

**OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS PUXADOS: ANÁLISE EM  
UMA FÁBRICA DE MÓVEIS DE AÇO  
OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN PULLEY SYSTEMS: ANALYSIS OF A  
STEEL FURNITURE FACTORY**

*Recebido: 24/02/2017 – Aprovado: 13/10/2017 – Publicado: 21/03/2018*

*Processo de Avaliação: Double Blind Review*

Angélica Pio da Silva<sup>1</sup>

Especialista em Logística pelo Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

Adriano Maniçoba da Silva<sup>2</sup>

Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo (USP)

Professor do Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

Luiz Teruo Kawamoto Jr.<sup>3</sup>

Doutor em Engenharia Biomédica pela Universidade Mogi das Cruzes (UMC)

Professor do Instituto Federal de São Paulo em Suzano (IFSP)

Enio Fernandes Rodrigues<sup>4</sup>

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista (UNIP)

Professor do Instituto Federal de São Paulo em Suzano (IFSP)

## **RESUMO**

Este estudo propõe uma sistemática de produção para uma empresa de forma a identificar níveis de produção que maximizem o uso de recursos. Para tanto, foi adotado um estudo de caso a fim de levantar as informações necessárias, descrever o problema de produção na forma de um modelo matemático e apontar resultados com a possibilidade de ganhos na produtividade e na rentabilidade. O presente estudo é um estudo de caso único, o qual

---

<sup>1</sup> Autor para correspondência: IFSP – Suzano – Instituto Federal de São Paulo (Suzano). Av. Mogi das Cruzes, 1501, Pq. Suzano. CEP 08673-010 – Suzano, SP, Brasil. E-mail: angelica-pio@hotmail.com

<sup>2</sup> Autor para correspondência: adriano\_m\_s@hotmail.com

<sup>3</sup> Autor para correspondência: luizteruo@hotmail.com

<sup>4</sup> Autor para correspondência: efr@uol.com.br



contemplará a análise da gestão da produção com foco na maximização dos resultados. A metodologia aplicada ao estudo conduzirá o levantamento bibliográfico de base de dados, mapeamento dos processos, levantamento dos dados pertinentes ao processo produtivo e simulação dos dados com foco na redução de tempo e maximização do lucro. Foram estruturados os dados e comparados com os dados de duas empresas do setor com similaridade de grupo de produtos para aferição da situação da empresa, para tal foi adotada a análise do plano de produção e a entrevista com os encarregados de produção e programadores de produção. O resultado mostrou um aumento de lucro.

**Palavras-chaves:** sistemas puxados; gestão da produção; logística.

#### **ABSTRACT**

This study proposes a systematic production method for a company in order to identify levels of production that maximize the use of its resources. For that, a case study was adopted in order to obtain the necessary information, to describe the production problem in the form of a mathematical model and to point out results with the possibility of gains in productivity and profitability. The present study is about a single case study, which will include the analysis of production management with a focus on maximizing results. The methodology applied to the study will lead to the bibliographic survey of database, process mapping, data collection pertinent to the production process and data simulation focusing on time reduction and profit maximization. Data were structured and compared with the data of two companies of the sector with similarity of product group to gauge the situation of the company, for this was adopted the analysis of the production plan and interview with the production managers and production programmers. The result showed an increase in profit.

**Key-words:** pulling systems; production management; logistics.



## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela maximização do resultado compreende umas das principais preocupações de grande parte das organizações. Contudo, diversos fatores influenciam esse processo podendo-se elencar desde o sistema de gestão, a tecnologia e o comprometimento dos envolvidos nas tarefas.

Melhores níveis de aproveitamento têm sido buscados em virtude da recente crise financeira de modo que os recursos precisam ser investidos de forma satisfatória. Nesse contexto, a adaptação dos processos internos, principalmente os mais atrelados ao principal centro de custo da empresa, pode ser uma forma eficaz de manter a empresa em atividade.

