhoria contínua dentro de uma empresa deve ter como base uma clara definição de sua Meta, assim como o estabelecimento de parâmetros de medição de desempenho que estão diretamente relacionadas com essa Meta para poder medir os impactos de sua ação. As organizações têm como meta principal a de ganhar dinheiro, que deve estar acompanhada de pressupostos básicos que forneçam qualidade, preço, atendimento, entre outros, para a plena satisfação do cliente. Essas condições devem ser satisfeitas no sentido de alcançar a melhoria contínua.

Faz-se necessário, então, que a organização fale uma linguagem “comum e simples”, evitando os freqüentes problemas de comunicação existente nas empresas. No sistema convencional, para se avaliar o desempenho de um administrador, ou seja, verificar se ele atingiu ou não o objetivo da empresa deve-se avaliar o resultado no final do período, em termos de: produção obtida, lucro líquido, fluxo de caixa, retorno do investimento, etc. Porém, isto somente é feito *a posteriori*. A Teoria das Restrições vem fornecer o instrumental conforme os meios para se avaliar o resultado anterior, antes e durante o processo Goldratt e Cox (2003). Utilizando-se de medidores intermediários, permite uma manufatura sincronizada e consciente. Tais medidores utilizados são: **Valor Agregado (VA)** ou *throughput*; **Inventário (I)**, e **Despesa Operacional (DO)**.

Valor agregado é definido como a velocidade que o sistema gera dinheiro por meio de vendas. Inventário é todo o dinheiro despendido na compra de materiais que serão transformados em produto. E, por fim, despesa operacional é todo dinheiro necessário para transformar os materiais (I) em *throughput* (VA). Os gestores de manufaturas devem ter em mente a percepção voltada para o mercado, pois os lucros são provenientes do *valor agregado* obtido pelas vendas e não pelo tamanho do inventário ou do desempenho da fábrica (Wooldrige and Jennings, 1995).

Portanto, para um processo de manufatura obter incremento em sua produtividade, é necessário reduzir inventários e flexibilizar a produção com fluxo mais linear e sem interrupções do processo produtivo com a utilização da ferramenta de troca rápida a minuto nos *set up* das máquinas. Conforme (Goldratt e Cox, 2003), a organização estará melhorando seu desempenho global por meio do desempenho da manufatura em seus objetivos de produtividade e terá seus desempenhos aferidos através de seu lucro líquido, retorno de investimento, produtividade e fluxo de caixa.

Dadas as medidas como descritas acima, os empregados poderão tomar decisões locais, examinando o efeito dessas decisões no processamento global do maior fluxo produtivo e na redução de inventário global com a diminuição da despesa operacional para a firma, conduzindo a uma decisão boa para o negócio como um todo. A necessidade de disponibilidade imediata e o valor destas ferramentas tornaram-se importantes fatores no desempenho das áreas produtivas e, conseqüentemente, na competitividade global das empresas, Plute (1998).

A Teoria das Restrições reduz em muito os custos. Isto fica claro quando comparada à aplicação dos princípios de contabilidade de custos (principalmente à distribuição de custos para a tomada de decisões em nível local) que conduz a decisões gerenciais pobres em relação aos departamentos, como também em níveis superiores da organização. De fato, TOC elimina, virtualmente, o uso de Ordens Econômicas de Quantidades (*Economics Orders Quantities* – OEQ) ou Lotes Econômicos de Fabricação (LEF) (Goldratt e Cox, 2003).

Um aumento do fluxo, conforme definido, significa simultaneamente aumentar o lucro líquido, retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa. Resultado similar é conseguido com a redução das despesas operacionais. Neste caso, o custo de produção é reduzido, enquanto o fluxo de venda dos produtos permanece constante e os níveis de estoque também. Uma redução nos níveis de estoque influencia diretamente o retorno sobre investimento e fluxo de caixa. O desempenho dos processos organizacionais necessita estar sempre sendo medido, ou pelo menos julgado, para que possa ser continuamente aperfeiçoado (Drucker, 1988, p.75-76).

Com relação ao *set up*, pouco esforço tem-se aplicado com o objetivo de redução do seu tempo ou mesmo sua eliminação, tratando o problema como fixado para uma determinada produção. O objetivo consistia em aumentar o tamanho do lote para que o tempo de *set up* fosse diluído na produção total desse lote, assim reduzindo seu custo por peça e, conseqüentemente, criando grandes inventários em processo e longo *lead-time*.

A filosofia *just-in-time* não aceita *set up* como fixado, ou seja, como elemento inerente ao processo e aceitável como está, mas sim fundamenta-se em um processo de troca rápida de ferramentas ocorrendo, assim, substanciais sucessos no que corresponde à redução do tamanho dos lotes.

