Pesquisa Operacional para Otimização do Lote Econômico de Produção



Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR

ISSN: 2316-2317

Fabiano Cícero Simões[1]; Marcelo Franco de Oliveira[1]; Maurício Rodrigues[1]; Ricardo Eneis Costa[1]

[1] *Faculdade Educacional Araucária*

RESUMO

É prática comum nas grandes companhias do ramo automotivo a determinação de planos de produção que objetivam a utilização máxima da capacidade das máquinas, sobretudo pelo alto custo de aquisição dos equipamentos industriais no Brasil. No caso de máquinas que são destinadas a fabricação de mais de um modelo ou tipo de produto, os gestores da área de produção preferem executar grandes lotes a fim de minimizar a quantidade de paradas para troca de ferramentas e demais ajustes necessários para a fabricação de um novo tipo de produto. O objetivo deste trabalho é determinar o Lote Econômico de Produção de uma das máquinas do setor de fundição de alumínio de uma indústria multinacional japonesa localizada na cidade de Curitiba, através da utilização de Pesquisa Operacional, Cálculo Numérico e Cálculo Diferencial e Integral. A Pesquisa Operacional realizada apontou que se esta indústria aplicar o Lote Econômico de Produção proposto poderá reduzir em 12,71% o Custo de Produção da Demanda Diária das peças obtidas pela máquina estudada, permitindo concluir que o uso deste método científico possibilita significativo ganho no processo produtivo da indústria.

Palavras chave: Lote Econômico de Produção, Pesquisa Operacional, Redução de Custo.

ABSTRACT

It is common practice in the large companies of automotive industry to determine production plans that aim at maximum capacity utilization of machines, especially the high cost of the industrial equipment in Brazil. In the case of machines that are used to manufacture more than one product model or type, area managers prefer to run large production batches to minimize the amount of downtime for tool changes and other adjustments required for the manufacture of a new type of product. The objective of this study is to determine the Economic Batch Production of the aluminum smelting machines from a Japanese multinational industry located in Curitiba city, through the use of Operations Research, Numerical Calculus and Differential and Integral Calculus. The Operational Research conducted showed that this industry apply the proposed Economic Production Lot can reduce 12.71 % on the Cost of Production of Daily Demand of cuts produced by machine studied, allowing us to conclude that the use of the scientific method provides significant gain in the process production industry .

Key Words: Economic Batch Production, Operations Research, Cost Reduction.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de recursos de maneira racional é um dos diferenciais mais significativos para determinar a competitividade de uma empresa. Não obstante, no setor industrial automotivo essa prática tem conotação ainda mais expressiva em razão dos altos custos para manter-se nesse mercado.

Partindo desse pressuposto, observou-se uma oportunidade de melhoria na Fábrica Japonesa de Autopeças, nome fictício da companhia multinacional objeto de estudo deste trabalho, doravante denominada simplesmente por FJA, que tem sua sede no Japão e, aqui no Brasil, conta com seis plantas fabris distribuídas nas regiões sul e sudeste. A unidade de Curitiba foi a base de estudos para essa pesquisa e é responsável pela produção de componentes do sistema de ar condicionado automotivo, conforme ilustrado na figura 1.



FIGURA 1 – PORTFÓLIO DOS PRODUTOS FABRICADOS PELA FJA
FONTE: OS AUTORES (2014).

A referida companhia está em franca expansão dos seus negócios no mercado brasileiro. Essa condição, por sua vez, demanda investimentos que viabilizem a capacitação da empresa para atender novos projetos dos atuais e dos potenciais clientes.

Corroborado por essa justificativa, faz-se necessário aplicar soluções que possibilitem aproveitar de modo mais eficiente os recursos patrimoniais, sejam eles financeiros, humanos ou materiais, mas, sobretudo, espaço da área fabril, recurso básico e primordial para comportar todos os demais recursos.

No que diz respeito ao melhor aproveitamento da área, percebeu-se em um dos setores do departamento de produção, a “Fundição de Alumínio”, a presença de grandes estoques de produtos semiacabados, também chamados de produtos em processo. Essa condição motivou uma investigação a fim de se conhecer o método de programação dos

lotes de produção e o respectivo custo de produção da demanda diária gerado pela prática deste método.

