



## **Aplicação da Teoria das Restrições como metodologia de otimização dos processos de produção em uma indústria de móveis de ferro**

**André Ricardo Ponce dos Santos (UNIMEP) anrsantos@uol.com.br**

**Eduardo Eugênio Spers (UNIMEP) eespers@unimep.br**

**Fernando Bernardi de Souza (UNESP) fbernardi@feb.unesp.br**

**Eduardo Teraoka Tófoli (UNIMEP) eduardo\_tofoli@yahoo.com.br**

*Resumo: Diante de um contexto formado por constantes mudanças, é sabido que as empresas buscam meios para aumentar a sua capacidade produtiva e conseqüentemente otimizar a sua produção. Embora a literatura ofereça vários modelos de otimização, serão apresentados neste artigo os fundamentos da TOC – Teoria das Restrições. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo aplicar os fundamentos da TOC em uma indústria de pequeno porte de modo a otimizar sua linha de produção. Para atingir os objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, e, de modo a corroborar a sua aplicação, foi realizado um estudo de caso de modo a consolidar os resultados obtidos. Os resultados obtidos permitiram que a empresa continuasse a utilizar o mesmo número de pessoal empregado na produção, porém, com uma produção otimizada, sem a necessidade de investimentos. Os resultados deixam evidentes que se deve balancear o fluxo da produção, e não sua capacidade.*

*Palavras-chave: Capacidade; Estações de Trabalho; Teoria das Restrições; TOC.*

### **1. Introdução**

A busca pela otimização nos processos de produção é considerada uma das principais preocupações dos gerentes de produção, pois, se a produção é otimizada, seus custos são reduzidos e, conseqüentemente, seu resultado é maximizado. Neste contexto, os modelos de gestão de produção servem como base para orientar as indústrias em seu planejamento.

De acordo com Kremer, Kovaleski e Resende (2006), para organizar e coordenar os trabalhos de fabricação no chão de fábrica é necessário que o Planejamento e Controle da Produção (PCP) faça um gerenciamento do planejamento de todas as suas ações. Neste sentido, Kopak (2006) acredita que para gerenciar adequadamente a produção é necessário o desenvolvimento de um conjunto de processos.

Este artigo tem como objetivo aplicar os fundamentos da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) em uma indústria de pequeno porte de modo a otimizar sua linha de produção. Mediante sua aplicação, serão avaliadas as variáveis envolvidas de acordo com as etapas estabelecidas pela TOC. Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, resgatando os principais conceitos sobre gestão da capacidade de produção e TOC. Com base no acervo bibliográfico existente, foi realizado um estudo de caso em uma indústria de móveis de ferro, situada no interior do estado de São Paulo.

### **2. Referencial teórico**

#### **2.1 Gestão da capacidade**

As empresas buscam aumentar a capacidade de sua produção, de modo a produzir em maior escala e atender a demanda de seus clientes. Para que se possa aumentar a capacidade



produtiva, é necessário que seja realizada uma análise sobre o comportamento da demanda e qual a capacidade necessária para atender a demanda. Slack, Chambers e Johnston (2007) definem capacidade como o nível máximo de atividade em um determinado período de tempo para que o processo seja realizado sob condições normais de produção. Ritzman e Krajcsky (2004) conceituam a capacidade como o ritmo máximo de produção de um processo. Consoante a eles, segundo Moreira (2004), a capacidade como a quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos em uma indústria.

Ressalta-se que a capacidade está relacionada com o tempo e não como volume, pois o volume de produção é o que se produz atualmente, enquanto a capacidade é o máximo que pode ser produzido. Neste sentido, Slack, Chambers e Johnston (2007) esclarecem que a capacidade deve ser entendida como o máximo nível de atividade de valor adicionado em um determinado período em que o processo de produção pode realizar sob condições normais de sua operação.

Geralmente, as empresas operam em níveis inferiores a sua capacidade máxima e isso pode ser evidenciado sob duas óticas. A primeira é quando a demanda é insuficiente para preencher completamente a capacidade produtiva e a segunda é através da política de produção da organização, que faz com que o processo produtivo possa responder rapidamente a um novo pedido. Neste sentido, Corrêa (2001) enfatiza que uma capacidade insuficiente pode causar uma deteriorização do nível de serviços aos clientes, principalmente no que diz respeito aos prazos e sua confiabilidade.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2007), o planejamento e controle da capacidade deverá decidir como a operação deve reagir a possíveis flutuações ocasionadas pela demanda. Nesse sentido, segundo os autores, as decisões tomadas pelos gerentes de produção no planejamento de suas capacidades afetarão a organização em diversos aspectos:

- a) Custos: são afetados pelo equilíbrio entre a capacidade e a demanda. Quando os níveis de capacidade excedem a demanda, podem sinalizar subutilização de capacidade e, conseqüentemente, um custo unitário elevado.
- b) Receitas: São afetadas de forma oposta, pois os níveis de capacidade iguais ou superiores a demanda assegurarão que toda a demanda seja atendida e não haja detrimento de receitas.
- c) Capital de giro: é afetado caso a organização resolva produzir estoques de bens acabados, antecipando-se a demanda. Neste caso, pode permitir atender a demanda, porém, seu estoque será financiado até que este seja vendido.
- d) Qualidade: pode ser afetado por um planejamento de capacidade, por meio da contratação de pessoal temporário. Esse fato poderá aumentar a interrupção do trabalho e poderá aumentar a ocorrência de erros durante o processo.
- e) Velocidade de resposta: pode ser melhorada, seja pelo aumento nos estoques ou pela provisão deliberada de capacidade excedente, evitando-se filas.
- f) Confiabilidade do fornecimento: pode ser afetada pelo nível de proximidade entre os níveis de capacidade e de demanda. Ela tenderá a ser menor quanto mais próxima à capacidade total estiver da demanda.
- g) Flexibilidade: especialmente a de volume, será melhorada por capacidade excedente. Caso a demanda e a capacidade estiverem em equilíbrio, a operação não será capaz de responder a quaisquer aumentos inesperados da demanda.



## 2.2 Teoria das Restrições

Considerada por muitos como uma filosofia gerencial, a TOC é resultado do desenvolvimento, na década de 70, pelo físico israelense Elyahu M. Goldratt, do *software OPT – Optimized Production Technology* (Tecnologia de Produção Otimizada), o qual parte da premissa que o objetivo da empresa é ganhar mais dinheiro hoje e no futuro. Neste sentido, Goldratt (1998) enfatiza que, para administrar adequadamente, os gerentes precisam controlar os custos e, ao mesmo tempo, proteger o ganho.

Comparando com uma corrente, Goldratt (1998) sugere uma analogia segundo a qual cada área ou setor organizacional corresponda a um elo da corrente, assim, quanto mais departamentos a empresa tiver, maior será o comprimento da corrente (o mesmo ocorre em uma linha de produção). Sendo assim, quanto maior a força de tração imposta nas extremidades da corrente, certamente um elo se quebrará. A este elo mais fraco, a TOC denomina de restrição. Quem determinará a resistência de uma corrente será, portanto, o elo mais fraco, ou seja, deve-se aumentar a resistência do elo mais fraco para que ele possa suportar uma resistência maior. Assim, quando isso acontecer, a restrição irá para outro elo, e assim sucessivamente.

Goldratt (1998) salienta que restrição é tudo aquilo que limita significativamente o desempenho da empresa em relação a sua meta. Neste sentido, toda empresa tenha uma meta, que é quantificada na TOC como obter lucros, neste sentido, torna-se fácil compreender porque toda empresa possui pelo menos uma restrição, pois, uma empresa que não tenha restrições, teria um lucro infinito.

Em linhas gerais, o objetivo da TOC é aumentar o ganho com os produtos vendidos que passam pelo sistema produtivo, e reduzir os inventários que consistem no total de investimento para a produção dos bens e minimizar as despesas operacionais, isto é, o dinheiro que a empresa gasta para transformar os estoques em fluxo. Em outras palavras, a TOC é uma filosofia de gerenciamento empresarial, que tem como objetivo promover a contínua otimização do desempenho esperado de qualquer organização que tenha como objetivo ganhar dinheiro.

### 2.2.1 Metodologia de aplicação da TOC

Para que a TOC possa cumprir seus objetivos, Goldratt (2002) estabeleceu uma metodologia para sua aplicação composta por cinco fases que são respectivamente: identificar a restrição, explorar a restrição, subordinar tudo a restrição, elevar a restrição e voltar a primeira fase de modo que a restrição seja gerenciada continuamente. Esses passos serão descritos a seguir.

#### 2.2.1.1 Identificar o elemento restrição

Parte do pressuposto de que a restrição limita sua capacidade de gerar ganho (pois todo sistema deve ter pelo menos 1 restrição). O passo de identificação de uma restrição pode ser executado com a contribuição dos gerentes de produção que estão envolvidos no processo de produção em análise, podendo envolver medidas tais como análise crítica de processo e entrevista com os executores envolvidos no processo.

Segundo Reis (2007), em sistemas produtivos, muitas vezes, pode ficar a sensação que existem diversas restrições ou um grupo de recursos que, de forma alternada, se tornam restrições. Segundo o autor, as regras de programação ou o tamanho dos lotes devem ser analisados, pois, em um ambiente fabril, quase sempre existe apenas um recurso restritivo.



