

# Teoría de Restricciones y su Efecto en los Costos

- 16.1. Teoria das Restrições e Programação Linear
- 16.2. Sistema de informação de gestão económica - GECON:  
Atendendo as premissas da teoria das restrições
- 16.3. Theory of constraints: product mix pricing  
and costing

## 16.1. Teoria das Restrições e Programação Linear

*Doutoranda Solange Garcia (Brasil)*

*Reinaldo Guerreiro (Brasil)*

*Luis J. Corrar (Brasil)*

### APRESENTAÇÃO

Os princípios da Teoria das Restrições (TOC - Theory of Constraints) foram apresentados pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt através da publicação do livro intitulado "The Goal".<sup>1</sup> Esta obra alcançou ampla repercussão, devido em parte ao estilo romancado adotado pelo autor para inserção do leitor em um processo de reflexão e busca de soluções para os problemas de gerenciamento da produção de uma fábrica em dificuldades.

De acordo com Goldratt<sup>2</sup>, a meta da empresa é ganhar dinheiro, e para tanto, todo o processo de gestão empresarial deve estar consoante com este objetivo. Assim, a TOC propõe a adoção de conceitos não tradicionais para a programação da produção e para a tomada de decisão no âmbito geral da empresa, integrando de forma sistêmica, o gerenciamento operacional à formulação estratégica de otimização do lucro global. Embora esta abordagem não seja inédita, ela reforça e divulga amplamente a necessidade de alterações nas práticas convencionais de programação da produção e nos procedimentos e instrumentos adotados, em geral, pela Contabilidade de Custos tradicional.

O obsoletismo e a ineficácia da utilização de custeio por absorção para a mensuração dos resultados da produção, a desintegração conceitual, em nível de sistema de informações, dos resultados locais e dos resultados globais, a consideração da análise de fatores restritivos à produção, são questões amplamente debatidas no âmbito do Sistema de Gestão Econômica (GECON). Trata-se de uma teoria inovadora, a qual tem sido desenvolvida pelo prof. Catelli e demais professores do Departamento de Contabilidade da FEA/USP, desde o final dos anos setenta.

Em trabalhos recentes<sup>3</sup> foram discutidas detidamente as diferenças conceituais entre a TOC e o

<sup>1</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. The Goal. The North River Press, New York: 1980.

<sup>2</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. & COX, Jeff. A Meta. 34o. Ed. São Paulo: Educator, 1995.

<sup>3</sup> GUERREIRO, Reinaldo. A Teoria das Restrições e o Sistema de Gestão Econômica: Uma Proposta de Integração Conceitual. São Paulo: Tese de Livre-Docência, FEA-USP, 1995.

GUERREIRO, Reinaldo. A Meta da Empresa: seu alcance sem mistérios. São Paulo: Atlas, 1996.

GECON, concluindo que as duas teorias convergem em muitos pontos significativos. Embora ressaltamos a consistência estrutural da TOC, consideramos que ela possui várias limitações no propósito de se constituir em uma teoria de gerenciamento global da empresa (conforme seu autor<sup>4</sup> a intitula), sendo adequada para a gestão da produção da fábrica.

Para otimização da produção Goldratt desenvolveu o software OPT - Optimized Production Technology, que se constituiu na ferramenta de aplicação dos conceitos da Teoria da Produção Otimizada (OPT). Tanto a teoria OPT, como o software OPT, o qual foi sendo modificado posteriormente, foram desenvolvidos por Goldratt no início dos anos 70.

Em 1985 foram introduzidas alterações no programa devido ao desenvolvimento dos conceitos da produção sincronizada (logística do tambor-pulmão-corda) as quais acabaram gerando dificuldades na compreensão do sistema. No final de 1985 o software foi vendido para uma empresa inglesa.

Embora, ultimamente, muitos trabalhos tenham sido publicados abordando temas relacionados com a TOC, pouca ênfase tem sido dedicada aos instrumentos que auxiliem a sua operacionalização. O próprio software OPT foi muito pouco divulgado pelo seu autor. Esta constatação já foi abordada anteriormente<sup>5</sup>:

"Muito embora o idealizador da Teoria das Restrições divulgue amplamente os pensamentos desta teoria, o mesmo não ocorre quanto aos segredos do software OPT. Goldratt<sup>6</sup> no artigo intitulado Computerized Shop Floor Scheduling apresenta genericamente a lógica geral do sistema, a estruturação dos dados, seus outputs e outros aspectos básicos."

O software OPT trabalha primeiramente com a identificação dos gargalos, os quais representam as restrições no âmbito da produção. A identificação da condição mais restritiva (o gargalo-mor) se constitui no ponto de partida para a determinação da programação ótima da produção, definindo, posteriormente, o sequenciamento dos processos e o planejamento dos estoques provenientes dos recursos não-gargalos que devem anteceder os recursos críticos. Embora desconheçamos a técnica utilizada no sistema OPT para determinação do mix de produção, sabemos que a aplicação de métodos de Pesquisa Operacional (PO) são adequados para auxiliar a tomada de decisão sobre multi-produtos em condições de multi-restrições.

Em sua obra "A Síndrome do Palheiro"<sup>7</sup>, Goldratt critica a utilização de técnicas de PO como método de programação da produção. Concordamos em parte com sua abordagem quando se considera a utilização de ferramentas quantitativas divorciada de princípios e técnicas de gestão

---

<sup>4</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informação num Oceano de Dados. 2o. Ed. São Paulo: Educator, 1992.

<sup>5</sup> GUERREIRO, Reinaldo. A Teoria das Restrições e o Sistema de Gestão Econômica: Uma Proposta de Integração Conceitual. São Paulo: Tese de Livre-Docência, FEA-USP, 1995.

<sup>6</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. Computerized Shop Floor Scheduling. Production Research, 1988.

<sup>7</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informação num Oceano de Dados. 2o. Ed. São Paulo: Educator, 1992.

de produção, e principalmente quando aplicadas isoladamente, desconsiderando as medidas globais que fundamentam o processo decisório.

A TOC oferece um conjunto de princípios de gestão empresarial e adota um processo geral de tomada de decisão que consiste na identificação das restrições do sistema, na maximização da capacidade de utilização do recurso mais restritivo, na otimização da capacidade de utilização de todos os recursos, bem como, no gerenciamento contínuo deste processo.

Nestas condições, entendemos que a Programação Linear (PL), como instrumento quantitativo de apoio às decisões gerenciais, pode contribuir com o modelo de decisão da TOC. A PL é a mais conhecida ferramenta de otimização oferecida pela PO para a resolução de problemas que envolvem recursos limitativos.

Neste artigo mostraremos que o algoritmo de busca da solução ótima utilizado pela PL é compatível com o modelo de decisão da TOC. Através da PL é possível evidenciar quantitativamente os gargalos e extrair informações úteis para o processo sistemático de reflexão que os gestores devem empreender para gerarem a sua parcela de contribuição no atingimento da meta da empresa - ganhar dinheiro, tanto no presente como no futuro!

## **A TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

O físico israelense Eliyahu Goldratt inseriu-se no ambiente da gestão industrial no início dos anos 70, quando, atendendo ao pedido de um amigo, desenvolveu uma formulação matemática para o planejamento da produção de uma fábrica de gaiolas para aves. Esta formulação consolidou-se no software OPT (Optimized Production Technology), o qual passou a ser comercializado por seu mentor e aprimorado ao longo do tempo a partir da experiência prática proporcionada pela implantação do sistema.