De acordo com Rangel et al. (2012), a globalização do mercado, o desenvolvimento tecnológico e a maior exigência dos consumidores em aspectos como custo e prazo obrigam as empresas a fazerem melhor uso de seus recursos e assim aumentar sua eficiência produtiva para que se mantenham de forma competitiva no mercado. Esse argumento vai de encontro ao de Schumacher (2001), pois as empresas e indústrias, para se tornarem eficazes e competitivas no mercado, necessitam utilizar de forma eficiente o controle de seus processos produtivos, posto que esse fator reflete diretamente no cliente e em suas demandas de qualidade, quantidade, custos, cumprimentos de prazos e segurança. Dessa maneira, otimizar o processo produtivo possibilita a alocação de tarefas e pedidos de modo a maximizar o resultado e reduzir as oscilações na produção, mesmo em momentos de pico de trabalho ou ausência de ordem de produção.

Enxugar processos implica esforço contínuo para alcançar o mínimo desperdício e o máximo fluxo produtivo. Isso requer alterações na cultura organizacional, que podem ser desencadeadas por uma mudança de mentalidade podendo iniciar no nível estratégico, devendo ser desdobrada e assimilada até o nível operacional (EVANGELISTA et al., 2013). Nesse contexto, a utilização de ferramentas computacionais que auxiliem a avaliar e compreender novos modelos operacionais podem auxiliar no processo de tomada de decisão.

Neste estudo evidencia-se a aplicação dessas ferramentas de pesquisa operacional, tal como a programação linear para modelagem e simulação da otimização do tempo de produção com o objetivo de verificar a possibilidade de atender um número

maior de clientes, sem a necessidade de aumento dos recursos financeiros, humanos e de máquinas empenhadas no processo.

Desse modo, o objetivo deste estudo é propor um modelo de produção para uma fábrica de móveis para escritórios confeccionados em aço, situada no estado de São Paulo. O trabalho foi dividido em quatro seções: a revisão da literatura enuncia os principais conceitos que envolvem o problema analisado; a seguir, na metodologia são apresentados os métodos do estudo, bem como a empresa objeto desta pesquisa; em seguida, são apresentados os resultados e a discussão e, por fim, as conclusões.

Novas tecnologias, se bem utilizadas, podem transformar o mundo em um lugar melhor. (CARVAJAL et al., 2015).

## **2. REVISÃO TEÓRICA**

A primeira parte da revisão teórica vai contextualizar as principais características dos sistemas puxados de produção. A seguir serão conceituados elementos importantes de pesquisa operacional, evidenciando assim o potencial da ferramenta de programação linear para o apoio à gestão da produção. Por fim, é realizada uma revisão sobre a aplicação da pesquisa operacional nos sistemas de produção puxado e no setor de móveis de aço.

### **2.1. SISTEMA DE PRODUÇÃO PUXADO**

O modelo de produção enxuta tem como base o Sistema Toyota de Produção (TPS). Desenvolvido a partir da década de 1940, o TPS foi concebido para se adequar a certas restrições de mercado, em função da baixa demanda que alguns produtos possuíam e exigiam a produção de pequenas quantidades de variedade maior de modelos, sendo este um dos desafios enfrentados pela indústria japonesa no período do pós-guerra.

Em um sistema de produção, o fluxo dos materiais e recursos, quando acumulado na forma de estoques entre os processos por causa dos tempos de espera, pode se tornar recursos ociosos, sendo fonte de desperdício, principalmente em sistemas de produção empurrado. Dessa maneira, o sistema de produção puxado tem como principal objetivo reduzir estoques e evitar produções excessivas, pois a produção somente é iniciada após a inclusão de um pedido em cada etapa da produção, tal como se pode verificar na Figura 1 (VOTTO; FERNANDES, 2014).



Figura 1 Representação da Produção Puxada.

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

O princípio básico de uma produção enxuta, podendo fazer uso do sistema puxado, é otimizar os processos de produção e reduzir os desperdícios, para que seja possível alcançar um grau de excelência operacional avançado e tornar a organização competitiva a partir do seu processo produtivo (PEDROSO et al., 2016)

Na concepção de Ohno (1997), o Takt Time, ou o tempo alocado para se produzir uma unidade pode ser calculado dividindo-se a quantidade de horas de operação diária da fábrica pela quantidade de unidades necessárias por dia. Este indicador auxilia o alcance e a sustentação dos princípios de fluxo contínuo e da produção puxada, sendo que o fluxo de valor pode ser estipulado e controlado por essa medida de desempenho. A próxima seção trata da pesquisa operacional.

