TEORIA DAS RESTRIÇÕES: O SUCESSO ATRAVÉS DE REDUÇÃO DO TEMPO SET UP EM UMA PEQUENA INDÚSTRIA DE MANUFATURA

Hamilton Pozo

Resumo

O presente trabalho desenvolve os procedimentos e técnicas para a redução do tempo de preparação de máquina (set up), através de ação sistematizada denominado 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, que pratica a Teoria das Restrições, para otimizar o processo de manufatura. Sua aplicação permite identificar as restrições continuadamente e assim melhorar o desempenho com reduções nos tempos de preparação de máquinas e flexibilidade operacional.

Palavras-chave

Set up, flexibilidade e redução de lead time

Abstract

The present work develops the procedures and techniques for the reduction of the machine set up through systematized action denominated system of fast change to minute (sfcm) in way to provide easiness and speed in the process of the finishing and starting an operation for other. The concepts and elements of the sfcm were applied in a small sized company that practices the Theory of Constraint to optimize the manufacture process. This application allows to identify the restrictions easily and to improve the acting of reductions in the times of machines' preparations and operational flexibility.

Keywords

Set up, flexibility and lead team's reduction

TEORIA DAS RESTRIÇÕES: O SUCESSO ATRAVÉS DE REDUÇÃO DO TEMPO SET UP EM UMA PEQUENA INDÚSTRIA DE MANUFATURA

Hamilton Pozo

1 Introdução

A aplicação da ferramenta STRM, é o princípio de capacitação que permite as empresas a produzir em lotes pequenos e qual resultará 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 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 obter 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 aproximarem de zero. Quando o tempo do set up se aproxima de um dígito de minuto ou próximo a zero os lotes de fabricação podem, também, a tender para a unidade. Com isso reduz-se os desperdícios como rejeição de conformidade, retrabalho e os tempos de esperas. Como o tempo de preparação é uma necessidade dentro do processo onde se produz diversos produtos ele sempre foi visto como uma determinada tarefa que tem que ser feita, algo que deve 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 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. 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, 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 em 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 enfocar 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 o ocorre em um sistema que o obstrua 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:

- **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 fatores estão limitando uma organização, para alcançar suas metas, desenvolvendo uma solução ao problema para a melhoria continua.

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 continuo de produtividade. Assim, podemos afirmar que produtividade é o ato de fazer uma empresa ficar mais próxima de sua meta.

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 ao 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 Descrição do problema e metodologia 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, etc. 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. Tem-se que avaliar o resultado no final do período, em

termos de: Produção obtida, lucro liquido, fluxo de caixa, e 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, 2002). 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 o todo 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 e 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, 1990) a organização estará melhorando seu desempenho global através do desempenho da manufatura em seus objetivos de produtividade e que terão seus desempenhos aferidos através:

- Seu lucro líquido,
- Retorno de investimento,
- Produtividade,
- Fluxo de caixa.

Dado as medidas como descritas acima, os empregados podem tomar decisões locais, examinando o efeito dessas decisões no processamento global da maior fluxo produtivo e na redução de inventário global com a diminuição da despesa operacional para a firma, conduzira para 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 se compara com a aplicação dos princípios de contabilidade de custos (principalmente a distribuição de custos para tomar decisões ao 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 Ordem 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 se consegue 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).

A Teoria das Restrições discorda da tradicional contabilidade de custos, alterando as importâncias relativas à nossa realidade atual. Na figura 1, abaixo é apresentado o comparativo entre a contabilidade de custo convencional e os custos através do *througput.*

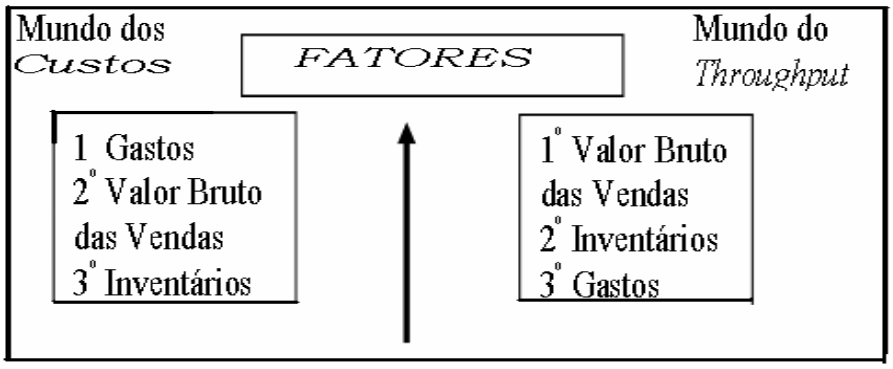

Figura 1. Comparação entre a contabilidade de custo convencional e os custos através do *througput.*
Fonte: Adaptação do autor.

Tanto a Teoria das Restrições como a Contabilidade de Custos, consideram as empresas como uma seqüência de eventos, porém a contabilidade de custos procura reduzir custos em todos os seus recursos. Por sua vez a TOC, centrada no mundo do *trhoughput*, busca sua resistência, concentrando esforços, quase que exclusivamente, nos sues recursos críticos. Tem como premissa que qualquer empresa possui ao menos uma *restrição crítica*, que limita sua capacidade produtiva. O gestor de Manufatura, com o controle das restrições, controla a margem de contribuição e o ciclo produtivo unitário do produto nos recursos críticos (gargalos), alterando sua capacidade. De acordo com (GOLDRATT E COX, 2002), as restrições críticas se classificam em dois tipos: *restrições físicas e restrições políticas* que podem ser vista no esquema simplificado de um tubo que serve de analogia com o que acontece em uma empresa como mostrado na figura 2, abaixo.

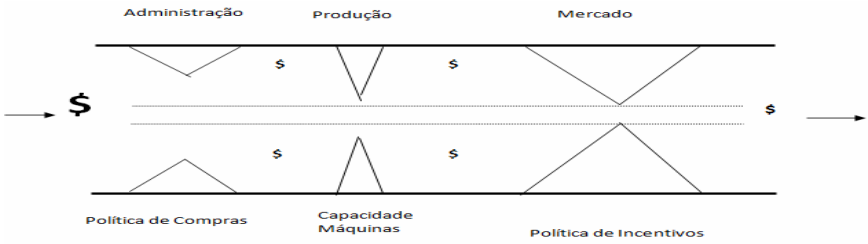

Figura 2. Esquema simplificado das restrições críticas.
Fonte. Goldratt e Cox, 2003.

No caso do tubo, não importa quanta água entre pelo lado esquerdo, a quantidade que pode sair pelo lado direito depende somente da parte mais estreita do tubo e não da quantidade de barreiras existentes. Assim, qualquer intervenção dentro do tubo que não diminua a maior barreira será em vão.

