



Emprego da Programação Linear na análise do Custeio Variável: um estudo de caso em uma indústria de vulcanizados

Linear programming in the variable cost analysis: a study of case in a vulcanized rubber factory

Emerson José de Paiva (emersonpaiva@unifei.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e professor da Unifei.

Tarcísio Gonçalves de Brito (tgbrito@unifei.br)

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e professor da Unifei.

Marco Túlio Domingues Costa (marcotuliodcosta@gmail.com)

Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e coordenador do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Doctum João Monlevade.

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 11 fev. 2019. **Aceitação:** 2 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECAÂNICA, p. 9-22

Resumo

Os desafios das fábricas na definição de custos que garantam sua competitividade no mercado dependem essencialmente das decisões tomadas pelos gestores em relação aos seus processos industriais. A pesquisa operacional é um mecanismo que busca, entre outras coisas, resolver este tipo de problema. Nesse sentido, este trabalho apresenta como objetivo justamente a utilização da Programação Linear para a definição dos volumes de produção de um conjunto de produtos de modo que se tenha o menor custo operacional frente às restrições existentes. Para auxiliar na compreensão do impacto dos custos na produção e na tomada de decisões, o estudo se apoia no método de Custeio Variável. A pesquisa envolveu um estudo de caso tendo sido desenvolvida em uma fábrica de artefatos vulcanizados localizada na cidade de João Monlevade - MG. Os resultados apontaram, em termos financeiros e considerando as restrições das condições de investigação propostas no estudo, dois produtos entre o mix de produção que possuem margens de lucro insatisfatórias, sendo que a manutenção de sua produção depende das demais condições do mercado. Como conclusão, o estudo mostrou a viabilidade da técnica de Programação Linear e trouxe uma orientação significativa para balizar as decisões de produção da empresa estudada, identificando as condições de margem de contribuição de modo a favorecer o ganho da empresa, além de propor parâmetros para a negociação com os clientes.

Palavras-chave: Programação Linear. Custeio Variável. Artefatos vulcanizados.

Abstract

Factories' challenges in defining costs that ensure their competitiveness in the market depend essentially on the decisions made by managers in relation to their manufacturing processes. Operational research is a mechanism that seeks, among other things, to solve this type of problem. In this sense, this paper aims precisely at the use of Linear Programming to define the production volumes of a set of products in order to have the lowest operating cost concerning to the existing restrictions. In order to help to understand the impact of cost on production and decision making, the study is based on the Variable Costing method. The research generated a study of case which was developed in a vulcanized artifacts factory located at the city of João Monlevade - MG. The results pointed out, in financial terms and ignoring specific market factors, the unfeasibility of maintaining two products among the production mix. To sum up, the study showed the viability of the linear programming technique and provided a significant orientation to guide the production decisions of the studied company, identifying the contribution margin conditions in order to favor the company's gain as well as providing parameters for negotiation with the customers.

Keywords: Linear Programming. Variable Costing. Vulcanized artifacts.

Introdução

A indústria passa, frequentemente, por desafios diversos que põem à prova sua capacidade de se manter competitiva perante seus concorrentes, os quais exigem que seus fornecedores sejam capazes de responder às demandas existentes e que mantenham com firmeza a capacidade de competir em pé de igualdade com as demais organizações que prestam serviços ou produzam bens similares. Tendo isso em foco, compreende-se que o planejamento dos custos produtivos extrapola sua importância no atendimento das instituições e de seus clientes, e que, além disso, serve como fator diferencial no mercado, fazendo com que as decisões ligadas a essa área transformem-se em questões estratégicas.

De fato, conforme destacado por Couto e Gomes (2014, p. 411), “a análise de indicadores empresariais financeiros e não financeiros permite um melhor entendimento do desempenho das empresas.” Contudo, como descreve Costa (2010), são justamente os indicadores financeiros que norteiam os demais.

Outro aspecto fundamental para as decisões empresariais são as análises dos custos de produção. Conforme destaca Dyhdalewicz (2015), para o sistema de informação de qualquer organização, a gestão dos custos e a contribuição para a demonstração dos resultados são tidos como requisitos fundamentais.

