

Análise de resultado pelo fator limitante de produção com uso da programação linear

JOEL DE JESUS MACEDO
PUC - PR

RAIMUNDO JOSÉ BORGES DE SAMPAIO
PUC - PR

Resumo: O objetivo deste estudo é analisar as contribuições adicionais da programação linear na definição do mix ótimo de produção comparada à metodologia da margem de contribuição pelo fator limitante. Para atingir os objetivos deste trabalho optou-se, dentre diversos produtos fabricados pela empresa, pelos produtos da linha de Sucção, componentes para circulação de gases e fluido, utilizados em refrigerador horizontal e vertical. Os dados analisados foram obtidos de uma empresa localizada na região metropolitana de Curitiba-PR, onde integra a indústria metal mecânico desta região. A conclusão obtida por meio deste estudo é de que o método de programação linear, embora indique as mesmas quantidades sugeridas pelo método da margem de contribuição pelo fator limitativo, demonstrou-se mais eficiente, por permitir que a tomada de decisão seja aprofundada por meio da análise de sensibilidade: de variações da margem de contribuição, de restrições de horas-máquinas e de limites de quantidades produzidas.

Palavras-chave: Custos. Margem de Contribuição por Fator Limitante. Programação Linear.

Analysis result by the limiting factor of production with use of linear programming

Abstract: The objective of this study is to analyze the additional contribution of linear programming in defining the optimal mix of production compared to the methodology of the contribution margin by the limiting factor. To achieve the objectives of this work was chosen from among several products manufactured by the company, by product line Suction, components for movement of gases and fluids used in horizontal and vertical cooler. Data were obtained from a company located in the metropolitan region of Curitiba-PR, which includes the metal mechanic industry of this region. The conclusions obtained through this study is that the method of linear programming, while indicating the same amount suggested by the method of contribution margin by the limiting factor, shown to be more efficient by allowing the decision-making be deepened through sensitivity analysis: variations of the contribution margin, restrictions of hours machinery and limits of the quantities produced.

Key words: Costs. Contribution Margin per limiting factor. Linear programming.

INTRODUÇÃO

Na teoria da produção o princípio básico que norteia o comportamento da firma é o da maximização de resultados, que envolve a realização máxima da produção por meio da utilização de adequada combinação de fatores produtivos. Como todo esforço produtivo incide na minimização do custo de produção, a maximização dos resultados é entendida como tendo atingido uma condição “ótima”, na qual se consegue o máximo de produto a um custo mínimo de produção.

O objetivo de toda empresa é a maximização dos seus resultados e, para isto, elas procuram atingir o seu lucro máximo ao menor custo de produção. Porém, diante da escassez de recursos os gestores, necessitam conhecer quais produtos devem ter sua produção e venda estimulada e quais produtos devem ser eliminados por não trazerem resultados favoráveis.

Nesse sentido, a contabilidade de custos surge como instrumento da contabilidade gerencial, que se destina a produzir informações para diversos níveis gerenciais, de planejamento e controle das operações e de tomada de decisões, possibilitando uma decisão mais criteriosa na alocação dos custos de produção aos produtos. Este instrumento da contabilidade gerencial busca mensurar o custo segundo as necessidades da administração das empresas, exigindo que o custo se baseie em fatos pertinentes para que as decisões sejam apropriadas.

A escolha correta do método de custeio é que determinará o passo mais importante para obtenção de informação de qualidade nos diversos níveis gerenciais. Todos os sistemas de custeio possuem pontos positivos e negativos, a diferença está no tipo de informação necessária e do conhecimento do tomador de decisão para interpretá-las. O método de custeio variável, bastante usado no processo de gestão, utiliza-se do conceito de margem de contribuição, que representa a diferença entre as receitas e a soma dos custos e despesas diretamente vinculadas aos produtos e que variam em função do volume produzido e vendido.

A margem de contribuição por unidade, na ausência de limitação de recursos produtivos, constitui uma importante ferramenta de análise para o gestor, visto que o produto que apresentar maior margem de contribuição por unidade é o que deverá ter a venda incentivada. Porém, quando há limitação de recurso a análise fica prejudicada, sendo necessária que a análise seja feita por meio da margem de contribuição pelo fator limitante. O problema da metodologia de cálculo da margem de contribuição pelo fator limitante consiste na dificuldade de se calcular problemas com elevado número de variáveis de decisão. Por meio de ferramentas adequadas, utilizadas nas ciências contábeis economia e principalmente na pesquisa operacional, é possível melhorar os resultados otimizando o uso dos recursos limitados. Neste sentido, a programação matemática, em particular o caso da programação linear, possibilita ao gestor determinar o

mix ótimo de produção – que representa a melhor solução entre todas as soluções possíveis.

