

UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR ASSOCIADA À TEORIA DAS RESTRIÇÕES COMO FERRAMENTA NO PROCESSO DECISÓRIO EM ATIVIDADES DE GESTÃO AGROINDUSTRIAL

*USE OF LINEAR PROGRAMMING ASSOCIATED WITH THE THEORY OF CONSTRAINTS ALGORITHMS
AS AUXILIARY TOOL FOR DECISION MAKING PROCESS OF AGRO-INDUSTRY ACTIVITIES*

Celso Correia de SOUZA

Universidade Anhanguera Uniderp
csouza939@gmail.com

José Francisco dos REIS NETO

Universidade Anhanguera Uniderp
jfreisneto@terra.com.br

Rhaysa WOLF

Universidade Federal da Grande Dourados
rha_wolf@hotmail.com

Recebido em 10/2013 – Aprovado em 01/2014

Resumo

O mercado consumidor globalizado, cada vez mais exigente, tem levado as empresas a um processo constante de mudanças no sentido de melhorar a qualidade dos produtos e com menor custo. Métodos e processos são adotados, ao mesmo tempo em que as ferramentas da qualidade são aplicadas, melhorando a gestão administrativa e melhorando os processos de capacitação do pessoal. Diante dessa demanda crescente por produtos de melhor qualidade a baixo custo, torna-se vital tirar o maior proveito de todos os recursos disponíveis na organização, otimizando a produção, controlando e reduzindo custos, aumentando a eficácia e maximizando os resultados. Conceitos ligados à Teoria das Restrições e a aplicação da Programação Linear tem auxiliado no processo de otimizar os recursos das empresas. Através da Programação Linear, com a utilização da ferramenta Solver do MS Excel, associada aos conceitos da Teoria das Restrições, efetuou-se um estudo de caso de uma indústria de fertilizantes, em que a principal atividade era a de produzir três tipos diferentes de fertilizantes com a finalidade de maximizar o lucro da empresa, levando-se em conta as restrições de mercado e de insumos para a produção. Os resultados expostos, após a utilização da Programação Linear, apresentaram uma série de informações estratégicas que possibilitam ao gestor da empresa na escolha das quantidades mínimas de insumos a serem usados, maximizando o seu lucro.

Palavras-Chave: TOC, Programação Linear; Modelos matemáticos; Variáveis de decisão.

Abstract

The consumer market is global, increasingly demanding, have led companies with a constant process of change to improve product quality and lower cost. Methods and procedures are adopted at the same time that the tools of quality are applied, improving management and improving administrative procedures for staff training. Faced with this growing demand for better quality products at low cost, it is vital to take full advantage of all available resources in the organization, optimizing the use, controlling and reducing costs, increasing efficiency and maximizing results. Concepts related to the Theory of Constraints and application of linear programming has helped in the process of optimizing the resources of companies. Through linear programming using the Microsoft Excel Solver tool, linked to concepts of the Theory of Constraints, made up a case study of a fertilizer industry, where the main activity was to produce three different types of fertilizers with order to maximize the profit of the company, taking into account market constraints and inputs for the production of fertilizers. The above results, after using the Linear Programming, presented a series of strategic information enabling the company manager in choosing the minimum quantities of inputs to be used, maximizing your profit.

Keywords: TOC; Linear programming; Mathematical models; Decision variables

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado consumidor tem se tornado cada vez mais globalizado, conseqüentemente, mais exigente, fazendo com que as empresas invistam em novas tecnologias na fabricação de produtos de melhores qualidades.

O respeito ao meio ambiente também começa a ser considerado pelo consumidor na hora de adquirir produtos, procurando comprar daquelas

empresas que tem compromissos na preservação da qualidade de vida do ser humano.

A competição está cada vez mais acirrada, exigindo que as empresas se adaptem rapidamente às novas exigências do mercado onde está inserida, o que tem causado dificuldades às empresas de pequeno porte, que não dispõem de recursos compatíveis com as novas exigências. O conhecimento de todos os fatores que interagem e influenciam no processo de decisão, bem como recursos e atividades que limitam a produção e a qualidade, são de fundamental importância para que se possa produzir mais com melhor qualidade, aumentando os ganhos com os recursos disponíveis da empresa.