Obtendo-se o resultado da investigação, propõe-se calcular o Lote Econômico de Produção (LEP) para uma das máquinas deste setor, utilizando técnicas de Pesquisa Operacional (P.O), no intuito de identificar qual o tamanho do lote que minimizará o custo de produção da demanda diária. Nesse caso, a máquina escolhida como objeto de estudo possui uma demanda diária de 2000 (duas mil) peças, distribuídas entre 4 (quatro) modelos de produtos, cujas demandas individuais correspondem a 500 (quinhentas) peças de cada modelo.

A aplicação de P.O resultará numa função matemática que descreve o problema. Esta função pode ser linear, o que indica que há proporcionalidade na variação dos custos de produção e, assim sendo, pode ser resolvida através de uma técnica chamada Programação Linear. Caso contrário, isto é, se não houver proporcionalidade na variação dos custos, a resolução se dará através de Programação Não Linear.

Em ambos os casos a resolução poderá ser apoiada pela ferramenta *Solver©*, que é um algoritmo eletrônico de cálculo aplicável em alguns *softwares*, dentre os quais, o *Excel©*. Caso o algoritmo, em função de suas limitações, não seja capaz de efetuar o cálculo, poderão ser utilizadas ferramentas de Cálculo Diferencial e Integral e Cálculo Numérico. Estas ferramentas, por sua vez, serão aplicadas mesmo que o algoritmo consiga apresentar uma resolução, pois fornecem resultados ainda mais refinados para o cálculo da função.

Atualmente, o método empregado para determinação do lote de produção é meramente dedutivo e empírico, fundamentado na experiência dos gestores. Todavia, nem sempre a decisão tomada é economicamente viável para a empresa.

Tendo em vista que o objetivo geral do trabalho é bastante amplo e relativamente complexo, se faz necessário determinar etapas pontuais a serem executadas para a construção do resultado como um todo. Dessa forma, foram estabelecidos os Objetivos Específicos que, além de apresentar claramente as etapas a serem realizadas, facilitam a gestão do desenvolvimento do trabalho. Estes objetivos são listados por:

a) entender o processo produtivo do setor Fundição de Alumínio da FJA;
b) analisar o método utilizado para programação da produção nesse setor;
c) coletar os dados utilizados para a programação da produção;
d) identificar as restrições do processo produtivo estudado;
e) calcular o Custo de Produção da Demanda Diária atual;

f) elaborar um modelo matemático para descrever o problema e concluir se a função é linear ou não linear;

g) efetuar o cálculo do LEP através de Pesquisa Operacional;

h) refinar o resultado com Cálculo Numérico e Cálculo Diferencial e Integral;

I) concluir se o resultado reduzirá o Custo de Produção da Demanda Diária.

2. DESENVOLVIMENTO

É possível classificar a pesquisa em estudo neste trabalho de caráter científico, já que se propõe desenvolver um modelo de decisão a ser aplicado na organização em estudo.

Quanto aos objetivos gerais, estes são caracterizados como sendo de pesquisa exploratória, já que a finalidade é explorar as variáveis determinantes do valor do custo de produção da demanda diária e identificar a variável que mais impactante nesse custo. As variáveis de tomada de decisão são as de *set up* e a área fabril, ou seja, a área para armazenagem.

O procedimento técnico mais adequado tem caráter de pesquisa experimental por envolver modelagem e simulação e tratando de uma pesquisa operacional que definirá um modelo para a situação em questão, já descrita anteriormente. Sugere-se uma abordagem quantitativa, pois a problemática envolve análise matemática, na qual os dados e resultados podem ser traduzidos em números e estes podem ser analisados.

Quanto ao método, o mais adequado é o Hipotético Dedutivo, pois consiste na formulação das hipóteses para as dificuldades inerentes aos problemas. Assim, a partir das hipóteses formuladas, deduzem-se as consequências a serem falseadas. Será verdadeira a hipótese que não conseguir ser derrubada por meios de tentativas de falseamento.