A redução formal do processo de *set up* está baseada no grupo ou equipe envolvida, consistindo de pessoas do chão de fábrica, em que os operadores têm um papel de destaque. O processo do STRM baseia-se na ação de operação em quatro fases fundamentais:

- **primeira fase:** é a análise do atual processo de *set up* para determinar se é realmente requerido ou se pode ser eliminado através de família de produtos ou simplificação do processo. Se o *set up* não pode ser eliminado, os detalhes da máquina, as ferramentas, o material e as rotinas existentes podem ser melhor analisados com o seu manuseio por meio da utilização de filmagens do *set up* atual, obtendo-se todos os procedimentos desnecessários ao processo;
- **segunda fase:** é a identificação das atividades do *set up* que são internas e as que são externas para a operação. Atividade interna é aquela que, para se fazer o *set up*, torna-se obrigatória a parada do equipamento para se fazer a troca de ferramental. A atividade externa é a que pode ser executada antes de se fazer o *set up*, independentemente de a máquina estar operando. Exemplo: trazer a nova ferramenta junto à máquina;
- **terceira fase:** é o reexame das atividades internas para assegurar que elas sejam corretamente identificadas e aceitas e então aplicar esforços para convertê-las em atividade externa;
- **quarta fase:** é a melhoria contínua das atividades internas e externas do *set up* que não

puderam ser eliminadas inicialmente. Ações como executar operações paralelas sem parar a máquina, eliminar ajustes, pôr em prática a metodologia de análise, padronizar dispositivos para a eliminação de tempo de ajustes, e finalmente eliminar o seu *set up*.

Uma vez identificados, os procedimentos devem ser revistos para garantir que a máquina esteja operando enquanto atividades externas são eliminadas, fazendo com que o tempo real de *set up* seja drasticamente reduzido.

Muitos problemas de *set up* estão relacionados com materiais, processos e sistemas de fabricação e sua administração. Contrariando a opinião popular, a execução é um problema menor (Standard e Davis, 1999). Muitas empresas têm empregado o trabalho em equipe para reduzir o esforço individual, recomendando-se a combinação de esforços da equipe de *set up* e o treinamento individual nos fundamentos da técnica do strm; trabalho com um dígito de minutos na troca de ferramental no processo de *set up*.

Para o sucesso do STRM, avalia-se a recomendação de Black (1991), que aconselha a utilização do seguinte procedimento na execução do *set up*, conforme quadro 2 abaixo.

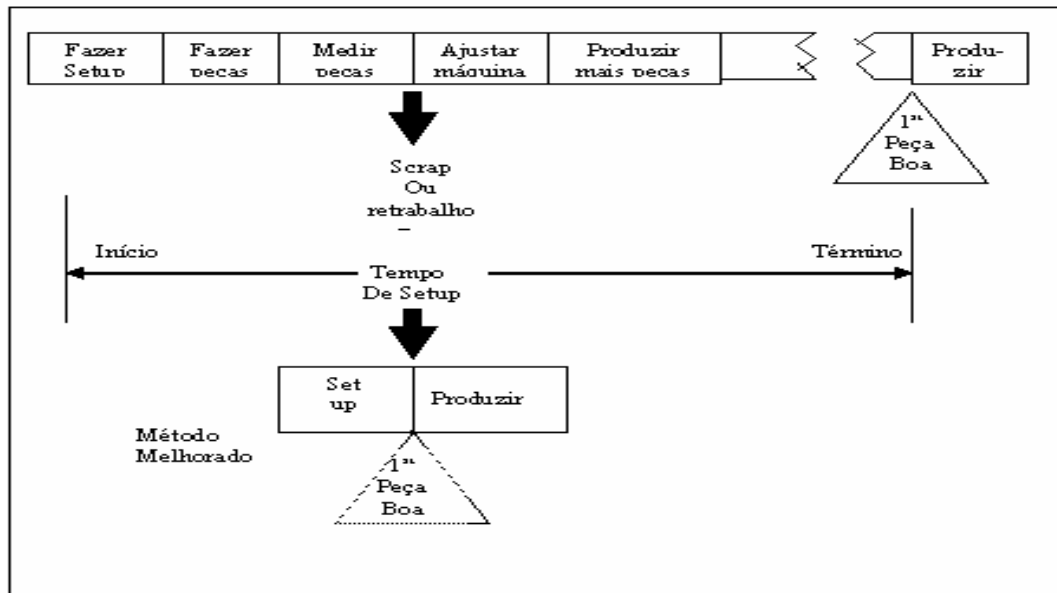
Quadro 2. Recomendações para *set up*

1.	Selecionar um líder em tempo integral que acredite na filosofia de redução de <i>set up</i> para o projeto.
2.	Selecionar uma equipe do projeto para executar o trabalho. Tipicamente para a evolução da equipe de <i>set up</i> deveria ser composta de algumas ou todas as seguintes pessoas: um operador de <i>set up</i> , um engenheiro industrial, um engenheiro de projeto, um ferramenteiro, um operador de máquina, um consultor com experiência em redução de <i>set up</i> , um supervisor, um gerente da área de projeto, e um líder sindical.
3.	Realizar uma série de reuniões informais com diretores e o staff de supervisores, e todos os trabalhadores incluindo o representante sindical. Estes encontros darão ênfase no programa de troca rápida de ferramentas, resultando em rápidos e mais freqüentes <i>set up</i> e que os trabalhadores serão os responsáveis por muito destes esforços. Estes encontros tratarão do que deverá ser feito, porque deve ser feito, quem deverá fazer, e como deverá ser realizado. Sugestões deverão ser bem vindas, aceitando conselhos e envolvimento da equipe.
4.	Selecionar áreas específicas da planta para o projeto piloto. Este pode ser uma série de máquinas, processos e operações que se planeja e organiza entre um trabalho celular ou funcional. Para o momento em que as máquinas terão que ser movidas entre células, os problemas de <i>set up</i> terão que ser localizados. O projeto inicial pode ter longos <i>set up</i> , problemas de atrasos, grandes inventários em processo, um alto valor de inventário, ou grandes problemas de qualidade.