Conforme Noreen, Smith e Mackey (1996), a restrição pode ser facilmente identificada pela localização dos inventários ou dos estoques em processo. Segundo os autores, em uma empresa bem administrada, esses inventários estarão alocados na frente da restrição. Já em uma empresa mal administrada, esses recursos (inventários) estarão espalhados por toda a linha de produção, o que tornará a sua identificação mais difícil. Segundo Goldratt (1998), após identificada a restrição, esta pode ser facilmente tratada. Caso esteja dentro da fábrica, ela irá para um outro local, até ir para fora da empresa, ou seja, a restrição irá para o mercado. Geralmente, isso ocorre quando a capacidade produtiva da empresa é superior à demanda de seus produtos.

Para Noreen, Smith e Mackey (1996), dificilmente encontram-se empresas com a restrição no mercado. Segundo eles, nas várias empresas pesquisadas foram encontradas restrições internas ou mesmo encontraram restrições políticas, ou seja, o estabelecimento de regras não-escritas e não fundamentadas que todos seguem sem pensar. Segundo os autores, as restrições podem ser manifestadas como restrição de Mercado, de Material, de Capacidade e Política.

### **2.2.1.2 Explorar o elemento restrição**

Identificado o elemento restritivo, torna-se necessário explorar a restrição do sistema. O objetivo nesta etapa é não desperdiçar nenhum recurso com restrição de capacidade. Cita-se, como exemplo, a mão de obra, que pode ser adicionada no elemento restrição, de modo a reduzir o tempo de *setup* ou manutenções de rotina.

Segundo Reis (2007), o conceito de exploração consiste, em situações em que há um gargalo claramente identificado, em definir como a capacidade da restrição será otimizada de tal maneira que se evitem desperdícios em função do processamento de produtos indevidos ou programação inadequada. De acordo com o autor, o tempo perdido na restrição gargalo se reflete em um menor desempenho de todo o sistema.

Noreen, Smith e Mackey (1996) ressaltam que, nesta etapa, deve-se considerar fatores como tempo e lucratividade como elementos essenciais. No caso do tempo, parte-se da premissa de que é relevante determinar em quanto tempo o produto será processado pelo elemento restritivo, ou seja, quanto menor o tempo dispendido na restrição, menor o tempo do processo como um todo, já que, segundo a TOC, o elemento restrição é que determina a velocidade da linha de produção

No caso de que a restrição encontrada seja o mercado, deve-se criar mecanismos que possibilite um melhor atendimento das necessidades de seus clientes, por meio, por exemplo, de prazos considerados pequenos. Com base nessas informações, caberá a empresa a decisão se investirá recursos para aumentar a sua capacidade ou não, e, principalmente, se o retorno do investimento atente às expectativas de seus investidores.

### **2.2.1.3 Subordinar tudo ao elemento restrição**

Nesta etapa, a subordinação definirá a funcionalidade das operações dos elementos não-restritivos. Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996), o propósito é proteger o conjunto de decisões relativas ao aproveitamento do elemento restritivo durante as operações. A TOC defende a idéia de que deve haver uma subordinação de todas as atividades do sistema ao desempenho da restrição, ou seja, é o elemento restritivo que determinará o ritmo de execução dos demais elementos.

Caso não seja aplicado este princípio de subordinação, o ritmo do processamento dos recursos não-restritivos se torna superior à velocidade do elemento restritivo, ou seja, os



estoques de material em processo e o tempo de processamento do produto pelo sistema aumentarão sem necessidade, de modo que serão alocados *buffers* de material em processo os quais gerarão custos de fabricação elevados.

#### **2.2.1.4 Elevar a restrição do sistema**

O objetivo nesta etapa é aumentar a capacidade do elemento restritivo. Se a restrição for uma máquina, pode-se substituir a máquina em questão, ou posicionar um recurso adicional em paralelo ao recurso restritivo. Noreen, Smith e Mackey (1996) descobriram que várias empresas possuíam equipamentos usados e poucos dispendiosos, que possuíam sua capacidade limitada, mas foram utilizados para remover parte do trabalho de um elemento restritivo, ou seja, possibilitaram aumentar a capacidade da restrição.

De modo geral, quando a restrição é elevada, eleva-se todo o sistema produtivo, porém, restam aos gerentes de produção decidirem qual decisão será a mais indicada, já que uma vez elevada a capacidade da restrição, eles terão que se preocupar com uma nova restrição.