Analogamente, pode-se dizer que para gerar um aumento na produção ou nos lucros é necessário localizar a Restrição Crítica do sistema *(*incentivo*s)*, de forma tal que a restrição se altera, passando a ser outra "barreira" (capacidade de máquinas). Agora não é mais conveniente continuar fazendo intervenções na barreira inicial, pois o novo determinante do sistema passa a ser este novo obstáculo. Neste sentido, qualquer esforço em seqüência diferente, representa gasto inútil de tempo e dinheiro, já que a empresa não conseguirá atingir sua Meta.

2.1 Restrições Físicas

Conforme já exposto, a manufatura é uma cadeia de eventos ou de processo e, a seqüência desta cadeia implica na existência e combinação de dois fenômenos. Um desses fenômenos denomina-se de *acontecimentos dependentes* e o outro de flutuações estatísticas. Para obter uma melhoria contínua no caso das restrições físicas, a Teoria das Restrições estabelece um Processo de Decisão (GOLDRATT E COX, 2003), composto de cinco passos:

Passo 1. Identificar as restrições do processo – identificar aqueles recursos cuja capacidade produtiva restringe a capacidade do sistema de atender a seu fluxo de vendas de produtos (a restrição pode ser inclusive a própria demanda de mercado);

Passo 2. Explorar as restrições do processo – significa tirar o máximo delas, por exemplo, não perder tempo em máquinas gargalo;

Passo 3. Subordinar o restante às decisões referentes às restrições – os gargalos definem o fluxo de produção e os estoques, a ocupação dos recursos não gargalo, entre outros;

Passo 4. Procure relaxar a restrição – significa aumentar de alguma forma a capacidade de produção do gargalo, no sentido de aumentar a capacidade de fluxo do sistema;

Passo 5. Se no passo 4 uma restrição foi relaxada, voltar ao passo 1 para identificar a próxima restrição do sistema.

Antes de aplicar o Processo de Decisão acima descrito, alguns cuidados devem ser tomados a priori conforme (GOLDRATT E COX, 2003):

1. É indispensável determinar um líder para o processo, o qual deve ocupar um posto de alta hierarquia, para poder alterar algumas políticas de alto nível (as quais podem caracterizar restrições ao sistema) e deve estar totalmente comprometido com a Meta da empresa;
2. O líder deve aclarar qualquer dúvida do grupo;
3. O líder deve permitir que outras pessoas sejam líderes de outras partes do processo de melhoria contínua;
4. O líder e o grupo de gerentes serão responsáveis pela execução das ações que planejaram no menor tempo possível e, portanto, responsáveis pelos seus resultados;

5. A primeira ação do líder e do grupo de gerentes é determinar a Meta da empresa e os medidores correspondentes;
6. A Segunda ação do grupo deve ser detectar as restrições da empresa e selecionar a que proporcionará resultado mais rápido sem requer investimentos.

Existem formas simples de identificar as restrições físicas e analisá-las em função da real demanda de mercado. As restrições físicas podem ser: Restrições de Manufatura, de Equipamentos, de Matérias Primas, de Insumos, de Pessoas, de Processos, etc.

2.2 Restrições Políticas

Concernente às restrições políticas a Teoria das Restrições desenvolve uma metodologia de três perguntas, baseado em um método de pensamento científico. Para efetivamente introduzir melhorias e mudanças, três perguntas básicas devem ser feitas:

1. **O que mudar?**

   Nem tudo precisa ser mudado; a maioria das coisas é suficientemente boa como estão ou o lucro resultante da sua mudança não justifica o custo.

2. **Para o que mudar?**

   Muitas vezes é óbvio que um processo deve ser mudado, mas não é nada claro para o que mudar.

3. **Como mudar?**

   Mesmo que saibamos exatamente o que mudar e para o que mudar, enfrentamos a difícil tarefa de fazer a empresa implantar completamente a mudança.

No entanto, uma dificuldade maior é de como responder a estas perguntas, de como tratá-las e de como motivá-las. E para poder responder esses questionamentos adequadamente em um ambiente que evolui continuamente, é de suma importância que certas habilidades sejam usadas como ferramentas que permitam **identificar, encontrar e induzir.**

Identificar os problemas centrais de cada restrição é de certa forma rápida e a solução parece bastante viável. Ao mesmo tempo, estes problemas centrais podem ser muito bem escondidos, até mesmo pelos próprios interessados. É preciso ter condições de identificar sistematicamente a "raiz" e não desperdiçando atenção com as "folhas".

Encontrar soluções práticas e simples são fundamentais. As soluções complexas geralmente não resolvem. As simples por outro lado podem levar à solução adequada. Adote como lema: encontre a solução simples e não a fácil.

Induzir as pessoas certas a inventarem uma boa solução é o indicado, especialmente quando ela envolve mudança nas premissas básicas. É ingênuo esperar que pessoas a adotem, mesmo que aparentemente não tenha havido resistência, pois, elas não a entenderão do modo necessário para sua implantação efetiva. A única maneira fácil e prática de superar estes obstáculos é induzir as pessoas, que atuarão na implantação da mudança, a inventarem as soluções “sozinhas”.

2.3 Técnicas da Teoria das Restrições

Desenvolvidas as habilidades importantes fundamenta uma primeira. Para resolver a questão torna-se necessário que a eliminação das restrições políticas seja efetivada. A

aplicação da técnica básica do TOC que se fundamenta nos cinco passos relacionados às três perguntas básicas:

Primeiro passo; Efeito - causa – efeito (O que mudar?): Esta técnica não é nova e nem sofisticada e o uso deste enfoque permite que as pessoas cheguem rapidamente ao problema central. Ela consiste em detectar os problemas raízes, via certificação da causa em cada passo.

Segundo passo; Evaporação das nuvens: É uma técnica para geração de soluções de segunda ordem, ou seja, soluções simples e efetivas, porém geradoras de excelentes resultados. Se um problema grande puder ser considerado como uma nuvem, esta técnica permite ao invés de resolver o problema, fazê-lo desaparecer, encontrando a premissa mais imperfeita. Ou seja, quando o problema é muito grande, deve-se procurar o que de mais errado existe no sistema fazendo com que o problema desapareça igual aos ventos que levam as nuvens para outro lugar. Aparecerão problemas menores, mais simples de serem resolvidos.

Terceiro passo; Árvore de realidade futura (*Para o que mudar?*): É uma técnica para avaliar a solução candidata, encontrar as possíveis contingências e neutralizá-las se necessário antes que ocorram.

Quarto passo; Árvore de pré requisitos: É uma técnica para identificar e relacionar-se os obstáculos de implantação da nova solução, uma vez que com cada solução se cria uma nova realidade.