Fonte: Black, (1991)

Uma vez que a equipe é treinada no STRM e em operações de *set up*, começa o treinamento específico de operadores e das pessoas envolvidas no atual. A metodologia é tão simples e direta que todos podem executá-la. A implantação, no final, deverá estar em toda a empresa. Um dos pioneiros na implantação da redução de *set up* foi Shingo (1995), que desenvolveu os elementos básicos e implantou essa importante ferramenta para a execução de *set up* em único dígito de minuto (SMED) dentro da Toyota na troca do processo de ferramental. Na figura 1 abaixo, é apresentado esquematicamente o processo de *set up* antes e depois da introdução do STRM.

Figura 1 – O tempo de *set up* antes e depois do STRM



Fonte: Black, (1991)

3. A importância do STRM no processo

Quase sem exceção, todos os livros acadêmicos que versam sobre produção, operações, qualidade ou inventário apresentam a fórmula para o cálculo do lote econômico de fabricação (LEF): a quantidade que equilibra o custo de movimentação do inventário ocasionada por grandes quantidades de produção, contra o custo de desempenho da preparação de máquinas. A equação é normalmente determinada por (1.1):

$$LEF = \sqrt{\frac{Cs \cdot Pa}{Ca \cdot Mp}}$$

(1.1)

Onde:

Cs = custo do *set up*

Pa = volume anual de produção

Ca = custo de armazenagem

Mp = máxima produção possível

Outro modo para avaliar o problema de *set up* é através do custo de fabricação. Este cálculo é baseado na equação (1.2) a seguir em sua forma mais básica:

$$CT = CF + (CV \cdot Q)$$

(1.2)

Onde:

Ct = custo total da peça

Cf = custo fixo

Cv = custo variável por peça

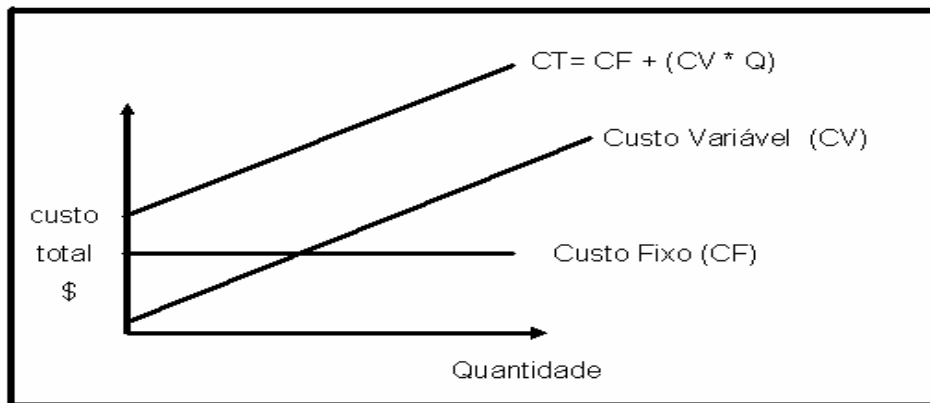
Q = quantidade de peças a fabricar

Custos fixos incluem custos que não são sensíveis a mudanças da quantidade de fabricação (lote). Custo de *set up* é o custo fixo de todos os fatores para executá-lo, e é calculado

multiplicando-se o custo horário do *set up* pelo tempo utilizado. Custo do tempo de *set up* é a somatória do custo hora do homem que executa o *set up* mais o custo hora da máquina.

O custo variável é a composição do custo de homem-hora-máquina mais o custo do material de cada peça. O gráfico 1 abaixo mostra esses custos em sua composição clássica, com suas relações lineares. Esses pontos mostram que à medida que a quantidade de peças fabricada aumenta, os custos aumentam também.

Gráfico 1. - Representação clássica do custo total versus quantidade



Fonte: Adaptação dos autores.

Se o custo total for dividido pela quantidade de peças a fabricar, conforme a equação 1.2, teremos a seguinte equação (1.3) abaixo, e, então, ela será expressa em termos de custo por unidade:

$$\frac{CT}{Q} = \frac{CF}{Q} + CV$$

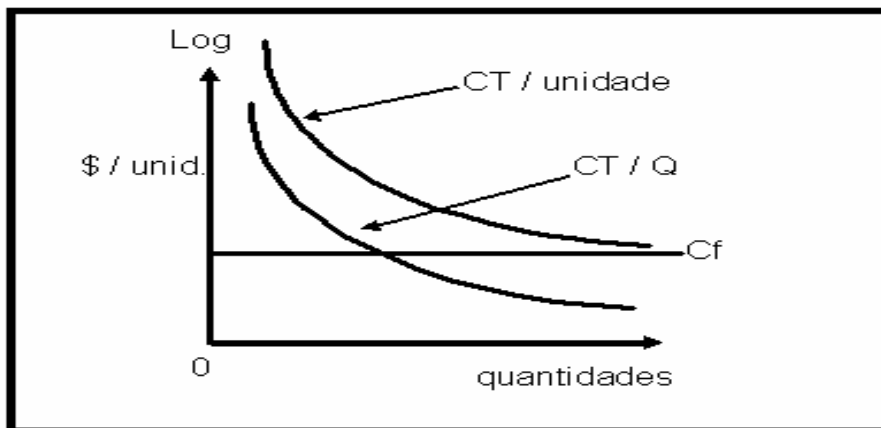
(1.3)