#### **2.2.1.5. Voltar a primeira etapa e romper a inércia**

Após elevada a restrição, deve-se voltar a primeira etapa, pois a premissa é que surgirá uma outra restrição no processo produtivo, de modo que a restrição seja gerenciada continuamente. Neste sentido, Reis (2007) explica que esta etapa busca evitar que a falta de ação comprometa a meta da empresa. Segundo o autor, após a elevação da capacidade do recurso restritivo inicial, provavelmente uma nova restrição surgirá em algum ponto do sistema produtivo e, assim que a nova restrição for identificada, todos os passos seguintes devem ser seguidos.

### **2.2.2 Sistema de programação Tambor, Pulmão, Corda**

Em linhas gerais, pode-se descrever uma linha de manufatura como sendo numa ponta a entrada de materiais e uma saída de produtos acabados na outra. Entre elas têm-se as diversas operações responsáveis por uma etapa do processo produtivo. Este tópico irá apresentar a abordagem da TOC para planejamento da produção conhecida como Tambor-Pulmão-Corda (TPC), ou DBR (*Drum-Buffer-Rope*).

#### **2.2.2.1 Tambor**

O planejamento de produção TPC identifica o gargalo (Tambor) e subordina o ritmo de produção de todos os demais recursos a ele. O programador deve ter muito claro qual é o gargalo do sistema criando para ele um mecanismo de proteção, pois o tambor não pode parar.

Pela TOC, uma destas operações será o gargalo que limita a capacidade da fábrica e pode-se afirmar que a capacidade máxima do sistema é igual a capacidade do recurso com menor capacidade de produção. Em outras palavras, o Tambor é a restrição, pois é ela quem determina o passo de toda a linha.

Segundo Noreen, Smith e Mackey (1996), no TPC, o tamanho do pulmão de expedição é determinado comparando os custos de retenção dos inventários dos produtos acabados com as conseqüências de não cumprir as datas de entrega, considerando o tamanho e a freqüência dos atrasos que as flutuações ou interrupções podem produzir.

Conforme Reis (2007), a restrição fica conectada ao tambor que estabelece o ritmo que irá sincronizá-la com os outros recursos não-restritivos. Esta situação cria uma corrente de dependência que permite proteger o processo de sobrecargas ou interrupções no fluxo de trabalho.



### **2.2.2.2 Pulmão**

Na programação TPC, segundo Schragenheim e Dettmer (2001), o pulmão está mais relacionado com o tempo de produção do que com os inventários em processo. De acordo com os autores, até mesmo em ambientes em que se usa pulmão de itens, a produção dos materiais é planejada para ocorrer antes do início das operações do RRC, portanto, o ponto central é o tempo.

Neste sentido, pode-se definir o pulmão como um mecanismo de proteção contra o desperdício de capacidade do elemento restrição. Assim, esta proteção ocorre na medida em que um pulmão de trabalho é posicionado à frente do elemento restritivo de modo a mantê-lo sempre ativo.

### **2.2.2.3 Corda**

Este elemento consiste em um mecanismo de comunicação que está posicionado entre o elemento restritivo e o ponto de entrada de materiais no processo de produção. Deste modo, a corda tem como objetivo regular a liberação dos materiais, atuando como uma espécie de tensor, ou seja, quando a corda está totalmente esticada, o sistema está protegido, uma vez que o pulmão entre o elemento restrição e o ponto de entrada de materiais está completo. Reis (2007) salienta que, em situações que a corda está frouxa, significa que o sistema corre riscos justamente porque os mecanismos de proteção estão comprometidos.

Deste modo, com um pulmão de tempo de antecedência em relação às necessidades estabelecidas pelo elemento restritivo, os materiais ficam retidos nos pontos de entrada, sendo liberados para a fábrica sempre um pulmão de tempo antes de suas necessidades na restrição.

## **2.2.3 Medidas de desempenho**

Partindo do pressuposto de que a meta de uma empresa com fins lucrativos é ganhar dinheiro hoje e no futuro, a TOC utiliza três medidas de desempenho. Essas medidas são puramente financeiras e tem como objetivo orientar as decisões para que estas fiquem alinhadas com a própria meta da empresa.

Neste contexto, Goldratt (1991) idealizou três perguntas básicas:

- a) Quanto dinheiro é gerado pela empresa?
- b) Quanto dinheiro é capturado pela empresa? e
- c) Quanto dinheiro a empresa deverá desembolsar para operá-la?

Sendo assim, o autor transformou essas três perguntas em três medidas de desempenho: ganho: inventário e despesa operacional.

### **2.2.3.1 Ganho**

Na TOC, esta medida compreende todo o dinheiro que entra na empresa proveniente das receitas e/ou serviços, diminuído os custos totalmente variáveis (CTV) consumidos ao longo do processo de produção. Entende-se como CTV, o total dos custos que variam quando uma nova unidade de produto é fabricada que, na maioria das vezes só é computada a matéria-prima Goldratt (1998) conceitua Ganho como a taxa de geração de dinheiro por meio das vendas.