Quinto passo; Árvores de transição: É a técnica final e com a qual se materializa a *tática* que permitirá que a solução obtida possa ser implementada com êxito. Adicionalmente é neste passo que se quantificam as necessidades econômicas e os benefícios esperados. Serve também como mapa roteiro e verificação, já que contém a seqüência de aspectos quantitativos

e qualitativos esperados da solução. Esta árvore pode ser facilmente convertida em Gráfico de Gantt ou no tradicional Plano de Implantação.

3 A filosofia da TOC e o STRM

Uma empresa que está muito interessada em mudar e melhorar enfrenta alguns obstáculos, sendo o maior e mais significativo à existência de uma resistência natural a todo e qualquer tipo de mudança; resistência esta inerente ao próprio ser humano. Neste sentido percebe-se que:

- Qualquer melhoramento é uma mudança; não é possível melhorar nada sem mudar; ou como se afirma – *não podemos subir uma escada sem tirar o pé do degrau anterior.*
- Qualquer mudança é vista pela maioria das pessoas como uma ameaça a sua segurança, uma vez que é desconhecida.
- Qualquer ameaça à segurança causa resistência emocional.
- Esta resistência emocional atrasa a introdução dos melhoramentos e muitas vezes até impede a sua introdução.

Esses são fatores que correspondem ao clima percebido dentro da empresa, que é a cultura organizacional. Ela surge como solução de alguns problemas de desintegração das organizações, enfatizando as idéias comuns, formas de pensar, valores, padrões e maneiras de trabalhar (FREITAS, 1991). Mas também pode ser uma fonte de resistência no processo de mudança na direção da vantagem competitiva, transformando a mesma em algo estressante ao se realizar (OLIVEIRA, 1999).

Tentando amenizar esta resistência, a Teoria das Restrições diverge do método convencional de aprendizado, conhecido como Abordagem Aristotélica. O ensino convencional provoca resultados mais rápidos, porém seu efeito é de pouco tempo, fazendo com que os resultados se declinem rapidamente. Nesta forma de ensino tenta-se combater a resistência emocional com a lógica. Sempre que tentamos superar a emoção com a lógica, na grande maioria das vezes a emoção prevalece, vence.

O sucesso do aprendizado será obtido quando acontecer de forma lenta, porém contínua, conforme gráfico 1, abaixo (GOLDRATT E COX, 2003). Torna-se necessário, portanto, despertar a emoção do *empenho para mudar.* Tem-se que garantir às pessoas a emoção do inventor, até mesmo porque elas terão o maior interesse em que a modificação dê certo.

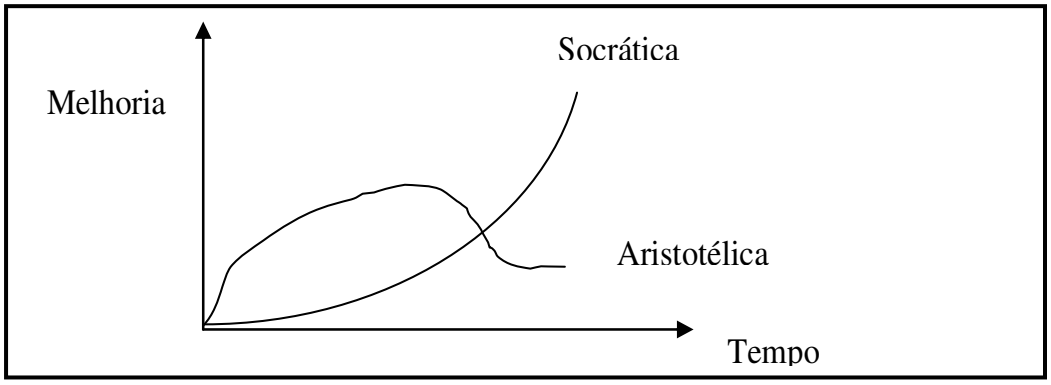

Gráfico 1. Processo de aprendizagem Socrática.
Fonte. Goldratt e Cox, 2003.

Como conseqüência, a sistemática utilizada para viabilizar o aprendizado, difundida pela Teoria das Restrições, é a mesma maneira conhecida, antiga e comprovada de fazer com que as pessoas inventem a idéia. Sócrates usava esta estratégia quando queria que alguém fizesse alguma coisa, ficando assim conhecida como Abordagem Socrática.

Essa abordagem as respostas não são ensinadas. Ao contrário, são feitas perguntas para quem quiser saber algo, fazendo-o descobrir ou inventar as respostas. Fazer perguntas

socráticas não é tão simples como parece. É necessária uma metodologia especial e ainda, saber de antemão as soluções de forma geral. Quando perguntas são feitas sem que se saiba exatamente como conduzi-las, o resultado é apenas irritação por parte dos interessados. Se todos da organização entender a direção básica e as metas da empresa, há a formação de uma base comum e uma disposição maior das pessoas envolvidas em fazer acontecer as transformações (STANDARD E DAVIS, 1999).

Para programar as atividades no sentido de permitir o atendimento dos objetivos a Teoria das Restrições considera que primeiro é necessário entender muito bem o inter-relacionamento entre dois tipos de recursos, já mencionados, e que estão normalmente presentes em todas as organizações: os recursos gargalo e os recursos não gargalo.

Considere um recurso gargalo X e assuma que o total da demanda de mercado implique em uma utilização deste de 200 horas mensais. Por ser um gargalo, considere ainda, que a demanda é igual à disponibilidade deste recurso, ou seja, 200 horas por mês. Por definição o recurso gargalo fica ocupado totalmente durante todo o tempo de sua disponibilidade. Outro recurso Y, não gargalo, é exigido em um total de 150 horas/mês, apesar de analogamente ao recurso X, possuir uma capacidade de produção de 200 horas, ver figura 3.

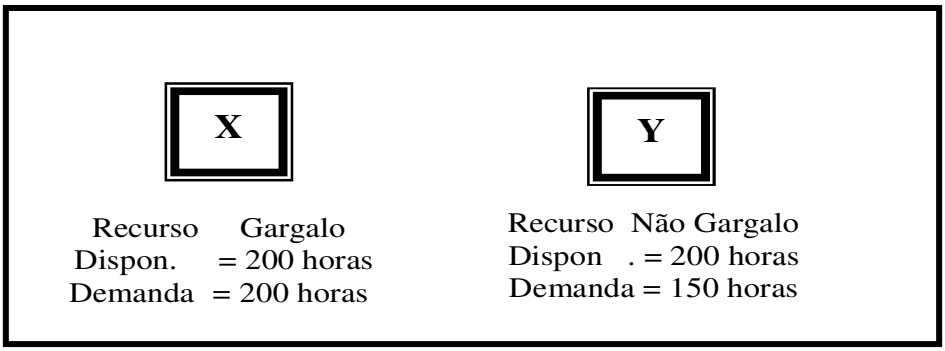

Figura 3. Recursos gargalo e não gargalo.
Fonte: Adaptação do autor.

