

Utilização da Pesquisa Operacional para Otimização do *Mix* de Produtos na Produção de Picolés em uma Empresa de Foz do Iguaçu, PR

Julia Angelini¹, Jackson Gechonke¹, Bakr Ghazzawi¹, Claudemir Lourenço¹, Thais Soares¹ e Andressa Lima²

1. Acadêmicos do curso de Engenharia de Produção da Faculdade União das Américas (UNIAMÉRICA).

2. Docente do curso de Engenharia de Produção da Faculdade União das Américas (UNIAMÉRICA).

andressa.lima@uniamerica.br

Palavras-Chave

Mix de produção
Programação linear
Solver do Excel

Resumo:

O mercado sempre em expansão e cada vez mais competitivo faz com que as empresas busquem por melhorias no seu processo produtivo. O objetivo desse artigo é encontrar com o auxílio da Pesquisa Operacional um valor ótimo para o problema de *mix* de produtos em uma empresa do segmento de alimentos comestíveis gelados, no caso uma fábrica de picolés que produz três classes do produto: de frutas, cremosos e recheados. Dessa forma, estabeleceu-se uma programação da produção de acordo com as restrições para o período de um mês, considerando apenas dias úteis maximizando o potencial de lucro da comercialização e evitando que o estoque não ficasse parado; para tal utilizou-se um modelo de programação linear com resolução pelo Solver, um suplemento do Microsoft Excel.

Artigo recebido em: 13.09.2017.

Aprovado para publicação em: 10.12.2017.

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas encontrados para a produção de picolés, em uma empresa do ramo de picolés localizada em Foz do Iguaçu-PR, está relacionado ao *mix* de produção e a receita de cada picolé, pois existem diferentes sabores e modelos, tempos de produção e custos distintos.

O presente artigo é uma análise de como otimizar a produção dos mesmos, chegando a uma solução ótima para maior aproveitamento de mão de obra, maximizando receitas sem negligenciar cada restrição imposta a cada sabor e tempo de produção.

Todos os dados utilizados para o processo de modelagem foram obtidos por meio de entrevista com um dos sócios e por dados fornecidos pela empresa.

Para chegar na otimização de produção foram pré-estabelecidos pelo contexto e cenário, ou seja, apresentar conceitos a respeito da pesquisa operacional. De acordo com Oliveira (2010), a pesquisa operacional (PO) é a ciência aplicada formada por um conjunto de técnicas que visa à determinação das melhores condições de aproveitamento dos recursos em uma situação na qual estejam sob restrições: econômica, material, humana e a temporal.

No caso desta pesquisa, o objetivo desse artigo é encontrar com o auxílio da Pesquisa Operacional um valor ótimo para o problema de *mix* de produtos em uma empresa do segmento de alimentos comestíveis gelados, no caso uma fábrica de picolés que produz três classes do produto: de frutas, cremosos e recheados.

Dessa forma, procurou-se identificar as peculiaridades dos processos em questão; estabelecer o modelo matemático que viabilize a otimização das receitas; caracterizar o mix de produção e auxiliar o processo de tomada de decisão através dos conceitos de programação linear, utilizando a ferramenta Solver disponível como suplemento do Excel.

Para que seja possível ter resultados a partir da pesquisa operacional, a utilização do simplex, um algoritmo muito utilizado geralmente utilizado com auxílio de equipamentos e programas computacionais (HILLIER & LIEBERMAN, 2013), se encaixa da melhor forma para a resolução do problema e para que se obtenha um valor hipotético que auxiliará na tomada de decisão para se obter um resultado ótimo da receita do fabricante de picolés.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para obter os resultados finais deste projeto, estabeleceu-se o auxílio e conceito sobre a pesquisa operacional, *mix* de produção, programação linear, e *solver*.

A pesquisa operacional foi desenvolvida a partir da necessidade de melhores estratégias durante a segunda guerra mundial, por problemas de lógica, tática e artifícios durante os confrontos. Para isso foi criado um grupo de engenheiros, cientistas e matemáticos que então resolveram desenvolver modelos matemáticos a partir de fatos e dados que obtinha-se durante esse tempo e descobrindo o problema passando a analisá-los e estudá-los para então simular os resultados hipotéticos e mais tarde apresentar uma estratégia e determinações alternativas.

O termo Pesquisa Operacional (PO), segundo Cardoso (2011), designa uma área do conhecimento que consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas, cujo objetivo é dar suporte à definição de políticas e determinação de ações.