Desse modo, cabe às indústrias, frente à gama de itens produzidos por elas, identificar, avaliar e planejar adequadamente os custos envolvidos em seus processos de modo que o ganho dessas organizações seja potencializado quando da escolha dos volumes a serem produzidos em relação às demandas existentes no mercado.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar os custos produtivos de uma fábrica de artefatos vulcanizados, levando em consideração uma análise de cunho gerencial, além de utilizar a Programação Linear como ferramenta para a otimização do processo, permitindo aos gestores dessa empresa tomar decisões mais apropriadas acerca da condução dos processos por ela desenvolvidos. Para tanto, um modelo matemático específico foi desenvolvido utilizando aspectos peculiares da organização em estudo. Espera-se que, dessa maneira, o estudo possa contribuir não apenas para a organização estudada, mas também servir de modelo para outros casos similares.

Revisão bibliográfica

A compreensão dos conceitos abordados neste estudo é de grande importância para que se possa entender os propósitos da pesquisa e, dessa forma, sejam alcançados os resultados desejados. Assim, o presente artigo discorre não apenas sobre os métodos da aplicação da pesquisa operacional, mais especificamente através da Programação Linear, mas também pela definição geral necessária para a compreensão dos métodos de análise dos custos, inclusive começando a partir deles.

Tipos de custeio

Para compreender o impacto do custo de produção e garantir que a definição dos volumes produzidos possam ser os mais apropriados ao atendimento das necessidades da empresa, é necessário conhecer adequadamente os modelos de avaliação, análise e prática dos custos de produção. Existem diversos métodos de custeio, entre os quais podem se destacar:

- a) O Custeio Variável: neste método, os custos operacionais são classificados de acordo com sua relação na atividade-fim da área operacional, sendo dividido em dois grupos: o primeiro, de custos variáveis, aqueles que se alteram de acordo com a variação das quantidades produzidas, e os custos fixos, que se mantêm independentemente do total de artigos produzidos. Neste caso, a lucratividade da empresa é avaliada considerando-se a margem de contribuição de cada produto (DYHDALEWICZ, 2015).
- b) O Custeio ABC (*Activity-Based Costing*): que é um método relevante para a tomada de decisões e que ficou muito conhecido pelas aplicações de estudiosos como Robert Kaplan e Robin Cooper. Este modelo trabalha na condição de “causa e efeito entre os custos e as necessidades de atividades, além de direcionar os custos dessas atividades aos objetos de custo” (ASKARANY *et al.*, 2010, *Apud* MEDEIROS *et al.*, 2017, p. 397).
- c) O Custeio por Absorção: esta metodologia preconiza que “os custos totais são atribuídos aos produtos e com estes permanecem em estoque até serem comercializados”; além disso, é o método adotado legalmente, em termos contábeis, no Brasil (MARETH *et al.*, 2016, p. 97).
- d) O Custeio TDABC (*Time-Driven Activity-Based Costing*): o princípio fundamental da análise deste método se refere especificamente ao tempo. Os custos produtivos são apontados de acordo com o tempo em que determinado produto é processado por cada recurso operacional disponível pelo qual tenha que ser implementado (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Todos os métodos descritos possuem sua relevância e, independentemente da escolha entre eles, qualquer um deles vai interferir na lucratividade da empresa, bem como na forma de definir a alocação de recursos (sobretudo os escassos) para os produtos por ela fabricados. A percepção da

relevância de mais de um tipo de método é destacada também por Mareth *et al.* (2016), que apresentou em seus estudos os métodos de Custeio por Absorção e Custeio Variável, dando maior significação ao Custeio Variável por permitir ganhos de eficácia na tomada de decisões empresariais.

Considerando que o enfoque principal deste estudo também está voltado para o método do Custeio Variável, compreende-se a necessidade de apresentação mais detalhada de sua metodologia de cálculo. Collatto e Reginato (2005) descrevem a importância gerencial deste modelo uma vez que ele serve de base para avaliar quais produtos e segmentos da organização geram retorno positivo com lucros mais significativos, além de fazer um paralelo entre quantidades produzidas e vendidas em relação aos ganhos da empresa.

O método do Custeio Variável pode ser melhor compreendido pelo esquema apresentado na Figura 1.