Sob o ponto de vista financeiro, Guerreiro (1996) define o ganho como o preço de venda menos o montante de valores pagos a fornecedores pelos itens relacionados com os produtos vendidos, não importando quando foram comprados.



Na TOC, os custos de mão-de-obra direta não são deduzidos das vendas quando se calcula o ganho, pois entende que a mão-de-obra deixou de ser um custo variável para converter-se num custo fixo. É relevante ressaltar que o ganho só é reconhecido quando o produto é entregue ao cliente.

### **2.2.3.2 Inventário**

Compreende a soma de todos os recursos investidos nos esforços de vender os produtos. Noreen, Smith e Mackey (1996), enfatizam que o inventário é composto pelos materiais em processo e outros tipos de materiais e ativos financeiros. Uma definição comumente é a de Goldratt (1998), que conceitua o inventário como todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que pretende vender. O autor considera que os inventários que aparecem no ativo deveriam aparecer no passivo, pois os autores acreditam que uma empresa que possui excesso de inventários possui, na realidade, um elevado passivo, pois ao invés de estar originando ganhos estão aumentando os custos.

Denominado por Corbett (2005) como investimento, o inventário é todo o dinheiro que está preso dentro da empresa.

“O investimento deve ser dividido em duas categorias, a primeira relativa aos estoques de matéria-prima, produtos em processo e produtos acabados e a segunda relativa a outros ativos. Isto porque os estoques têm um grande impacto sobre a competitividade da empresa” (CORBETT, 2005, p. 43).

Assim, na TOC, o controle de inventário é extremamente relevante, já que a TOC enfatiza que deve-se equilibrar o fluxo e não a capacidade, enquanto outras metodologias enfatizam o inverso.

### **2.2.3.3 Despesas operacionais**

As Despesas Operacionais podem ser definidas como todo o dinheiro que a empresa precisa desembolsar para que ocorra o ganho. Seguindo este raciocínio, Guerreiro (1996) conceitua as despesas operacionais como todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar o inventário em ganho.

Dugdale e Jones (1995) consideram que a despesa operacional abrange os custos de conversão, incluindo todo o tempo empregado, quer que ele seja direto ou indireto, tempo ocioso ou operacional. Assim, a Despesa operacional são todos os outros custos que não os totalmente variáveis, sendo compreendido como todo o recurso que a empresa coloca constantemente para realizar suas atividades operacionais.

Goldratt (1991) considera que os salários, aluguéis, energia elétrica, encargos sociais, depreciações, entre outros, são classificados como despesa operacional e seus aumentos e diminuições devem ser analisados caso a caso.

Neste sentido, a TOC tem como objetivo aumentar o ganho, diminuir os inventários e as despesas operacionais.

## **3. Metodologia científica e objeto de estudo**

Com base no referencial teórico adotado, a pesquisa empírica se propõe à aplicação de um planejamento de operações e ao dimensionamento das estações de trabalho em uma indústria moveleira situada no interior do Estado de São Paulo. O método de pesquisa adotado é reconhecido na literatura como estudo de caso que, segundo Cervo e Bervian (1996), é um meio de acesso que permite descobrir a realidade dos fatos mediante a inteligência e a reflexão.



Por meio da elaboração de questionários, foi possível coletar as informações necessárias à elaboração desta pesquisa. Segundo Cervo e Bervian (1996,), o questionário é a forma mais usada para coletar dados, pois possibilita medir com melhor exatidão o que se deseja. Em geral, a palavra questionário refere-se a um meio de obter respostas às questões por um formulário que o próprio informante preenche.

Na concepção de Marconi e Lakatos (1999), o questionário é um instrumento de coleta de dados constituído de uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador. O questionário utilizado nesta pesquisa abrangeu perguntas relacionadas ao modo de como a empresa planeja a sua produção e quais os indicadores de resultados utilizados para acompanhamento. Além dos instrumentos de questionários e entrevistas, foram realizadas visitas “*in loco*”, de modo a identificar os funcionamentos dos processos de produção.

### 3.1. Empresa pesquisada

O estudo de caso foi realizado em uma indústria moveleira, situada no interior do Estado de São Paulo. É considerada uma empresa de pequeno porte e seus principais produtos são móveis de metal tais como cadeiras, prateleiras, mesas, balcão, entre outros. Uma característica relevante é que todos os seus produtos são produzidos sob encomenda, através de catálogos. Atualmente, a indústria conta com aproximadamente 20 empregados que acumulam diversas funções durante o processo de produção.