Assim, tendo como foco os recursos disponíveis pela empresa, o que se pergunta é como avaliar o seu grau de utilização, o grau de eficácia com que os insumos estão sendo utilizados, no sentido da maximização dos lucros ou a minimização dos custos sem que haja novos investimentos, visto que todas as decisões tomadas em uma empresa, geralmente, envolvem a utilização de recursos na produção, na busca por melhores resultados. Dessa forma, otimização do recurso é um dos principais fatores que vão determinar o resultado.

O gestor de uma empresa deve identificar os pontos mais vulneráveis da empresa (as restrições). São esses pontos que determinam o bom ou o mau desempenho da organização. Desse modo, aumentar o desempenho da empresa constitui em identificar e eliminar as suas restrições, que podem ser de insumos, de máquinas, todo um setor da empresa e, até mesmo, capital para novos investimentos.

Levando-se em conta que os recursos disponíveis para utilização em uma empresa não são mutuamente excludentes. Uma mesma matéria-prima pode ser utilizada para produzir dois ou mais produtos diferentes. O mesmo se pode dizer

para as máquinas, os recursos humanos e financeiros. Assim, como avaliar se a empresa está utilizando corretamente esses recursos? Como saber se o que se está produzindo vai maximizar os recursos investidos? Qual é o melhor mix de produção e vendas que maximize a capacidade instalada?

Aliando à TOC a Programação Linear (PL), que é um método matemático poderoso para resolver os problemas em que exista um objetivo a ser atingido, mas sujeito as restrições. Quando a PL é aplicada aos problemas de gestão em uma empresa, ficam mais fáceis de serem resolvidos ou amenizados.

Os problemas de programação linear buscam a distribuição eficiente de recursos limitados para atender a um determinado objetivo, em geral, maximizar lucros ou minimizar custos.

Este trabalho teve como objetivo apresentar através da programação linear, em conjunto com a teoria das restrições, ferramentas de auxílio à tomada de decisão na produção de uma indústria de fertilizantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das restrições ou TOC (Theory of Constraints) como é conhecida, teve início na década de 70, criada pelo físico Eliyahu M. Goldratt, mas foi no começo da década de 80 que ele publicou, juntamente com Jeff Cox no livro “A Meta”, com o intuito de disseminar essa teoria. O livro foi escrito em forma de romance, e mostra a dificuldade de um gerente em administrar uma fábrica. Com o desenrolar da história, o gerente vai descobrindo a teoria das restrições e a empresa recupera sua competitividade (GOLDRATT; COX, 1993).

Para Reinaldo Guerreiro (1996), o ponto focal da TOC é que toda empresa tem uma meta a ser seguida. No processo de atingir sua meta, é possível que a empresa apresente uma ou mais restrições, caso contrário o desempenho do sistema seria infinito, isto é, a sua lucratividade seria infinita.

Restrição quer dizer qualquer coisa que impeça um sistema de atingir a meta. As restrições não são boas ou ruins, elas simplesmente existem e são como ervas daninhas no jardim, quando eliminamos uma, nasce outra em outro lugar. Podemos escolher entre ignorá-las ou reconhecê-las e administra-las. Se escolhermos ignorá-las elas tornam-se ruins. Se escolhermos reconhecê-las e administrá-las elas, podem vir a ser uma oportunidade (GUERREIRO, 1996).

Para entender melhor a TOC, faz-se uma analogia ao corpo humano. “Quando estamos doentes vamos ao médico, falamos para ele os sintomas que estamos sentindo. Ele pode pedir alguns exames. O que o médico esta tentando fazer é entender os sintomas e com isso conseguir identificar a doença. Quando a doença é identificada e tratada eliminamos os sintomas” (GOLDRATT; COX, 1989).

Agora vejamos o balconista de uma farmácia, a pessoa chega a farmácia e diz que esta com dor de cabeça, o balconista sugere uma aspirina, depois diz que também esta com febre, o balconista sugere um remédio para febre e assim por diante. Para cada um dos sintomas o balconista sugere um remédio. Os sintomas até podem desaparecer por um tempo, mas como os remédios (soluções) não atacaram a causa da doença, a melhora pode ser temporária (GOLDRATT; COX, 1989).

Segundo a TOC DAY, quando Goldratt começou a analisar a forma como as empresas eram administradas ele percebeu que o maior

problema era a forma de administrar. Os gerentes não tentam administrar a empresa como se ela fosse um sistema (como o médico faz), mas tentam melhorar o desempenho de cada parte da empresa sem olhar o todo (como o balconista da farmácia faz). Goldratt diz que a administração tradicional trabalha como se fosse verdade que “otimizar cada parte do sistema faz com que o sistema como um todo fique otimizado”. Essa premissa está totalmente equivocada, é a base para a maioria dos métodos, práticas e políticas administrativas, e é uma das principais causas do desempenho ruim das empresas (GOLDRATT; FOX, 1989).

