

**APRESENTAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO DA  
PESQUISA OPERACIONAL PARA REDUÇÃO  
DOS GARGALOS DE UM PROCESSO  
PRODUTIVO EM ESTUDO DE CASO NO  
SETOR AUTOMOBILÍSTICO**

---

**Prof.Me Celso Jacubavicius**

**Marcia da Silva Santos**

*Fatec Guarulhos*

FATEC Sebrae – Faculdade de Tecnologia  
Sebrae - CEETEPS – Centro Estadual de  
Educação Tecnológica Paula Souza – São  
Paulo, Brasil.

**Revista FATEC Sebrae em debate  
gestão, tecnologias e negócios**

**Editor Geral**

Prof. Dr. Mário Pereira Roque Filho

**Organização e Gestão**

Prof. Ms. Clayton Pedro Capellari

**Correspondência**

Alameda Nothmann, nº 598 Campos Eliseos,  
CEP 01216-000 São Paulo – SP, Brasil.  
+55 (11) 3224.0889 ramal: 218

**Resumo**

O objetivo deste estudo consiste em apresentar e descrever o funcionamento do processo produtivo de uma empresa do setor automobilístico, apresentando o cenário atual de uma de suas linhas produtivas e identificando possíveis gargalos de tal processo, de modo a buscar a minimização de tais gargalos e a consequente maximização dos lucros através da aplicação da pesquisa operacional e da otimização da capacidade produtiva. O estudo irá, em um primeiro momento, levantar o estado da arte quanto aos assuntos abordados, apresentando um referencial teórico, de forma que em sequência serão demonstrados dados coletados na empresa foco para por fim, apresentar a aplicação da pesquisa operacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Através deste estudo, comprovou-se que a aplicação da pesquisa operacional e da programação linear é viável no que se refere à problemas de escalas produtivas é viável, visto que tal aplicação proporcionou aos autores uma análise adequada dos dados, gerando assim uma possível otimização do processo produtivo, que reduziria a ociosidade da linha de manufatura em aproximadamente 17%, e consequentemente aumentando os lucros em mais de R\$ 2.600.000,00.

**Palavras-Chave:** Pesquisa Operacional, Programação Linear, Otimização, Capacidade produtiva.

---

## **Abstract**

The aim of this study is to present and describe the operation of the production process in an automobile company, showing the current situation of one of its production lines and identifying potential bottlenecks in this process, in order to seek to minimize the bottlenecks found and consequently the maximization profits through the application of operations research and optimization of production capacity. The study will, at first, lifting the state of the art regarding the issues addressed by presenting a theoretical framework, so that in sequence will be demonstrated data collected in focus now, to finally present the application of operations research as a tool decision-making to. Through this study, it was shown that the application of operational and linear programming research is feasible with regard to the production scales of problems is feasible, as this application has given the authors an appropriate analysis of data, thus generating a possible optimization production process, which would reduce the idleness of the manufacturing line in approximately 17%, and consequently increasing profits by more than R \$ 2,600,000.00.

**Keywords:** Operational Research, Linear Programming, Optimization, productive capacity.

## **Introdução**

O cenário econômico do país enfrenta um momento de incertezas financeiras e constante fuga de investimentos, situação que exige dos gestores o desenvolvimento de estratégias que possam combater os custos, de forma a eliminar aqueles que são desnecessários e reduzir ao máximo os que não podem ser extintos por completo.

A competitividade instalada no mercado também é fator que contribui para que as empresas se preocupem com processos produtivos, serviços e o produto propriamente dito. O grau de exigência cada vez maior por parte dos clientes, juntamente com as

tecnologias e ferramentas já existentes para quantificações, obrigam as companhias a arcarem com maiores investimentos em busca de maneiras, processos e filosofias que possam agregar valores.

Considerando o já citado grau de cobrança da demanda, além insuficiência das ofertas, a pesquisa operacional pode se tornar uma ferramenta fundamental para a tomada de decisões, visto que de forma objetiva permite, através da utilização de modelos matemáticos, que se trabalhe o aperfeiçoamento de processos, diminuição de custos e a expansão de lucros no tocante aos mais diversos segmentos de atuação.

A presente pesquisa analisará a cadeia produtiva de uma empresa fabricante de rodas automotivas, buscando descrever o funcionamento deste sistema de produção, além de analisar os atuais resultados advindos destes processos, podendo então apresentar possíveis otimizações e melhorias.