A aplicação da PO se dá em diversas áreas onde se deseja otimizar a produção, seja na indústria diminuindo a perda de matéria prima, transporte otimizando as rotas com menor tempo e custo de viagem, investimento procurando qual melhor bolsa de valores para investir.

Hillier & Lieberman (2013), relatam que desde o seu surgimento até os dias atuais, a Pesquisa Operacional vem apresentando uma crescente participação em vários setores empresariais: fábricas, indústrias, transporte, investimentos financeiros e agropecuária. Sendo essa uma das formas com maior precisão para se encontrar caminhos melhores para se resolver um problema em uma organização, que se encontra com dificuldades de melhoria e garantindo maior competitividade dentro do mercado.

A programação linear (PL) é uma parte da pesquisa operacional que possui uma grande aplicação industrial, estando associada ao planejamento de recursos escassos visando atender as condições operacionais. Por isso, colabora na tomada de decisão e auxilia a achar o melhor objetivo, ou seja, resultando na função ótima dos recursos.

A programação linear pode ser modelada através de inequações, chamadas de restrições, que são as limitações da empresa representada por $a_{11}x_1, a_{12}x_2, \dots, a_{1n}x_n$, e a função objetivo do problema pode ser de maximização ou minimização dependendo da necessidade, sendo representado por $c_1x_1, c_2x_2, \dots, c_nx_n$ e a função não negativa de $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$. Sendo que a PL sempre será com equações e inequações do tipo linear. Segundo Ragsdale (2009), é possível expressar todas as funções de um modelo de PL como uma soma pon-

derada, ou combinação linear das variáveis de decisão. Segundo Garcia, Guerreiro e Corrar (1997), o modelo matemático de um problema de otimização pode ser formulado como segue:

Figura 1 - Modelagem Matemática da Programação Linear (PL).

Max ou Min Z:	$c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$	→	Função Objetivo
Sujeito a:	$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq y_1$	}	Restrições
	$a_{w1}X_1 + a_{w2}X_2 + \dots + a_{wn}X_n \geq y_w$		
	$a_{s1}X_1 + a_{s2}X_2 + \dots + a_{sn}X_n = y_s$		
	$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$	→	Não negatividade

Fonte: Garcia, Guerreiro, Corrar (1997)

A função objetivo serve para medir o comportamento do sistema, ou seja, o quanto será gerado de lucro ou para reduzir custos. Se o objetivo for maximizar o lucro, as restrições garantem que essa solução seja de acordo com as limitações técnicas impostas pelo sistema da empresa.

O problema do *mix* de produção faz parte da Programação Linear, consistindo em determinar o objetivo ótimo, por exemplo: o maior lucro possível ou maior receita de venda que se pode alcançar com a produção de n unidade de determinado bem ou serviço, em situações nas quais os recursos disponíveis – quantidade de dinheiro, mão de obra, matérias-primas, máquinas de produção, instalações, demanda no mercado, etc. – são limitados ou escassos (LONGARAY, 2013).

Após estudo dos tipos de *mix* de produção citados no livro Introdução a Pesquisa Operacional, identificou-se que o exemplo de problema de *mix* de produção de mistura caberia para obter o resultado deste artigo já que, consiste na minimização do custo total da formulação de determinada quantidade de mistura composta de um conjunto de materiais. A diferença está presente nas restrições, pois cada material é formado por insumos em percentuais diversos, e uma mistura, geralmente, é o resultado dos percentuais mínimos e máximos de cada um desses insumos (LONGARAY, 2013). Mas por fim optou-se em desenvolver o problema, que posteriormente será descrito, em torno das classes de picolés que traz mais retorno financeiro para a empresa.

Uma ferramenta útil para a resolução de problemas de *mix* de produção é a utilização do Solver, um suplemento do Microsoft Excel. Conforme o manual do usuário do Microsoft Excel 2010 o suplemento Solver faz parte de um pacote de programas algumas vezes chamado de ferramentas de teste de hipóteses. Com o Solver, pode-se encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula objetivo conforme as restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. Trabalhando com um grupo de células, chamadas variáveis de decisão ou simplesmente de células variáveis, que participam do cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. Ele ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado desejado para a célula objetiva.