Em relação aos recursos e as demandas apresentadas na figura 3, pode-se afirmar que quatro tipos de relacionamento, entre estes dois recursos podem ocorrer.

O primeiro deles é quando toda a produção flui do recurso X para o Y. Nesta situação, pode-se utilizar o recurso X totalmente (100%), mas, somente 75% do tempo do recurso Y pode ser utilizador. Isto se explica uma vez que X não consegue produzir o suficiente para manter Y ocupado todo o tempo, conforme figura 4.

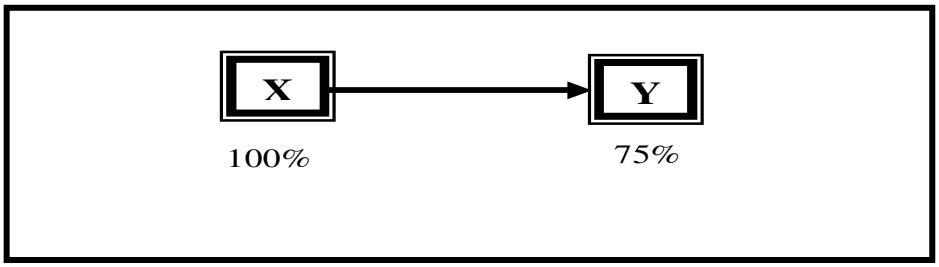

Figura 4. Fluxo do recurso X para o Y.
Fonte: Adaptação do autor.

Um segundo relacionamento, mostrado na figura 5, ocorre quando a produção flui de Y para X. O recurso X será utilizado 100% do tempo, e o recurso Y pode ser ativado 100% do tempo, desde que haja matéria prima disponível. Entretanto, lembrando que um dos objetivos da Teoria das restrições é aumentar o fluxo e ao mesmo tempo reduzir estoque e despesas operacionais, conclui-se que Y só deveria ser ativado 75% do tempo. Qualquer ativação além implica na formação de estoque em processo entre os recursos Y e X, sem aumento de fluxo, limitado por X.

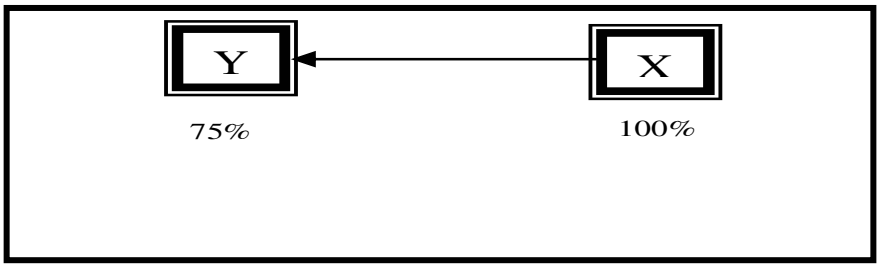

Figura 5. Fluxo do recurso Y para o X.
Fonte: Adaptação do autor.

O terceiro relacionamento acontece quando os recursos X e Y, em vez de alimentarem um ao outro, alimentam uma montagem que se utiliza das partes processadas em ambos. O recurso X pode ser utilizado em 100% do tempo, Entretanto, se o recurso Y for ativado por mais de 75% do tempo, o estoque se acumulará antes da montagem, já que esta está limitada pela capacidade de produção de X, conforme figura 6.

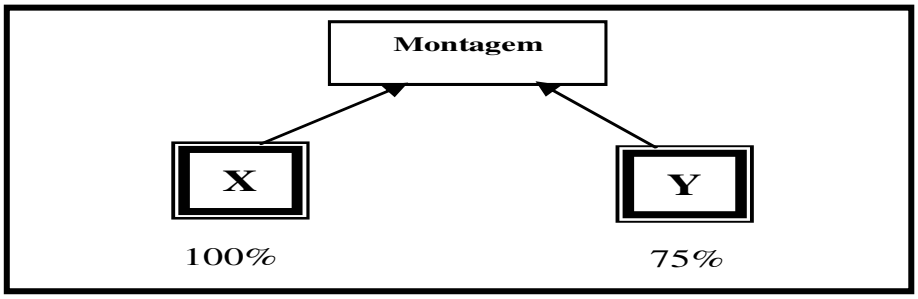

Figura 6. Fluxo de recursos X e Y para a Montagem.
Fonte: Adaptação do autor

O último tipo de relacionamento que pode ocorrer entre os dois recursos é não alimentarem um ao outro nem uma montagem comum, mas sim, alimentarem demandas de mercado independentes. Uma vez mais o recurso X pode ser utilizado 100% do tempo, mas o recurso Y apenas 75% sob pena de acumular estoque de produtos acabados. Isto porque, a

demanda continua limitada e para atendê-la o recurso Y requer apenas 75% de sua capacidade total de processamento (150 horas ao mês), conforme figura 7.

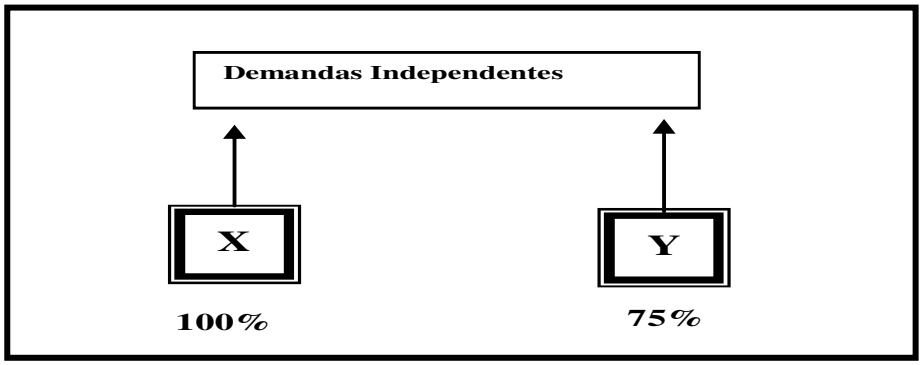

Figura 7. Fluxos de recurso X e Y com demanda independente.
Fonte: Adaptação do autor.

Outro pressuposto bastante enfatizado pela teoria das restrições é a combinação dos dois fenômenos anteriormente mencionados: os acontecimentos dependentes e as flutuações estatísticas. Ou seja, eventos incertos vão sempre ocorrer em sistemas complexos como são os sistemas de produção. A previsão da demanda é a base para o planejamento estratégico da produção, vendas, suprimentos e finanças de qualquer empresa (TUBINO, 1997).