#### **Justificativa:**

Conforme os dados coletados na empresa estudada, há uma ociosidade média de 24% do tempo disponível para produção, valor que compromete a eficiência da linha além de, em decorrência disto, afetar a obtenção de lucros.

#### **Problema:**

A utilização incorreta de recursos no dimensionamento da capacidade produtiva pode afetar a geração de lucros de uma empresa, à medida que esta irá concentrar investimentos desequilibrados gerando ociosidade e impossibilitando uma melhor eficiência da produção.

#### **Hipóteses:**

É possível oferecer margens de dimensionamento quanto à utilização de recursos, combate a ociosidade e conseqüentemente geração de lucros, através do uso de técnicas de pesquisa operacional.

## **Objetivo geral:**

Avaliar o processo produtivo de uma empresa atuante no setor automobilístico, de forma a demonstrar qual é a solução ótima no tocante ao mix de produção ideal através da utilização mais adequada de recursos.

## **Método:**

Esta é uma pesquisa quantitativa, pois utilizará dados numéricos de uma empresa, de caráter exploratório, pois não resultará em envolvimento direto com o processo, apresentando apenas uma sugestão ao mesmo. O estudo irá, em um primeiro momento, levantar o estado da arte quanto aos assuntos abordados, a fim de elucidar o leitor sobre o tema, de forma que em sequência serão demonstrados dados coletados na empresa foco, para por fim apresentar a aplicação da técnica utilizada.

## **Fundamentação teórica**

### **Pesquisa Operacional**

Originalmente utilizada nas guerras pelo militarismo, conforme Tiari e Sandilya (2006), a técnica quantitativa servia para otimizar a utilização recursos quando escassos. Após sucesso no cenário militar, a técnica começa a ser utilizada nas áreas de transporte, médica e de telecomunicações. Com a percepção mais apurada, os gestores começam a expandir a utilização da ferramenta ao meio industrial, segundo Araújo (2009) a técnica está em ascensão, visto que com o passar do tempo cada vez mais áreas encontram uma maneira de utiliza-la.

A pesquisa operacional é considerada, nos dias de hoje, uma ferramenta quantitativa utilizada pelas empresas fundamentalmente para a resolução de problemas nos mais distintos segmentos de atuação, conforme Moreira (2010, p.3) “A pesquisa Operacional lida com problemas de como conduzir e coordenar certas operações em uma organização, e tem sido aplicada a diversas áreas, tais como indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos, operações militares etc.”.

Apesar de ter sua aplicação mais comumente encontrada nas áreas operacionais, pode-se notar que tal utilização é real nos mais diversos cenários, o que demonstra a flexibilidade da técnica, adaptável a quaisquer tipos de situações, desde que hajam dados numéricos sobre o determinado processo.

É possível ainda definir pesquisa operacional segundo Arenales et. Al (2007), como “ a aplicação de métodos científicos a problemas, complexos para auxiliar no processo de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos”.

Uma das maneiras de se aplicar a pesquisa operacional é por meio da programação linear.

“A programação linear é um dos mais importantes instrumentos do campo de pesquisa operacional, é a área de conhecimento que fornece um conjunto de procedimentos voltados para tratar problemas que envolvem a escassez de recursos. São passíveis de solução com o emprego de PL o problema no qual se busca a melhor alocação de recursos, de forma a atingir determinado objetivo de otimização, atendendo as determinadas restrições. Essas limitações podem referir-se ao montante ou a forma de distribuição dos recursos.” (CORRAR; THEÓPHILO e BERGMANN et al.,2007)

## **Função Objetivo**

A função objetivo faz em sua formação uso de elementos variáveis de decisão, com intuito de elaborar o objetivo de maximização ou minimização do devido modelo matemático, de forma que tais variáveis já introduzidas no modelo em questão assumem incógnitas combinadas com valores de cada recurso a ser considerado.

Conforme Passos (2008, p.11) “Essa função mostra o que se quer otimizar, ou seja, como próprio nome diz, indica o objetivo que se quer atingir. Isto significa dizer que a função objetivo é composta pelas variáveis de decisão”.

O conceito do termo objetivo remete a fim que se deseja atingir, ou ainda meta que se pretende alcançar, ou seja, objetivos são os valores e/ou finalidades que uma empresa deseja cumprir, de forma a buscá-las em expectativas futuras.