A programação linear foi consolidada por George Dantzig, em 1947, quando desenvolvia técnicas de otimização para problemas militares, por meio do desenvolvimento do método simplex, capaz de resolver qualquer problema desta natureza. Devido à complexidade dos cálculos matemáticos, esta técnica tornou difundida apenas com o advento do computador. Atualmente, a Programação Linear tem larga aplicação em diversas áreas de decisão como, por exemplo, nas decisões de investimentos, políticas de estoques, orçamentos de capital, fluxos de caixa, mix de produção, organização de transportes, localização industrial e fluxo de redes, dentre outras.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar as contribuições adicionais da programação linear na definição do mix ótimo de produção comparada à metodologia da margem de contribuição pelo fator limitante. Para atingir os objetivos deste trabalho optou-se, dentre diversos produtos fabricados pela empresa, pelos produtos da linha de Sucção, componentes para circulação de gases e fluido, utilizados em refrigerador horizontal e vertical

Para atingir o objetivo, inicialmente serão abordados os conceitos relativos às metodologias de custeio, enfatizando o custeio variável do qual origina a margem de contribuição. Consequente será abordado sobre a margem de contribuição pelo fator limitante e, por último, sobre o ferramental da programação linear. Desta forma, este estudo está organizado em cinco capítulos, além deste, que trata da revisão bibliográfica, da metodologia, da análise dos dados e da conclusão obtida deste trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A contabilidade de custos é o ramo da contabilidade que se destina a produzir informações para diversos níveis gerenciais a respeito de planejamento e controle das operações, permitindo a alocação mais criteriosa dos custos de produção a fim de minimizar os gastos produtivos. Este instrumento da contabilidade gerencial busca mensurar o custo segundo as necessidades da administração das empresas exigindo que o custo se baseie em fatos pertinentes para que as decisões sejam apropriadas.

A contabilidade de custos requer a existência de métodos de custeio para que, ao final do processo, seja possível obter o valor a ser atribuído ao objeto de estudo. Para Souza (2001), o método de custeio tem sido reconhecido ao longo do tempo como processo, critério, forma ou alternativa de apropriar valores aos objetos de custeio e, portanto, está diretamente relacionado com as atividades da contabilidade de custos.

Martins (2003) destaca que os principais objetivos da contabilidade de custos são a avaliação de estoque, resultados e o controle da decisão. Para o autor, existem três

principais métodos de custeio que são utilizados por sistemas de custos: o custeio total, o custeio por absorção e o custeio direto.

Da mesma forma Atkinson et al.(2001). Destaca que a abordagem tradicional de contabilidade de custos pressupõe três sistemas básicos de custos: custo de absorção, custeio baseado em atividades e o custo variável

O método de custeio total ou pleno, também denominado integral, caracteriza-se pela apropriação de todos os custos e despesas aos produtos fabricados. Esses custos e despesas são considerados custos diretos e indiretos, fixos e variáveis, de comercialização, de distribuição, de administração. O produto do sistema de custeio pleno é o custo pleno, que corresponde, a um número agregado médio obtido para as unidades do objeto de custeio em questão, que inclui parcela dos materiais diretos, mão de obra direta, custos indiretos de fabricação, despesas com vendas, distribuição, administrativas, gerais ou então financeiras.

O método de custeio por absorção, por sua vez, é uma metodologia derivada da aplicação dos princípios de contabilidade. Este sistema de custeio é o sistema que apura o valor dos custos dos bens ou serviços, tomando como base somente os custos de produção, incluindo os custos diretos, indiretos, fixos e variáveis. Segundo Meglioni (2001), o custeio por absorção é o método que consiste em atribuir aos produtos fabricados todos os custos de produção, quer de forma direta ou indireta. Desta forma, todos os custos, sejam eles fixos ou variáveis, são absorvidos pelos produtos. Na visão de Scherer (2001), o custeio por absorção consiste em apropriar todos os custos aos bens fabricados. Esse sistema utiliza os centros de custos e critérios de rateio para distribuir os custos indiretos aos produtos, principal fator que o diferencia do custeio variável.

O custeio variável, para Koliver (2000), está alicerçado na apropriação de todos os custos variáveis, diretos ou indiretos, aos portadores finais dos custos, fundamentado, na relação entre esses e o grau de ocupação da entidade. Para Horngren, Foster e Datar (2000, p. 211), custeio variável é o método de custeio em que todos os custos de fabricação variáveis são considerados custos de produção. Os custos fixos de fabricação são excluídos dos custos inventariáveis e são considerados despesas do período em que ocorreram.