Ainda, segundo Goldratt e Cox (1993), que compara o sistema organizacional com uma corrente, onde cada elo representa um setor da empresa, e todos os elos são interligados, presos um ao outro, assim como vários setores da empresa são interdependentes, ou seja, o trabalho de um setor influencia no outro. A meta da corrente é fornecer uma determinada resistência à tração. Se puxarmos a corrente dos dois lados, a força será aplicada com a mesma intensidade em todos os elos, se um elo for mais fraco que os demais este poderá se partir. Encontramos o ponto fraco da corrente, a sua restrição. Não adianta reforçar qualquer outro elo, que não terá nenhum impacto na resistência global, temos que reforçar o elo mais fraco. Na empresa precisamos encontrar o elo mais fraco, que chamamos de gargalo, que é um setor ou uma pessoa da produção que recebe uma carga maior do que é capaz de produzir, esse é o primeiro passo da TOC identificar a restrição.

A meta da empresa, segundo Goldratt e Cox (1993), é o propósito global da organização. Podemos dizer, então, que a meta de uma empresa com finalidades lucrativas é ganhar dinheiro. A partir da definição da meta como o objetivo maior da organização, a Teoria das

Restrições, define parâmetros para a ajuda na medição do grau do alcance da mesma: lucro líquido é definido como o ganho menos as despesas operacionais. É o quanto de dinheiro a empresa está gerando; retorno sobre o investimento, é o lucro líquido dividido pelo inventário, dimensiona o esforço para alcançar um determinado nível de lucro; fluxo de caixa é mais uma necessidade da empresa do que uma medição para o alcance da meta.

Os parâmetros definidos no parágrafo anterior são voltadas para a medição do desempenho total da empresa, no entanto, a empresa necessita de outros parâmetros que guiem as ações operacionais para o cumprimento da meta da empresa.

Segundo Goldratt e Cox (1993), tais parâmetros são como medidas operacionais globais, relacionados com as medidas de alcance da meta. São eles: ganho - índice pelo qual a empresa gera dinheiro através da venda; inventário - todo o dinheiro que a empresa investiu na compra de coisas que pretende vender e; despesa operacional - todo dinheiro que a empresa gasta a fim de transformar seu inventário em dinheiro.

Ao analisar essas definições, percebe-se que a ação ideal é, de forma simultânea, aumentar o ganho e reduzir o inventário e as despesas.

A TOC possui cinco etapas que buscam o melhoramento contínuo, são elas (GOLDRATT; COX, 1993):

1. Identificar a restrição do sistema.

Numa fábrica haverá sempre um parâmetro que limita o seu fluxo máximo, assim como numa corrente, há sempre um elo mais fraco. Precisamos identificar o elo mais fraco para aumentar a resistência da corrente, no caso da empresa, precisamos encontrar a restrição para aumentamos o desempenho do sistema.

2. Explorar a restrição do sistema.

O recurso que limita o desempenho da fábrica já foi identificado, ou seja, a restrição foi encontrada, agora é preciso extrair o máximo da sua capacidade de forma a maximizar o ganho.

3. Subordinar tudo o mais à decisão acima

Os outros recursos devem trabalhar ao passo da restrição. Eles não podem deixar faltar material para a restrição trabalhar, pois assim ela pararia e o desempenho do sistema seria afetado, e não devem trabalhar mais rápido que a restrição, pois assim estariam aumentando o nível de estoque, e não o nível de produção. A subordinação é a etapa responsável por garantir um nível de atividade com o mínimo estoque possível, reduzindo o investimento e a despesa operacional.

4. Elevar a Restrição do Sistema.

No segundo passo tentamos tirar o máximo da restrição, nessa etapa consideramos as varias alternativas para investir mais na restrição, quebrando essa restrição, fatalmente aparecerá uma outra restrição, outro elo mais fraco. Assim sendo, temos o quinto passo do processo.