Sob a visão de Moreira (2011, p.10) “Durante a formulação do problema, a combinação de variáveis a que se chega é colocada na forma de uma expressão matemática, que recebe o nome de função objetivo”.

## Estudo de caso

A empresa estudada, que por questões de confidencialidade será tratada neste estudo pelo nome fictício de MauBkt, é uma empresa multinacional que fabrica rodas para automotores nos segmentos de caminhão e veículos leves, de forma que no Brasil detém grande parte da representatividade de participação neste ramo de atuação.

Esta pesquisa irá delinear os processos produtivos de uma das células da MauBkt, que é responsável por produzir 8 modelos distintos, 2 deles detentores de grande potencial de venda, além de 6 produtos desenvolvidos para demandas específicas. Observa-se que, tais modelos específicos para serem aceitos pela MauBkt, são negociados com um pedido mínimo obrigatório para os próximos 12 meses.

A negociação dos 6 produtos direcionados à célula foco do estudo aconteceu em conjunto, de maneira que após 3 meses de operações nos formatos apresentados, a empresa conseguiu através de suas técnicas de dimensionamento de capacidade, uma média de lucros de R\$6.000.016,00

### **Capacidade de Produção**

A célula a se avaliar opera com duas linhas de produção diferentes, uma para o segmento caminhão e a outra para o segmento de veículos leves, de maneira que tais linhas apresentam mesmo processos: Aro, no qual modelam-se os aros, Disco, no qual processam-se os discos e Montagem, etapa de junção das duas peças que originam a roda. Para fabricação dos produtos, a empresa disponibilizou à linha de veículos leves um turno de operação de 8 horas, enquanto para a linha de caminhões, a empresa disponibilizou 2 turnos de operação também de 8 horas. As tabelas 1 e 2 a seguir, demonstrarão de maneira similar os tempos de cada processo além da capacidade mensal disponível para produção, de forma que para cada peça o tempo apresenta-se em minutos, bem como o tempo total disponível para a produção mensal.

**Tabela 1:** Tempos linha Caminhão e linha Passeio

LINHA CAMINHÃO				LINHA PASSEIO			
Processo/Tempo (min)	Disco	Aro	Monta	Processo/Tempo (min)	Disco	Aro	Monta
PRODUTO A	0,17	0,25	0,13	PRODUTO E	0,07	0,1	0,05
PRODUTO B	0,3	0,37	0,21	PRODUTO F	0,11	0,15	0,08
PRODUTO C	0,45	0,5	0,33	PRODUTO G	0,18	0,2	0,13

<b>PRODUTO D</b>	0,41	0,7	0,46	<b>PRODUTO H</b>	0,16	0,27	0,18
<b>Tempo Disponível/Mês</b>	23040	23040	23040	<b>Tempo Disponível/Mês</b>	11520	11520	11520

É necessário ressaltar que os processos apesar de iguais, apresentam peculiaridades devido as divergências de cada modelo, visto que o padrão de tamanho e peso serão diferentes entre as linhas de caminhões e de veículos leves, fator que influencia os tempos de processamentos dos produtos. Tais divergências também proporcionam variações quanto a custo e precificação, visto que cada produto utilizará quantidades diferentes de recursos como matéria-prima, tempo de ocupação das máquinas, embalagens e outros fatores. A tabela 2 a seguir, demonstra tais valores referentes aos modelos estudados:

**Tabela 2:** Preços e custos para os modelos de produtos

Produto	Preço	Custo	LINHA
A	R\$ 150,00	R\$ 115,00	CAMINHÃO
B	R\$ 180,00	R\$ 130,00	CAMINHÃO
C	R\$ 220,00	R\$ 155,00	CAMINHÃO
D	R\$ 290,00	R\$ 200,00	CAMINHÃO
E	R\$ 45,00	R\$ 15,00	PASSEIO
F	R\$ 65,00	R\$ 25,00	PASSEIO
G	R\$ 85,00	R\$ 30,00	PASSEIO
H	R\$ 120,00	R\$ 45,00	PASSEIO

Conforme descrito anteriormente, os produtos desenvolvidos para demandas específicas são negociados e possuem uma demanda mínima mensal, que será demonstradas na tabela 3 abaixo:

**Tabela 3:** Demandas fixas estabelecidas por questões contratuais

PRODUTO	DEMANDA MÍNIMA
B	10.000
C	9.000
D	8.000
F	13.500
G	15.000
H	18.000

É possível notar que os produtos A e E não possuem demandas mínimas e, ainda quanto a capacidade, através dos dados apresentados e do então layout produtivo, a

empresa detectava uma considerável média de ociosidade em alguns dos processos envolvidos nos sistema, conforme tabela 4 abaixo:

**Tabela 4: Média de Ociosidade por processo e segmento**

Processo/Segmento	Tempo Ocioso
Disco Caminhão	23,78%
Aro Caminhão	0,00%
Montagem Caminhão	38,55%
Disco Passeio	33,02%
Aro Passeio	6,82%
Montagem Passeio	41,51%
<b>MÉDIA</b>	<b>23,95%</b>

## Modelagem

Para facilitar a aplicação deste estudo e consequentemente alcance de seus objetivos, inicialmente será elaborado um modelo matemático que procure viabilizar os processos com base nas informações já apresentadas, de forma que em tal modelo, os produtos A,B,C,D,E,F,D e H serão representados respectivamente pelas variáveis  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  e  $x_8$ .

A partir de tais informações, é possível modelar a Função Objetivo que irá maximizar os lucros, ou seja, a somatória dos lucros totais de cada peça produzida e comercializada, representada pela fórmula abaixo:

$$Z(\text{max.}) = \sum \square (d_{ij} * v_{ij})$$

A partir da função objetivo, torna-se necessário incluir no modelo as variáveis que restringem o processo, ou seja, é necessário localizar o melhor mix de produtos que maximize os lucros, porém que respeite os limites da operação. Tendo isto, os fatores considerados para restrição do modelo foram: Tempo de utilização das máquinas, em função da disponibilidade total de cada uma; Demandas mínimas que cada produto apresentam, ou seja, a produção de cada item deve respeitar o mínimo definido para tal. (consultar tabela 4.)

## Modelagem

Com a definição da função objetivo, bem como das restrições do processo, pode-se realizar a aplicação do modelo. Neste estudo será utilizado o software LINDO. Na figura 1 pode-se observar a solução ótima sugerida pela aplicação deste método.

**Figura 1:** Resultados da aplicação no *software* LINDO

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      8

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
  1)    6304100.

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
  X1    36960.000000      0.000000
  X2    10000.000000      0.000000
  X3     9000.000000      0.000000
  X4     8000.000000      0.000000
  X5    16350.000000      0.000000
  X6    13500.000000      0.000000
  X7    15000.000000      0.000000
  X8    18000.000000      0.000000

ROW  SLACK OR SURPLUS  DUAL PRICES
  2)    6426.799805      0.000000
  3)     0.000000      140.000000
  4)    9485.200195      0.000000
  5)    3310.500000      0.000000
  6)     0.000000      300.000000
  7)    4432.500000      0.000000
  8)     0.000000     -1.800000
  9)     0.000000     -5.000000
 10)     0.000000     -8.000000
 11)     0.000000     -5.000000
 12)     0.000000     -5.000000
 13)     0.000000     -6.000000