A informação mostrada na equação 1.2, agora, deverá ser convertida, conforme a equação 1.3. Esta função clássica, que é apresentada em muitos livros acadêmicos e revistas técnicas, não representa com devida precisão como o custo por unidade varia para um dado processo em uso. Note que custo variável está agora constante ou na linha horizontal em 1.3 de forma que, em grandes lotes de fabricação, o custo total por unidade aproxima-se do custo variável. Esta visão simplória foi a força motriz que direcionou o sistema produtivo americano e sua filosofia de alocar custos; assim, o *set up* terá o seu custo distribuído para todas as peças de um lote de fabricação muito grande, reduzindo o custo que o *set up* incide sobre cada peça. A equação 1.3 reflete as idéias básicas da chamada economia de escala, porém, não se estende ao uso correto e indefinidamente. Em algum ponto Q, a quantidade será tão grande que a capacidade do processo será excedida e outro processo deverá ser considerado. Porém, a equação 1.2 é uma falsa representação porque invariavelmente os dados são plotados em papel quadriculado log-log para uma fácil visão e análise dos dados.

Esses elementos, assim transformados, dão ao leitor uma impressão distorcida de que o custo por unidade produzida varia muito gradualmente com quantidade. O custo por unidade diminui com quantidade porque os custos fixos são distribuídos para muitas unidades, porém, deixa-nos com outra impressão. Entretanto, a equação 1.3 mostra-nos que quando plotadas em coordenadas Cartesianas em lugar de coordenadas log-log, o custo total por unidade imerge rapidamente para o custo variável, girando nitidamente e quase próximo a C_v / Q sobre o planejado na quantidade a fabricar.

No gráfico 2 abaixo, o modelo típico de custo utilizando o LEF, que é apresentado nos textos de livros, mostra o custo por unidade versus Quantidade a fabricar.

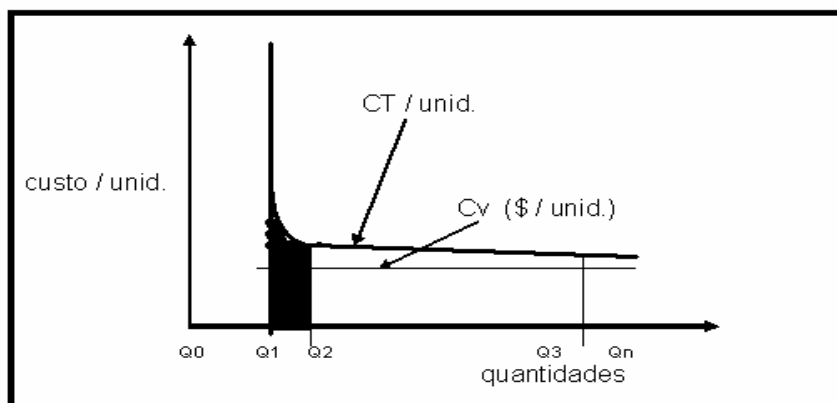
Gráfico 2. Modelo típico de custo: unidades *versus* quantidade.



Fonte: Adaptação dos autores.

O custo por unidade sempre decresce enquanto a aproximação do custo variável por unidade tende ao seu mínimo. A variação da mudança rápida do custo por unidade para uma lenta variação do custo variável por unidade ocorre por meio de uma estreita faixa de quantidades (de Q_1 para Q_2 - a área sombreada no gráfico 3). De Q_2 para Q_3 , a taxa de mudança em custo por unidade é muito pequena comparada a Q_1 para Q_2 , como mostra o gráfico 3 abaixo. Custo total real por unidade versus quantidades plotadas em coordenadas cartesianas.

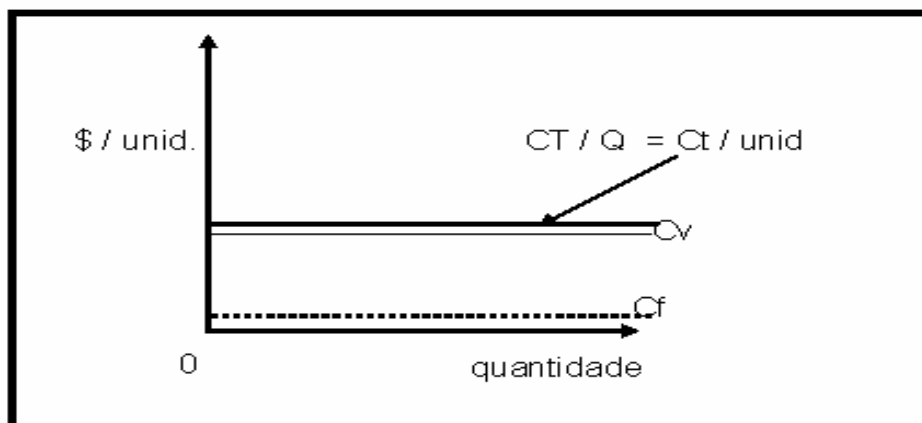
Gráfico 3. Custo total real por unidade *versus* quantidades



Fonte: Adaptação dos autores.

