

Minimização de custos de uma empresa de confecção de camisas com a utilização da Programação Inteira

Jeconias dos Santos, Hérison Byron, João Victor Lucena, Jean Gomes Turet

Resumo: Este artigo tem como finalidade a minimização de custos de uma empresa de confecção localizada no município de Caruaru (PE), a partir dos dados obtidos em uma entrevista com o proprietário foi visto que a maior parte de seus problemas estavam relacionadas aos custos. A partir dos dados foi possível modelar o problema de acordo com as exigências de uma programação linear inteira, ferramenta da pesquisa Operacional de grande importância no auxílio a tomada de decisão, após análise dos dados e construção de tabelas foi utilizado o Lindo® para a resolução do algoritmo. Os resultados mostram que para atingir a solução ótima a quantidade de camisas gola careca a ser confeccionada é de 2000 mensal e a camisa gola polo é de 3000 mensal, resultando assim em um total de custos mensal de R\$ 40.180,00 mil reais. Os resultados foram viáveis e satisfatórios.

Palavras chaves: Pesquisa operacional, Programação Inteira, Lindo®.

Minimizing costs of a shirt making company using Integer Programming

Abstract: This article aims to minimize costs of a clothing company located in Caruaru City, PE. From the data obtained in an interview with the owner was seen that most of its problems were related to costs. From the data it was possible to model the problem according to the requirements of an integer linear programming, an operational research tool of great importance in helping decision making. After data analysis and table construction, LINDO® was used for the resolution of the algorithm. The results show that in order to reach the optimal solution, the amount of crewneck T-shirts to be made is 2000 monthly and the polo T-shirt is 3000 monthly, thus resulting in a total monthly costs of R\$ 40.180,00. The results were viable and satisfactory.

Key-words: Operational Research, Integer Programming, LINDO®.

1. Introdução

A história da indústria têxtil e de confecção no Brasil remontam ao início do período colonial, onde havia uma rentável cultura algodoeira no norte e nordeste do país, e diversas manufaturas têxteis que iniciavam um processo de industrialização. Atualmente, o setor da vive um processo de mudança. Com a liberação comercial, que trouxe a globalização do mercado doméstico, o setor sofreu um choque estrutural, além disso, o Brasil vive uma invasão de produtos importados asiáticos, que apresentam um percentual de crescimento constante até o momento atual (BARBOSA, 2006).

A cadeia produtiva têxtil e de confecções, segundo SEBRAE (2008) se divide em três partes. A cadeia principal, onde são produzidos tecidos, fios e malhas, aviamentos, serviços de estamparia e lavanderia. A cadeia a montante fornece os insumos, matérias-primas, máquinas e equipamentos. E a cadeia a jusante responsável pelos *designs*, grifes, desfiles e o *marketing* da produção de vestuário.

Segundo dados da associação brasileira de indústria têxtil e da confecção (ABIT), o setor vinha em um contínuo crescimento entre 2015 e 2017, mas sofreu uma queda em 2018 de 1,6% em sua produção no comparativo com 2017 que teve uma produção de 1,3 milhão de toneladas, o setor fechou o ano de 2017 com um faturamento de R\$ 144 bilhões.

O Arranjo Produtivo Local (APL) do Agreste Pernambucano desde a década de 90 tem uma grande influência do setor têxtil. Nos anos 90 quando uma grande parte da população do nordeste pensava em ir para o sul/sudeste procurar emprego, o Agreste Pernambucano virou uma referência em termos de emprego, o crescimento populacional de algumas cidades chegou a 50%.

Com todo esse fluxo migratório, o APL têxtil do Agreste de Pernambuco teve um grande aumento na sua economia chegando a ser um exemplo a ser seguido, atualmente cerca de 800 mil peças de vestuário são produzidas anualmente tanto para o mercado interno como para o mercado internacional.

De acordo com o Diário de Pernambuco no ano de 2017 a região registrou um faturamento de R\$ 28,3 bilhões, representando 17% do total brasileiro. Ao todo eram 9.048 empresas, sendo 1.496 têxteis e 7.552 de confecção.

Apesar da alta competitividade, o setor ainda se estrutura no “ binômio máquina de costura/costureira”, com características de defasagem tecnológica devido a custos de equipamentos (ARAÚJO, 2002). Nesse contexto a pesquisa operacional se apresenta como uma ferramenta poderosa para elevar a eficiência e racionalidade do processo.

A pesquisa operacional como ciência estrutura processos, propondo um conjunto de alternativas de ação, fazendo a previsão e a comparação de valores, de eficiência e de custos (LOESCH & HEIN, 2009). A PO tenta, encontrar, uma melhor solução, conhecida como solução ótima, para o modelo que representa o problema considerado (HILLIER & LIBERMAN, 2013). Este artigo tem como objetivo a aplicação de programação inteira, ferramenta importante dentro da PO, para a minimização de custos de uma confecção de camisarias.