Partindo do raciocínio de que cada lote representa uma fração da demanda a ser produzida, quanto menor a fração maior será a quantidade de vezes que essa fração deverá ser repetida ao longo de um período de tempo. Entre uma fração e outra há a necessidade de intervenções na máquina a fim de prepará-la para produzir o lote de um produto diferente. A esse procedimento de intervenção denomina-se *set up* e quanto maior a quantidade de *set up's* realizados maior a taxa de indisponibilidade da máquina.

Porém, frações menores do lote de produção significam estoques mais compactos, reduzidos. Tendo em vista que para a manutenção de estoques são necessários alguns recursos básicos, tais como, contenedores para armazenagem dos produtos, estantes (ou dispositivos similares) para alocação dos contenedores, e área

fabril para alocação das estantes, quanto menor os níveis de estoque menor será a necessidade de investimento nesses recursos básicos.

Como visto, nota-se que há um dilema entre produzir lotes grandes, que resultam em menos intervenções na máquina, ou lotes menores que, por sua vez, acarretam em menor custo com recursos para manutenção de estoque.

Para conhecer um pouco mais sobre o setor Fundição de Alumínio da FJA, foi solicitada através de e-mail uma autorização da empresa, a qual exigiu respeito à proteção dos dados, sobretudo dos custos da demanda diária de produção. Em função disso, os valores que serão apresentados neste trabalho foram manipulados a fim de resguardar o sigilo dessa informação. Foi mantida, no entanto, a proporcionalidade dos valores a fim de se obter um resultado percentual equivalente ao real.

Foram registrados quantos modelos eram produzidos do produto principal e qual a sua demanda diária. Com essas informações em mãos o trabalho de pesquisa teve continuidade visando à definição do tema. Sabia-se que o problema de estoque podia ser considerado relevante, pois o custo para manutenção de estoques aumenta à medida que os estoques aumentam.

Observou-se que a programação da produção para o setor de Fundição determinava que a demanda diária de cada modelo de produto fosse atendida de uma só vez, ou seja, somente após a conclusão do processamento de todos os pedidos de cada modelo é que se iniciaria a fabricação do modelo subsequente de produto.

Pesquisando a literatura na área de Planejamento e Controle de Produção (PCP), foi encontrada uma fórmula para se calcular o lote ideal de produção, mas esta não levava em conta a estratificação dos custos de produção, ou seja, como existem muitas variáveis que impactam diretamente no custo de produção, não seria possível incluir todos os dados envolvidos na formação do custo. Outra limitação dessa fórmula foi a impossibilidade de contemplar todas as restrições do problema, que são determinantes para a obtenção do resultado.

Os conceitos de Pesquisa Operacional, no entanto, foram aceitos por terem sido considerados aplicáveis ao tipo de abordagem proposta para a resolução do problema, pois abrangem critérios para otimização e maximização de produção, problemas de transporte, dentre outros. O mais importante, contudo, é que essa ciência leva em consideração as restrições mais interferentes ao resultado final.

As restrições identificadas no processo foram definidas por:

a) tempo de processamento do lote;

b) tempo de preparação do equipamento;

c) tempo de manutenção do ferramental;
d) tempo diário total disponível para o trabalho;
e) demanda diária de produção;
f) tempo de set up;
g) número mínimo de set up's;
h) número máximo de set up's.

Dentro da Pesquisa Operacional existem vários métodos de resolução de problemas que podem e devem ser aplicados de acordo com o tipo de abordagem pretendida. Fazendo uma análise comparativa dos métodos decidiu-se inicialmente tentar aplicar a técnica de Programação Linear para resolver esse problema, pois nesse método é preciso descrever o problema em forma de uma função objetiva e de um conjunto de restrições, todas lineares. No entanto, descobriu-se que a complexidade se torna maior para se resolver uma função quando se tem um termo não linear na função objetivo, como ocorre nesse caso.

Sendo assim, optou-se por um método secundário – a Programação Não Linear (PNL) por ser o mais adequado.

A PNL sugere que a montagem do problema construa-se com base em três focos principais:

a) descrição dos objetivos do trabalho;
b) identificação das alternativas de decisão possíveis;
c) reconhecimento das restrições, exigências, limitações do sistema.