Para ver o que acontece a este quadro econômico quando o *set up* (e seu custo) está bastante reduzido ou eliminado, examine o gráfico 4. A função de custo total fica igual rapidamente à função de custo variável. A linha pontilhada descreve que o custo de *set up* é muito reduzido, mas não eliminado. O ponto é este: o custo por unidade é constante para qualquer quantidade quando os custos de *set up* são reduzidos para tender a zero. Entretanto, os fabricantes que usam a estratégia do STRM podem fabricar em lotes muito pequenos, basicamente pela mesma unidade de custo das empresas que usam lotes grandes de fabricação e rateiam os custos por essa grande quantidade na fabricação. O STRM proporciona um fator importantíssimo para a flexibilidade e competitividade da organização. As razões são que os inventários precisam ser administrados e armazenados e a qualidade deve ser melhorada. Os grandes inventários escondem os problemas e o tempo de fabricação, com o STRM todo o processo é otimizado. Portanto, a economia proporcionada com a redução do tempo de *set up* é muito eloqüente.

Gráfico 4. Custo total real por unidade *versus* quantidade



Fonte: Adaptação dos autores.

4. Proposta e implantação do STRM em uma pequena indústria de autopeças do ABC

A indústria de autopeças *ROTOFLEX* introduziu a Teoria das Restrições como uma filosofia de trabalho na empresa e aplicou, em sua manufatura, seus princípios com sucesso. A empresa, usando a eficiência da Teoria das Restrições, percebeu a maneira pela qual seus diretores decidiram como e onde deveriam investir seu dinheiro. Para que o TOC pudesse obter melhores resultados dentro da *ROTOFLEX*, foi solicitada uma análise do atual sistema de trocas de ferramentas (*set up*) e a implantação do STRM.

O levantamento das condições pré STRM mostrou que a empresa não segue nenhuma metodologia e ou procedimentos para se executar as preparações de máquinas (*set up*). Embora existam folhas de operações para efetuar os *set up*, ficou evidenciado, quando nos acompanhamentos das preparações e, nos relatos dos operadores que o executavam que não a utilizava, nenhum procedimento formal, acarretando, assim, um maior tempo para completar a preparação das máquinas.

Foram avaliados diversos *set up* em várias máquinas diferentes. Máquinas como tornos revolver, fresadoras universal, linhas de retíficas, prensas hidráulicas e outras que mostraram os

seguintes acontecimentos quando da execução dos *set up*, que foram documentados nas folhas de avaliação e nas análises de movimentos dos quais alguns serão apresentados neste artigo. Abaixo, na tabela 1, está sendo apresentada uma peça (AX-133) usinada no Torno revolver TB 2 que estava programada e foi acompanhado o seu *set up*. É importante salientar que, na análise desta preparação, o operador ficou sabendo, no momento do *set up*, que haveria uma avaliação do trabalho. Na folha de operações da peça, o tempo padrão de *set up* era de 25 minutos, porém, o tempo encontrado, na avaliação, foi de 64 minutos, conforme descrito na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Folha de avaliação do *set up* do torno revólver

Análise de Setup		ROTOFLEX	
Peça: AX-133		15/08/07	
		Máquina : Torno Traub TB 2	
		Início do setup : 10:44	
Nome do operador: Julio			
Oper.	Descrição	Tempo	TC
10	Término as última peça, buscar novo processo	4,0	9:47 *
20	Pegar algumas ferramentas	1,0	9:48 *
30	Iniciar troca de ferramentas de corte e pinça	6,0	9:54
40	Soltar parte traseira do fuso	2,0	9:56
50	Colocar novas ferramentas de corte e ajustar comprimento	5,0	10:01
60	Corta a primeira peça e verifica dimensão	2,0	10:03
70	Inicia ajuste do comprimento e os cantos da peça (neste tempo o operador foi buscar outras chaves, um novo came e o trocou no torno, ajustou novamente as ferramentas de corte)	27,0	10:30 *
80	Ajusta a velocidade de corte troca jogo de engrenagem)	4,0	10:34
90	Corta uma Segunda peça com ajuste das ferramentas	2,0	10:36
100	Foi buscar gabarito e mede a peça	3,0	10:39
110	Ajusta, corta a Terceira peça e mede	1,0	10:40
120	Ajusta sistema de arraste da barra e corta nova peça	3,0	10:43
130	Corta mais seis peças e as mede, libera a produção	4,0	10:47
TEMPO TOTAL DO SETUP		64 minutos	
Tempos internos : 46 minutos		Tempos externos * : 18 minutos	
** internos e externos, sendo 10 minutos externo			
Obs. : Boa parcela dos tempos internos podem ser transformados em externos			

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram feitas filmagens completas do processo deste *set up* e ficou constatado que o preparador não tem uma rotina sistematizada do desenvolvimento do *set up*. Ele fica sabendo da peça que irá montar no momento em que o equipamento necessita mudar para uma nova peça. Com esse fato há um excesso de tempo na preparação ocasionada por falta de ferramental nos lugares indicados, dificuldade de identificação de dispositivos e padrões para controle da peça a ser usinada, e um tempo muito grande gasto em caminhada (338 metros) na procura de ferramental dentro da empresa, conforme apresentado na tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Movimentação do operador no *set up* do torno revólver.

ITEM	OPERAÇÃO	DISTÂNCIA EM METROS
01	Buscar processo da peça a ser montada	45
02	Pegar matéria-prima no estoque	66
03	Buscar ferramenta no Torno Traub nº 7754	25
04	Pegar ferramenta no Torno Traub nº 7372	20
05	Buscar pinça no estoque	15
06	Buscar outra pinça no estoque	10
07	Buscar curva no estoque de garras	52
08	Buscar martelo na máquina Fresadora nº 5331	55
09	Buscar padrão no estoque	30
10	Buscar container para peças usinadas	20
Distância total percorrida		338 metros

Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a filmagem do *set up* da Fresa universal EX1, preparação 25 minutos, porém, o tempo encontrado na avaliação foi de 58 minutos, conforme descrito na tabela 3 abaixo, e dados complementares na tabela 4, mostra quanto caminhou o operador.