Goldratt percebeu que cada novo problema apresentado e sua respectiva solução estavam vinculados a uma série de princípios lógicos específicos, os quais foram sendo estruturados paralelamente à evolução do software, dando origem ao pensamento OPT-Optimized Production Technology.

## **CONCEITOS DO PENSAMENTO OPT**

No propósito da otimização da produção, o pensamento OPT propõe a máxima “a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo total”, ou seja, a maximização da eficiência e eficácia de todos os recursos do processo produtivo, como induz a contabilidade de custos tradicional, não trará necessariamente a maximização do resultado global da produção, porque existem gargalos, pontos que limitam a produção a um certo volume.

A primeira definição importante desta teoria é de que a meta da empresa é ganhar dinheiro tanto no presente como no futuro - esta meta é definida em consonância com o objetivo do proprietário que busca uma remuneração monetária adequada para os seus investimentos. Assim, as decisões de todos os gestores da organização devem convergir para o alcance desta proposição global.

Goldratt estabelece os seguintes parâmetros para auxiliar a medição do grau de atingimento da meta:

- lucro líquido: representado pela diferença entre o ganho e as despesas operacionais. Constitui-se numa medida absoluta de desempenho da empresa, traduzindo o quanto de dinheiro ela está gerando num determinado período;
- retorno sobre investimento: medida que complementa a anterior, pois permite verificar o grau de retorno aferido sobre o investimento empreendido para obtenção de um determinado nível de lucro, sendo calculado pela divisão do lucro líquido pelo inventário;
- fluxo de caixa: medida de liquidez que, mais que um parâmetro para verificar o grau de alcance da meta, representa uma condição necessária para a sobrevivência da empresa.

### **PARÂMETROS OPERACIONAIS**

Para nortear as ações no âmbito operacional de forma congruente com as medidas globais de alcance da meta, Goldratt define os seguintes parâmetros operacionais:

- ganho: representa a diferença entre o preço de venda e o montante pago aos fornecedores pelos recursos totalmente variáveis relacionados com produto vendido. Este conceito de ganho é similar ao de margem de contribuição adotado pelo GECON;
- inventário: é definido como todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que ele pretende vender. Diferentemente do conceito clássico usado na contabilidade, este conceito inclui, além dos estoques de matéria-prima e de produtos em elaboração e acabados, os demais ativos, como máquinas e construções;
- despesa operacional: é definida como todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar o inventário em ganho. Estes gastos, em consonância com o método do custeio direto, não devem ser rateados ao produto, por serem considerados custos fixos que devem ser deduzidos do ganho para obtenção do lucro líquido. Cabe ressaltar que a exemplo do que ocorre na abordagem do GECON, o autor também considera os gastos com mão-de-obra como custos fixos.

### **REGRAS DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO**

No âmbito da programação da produção, Goldratt introduz um conjunto de princípios caracterizados de acordo com o pressuposto que toda linha de produção possui gargalos e sempre haverá, num dado momento, aquele de maior poder restritivo:

- deve-se balancear o fluxo de produção e não a capacidade instalada dos recursos, pois são os gargalos que limitam o fluxo do sistema como um todo;
- o nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial,

devendo ser subordinado ao recurso restritivo, de forma a não gerar gastos com a produção e manutenção de estoques intermediários;

- utilização e ativação de um recurso não são sinônimos, já que a primeira refere-se ao uso de um recurso não-gargalo de acordo com a capacidade do recurso gargalo, e a segunda é relativa ao uso de um recurso em volume superior ao requerido pelo recurso gargalo;
- um hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro, pois é ele que dita o ritmo da produção; a diminuição do tempo trabalhado no gargalo é refletida no tempo trabalhado pelo sistema todo;
- uma hora economizada em um não gargalo é apenas uma ilusão, pois só representará acréscimo ao tempo ocioso já existente;
- os gargalos governam tanto o ganho como o inventário, porque definem o nível de produção e de estoques. Neste sentido a sincronia da produção é imprescindível para evitar que qualquer atraso no sistema provoque parada no gargalo;
- o lote de transferência não pode, e muitas vezes não deve ser igual ao lote de processamento, permitindo que os lotes sejam divididos e o tempo de passagem dos produtos pela fábrica seja reduzido;
- o lote de processo deve ser variável e não fixo para permitir flexibilidade nas quantidades planejadas, as quais podem ser inviabilizadas por alterações em fatores internos e externos, como a situação financeira da empresa e restrições mercadológicas; e
- a programação da produção deve ser estabelecida observando todas as restrições do sistema simultaneamente, pois um gargalo não existe por si só; há um conjunto de restrições que afetam todo o sistema e evidenciam um recurso como sendo o mais restritivo num determinado momento.

### **SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO (LOGÍSTICA TAMBOR-PULMÃO-CORDA)**

O planejamento do fluxo de produção deve ser desenvolvido tendo como foco as restrições físicas existentes no processo produtivo, o que permite a redução do inventário sem perda do ganho ou aumento de despesas operacionais.

Goldratt e Fox<sup>8</sup> apresentam no livro “The Race” a técnica da sincronização da produção denominada “tambor-pulmão-corda”, que consiste fundamentalmente na imposição de uma cadência a toda linha de produção.

O “tambor” é definido como o principal recurso restritivo e deve ditar o ritmo da produção.

---

<sup>8</sup> GOLDRATT, E.M. & FOX, R.E.. The Race. Creative Output, New York: 1985.

O “pulmão” são os estoques temporários que devem ser estrategicamente colocados de forma a evitar que as eventuais interrupções no sistema produtivo paralizem a produção no recurso restritivo. É uma margem de segurança que possibilita seu abastecimento contínuo, mesmo diante da ocorrência de algum problema no restante da linha.

E a “corda” representa o mecanismo que obriga os demais componentes do sistema a manter o ritmo determinado pelo “tambor”. A função da “corda” é executada pelo planejamento e controle da produção.

## TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A TOC surge na segunda metade dos anos 80, nos Estados Unidos da América, como uma versão ampliada do pensamento OPT. Goldratt generaliza, para a empresa como um todo, os princípios de otimização do resultado, considerando o conjunto de restrições globais (financeiras, mercadológicas, produtivas, dentre outras) que a empresa está submetida.

Na TOC a palavra-chave deixa de ser gargalo e passa a ser restrição, a qual é definida por Goldratt<sup>9</sup> como *qualquer coisa que limite o sistema na busca do atingimento de sua meta*.

Partindo do pressuposto que todo sistema está sujeito à restrições de recursos, Goldratt abandona o enfoque que ele denomina de “mundo dos custos”, representado pela contabilidade de custos tradicional, a qual estimula a maximização dos recursos individuais, e introduz a abordagem do “mundo dos ganhos”. Neste mundo a melhoria do sistema global difere do somatório da melhoria dos sistemas individuais, visto que é a máxima utilização do recurso restritivo de capacidade que determina o desempenho do sistema como um todo.