O próximo passo foi a construção de uma modelagem matemática, que tem a função de expressar os custos relacionados à produção de lotes baseados nas demandas de produção diária. Sabe-se que o custo total da demanda diária de produção da máquina estudada é a somatória dos custos dos quatro lotes de produtos processados nessa máquina. Esse custo, portanto, é obtido em função do tamanho do lote praticado e, assim sendo, obtiveram-se as seguintes hipóteses:

a) se forem produzidos grandes lotes, então pode ser que o custo com preparação de máquina e manutenção de ferramental seja reduzido;
b) contudo, se forem produzidos lotes menores, então o custo com área fabril para armazenamento de estoque é que será reduzido.

Com base nestas hipóteses, as variáveis de decisão são:

a) o tamanho da área fabril utilizada para estocagem dos componentes;
b) a quantidade de preparação de máquinas, denominada por *set up*.

Constatou-se que a demanda diária para a máquina estudada é de 2000 peças, divididas em 4 modelos cuja demanda diária individual é de 500 peças e o tempo total disponível por dia é de 20 horas. Sabe-se que o tempo de ciclo para cada produto é de 20 segundos, logo, são necessárias 11,1 horas para o atendimento da demanda diária. Porém, é necessário um procedimento de *set up* entre cada um dos modelos de peças. Esse procedimento tem duração de 30 minutos, o que quer dizer que são dedicadas no mínimo 2 horas por dia para realização dos *set up´s*.

A cada *set up*, o ferramental da máquina é encaminhado ao respectivo setor de manutenção para os devidos reparos e ajustes, e esse trabalho tem duração de 3 horas, ou seja, cada ferramental ficará indisponível pelo período de 3 horas até voltar à produção normal.

As restrições de não negatividade sugerem que as quantidades a serem produzidas de cada produto não podem ser negativas.

Num primeiro momento, alguns custos tais como água, energia elétrica e custo de matéria prima pareceram ser variáveis, porém foram considerados fixos, pois representam os custos para fabricação da demanda diária de produção conhecida, que é fixa. Assim, foi possível deduzir os custos unitários destas variáveis, como pode ser observado nas tabelas 2 e 3.

TABELA 1 – CUSTO FIXO POR UNIDADE DE PEÇA.

Custo fixo	**Valor**	
Água	R$	0,05
Mão de Obra Produção	R$	0,06
Energia Elétrica	R$	0,20
Matéria Prima	R$	3,00
Total unidade	**R$**	**3,31**

FONTE: OS AUTORES (2014)

Quanto aos custos variáveis, o principal deles compreende a utilização da área fabril. Sabe-se que o número de *set up's* realizados é inversamente proporcional a utilização da área fabril, pois quanto mais eles ocorrem menores serão os estoques. Como dito, o *set up* trás consigo o custo de manutenção do ferramental e a maior parte deste custo diz respeito despesa com mão-de-obra.

Já o custo com contenedores para armazenagem dos estoques pode ser distribuído em números de peças estocadas, variando conforme o tamanho do lote.

O mesmo acontece com o *Flow Rack*, que são dispositivos de armazenagem de caixas e contenedores. Existe também um custo de preparação que pode também ser chamado de custo da indisponibilidade da máquina.

Com essas informações, foi elaborada a tabela 3, representando os custos variáveis do setor de fundição.

TABELA 2 – CUSTOS VARIÁVEIS POR UNIDADE DE PEÇA.

Custo variáveis	Valor
Área Fabril/peça	R$ 3,00
Manutenção molde/*set up*	R$ 210,00
Contenedor/peça	R$ 0,00002
Flow Rack/peça	R$ 0,00260
Custo de preparação/*set up*	R$ 100,00

FONTE: OS AUTORES (2014).

Analisando e organizando os dados das tabelas 2 e 3 foi possível elaborar uma planilha dos custos de produção em função do lote praticado, conforme representa a tabela 4.

TABELA 3 – CUSTO DE PRODUÇÃO DA DEMANDA DIÁRIA.