Do custeio variável extrai-se a margem de contribuição, que é a diferença entre o preço de venda e o custo do produto. A margem de contribuição é considerada uma importante ferramenta para tomada de decisão. Martins (2003, p.203) conceitua a margem de contribuição como a “diferença entre a receita e a soma de custo e despesa variáveis”. Através da margem de contribuição, é possível perceber a participação de determinado produto, serviço ou cliente na formação do resultado da empresa, pois a margem de contribuição representa quanto cada produto contribui para pagar os custos fixos e formar o lucro.

A margem de contribuição por unidade, se não houver limitação de recursos produtivos, constitui uma importante ferramenta de análise para o gestor, visto que o produto que apresentar maior margem de contribuição por unidade é o que deverá ter a venda incentivada, pois apresenta uma contribuição maior para a formação do lucro. Martins (2003, p. 191) ressalta que, se não houver limitação na capacidade produtiva, para a administração definir o seu mix de produção, interessa somente saber qual o produto que resulta em maior margem de contribuição por unidade. Entretanto, existindo fator limitativo em qualquer fator de produção, a administração precisa conhecer qual é o produto que apresenta maior margem de contribuição pelo fator limitante da capacidade.

O problema da análise da margem de contribuição pelo fator limitante consiste na dificuldade de se calcular problemas com elevado número de variáveis de decisão e conjuntos de restrições. Por meio de ferramentas adequadas, utilizadas nas ciências contábeis economia e principalmente na pesquisa operacional, é possível melhorar os resultados otimizando o uso dos recursos limitados. Segundo Prado (1999, p. 15) a pesquisa operacional é uma ciência que objetiva fornecer ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisões visando alcançar os melhores resultados. Para estes autores, a programação linear é um ramo da pesquisa operacional que permite estabelecer a combinação ótima de diversas variáveis segundo uma função linear de efetividade e satisfazendo a um conjunto de restrições lineares para estas variáveis

A programação linear, segundo Lopes (2007), foi consolidada por George Dantzig, em 1947, quando desenvolvia técnicas de otimização para problemas militares, por meio do desenvolvimento do método simplex, capaz de resolver qualquer problema desta natureza. Devido à complexidade dos cálculos matemáticos, esta técnica só se tornou difundida com o advento do computador. Atualmente, a programação linear tem larga aplicação em diversas áreas como decisões de investimentos, políticas de estoques, orçamentos de capital, fluxos de caixa, mix de produção, organização de transportes, localização industrial e fluxo de redes, dentre outros.

O modelo de programação linear é utilizado como auxílio para a resolução de problemas que envolvam alocação dos recursos escassos, para alcançar certo objetivo. Este problema, para o qual a programação linear proporciona uma solução, pode ser resumido em: maximizar ou minimizar alguma variável dependente, que é função linear de diversas variáveis independentes, sujeita a muitas restrições.

Os modelos de programação linear permitem uma análise de sensibilidade, ou seja, o estudo pós-otimização gera dados referente as possíveis variações, para cima e para baixo, dos valores dos coeficientes da função objetivo dos coeficientes e das constantes das restrições, sem que a solução ótima $(x_1 + x_2, \dots, x_n)$ seja alterada, (LACHTER-MACHER 2010, p.97)

METODOLOGIA

Alyrio (2008) define método como sendo um conjunto de regras e normas através das quais se busca uma verdade ou a detecção de erros na tentativa de alcançar uma finalidade desejada.

Do ponto de vista de sua natureza, o estudo será uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar novos conhecimentos com a aplicação prática da programação linear. Em relação à abordagem do problema, considerar-se-á como sendo quantitativa, uma vez que utiliza técnicas matemáticas, traduz informações em números para analisá-las. Do ponto de vista de seus objetivos caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, já que prevê entrevista com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado. Tendo como procedimento técnico um estudo de caso, pois envolve estudo profundo inerente aos processos produtivos da empresa pesquisada, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (SILVA, 2001).

O levantamento de dados foi realizado junto a uma empresa, localizada na região metropolitana de Curitiba - PR, de pequeno porte, mas integrante de um grupo líder de mercado em fornecimento de componentes para linha branca e automotiva. Atuando no segmento de componentes para condução de fluidos e gases. Os dados foram coletados de forma primária, ou seja, coletado diretamente na empresa. Dentre os vários produtos por ela produzidos optou-se por analisar somente três produtos da linha de Sucção de refrigeradores.

Os produtos analisados compõem o sistema de compressão dos refrigeradores, cuja função é succionar o fluido refrigerante a baixa pressão da linha de Sucção e comprimí-lo em direção ao condensador a alta pressão e alta temperatura na fase gasosa. O fluido após absorver o refrigerante ao longo do percurso no evaporador mudando totalmente do estado líquido para o estado gasoso retorna ao compressor através da linha de Sucção no estado de vapor super aquecido, a baixa pressão para ser succionado e comprimido pelo compressor. Portanto, a linha de Sucção é uma componente do sistema de compressão dos refrigeradores, e serve de passagem para o gás usado no processo de refrigeração, a linha de Sucção tem a finalidade de succionar o gás existente no circuito de refrigeração e devolver ao compressor, e este por sua vez reiniciam o processo de recirculação.