## 2.2. PESQUISA OPERACIONAL

Para Caddah Neto (2004), a disseminação utilização da pesquisa operacional no âmbito da produção foi motivada por dois fatores a seguir: o aprimoramento das técnicas disponíveis através de ferramentas, como a programação linear e não linear, a teoria das filas, a programação dinâmica e a teoria dos jogos; a evolução da indústria de computadores, possibilitando o uso de softwares em grande escala e com um grau de precisão bastante elevado.

Ainda de acordo com o autor, as etapas para sua utilização consistem em:

- **Definição do problema:** inicia-se com a identificação clara do objetivo a ser alcançado, identificação das variáveis relevantes que estão envolvidas neste objetivo e das restrições e relações que estas variáveis são expostas.
- **Construção do modelo:** necessidade de demonstrar através de equações matemáticas os objetivos e as restrições do problema.
- **Obtenção da solução:** tem como meta encontrar uma solução ótima para o modelo construído, isto é, encontrar a melhor solução dentre todas as soluções viáveis.
- **Validação do modelo:** o modelo construído deve demonstrar a realidade observada, do contrário, a solução encontrada não será a solução ótima do problema.
- **Implementação da solução:** a solução encontrada servirá de orientação para a tomada de decisões dos gestores, não tendo obrigatoriamente de ser implementada.

Segundo Krause e Pessoa (2014), a demanda pelo aumento da eficiência e da produtividade na indústria tem sido melhorada para atender o consumidor com a melhor qualidade possível, com a implantação do controle de custos e a simulação de gastos computacionais.

Com relação às pesquisas já realizadas, de acordo Vago et al. (2013), há um grande número de periódicos nacionais e internacionais na área de engenharia de produção e pesquisa operacional, sendo que as etapas para a utilização da pesquisa operacional demonstram o nível analítico da operação e a possibilidade de compreender uma grande gama de atributos, posto que, se cada etapa for analisada e feita de forma detalhada, o objetivo será atingido na mesma magnitude.

De acordo com Yarmish et al (2014), a aplicação da pesquisa operacional e suas ferramentas nos empreendimentos financeiros e econômicos, tais como companhias de seguros, fundos mútuos, agricultores e companhias de navegação têm demonstrado sua importância. A técnica de otimização pode ser uma ferramenta importante para o sistema de informação de empresas e organizações que busquem a expansão e o crescimento operacional.

A utilização da pesquisa operacional tem tido respaldo no âmbito nacional, posto que, de acordo com Rodriguez et al (2013), existem no Brasil mais de 10 periódicos especializados em pesquisa operacional, 20 eventos internacionais e nacionais voltados para artigos e discussões sobre este tema. Grande parte das publicações relatam resultados da aplicação da pesquisa operacional em empresas dos mais diversos seguimentos, com auxílio de ferramentas de modelagem e simulação.

O processo decisório auxiliado pela pesquisa operacional envolve uma sistemática, posto que se têm vários aspectos envolvidos e possibilidades de reflexos nos resultados a partir da utilização de ferramentas como os softwares computacionais possibilitando a simulação do impacto da decisão e o apontamento da opção mais indicada. Vale ressaltar que, se há apenas uma solução viável, não se configura um problema decisório (MARICHELVAM et al, 2014; MOSHKOVICH et al, 2011).

Dessa forma, a pesquisa operacional é utilizada quando um problema de otimização tem restrições que limitam as escolhas. Por exemplo, uma empresa pode usar programação matemática para alocar recursos escassos de uma forma otimizada ou uma companhia de seguros pode decidir sobre o percentual a se manter em cada um de seus investimentos (YARMISH, 2014).

Para a Pinto et al. (2016), a vantagem competitiva não reside apenas no conhecimento ou na aplicação de algumas ferramentas, mas na imersão no conceito e na forma como elas são aplicadas (ações estratégicas) para atingir as metas que estão alinhadas com a estratégia da organização.

Conhecimento e otimização do processo produtivo são fundamentais para aumentar a eficiência e manter a empresa competitiva no mercado. Em ambientes de produção, modelos matemáticos são utilizados para uma análise rigorosa dos processos e tomada de decisão (RAYMUNDO et al., 2015).