Lote	*Set up's*	Custo *Flow Rack*	Custo Área Fabril	Custo Manutenção	Custo Preparação	Custos Fixos	Custo de Produção Demanda Diária
100	20	R$ 1,04	R$ 1.200,00	R$ 4.200,00	R$ 2.000,00	R$ 6.620,00	R$ 14020,00
150	13	R$ 1,56	R$ 1.800,00	R$ 2.730,00	R$ 1.300,00	R$ 6.620,00	R$ 12450,00
200	10	R$ 2,08	R$ 2.400,00	R$ 2.100,00	R$ 1.000,00	R$ 6.620,00	R$ 12120,00
250	8	R$ 2,60	R$ 3.000,00	R$ 1.680,00	R$ 800,00	R$ 6.620,00	R$ 12100,00
300	6	R$ 3,13	R$ 3.600,00	R$ 1.260,00	R$ 600,00	R$ 6.620,00	R$ 12080,00
350	5	R$ 3,65	R$ 4.200,00	R$ 1.050,00	R$ 500,00	R$ 6.620,00	R$ 12370,00
400	5	R$ 4,17	R$ 4.800,00	R$ 1.050,00	R$ 500,00	R$ 6.620,00	R$ 12970,00
450	4	R$ 4,69	R$ 5.400,00	R$ 840,00	R$ 400,00	R$ 6.620,00	R$ 13260,00
500	4	R$ 5,21	R$ 6.000,00	R$ 840,00	R$ 400,00	R$ 6.620,00	R$ 13870,00

FONTE: OS AUTORES (2014).

Observados os custos de produção de cada lote, notou-se que nos lotes entre 200 e 300 peças se encontram os menores custos de produção, mas para saber justamente qual o lote que trás o menor custo é preciso trabalhar entre esses lotes de menor custo e usar da técnica matemática de interpolação.

A interpolação é amplamente utilizada em casos onde se tem apenas um conjunto de valores tabelados obtidos através de experimentos como neste em estudo.

Essa técnica permite o uso matemático para solução do problema uma vez que ela aproxima o nosso custo de produção para o menor possível.

Com base nas informações apresentadas na tabela 4 formulou-se uma função custo de produção utilizando a técnica de interpolação.

A função é dada por:

$$C(X) = 1{,}70993.10^{-26}X^8 + 9{,}93651.10^{-13}X^7 - 7{,}71556.10^{-10}X^6 + 6{,}14489.10^{-7}X^5 - 2{,}54889.10^{-4}X^4 + 5{,}84005.10^{-2}X^3 - 7{,}107955555X^2 + 379{,}862328X + 8790, \quad (1)$$

onde:

a) **C** é a representação do custo total da produção e é dado em Reais;

b) **X** representa o tamanho do lote de cada modelo e é dado em peças.

Correlacionando as duas variáveis a fim de se obter uma curva para representar esse fenômeno, pôde-se observar através do gráfico 1 que, à medida que o tamanho do lote aumenta, o custo de produção apresenta tendência inversa até que, em dado momento, a curva da função custo começa a subir. Isso significa que, nessa região de inversão da curva do gráfico existem pontos críticos.