5. Retornar ao primeiro passo.

Se num passo anterior uma restrição foi quebrada volta-se à primeira etapa. Outra forma de entender os cinco passos da TOC é olhar para as três perguntas: o que mudar?; para o que mudar? e; como causar a mudança? Assim, nessa ordem, é preciso identificar a restrição, desenhar a solução que irá mudar a realidade e como implementá-la.

Existem várias críticas sobre a base de sustentação teórica da TOC, entre as quais, por ser orientada para o curto prazo, que é factível em condições fixas de recursos, isto é, quando as despesas e custos para o próximo período já foram determinados e os preços definidos.

Nessas condições, a teoria que sustenta a TOC se aproxima da realidade, justificando a criação dessa teoria para resolver problemas de curto prazo envolvendo gargalos e a escolha do mix de produtos que otimiza a produção (KAPLAN e COOPER, 1998).

Outra crítica da TOC é o fato que ela atende uma restrição por vez, sendo que a medida que se resolve a restrição problema identificada, o modelo sofrendo alterações, podendo ocorrer outras restrições e, vice-versa.

Desse modo, A TOC vê a empresa como um sistema, um conjunto de elementos entre os quais há alguma relação de interdependência. Cada elemento depende um do outro de alguma forma, e o desempenho global do sistema depende dos esforços conjuntos de todos os seus elementos, e que existe sempre pelo menos uma restrição no sistema (física ou política), caso não existisse, o lucro seria infinito (GOLDRATT e FOX, 1989; NAMEN, A. A. e BORNSTEIN, 2010).

Num cenário de negócios cada vez mais competitivo, a compreensão de processos e a busca pela eficiência nas empresas deixaram de ser um mero detalhe. Em ambientes de produção em média e larga escalas, este trabalho às vezes se revela grande demais para ser resolvido de forma útil sem uma análise mais rigorosa.

A Pesquisa Operacional (PO), assunto da próxima seção, tem como base a utilização de métodos analíticos quantitativos formais para ajudar na solução de problemas e tomada de decisões.

A PO trata o conjunto de restrições do problema de forma global, ao mesmo tempo em que permite variações nos parâmetros do modelo, principalmente, quando existe algum recurso excedente após o atendimento de todas as restrições (BODANESE et al., 2005; SOUZA et al., 2008).

2.2 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional, ramo da Matemática Aplicada, apresenta uma característica importante que facilita o processo de análise nas tomadas de decisões em um sistema industrial. Após simulações no modelo matemático que o representa, com algumas restrições, esse sistema permite que a decisão seja muito bem avaliada antes de ser implementada. A economia obtida e a experiência adquirida pela experimentação justificam a sua utilização (CAIXETA, 2001).

Problemas de Programação Matemática, que são uma classe particular de Problemas de Otimização, são muito aplicados na produção e na gestão econômica das empresas, em que o objetivo e as restrições são dados como funções matemáticas e relações funcionais. São exemplos, as programações lineares, linear inteira, a dinâmica, a estocástica e a não-linear. Nesse trabalho restringir-se-á à programação linear.

2.2.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Programação Linear foi desenvolvida após a segunda guerra mundial, com o objetivo de resolver problemas de logística militar. Em 1945, foi utilizada pela primeira vez por Stigler, em um problema referente à uma composição de uma mistura.

Segundo Caixeta Filho (2001) a propagação foi devido ao jovem matemático norte-americano George B. Dantzig e sua equipe, que foram convocados na guerra, no início da década de 40, para oferecer subsídios técnicos para as tomadas de decisão que envolvesse uma distribuição ótima de tropas entre as diferentes frentes de batalhas. Dantzig percebeu que problemas que envolviam limitação de recursos podiam ser resolvidos através de uma sistemática de busca de solução ótima.

O método desenvolvido à época veio popularizou-se no ano de 1947. A ferramenta foi tão eficaz, que começou a ser utilizada em vários outros ramos. Existem softwares computacionais que facilitam a determinação da solução de um problema de programação linear. Um aplicativo muito utilizado para solucionar problemas de PL é a ferramenta Solver do aplicativo MS Excel. Assim, com isso, a PL passou a ser utilizada como ferramenta de gestão empresarial e tem sido aplicada para a resolução de vários problemas de produção, de armazenamento de produtos, distribuição dos recursos da indústria, entre outras diversas atividades de produção. A PL pode, ainda, ser aplicada na avaliação da composição ótima de misturas, ligas e produtos químicos, considerando as especificações, preços e custos, programação de transporte, minimização do tempo de ajustamento de máquinas, distribuição racional dos operários, especificação de dietas, dentre outras vastas aplicações.