O “mundo dos ganhos” consiste numa abordagem melhorada do custeio variável, classificando gastos com mão-de-obra como despesa operacional, não rateando custos fixos, buscando a minimização do inventário e das despesas operacionais como forma de otimizar o ganho da empresa diante de seu sistema de restrições, as quais podem ser:

- físicas: dizem respeito a aquelas associadas a equipamentos, mercado, fornecimento de insumos para produção, etc; ou
- políticas: são as intangíveis, ligadas a aspectos gerenciais, comportamentais ou políticos.

## MODELO DE DECISÃO DA TOC

O modelo de decisão proposto pela TOC consiste na otimização do ganho e na minimização do nível de inventário e de despesas operacionais. A otimização do Ganho deve se dar através do emprego de princípios e técnicas de gestão de produção propostos e da programação dos

---

<sup>9</sup> GOLDRATT, E.M. Transcritos da conferência ministrada em Londres em 1988 apud RODRIGUES, L.H: Apresentação e Análise Crítica da Tecnologia da Produção Otimizada (Optimized Production Technology - OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC). Anais do XIV Encontro Anual da ANPAD, Belo Horizonte, volume 7, Administração da Produção, 1990.

produtos que geram maior ganho à luz das restrições existentes. Este modelo de decisão é explicitado pelo demonstrativo de resultado abaixo:

RECEITA DE VENDAS
- PREÇO DOS INSUMOS TOTALMENTE VARIÁVEIS
(=) GANHO TOTAL
- DESPESAS OPERACIONAIS
(=) LUCRO LÍQUIDO

Goldratt, propõe ainda, as seguintes etapas para apoiar o processo decisório da TOC:

**1. Identificar o sistema de restrições**

Esta é a primeira etapa do modelo que consiste na identificação e localização das restrições do sistema.

**2. Decidir como explorar as restrições do sistema**

Significa decidir sobre a forma de obter o melhor resultado possível considerando a condição imposta pelas restrições.

**3. Subordinar qualquer outro evento à decisão anterior**

A utilização de todos os demais recursos não restritivos está vinculada a forma de exploração definida para as restrições do sistema.

**4. Elevar a capacidade do sistema de restrições**

Após obtido o melhor nível de eficiência possível através das etapas 2 e 3, as restrições ainda existentes podem ser rompidas através do aumento de suas capacidades, gerando um novo nível de ganho e dando origem a um novo sistema restritivo.

**5. Se o sistema de restrições for modificado em função das etapas anteriores, voltar para a etapa 1, não deixando que a inércia limite a capacidade do sistema.**

A atuação sobre o sistema de restrições é um processo dinâmico e contínuo, visto que as mudanças internas e externas ao sistema são uma constante e influenciam o conjunto de restrições da empresa.

## A PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência administrativa, desenvolvida a partir de aplicações militares durante a segunda guerra mundial. Posteriormente foi difundida a sua ampla utilização nos problemas de decisão das empresas, devido ao fato que grande parte dos especialistas de PO migraram das organizações militares para as indústrias em reconstrução na Europa.

A PO fornece um conjunto de procedimentos e métodos quantitativos para tratar, de forma sistêmica, problemas que envolvam a utilização de recursos escassos.



Um estudo de PO deve ser desenvolvido considerando os seguintes procedimentos:

- Definição do problema: é necessário identificar claramente qual o objetivo pretendido, quais as variáveis relevantes que estão ligadas a este objetivo e a quais limitações e relações estas variáveis estão sujeitas. Geralmente uma decisão está ligada ao objetivo de minimizar ou maximizar custos e lucros respectivamente sob condições restritivas de recursos, mercado, políticas, dentre outras.

O esforço de definição do problema pode conduzir a reflexões mais abrangentes, como por exemplo, que custo ou lucro se quer otimizar? Os conceitos utilizados para mensuração destas medidas são adequados? Que informações a respeito dos recursos são necessárias? Uma determinada política interna é realmente restritiva?

A PO não tem resposta para estas indagações, estas são questões que estão relacionadas com conceitos e princípios administrativos do segmento específico onde o problema se localiza. É por esta razão que a PO é considerada uma ciência interdisciplinar, ela fornece apenas os instrumentos para serem aplicados nas mais diversas situações empresariais.

- Construção do modelo: corresponde à codificação do objetivo e das restrições em uma linguagem simbólica, no caso, através de equações matemáticas. A representação simplificada de um problema do mundo real através de um modelo matemático permite que sobre ele se aplique técnicas e métodos que facilitam a obtenção de uma solução.

A maior dificuldade no processo de modelagem de um problema de PO, no contexto organizacional, está relacionada ao sistema de informação empresarial. A formalização do objetivo a ser melhorado passa evidentemente pela definição conceitual do objetivo do sistema local em questão, o qual deve estar integrado com o objetivo global da empresa, caso contrário, todo o esforço de melhorias locais não trarão nenhuma contribuição ao sistema empresa como um todo. A inexistência de integração conceitual do sistema de informações, aliado à ausência ou excesso de dados necessários à concepção do modelo, em geral desestimula a utilização de ferramentas quantitativas.

- Obtenção da solução: esta fase tem por objetivo encontrar uma solução para o modelo construído. Dada as peculiaridades de cada modelo, a PO fornece uma diversidade enorme de técnicas e ferramentas para a sua resolução: Programação Linear e Não-Linear, Teoria das Filas, Programação Dinâmica, Método de Monte Carlo, Teoria dos Jogos, dentre outras. Hoje, muitos destes instrumentos estão programados em softwares disponíveis no mercado e de fácil operação em microcomputadores.

O grande desenvolvimento de métodos e algoritmos matemáticos deve-se à abordagem inicial da PO que era exclusivamente quantitativa, reunindo em torno de si engenheiros, matemáticos, físicos, economistas, dentre outros. Estes profissionais, por possuírem uma formação com forte embasamento matemático, conceberam métodos de aplicação geral para cada classe específica de modelo, utilizando os estudos de comportamento e propriedades das funções matemáticas. Esta categorização dos modelos depende da forma como estão relacionadas as variáveis do problema.

- Validação do modelo: o modelo construído deve representar, mesmo que com simplificações, a realidade observada, caso contrário a solução obtida não será adequada ao problema. Nesta etapa deve-se testar empiricamente ou analisar a solução encontrada utilizando dados passados e verificando se não se apresentam distorções.
- Implementação da solução: a solução a ser implementada não necessariamente deve corresponder à solução obtida, esta pode ser utilizada para orientar as decisões dos gestores, servindo de balizador para a definição de outros cursos de ação. Podem surgir situações novas que exigem alterações não significativas no modelo mas que podem conduzir à grandes alterações no resultado final. Também podem surgir alterações significativas nas condições do modelo exigindo que ele seja reelaborado.

Estas análises, aliada à rapidez e capacidade de processamento dos computadores, conferem hoje, muito maior dinamismo à PO, o que é extremamente necessário em vista do alto grau de mutação do ambiente em que as empresas estão inseridas, conferindo instabilidade muito maior aos modelos matemáticos.

## A PROGRAMAÇÃO LINEAR

A técnica de Programação Linear (PL) é utilizada para a resolução de problemas que envolvam a atribuição e distribuição de recursos entre diversos usos alternativos. Esta situação ocorre quando os recursos disponíveis não são suficientes para atender à demanda ou para se obter o resultado mais eficiente em termos de custos ou ganhos que se deseja.