Para obter a solução do problema no Excel é preciso seguir alguns passos de modelagem matemática, o que mais garante entendimento é fazer o modelo a mão posteriormente passar para o Solver, pois, dessa for-

ma garante melhor entendimento do problema. Este método é bem semelhante ao modelo matemático convencional para uma planilha do Excel e posteriormente a resolução dos mesmos pelo solver.

A modelagem de um modelo de otimização no Excel está dividida em três partes: a primeira é a Célula Destino, onde deverá ser inserida uma fórmula da função objetivo. É a célula que representa a meta ou objetivo do modelo proposto; segunda é a Célula Variáveis, estas células poderão ser ajustadas com o objetivo de atingir a otimização da célula destino, sendo que esses valores sujeitos as restrições e ou limitação do modelo; terceira são as Restrições, estas células representam os valores a que o modelo está limitado, sendo que eles estão relacionados a quantidade de recursos disponíveis (WINSTON, 2004 apud. JESUS 2006).

Esses passos são essenciais, pois se em alguma célula do Excel for colocado uma informação errada não será possível saber se o valor ótimo do problema realmente está certo e adequado para fazer à melhoria posteriormente.

O solver converte por um tempo as restrições de desigualdade em igualdade, somando uma nova variável de cada restrição maior ou igual. As novas variáveis usadas para criar restrições de igualdade chamadas variáveis de folga (RASGADELE, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, as metodologias empregadas foram a modelagem matemática e o estudo de caso sobre a produção de picolés em uma fábrica de pequeno porte localizada em Foz do Iguaçu – PR. Yin (2005) define o estudo de caso como uma averiguação empírica, onde se analisa os acontecimentos da vida, principalmente aqueles que são evidentes no contexto que estão inseridos.

A técnica de pesquisa utilizada para o estudo de caso foi a realização de entrevista com o colaborador diretamente envolvido no processo produtivo.

A coleta dos dados foi realizada por entrevista sobre o processo de produção dos picolés para verificação de como a cadeia produtiva é realizada, exemplos e diferenças entre métodos para cada grupo de sorvetes foram expostos, especificidades de cada sabor como tempo de congelamento, temperatura para conservar, maneiras e formas de recheios explicadas.

Apesar da produção ser feita de forma artesanal também é necessária a constatação da manufaturabilidade do produto, ou seja, a facilidade em produzi-lo atendendo às restrições de custos e qualidade.

Para a modelagem matemática, usou-se a técnica de programação linear através da ferramenta Solver do Excel para estabelecer o modelo matemático que viabilize a otimização das receitas de picolés, diminuindo gastos e maximizando os lucros da empresa.

3.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL E DO PROCESSO PRODUTIVO

O estudo foi realizado em uma empresa de pequeno porte localizada na cidade de Foz do Iguaçu, interior do Paraná, que produz e vende em atacado picolés cremosos, frutados (à base de água) e recheados na cidade e região.

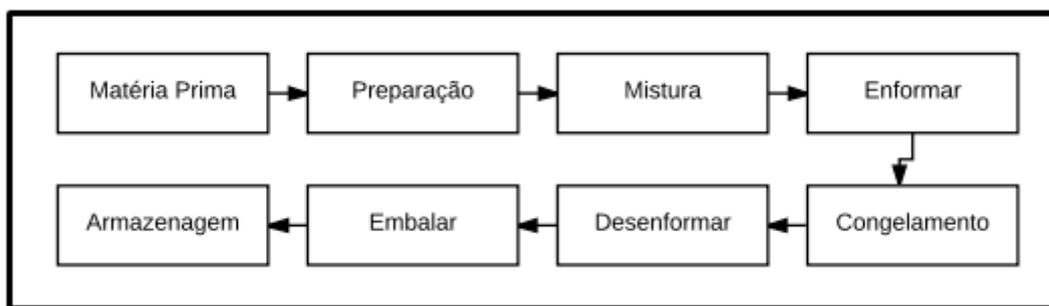
A empresa possui 6 funcionários, dos quais 5 que atuam nas diversas atividades do processo de produção e 1 somente na atividade de embalagem dos de picolés, todos trabalham 6 horas por dia de segunda a sexta.

Cada grupo de produto possui um processo específico, que apesar de possuir poucas diferenças impactam no tempo médio de produção de cada unidade.

A produção diária é feita apenas de um dos grupos de produtos e devido aos custos, como o de energia elétrica no *setup* inicial, inviabilizam a produção de quantidades inferiores a mil unidades por dia. Para isso a utilização do fluxograma é uma forma para explicar detalhadamente o processo de produção.