As quantidades a serem produzidas são definidas trimestralmente junto à contratante. Por se tratar de atividades que não exige elevada especialização, a empresa trabalha de forma enxuta, ou seja, com pouca ou nenhuma mão de obra ociosa. Para este estudo será prevista a condição em que os pedidos excedem a capacidade instalada da empresa, ou seja, a necessidade de hora-máquina demandada é de 3983 horas. Para atender a demanda a empresa dispõe apenas de 3800 horas-máquinas.

Considerando as informações obtidas junto à empresa, o tempo necessário para produção de uma unidade do

produto da linha Sucção A é de 0.30 horas-máquinas, para a linha de Sucção B é de 0.33 hora – máquina e, para a linha de Sucção C, necessita-se de 0.32 horas-máquina.

A partir destas informações, será feita, primeiramente, a análise da margem de contribuição unitária. Porém, considerando os dados de horas-máquinas necessárias para a realização de produção e as horas-máquinas disponíveis, são o trabalho faz uma segunda na análise: margem de contribuição pelo fator limitativo. Por fim, serão comparados os resultados obtidos pela análise de margem de contribuição pelo fator limitativo com os encontrados com a aplicação da metodologia da programação linear, que utiliza o seguinte modelo de cálculo:

$$\text{Maximizar} \quad Q_1X_1 + Q_2X_2 + Q_3X_3$$

Sujeito a

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \leq Hmt$$

$$q_1 \leq b_1$$

$$q_2 \leq b_2$$

$$q_3 \leq b_3$$

Onde:

X_1 : é a quantidade do produto 1 ;

X_2 : é a quantidade do produto 2;

X_3 : é a quantidade do produto 3;

a_{11} : é a quantidade de horas máquina necessária para produzir uma unidade do produto 1;

a_{12} : é a quantidade de horas máquina necessária para produzir uma unidade do produto 2;

a_{13} : é a quantidade de horas máquina necessária para produzir uma unidade do produto 3;

Hmt : horas máquinas total disponível

$b_1; b_2; b_3$ é a quantidade demandada da linha de sucção A, B, C respectivamente

Ao comparar os resultados obtidos da análise pela margem de contribuição pelo fator limitante com os resultados apresentados pela metodologia de programação linear, busca-se alcançar os objetivos propostos por este estudo.

Dentre as possibilidades de aplicação da programação linear, para a otimização de mix de produção, pode-se utilizar o Solver, que é uma ferramenta do Excel e resolve equações para solução de problemas lineares. Para isto é necessário construir as tabelas no Excel com fórmulas matemáticas com as informações existentes sobre determinado problema: as variáveis de decisão, que, no caso de otimização de mix, será a quantidade a ser produzida de cada produto, bem como as restrições do sistema, que é a restrição de hora-máquina e quantidade máxima demanda-

da. A partir da informação desses dados, aplica-se o Solver e este resolve o problema informando a solução ótima, neste caso, quais produtos e em que quantidades produzir para a maximização da margem de contribuição total da empresa.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise de dados está dividida em três metodologias, a primeira aborda sobre a margem de contribuição unitária, que representa as receitas menos os custos variáveis. A segunda metodologia utilizada é margem de contribuição pelo fator limitante, como o próprio nome sugere, analisa os produtos segundo a margem de contribuição pelo fator limitante, quando os insumos são escassos os retornos assumem valores implícitos. E por último a metodologia da programação linear onde serão analisadas os limites de produção, análise de sensibilidade e possíveis variações no preço.

DADOS DO MODELO

Dentre os diversos componentes produzidos na empresa, para este estudo, serão considerados apenas três produtos, que são linha de Sucção A, linha de Sucção B e linha de Sucção C. A Tabela 1, a seguir, apresenta a demanda mensal de cada produto.