O modelo matemático de um problema de otimização pode ser formulado como segue:

Max.ou Min.

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &< b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &< b_2 \end{aligned} \quad (2)$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n < b_m$$

onde  $x_i \geq 0$  e  $b_j \geq 0$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$  e  $j = 1, 2, \dots, m$

(1) é a função matemática que codifica o objetivo do problema e é denominada função-objetivo.

(2) são as funções matemáticas que codificam as principais restrições identificadas.

A linguagem simbólica é traduzida a seguir:

Z : função a ser maximizada ou minimizada (geralmente ganho ou custo), respeitando o conjunto de restrições;

$x_i$  : variáveis decisórias que representam as quantidades ou recursos que se quer determinar para otimizar o resultado global;

$c_i$  : coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar;

$b_j$  : quantidade disponível de cada recurso;

$a_{ij}$ : quantidade de recursos que cada variável decisória consome.

Os problemas do mundo real que podem ser simplificados por modelos com características similares ao formulado acima, ou seja, onde as relações entre as variáveis de decisão do problema, tanto na função-objetivo como no conjunto de restrições apresentam comportamentos lineares (os ganhos e custos são proporcionais às quantidades produzidas), representam uma classe de modelos caracterizados como Problemas de Programação Linear (PPL).

O método matemático mais utilizado para a resolução de um PPL é o método SIMPLEX, o qual consiste em um procedimento algébrico iterativo que fornece a solução ótima do problema dado um número finito de iterações. É também capaz de indicar se o problema tem solução ilimitada, se não tem solução ou se possui infinitas soluções. Estas respostas muitas vezes são decorrentes de má definição do problema.

As características do SIMPLEX permitiram sua codificação em programas extremamente rápidos e eficientes, possibilitando a solução de sistemas com centenas de variáveis.

O EXCEL, através do recurso "SOLVER", possibilita a resolução de um PPL utilizando uma interface de relacionamento com o usuário bastante amigável. Não é necessário nenhum conhecimento profundo sobre a fundamentação matemática do método de resolução, exige-se apenas habilidade em definir e modelar o problema.

## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

A análise de sensibilidade é um procedimento que deve ser efetuado, após o processo de otimização, para verificar a validade da solução obtida frente a algumas alterações nos dados iniciais do problema. As informações obtidas através da análise de sensibilidade podem ser muito mais relevantes para o processo decisório que a solução ótima encontrada.

São passíveis de análise as seguintes situações:

- Variações nas quantidades de recursos disponíveis inicialmente;
- Variações nos valores de ganho ou custo que cada variável de decisão contribui para o resultado global;
- Variações nas quantidades de recursos que cada variável decisória consome;
- Adição de novas variáveis decisórias;
- Adição de novas restrições para o problema.

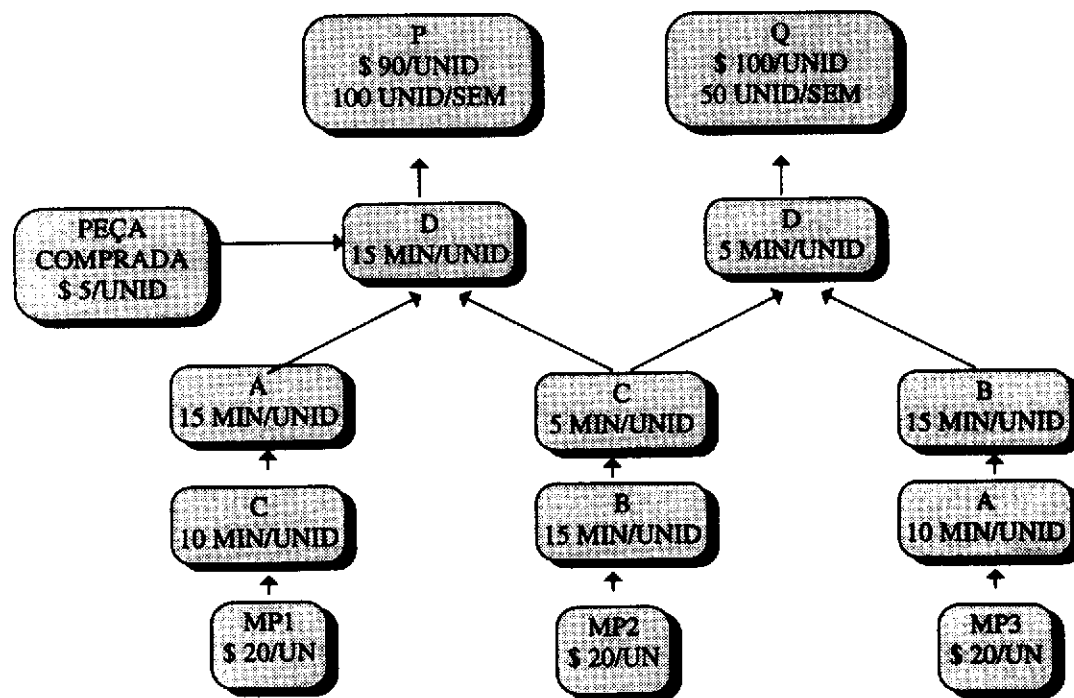
## APLICAÇÃO

Para mostrar que o algoritmo de resolução da PL atende ao processo de decisão da TOC, podendo inclusive, auxiliar na busca de soluções alternativas para os problemas, apresentamos abaixo o exemplo construído por Goldratt<sup>10</sup> para ilustrar a aplicação dos conceitos da TOC.

### DADOS DO PROBLEMA

Consideremos uma fábrica em condições ideais, os fornecedores são confiáveis, as máquinas não apresentam interrupções, a mão-de-obra é treinada e o mercado consumidor é cativo. A fábrica produz dois produtos denominados "P" e "Q", o preço de venda de P é \$90 a unidade e o mercado demanda no máximo 100 unidades por semana; o preço de venda do produto Q é \$100 a unidade e o mercado demanda no máximo 50 unidades por semana.

A sequência dos processos de manufatura dos produtos (A, B, C e D), os preços unitários de matéria-prima e componentes para cada processo, bem como os tempos necessários para realizar cada operação podem ser visualizados na figura representada a seguir:



<sup>10</sup> GOLDRAT, Eliyhau M.,

Cada operação é realizada por um único operário que possui uma carga horária semanal de 2400 minutos. Além disso, as despesas operacionais somam \$6000 por semana. As despesas operacionais incluem, de acordo com os conceitos da TOC, os salários dos operários e seus benefícios, os salários de supervisão, do pessoal de vendas e da gerência, as despesas de energia elétrica e as despesas financeiras por empréstimos.

O problema consiste em determinar qual o mix ótimo de produtos que gera o maior resultado líquido semanal para a empresa.

### RESOLUÇÃO DO PROBLEMA PELA TOC

Uma questão relevante para Goldratt é o sistema de informações para a tomada de decisão. Quais as informações necessárias para a resolução do problema? Os conceitos e o modelo de decisão da TOC orientam esta resposta.