Tabela 3 - Folha de avaliação do *set up* da Fresa universal EX1

Análise de Setup		ROTOFLEX	
PEÇA :CX-107 Data: 17/10/07		Máquina : Fresa Universal EX1 Início do setup : 9:45 hs	
Nome do operador:			
Oper.	Descrição	Tempo	TC
10	Término as última peça, buscar novo processo	10,0	9:55 *
20	Pegar os dispositivos	8,0	10:03 *
30	Foi buscar o gabarito de inspeção	7,0	10:10 *
40	Foi guardar ferramental do processo anterior	4,0	10:14 *
50	Início da troca de ferramentas (ajustar fresa) (parou às 10:30 horas para o lanche de 15 minutos)	16,0	10:45
60	Volta para a máquina às 10:45 horas e termina ajuste	5,0	10:50 *
70	Fixa a mesa e o cabeçote da fresa	3,5	10:53 ½
80	Usina a primeira peça e mede a peça	2,0	10:55 ½
90	Ajusta e usina a segunda peça e libera produção	2,5	10:58
TEMPO TOTAL DO SETUP		58	minutos
Tempos internos : 24 minutos		Tempos externos * : 34 minutos	
Obs. : Boa parcela dos tempos internos podem ser transformados em externos			

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4. Movimentos do operador para o *set up* da Fresadora EX1

ITEM	OPERAÇÃO	DISTANCIA (ida e volta)
01	Buscar processo da peça a ser montada	35 metros
02	Pegar dispositivo da fresa	12 metros
03	Buscar fresa no estoque	20 metros
04	Procurar martelo na fábrica	60 metros
05	Buscar ferramenta no estoque	40 metros
06	Buscar estopa no estoque	20 metros
07	Trocar fresa no estoque	27 metros
08	Buscar ferramenta no estoque	18 metros
09	aguardar orientação	5 metros
Distância total percorrida		237 metros

Fonte: Dados da pesquisa.

A seguir, na tabela 5, está representado o *set up* e sua análise em uma centro de usinagem onde sua folha de operação indicava o tempo de *set up* de 27 minutos e o tempo que, realmente, foi gasto nessa máquina foi de 54 minutos.

Tabela 5 - Folha de avaliação do *set up* do centro de usinagem

Análise de Setup		ROTOFLEX	
PEÇA : M-153 Data: 22/10/07		Máquina : Centro de usinagem Início do setup : 15 : 10 horas	
Nome do operador:			
Oper.	Descrição	Tempo	TC
10	Término as última peça, buscar novo processo	8,0	15:18 *
20	Retirar alimentador	4,0	15:22 *
30	Iniciar ajuste da prensa	11,0	15:33
40	Ajustar sistema hidraulico	6,0	15:39
50	Ajustar ferramenta	5,0	15:44
60	Ajuste final	2,5	15:46½
70	Prensar primeira peça	0,5	15:47
80	Inspeccionar e pequeno ajuste	2,0	15:49
90	Prensar e liberar produção	15,0	16:04
TEMPO TOTAL DO SETUP		54 minutos	
Tempos internos : 42 minutos		Tempos externos * : 12 minutos	

Fonte: Dados da pesquisa.

Na tabela 6, está representado o *set up* e sua análise em uma retífica especial. Sua folha de operação indicava o tempo de *set up* de 12 minutos e o tempo que, realmente, foi gasto nessa máquina foi de 33 minutos.

Tabela 6 - Folha de avaliação do *set up* na retífica especial

Análise de Setup		ROTOFLEX	
PEÇA : YX-215 Data: 23/10/07		Máquina : retífica especial Início do setup : 14:10 horas	
Nome do operador:			
Oper.	Descrição	Tempo	TC
10	Término as última peça, buscar novo processo	4,0	14:14 *
20	Retirar alimentador	3,0	14:17 *
30	Iniciar ajuste da retífica (abrir distância dos rebolos, parar rebolos, ajustar a entrada e saída das peças e dressar rebolo [8 minutos])	18,0	14:25
40	Retificar a primeira peça e ajustar medida	5,0	14:30
50	Retificar a Segunda peça e liberar produção	3,0	14:33
TEMPO TOTAL DO SETUP		33 minutos	
Tempos internos : 26,0 minutos		Tempos externos * : 7,0 minutos	
Obs. : Boa parcela dos tempos internos podem ser transformados em externos			

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de *set up* das quatro máquinas que foram avaliadas na empresa *ROTOFLEX* comprovou que seus tempos de preparação das máquinas estão elevadíssimos sendo, portanto, uma grande barreira para se trabalhar com pequenos lotes de produção, reduzir os inventários e os desperdícios e, principalmente, dar flexibilidade à empresa de poder trabalhar em um sistema de manufatura enxuta.

Fica bem evidenciada a importância de se implementar um programa de *set up* modelo STRM para que os tempos atuais de preparação caiam para a casa de aproximadamente 9 minutos inicialmente e, com pequenos investimentos, possam tender a um minuto.