PRODUTO	QUANTIDADE
Sucção A	4620 Peças
Sucção B	4200 Peças
Sucção C	3780 Peças

Tabela 1 – Quantidade demandada de cada produto mensalmente

Para realizar a produção dos produtos selecionados por este estudo, foram identificados os custos indiretos fixos mensais:

Tipo	Valor \$
Mão de obra indireta	30.000,00
Aluguel	10.000,00
Depreciação	4.000,00
Outros Custos Indiretos	15.000,00
TOTAL	59.000,00

Tabela 2 – Custos indiretos fixos

Identificou-se, ainda, o preço de venda unitário e o custo variável unitário, para cada linha de produção, conforme apresentado na tabela a seguir:

Produto	Preço venda (A)	Custo variável unitário (B)	Margem de contribuição unitária \$ (A-B)
Sucção A	70,99	54,88	16,11
Sucção B	72,92	57,00	15,92
Sucção C	74,84	59,00	15,84

Tabela 3 - Margem de Contribuição Unitária

A partir dos preços de venda e do custo variável unitário, subtraindo o custo variável unitário do preço de venda unitário, obtém-se a margem de contribuição unitária. A partir da margem de contribuição unitária, percebe-se que o modelo linha de Sucção A apresenta a maior margem de contribuição unitária e o modelo linha de Sucção C apresenta a menor. Portanto, sob a ótica da analisada margem de contribuição unitária, considerando ausência de fator limitante, a linha de Sucção A representa maior atratividade para a empresa, pois contribui mais para pagar os custos fixos e formar o lucro. Por outro lado, a linha de Sucção C representa efeito contrário, ou seja, de menor atratividade de produção e venda.

	Sucção A	Sucção B	Sucção C	TOTAL
Receita \$	327.973,80	306.264,00	282.895,50	917.133,30
Custos Variáveis \$	253.545,60	239.400,00	223.020,00	715.965,60
Margem de Contribuição \$	74.428,20	66.864,00	59.875,50	201.167,70
Custos Fixos \$				59.000,00
Resultado \$				142.170,00

Tabela 4 – Resultado projetado (considerando ausência de fator limitante)

Caso a empresa optasse pela produção de todos os itens demandados (desconsiderando a ausência de fatores limitantes), os resultados obtidos são os apresentados na Tabela 4.

Desta forma, teria um resultado de \$ 142.170,00 considerando a produção e venda de todas as unidades demandadas. Entretanto, para atender a demanda prevista, dada as quantidades de horas necessárias para produção, a empresa necessitaria de 3983 horas-máquinas.

	Horas-máquinas Necessárias (minutos)	Demanda prevista	Total hora máquina
Sucção A	0.30	4620	1386
Sucção B	0.33	4200	1386
Sucção C	0.32	3780	1210
TOTAL			3983

Tabela 5 – Horas-máquinas necessárias

A Tabela 5 representa o resultado projetado da quantidade de horas necessárias para atender a demanda prevista de cada linha de Sucção, que resulta em 3983 horas. Porém, sabe-se que a empresa dispõe de apenas 3800 horas-máquinas, não sendo possível atender a toda a demanda prevista e, consequentemente, não atingindo os resultados apresentados na Tabela 4.

Desta forma, considerando que não há disponibilidade de horas-máquinas suficiente para atender toda a demanda prevista, faz-se necessário que a análise seja feita pela margem de contribuição por fator de limitação da capacidade produtiva. Neste caso, o fator limitante é a hora-máquina.

MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO POR FATOR DE LIMITAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA

Considerando a restrição da quantidade de horas-máquinas, a empresa deve optar por uma redução na produção que seja adequada a sua capacidade produtiva. Considerando os cálculos anteriores, a empresa poderia ser levada a reduzir a fabricação do produto que apresenta a menor margem de contribuição (Sucção C), para adequar-se às horas-máquinas disponíveis.

Para atender esta necessidade procede-se o cálculo da nova quantidade a ser produzida, C:

$$\left(\frac{3983-3800}{0.32}\right)-3780=3208$$

Com base na análise da margem de contribuição unitária, a nova quantidade a ser produzida, do produto Sucção C, é de 3208 peças.

Com a definição das novas quantidades a serem produzidas de cada item seriam necessárias as seguintes quantidade de horas-máquinas:

	Tempo gasto na Fabricação	Quantidade Demandada	Total Hora - Máquina
Sucção A	0.30	4620	1386
Sucção B	0.33	4200	1386
Sucção C	0.32	3208	1027
TOTAL			3799

Tabela 6 – Redução da quantidade do produto Sucção C

Considerando os dados da Tabela 6, que apresenta os resultados para o novo modelo após o ajuste da quantidade a ser produzida do produto Sucção C, que teve sua produção reduzida de 3780 peças para 3208 peças em função da limitação do fator produtivo, a empresa obteria os seguintes resultados:

	Sucção A	Sucção B	Sucção C	TOTAL
Receita \$	327.973,80	306.264,00	240.086,72	874.324,52
Custos Variáveis \$	253.545,60	239.400,00	189.272,00	682.217,60
Margem de Contribuição \$	74.428,20	66.864,00	50.814,72	192.106,92
Custos Fixos \$				59.000,00
Resultado \$				133.106,92

Tabela 7 – Resultado Projetado Ajustado

Os resultados encontrados na Tabela 7 diferem dos resultados encontrados pela margem de contribuição unitária na Tabela 4. Percebe-se que, na Tabela 7, o resultado da empresa é menor, porém, o resultado encontrado na margem de contribuição pelo fator limitante representa a situação real da empresa, visto que na Tabela 4 não está sendo considerada a limitação de horas máquinas.