O conceito de lucro líquido na TOC é definido como a diferença entre os ganhos e as despesas operacionais. O ganho unitário de cada produto é obtido pelo preço de venda deduzido do custo totalmente variável:

$$P: \$90 - \$45 = \$45$$

$$Q: \$100 - \$40 = \$60$$

As regras do modelo de decisão da TOC fornecem uma sequência de procedimentos adequados para se buscar uma solução. A forma intuitiva de abordagem do problema, descrita por Goldratt, levaria o gestor a questionar primeiramente sobre a possibilidade de atendimento de toda a demanda do mercado, conduzindo à necessidade de verificar se existem recursos limitativos. Esta é a primeira regra do modelo de decisão da TOC: Identificar o sistema de restrições.

O quadro abaixo apresenta os cálculos da capacidade de produção da fábrica. No caso, os recursos são os tempos disponíveis para manufatura dos produtos.

Cálculo capacidade de fabricação	Produto P	Produto Q			Total	Disponibilidade	Potencial
	Tempo min/unid	total	Tempo min/unid	total			
		100 unid.		50 unid.			
Recurso A	15	1500	10	500	2000	2400	83%
Recurso B	15	1500	30	1500	3000	2400	125%
Recurso C	15	1500	5	250	1750	2400	73%
Recurso D	15	1500	5	250	1750	2400	73%

É possível identificar que o recurso B é um gargalo, pois a sua capacidade de produção é inferior à necessidade de mercado prevista. Assim é necessário escolher qual o produto ou que quantidade de cada produto fabricar.

Se o parâmetro de decisão fosse o ganho proporcionado por cada produto, a decisão adotada seria produzir prioritariamente o produto Q, o qual possibilita ganho de \$60 por unidade. Tal decisão acarretaria prejuízo de \$300, conforme indica o demonstrativo de resultados a seguir:

	Produto P	Produto Q	\$ Total
receita unitária de vendas	\$90	\$100	
(-) preços unitários dos materiais diretos	(\$45)	(\$40)	
(=) GANHO UNITÁRIO	\$45	\$60	
Unidades fabricadas e vendidas	60 unid.	50 unid.	
GANHO TOTAL	2700	3000	\$5,700
(-) DESP. OPERACIONAIS			(\$6,000)
(=) LUCRO/PREJ. LÍQUIDO			(\$300)

A solução apontada por Goldratt aplica a segunda regra do modelo de decisão da TOC: Decidir como explorar as restrições.

Para extrair o máximo dos recursos limitativos, a TOC apresenta o conceito de ganho por unidade de produto no uso do recurso restritivo, ou seja, em um minuto de utilização do recurso crítico que produto gerará mais dinheiro?

$$P: \$45/15 \text{ min} = \$3$$

$$Q: \$60/30 \text{ min} = \$2$$

Considerando este critério, a decisão é totalmente diferente daquela que considerava simplesmente o maior ganho. Assim, a solução é produzir o produto P até esgotar a demanda do mercado (100 unidades) e os recursos restantes ( $2400 - 100 \times 15 = 900$ ) são empregados na produção de Q ( $900/30 = 30$  unidades).

Observamos que este não é um critério novo para a Contabilidade de Custos. Em 1978, quando as idéias de Goldratt não eram ainda difundidas no Brasil, Martins<sup>11</sup>, mesmo adotando o conceito de margem de contribuição composta com rateio dos custos indiretos de fabricação, discutiu a existência de limitações na capacidade produtiva, adotando como critério de decisão para a maximização do lucro a maior margem de contribuição gerada no fator limitativo.

O processo de decisão descrito acima para se chegar à solução e o seu respectivo resultado é demonstrado no quadro abaixo:

<sup>11</sup> MARTINS, Eliseu. Contabilidade de Custos. 1o. Ed. São Paulo: Atlas, 1978, p. 221.

	Produto P	Produto Q	\$ Total
receita unitária de vendas	\$90	\$100	
(-)preços unitários dos materiais diretos	(\$45)	(\$40)	
(=)GANHO UNITÁRIO	\$45	\$60	
( : )tempos usado no gargalo	15 minutos	30 minutos	
(=)GANHO P/MIN. NO GARGALO	\$3	\$2	
classificação de prioridade	1o.	2o.	
MIX ÓTIMO	100 unid.	30 unid.	
GANHO TOTAL	4500	1800	\$6,300
(-) DESP.OPERACIONAIS			(\$6,000)
(=)LUCRO LÍQUIDO			\$300

Recalculando a capacidade de produção, considerando esta nova solução, temos o seguinte quadro:

Cálculo capacidade de fabricação	Produto P	Produto Q			Total	Disponibilidade	Potencial
	Tempo min/unid	total	Tempo min/unid	total			
		100 unid.		50unid.			
Recurso A	15	1500	10	300	1800	2400	75%
Recurso B	15	1500	30	900	2400	2400	100%
Recurso C	15	1500	5	150	1650	2400	69%
Recurso D	15	1500	5	150	1650	2400	69%

O gargalo foi totalmente explorado e o percentual de ociosidade dos demais recursos aumentou. A terceira regra do modelo de decisão da TOC: Subordinar todos os outros recursos à decisão tomada, direciona a forma de gerenciamento da produção. Mesmo que os outros recursos da fábrica não estejam sendo totalmente utilizados, gerando ociosidade de máquinas e de recursos humanos, esta é a decisão que otimiza o resultado e deve ser implantada. Fica comprovado aqui, que a maximização local não gera a maximização global.

A quarta regra do modelo de decisão da TOC: Elevar as restrições do sistema, é ilustrada por Goldratt<sup>12</sup> através da sugestão de um engenheiro de processo de reduzir em um minuto o tempo de operação no gargalo, investindo para tanto \$3000. Os impactos no resultado líquido é calculado considerando o tempo de recuperação do investimento.

<sup>12</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informação num Oceano de Dados. 2o. Ed. São Paulo: Educator, 1992, p. 82-84.

A quinta regra: Não deixar que a inércia se torne uma restrição, também é ilustrada<sup>13</sup> através da intervenção do diretor de Marketing, buscando ampliar o mercado consumidor pela exportação dos produtos para o Japão com preços diferenciados. Esta opção altera o sistema de restrições e portanto exige que se reinicie o processo sistemático de reflexão voltando à primeira regra do modelo de decisão da TOC.

### RESOLUÇÃO DO PROBLEMA PELA PL

A sequência de procedimentos necessários para o estudo de um problema de programação linear será aplicada no exemplo apresentado, para mostrar que a lógica do processo de resolução pela técnica da PL é compatível com o modelo de decisão ilustrado no tópico anterior.

#### Definição do Problema:

A primeira etapa corresponde à definição precisa das variáveis, objetivos, condições limitantes e dados de entrada necessários para o software processar a resposta. As variáveis do problema são as quantidades de P e Q que devem ser produzidas. A função-objetivo é o ganho obtido com a venda dos produtos, sendo evidenciada a partir do modelo de decisão do gestor.