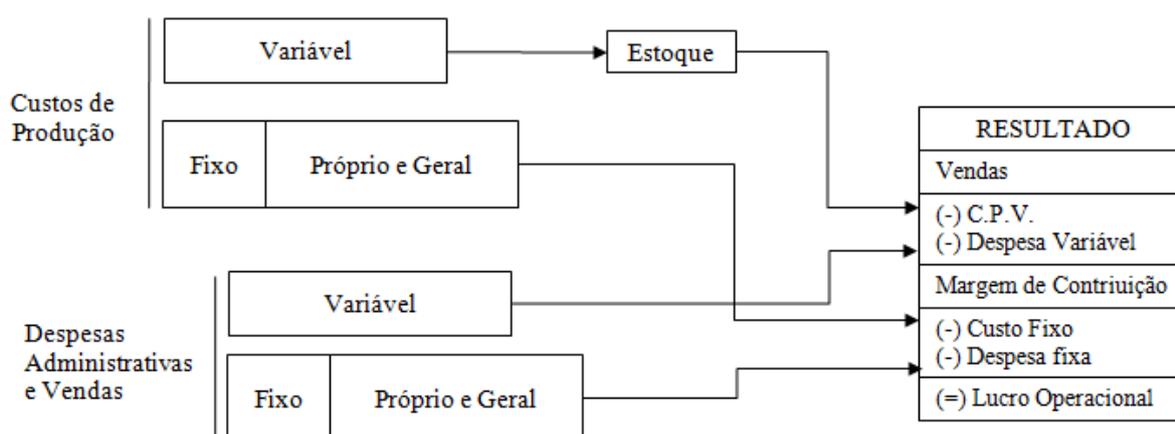


Figura 1 – Esquema do método do custeio variável
 Fonte: Collatto e Reginato (2005)

O esquema apresentado na Figura 1 ajuda a entender como é formada a margem de contribuição pela metodologia adotada, sendo que a diferença entre os valores de vendas em relação aos custos e despesas variáveis ocorrem no processo. Além disso, conforme destacado pelas próprias autoras, os estoques absorvem os custos variáveis ao passo que outros custos e despesas são voltados diretamente aos resultados.

A pesquisa operacional para a decisão de produção

A pesquisa operacional é um ramo de estudo capaz de auxiliar na tomada de decisões por meio da modelagem de um sistema ou processo e em sua otimização por modelos matemáticos, envolvendo

as fases de compreensão do problema, criação de um modelo representativo do problema, cálculo e testes do modelo e os controles das soluções encontradas. (SILVA *et al.*, 2010)

A programação das atividades manufatureiras é importante para garantir um desempenho eficiente da produção e isso impacta a produtividade e a competitividade organizacional. Tal programação propicia a otimização de processos e pode ser aplicada a qualquer tipo de produção, de células operacionais automatizadas a sequências operacionais em processos de montagem, passando por transporte e pelo uso eficiente dos recursos de fabricação (CIFUENTES *et al.*, 2017).

A busca da garantia da eficiência não é diferente quando se pensa na alocação dos recursos produtivos e no impacto disso nos custos operacionais da fábrica. Assim, a adoção de uma das técnicas de pesquisa operacional pode auxiliar os gestores na definição dos volumes produzidos em função da escassez de determinados recursos. A opção pela adoção da Programação Linear como apoio à decisão envolvendo aspectos financeiros organizacionais já foi adotada em estudos anteriores, como em Delgado *et al.* (2016), Medeiros *et al.* (2017) e Rodrigues *et al.* (2017), e também no presente estudo. Por isso, uma abordagem explicativa acerca dessa ferramenta é apresentada na sequência.

A Programação Linear na avaliação de custos

A Programação Linear, dentre os diversos métodos existentes na pesquisa operacional, é amplamente empregada sobretudo por permitir a utilização de modelos de simples compreensão e que são facilmente incorporados em programas simples de computadores, facilitando sua aplicação (SILVA *et al.*, 2010). Existe um modelo geral que se aplica aos problemas de Programação Linear, o qual é apresentado por Lachtermacher (2009) da seguinte maneira:

$$\text{Otimizar } Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{1}$$

Sujeito à:

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ M \\ g_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \geq \\ = \\ \leq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ M \\ b_n \end{array} \right. \tag{2}$$

onde:

- n é o número de variáveis
- m é o número de restrições
- i é o índice de determinada restrição

A equação apresentada em (1) representa a função-objetivo do problema de Programação Linear, ao passo que a equação apresentada em (2) representa o conjunto de restrições ao qual o problema está sujeito.

O autor acrescenta ainda que o “problema de Programação Linear está em sua forma-padrão se tivermos uma maximização da função-objetivo e se todas as restrições forem do tipo menor ou igual” (LACHTERMACHER 2009, p. 20), desde que os termos constantes não sejam negativos.