De acordo com Corrar e Theófilo (2004, p. 331) “A Programação Linear é um dos mais importantes instrumentos do campo da Pesquisa Operacional - área do conhecimento que fornece um conjunto de procedimentos voltados para tratar problemas quem envolvem a escassez de recursos”.

Para Ehrlich (1985, p. 19): “A Programação Linear é uma ferramenta de planejamento que nos ajuda selecionar que atividades (variáveis de decisão) empreender, dado que essas atividades (diversas alternativas) competem entre si pela utilização de recursos escassos (restrições) ou então precisam satisfazer certos requisitos mínimos. O objetivo será maximizar (minimizar) uma função das atividades, geralmente lucros (perdas)”.

Segundo as análises de Hiller e Libermann (1988), a PL é um planejamento de atividades para obter o melhor resultado, um resultado que alcance a

melhor meta especificada, de acordo com o modelo matemático, respeitando as variáveis.

A Programação Linear agregada à Teoria das Restrições pode ajudar o administrador nas tomadas de decisão. Com essa combinação de metodologias é possível avaliar o nível de otimização dos recursos da organização.

2.2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para o estudo de programação linear é essencial o conceito de modelo matemático. Os modelos matemáticos constituem uma abstração

para a modelagem de um problema, sugerimos as seguintes etapas: dividir o problema em problemas menores, se possível; identificar as variáveis de decisão; identificar possíveis relações entre as variáveis de decisão; identificar o objetivo (maximizar produção, minimizar custo) e construir a função objetivo; identificar os fatores restritivos (disponibilidade de recursos) e construir as restrições do modelo e; finalmente, construir o modelo matemático (1),

$$\text{Otimizar } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad \text{modelo matemático (1)}$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & \{=, \leq, \geq\} & b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & \{=, \leq, \geq\} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & \{=, \leq, \geq\} & b_m \end{cases}$$

simplificada da realidade, representada por um conjunto de equações e relações. A partir dessa idealização simplificada, o modelo emprega símbolos matemáticos para representar as variáveis de decisão do sistema real. Podemos afirmar que com a facilidade dos processamentos computacionais, a definição do modelo é a parte mais difícil para a solução do problema.

A qualidade do modelo matemático está associada à exatidão com que ele representa a realidade e ao grau em que captura aspectos essenciais da realidade. É importante saber selecionar o que é relevante para a composição do modelo. Embora não exista uma única fórmula

sendo z é a função a ser otimizada; x_j as variáveis de decisão do problema; c_j o coeficiente da função objetivo; a_{ij} é a quantidade do produto i consumida na produção de uma unidade do produto j e; b_i é o nível de disponibilidade de recurso i ou quantidade mínima a ser suprida ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) e ($j = 1, 2, 3, \dots, n$).

A solução do modelo matemático (1) consiste em encontrar valores adequados das variáveis de

decisão que otimizem o desempenho do sistema, segundo o critério desejado

A sua solução deve ser testada para a verificação da sua veracidade. Se a solução não atender, aproximadamente, a realidade o modelo deve ser reformulado, adicionando e/ou eliminando hipóteses.

A confiabilidade da solução obtida através do modelo depende da validação do modelo na representação do sistema real. A validação do modelo é a confirmação de que ele realmente representa o sistema real. A diferença entre a solução real e a solução proposta pelo modelo depende diretamente da precisão do modelo em descrever o comportamento original do sistema. Um problema simples pode ser representado por modelos também simples e de fácil solução. Já problemas mais complexos requerem modelos mais elaborados, cuja solução pode vir a ser bastante complicada.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho de pesquisa pode ser classificado como pesquisa bibliográfica, pois para o desenvolvimento do trabalho buscou-se, inicialmente, o entendimento dos conceitos e dos mecanismos operacionais que suportam as teorias das restrições e de programação linear a partir de pesquisa bibliográfica. Esta pesquisa pode ser considerada uma pesquisa exploratória, porque visa à formulação do problema, com a finalidade de desenvolver hipóteses e aumentar a familiaridade com o fenômeno. Também, pode ser considerada como uma pesquisa descritiva, pois aborda descrições, análises e interpretação do problema, objetivando sua resolução.