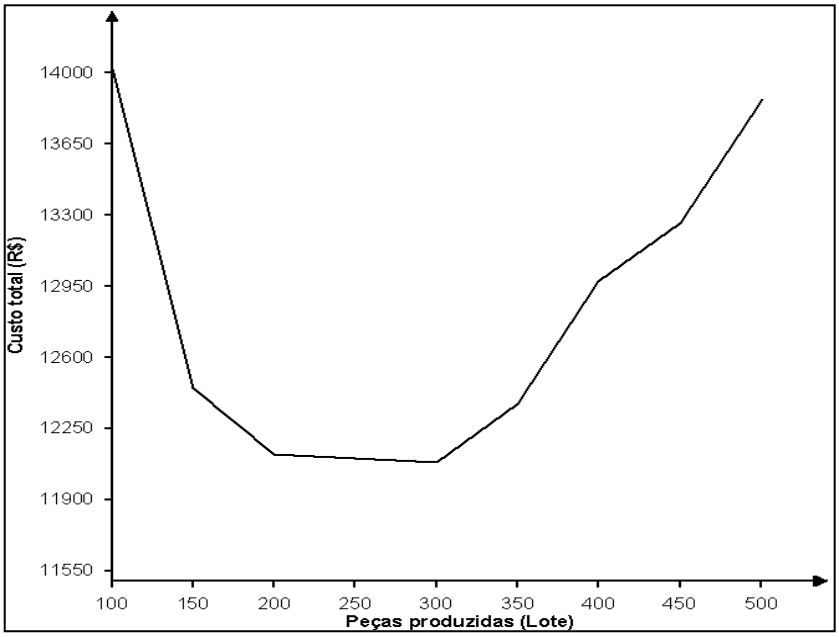


GRÁFICO 1- CUSTO DE PRODUÇÃO DA DEMANDA DIARIA.
FONTE: OS AUTORES (2014).

Organizou-se, então, a tabela 5 para interpretar o comportamento dos custos de acordo com a função objetiva, denotada pela Equação 1, e também para conhecer os

dados para análise do ajuste de curvas, com a finalidade de confrontá-la com a curva do custo resultante do método empírico.

TABELA 4 – CUSTO DA FUNÇÃO OBJETIVA.

LOTE	Função objetiva (equação 1)	
100	R$	14.021,04
150	R$	12.451,56
200	R$	12.122,08
250	R$	12.102,61
300	R$	12.083,13
350	R$	12.373,65
400	R$	12.974,17
450	R$	13.264,69
500	R$	13.865,21

FONTE: OS AUTORES (2014).

Através dos dados obtidos na tabela 5 foi possível obter uma curva interpoladora representada no gráfico 2, que apresenta a comparação entre a curva interpoladora e os dados medidos. Esta curva representa o comportamento da função objetiva no intervalo avaliado neste trabalho, na qual a Série Empírica está relacionada à tabela 4, e a série Cálculo Numérico está relacionada à tabela 5, ou seja, a função objetivo representa de modo satisfatório os custos de produção diários.

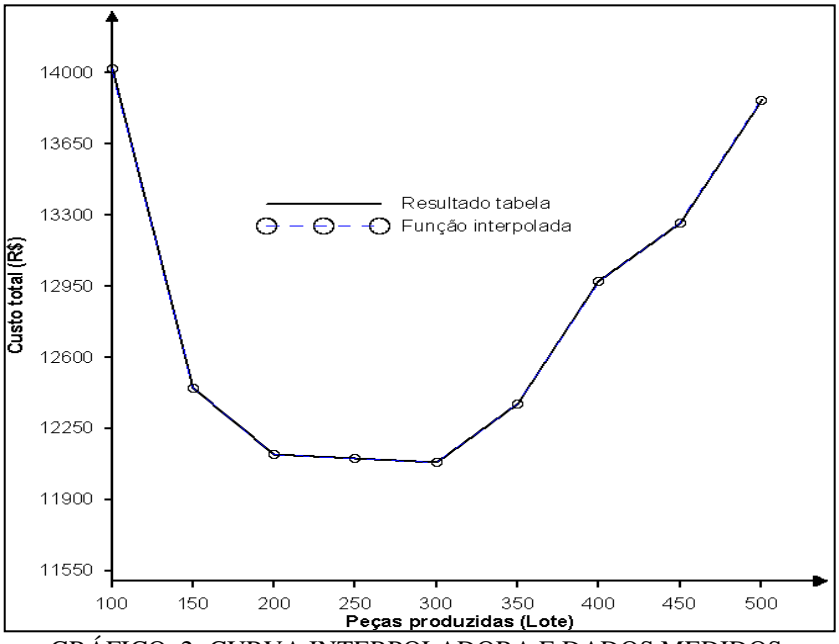


GRÁFICO 2- CURVA INTERPOLADORA E DADOS MEDIDOS.
FONTE: OS AUTORES (2014).