5. Implantação do STRM na empresa

O primeiro passo foi entender como é composto o tempo total de *set up*, que é o tempo da última peça boa do lote de produção anterior até a primeira peça boa do novo lote. Qualquer atitude para alterar esse tempo é parte integrante da nova ação dentro da *ROTOFLEX*. A seqüência típica de um processo de produção está ligada ao equipamento e à ferramenta: executadas algumas peças, estas devem ser inspecionadas e ajustadas à máquina, na confecção de outras peças, estas devem ser medidas e ajustadas, e assim por diante, até termos peças boas saindo no processo. Essa sistemática, comum nas empresas, gera muita rejeição e retrabalho causando enormes perdas do tempo operacional de uma peça. A chave para reduzir o tempo é a eliminação dos ajustes e dos tempos externos. Existe uma diferença significativa entre fixar e ajustar. O seletor de canal da televisão fixa a TV para o canal desejado. O termostato fixa a temperatura que se deseja.

A troca rápida de ferramentas e de dispositivos pode reduzir tempo de *set up* de horas para minutos. Este é benefício notável para a indústria manufatureira. A capacidade das máquinas disponíveis será aumentada com a redução do tempo de *set up*, porém, como expõe a teoria das restrições, não use a capacidade adicional para produzir a mais, ou o que não está sendo pedido, porque acarretará custos de inventário.

Os passos básicos do programa para a redução do tempo de *set up* na *ROTOFLEX* foram: 1º- Passo: Análise do método existente; 2º- Passo: Separação dos elementos internos dos

elementos externos; 3º- Passo: Conversão dos elementos internos em elementos externos; 4º- Passo: Redução ou eliminação dos elementos internos; 5º- Passo: Eliminação de ajustes e aprimoramento do novo método. Cada passo das ações aplicadas estão explicitadas no quadro 3 abaixo.

Quadro 3. Os cinco passos do STRM aplicados na *Rotoflex*.

1º- Passo	Analise o método existente. Análise detalhada pelos operadores e líderes do processo atual de set up, registrando todos os elementos que sobressaem como irregulares e externos;
2º- Passo	Separe os elementos internos dos elementos externos. Os elementos Internos referem-se a ações do set up em que a máquina necessita ser parada para executá-los. Os externos referem-se às ações que podem ser efetuadas enquanto a máquina está operando sem afetar o processo produtivo. Esses dois tipos de elementos devem ser rigorosamente separados. Como elementos externos do set up têm atividades que de buscar dispositivos e ferramentas, trazer a matéria-prima, disponibilizar o plano de produção e ações de aproximar e colocar o ferramental ao lado da máquina. Ajustes, modificações e conserto das ferramentas devem ser feitos com antecedência. Como elementos internos devem ocorrer, somente, a remoção da ferramenta e a colocação da nova ferramenta na máquina.
3º- Passo	Converta elementos internos em elementos externos. Uma das ações mais importantes que ocorre na redução do tempo de set up é a atividade de converter as operações de set up que executamos com a máquina parada (elementos internos) para operações com a máquina operando (elementos externos). Se uma atividade pode ser executada seguramente quando a máquina está operando, então se podem executar os elementos externos do set up. Os elementos externos do set up passaram a ser feitos rotineiramente e com processos bem definidos e documentados e colocados nas máquinas para que a equipe de set up sempre os consulte, servindo como guia para contínuo melhoramento.
4º- Passo	Reduza ou elimine os elementos internos. Nesta etapa as equipe iniciaram o processo de reduzir e até mesmo eliminar os elementos internos do set up. Na troca de um estampo em uma prensa, por exemplo, o processo de trocar (ajustar) a altura da mesa com o novo ferramental consumia, freqüentemente, de 50 a 70 % do tempo elementos internos dos set up. Com a padronização do tamanho das ferramentas e localizadores únicos o set up nas prensas foram reduzidos em 65% em uma primeira fase. Como fonte auxiliar a disposição da empresa para a conversão de elementos internos em externos tem-se uma enorme gama de produtos estandarizados e que estão a venda no mercado, tais como, os apertos rápidos, grampos, fixadores pneumáticos e hidráulicos, parafusos de rosca múltipla, alinhadores, padrões e muito outros. Além destas ferramentas, deve-se padronizar os tamanhos dos parafusos e porcas, introduzir canais e guias de pré-ajustagem, trazer os dispositivos e ferramentas ao lado da máquina que os utilizam, codificá-los e diferenciá-los por cores.
5º- Passo	Elimine ajustes e aprimore o novo método. A eliminação do ajuste no setup é um passo crítico para redução ainda mais de seu tempo interno. O uso de espaçadores, de canais de posições, de régua de regulagens, de guias de posicionamento e de ferramentas com alturas e tamanhos padronizados tende a levar o tempo de ajuste para zero. Porém, situações sempre acontecem em que se é exigido reajustar a máquina. Até mesmo o número necessário de posições na maioria das máquinas ou operações, normalmente, é limitado, especialmente em células de trabalho. Fixar é uma atividade que deve ser considerada independente do ajuste. O ajuste pode ser realizado movimentando a máquina o mínimo necessário para sua posição de trabalho sem qualquer tentativa ou erro. O uso de instrumentos com leitura digital ou interruptores de limite, é um exemplo, para rapidez de colocação da máquina na posição de trabalho sem ajuste ou aproximação fina. Os processos atualizados dos set up foram documentados e detalhados, tanto nos aspectos de trabalho como no do tempo, e colocado a disposição de todos operadores. O operador é o homem que melhor conhece a preparação e set up de sua máquina.