Como o objetivo deste trabalho foi apresentar através da programação linear, em conjunto com a teoria das restrições, ferramentas de auxílio à tomada de decisão na produção de uma indústria

de fertilizantes, inicialmente houve um estudo aprofundado da teoria das restrições (TOC), de programação linear e de elaboração de modelos matemáticos, para a modelagem do problema, objeto deste estudo. Obtido o modelo, a próxima etapa foi a sua solução, exposto nesses procedimentos metodológicos.

3.1 RESOLUÇÃO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Problemas de programação linear de duas ou três variáveis de decisão podem ser representados graficamente, no plano e no espaço, respectivamente. No plano, o procedimento é o seguinte: designa-se a variável x_1 à coordenada horizontal do plano cartesiano e a variável x_2 à coordenada vertical. O conjunto de pontos do plano que satisfazem ao conjunto de restrições do modelo de PL é denominado de conjunto das soluções compatíveis do problema que, geralmente, forma um polígono fechado. É nesse conjunto de soluções compatíveis que se obtém a solução ótima, que maximiza ou minimiza a função objetivo. Para problemas de maximização, procura-se a solução que maximiza a função objetivo (HILLIER e LIEBERMAN, 1988).

A função objetivo $z = c_1x_1 + c_2x_2$ determina uma família de retas paralelas, uma reta para cada valor de z . Assim, construindo retas paralelas à reta para $z = 0$ (por exemplo), a solução ótima será encontrada pela reta paralela que tocar o último ponto do conjunto das soluções compatíveis, e será sempre um vértice do polígono fechado do conjunto de soluções compatíveis. Para problemas de maximização, o último ponto tocado (x_1^*, x_2^*) será o ponto ótimo e o valor de z ótimo será dado por $z^* = c_1x_1^* + c_2x_2^*$. Caso o problema seja de minimização, o ponto ótimo será o primeiro

ponto do conjunto das soluções compatíveis a ser tocado pela família de retas paralelas z (PUCCINI e PIZZOLATO, 1989).

A solução gráfica de problemas de programação linear com mais de duas variáveis se torna extremamente difícil, ou mesmo impossível quando acima de três variáveis. Assim, problemas com mais de duas variáveis podem, ainda, serem resolvidos manualmente usando quadros, mediante o uso do algoritmo Simplex (BREGALDA et al, 1988).

O algoritmo do método Simplex consiste em: i) partir de uma solução compatível do sistema, denominada de solução básica (um ponto extremo do conjunto de soluções compatíveis, formada somente por variáveis básicas); ii) verificar se essa solução é ótima, isto é, se algum outro ponto extremo adjacente dessa solução (com alguma variável não-básica), produz um melhor valor para a função objetivo. Se for, tem-se a solução ótima. Se não, determinar a variável não básica que deve entrar na base atual, isto é, caminhar para o ponto extremo adjacente com uma das variáveis básicas da solução atual saindo da base; iii) obter a nova solução básica compatível e voltar ao passo ii.

Contudo, o esforço cresce com o aumento do número de variáveis do problema. Nesses casos, é conveniente o uso de softwares específicos para a sua solução. Dentre os vários aplicativos disponíveis para microcomputadores, usaremos em nosso estudo a ferramenta Solver do aplicativo Microsoft Excel®, devido a popularidade desta planilha eletrônica, possibilitando acesso a maioria dos leitores que usam microcomputadores (LOESCH e HEIN, 1999).

O Solver gera relatórios que facilitam a análise da solução encontrada. Particularmente interessantes são os relatórios: Resposta e Sensibilidade. Nos relatórios têm-se listado na

célula de destino o valor da função objetivo e nas células denominadas ajustáveis, os valores das variáveis de decisão. Nas células das restrições são mostradas quais as restrições estão ativas, isto é, aquelas restrições com a mensagem “Agrupar”, significando que os recursos disponíveis foram totalmente usados. A mensagem “Sem Agrupar” significa que os recursos não foram totalmente utilizados. O item “Transigência” significa o quanto do recurso pode ainda ser utilizado, correspondente à restrição com a mensagem “Sem Agrupar”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O problema tratado nesse trabalho de pesquisa foi o de uma indústria que produzia três tipos de fertilizantes A, B e C a partir da mistura de ingredientes a base de Nitrato, Fosfato e Potássio e de um componente inerte, conforme mostram os Quadros 1 e 2, que apresentam, também, os preços de venda e os custos de produção dos fertilizantes, em (\$/t).