O fato da empresa não operar com nenhum planejamento e controle de produção, resulta em um aumento significativo em termos de tempo em sua linha de produção e, conseqüentemente, no atraso de entregas de seus produtos.

### 4. Aplicação da Teoria das Restrições

Para elaborar o estudo de dimensionamento de capacidade, foi necessário caracterizar o processo de produção segundo as estações de trabalho presentes no processo produtivo. Para uma melhor compreensão, atribuiu-se siglas para as estações de trabalho.

O Quadro 1 a seguir apresenta as atividades que são desenvolvidas por estação de trabalho.

US1 - USINAGEM	AC1 - ACABAMENTO
Atividades Desenvolvidas	Atividades Desenvolvidas
Corte do Material Dobra do Material Montagem do Material Soldagem	Lixamento do Material
PT1 - PINTURA	JC1 - JUNCAGEM
Atividades Desenvolvidas	Atividades Desenvolvidas
Lavagem da Peça Pintura da Peça Secagem da Peça	Estaquiamento da Peça Solda e Roseta da Peça Trabalho Trança Acabamento
TP1 - TAPEÇARIA	PROCESSO TOTAL
Atividades Desenvolvidas	Estações de Trabalho
Cortar a Madeira Cortar a Espuma Colagem Cortar o Tecido Colocação do Tecido	US1 - USINAGEM AC1 - ACABAMENTO PT1 - PINTURA JC1 - JUNCAGEM TP1 - TAPEÇARIA

Quadro 1 – Atividades desenvolvidas por estação de trabalho. Fonte: Elaborado pelos autores.



Para determinar o tempo de produção em cada estação de trabalho e aplicar a primeira etapa da TOC, ou seja, identificar a restrição, foi necessário identificar a média histórica do número de peças produzidas no mês e seus respectivos tempos de produção. Os Quadros 2 e 3 a seguir apresentam as informações necessárias para a realização deste cálculo.

Demanda de peças produzidas (mês)			
Produto	Unidade Produzida	Produto	Unidade produzida
Mesa	8	Porta Revista	18
Arara 2	28	Cachepo	15
Cabideiro	24	Prateleira	16
Cabeceira	12	Cadeira	56
Balcão	14		

Quadro 2 – Demanda de peças produzidas por mês: Elaborado pelos autores.

O Quadro a seguir, apresenta os tempos de produção por produtos fabricados.

Móveis	US1	AC1	PT1	JC1	TP1
Mesa	180	30	60	480	
Arara 2	60	10	30	120	
Cabideiro	240	40	10		
Cabeceira	120	20	30		480
Balcão	480	120	40	420	
Porta Revista	30	10	10	120	
Cachepo	180	60	30	300	
Prateleira	210	120	40	240	
Cadeira	60	30	20	53	

\* Em minutos

Quadro 3 – Tempo utilizado para produção mensal por estação de trabalho. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados no quadro acima foram obtidos por meio de questionários, entrevistas e visitas *in-loco*. Diante disso, foi possível elaborar o cálculo do tempo necessário utilizado nas estações de trabalho.

O cálculo do tempo disponível é o tempo disponível para executar as operações (tempo de produção), ou seja, é o tempo disponível para realizar as operações previstas no programa de produção. Ele determina o tempo máximo de trabalho que pode ser disponibilizado para a produção.

Neste caso, foram consideradas algumas premissas de que a empresa trabalha em 2 turnos de 8 horas diárias, 6 dias por semana, 4 semanas por mês. O Quadro 4 elucida o cálculo dos tempos disponíveis de produção.

Nº. Turnos	a	b	c
1 Turno	192	-	38 = 154
2 Turnos	384	-	77 = 307
3 turnos	576	-	115 = 461

a) Tempo Produção  
b) Tempo Improdutivo (20% sobre Tempo Produção)  
c) Tempo Disponível

Quadro 4 – Cálculo do tempo disponível. Fonte: Elaborado pelos autores.

A empresa utilizava 2 turnos constantemente em todas as suas estações de trabalho, desta forma, foram evidentes as restrições encontradas nas estações de trabalho US1 e JC1. O Quadro 6 apresenta a relação entre o tempo necessário e o tempo disponível para cada estação de trabalho (ET).



O Quadro 5 a seguir apresenta os tempos necessários utilizados no processo de produção.