Os parâmetros operacionais sugeridos pela TOC proporciona o equacionamento da função ganho que deverá ser maximizada:

	Produto P	Produto Q	\$ Total
receita unitária de vendas	\$90	\$100	
(-)preços unitários dos materiais diretos	(\$45)	(\$40)	
(=)GANHO UNITÁRIO	\$45	\$60	
UNIDADES FABRICADAS E VENDIDAS	P	Q	
GANHO TOTAL	45 x P	60 x Q	45 x P + 60 x Q
(-) DESP. OPERACIONAIS			(\$6,000)
(=) LUCRO LÍQUIDO			(45xP + 60xQ) - 6000

O conjunto de restrições é evidenciado a partir dos dados do problema. As restrições devem ser formuladas em termos gerais, possibilitando que o algoritmo verifique, a cada quantidade atribuída a P e Q, se o tempo necessário para fabricá-los não extrapola o tempo disponível de cada recurso, nem exceda às demandas de mercado.

<sup>13</sup> Ibid. p. 85-90.



Cálculo capacidade de fabricação	Produto P	Produto Q			Total	Disponibilidade
	Tempo min/unid	total	Tempo min/unid	total		
		100 unid.		50 unid.		
Recurso A	15	$15 \times P$	10	$10 \times Q$	$15 \times P + 10 \times Q$	2400
Recurso B	15	$15 \times P$	30	$30 \times Q$	$15 \times P + 30 \times Q$	2400
Recurso C	15	$15 \times P$	5	$5 \times Q$	$15 \times P + 5 \times Q$	2400
Recurso D	15	$15 \times P$	5	$5 \times Q$	$15 \times P + 5 \times Q$	2400

### Construção do modelo:

A codificação do modelo corresponde a uma forma-padrão de apresentação dos dados do problema, onde ficam explicitados os coeficientes das variáveis que se quer determinar. Estes coeficientes correspondem, na função objetivo aos ganhos unitários com cada produto e nas restrições aos tempos de fabricação de P e Q em cada processo com as suas respectivas limitações. As demandas de mercado também devem ser codificadas.

$$\text{Max. } 45P + 60Q$$

sujeito a

$$(1) 15P + 10Q \leq 2400$$

$$(2) 15P + 30Q \leq 2400$$

$$(3) 15P + 5Q \leq 2400$$

$$(4) 15P + 5Q \leq 2400$$

$$(5) P \leq 100$$

$$(6) Q \leq 50$$

$$(7) P \leq 0$$

$$(8) Q \leq 0$$

### Obtenção da Solução:

A obtenção da solução do problema através de um software exige como entrada de dados os coeficientes das variáveis descritos no item anterior, os quais estão organizados no modelo.

O algoritmo de resolução - método SIMPLEX - trabalha inicialmente considerando como soluções viáveis do problema, todas as combinações possíveis de quantidades de P e Q que não violam o conjunto de restrições. Ele inicia um processo de pesquisa dentro deste conjunto a partir de uma solução inicial qualquer (geralmente  $P=0$  e  $Q=0$  então  $\text{Ganho}=0$ ), depois disso, através de operações algébricas com os coeficientes das variáveis do problema, verifica a cada passo, se uma nova solução contribue para aumentar o valor da função objetivo, ou seja, o ganho. O processo pára quando o algoritmo conclui que nenhuma nova solução pode incrementar o valor da função objetivo.

Logicamente este é um procedimento programado para resolver problemas repetitivos e/ou que apresentam razoável grau de complexidade, envolvendo muitas variáveis ou restrições. Porém, não se constitui numa caixa-preta, a sua interpretação econômica pode ser compreendida por qualquer administrador.

O raciocínio será demonstrado utilizando como solução inicial a resposta intuitiva usada por Goldratt:  $Q = 50$ ,  $P = 60$  e o ganho igual a \$5700.

As capacidades dos recursos são testadas nas equações de restrição, onde é verificado que o recurso B está no limite máximo e que toda a demanda de Q foi atendida. Assim, para se produzir uma unidade a mais de P deve-se deixar de produzir alguma quantidade de Q. A questão que se coloca é: O ganho com a produção de uma unidade a mais de P é maior que a redução provocada pela diminuição na quantidade obtida para Q? Se este teste for positivo o algoritmo vai buscar a nova solução (no caso, aumentando P até o limite da restrição de mercado), caso contrário, encerra o procedimento de busca.

Fazendo  $P = 61$ , a quantidade de recursos restantes ( $2400 - 61 \times 15 = 1485$ ) é suficiente para fabricar somente 49,5 unidades de Q.

O ganho obtido pela substituição desta solução na função objetivo é:

$45 \times 61 + 60 \times 49,5 = 5715$ . Este resultado corresponde a um incremento de \$15 no ganho total para cada unidade a mais fabricada do produto P. A nova solução passa então a ser  $P = 100$  e  $Q = 30$ .

O relatório de resultados e o relatório de sensibilidade, fornecidos pela resolução através do comando SOLVER do EXCEL 7.0 são visualizados a seguir:

#### Microsoft Excel 7.0c Relatório de resultados

Célula de destino (Máximo)

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$D\$4	lucro total	0	6300

Células ajustáveis

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$B\$2	quantidade produto P	0	100
\$C\$2	quantidade produto Q	0	30

## Restrições

Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Diferencial
\$D\$14	recurso A	1800	\$D\$14<=2400	Não obrigatório	600
\$D\$15	recurso B	2400	\$D\$15<=2400	Obrigatório	0
\$D\$16	recurso C	1650	\$D\$16<=2400	Não obrigatório	750
\$D\$17	recurso D	1650	\$D\$17<=2400	Não obrigatório	750
\$B\$2	quantidade produto P	100	\$B\$2>=0	Não obrigatório	100
\$C\$2	quantidade produto Q	30	\$C\$2>=0	Não obrigatório	30
\$B\$2	quantidade produto P	100	\$B\$2<=100	Obrigatório	0
\$C\$2	quantidade produto Q	30	\$C\$2<=50	Não obrigatório	20

## Microsoft Excel 7.0c Relat. grau de sensibilidade

## Células variáveis

Célula	Nome	Valor final	Custo reduzido	Coefficiente objetivo	Aumento permitido	Redução permitida
\$B\$2	quantidade produto P	100	15	45	1E+30	15
\$C\$2	quantidade produto Q	30	0	60	30	60

## Restrições

Célula	Nome	Valor final	Diferença de preço	Valor de restrição	Aumento permitido	Redução permitida
\$D\$14	recurso A	1800	0	2400	1E+30	600
\$D\$15	recurso B	2400	2	2400	600	900
\$D\$16	recurso C	1650	0	2400	1E+30	750
\$D\$17	recurso D	1650	0	2400	1E+30	750

O relatório de resultados fornece a solução ótima encontrada pelo algoritmo e a margem total que corresponde ao ganho total antes de deduzidas as despesas operacionais. No quadro de restrições são fornecidas as quantidades utilizadas e as folgas existentes de cada recurso. A coluna de Status identifica as quantidades de recursos ociosos (a tradução para obrigatório e não obrigatório não está adequada).

No primeiro quadro do relatório de sensibilidade são apresentados intervalos de variação para o ganho com cada produto. Os ganhos, se mantidos dentro destes intervalos não proporcionam

alteração nas quantidades obtidas para P e Q como solução do problema, embora reduzindo ou aumentando o ganho total.