A equação inicial, dita função-objetivo, busca traduzir a melhor combinação entre as variáveis de decisão. Por outro lado, essa função está submetida a um conjunto de limitações reais que podem impossibilitar o uso pleno de todas as variáveis, tais como um recurso limitado, limitação de demandas, barreiras legais, etc. (MOREIRA, 2010)

Seguindo estes conceitos, Mareth *et al.* (2016) mostrou que a Programação Linear permite identificar diversas possibilidades de resultados diferentes de modo a auxiliar a tomada de decisões sobre o mix de produção, considerando, principalmente, os custos operacionais da gama de produtos fabricados atendendo a uma série de restrições conhecidas pela organização.

Metodologia

A proposta do presente projeto é a realização de uma pesquisa de natureza aplicada e de caráter exploratório, apresentando uma abordagem tanto qualitativa como quantitativa em que, em termos de qualidade, procura-se analisar detalhadamente tendências, hábitos e atitudes e, no que diz respeito à quantidade, é dado enfoque à aplicação de instrumentos estatísticos (MARCONI; LAKATOS, 2009; SERRA NEGRA; SERRA NEGRA, 2009; GODOY *et al.*, 2015). Além disso, o estudo envolve a realização de um estudo de caso.

Para a presente pesquisa, a parte qualitativa é baseada no conhecimento da organização e na identificação das diversas variáveis existentes nos processos por ela desenvolvidos. Já o estudo quantitativo envolve a criação de um modelo de Programação Linear capaz de auxiliar a compreensão dos custos e otimizar a definição da produção dos processos.

Para tanto, os dados foram coletados na própria organização, uma fábrica de artefatos vulcanizados destinados às indústrias de mineração e de siderurgia localizada no município mineiro de João Monlevade. Parte das informações foi obtida de forma documental fornecida pela empresa. Outra parte, como os tempos dos processos, fundamental para o pleno desenvolvimento do estudo, foi coletada a partir da observação *in loco* do funcionamento do processo em um dia de produção típico.

As análises foram realizadas aplicando-se os dados coletados na empresa à Programação Linear, utilizando, para tanto, a função Solver do MS Excel para a solução do problema estudado. Os resultados obtidos nos cálculos foram tabulados em outra planilha para que pudessem ser averiguados e validados.

Resultados

A partir da visita *in loco* foram obtidas as informações necessárias para a aplicação da Programação Linear tendo em vista a verificação da melhor contribuição de margem de lucro entre os produtos, ou seja, para auferir e comparar o custo de produção a partir do modelo do Custeio Variável.

A empresa estudada produz atualmente seis artigos, todos destinados à fabricação de cilindros aplicados em correias transportadoras de unidades de grandes mineradoras. Os produtos são descritos na Tabela 1, que a identifica como variáveis do modelo matemático. No entanto, a empresa estuda a possibilidade de fabricação de um novo produto que é manufaturado a partir dos mesmos processos usados atualmente, mas que é comercializado como um produto de maior valor agregado. Entretanto, ele não foi considerado nesta pesquisa por falta de parâmetros específicos para o estudo.

Tabela 1 – Produtos comercializados (variáveis de decisão)

X _j	Código	Descrição do produto	Variáveis (conjunto de 100 peças)
X ₁	AV001	Anel de vedação de dois lábios . 20	Quantidades fabricadas do AV001
X ₂	AV002	Anel de vedação 30x72	Quantidades fabricadas do AV002
X ₃	AV003	Anel de vedação 19x40	Quantidades fabricadas do AV003
X ₄	AV004	Anel de vedação 20x45	Quantidades fabricadas do AV004
X ₅	AV005	Anel de vedação 25x50	Quantidades fabricadas do AV005
X ₆	AI001	Anel de Impacto	Quantidades fabricadas do AI001

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Para a fabricação de cada um desses componentes, são necessários o emprego de um conjunto específico de matérias-primas, um fluxo gerado a partir de um conjunto de processos que são similares entre os produtos, além da mão de obra para atuação nos processos. Como é possível prever, todos estes recursos possuem algum limite máximo disponível para utilização no processo e, para se produzir determinado item, a fábrica se dedica integralmente a ele; quando é necessário fabricar outro produto, há uma adequação do processo para destinar a produção total para um segundo modelo, e assim por diante.