NO. ITERATIONS=      8
  
```

As informações retornadas demonstram o lucro obtido com a otimização da produção, valor equivalente a R\$6.304.100,00, de forma que para a obtenção de tal retorno recomendou-se a manufatura das quantidades listadas na tabela 7:

**Tabela 7:** Dimensionamento da capacidade sugerida

PRODUTO	UNIDADES	LUCRO/UNIDADE	LUCRO TOTAL
A	36.960	R\$ 35,00	R\$ 1.293.600,00
B	10.000	R\$ 50,00	R\$ 500.000,00
C	9.000	R\$ 65,00	R\$ 585.000,00
D	8.000	R\$ 90,00	R\$ 720.000,00
E	16.350	R\$ 30,00	R\$ 490.500,00
F	13.500	R\$ 40,00	R\$ 540.000,00
G	15.000	R\$ 55,00	R\$ 825.000,00
H	18.000	R\$ 75,00	R\$ 1.350.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 6.304.100,00</b>

Observa-se que todas as restrições foram respeitadas, uma vez que todas as demandas mínimas foram mantidas e nenhuma capacidade disponível extrapolada, de forma que o modelo direcionou uma maior capacidade de produção para os produtos A e E, que possuem menor valor agregado e takt time, tornando sua produção mais viável. Os dois produtos representam em média 27,5% do lucro total.

Após a otimização também pode-se notar, através da tabela 8 a seguir, que a ociosidade média caiu em cerca de 1,2%, pois o modelo aplicado explorou melhor as capacidades direcionadas à obtenção do maior lucro possível, que neste caso significa aumento de 4,7%.

**Tabela 8:** Tempo Ocioso após otimização

Processo/Segmento	Tempo Ocioso
Disco Caminhão	27,89%
Aro Caminhão	0,00%
Montagem Caminhão	41,17%
Disco Passeio	28,74%
Aro Passeio	0,00%
Montagem Passeio	38,48%
<b>MÉDIA</b>	<b>22,71%</b>

### Proposta de melhoria

Foi avaliado através da aplicação do método escolhido, que os gargalos do sistema são os processos de montagem do aro, nas duas linhas de produção, ou seja, uma vez que estes processos forem otimizados, todos os outros desempenharão resultado mais eficiente.

Desta forma, foram analisadas 3 possibilidades para aperfeiçoar a eficiência de toda a célula, todas simulam que a empresa atue com turnos maiores para esta célula, hipótese que se faz possível uma vez que toda a empresa atua em 3 turnos.

A primeira possibilidade sugere o acréscimo de meio turno à operação da linha no segmento Caminhão, de forma que a simulação da operação seguindo a sugestão retorna ao seguinte resultados:

**Tabela 9:** Lucro Obtido através do aumento de capacidade na modelagem dos Aros da linha de caminhão.

Processo/Segmento	OTIMIZADO ARO CAMINHÃO
<b>Lucro</b>	<b>R\$ 7.110.500,00</b>
<b>Disco Caminhão</b>	10,89%
<b>Aro Caminhão</b>	0,00%
<b>Montagem Caminhão</b>	28,17%
<b>Disco Passeio</b>	28,74%
<b>Aro Passeio</b>	0,00%
<b>Montagem Passeio</b>	38,48%
<b>Ociosidade Média</b>	<b>17,71%</b>

Ao aumentar a capacidade produtiva de um dos gargalos, tornou-se possível reduzir 6,23% do tempo de ociosidade e aumentar 18,19% dos lucros.

A segunda possibilidade sugere o mesmo acréscimo de meio turno, porém agora para a linha de veículos leves, retornando os resultados abaixo:

**Tabela 10:** Lucro Obtido através do aumento de capacidade na modelagem dos Aros da linha de passeio.

Processo/Segmento	OTIMIZADO ARO PASSEIO
<b>Lucro</b>	<b>R\$ 7.882.824,14</b>
<b>Disco Caminhão</b>	27,89%
<b>Aro Caminhão</b>	0,00%
<b>Montagem Caminhão</b>	41,17%
<b>Disco Passeio</b>	0,00%
<b>Aro Passeio</b>	0,00%
<b>Montagem Passeio</b>	3,76%
<b>Ociosidade Média</b>	<b>12,14%</b>

Desta vez os resultados mais significantes, de maneira que se reduziu 11,81% no nível de ociosidade, além de aumentar em 31% o lucro da operação, também permitindo observar que neste caso o processo de Disco também se tornaria um gargalo.