Como é difícil antecipar onde os eventos vão ocorrer, é necessário que o sistema esteja protegido em seus pontos frágeis ou críticos. Além disso, a produção de um item pode envolver várias operações de processamento e transporte de materiais.

Para a maioria destas operações o tempo de execução varia segundo uma distribuição estatística. Em outras palavras, o tempo de execução de uma mesma operação varia a cada vez que a operação é executada. Isto implica dizer que, no planejamento da produção, quando se usa tempos de processamento (*lead times*) para determinada operação, na verdade, estão sendo consideradas as médias destes *lead times*, os quais estão sujeitos às flutuações

estatísticas. (SLACK, 1999), afirma que o estoque ocorrerá sempre que existir uma diferença entre o ritmo ou taxa de fornecimento e demanda.

Estas flutuações podem ser decorrentes de incertezas na operação, limites na capabilidade dos equipamentos, displicência dos funcionários, etc. Por mais que se definam medidas para controlar as flutuações estatísticas, é impossível para os sistemas de produção eliminar a componente aleatória dos tempos de execução das diversas operações. Portanto, em todos os processos produtivos, as flutuações existem, em maior ou menor grau, e afeta uma boa parte, senão todas, as operações do fluxograma de processo.

As flutuações têm uma distribuição aproximadamente normal, dado que é a resultante da ocorrência de uma série de eventos aleatórios, ou fora de controle. Se as operações envolvidas no processo de produção de um item não fizessem parte de uma seqüência e fossem isoladas, a somatória das flutuações tenderia a ser zero. Os atrasos em determinada atividade tenderiam a compensar os adiantamentos em outras, de forma que o desvio do tempo médio esperado de execução tenderia a zero (GOLDRATT, 1990.

Entretanto, a manufatura envolve o encadeamento de operações interdependentes. Portanto, neste caso, a flutuação estatística da cadeia não tem média zero, mais os atrasos tendem a propagar-se ao longo da cadeia. Isto é, não temos uma média das flutuações, mas sim, um acúmulo de flutuações. E na maioria dos casos, um acúmulo de lentidão, já que a dependência limita oportunidade de maiores flutuações.

Segundo o raciocínio de dependência entre os acontecimentos encadeados, a TOC considera que os tempos de fila são dependentes de como a programação é feita. De fato, se determinada ordem de produção ganha prioridade por qualquer motivo numa fila aguardando por determinada operação, esta ordem vai ficar um tempo menor na fila. Como o tempo de

fila é um dos principais componentes dos *lead times* dos itens, fica claro que *lead times* será diferentes conforme o *scheduling* das ordens. Por conseguinte se os *lead times* são resultados da programação, não deveriam ser utilizados como dados de entrada para o processo de programação.

Assim, a Teoria das Restrições aborda o problema de forma diferenciada, considerando simultaneamente a programação de atividades e a capacidade dos recursos gargalo. Levando em conta as limitações de capacidade dos recursos gargalo, o sistema decide dar prioridade a ocupação nestes, e com base na seqüência definida, calcula os *lead times*, podendo com isto programar melhor a produção.

Para o efetivo e otimizado uso da teoria deve-se utilizar os seus nove princípios que organiza o processo da ação gestora de manufatura (GOLDRATT E COX, 2003). Esses nove princípios são:

> **1. Balancei o fluxo e não a capacidade:**
> A abordagem tradicional é a de balancear a capacidade e então tentar estabelecer um fluxo de materiais suave, se possível contínuo. A TOC advoga contra o balanceamento da capacidade e a favor de um balanceamento de fluxo de produção na empresa. Não se deve equilibrar a capacidade com a demanda. Em vez disto, é preciso equilibrar o fluxo do produto através da fábrica com a demanda de mercado. A idéia é tornar o fluxo através do gargalo igual à demanda, já que são eles quem limitarão o fluxo do sistema como um todo.
>
> **2. A utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema:**
> A utilização do recurso não gargalo deve ser determinada por alguma das restrições do sistema, pela utilização do recurso gargalo e ou pela demanda de mercado.
>
> **3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos:**
> Há importantes distinções a fazer entre ativar um recurso. Ativar um recurso não gargalo mais do que o suficiente para alimentar um recurso gargalo limitante não contribui em nada com os objetivos definidos. Ao contrário, o fluxo se manteria constante ainda limitado pelo recurso gargalo. Ao mesmo tempo, o estoque se elevaria e também as despesas operacionais, com a administração deste estoque gerado. Como a ativação do recurso, neste caso,

não implica contribuição para atingir os objetivos, esta não pode ser chamada de utilização do recurso; é apenas sua ativação.

4. Uma hora ganha num recurso gargalo é uma hora ganha para o sistema global:
O tempo disponível num recurso gargalo é dividido em dois componentes: tempo de processamento e tempo de preparação. Num recurso gargalo se uma hora do tempo de preparação é economizada, uma hora é ganha no tempo de processamento, ou seja, o recurso gargalo ganha disponibilidade para processar material. Além disso, uma hora ganha para processamento num recurso gargalo não é apenas uma hora ganha no recurso em particular, mas uma hora de fluxo ganha em todo o sistema produtivo, já que é este recurso que limita a capacidade de fluxo do sistema global.

5. Uma hora ganha num recurso não gargalo não é nada, é só uma miragem:
Por definição, o tempo disponível de um recurso não gargalo tem três componentes: o tempo de preparação, o tempo de processamento e a parcela do tempo em que o recurso fica ocioso. Portanto, uma hora de preparação economizada num recurso não gargalo é apenas uma hora a mais de ociosidade para este recurso, já que o tempo de processamento em um não gargalo é definido, não por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema.

6. O lote de transferência pode não ser e, freqüentemente, não deveria ser, igual ao lote de processamento:
Na Teoria das Restrições, o lote de transferência é sempre uma fração do lote de processamento. Este é aquele tamanho de lote que vai ser processado num recurso antes que este seja novamente preparado para processamento de outro item. Já o lote de transferência é a definição do tamanho dos lotes que vão ser transferidos para as próximas operações. Como na TOC estes lotes não têm que ser iguais, quantidades de material processado podem ser transferidas para uma operação subseqüente mesmo antes que todo o material do lote de processamento esteja processado. Isto permite que os lotes sejam divididos, podendo reduzir o tempo de passagem dos produtos pela fábrica.

7. O lote de processamento deve ser variável e não fixo:
Na TOC, ao contrário do que ocorre na maioria dos sistemas tradicionais, o tamanho dos lotes de processamento é uma função da situação da fábrica e pode variar de operação para operação. Estes tamanhos de lotes são estabelecidos pela sistemática de cálculo da Teoria, que leva em conta os custos de carregar estoques, os custos de preparação, as necessidades de fluxo de determinados itens, os tipos de recurso, entre outros.