Compreende-se, portanto, que há restrições para cada matéria-prima, para cada processo e para a mão de obra empregada. A informação quanto às demandas destes recursos para cada item produzido é apresentada nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Tempo dos processos para fabricação de 100 peças

Processos / Produto	AV001	AV002	AV003	AV004	AV005	AI001
Misturador	1,43	4,81	1,14	1,39	2,27	71,84
Extrusora	1,14	3,85	0,91	1,11	1,82	107,76
Guilhotina Pneumática	6,86	23,08	5,46	6,67	10,91	–
Prensa Hidráulica	9,09	29,17	2,78	10	16,67	300
Acabamento	0,95	3,21	1,14	0,93	1,52	–
Total (em min)	19,47	64,10	11,41	20,09	33,18	479,60

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

A tabela 2 apresenta os tempos consumidos para a produção de 100 unidades de cada um dos produtos. Como se pode observar, o item AV003 necessita de um tempo relativamente baixo ao passo que o item AV001 exige um tempo significativamente maior que os demais produtos.

Uma vez que para produzir cada peça o operador deve acompanhar o processamento em cada uma das máquinas, o custo da mão de obra foi calculado e está representado na Tabela 3. Em cada máquina há a utilização de um único operador e, na maioria das situações, cada operador se desdobra na atuação de mais de um maquinário. É importante salientar que a operação do misturador exige mão de obra qualificada; sendo assim, a empresa optou por contratar um profissional especializado que fica à sua disposição por uma carga horária temporária de 20 horas semanais.

Tabela 3 – Custo de mão de obra por produto

Mão de Obra	R\$/h	AV001	AV002	AV003	AV004	AV005	AI001
Operador 1	11,25	R\$ 0,48	R\$ 1,62	R\$ 0,38	R\$ 0,47	R\$ 0,77	R\$ 33,67
Operador 2	8,5	R\$ 2,39	R\$ 7,86	R\$ 1,33	R\$ 2,49	R\$ 4,12	R\$ 8,50
Total		R\$ 5,10	R\$ 2,88	R\$ 9,48	R\$ 1,71	R\$ 2,96	R\$ 4,89

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

De maneira similar ao apresentado para o maquinário, o custo de mão de obra também é significativamente maior para o item AI001. Já a relação das quantidades necessárias de matérias-primas para a produção do conjunto estão representadas na Tabela 4, ao passo que o custo de cada um desses insumos para o produto pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 4 – Quantidade de cada insumo por produto

Matéria Prima	Unid.	AV001	AV002	AV003	AV004	AV005	AI001
Borracha N300	kg	0,6571	2,2115	0,5227	0,6389	1,0455	–
Óxido de zinco	kg	0,0326	0,1096	0,0259	0,0317	0,0518	–
Estearina	kg	0,0063	0,0212	0,0050	0,0061	0,0100	–
Negro de fumo	kg	0,3600	1,2115	0,2864	0,3500	0,5727	–
Óleo DOP	l	0,1309	0,4404	0,1041	0,1272	0,2082	–
Banox H	kg	0,0063	0,0212	0,0050	0,0061	0,0100	–
Borracha natural	kg	–	–	–	–	–	13,7931
Borracha regenerada	kg	–	–	–	–	–	27,5862
Pó de pneu	kg	–	–	–	–	–	0,6897
Acelerador Santocure	kg	0,0063	0,0212	0,0050	0,0061	0,0100	–
Acelerador TMTD	kg	0,0074	0,0250	0,0059	0,0072	0,0118	–
Enxofre	kg	0,0034	0,0115	0,0027	0,0033	0,0055	0,689655

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

O limite total de cada matéria-prima se dá pelo lote mínimo de aquisição, que varia de produto para produto, sendo 100kg para a borracha N300, 50 kg para a estearina, 400 kg para a borracha regenerada e para o pó de pneu e 25 kg para os demais insumos.