Como os gargalos analisados estão situados em processos independentes, uma vez que se tratam de linhas diferentes de produção, redirecionou-se o modelo matemático novamente, porém os aumentos de capacidade produtiva foram simulados

simultaneamente, buscando assim a redução máxima da ociosidade da célula de produção analisada como um todo. Os resultados podem ser observados abaixo:

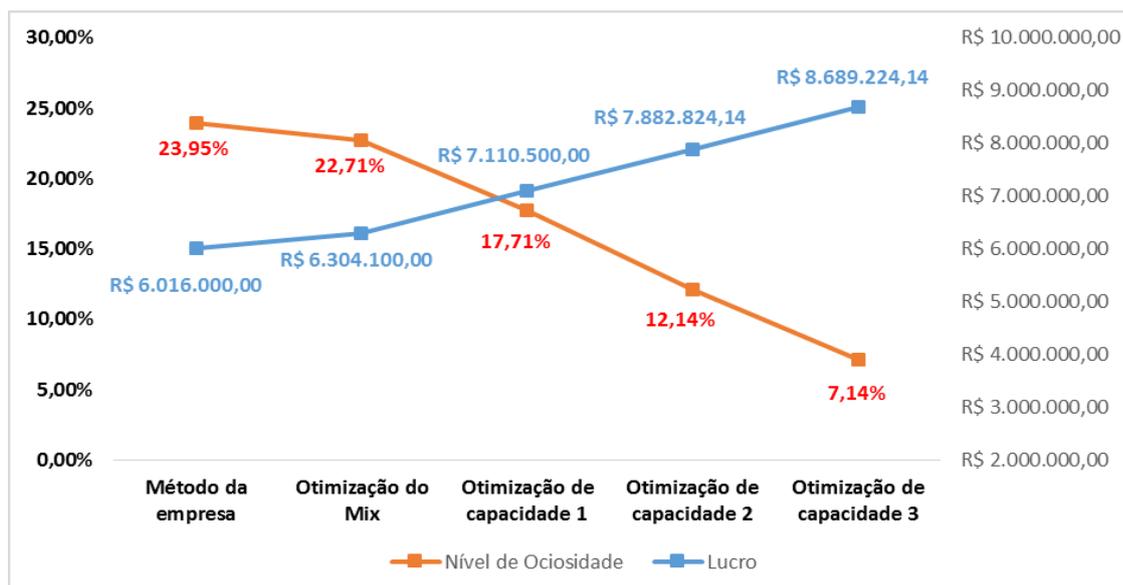
**Tabela 11:** Lucro Obtido através do aumento de capacidade na modelagem dos Aros nos dois segmentos produtivos.

Processo/Segmento	OTIMIZADO ARO PASSEIO E CAMINHÃO
<b>Lucro</b>	<b>R\$ 8.689.224,14</b>
<b>Disco Caminhão</b>	10,89%
<b>Aro Caminhão</b>	0,00%
<b>Montagem Caminhão</b>	28,17%
<b>Disco Passeio</b>	0,00%
<b>Aro Passeio</b>	0,00%
<b>Montagem Passeio</b>	3,76%
<b>Ociosidade Média</b>	<b>7,14%</b>

Após reaplicação da técnica simulando esta possibilidade, pode-se observar significativa alteração nos indicadores de desempenho de um processo produtivo, pois agora a ociosidade média é de 7%, além do lucro obtido que representa assíduo aumento.

Visando melhor demonstração dos resultados obtidos, apresenta-se na figura 2 a correlação da diminuição de ociosidade e seu impacto no aumento de lucro gerado:

**Figura 2:** Correlação entre ociosidade e lucro



## Considerações finais

Considerando a problemática apresentada no início deste estudo, bem como a difícil situação econômica do país, as empresas de um modo geral precisam desenvolver técnicas que possam tornar os produtos e os serviços oferecidos mais competitivos frente ao mercado, principalmente quanto ao custo e a sua relação com o valor agregado. A empresa foco deste estudo, uma das grandes representantes do segmento automobilístico no Brasil, precisa avaliar seus processos produtivos com frequência, objetivando torná-los cada vez mais viáveis de acordo com a oscilação das exigências de seus clientes.

A pesquisa operacional através da programação linear se mostra como alternativa para uma melhor avaliação e análise dos dados de uma empresa, de forma a evidenciar os números e possibilitar as análises de sensibilidade que podem levar a significativas otimizações nos processos produtivos. Este fato foi comprovado com a conclusão deste estudo, uma vez que um processo produtivo que possuía em média 24% de ociosidade, foi otimizado de maneira que alcançou uma redução máxima de aproximadamente 17% do tempo ocioso, alavancando os lucros obtidos por esta linha produtiva em R\$ 2.673.224,14.

A ociosidade do processo não era proveniente de uma falta de demanda, mas sim da má alocação dos recursos produtivos, fato este que gerou diversos gargalos que impediam a organização de obter maiores lucros. Cabe salientar que o resultado obtido se tornou possível não apenas pela aplicação da pesquisa operacional, mas também pela interpretação dos dados e diminuição dos gargalos, através do aumento de capacidade em pontos específicos da operação.

## Referências

ARAUJO, Marco Antonio. **Administração de produção e operações: uma abordagem prática**. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

CORRAR, Luiz J.;THEÓPHILO, Carlos Renato;BERGMANN, Daniel Reed. **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas,2007.

ARENALES, MARCOS; ARMENTANO, VINÍCIUS; MORABITO, REINALDO; YANASSE, HORACIO; **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**;Rio de Janeiro: Elsevier,2007.

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

TIWARI, Nirmal Kumar; SANDILYA, Shishir Kumar. **Operations Research**. New Delhi: Prentice-Hall, 2006.