2. Referencial Teórico

Os primórdios da pesquisa operacional remonta a Segunda Guerra Mundial, quando foi solicitado a equipes de cientistas, métodos eficientes para alocação de tropas e recursos. Estas pesquisas sobre operações militares foram essenciais para vitórias como a da Batalha aérea da Grã-Bretanha, a Batalha do Atlântico Norte e a Campanha Britânica do Pacífico. Após a guerra, com o sucesso alcançado pela eficiência nas empreitadas bélicas e com o grande crescimento da indústria pós-guerra e dos problemas gerados por sua complexidade, a PO torna-se essencial nas organizações e foi disseminada em setores comerciais, industriais e governamentais (HILLIER & LIBERMAN, 2013).

Grande parte deste sucesso se deve a George B. Dantzig e a equipe por ele liderada, responsáveis pelo desenvolvimento do método Simplex para resolução de problemas de programação linear em 1947. Outro fator importante foi o desenvolvimento de computadores

com maior capacidade de processamento de dados e armazenamento de memória (BELFIORE & FÁVERO, 2012).

A análise de um problema e a sua formulação dentro dos padrões da pesquisa operacional, deve desenvolver-se segundo seis fases: a definição do problema, a construção do modelo, a solução do modelo, a validação do modelo, a implementação dos resultados e a avaliação final (ANDRADE, 2015). Modelos matemáticos são representações simplificadas da realidade. A qualidade de um modelo depende muito da imaginação e criação da equipe de PO requerendo uma certa dose de abstração (MARTINS, 2011).

A PO é composta por um conjunto de ferramentas como programação linear, programação inteira, programação em redes, programação não linear, teoria das filas, teoria dos jogos, metodologia multicritérios de apoio a decisão, análise envoltória de dados e outras. Estas ferramentas se destinam a um conjunto diverso de problemas, mas de forma simples pode se dizer que são utilizadas para alocar recursos limitados da melhor forma para atividades que competem entre si. Como, alocação de recursos de produção a produtos, seleção de portfólio, seleção de padrões de despacho, planejamentos agrícola, sessões de radioterapia e muitas outras finalidades (HILLIER & LIBERMAN, 2013).

Ainda segundo HILLIER & LIBERMAN (2013), a Programação Linear utiliza um modelo matemático para descrever um problema em questão, o adjetivo linear significa que todas as funções nesse modelo são necessariamente lineares. Doutra forma a PL seria um planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, o melhor resultado possível dentro dos limites estabelecido pelo modelo.

Segundo Lachtermacher (2007), Programação Linear Inteira é um problema de programação matemática em que a função objetivo e suas restrições são lineares, porém uma ou mais variáveis de decisão são representadas apenas por valores inteiros. Um problema de programação linear inteira total pode ser descrito como:

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

$$\text{Sujeito a: } \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq b_1 \\ = b_2 \\ \geq b_m \end{array}$$

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ são inteiros

Onde:

$$f(x_1; x_2; x_3; \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

N são variáveis;

M são restrições;

I é o índice da restrição (i = 1, 2 ... m);

J é o índice da variável (j = 1, 2 ... n);

C_i é o coeficiente da variável x_i da função-objetivo;

A_{ij} é o coeficiente da variável x_i da j-ésima restrição.

Em um sistema produtivo, cabe a equipe de Planejamento e Controle de Produção a coordenação e aplicação dos recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira possível aos planos estabelecidos (TUBINO, 2000).

Lustosa e Nanci (2008), citam duas formas de resolução de um Plano Agregado de produção, o método gráfico e o método de programação matemática. Para o método de programação matemática existem diversos recursos computacionais que auxiliam a modelagem e resolução, como o Solver do Microsoft Excel® e What's Best®, Lingo® e Lindo API® da Lindo Systems.

3. Material e método

Para a elaboração deste trabalho foi utilizado dois métodos de pesquisa, o estudo de caso que consiste em uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento. A coleta de dados que se deu por meio de uma entrevista com o proprietário onde foi discutido os principais problemas referente aos custos de insumos e operacionais do processo de fabricação de camisas. Também foi utilizado a Programação Linear Inteira, para resolução do modelo matemático e controle das variáveis em análise. A abordagem do trabalho é quantitativa, que segundo Gresler (2004), tem a intenção de garantir a precisão dos resultados, evitar distorções de análise e interpretação, a partir do estabelecimento de uma relação entre causa e efeito e apoiar suas conclusões em dados estatísticos, comprovações e testes.