Tabela 5 – Custo com insumos para cada produto

Matéria Prima	AV001	AV002	AV003	AV004	AV005	AI001
Borracha N300	R\$ 10,45	R\$ 35,16	R\$ 8,31	R\$ 10,16	R\$ 16,62	–
Óxido de zinco	R\$ 0,42	R\$ 1,43	R\$ 0,34	R\$ 0,41	R\$ 0,67	–
Estearina	R\$ 0,06	R\$ 0,21	R\$ 0,05	R\$ 0,06	R\$ 0,10	–
Negro de fumo	R\$ 1,98	R\$ 6,66	R\$ 1,58	R\$ 1,93	R\$ 3,15	–
Óleo DOP	R\$ 2,36	R\$ 7,93	R\$ 1,87	R\$ 2,29	R\$ 3,75	–
Banox H	R\$ 0,06	R\$ 0,21	R\$ 0,05	R\$ 0,06	R\$ 0,10	–
Borracha natural	–	–	–	–	–	R\$ 124,14
Bor. regenerada	–	–	–	–	–	R\$ 193,10
Pó de pneu	–	–	–	–	–	R\$ 40,34
Acel. Santocure	R\$ 0,11	R\$ 0,38	R\$ 0,09	R\$ 0,11	R\$ 0,18	–
Acelerador TMTD	R\$ 0,23	R\$ 0,78	R\$ 0,18	R\$ 0,23	R\$ 0,37	–
Enxofre	R\$ 0,03	R\$ 0,09	R\$ 0,02	R\$ 0,03	R\$ 0,04	R\$ 5,52
Total	R\$ 15,71	R\$ 52,86	R\$ 12,49	R\$ 15,27	R\$ 24,99	R\$ 363,10

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Baseado no conjunto de tabelas dos recursos empregados para a produção e considerando-se o preço de venda de cada um dos produtos, foi elaborada uma nova tabela que apresenta a margem de contribuição de cada item para a gestão da empresa. As informações são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Demonstrativo de resultado simplificado

DR Simplificado	AV001	AV002	AV003	AV004	AV005	AI001
Receita (Preço x 100 unid.)	R\$ 85,00	R\$ 180,00	R\$ 120,00	R\$ 75,00	R\$ 45,00	R\$ 620,00
Custo máquina/processo	R\$ 1,72	R\$ 5,67	R\$ 1,01	R\$ 1,78	R\$ 2,93	R\$ 42,39
Custo da mão de obra	R\$ 2,88	R\$ 9,48	R\$ 1,71	R\$ 2,96	R\$ 4,89	R\$ 42,17
Custo da matéria-prima	R\$ 15,71	R\$ 52,86	R\$ 12,49	R\$ 15,27	R\$ 24,99	R\$ 363,10
Margem de contribuição	R\$ 64,70	R\$ 112,00	R\$ 104,79	R\$ 54,99	R\$ 112,19	R\$ 172,33

Fonte: Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Tomando por base o demonstrativo da Tabela 6, pode se estabelecer a função-objetivo do problema:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 MC_i \cdot x_i \quad (3)$$

Onde MC_i é a margem de contribuição do conjunto de cem unidades de cada produto.

De maneira análoga, a tabulação dos dados de processos, mão de obra e matéria-prima foi a base para o levantamento das restrições, que são apresentadas na sequência.

$$1,429X_1 + 4,808X_2 + 1,136X_3 + 1,389X_4 + 2,273X_5 + 71,839X_6 \leq 10560 \quad (4)$$

$$1,143X_1 + 3,846X_2 + 0,909X_3 + 1,111X_4 + 1,818X_5 + 107,759X_6 \leq 10560 \quad (5)$$

$$6,857X_1 + 23,077X_2 + 5,455X_3 + 6,667X_4 + 10,909X_5 \leq 5280 \quad (6)$$

$$9,091X_1 + 29,167X_2 + 2,778X_3 + 10X_4 + 16,667X_5 + 300X_6 \leq 10560 \quad (7)$$

$$0,952X_1 + 3,205X_2 + 1,136X_3 + 0,9259X_4 + 1,515X_5 \leq 5280 \quad (8)$$

$$2,572X_1 + 8,654X_2 + 2,045X_3 + 2,5X_4 + 4,091X_5 + 179,598X_6 \leq 4620 \quad (9)$$

$$32,615X_1 + 68,911X_2 + 33,233X_3 + 33,334X_4 + 44,243X_5 + 60X_6 \leq 9240 \quad (10)$$

$$0,6571X_1 + 2,2115X_2 + 0,5227X_3 + 0,6389X_4 + 1,0455X_5 \leq 200 \quad (11)$$

$$0,0326X_1 + 0,1096X_2 + 0,0259X_3 + 0,0317X_4 + 0,0518X_5 \leq 250 \quad (12)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,2864X_3 + 0,35X_4 + 0,5727X_5 \leq 250 \quad (13)$$

$$0,1309X_1 + 0,4404X_2 + 0,1041X_3 + 0,1272X_4 + 0,2082X_5 \leq 500 \quad (14)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,2864X_3 + 0,35X_4 + 0,5727X_5 \leq 2000 \quad (15)$$