No quadro de restrições, a coluna diferença de preço ( não está traduzida adequadamente, o original é shadow price) corresponde ao valor que se deixa de ganhar por não se dispor de uma unidade a mais de recurso. No caso, para cada unidade de recurso B incrementada, o ganho seria acrescido em \$2. Esta informação induz a busca de uma alternativa que pode conduzir a melhoria de performance do recurso B, como a sugestão apresentada pelo engenheiro de produção na ilustração de Goldratt (pg.13). As colunas de aumento permitido e redução permitida fornecem intervalos de variação para a quantidade de cada recurso sem que se mude a relação de crescimento (shadow price) no ganho total obtido pela solução ótima encontrada.

O relatório de sensibilidade apresenta dados que auxiliam o gerenciamento sobre os custos dos insumos, sobre a capacidade dos recursos, sobre a ampliação de mercados, dentre outras.

Ilustraremos agora uma situação envolvendo a existência de dois gargalos simultâneos. Para tanto, serão introduzidas algumas alterações no exemplo apresentado por Goldratt: uma fábrica produz os produtos P1 e Q1, cujas sequências dos processos de manufatura são análogas as descritas para os produtos P e Q, o produto P1 consome 22,5 minutos do recurso A, o produto Q1 consome 20 minutos e a fábrica dispõe de 2600 minutos deste recurso. Os demais dados são iguais e apresentam os mesmos conceitos de mensuração do problema anterior:

Cálculo capacidade de fabricação	Produto P1	Produto Q1			Total	Disponibilidade	Potencial
	Tempo min/unid	total 100 unid.	Tempo min/unid	total 50unid.			
Recurso A	15	2250	20	1000	3250	2600	125%
Recurso B	15	1500	30	1500	3000	2400	125%
Recurso C	15	1500	5	250	1750	2400	73%
Recurso D	15	1500	5	250	1750	2400	73%

Os gargalos simultâneos são os recursos A e B. Utilizando o critério de decisão da TOC obtemos os seguintes ganhos por unidades nos recursos restritivos:

	Produto P1	Produto Q1	\$ Total
receita unitária de vendas	\$90	\$100	
(-)preços unitários dos materiais diretos	(\$45)	(\$40)	
(=)GANHO UNITÁRIO	\$45	\$60	
( : )tempos usado no gargalo A	22,5minutos	20 minutos	
(=)GANHO P/MIN. NO GARGALO A	\$2	\$3	
( : )tempos usado no gargalo B	\$3	\$2	
(=)GANHO P/MIN. NO GARGALO B			
(?) como priorizar?			

Neste caso a classificação de prioridade de produtos não é imediatamente visualizada somente com a verificação do maior ganho nos recursos restritivos. A lógica utilizada pelo algoritmo da PL pode ser traduzida da seguinte forma:

A solução inicial pode ser obtida pelo critério da maior margem de contribuição, ou seja,  $Q1=50$  e  $P1=60$ , totalizando ganho igual a \$5700.

A questão que segue é se o ganho com uma unidade a mais de  $P1$  é maior que a redução provocada pela diminuição de  $Q1$ . Fazendo  $P1=61$ , a quantidade de recursos restantes (recurso B) é suficiente para fabricar somente 49,5 unidades de  $Q1$  (relação de 2 para 1). O ganho obtido então é  $45 \times 61 + 60 \times 49,5 = \$5715$ , o que indica que o produto  $P1$  contribui para aumentar o lucro. O próximo raciocínio seria aumentar  $P1$  até o limite de mercado (100 unidades) e a produção de  $Q1$  com os recursos restantes (17 unidades). Esta solução corresponde a um ganho total de \$5520 ( $100 \times 45 + 17 \times 60 = 5520$ ), ou seja o ganho diminui. Considerando que, de acordo com o teste anterior,  $P1$  contribui para aumentar o resultado a questão que se coloca é qual a quantidade de  $P1$  que deve ser produzida sem que se anule os resultados proporcionados também pelo produto  $Q1$ .

A solução  $Q1=50$  e  $P1=60$  utiliza totalmente o recurso B e gera uma folga de 250 unidades do recurso A ( $22,5 \times 60 + 20 \times 50 = 2350$ ), poderíamos pensar então em produzir 11 unidades a mais de  $P1$  ( $250:22,5 = 11,11$ ). Porém, o aumento na produção de  $P1$  exige maior consumo do recurso B, o qual está no limite. A única solução seria alterar a quantidade de  $Q1$  para 44 unidades ( $(2400 - 15 \times 71):30 = 44,5$ ). Ao se efetuar esta alteração observe que a folga do recurso A também aumenta. Para estabelecer qual é a folga do recurso A disponível para a produção de  $P1$ , é preciso efetuar uma ponderação entre a quantidade do recurso B que o produto  $P1$  consome e a quantidade consumida pelo produto  $Q1$ . A cada unidade produzida de  $P1$ , teoricamente deixaríamos de produzir 0,5 unidade de  $Q1$  (15 unidades do recurso B para  $P1$  e 30 unidades do recurso B para  $Q1$ ), ou seja, a quantidade de  $Q1$  deve corresponder à metade da quantidade de  $P1$ . Assim, o número de unidades adicionais do produto  $P1$  pode ser quantificado pela divisão da folga de 250 unidades do recurso A pela quantidade deste recurso que é consumida por uma unidade de  $P1$  menos a metade da quantidade consumida por  $Q1$  ( $250: (22,5 - (20:2)) = 20$ ).

Portanto, a solução encontrada é 80 unidades de  $P1$  e 40 unidades de  $Q1$ , gerando ganho total de \$6000.

	Produto P	Produto Q	\$ Total
receita unitária de vendas	\$90	\$100	
(-)custos unitários totalmente variáveis	(\$45)	(\$40)	
(=)GANHO UNITÁRIO	\$45	\$60	
MIX ÓTIMO	80 unid.	40 unid.	
GANHO TOTAL	3600	2400	\$6,000
(-) DESP.OPERACIONAIS			(\$6,000)
(=)LUCRO LÍQUIDO			\$0

Cálculo capacidade de fabricação	Produto P		Produto Q		Total	Disponibilidade	Potencial
	Tempo min/unid	total 100 unid.	Tempo min/unid	total 50unid.			
Recurso A	22,5	1800	20	800	2600	2600	100%
Recurso B	15	1200	30	1200	2400	2400	100%
Recurso C	15	1200	5	200	1400	2400	58%
Recurso D	15	1200	5	200	1400	2400	58%

### AS CRÍTICAS DE GOLDRATT

Goldratt<sup>14</sup>, em sua obra “A Síndrome do Palheiro” enfatiza a necessidade de se proceder ao gerenciamento das restrições e tece críticas aos métodos de programação que têm sido utilizados nas últimas décadas, inclusive o método de programação linear:

“Para a programação linear, por exemplo, a técnica que audaciosamente apresenta ao usuário um resultado final onde os conflitos foram “resolvidos”, ignora o fato de que muitos dados exigidos para a resolução adequada dos conflitos não foram apresentados. Além disso, nem mesmo se importa em destacar onde os conflitos foram encontrados e quais as suposições foram feitas na sua resolução. Para o usuário, é basicamente uma caixa preta que, arrogantemente, coloca um conjunto de equações matemáticas acima das capacidades superiores do cérebro humano de encontrar soluções amigáveis simplesmente mudando as suposições do problema, quando é encontrada uma situação “sem saída”. Não é de admirar que a programação linear (ou sua mais velha e mais “sofisticada” irmã, a programação dinâmica) não teve sucesso em descobrir uma ampla aplicação, apesar de ter sido, sem nenhum motivo real, a pedra fundamental da pesquisa operacional nos últimos vinte anos.”