8. Os gargalos não só determinam o fluxo do sistema, mas também definem seus estoques:
Os gargalos definem o fluxo do sistema produtivo porque são os limitadores de capacidade. No entanto, são também os principais condicionantes dos estoques, pois estes são dimensionados e localizados em pontos tais que

> consigam isolar os gargalos de flutuações estatísticas propagadas por recursos não gargalos que os alimentam. Cria-se, por exemplo, um estoque antes da máquina gargalo de modo que qualquer atraso não repercuta em parada do gargalo por falta de material. Isto é feito criando-se um *tempo pulmão* antes do recurso gargalo. Em outras palavras, programam-se os materiais para chegarem ao recurso gargalo determinado tempo antes do instante em que o gargalo está programado para começar sua operação.
>
> **9. A programação de atividades e a capacidade produtiva devem ser consideradas simultaneamente e não seqüencialmente. Os *lead times* são resultados da programação e não podem ser assumidos a priori:**
> Conforme apresentado anteriormente, os tempos de fila são conseqüências da programação e da escala de prioridades. Neste sentido, os *lead times* são conseqüências e não pressupostos.

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 ficava 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, consequentemente 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 fundamentada em um processo de troca rápido de ferramentas, ocorrendo assim substanciais sucessos no que corresponde a 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 onde os operadores têm um papel de destaque. O processo do strm baseia-se na ação de operação em quatro fases fundamentais:

- **A 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 o seu manuseio através da utilização de filmagens do set up atual, obtendo-se todos os procedimentos desnecessários ao processo;

- **A segunda fase**: é a identificação das atividades do se tup que são internas e as que são externas para a operação. Atividade interna é aquela em que para se fazer o set up torna-se obrigatório parar o equipamento para se fazer a troca de ferramental. A atividade externa é a que pode ser executada antes de se fazer o set up, ações independente de a máquina estar operando. Exemplo: trazer a nova ferramenta junto à máquina;
- **A 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;
- **A quarta fase:** é a melhoria contínua das atividades internas e externas do set up que não foi possível sua eliminação inicialmente. Ações de como executar operações paralelas sem parar a máquina, a eliminação de ajustes, por em pratica a metodologia de análise, padronização de dispositivos para eliminar tempo de ajustes, e finalmente eliminar o seu set up.

Uma vez identificada, os procedimento devem ser revistos para garantir que a máquina esteja operando enquanto atividades externas sejam 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. Muitas empresas têm empregado o trabalho em equipe para reduzir o esforço individual, sendo recomendado a combinação de esforços da equipe de set up e o treinamento

individual nos fundamentos da técnica do strm; trabalhar com um dígito de minutos na troca de ferramental no processo de set up.

Para o sucesso do strm, avaliar as recomendação importantes do sistema e utilizar o seguinte procedimento na execução do set up:

- Selecionar um líder em tempo integral que acredite na filosofia de redução de set up para o projeto,

- Selecionar uma equipe do projeto para executar o trabalho. Tipicamente para a evolução da equipe de set up deveria ser composta de algumas ou todas as seguintes pessoas: um operador de set up, um engenheiro industrial, um engenheiro de projeto, um ferramenteiro, um operador de maquina, um consultor com experiência em redução de set up, um supervisor, um gerente da área de projeto, e um líder sindica,

- Selecionar e 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 set up 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,

- Selecionar áreas específicas da planta para o projeto piloto. Este pode ser uma série de maquinas, 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 set up terão que ser localizados. O projeto inicial pode ter longos set up, problemas de atrasos, grandes inventários em processo, um alto valor de inventário, ou grandes problemas de qualidade.(BLACK, 1991)

Uma vez que a equipe é treinada no strm e 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 possam executá-las. A implantação no final deverá estar em toda a empresa. Um dos pioneiros na implantação da redução de set up (SHINGO, 1987), 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 troca do processo de ferramental. Na figura 8,

abaixo é apresentado esquematicamente o processo de set up antes e depois da introdução do strm.

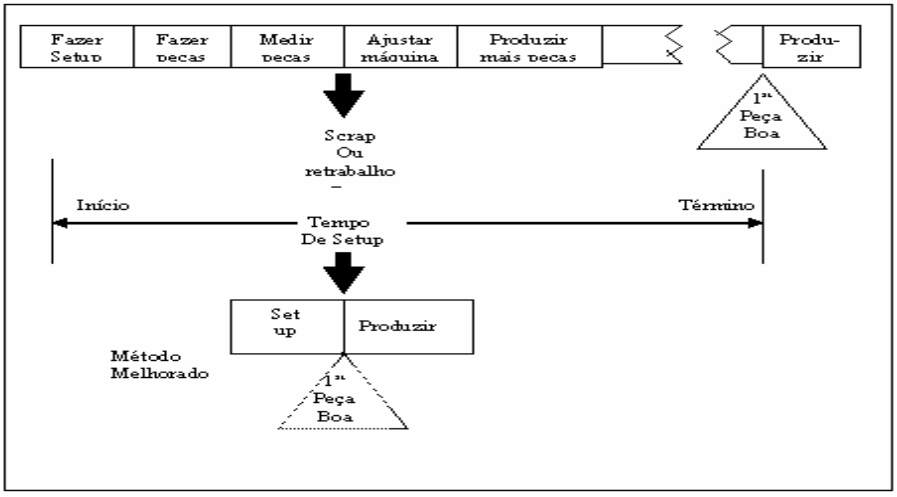

Figura 8 – A implementação do método de set up reduz o tempo do set up pela eliminação dos elementos não necessários.
Fonte: Black, 1991.

Quase sem exceção, todos os livros acadêmicos que versa 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:

$$LEF = \sqrt{\frac{Cs*Pa}{Ca*Mp}} \qquad (1.1)$$

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:

$$CT = CF + (CV * Q)$$

(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 2, abaixo, mostra esses custos em sua composição clássica, com suas relações lineares. Esses pontos mostram que à medida que a quantidade de peças fabricadas aumenta os custos aumentam também.