Dados sobre a disponibilidade e custos dos ingredientes são apresentados no Quadro 2. O custo de mistura, empacotamento e promoção de vendas é estimado em \$ 200 por tonelada para quaisquer produtos. A companhia possui contrato de longo prazo para fornecimento mensal de 5.000 t de fertilizante C. Elabore o modelo de programação linear para a programação da produção para um mês, com o objetivo de maximizar o lucro.

Trata-se de um problema de Programação Linear em que se pretende maximizar o lucro com a venda dos fertilizantes A, B e C. É um problema envolvendo três restrições quanto aos insumos, pois só se dispõe de 2.200 t de Nitrato, 3.000 t de Fosfato e 1.800 t de Potássio e uma restrição de mercado, pois a empresa possui um contrato, em

Quadro 1: Proporção em peso dos insumos

Tipo de Fertilizante	Nitrato (%)	Fosfato (%)	Potássio (%)	Componente inerte (%)	Preço de venda (\$/t)
A	10	8	10	72	1.350
B	10	8	20	62	1.600
C	20	8	20	52	2.000

Quadro 2: Disponibilidade de insumos e custo

Insumos	Disponibilidade (t)	Custo (\$/t)
Nitrato	2.200	4.000
Fosfato	3.000	2.000
Potássio	1.800	3.000
Componente inerte	∞	300

longo prazo, de fornecimento mensal mínimo ao mercado de 5.000 t do fertilizante C.

Considerando como variáveis de decisão: $x_1 =$ nível de produção do fertilizante A; $x_2 =$ nível de produção do fertilizante B e; $x_3 =$ nível de produção do fertilizante C, pode-se chegar ao modelo de PL.

Sujeito à:

$$\text{Max } Z = 74x_1 + 54x_2 + 84x_3$$

$$\begin{cases} 0,10x_1 + 0,10x_2 + 0,20x_3 \leq 2200 \\ 0,08x_1 + 0,08x_2 + 0,08x_3 \leq 3000 \\ 0,10x_1 + 0,20x_2 + 0,20x_3 \leq 1800 \\ x_3 \geq 5000 \end{cases}$$

$$x_1 \geq 0 \quad e \quad x_2 \geq 0$$

A solução, utilizando a ferramenta Solver do MS Excel, foi dada por: $Z_{\max} = 1.012.000$;

$x_1 = 8000$, $x_2 = 0$ e $x_3 = 5000$, isto é, deve-se produzir, mensalmente, 8.000 toneladas do fertilizante A, 5.000 toneladas do fertilizante C e nenhuma produção do fertilizante B, propiciando um lucro de \$ 1.012.000 unidades monetárias. Ainda, com os valores de produção encontrados, percebe-se que restaram em estoque 400 toneladas de Nitrato e 1.960 toneladas de Fosfato, sinalizando problemas com o planejamento do estoque. O ingrediente Potássio foi totalmente usado, não restando nada em estoque.

4.1 RELATÓRIO DE SENSIBILIDADE

Analisando o relatório de sensibilidade, podemos concluir que se aumentarmos a quantidade de potássio entre 0 à 400 t (até o máximo de 2200 t), teremos um acréscimo na margem de contribuição total de 740 unidades monetárias, para cada unidade acrescida. E no caso se reduzir a quantidade de potássio entre 0 e 800 (até o mínimo de 1000), a margem de contribuição total

diminuirá em 740 unidades monetárias para cada tonelada a menos.

Microsoft Excel 12.0 Relatório de sensibilidade
Planilha: [Solver_modelo_artigo(1).xls]Plan1
Relatório criado: 1/6/2010 17:04:44

Células ajustáveis

Célula	Nome
\$B\$4	Quantidade a Produzir Fertilizante A (x1)
\$C\$4	Quantidade a Produzir Fertilizante B (x3)
\$D\$4	Quantidade a Produzir Fertilizante C (x3)

Restrições

Célula	Nome
\$E\$9	Quantidade de Nitrato Ingredientes Utilizados
\$E\$10	Quantidade de Fosfato Ingredientes Utilizados
\$E\$11	Quantidade de Potássio Ingredientes Utilizados
\$E\$12	Quantidade de Fertilizante C Ingredientes Utilizados

No caso da quantidade de fertilizante C, ao acrescentar mais uma tonelada do fertilizante haverá uma diminuição da margem de contribuição de 64 unidades monetárias.