De fato, o enfoque sistêmico na aplicação das técnicas de PO conduziram à suposição de que todas as restrições de um problema podem ser modeladas através de equações matemáticas, as quais, mesmo sendo conflitantes podem ser harmonizadas através de um método científico de resolução. Acreditamos, porém que as maiores críticas devem ser dirigidas aos usuários das técnicas quantitativas, os quais, neste caso, estão considerando como coações fixas certas limitações que podem ser removidas pela capacidade de gerenciamento.

Outro problema apresentado por Goldratt diz respeito à utilização dos dados e as suposições estabelecidas para o problema. Cientificamente devemos tratar qualquer problema de uma organização no contexto de um sistema amplo, no qual as informações de resultados locais devem estar integradas com as medidas de resultados globais, ou seja, o uso eficiente de técnicas quantitativas exige integração conceitual do sistema de informação empresarial.

O conceito de caixa-preta refere-se ao modo que o método de PL opera sobre os dados de entrada para transformá-los na solução, esta operação corresponde à lógica humana, conforme

<sup>14</sup> GOLDRATT, Eliyahu M. *A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informação num Oceano de Dados*. 2o. Ed. São Paulo: Educator, 1992.

ilustramos anteriormente. A construção de um algoritmo matemático objetiva a sistematização de um processo de raciocínio visando a resolução de problemas genéricos com a maior rapidez possível. A existência de algumas poucas restrições devidamente elaboradas já é suficiente para imprimir complexidade na análise das possibilidades de solução.

Concordamos com Goldratt quanto a uma ampla aplicação da PL, pois, a eficácia do uso de uma ferramenta quantitativa, especificamente nos problemas gerenciais, não é determinada por ela mesma. Depende de uma estrutura de conceitos e princípios que sustente o processo de decisão empresarial, os quais devem estar refletidos nas informações que alimentam o algoritmo de resolução do problema.

## CONCLUSÕES

Na TOC são utilizados conceitos próprios para o sistema de informações, princípios de gerenciamento focalizados no sistema de restrições, além de técnicas específicas de sincronização do fluxo de produção. Entendemos que esta estrutura proposta por Goldratt proporciona a utilização eficaz de técnicas quantitativas para auxiliar o processo de programação da produção.

O princípio da PL é a busca sistemática por uma solução que melhore a performance do sistema, respeitando sempre um conjunto de restrições. As regras do modelo de decisão da TOC são posturas gerenciais sugeridas por Goldratt para orientar o processo decisório. Abaixo, descrevemos de maneira sintética, a forma como a técnica de PL pode auxiliar cada etapa do processo decisório da TOC, especificamente quando os gargalos identificados representam limitação de recursos:

1. Identificar o sistema de restrições

A necessidade de codificação do problema, para a resolução pelo algoritmo da PL, induz a identificação das variáveis de decisão, da função a ser maximizada e do conjunto de restrições. Esta identificação não é um processo sistematizado, depende do conhecimento e das reflexões das pessoas que estão envolvidas com o problema, exatamente como sugere a TOC.

2. Decidir como explorar as restrições

A TOC utiliza como critério de decisão o ganho por unidade de tempo na utilização do recurso restritivo. A PL utiliza o critério de maior contribuição para o ganho. Embora sejam critérios diferentes, quantitativamente o raciocínio da PL conduz a mesma solução e pode ser aplicado a vários gargalos simultâneos.

3. Subordinar todos os outros recursos à decisão tomada

A solução encontrada pelo algoritmo da PL determina o nível de utilização de cada recurso, os quais são fornecidos pelos relatórios de saída do programa de resolução. Na TOC esta regra corresponde à adoção de providências para que a decisão ótima seja implementada.

4. Elevar as restrições do sistema

Através da análise correta dos relatórios de sensibilidade da PL é possível extrair informações que auxiliam o processo de melhoria da capacidade dos recursos restritivos.

5. Não deixar que a inércia se torne uma restrição  
Quando surge uma situação em que as condições iniciais do problema foram substancialmente alteradas, com a introdução de novas variáveis ou novas restrições, o problema deve ser reestruturado e resolvido novamente.

## BIBLIOGRAFIA

- ACKOFF, R.L. & SASIENI, M.W.** *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- ANDRADE, EDUARDO L.** *Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.
- CHINEN, CECÍLIA A. K.** *Alocação dos Custos Fixos: Um Modelo de Programação Linear*. São Paulo: Dissertação de Mestrado, FEA/USP, 1976.
- CHURCHMAN, C. WEST.** *Introdução à Teoria dos Sistemas*. 2o.Ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes Ltda, 1972.
- CIA, JOANÍLIA N.S.** *Contabilidade Gerencial e Teoria das Restrições: Interligando Contabilidade à Produção*. Anais do XV Congresso Brasileiro de Contabilidade, vol.4, Fortaleza, out.1996.
- EHRlich, P.J.** *Pesquisa Operacional: Curso Introdutório*. 2o. Ed. São Paulo: Atlas, 1978.
- GOLDRATT, ELIAHU M.** *The Goal*. The North River Press, New York: 1980.
- GOLDRATT, ELIAHU M.** *Computerized Shop Floor Scheduling*. Production Research, 1988.
- GOLDRATT, E.M. & FOX, R.E.** *The Race*. Creative Output, New York: 1985.
- GOLDRATT, ELIAHU M. & COX, JEFF.** *A Meta*. 34o. Ed. São Paulo: Educator, 1995.
- GOLDRATT, ELIAHU M.** *A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informação num Oceano de Dados*. 2o. Ed. São Paulo: Educator, 1992.
- GUERREIRO, REINALDO & CATELLI, ARMANDO.** *As Críticas da Teoria das Restrições à Contabilidade de Custos: Uma Resposta*. Anais do XV Congresso Brasileiro de Contabilidade, vol.1, Fortaleza, out. 1996.
- GUERREIRO, REINALDO.** *A Meta da Empresa: seu alcance sem mistérios*. São Paulo: Atlas, 1996.
- GUERREIRO, REINALDO.** *A Teoria das Restrições e o Sistema de Gestão Econômica: Uma Proposta de Integração Conceitual*. São Paulo: Tese de Livre-Docência, FEA-USP, 1995.
- IUDÍCIBUS, SÉRGIO DE.** *Análise de Custos*. São Paulo: Atlas, 1988.
- JAYSON, SUSAN. GOLDRATT & FOX.** *Revolutionizing Management Accounting*, may, 1987.
- KAPLAN, R. S.** *Advanced Management Accounting*. Prentice Hall, 1982.
- MARTINS, ELISEU.** *Contabilidade de Custos*. 1o.Ed. São Paulo: Atlas, 1978.
- RODRIGUES, LUÍS H.** *Apresentação e Análise Crítica da Tecnologia da Produção Otimizada (Optimized Production Technology - OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC)*. Anais do XIV Encontro Anual da ANPAD, vol7, Belo Horizonte, Administração da Produção, 1990.
- SHAMBLIN, J.E., STEVENS JR,G.T.** *Pesquisa Operacional: Uma Abordagem Básica*. São Paulo: Atlas, 1979.