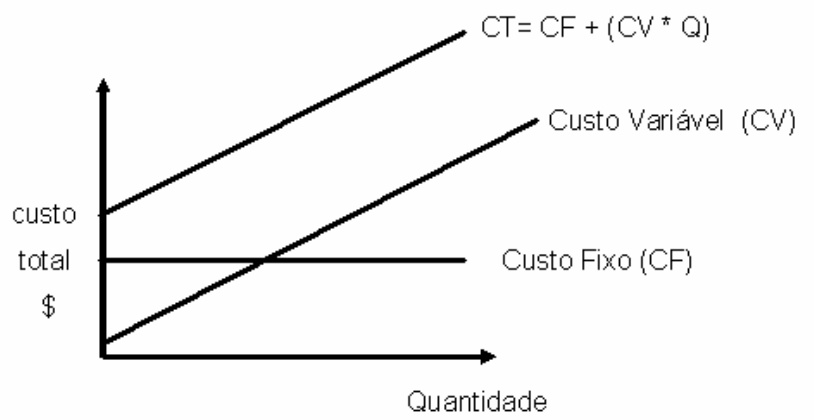

Gráfico 2. - Representação clássica do custo total versus quantidade.
Fonte: adaptação do autor

Se o custo total for dividido pela quantidade de peças a fabricar, conforme a equação 1.2, terá 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, mas, que não representa com devida precisão como 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 se aproxima do custo variável. Esta visão simplória foi à força motriz que direcionou o sistema produtivo americano e sua filosofia alocar custos e assim o set up terá o seu custo distribuído para todas as peças de um lote de fabricação muito grande, reduzindo assim 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 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 Cv / Q sobre o planejado na quantidade a fabricar.

No gráfico 3, abaixo o modelo típico de custo utilizando o LEF e que é apresentado nos textos de livros. Mostra o custo por unidade versus Quantidade a fabricar.

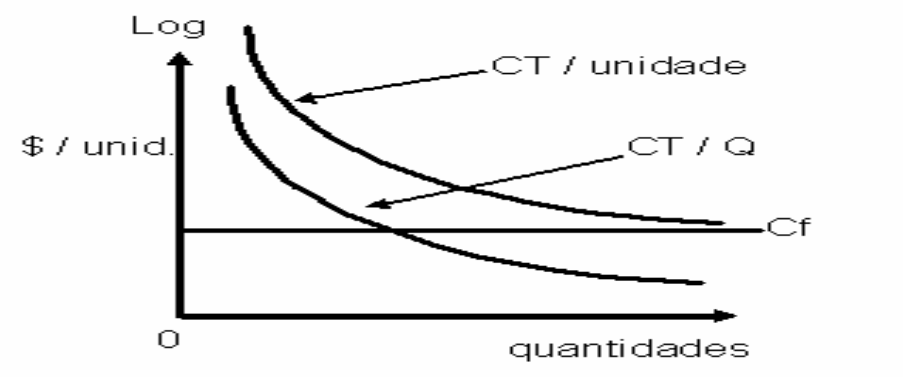

Gráfico 3. - Modelo típico de texto de livros mostrando custo por unidade versus Quantidade.
Fonte: adaptação do autor.

O custo por unidade sempre decrescem 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 através de uma estreita faixa de quantidades (de Q1 para Q2 - a área sombreada no gráfico 3). De Q2 para Q3 a taxa de mudança em custo por unidade é muito pequena comparada a Q1para Q2 como mostra o gráfico 4, abaixo.

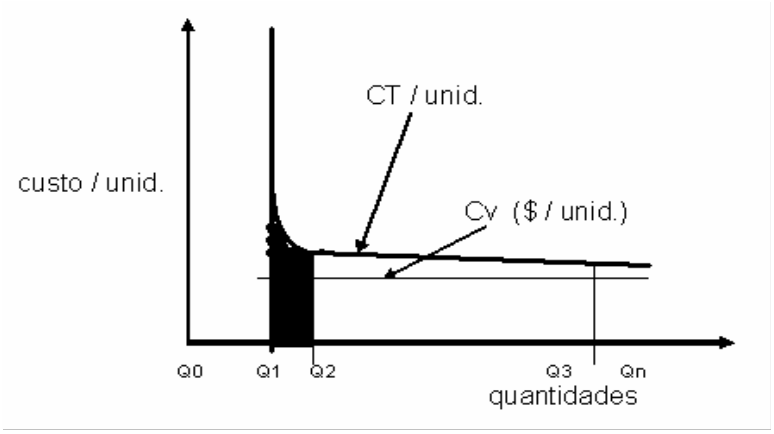

Gráfico 4. O gráfico real de custo total por unidade versus quantidades plotadas em coordenadas cartesianas.
Fonte: adaptação do autor.

Para ver o que acontece a este quadro econômico quando o set up (e seu custo) está bastante reduzido ou eliminado, examine o gráfico 5. 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.

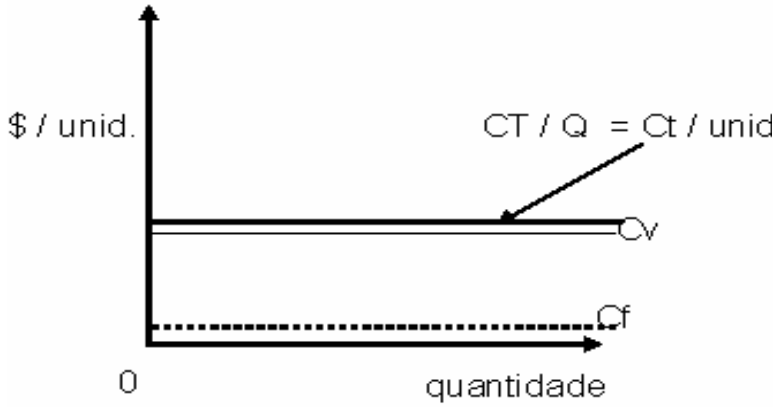

Gráfico 5. - O gráfico real de custo total por unidade versus quantidade, plotadas em coordenadas cartesianas.
Fonte: adaptação do autor.

4 Implantação do strm em uma pequena indústria de autopeças

A indústria de autopeças *Frenix Friction Materials* 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 quais seus diretores decidiram como e onde deveriam investir seu dinheiro. Para que o TOC pudesse obter melhores resultados dentro da Frenix 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 Traub, fresadora universal, linhas de retíficas centerless, prensas hidráulicas e outras que mostraram os seguintes acontecimentos, quando da execução dos set up, que foram documentadas 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 (MB 125) usinada no Torno Traub 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 30 minutos, porém, o tempo encontrado, na avaliação, foi de 64 minutos conforme descrito na tabela 1, abaixo:

Análise de Setup		FRENIX	
Peça: MB 125 17/10/2006		**Máquina : Torno Traub TB 2** Início do setup : 9:43 horas	
Nome do operador:			
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			

Tabela 1 – Folha de avaliação do set up do torno Traub TB 2
Fonte: Dados da pesquisa.

Foram feitas filmagens completa 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 necessitará mudar para uma nova peça. Com esse fato tem 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 na procura de ferramental dentro da empresa conforme apresentado na tabela 2, abaixo.