US1 - USINAGEM				AC1 - ACABAMENTO			
Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)				Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)			
Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec	Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec
Mesa	8	x 180	= 1440	Mesa	8	x 30	= 240
Arara 2	28	x 60	= 1680	Arara 2	28	x 10	= 280
Cabideiro	24	x 240	= 5760	Cabideiro	24	x 40	= 960
Cabeceira	12	x 120	= 1440	Cabeceira	12	x 20	= 240
Balcão	14	x 480	= 6720	Balcão	14	x 120	= 1680
Porta Revista	18	x 30	= 540	Porta Revista	18	x 10	= 180
Cachepo	15	x 180	= 2700	Cachepo	15	x 60	= 900
Prateleira	16	x 210	= 3360	Prateleira	16	x 120	= 1920
Cadeira	56	x 60	= 3360	Cadeira	56	x 30	= 1680
Total em Minutos			27000	Total em Minutos			8080
Tempo Convertido em Horas			450	Tempo Convertido em Horas			135
PT1 - PINTURA				JC1 - JUNGAGEM			
Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)				Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)			
Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec	Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec
Mesa	8	x 60	= 480	Mesa	8	x 480	= 3840
Arara 2	28	x 30	= 840	Arara 2	28	x 120	= 3360
Cabideiro	24	x 10	= 240	Cabideiro	24	x 0	= 0
Cabeceira	12	x 30	= 360	Cabeceira	12	x 0	= 0
Balcão	14	x 40	= 560	Balcão	14	x 420	= 5880
Porta Revista	18	x 10	= 180	Porta Revista	18	x 120	= 2160
Cachepo	15	x 30	= 450	Cachepo	15	x 300	= 4500
Prateleira	16	x 40	= 640	Prateleira	16	x 240	= 3840
Cadeira	56	x 20	= 1120	Cadeira	56	x 53	= 2968
Total em Minutos			4870	Total em Minutos			26548
Tempo Convertido em Horas			81	Tempo Convertido em Horas			442
TP1 - TAPEÇARIA				PROCESSO TOTAL			
Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)				Cálculo do Tempo Necessário (T nec.)			
Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec	Peças por Máq	T.pi	ni	T.nec
Mesa	8	x 0	= 0	Mesa	8	x 750	= 6000
Arara 2	28	x 0	= 0	Arara 2	28	x 220	= 6160
Cabideiro	24	x 0	= 0	Cabideiro	24	x 290	= 6960
Cabeceira	12	x 480	= 5760	Cabeceira	12	x 650	= 7800
Balcão	14	x 0	= 0	Balcão	14	x 1060	= 14840
Porta Revista	18	x 0	= 0	Porta Revista	18	x 170	= 3060
Cachepo	15	x 0	= 0	Cachepo	15	x 570	= 8550
Prateleira	16	x 0	= 0	Prateleira	16	x 610	= 9760
Cadeira	56	x 0	= 0	Cadeira	56	x 163	= 9128
Total em Minutos			5760	Total em Minutos			72258
Tempo Convertido em Horas			96	Tempo Convertido em Horas			1204

Quadro 5: Cálculo do Tempo Necessário (T.nec) Fonte: Elaborado pelos autores

O Quadro 6 a seguir descreve que as estações AC1, PT1 e TP1 (segundo o cálculo realizado) estão ociosas grande parte do tempo. Assim, após identificadas as estações de trabalho US1 e JC1 como recursos com restrição de capacidade do sistema, partiu-se para a segunda etapa da TOC, a exploração da restrição.



ESTAÇÕES	Tempo Necessário	Tempo Disponível	Nº. E. T. Necessárias
US1 - USINAGEM	450	307	2
AC1 - ACABAMENTO	135	307	1
PT1 - PINTURA	81	307	1
JC1 - JUNCAGEM	442	307	2
TP1 - TAPEÇARIA	96	307	1

Quadro 6 – Estações de trabalho considerando os turnos (2). Fonte: Elaborado pelos autores.

Após exploradas as restrições do processo, foram subordinadas as demais estações de trabalho (terceira etapa da TOC) à decisão de exploração, de modo que as estações US1 e JC1 passaram a operar com 3 turnos, conforme proposto no quadro a seguir:

ESTAÇÕES	Tempo Necessário	Tempo Disponível	Nº. E.T. Necessário
US1 – USINAGEM (3 turnos)	450	461	1
AC1 – ACABAMENTO (1 turno)	135	154	1
PT1 – PINTURA (1 turno)	81	154	1
JC1 – JUNCAGEM (3 turnos)	442	461	1
TP1 – TAPEÇARIA (1 turno)	96	154	1

Quadro 7 – Subordinação em turnos nos elementos não-restrição ao gargalo. Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir, o pessoal foi reconduzido para as estações US1 e JC1, de modo a elevar a restrição do sistema (quarta etapa da TOC). Com isso, reduziu-se o tempo de produção nas estações de trabalho consideradas restrição. Assim, as estações AC1, PT1 e TP1 utilizam ao todo 6 pessoas e, as estações US1 (3 pessoas) e JC1 (5 pessoas) utilizam 8 pessoas.