Os fluxogramas são formas de representar, por meio de símbolos gráficos, a sequência dos passos de um trabalho para facilitar sua análise. Um fluxograma é um recurso visual utilizado pelos gerentes de produção para analisar sistemas produtivos, buscando identificar oportunidades de melhorar a eficiência dos processos (PEINADO & GRAEML, 2007). A Figura 2 exemplifica o fluxograma da produção de picolés, desde seu início até o fim do processo.

Figura 2 - Processo produtivo da fabricação de picolés na empresa.



Uma breve explicação do fluxograma da Figura 2: a produção começa com a necessidade do mercado para que haja a produção dos picolés, então é feito pequeno estoque de matéria prima – a saber: frutas *in natura*, insumos para gelados, leite em pó e demais componentes - para iniciar a produção. A seguir, é feita a higienização das frutas, sendo que no processo produtivo dos picolés cremosos não existe esse tipo de atividade. Depois, em um processador é feita a mistura dos ingredientes de uma receita de massa, ressalta-se que para fazer outra receita a máquina deve ser higienizada para iniciar um novo sabor.

Para a produção dos recheados é necessário utilizar forma de inox, congelar primeiramente o recheio, para depois congelar a massa por quinze minutos e formar o picolé completo, devido a utilização da picoleteira por duas formas (uma de recheio e outra para o picolé completo) causa uma redução significativa na quantidade produzida por dia. Nos três processos produtivos de picolés, de frutas, cremosos e recheados, utiliza-se formas de inox com 26 cavidades, onde um picolé de cada forma é retirado para análise de qualidade.

Em seguida, os picolés são retirados das formas com o auxílio de uma desenformadora e são colocados no ultracongelador, onde ficam a -35 graus célsius por um tempo de 10 a 15 minutos para todos os sabores listados antes. Finalmente, os picolés prontos são retirados e passam para o processo da embalagem que é feita com uma seladora, e então é feita à armazenagem para posterior venda no mercado.

3.2. MODELO

Os dados abaixo foram obtidos após a entrevista com o sócio, para fazer a modelagem matemática e, posteriormente, utilizar o Solver para obter o plano de produção que otimizará a receita da empresa. A Tabela 1 apresenta o limite de estoque de cada tipo de picolé.

Restrições:

- Produção mínima por sabor está vinculada a capacidade efetiva de cada forma, que é de 25 unidades.
- O tempo médio para produção de uma unidade de picolé varia de acordo com o grupo e foram obtidos a partir do tempo, informado pela empresa, utilizado para a produção de 200 unidades.
- Capacidade do estoque total é de 10.000 unidades.
- O estoque de cada grupo é limitado de acordo a quadro 2.

Tabela 1 - Limite de estoque de cada grupo de produtos

	Frutado	Cre moso	Recheado
Estoque máximo	3.000	1.500	6.000

→ A demanda diária foi obtida a partir da média simples das vendas realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2016.

→ As demandas médias diárias são de 151 unidades de picolés de frutas, 198 de cremosos e 218 dos recheados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa produz e comercializa no mercado em atacado três tipos produtos – picolés de fruta, cremosos e recheados – que devem ser produzidos em lotes de 25 unidades de cada tipo. A produção e venda são efetuadas nos dias uteis de segunda a sexta, durante o expediente de 6 horas por dia;

A produção de cada unidade consome 10,8s, 7,2s e 15,42 segundos para os picolés de fruta, cremosos e recheados, respectivamente;

Considerando a Tabela 2, que indica a margem de contribuição dos produtos, deseja-se saber qual o melhor *mix* de produtos que devem ser produzidos pela empresa nas próximas 4 semanas para maximizar o potencial de lucro (comercializados e estoque).

Tabela 2 - Margem de contribuição por produto.