ITEM	OPERAÇÃO	DISTÂNCIA (ida e volta)
01	Buscar processo da peça a ser montada	30 metros
02	Pegar matéria-prima no estoque	60 metros
03	Buscar ferramenta no Torno Traub nº 7754	04 metros
04	Pegar ferramenta no Torno Traub nº 7372	06 metros
05	Buscar pinça no estoque	10 metros
06	Buscar outra pinça no estoque	10 metros
07	Buscar curva no estoque de garras	10 metros
08	Buscar martelo na máquina Fresadora nº 5331	30 metros
09	Buscar padrão no estoque	20 metros
10	Buscar container para peças usinadas	08 metros
	Distância total percorrida	**188 metros**

Tabela 2 - O operador para montar o Torno TB 2, peça NB 125 no processo de set up convencional necessitou caminhar
Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a filmagem do set up da Fresa universal 6, preparação da peça NB 125 e comparando com o tempo padrão determinado pela ficha técnica que é de 30 minutos, porém, o tempo encontrado, na avaliação foi de 51 minutos conforme descrito na tabela 3, abaixo, e dados complementares na tabela 4, mostra quanto caminhou o operador.

Análise de Setup		**FRENIX**	
PEÇA : NB 125 Data: 23 / 10 / 2006		**Máquina : Fresa Universal 6** Início do setup : 9 : 52 horas	
Nome do operador:			
Oper.	Descrição	Tempo	TC
10	Término as última peça, buscar novo processo	3,0	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	10:55½
90	Ajusta e usina a segunda peça e libera produção	2,5	10:58
TEMPO TOTAL DO SETUP		**51 minutos**	
Tempos internos : 24 minutos Tempos externos * : 27 minutos Obs. : Boa parcela dos tempos internos podem ser transformados em externos			

Tabela 3 - Folha de avaliação do set up da Fresa universal 6
Fonte: Dados da pesquisa.

ITEM	OPERAÇAO	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	10 metros
08	Buscar ferramenta no estoque	10 metros
09	Buscar calibrador no estoque	30 metros
	Distância total percorrida	**237 metros**

Tabela 4. Movimentos de caminhar na fábrica do operador para a Fresadora nº 6 com a peça NB 125
Fonte: Dados da pesquisa.

A seguir, nas tabelas 5 e 6 estão representados os set up e sua análise em uma retifica (tabela 5.) e em uma presa hidráulica (tabela 6.), nos quais suas folhas de operações mostravam respectivamente os tempos de set up de 15 e 25 minutos para cada máquina. E os tempos realmente gastos foram de 33 e 41 minutos em cada máquina.

Análise de Setup		**FRENIX**	
PEÇA : AC 105 Data: 23 / 10 / 2006		**Máquina : Retífica Centerless Acabam.** 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			

Tabela 5 - Folha de avaliação do set up da Retífica cintiles de acabamento
Fonte: Dados da pesquisa.

Análise de Setup		FRENIX	
PEÇA : XZ 185 Data: 23 / 10 / 2006		Máquina : Prensa Hidráulica HBX 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	Inspecionar e pequeno ajuste	2,0	15:49
90	Prensar e liberar produção	2,0	15:51
TEMPO TOTAL DO SETUP		**41 minutos**	
Tempos internos : 29 minutos		Tempos externos * : 12 minutos	

Tabela 6 - Folha de avaliação do set up da Retífica centerless de desbaste
Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de set up das quatro máquinas que foram avaliadas na empresa FRENIX 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 e poder trabalhar em um sistema de manufatura enxuta.

Fica bem evidenciada a importância de se implementar um programa de setup 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.

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 Frenix. A seqüência típica de um processo de produção esta ligada ao equipamento e a ferramenta e executadas algumas peças inspecione-as depois ajuste a máquina, faça outras peças meça-as e ajuste, 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 significante 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 dispositivos podem 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 inventários.

Os passos básicos do programa para a redução do tempo de set up na Frenix foram:

1°- Passo: Analise o método existente;

2°- Passo: Separe os elementos internos dos elementos externos;

3°- Passo: Converta elementos internos em elementos externos;

4°- Passo: Reduza ou elimine os elementos internos;

5°- Passo: Elimine ajustes e aprimore o novo método.

As ações para cada passo que foram aplicadas estão explicadas abaixo.

1°- Passo: Analise o método existente. Análise detalhada pelos operadores e lideres do processo atual de set up, registrando todos os elementos que sobressaem como irregulares e externos;

2°- 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.

3°- 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.

4°- 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 do 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 padronizados 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.

5°- 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 réguas 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 aspecto 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.

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

5 Conclusões

A redução ou eliminação de tempo de set up é um passo fundamental para a conversão de qualquer sistema de onde 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 o sucesso da 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 Frenix estão apontados na tabela 7, a seguir onde os resultados do programa de redução de tempo de set up durante o período um ano, setembro de 2006 a setembro de 2007, apresentam dados muito eloqüente 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 em um ano e, com praticamente nenhum investimentos (somente os de manutenção), para 9%.

FRENIX Tempo de set up	% de setup com os tempos			
	set/2005	jan/2006	set/2006	mar/2007*
> 90 minutos	13	0	0	0
60 a 90 minutos	23	18	3	0
30 a 60 minutos	47	23	6	5
15 a 30 minutos	7	37	11	5
10 a 15 minutos	8	13	25	20
5 a 10 minutos	2	9	40	47
100 Seg. a 5 min.	0	0	15	22
< 100 segundos	0	0	0	1
				* Previsão

Tabela 7 - Redução do tempo de Set up na Frenix
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 dificuldade 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 os

pedidos, menor custo operacional e sucesso no desenvolvimento da teoria das restrições em sua fábrica.

Obter 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, envolvendo 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 %.

Referências Bibliográficas

BLACK, J.T. **Tha design of the factory with a future.** NY. McGraw-Hill, 1991

DRUCKER, P.F. **Management and the world's work.** Harvard Business Review: 1988. v. 66, n.5, p.75-76.

FREITAS, M.E. **Cultura organizacional: formação, tipologias e impacto**. São Paulo: Makron, 1991.

GOLDRATT, E. M. ; COX, J . **Manual da Teoria das Restrições** . Porto Alegre: Bookman, 2002.

_____. **The Goal**. Second Revised Edition, Croton-on-Hudson, N.Y.: North River Press, 2003.

_____. **The Race**. Croton-on-Hudson, N.Y.: North River Press, 2003

_____. **The Theory of Constraints**. Croton-on-Hudson, N.Y.: North River Press, 1990.

OLIVEIRA, M. A **Complexidade humana nas culturas organizacionais**. Rev. T&D: São Paulo, jan. 1999.

PLUTE, M. **Tool management strategies**. Cincinnati: Hanser Gardner, 1998.

SHINGO, S. **Le Systeme SMED. Une révolution en gestion de production**. Paris: Les Éditionsd'Organisation, 1987.

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.

TUBINO, D. F. **Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. **Software Agents.** IEE Review January,1996. p.17-20.

O autor:

Hamilton Pozo
FACCAMP
hprbrazil@hotmail.com