Para cumprir a penúltima etapa (quarta) da TOC, foram utilizadas 3 pessoas para cada estação, sendo 3 para US1 e 3 para a JC1. O Quadro 8 a seguir apresenta a redução de tempo nas Estações US1 e JC1, consideradas as premissas estabelecidas pela TOC.

US1 - USINAGEM				
Antes		Após a TOC		Variação (%)
T. nec.	Nº. Pessoas	T. nec.	Nº. Pessoas	
450	3	225	6	100
JC1 - JUNCAGEM				
Antes		Após a TOC		Variação (%)
T. nec.	Nº. Pessoas	T. nec.	Nº. Pessoas	
442	5	369	8	60

Quadro 8 – Elevação das estações de trabalho com restrição. Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 9 são comparados os resultados com base nas informações da produção apresentadas anteriormente e conforme o resultado da aplicação da metodologia da TOC.

Produtos	US1		AC1	PT1	JC1		TP1
	Antes	Depois	Sem alteração	Sem alteração	Antes	Depois	Sem alteração
Mesa	180	90	30	60	480	192	480
Arara 2	60	30	10	30	120	48	
Cabideiro	240	120	40	10			
Cabeceira	120	60	20	30			
Balcão	480	240	120	40	420	168	
Porta Revista	30	15	10	10	120	48	
Cachepo	180	90	60	30	300	120	
Prateleira	210	105	120	40	240	96	
Cadeira	60	30	30	20	53	21	

Quadro 9 – Redução do tempo disponível conforme a TOC. Fonte: Elaborado pelos autores.



## 5. Considerações finais

Este artigo foi realizado com base em uma pesquisa feita em uma linha única de produção, contudo seus resultados poderiam ser extrapolados para empresas que possuem mais de uma linha de produção, porém, com propostas possivelmente distintas.

Para que a aplicação da TOC resulte em uma otimização em uma linha de produção, foi necessário cumprir alguns conceitos sobre ela. Neste artigo, buscou-se a otimização por meio da redução dos tempos de fabricação entre as estações de trabalho, ou seja, foi necessário identificar os tempos disponíveis e os tempos necessários para cada estação de trabalho. A partir desta identificação, foram aplicados os conceitos conforme as etapas estabelecidas pela TOC. A mensuração dos tempos de produção permitiu identificar as estações de trabalho que estavam com restrições de atividade e, a partir deste contexto, foram realocadas a mão-de-obra das estações não-restritivas para aumentar o fluxo, porém, a sua capacidade permaneceu inalterada.

É relevante destacar que a demanda pelos produtos da empresa é bastante elevada, ou seja, a restrição encontra-se fora da empresa. Porém, com a otimização de sua produção, foi possível reduzir os tempos de fabricação. Assim, com uma produção otimizada, pôde-se reduzir consideravelmente o tempo de produção e, conseqüentemente, a entrega para os clientes, resultando, com isso, em um fluxo financeiro favorável para a empresa.

## 6. Referências

- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia científica. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.
- CORBETT, T. Bússola financeira : o processo decisório da teoria das restrições. São Paulo : Nobel, 2005.
- CORRÊA, H. L. *et al.* Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- DUGDALE, D.; JONES, C. *The theory of constraints. Accountancy, september 1995.*
- GOLDRATT, E. M. Corrente crítica. São Paulo: Nobel, 1998.
- \_\_\_\_\_.: A Síndrome do palheiro: garimpendo informação num oceano de dados. São Paulo: Fullmann, 1991.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. A meta: um processo de melhoria continua. Trad. Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2002.
- GUERREIRO, R. A Meta da empresa: seu alcance sem mistérios. São Paulo, Atlas, 1996.
- KOPAK, S. C. Modelo conceitual de sistema de gestão da produção baseado na Teoria das Restrições. (2006) XXVI ENEGEP –Encontro Nacional de Engenharia de produção.
- KREMER, C. D.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. Verificação da capacidade produtiva obtida através da análise do plano-mestre da produção: um estudo de caso.(2006) XIII SIMPEP.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- NOREEN, E.; SMITH, D.; MACKAY, J. T. A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial. Trad. Claudiney Fullmann. São Paulo: Educator, 1996.
- REIS, Elias dos Santos Reis. Teoria das restrições e gestão da demanda: Um modelo de análise conceitual. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste.
- MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações. São Paulo: Thomson Learning, 2004.
- RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKY, L. J. Administração da produção e operações. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- SCHRAGENHEIM, E. M., DETTMER, H. W. *Manufacturing at Warp Speed.* North Press, 2001.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.