	Frutado	Cre moso	Recheado
Margem de contribuição	R\$ 2,00	R\$ 3,00	R\$ 2,00

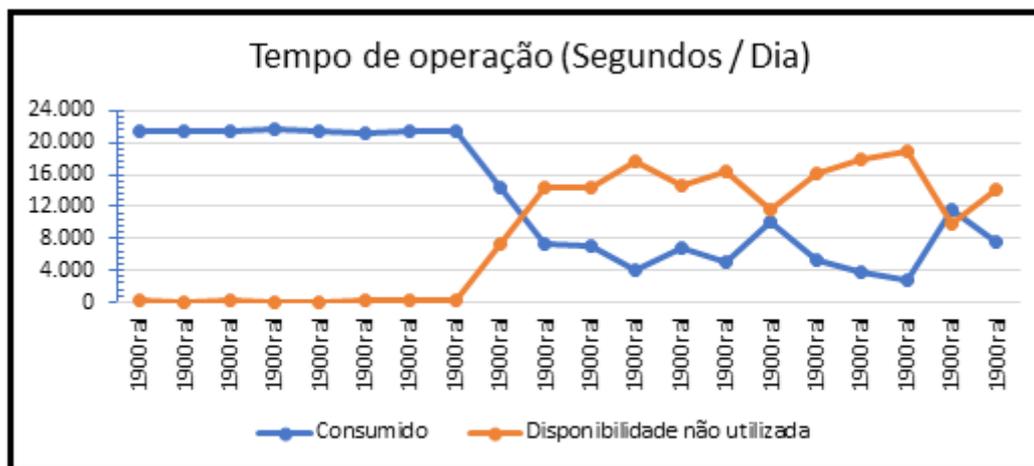
O modelo foi aplicado nas ferramenta Solver do Excel utilizando 4 planilhas, uma para cada semana, considerando as restrições de recursos, demandas e formação de estoque para definir a programação da produção de cada dia que possa otimizar o lucro levando em consideração as demandas e formação de estoque. Na Tabela 3 é apresentada a programação para produção de picolés.

Os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam a disponibilidade da produção e os estoques de produtos. Analisando os dados foi identificado que após o oitavo dia a produção é reduzida devido ao estoque ter atingido o limite de 10.000 unidades, chegando no dia 18 a menor utilização dos recursos, apenas 12,5% da disponibilidade, e produzindo 250 picolés de fruta.

Tabela 3 - Produção diária de picolés

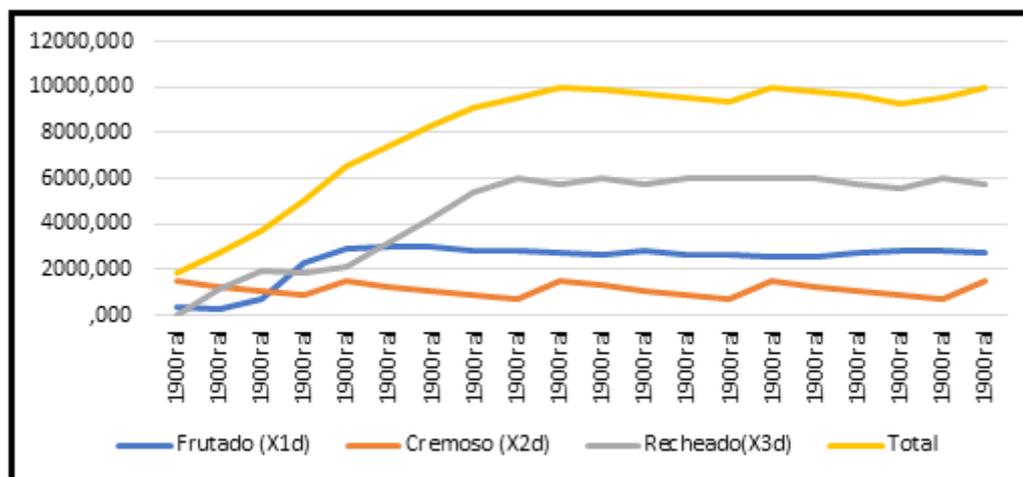
Dia	Frutado (X1 _d)	Cremoso (X2 _d)	Recheado (X3 _d)	Total
1	550	1675	225	2450
2	0	0	1400	1400
3	625	0	950	1575
4	1750	0	175	1925
5	750	800	500	2050
6	225	0	1225	1450
7	125	0	1300	1425
8	50	0	1350	1400
9	150	0	825	975
10	0	1000	0	1000
11	50	0	425	475
12	375	0	0	375
13	0	0	450	450
14	150	0	225	375
15	0	975	200	1175
16	175	0	225	400
17	350	0	0	350
18	250	0	0	250
19	150	0	650	800
20	0	1000	25	1025