	Sucção A	Sucção B	Sucção C	TOTAL
Receita \$	327.973,80	265.793,40	282.895,50	876.662,70
Custos Variáveis \$	253.545,60	207.765,00	223.020,00	684.330,60
Margem de Contribuição \$	74.428,20	58.028,40	59.875,50	192.332,10
Custos Fixos \$				59.000,00
Resultado \$				133.332,10

Tabela 10 – Resultado projetado depois de reduzido à quantidade do produto B

Na análise da margem de contribuição pelo fator limitante, o cálculo da margem de contribuição é feito em relação hora máquina, representado na coluna 4 da Tabela abaixo.

Produto	Margem de Contribuição Unitária	Tempo de Fabricação	Margem de Contribuição Por Hora-máquina
Sucção A	16,11	0.30	53.70
Sucção B	15,92	0.33	48.24
Sucção C	15,84	0.32	49.50

Tabela 8 – Margem de Contribuição por Hora-máquina (Insumo limitante)

Pela Margem de contribuição hora - maquina, ou análise da Margem de Contribuição pelo fator de limitação da capacidade produtiva, percebe-se que o produto mais lucrativo continua sendo o produto Sucção A, porém o menos interessante passa a ser o produto B, e não mais o C como na análise pela margem de contribuição Unitária.

A partir desta nova constatação, pelo fator limitante, refazem-se os cálculos reduzindo agora a produção do produto Sucção B. De modo que a quantidade produzida esteja dentro dos limites da quantidade de insumo disponível. .

$$B = \left(\frac{3983-3800}{0.33}\right)-4200 = 3645$$

	Minutos Máquinas Necessárias	Demanda Prevista	Total Hora Máquina
Sucção A	0.30	4620	1386
Sucção B	0.33	3645	1203
Sucção C	0.32	3780	1210
TOTAL			3799

Tabela 9 – Demanda ajustada pelo fator limitante

Após o novo cálculo das quantidades a serem produzidas, com redução do produto B, os resultados projetados são apresentados na Tabela 10.

Após realizar o cálculo da Margem de Contribuição pelo fator limitante da produção, percebe-se que o produto que possibilita a empresa auferir de maiores lucros con-

tinua sendo o produto A. Porém o menos atrativo não é o produto C conforme sugerido na primeira análise. Pela análise da margem de contribuição pelo fator limitante, e se existir mercado, a empresa deve incentivar a venda do produto A, e mesmo apresentando margem de contribuição unitária menor, como segunda opção, ela deverá incentivar a venda do produto Sucção C, visto que este melhora os resultados da empresa. Percebe-se na última coluna da Tabela acima que o resultado aumentou comparado ao resultado apresentado na Tabela 7.

Com a utilização do ferramental da programação linear é possível encontrar uma solução ótima para o problema acima, em menor tempo, e ainda permite a análise de possíveis variações de preços, quantidades produzidas e margem de contribuição unitária.

RESOLUÇÃO PELA PROGRAMAÇÃO LINEAR COM USO DO SOLVER

A programação linear, na otimização de mix de produção, é uma estratégia que permite atender a esses objetivos. Os resultados sugeridos pelo suplemento de otimização, Solver, fornece outros dados e estes permitem ao gestor decisões mais precisas acerca da produção.

No Solver, os dados informados seguem a lógica matemática conforme a descrita no modelo abaixo.

$$\text{maximizar } 4620x_1 + 4200x_2 + 3780x_3$$

Sujeito a:

$$0,30x_1 + 0,33x_2 + 0,32x_3 \leq 3800$$

$$x_1 \leq 4620$$

$$x_2 \leq 4200$$

$$x_3 \leq 3780$$

Onde: a função objetivo é a maximização de produção, sujeito as restrições impostas pelos fatores de produção, neste caso, às 3800 horas-máquina, representado na primeira restrição. As restrições em x_1 , x_2 , x_3 significam que as quantidades dos produtos x_1 , x_2 e x_3 devem ser igual ou menor que as quantidades demandadas das linhas de sucção, no caso 4620, 4200 e 3780 respectivamente.

Nome	Custo Reduzido	Coefficiente Objetivo \$	Acréscimo Admissível	Decréscimo Admissível
Quantidade de Sucção A	1,64	16,11	Infinito	1,63
Quantidade de Sucção B	0	15,92	0,41	0
Quantidade de Sucção C	0,40	15,84	Infinito	0,40

Tabela 13 – Relatório de Sensibilidade 1 (células ajustáveis)

Os resultados apresentados nas tabelas seguintes decorrem da modelagem da programação linear, obtidos com auxílio de software específico (mantida a formatação). A linha 2 na Tabela a seguir, compreendida como célula destino, fornece a solução ótima encontrada pelo algoritmo cuja margem de contribuição total sugerida é de \$ 192.406,58.