$$13,7931X_6 \leq 1000 \quad (16)$$

$$27,5862X_6 \leq 4000 \quad (17)$$

$$0,6896X_6 \leq 4000 \quad (18)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,005X_3 + 0,0061X_4 + 0,01X_5 \leq 250 \quad (19)$$

$$0,0074X_1 + 0,025X_2 + 0,0059X_3 + 0,0072X_4 + 0,0118X_5 \leq 250 \quad (20)$$

$$0,0034X_1 + 0,0115X_2 + 0,0027X_3 + 0,0033X_4 + 0,056X_5 + 0,6897X_6 \leq 250 \quad (21)$$

$$X_1 \leq 150 \quad (22)$$

$$X_2 \leq 10 \quad (23)$$

$$X_3 \leq 150 \quad (24)$$

$$X_4 \leq 150 \quad (25)$$

$$X_5 \leq 50 \quad (26)$$

$$X_6 \leq 10 \quad (27)$$

$$X_1; X_2; X_3; X_4; X_5; X_6 \geq 0 \quad (28)$$

As equações acima representadas apresentam uma restrição para cada situação de processo, mão de obra, insumo e demanda relacionadas aos itens produzidos na indústria de artefatos vulcanizados, sendo a equação (4) referente à restrição do misturador, a (5) referente à extrusora, a (6) à guilhotina pneumática, a (7) à prensa hidráulica, a (8) ao acabamento, a (9) à mão de obra do operador 1 e a (10) à mão de obra do segundo operador. Em relação aos insumos, a equação (11) apresenta as restrições da borracha N300, (12) do óxido de zinco, (13) da estearina, (14) do negro de fumo, (15) do óleo DOP, (16) da borracha natural, (17) da borracha regenerada, (18) do pó de pneu, (19) do acelerador Santocure, (20) do acelerador TMTD e (21) do enxofre. As equações de (22) a (27) indicam as demandas máximas de cada um dos produtos, respectivamente, ao passo que a equação apresentada em (28) é um requisito de não negatividade.

O Simplex é um método de cálculo para a Programação Linear amplamente difundido e muito utilizado na solução de problemas reais (CONCEIÇÃO, 2016). A função-objetivo e as restrições foram trabalhadas nos softwares MS Excel, a partir do Princípio do Simplex. A resposta obtida é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado otimizado para maximização da margem de contribuição

Função	Coeficientes de variáveis					
Objetivo	X1	X2	X3	X4	X5	X6
	R\$ 64,70	R\$ 112,00	R\$ 104,79	R\$ 54,99	R\$ 112,19	R\$ 172,33
Valor de variável	105	0	150	0	5	10
Z =	R\$					24.795,59

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

As tabelas de respostas obtidas no software MS Excel são apresentadas na Figura 2 na sequência:

Microsoft Excel 12.0 Relatório de resposta			
Planilha: [PO - Artefatos Vulcanizados - 2.xlsx]Plan2			
Relatório criado: 16/06/2018 18:53:51			
Célula de destino (Máx)			
Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$C\$6	Z = X1	R\$ 24.795,59	R\$ 24.795,59
Células ajustáveis			
Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$C\$5	Valor de variável X1	105	105
\$D\$5	Valor de variável X2	0	0
\$E\$5	Valor de variável X3	150	150
\$F\$5	Valor de variável X4	0	0
\$G\$5	Valor de variável X5	5	5
\$H\$5	Valor de variável X6	10	10

Figura 2 – Resultados obtidos pelo Solver do software MS Excel
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Conforme relatório do Solver, do Software MS Excel, é possível perceber que tanto o produto AV002 como o AV004, representados pelas variáveis X2 e X3, respectivamente, não apresentaram valor para a realização da produção de modo a aumentar a margem de lucro da organização. Por outro lado, pode-se perceber que a produção dos itens AV003 e AI001 (aqui representadas pelas variáveis X3 e X6) foram apontadas por serem produzidas no limite máximo demandado no mercado de atuação da empresa estudada. O limite de demanda não foi calculado para este trabalho, adotando-se como parâmetros os valores descritos pelo gerente da organização.

A restrição que gerou limitação no desenvolvimento do problema é a mão de obra do segundo operador que, embora seja mais barata que a do primeiro operador, possui limite de tempo para a fabricação de todos os produtos.