Figura 3 - Disponibilidade da produção



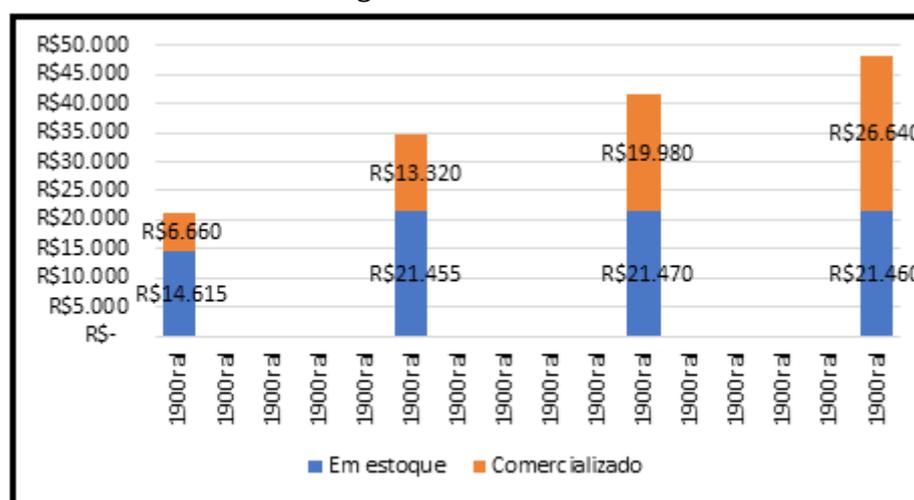
A soma do tempo que a empresa deixou de produzir nos 20 dias totalizou 174.417 segundos que equivaleria a 8 dias ou 40,37% da disponibilidade da produção. Ao somarmos o tempo utilizado para a produção das unidades que estão em estoque, Figura 4, no vigésimo dia (35 horas e 54 minutos) demonstram que se o quadro de variáveis, restrições e demandas não sofrerem alterações nas próximas semanas a disponibilidade não utilizada será de aproximadamente 70,29% indicando que a capacidade de produção está superdimensionada.

Figura 4 – Nível do estoque



O potencial de lucro dos produtos comercializados (demanda) e em estoque no final do vigésimo dia útil do mês totalizaram R\$48.100,00. A Figura 5 apresenta o lucro total que será obtido com a produção no último dia útil de cada semana.

Figura 5 - Potencial de lucro



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo propôs identificar as características e utilização da Pesquisa Operacional para otimizar o *mix* de produtos de uma produção de picolés. Durante o processo foram coletados dados que puderam determinar através do Excel/Solver a programação de produção identificando assim pontos críticos que subutilizam seus recursos elevando os custos da empresa. Foram analisados dados tais quais classes de sabores, tempo de produção, restrições relacionando tempo, mão de obra e insumos para assim determinar a disponibilidade de produção (tempo de operação), controle de estoque e potencial de lucro da empresa.

Foi possível identificar que se não houvesse uma limitação de estoque a empresa conseguiria produzir os mesmos produtos programados para os 20 dias úteis em apenas 12 dias. A programação determinou o estoque formado no período possibilitando a empresa avaliar suas ações de marketing para elevar suas demandas ou redução da capacidade de produção.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.F.F. **O que é programação linear?** Disponível em: <<http://www.marcogandra.com.br/2012/08/o-que-e-programacao-linear.html>> Acesso em: 9 maio de 2017.
- CARDOSO, A. **Fundamentos da Pesquisa Operacional**. Minas Gerais: UNIFAL, 2011.
- GARCIA, Solange. GUERREIRO, Reinado, CORRAR, Luis J. **Teoria das Restrições e Programação Linear**. Trabalho apresentado no V Congresso Internacional de Custos, Acapulco, México, 1997.
- HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013.
- JESUS, B. J. **O uso de ferramentas solver excel na resolução de problemas de programação linear**. Disponível em: <http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po_2/material/apostilas/Arigo_Solver.pdf> Acesso em: 24 maio de 2017.
- LONGARAY, A. A. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.
- MICROSOFT. **Manual do Usuário: Definir e resolver um problema usando o Solver**. Disponível em: <<https://support.office.com/pt-BR/article/Definir-e-resolver-um-problema-usando-o-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>> Acesso em: 28 junho de 2017.
- OLIVEIRA, R. M. S. et al. **Engenharia de Produção: tópicos e aplicações**. Belém: EDUEPA, 2010.
- RAGSDALE, C. T. **Modelagem e Análise de Decisão**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