Em relação ao custo reduzido do fertilizante B, nos mostra que ao produzir uma tonelada desse fertilizante teria um custo de -94 unidades monetárias, ou seja, não seria lucrativo produzir esse fertilizante.

CONCLUSÃO

As Teorias das Restrições e Programação Linear conduzem a otimização de modelos matemáticos, respeitando as restrições. Ambas podem ser utilizadas, mas levando-se em conta que a Teoria das Restrições analisa as restrições de forma particular, ou seja, restrição por restrição, enquanto que a Programação Linear resolve problemas de otimização respeitando várias restrições de uma só vez, optou-se por essa última na solução do modelo matemático.

Ao utilizar-se a PL, através da ferramenta Solver, levando-se em consideração as restrições do sistema, constatou-se que a empresa tem condições de aumentar o faturamento em 15,07%, e o resultado de 24,71%, somente com a otimização dos recursos da empresa. Esse aumento é possível ajustando o mix de produção, sem alterar a capacidade de produção e os recursos já utilizados pela empresa. Sabendo-se das dificuldades que as empresas enfrentam, principalmente as de pequeno porte, em dispor de recursos para novos investimentos, a utilização dessas ferramentas auxilia o gestor a maximizar os resultados com os recursos já existentes e ajuda a evidenciar quais são as áreas problemáticas dentro da empresa, isto é, quais são os gargalos de produção que devem contemplar os novos investimentos.

A Programação Linear permite, ainda, uma infinidade de análises, cabendo apenas ao administrador inserir as variáveis que ele deseja controlar, sem nunca perder o foco no objetivo final da empresa: produzir o máximo com os recursos disponíveis para assim ter o melhor retorno.

REFERÊNCIAS

- BODANESE, R. E.; OLIVEIRA, J. A.; SCALABRIN, I E MORAES, C. J. Teoria das restrições, pesquisa operacional e programação linear, estudo de caso com utilização do solver. In: Congresso Internacional de Custos – Florianópolis, SC, Brasil – 28 a 30 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.ucla.edu/ve/>. Acessado 16 de novembro de 2010.
- BREGALDA, P. F.; OLIVEIRA, A. F. de e BORNSTEIN, C. T. Introdução à Programação Linear. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1988.
- CAIXETA FILHO, Pesquisa Operacional. São Paulo. Editora Atlas. 2001.

CORRAR, Luiz J.; THEÓFILO, Carlos Renato. Pesquisa Operacional para a Decisão em Contabilidade e Administração. São Paulo. Editora Atlas. 2004.

EHRlich, Pierre Jacques. Pesquisa Operacional: curso introdutório. São Paulo. Editora Atlas. 1985.

HADLEY, G. Programação Linear. Trad. Almir Paz de Lima, et al. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1982.

HILLIER, F.S. e LIEBERMAN, G. Introdução à Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda./Editora USP, 1988.

GOLDRATT, E. M. e FOX, R. E. A corrida pela vantagem competitiva. São Paulo: Editora Educator, 1989.

GOLDRATT, E. M. e COX, J. A Meta. São Paulo: Editora Educator, 1993.

GUERREIRO, Reinaldo. Os Princípios da Teoria das Restrições sob a Ótica da Mensuração Econômica. São Paulo. 1996

LOESCH, C. e HEIN, N. Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos. Blumenau: Editora da FURB, 1999.

MACULAN N. F., e PERREIRA, M. V. F. Programação Linear. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 1980.

MOORE Richard; SCHEINKOPF Lisa. Theory of Constrains and Lean Manufacturing: Friend or Foes? São Paulo, 1988.

NAMEN, A. A. e BORNSTEIN, C. T. Uma ferramenta para avaliação de resultados de diversos modelos de otimização de dietas. In: Pesquisa Operacional, v.24, n.3, p.445-465, Setembro a Dezembro de 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pope/v24n3/a07v24n3.pdf>. Acessado em 10 de novembro de 2010.

PUCCINI, A.A. e PIZZOLATO, N.D. Programação Linear. Rio de Janeiro: LTC, 1989.

SOUZA, C. C de. e REIS NETO, J. F. dos. Técnica de Programação Linear Aplicada à Sistemas Agroindustriais. In: Campo Grande: Editora da Uniderp, 2008.

TOC – Theory of Constrains - <http://www.goldratt-toc.com.br> , acesso em 25 de abril de 2010, 15:34:48

TOC DAY – <http://www.temple.com.br>, acesso em 11 de maio de 2010, às 14:51:57.