Considerações finais

Conforme abordado ao longo do presente trabalho, há uma grande importância na análise do impacto dos custos de fabricação de cada produto na formação de uma margem de contribuição que seja significativa para a manutenção dos negócios de uma empresa, neste caso, de uma fábrica de artefatos vulcanizados.

Nesse sentido, a aplicação da Programação Linear completa mostrou-se útil para que fosse elaborada uma melhor combinação entre os produtos formadores do mix comercializado pela empresa, inclusive para determinar que dois dos itens atualmente produzidos pela organização não contribuem suficientemente para a formação de uma margem significativa de contribuição e que poderiam, em teoria, ser desativados.

No caso da empresa em estudo, foi posteriormente informado que alguns produtos são comercializados por exigência dos clientes que compram da empresa justamente por ela fabricar alguns produtos complementares. Assim, a resposta obtida deve servir para, pelo menos, balizar negociações com os clientes e orientar os gestores da organização sobre quais produtos devem ser alvo de maiores prospecções, uma vez que seu incremento só não pode ser maior pela limitação de demanda atualmente existente.

Cabe sugerir ainda que novos estudos sejam realizados a partir da coleta de informações detalhadas de cada processo e de análises que possibilitem a melhoria do processo produtivo (como, por exemplo, do acabamento das peças) de modo que os produtos que se apresentaram inviáveis ou com pouca importância na margem de contribuição possam ser aprimorados, ganhando importância no tripé processo-comercialização-ganho.

Referências

- CIFUENTES, N; GATICA, G; LINFATI, R. *A linear programming model for the parallel nonrelated machines problem, in the drying area of a chilean sawmill*. In: Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing.) Vol. 26. Tunja-Boyacá (Colombia), 2017.
- COLLATTO, D.C.; REGINATO, L. *Método de Custeio Variável, Custeio Direto e Teoria das Restrições no contexto da Gestão Estratégica de Custos: um estudo aplicado ao Instituto de Idiomas Unilínguas*. In: IX Congresso Internacional de Custos. Florianópolis, 2005.
- CONCEIÇÃO, G. L. da. *Complicadex? Não! Simplex!* In: Revista Valore. Volta Redonda, V. 1, n. 1, 2016.
- COSTA, M. T. D. *Integração do planejamento estratégico com o balanced scorecard a partir de análise de ambiência: estudo de caso da empresa Laborar*. (Monografia). Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UnilesteMG. Coronel Fabriciano, 2010.
- COUTO, A. B. G; GOMES, L. F. A. M. *Análise multicritério de indicadores empresariais por meio da DRSA – Dominance-based rough set approach*. In: Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento – SOBRAPO. v.6, n.3Rio de Janeiro, 2014.
- DELGADO, A. R. S; VENTURA, S. V; RODRIGUES, P. C. P. *Otimização da receita líquida com produção agrícola por área irrigada limitada*. In: Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento – SOBRAPO. v. 8, n. 2. Rio de Janeiro, 2016.
- DYHDALEWICZ, Anna. *The implementation of variable costing in the management of profitability of sales in trade companies*. In: Financial Internet Quarterly - e-Finanse. vol.1, 2015.
- LACHTERMACHER, G. *Pesquisa Operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel*. 4 ed. Rio de Janeiro: prentice hall brasil, 2009.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- MARETH, T; PAIM, E. S. E; PIENIZ, L. P; ERTHAL, F. S. *Programação linear como ferramenta de apoio a gestão de custos: um estudo de caso em uma indústria de usinagem*. In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO. Bento Gonçalves, 2016.
- MEDEIROS, H. da Ss.; SANTANA, A. F. B.; GUIMARÃES, L. da S. *O uso dos métodos de custeio nas indústrias de manufatura enxuta: uma análise da literatura*. In: Gestão da Produção, São Carlos, v. 24, n. 2, 2017.
- MOREIRA, D. A. *Pesquisa Operacional: curso introdutório*. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- RODRIGUES, V. P; MORABITO, R; YAMASHITA, D. 1 SILVA, B. J. V; RIBAS, P. C. *Optimization approaches to a routing and scheduling problem of oil tankers*. In: Revista Gestão e Produção. São Carlos, v. 24, n. 4, 2017.
- SERRA NEGRA, C. A.; SERRA NEGRA, E. M. *Manual de trabalhos monográficos de graduação, especialização, mestrado e doutorado*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SILVA, E. M; SILVA; E. M; GONÇALVES, V; MUROLO, A. C. *Pesquisa Operacional para cursos de Administração e Engenharia*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.