Com a função objetiva conhecida é necessário determinar o ponto de mínimo desta função. Esta é dada pela derivada da função. (LEITHOLD, 1994), e é apresentada na Equação 2.

$$C'(X) = 1{,}367944.10^{-25}X^7 + 2{,}755557.10^{-12}X^6 - 4{,}629336.10^{-9}X^5 + 3{,}072445.10^{-6}X^4 - 1{,}019556.10^{-3}X^3 + 1{,}752015.10^{-1}X^2 - 14{,}21591111X + 379{,}862328, \quad (2)$$

Utilizando o *software Microsoft Mathematics©*, foi resolvida a equação 2, para a qual obteve-se o resultado de X≈286. Este resultado indica um ponto crítico da função. Para saber se este ponto é de máximo ou mínimo, é realizado um teste da derivada segunda sobre a função objetivo. O resultado é apresentado na Equação 3.

$$C''(X) = 9{,}575608.10^{-25}X^6 + 1{,}6533342.10^{-11}X^5 - 2{,}314668.10^{-8}X^4 + 1{,}228978.10^{-5}X^3 - 3{,}058668.10^{-3}X^2 + 3{,}50403336.10^{-1}X - 14{,}21591111, \quad (3)$$

Fazendo o teste da derivada segunda (LEITHOLD, 1994) sobre a equação 3, foi encontrado um valor de 0,089 que comprovará que este é um ponto de mínimo da função, ou seja, se forem produzidos lotes de 286 peças, o custo de produção da demanda diária será o menor possível.

O custo da demanda diária de produção, representado pelas colunas verdes do Gráfico 3, varia de acordo com o tamanho do lote de produção praticado e é expresso em reais. Analisando o gráfico conclui-se que utilizando o lote proposto pelo método científico, é que é de 286 peças, pode-se obter uma redução no custo analisado na ordem de 12,92%.

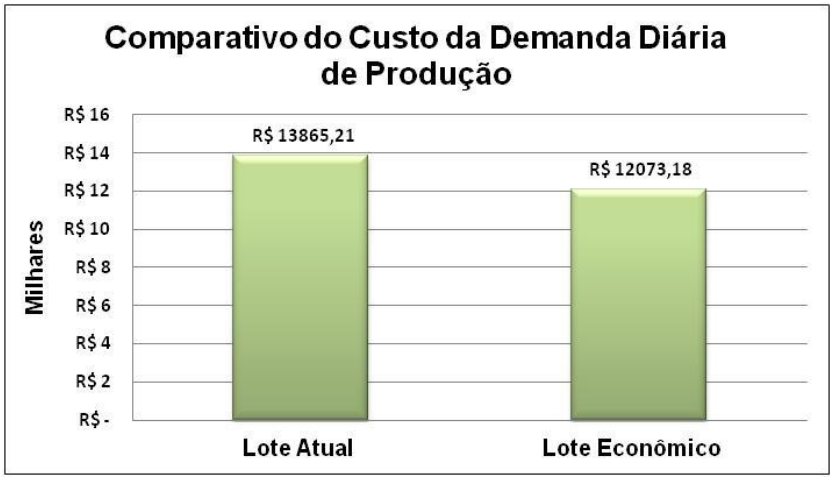


GRÁFICO 3- COMPARATIVO DO CUSTO DA DEMANDA DIÁRIA DE PRODUÇÃO.
FONTE: OS AUTORES (2014).

O gráfico 4 apresenta uma comparação parecida com a mostrada anteriormente, porém, desta vez, compara-se o lote atual com o lote econômico ajustado.



GRÁFICO 4- CURVA INTERPOLADORA E DADOS MEDIDOS.
FONTE: OS AUTORES (2014).

Este ajuste do lote econômico se faz necessário pelo fato de que dois lotes de 286 peças atendem a demanda diária, mas acarretam em sobra de 72 peças por dia. Em contrapartida, se o lote praticado for de 250 peças, a demanda diária de produção também será atendida, mas sem que haja sobra de peças. Nota-se que o custo demanda diária de produção mesmo para o lote de 250 peças também é mais vantajoso que para o lote de 500 peças.

Assim sendo, concluiu-se que um lote de 250 peças é o recomendado para ser colocado em prática e, através da Tabela 6, verificou-se que todas as restrições foram atendidas com a prática desse lote.

TABELA 5 – RESTRIÇÕES PARA LOTE ECONÔMICO DE PRODUÇÃO.