Fonte: Adaptação dos autores.

O objetivo final do STRM é a aproximação do tempo de *set up* para tender a *zero minuto*, isto é, abolir o *set up* completamente.

6. Considerações finais

A redução ou eliminação de tempo de *set up* é um passo fundamental para a conversão de qualquer sistema em que haja a preparação de máquinas e, para tanto, o STRM transforma-se no ferramental ideal para apoiar qualquer programa de redução de desperdícios em uma manufatura. Esse esforço, normalmente, será o primeiro que uma empresa deverá empreender para obter flexibilidade operacional, pensar em manufatura enxuta e, principalmente, apoiar a implantação da Teoria das Restrições. Os resultados são imediatos e óbvios, porém, isto não faz com que o programa STRM seja um projeto de curto prazo, pelo contrário, é de longo prazo e de melhorias contínuas.

Os resultados obtidos na ROTOFLEX estão apontados no quadro 4 abaixo, onde os resultados do programa de redução de tempo de *set up* durante o período dez meses (março de

2007 a dezembro de 2007), apresentam dados muito eloqüentes na redução dos *set up*. Houve uma redução de aproximadamente 67% nos tempos de *set up* nesse período. As preparações de máquinas com tempo acima de 30 minutos, que correspondiam a 83% dos *set up*, caíram no período, com praticamente nenhum investimento (somente os de manutenção), para 9%. Portanto, uma redução nos tempos de preparação de máquinas.

Tabela 7 - Redução do tempo de *set up* na Rotoflex

ROTOFLEX tempo de <i>set up</i>	% dos <i>set up</i> com seus tempos			Previsão
	jun/07	out/07	jan/08	mai/08
> 90 minutos	11	4	0	0
60 a 90 minutos	18	17	8	0
30 a 60 minutos	44	40	27	15
15 a 30 minutos	7	17	34	18
05 a 10 minutos	1	3	11	40
< 5 minutos	0	0	1	8

Fonte: Dados da pesquisa

A empresa pesquisada, além de obter grandes ganhos de custo com a redução dos desperdícios em estoques elevados, em movimentações desnecessárias, com elevado *lead-time* operacional, com as dificuldades em atender prontamente os clientes, muito retrabalho e insatisfação dos clientes internos e externos, passou, após o primeiro ano do programa, a ter maior motivação e participação por parte de seus colaboradores, flexibilidade em atender aos pedidos, menor custo operacional e sucesso no desenvolvimento da teoria das restrições em sua fábrica.

Para obter-se este nível de redução de tempo de *set up* é necessário um trabalho que deve ser desenvolvido em etapas. A primeira etapa requererá pequena ou nenhum envolvimento de capital, e alcança excelentes soluções em um tempo relativamente pequeno. Reduções de 40 a 60% são típicas desta fase. A segunda etapa envolve operações de análise detalhadas; modificações das ferramentas e dispositivos, das máquinas, dos procedimentos e a necessidade de aplicação de capital são relativamente modestas. Novamente, podem ser alcançados benefícios de redução de tempo de 30 a 50 % em um tempo relativamente pequeno. Essas duas primeiras etapas normalmente ocorrem em um período não maior que um ano. A terceira etapa é a mais cara e envolve a necessidade de altos investimentos em ferramentas, dispositivos e máquinas, abrangendo o método de análise de causa-efeito, mudanças de projetos, operações e procedimentos. O resultado final para obter a completa redução do tempo de *set up*, nesta fase, pode durar mais alguns anos. Os resultados esperados giram em torno de 10 a 30 %.

Os resultados obtidos permitiram avaliar consistentemente o caráter benéfico do STRM, tendo-se atingido satisfatoriamente os objetivos propostos no estudo. As informações aqui apresentadas geram conhecimento relevante para os gestores de manufatura. Como a amostra do estudo foi restrita a uma empresa, sendo, portanto, limitado, recomenda-se a replicação deste estudo em outras empresas e em outras cidades de São Paulo e, também, em outros estados, como também, a aplicação de métodos mais rigorosos de pesquisa.

7. Referências

- BLACK, J. T. The Design of The Factory with a Future, New York, McGraw Hill, Inc
- DRUCKER, P.F. Management and the world's work. **Harvard Business Review**, v. 66, n.5, p.75-76, sept./oct. 1988.
- GOLDRATT, E. M. A Meta. São Paulo: **Nobel**. 2003
- GOLDRATT, E. M. & COX, J . Manual da Teoria das Restrições . Porto Alegre, **Bookman**, 2002
- _____, Chapter 2: Laying the Foundation, The Theory of Constraints Journal, vol. 1, n. 2), **Avraham Y. Goldratt Institute**, New Haven, CT, April-May, 1988.
- _____, Teoria das Restrições. São Paulo. **Nobel**, 2003.
- PLUTE, M. Tool management strategies. Cincinnati: **Hanser Gardner**, 1998
- SHINGO, S. Le Systeme SMED. Une révolution en gestion de production. Paris:**Les Éditionsd'Organisation**, 1995
- SLACK, N. Administração da produção. São Paulo: **Atlas**, 1999.
- STANDARD, C.; DAVIS, D. Running today's factory: a proven strategy for lean manufacturing. Cincinnati: **Hanser Gardner**, 1999.