A empresa está localizada na cidade de Caruaru (PE), atua no ramo da confecção, produz apenas camisas de dois modelos, Camisa pólo e Gola careca. A ferramenta computacional utilizada para resolução do modelo foi o Lindo® da Lindo Systems. O Lindo (Linear, Iterative, Discrete Optimizer) é um software interativo para resolução de problemas de Programação Linear, Quadrática ou Inteira.

4. Resultados

4.1 Estruturação do modelo

A tarefa da PLI consiste na otimização (maximização ou minimização) de uma função linear, denominada Função objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou desigualdades, que recebem o nome de Restrições do Modelo. As restrições determinam uma região a qual se dá o nome de Conjunto de Solução Viável, a melhor das soluções viáveis, ou seja, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo, denomina-se Solução Ótima. O objetivo da Programação Linear Inteira é determinar esta solução.

Na empresa é fabricado apenas dois modelos de camisas, a camisa gola polo e a camisa gola careca, a demanda para os dois modelos são 5000 unidades mensais, os dados de custos foram fornecidos pelo proprietário e constam nas tabelas 1 e 2.

Insumos	Custo Unitário
Malha 100% algodão FIO 30.1 (Kg)	R\$ 3,00
Linha 100% algodão (Kg)	R\$ 0,15

Ribana	R\$ 0,35
Mão de Obra (Min)	R\$ 1,50
Total	R\$ 5,00

Fonte: os autores

Tabela 1 – Custos Por Produto Gola Careca

Insumos	Custo Unitário
	R\$
MALHA 100% ALGODÃO PIQUET	5,27
Linha 100% algodão (Kg)	R\$ 0,17
Mão de Obra (Min)	R\$ 2,00
Botões	R\$ 0,15
Gola	R\$ 2,50
Punho	R\$ 2,50
Total	R\$ 12,59

Fonte: os autores

Tabela 2 - Custos Por Produto Gola Polo

A quantidade de recursos utilizados por unidade de produto e a disponibilidade para um mês estão na tabela 3.

Recursos	Camisa Gola Careca	Camisa Gola Polo	Total
Malha 100% algodão (Kg)	0,142	-	720
Malha 100% algodão PIQUET (Kg)	-	0,150	180
Linhas 100% algodão (Kg)	0,143	0,143	900
Ribana (Kg)	0,028	-	180
Golas (Unidade)	-	1	2400
Botões (Unidade)	-	2	4800
Punhos (Unidade)	-	2	4800
Mão de Obra (min)	1,8	2	9600
Demanda (Unidade)	1	1	5000

Fonte: os autores (2019)

Tabela 3 – Insumos disponíveis

4.2 Modelo

O primeiro passo de um problema de programação matemática é a definição das variáveis de decisão.

Declaração das variáveis

x_1 = quantidade de camisas gola careca produzidas em um mês

x_2 = quantidade de camisas gola polo produzidas em um mês.

O que a empresa almeja é a minimização dos custos de produção, então seguimos com a função objetivo.

Função Objetivo

De acordo com os dados da tabela 1 e 2, temos:

$$\text{Minimização } Z = 5x_1 + 12,59x_2$$

Após a função objetivo, cabe estabelecer as restrições do modelo que serão feitas de acordo com a tabela 3, onde estão as restrições de insumos e de processos. No caso da restrição de tempo foi estabelecida uma quantidade mínima 9400 minutos.

$0,142x_1 \leq 720$	Restrição de tecido
$0,028x_1 \leq 180$	Restrição de ribana
$0,143x_1 + 0,143x_2 \leq 900$	Restrição de linha
$1,8x_1 + 2x_2 \leq 9600$	Restrição de tempo em minutos para um dia
$1,8x_1 + 2x_2 \geq 9400$	Restrição de tempo mínima
$x_1 + x_2 \leq 5000$	Restrição de demanda
$0,150x_2 \leq 900$	Restrição de tecido
$1x_2 \leq 2400$	Restrição de golas
$2x_2 \leq 4800$	Restrição de punhos
$2x_2 \leq 4800$	Restrição de botões
$x_1, x_2 \geq 0$	
x_1, x_2 inteiros	

4.3 Solução do problema

Para a solução do problema de PI foi utilizado o Lindo®. O primeiro passo é inserir a função objetivo, depois as restrições na área de trabalho, como o caso é um problema de programação inteira, adiciona-se a restrição de números inteiros para o resultado, a restrição de não-negatividade não é necessária por que o software já a presuppõe. Assim, temos a modelagem no software como mostra a Figura 1.

```

C:\Downloads\camisa2.ltx
min 5x1+12.59x2 st
0.142x1 <=720
0.028x1 <=180
0.143x1+0.143x2<=900
1.8x1+2x2<= 9600
1.8x1+2x2>= 9400
x1+x2<=5000
0.150x2<=900
1x2<=2400
2x2<=4800
2x2<=4800
1x1>=2000
1x2>=2000

end
GIN x1
GIN x2
  