DESCRIÇÃO	RESTRIÇÃO	PROPOSTA	ANÁLISE
Tempo de processamento do lote	<6800 segundos	5000 segundos	Atende
Tempo diário total disponível para o trabalho	>54400 segundos	61200 segundos	Atende
Tempo de preparação do equipamento/dia	<21200 segundos	14400 segundos	Atende
Tempo de manutenção do ferramental/lote	<6800 segundos	5400 segundos	Atende
Demanda diária de produção	= 2000 peças	2000 peças	Atende
Tempo de set up para lote de 250 peças	<2650 segundos	1800 segundos	Atende
Número mínimo de set up's	>4 set up's	8 set up's	Atende
Número máximo de set up's	<11 set up's	8 set up's	Atende

FONTE: OS AUTORES (2014).

3. CONCLUSÃO

Na formação de um engenheiro de produção o trabalho de conclusão de curso tem papel relevante, pois permite a integração dos conhecimentos adquiridos na graduação com a vivência prática no ambiente de trabalho. E essa experiência ganha especial conotação quando se leva em conta que muitas empresas brasileiras abordam seus problemas através de métodos empíricos que, embora também tenham sua validade, nem sempre propiciam os melhores resultados.

Utilizando conceitos matemáticos relativamente simples, este trabalho de pesquisa apresentou uma alternativa científica para solucionar um problema e consequentemente obter ganhos financeiros no processo de produção industrial, o que corrobora a importância do engenheiro de produção para contribuir com o aumento do nível de competitividade das organizações.

Com a elaboração e resolução de um modelamento matemático através de Pesquisa Operacional, Cálculo Numérico e Cálculo Diferencial e Integral obtiveram-se os valores do Lote Econômico de Produção e o Custo de Produção da Demanda Diária resultante da aplicação do referido lote.

Em função do tempo disponível esta pesquisa limitou-se ao estudo do processo de uma das máquinas da empresa. Sugere-se que futuros trabalho acerca deste tema ampliem a abordagem para os demais setores e processos e incluam mais variáveis que permitam uma análise mais aprofundada e resultados ainda mais refinados.

É importante alertar que, pela dinâmica de trabalho do setor de produção industrial, por melhor que seja o método proposto, se este não for de fácil entendimento e aplicação dificilmente será posto em prática. Ou seja, entre um método científico complexo de máxima eficiência e um método científico elementar de média eficiência, é mais provável que o gestor do processo produtivo opte pela segunda alternativa em função do custo benefício.

4. REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
_____. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 4. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ANTON, H.; RORRES, C. **Álgebra Linear com Aplicações.** Porto Alegre: Bookmann, 2001.

BUNGE, M. **Epistemologia.** São Paulo: T.A. Queiros/Edusp, 1980

CAIXETA-FILHO, J. V. **Técnicas de Otimização Aplicadas à Sistemas Agroindustriais.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

CLÁUDIO. D. M.; MARINS. J. M. **Cálculo Numérico Computacional: teoria e prática**. São Paulo: Saraiva. 2009.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e de Operações.** 1. ed. São Paulo: Atlas 2011

DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais.** 5. ed. São Paulo : Atlas, 2010.

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
_____. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões.** 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LEITHOLD, L. **Cálculo com Geometria Analítica.** 3 ed. São Paulo: Harbra, 1994.

MARTINS, P. G.; CAMPOS ALT, P. R. **Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais.** 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
_____.**Administração da Produção.** 1 ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

MOREIRA, D.A. **Administração da Produção e Operações.** 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PASSOS, E. J. P. F. dos. **Programação Linear Como Instrumento da Pesquisa Operacional**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PUCCINI, A.L. **Introdução à Programação Linear.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

SILVA, E.M.; SILVA, E.M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional: Programação Linear.** 3 Ed. São Paulo:Atlas, 1998.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção.** 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

KMIT, W.. **Maximização do Resultado na Indústria de Laticínios:** através da otimização do mix de produção com a utilização das UEPs como fator de limitação da margem de contribuição. Tese de M. Sc., Florianópolis, SC, 2004.

http://www.professores.uff.br/diomar_cesar_lobao/material/Metodos_Numericos/UFF_Metodos_Numericos.pdf [ACESSADO EM 3/11/2014. 21:51 HORAS].

http://www.microsoft.com/pt-br/download/details.aspx?id=15702