O resultado encontrado é muito próximo do encontrado pela margem de contribuição pelo fator limitante.

Nome	Valor Original \$	Valor Final \$
Margem de Contribuição total	0	192.406,58
Quantidade de Sucção A	0	4620
Quantidade de Sucção B	0	3650
Quantidade de Sucção C	0	3780

Tabela 11- Relatório de resposta 1 (célula destino e células ajustáveis)

Nas linhas 3, 4 e 5, da Tabela 11, são apresentadas as quantidades ótimas do mix de produção, ou seja, as quantidades sugeridas pela modelagem da programação linear.

Outro resultado gerado pela programação linear refere-se às quantidades da demanda atendidas e não atendidas. A coluna Status traz duas informações “agrupar e Sem agrupar”, a primeira significa que a quantidade demandada foi atendida, a segunda indica que a quantidade demandada não foi atendida.

Nome	Valor final	Status	Transigência
Total Hora Máquinas	3800	Agrupar	0
Quantidade Sucção A	4600	Agrupar	0
Quantidade Sucção B	3650	Sem	550
Quantidade Sucção C	3780	Agrupar	0

Tabela 12 - Relatório de resposta 2 (restrições)

Os resultados da Tabela 12, a coluna Transigência significa o excesso ou a folga. Neste caso em função da restrição (hora-máquina) houve um excesso de demanda de 550 unidades da Sucção B.

A Tabela 13, por sua vez, refere-se ao relatório de sensibilidade, cuja coluna coeficiente objetivo representa a margem de contribuição de cada produto. As colunas “acréscimo admissível” e “decréscimo admissível” indicam as variações que o coeficiente objetivo poderia assumir sem que as quantidades sugeridas pela solução sejam alteradas.

De acordo com os resultados, o acréscimo admissível à margem de contribuição unitária da linha de Sucção B seria até \$0,41 e mesmo assim o resultado não seria alterado, da mesma forma a linha de Sucção A e C, suas margens de contribuição poderiam sofrer um decréscimo de \$1,63 e \$0,40 respectivamente e a solução ótima, na função objetivo, do problema se manteria a mesma.

Por sua vez, a Tabela 14 apresenta o relatório de restrições de hora-máquina, cuja coluna do preço sombra corresponde ao valor monetário que a empresa deixa de ganhar por não dispor de mais uma hora-máquina.

Nome	Valor Final	Preço Sombra	Restrição Lateral R.H	Acréscimo Admissível	Decréscimo Admissível
Total Hora Máquinas	3800	48,24	3800	181,6	0

Tabela 14- Restrição (hora máquina)

Desta forma, se a empresa incrementasse sua produção em mais uma hora-máquina teria um acréscimo no resultado, ou margem de contribuição total, na quantia de \$48,24. As colunas de “Acréscimo admissível” e “Decréscimo admissível” representam os intervalos de variações permitidos para a quantidade de horas-máquinas disponível sem que se altere a relação de crescimento do preço sombra obtida na solução ótima.

Por fim, na Tabela 15, o relatório de limites de quantidade produzida apresenta na coluna valor final o mix ótimo de produção total que maximizaria o resultado da produção. Como o modelo é um problema de maximização não sugere limite inferior, pois qualquer quantia abaixo do valor sugerido na coluna, valor final, não seria um ponto ótimo.

Nome	Valor Final	Limite Inferior	Resultado Destino	Limite Superior	Resultado Destino \$
Quantidade de Sucção A	4620	ND	ND	4620	192.406,57
Quantidade de Sucção B	3650	ND	ND	3650	192.406,57
Quantidade de Sucção C	3780	ND	ND	3780	192.406,57

Tabela 15- Relatório de Limites

Pelos resultados apresentados na tabela, a coluna limite superior indica o ponto ótimo de produção que maximiza o resultado. Na última coluna, por sua vez, indica o resultado ótimo se as quantidades produzidas forem as sugeridas pelo modelo. Os resultados na tabela acima indicam o valor que empresa receberia se as quantidades ótimas sugeridas na coluna 2 fossem produzidas.

CONCLUSÃO

Os custos constituem um importante instrumento de decisão gerencial, pois possibilitam o norteamamento das empresas por meio de sua produção. Ele permite avaliar em que medida as empresas estão utilizando os recursos produtivos e definindo o seu mix de produção. Nos mais diversos empreendimentos e sistemas produtivos o custo constitui-se no pilar de sustentação na tomada de decisão, ele permite ao gestor a percepção sobre o que produzir e em que nível produzir para maximiza seus lucros.