```

Figura 1 – Modelo no Lindo®

Em seguida é obtido o resultado do modelo, como mostra a Figura 2.

```

Reports Window
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      4
OBJECTIVE VALUE =  40180.0000

NEW INTEGER SOLUTION OF  40180.0000      AT BRANCH
BOUND ON OPTIMUM:  40180.00
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=    0 PIVOTS=    5

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1)      40180.00

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
X1      3000.000000      0.000002
X2      2000.000000      0.000000

ROW  SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
2)      294.000092      0.000000
3)      96.000015      0.000000
4)      184.999969      0.000000
5)      200.000000      0.000000
6)      0.000000      -37.950001
7)      0.000000      63.310001
8)      599.999878      0.000000
9)      399.999298      0.000000
10)     799.998596      0.000000
11)     799.998596      0.000000
12)     999.999268      0.000000
13)      0.000715      0.000000

NO. ITERATIONS=      9
BRANCHES=    0 DETERM.=  1.000E  0
  
```

Figura 2 – Solução do modelo

Assim, vemos que a quantidade ótima que minimiza os custos é $x_1=3000$ unidades de camisa gola careca e $x_2=2000$ unidades camisa gola polo, com essa quantidade produzida em um mês tem-se uma solução ótima de R\$ 40.180,00 mil reais de custo mensal.

5. Conclusões

Os resultados apontam a importância da pesquisa operacional como ferramenta de apoio à decisão no planejamento agregado de produção no cotidiano das empresas, para o uso mais eficiente dos recursos e obtenção de melhores desempenhos produtivos.

A programação inteira como a utilizamos pode ser implementada como uma ferramenta de auxílio na quantificação de produtos a serem fabricados, em qualquer empresa que queira otimizar seu processo produtivo, seja minimização ou maximização. No presente caso, foi visto que com o uso da PI os custos de produção mensal poderia ser de R\$ 40.180,00 mil reais, fabricando as quantidades de 2000 unidades de camisa gola careca e 3000 camisas gola polo.

Ainda assim, é importante ressaltar que a escolha dos modelos deve ser a melhor para o problema em questão. Há na PO uma grande variedade de ferramentas a serem utilizadas de acordo com as idiosincrasias que o problema apresenta, caso contrário a solução não será desejável.

Referências

AGRESTE TEX. **Entenda a influência do polo têxtil no Agreste Pernambucano**. Disponível em: <<https://agrestetex.fcem.com.br/entenda-a-influencia-do-polo-textil-no-agreste-pernambucano/>> Acesso em: 21 set. 2019.

ANDRADE, E. L. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de resultados. – 5. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ARAÚJO, A. M. C. *Redes de subcontratação e trabalho a domicílio na indústria de confecção: um estudo na região de Campinas*. Cadernos Pagu, n. 17-18, p. 267-310, 2002 Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cpa/n17-18/n17a10.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E CONFECÇÃO; *Perfil do Setor*, 2017. Disponível em <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

BARBOSA, A. F.; MENDES, R. C. As relações econômicas entre Brasil e China: uma parceria difícil. FES Briefing Paper, 2006.

CADEIA PRODUTIVA TEXTIL E DE CONFECÇÕES. Recife: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2008.

DANTAS, Rochelli. **Pernambuco tem papel de destaque no setor têxtil**. Disponível em:<<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2018/11/pernambuco-tem-papel-de-destaque-no-setor-textil.html>> Acesso em 21 set. 2019.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. Pesquisa Operacional para curso de administração, contabilidade e economia. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GRESSLER, L. A. Introdução a pesquisa: Projetos e relatórios. 2. ed. São Paulo: Loyola, 2004.

HEIN, N.; LOESCH, C. Pesquisa operacional: fundamentos e modelos – São Paulo: Saraiva, 2009.

HILLIER, F.; GERALD, J. L. *Introdução à Pesquisa Operacional*; tradução: Ariovaldo Griese. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LACHTERMACHER, G. Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em excel - Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 - 4- Reimpressão.

LUSTOSA, L. *et. al.* Planejamento e controle da produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MARTINS, F. A. S. Introdução à pesquisa Operacional. – São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

MOREIRA, D. A. Pesquisa Operacional: Curso Introdutório. São Paulo: Thomson Learning, 2010.

SEBRAE. **Cadeia produtiva têxtil e de confecções: cenários econômicos e estudos setoriais.** Disponível em: < <http://189.39.124.147:8030/downloads/textil.pdf> > Acesso em: 21 set. 2019.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle de produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.