Neste sentido, o presente estudo procurou abordar a tomada de decisão com base nos custos de produção e fator limitante de produção. Para atender ao objetivo principal, utilizou-se dos enfoques de margem de contribuição unitária e Margem de contribuição pelo fator limitativo. Por ultimo

foi comparado à metodologia de margem de contribuição por fator limitativo com a metodologia de programação linear, utilizando, para isso, o suplemento Solver. Esta ferramenta permite chegar aos mesmos resultados encontrados

entanto, os resultados gerados permitem uma análise mais detalhada. A análise de maximização do resultado por meio da programação linear gerou um resultado próximo ao encontrado pelo método da margem de contribuição pelo fator limitante.

O modelo desenvolvido pela programação linear sugeriu uma produção de 4620 unidades do produto linha de Sucção A, 3650 unidades do produto linha de Sucção B e 3780 unidades do produto linha de Sucção C. Para atender a função objetivo, dado as restrições, os resultados obtidos da programação linear sugerem que as quantidades de Sucção A e Sucção C devem ser produzidas o suficiente para atender a demanda. Porém, para a linha de Sucção B, sugere que a quantidade produzida seja de 550 peças a menos

que a quantidade demandada, ou seja, 550 peças de excesso de demanda. Os relatórios adicionais apresentados pelo método de programação linear são os relatórios de sensibilidade, de restrições de hora-máquina e de limites de quantidades produzidas. O relatório de sensibilidade apresenta informações relevantes referente ao valor monetário da margem de contribuição dos produtos: linhas de Sucção A poderia ter um decréscimo de \$1,63 na margem de contribuição e a linha de Sucção C poderia ter uma redução de \$0,40. Por sua vez, a linha de Sucção B poderia ter um decréscimo admissível no valor da margem de contribuição e mesmo assim, ocorrendo todas estas variações, a função objetivo não se alteraria. O preço sombra, no relatório de restrições de hora-máquina, significa que a cada hora máquina adicionada à produção resultaria em aumento na margem de contribuição total. Esta variação monetária positiva seria garantida até o acréscimo de 181 unidades de hora-máquina. O relatório de limites de quantidades produzidas, por sua vez, apresenta a margem de contribuição total que a empresa receberia se as quantidades ótimas sugeridas fossem efetivamente produzidas.

Desta forma, o cálculo pela margem de contribuição pelo fator limitativo só é possível para modelos com poucas variáveis e poucas restrições. Em modelagens com elevado número de variáveis e de restrições faz-se necessário a utilização de softwares específicos, caso contrário o cálculo seria impraticável.

A conclusão obtida por meio deste estudo é de que o método de programação linear, embora indique as mesmas quantidades sugeridas pelo método da margem de contribuição pelo fator limitativo, demonstrou-se mais eficiente, por permitir que a tomada de decisão seja aprofundada por meio da análise de sensibilidade: de variações da margem de contribuição, de restrições de horas-máquinas e de limites de quantidades produzidas. Assim, cumpre-se o objetivo deste estudo que era de analisar as contribuições adicionais da programação linear na definição do mix ótimo de produção comparada à metodologia da margem de contribuição pelo fator limitante.

REFERÊNCIAS

- ALYRIO, R.D. **Metodologia Científica**. PPGEN: UFRRJ, 2008.
- ATIKINSON, A.A.; Banker, R.D.; Kaplan, R.S., Young, S.M.. **Management Accounting**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- HORNGREN, C; FOSTER, G; DATAR, S. **Contabilidade de Custos**. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- KOLIVER, O. **Os Custos dos Portadores Finais e os Sistemas de Custeio**. [S. I.: s.n.], 2000.
- LANCHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional**. 4ª. ed. São Palo: Pearson; 2010.
- LOPES, MV. **Trajectoria Central Associada à Entropia e o Método do Ponto Proximal em Programação Linear**, [Dissertação]. Goiás. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS; 2007. 91.p INSTITUTO DE INFORMÁTICA.
- MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 9ª. ed. São Paulo: Atlas; 2003.
- MEGLIONI, E. **Custos**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2001. p.193.
- PRADO, D. Santos do. **Programação linear**. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- SCHERER, O.L.S. **Comparativo e análise do sistema de custeio por absorção e o ABC**: estudo de caso propondo método de integração em empresa do ramo metalúrgico. 2001. 85p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- SILVA, E. L. da. MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Editora. Florianópolis: 2001.
- SOUZA, Marcos Antônio. **Práticas de Contabilidade Gerencial Adotadas por Subsidiárias Brasileiras de Empresas Multinationais**. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 2001.

Artigo recebido em 04/07/2010.

Aceito para publicação em 20/08/2010.