No estudo de Raymundo et al. (2015), o uso da pesquisa operacional apontou a viabilidade para o uso de soluções computacionais para modelagem de problemas enfrentados pelas empresas, possibilitando a redução de 20% dos recursos empenhados e aumento de 33% no lucro, em que foi possível aferir quais itens conferiam maiores margens de rentabilidade e quais precisavam ser adaptados. Além dos ganhos já mencionados, dimensionou-se melhor a distribuição de profissionais e recursos, permitindo-se obter redução de custo.

A utilização de ferramentas para mapear e otimizar os processos e as operações da empresa possibilita melhorar compreensão do processo sob interação e seu efeito na capacidade produtiva, de forma a aumentar a eficiência dos recursos e alcançar uma cobertura maior da demanda dos clientes (FERNANDES; ASSIS RANGEL, 2011; MOSHKOVICH et al., 2011; PINTO et al., 2016; PEDROSO et al., 2016; RAYMUNDO et al., 2015).



### **2.3. APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL EM EMPRESAS DE SISTEMA PUXADO**

O processo de tomada de decisões em um sistema puxado abrange dimensões de maior risco, posto que o processo produtivo somente é iniciado após a imputação de um pedido, trabalhando-se com margens de estoques próximas de zero. Assim o processo deve ser acompanhado e calculado de forma precisa, para minimizar a ocorrência de atrasos.

Raymundo et al. (2015) obtiveram resultados positivos com o uso da associação de ferramentas do Microsoft Excel e Lindo<sup>®</sup> na modelagem da capacidade produtiva de uma fábrica de roupas, na qual a solução do modelo apontou a distribuição da produção de forma mais favorável com aumento de 30% na capacidade produtiva.

Para Cakir et al (2011), a pesquisa operacional aplicada oferece benefícios para a simulação e reestruturação de estruturas, posto que possibilita a aferição da melhor opção para os problemas estudados, contemplando os elementos influentes pertencentes ao problema. Em seu estudo foram apresentados os resultados da otimização obtida após a modelagem de um problema multiobjetivo em uma linha de montagem, apontando assim a maior rentabilidade na adoção de linhas de montagem simultâneas para produtos diferentes, considerando a redução do desvio-padrão dos itens e a redução do custo operacional de montagem total.

Na concepção de Alem e Morabito (2013), a análise de modelos robustos aplicados a fábricas de móveis com produção puxada, de fato contribui para gerar soluções mais eficazes para lidar com as incertezas do que abordagens comumente usadas na prática. No estudo, os problemas aferidos em relação aos custos, a demanda e a ociosidade foram resolvidos de acordo com a estratégia revelada pelo modelo.

Outro ponto importante explanado por Raymundo et al. (2015) é a importância de se adequar a solução apontada pelo modelo à realidade da empresa. No modelo dos autores apontou-se para a extinção da produção de dois itens produzidos, sendo que os mesmos faziam parte do portfólio de produtos, mas eram tratados de forma diferenciada pela empresa.

O desenvolvimento de modelos matemáticos para lidar com as incertezas em problemas de planejamento da produção em geral não são tratados como triviais por grande parte das empresas, fato esse que gera um certo nível de incerteza nas decisões, em especial nas empresas do setor moveleiro sob encomenda, já que a falta de utilização

de ferramentas de planejamento de capacidade faz que as empresas empreendam esforços e recursos a itens que não possibilitam a otimização (ALEM; MORABITO, 2013).

## **2.4. APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NO SETOR DE MÓVEIS DE AÇO**

De acordo com Marichelvam et al. (2014), a utilização de pesquisa operacional, modelando o layout e as máquinas em uma empresa líder em fabricação de móveis de aço em Chennai – Tamil Nadu, na Índia, procurando obter a melhor configuração da produção, possibilitou a minimização dos custos e a otimização do tempo operacional interno. Outro ponto aferido por ele em seu estudo foi o ganho de produtividade por equipe de trabalho, já que os itens a serem elaborados foram redistribuídos com a nova configuração das máquinas, criando ilhas de concentração de conhecimento internas e maximizando o índice da qualidade e reduzindo o custo total operacional.

Outro ponto indicado pelo autor foram as vantagens obtidas na utilização da pesquisa operacional para ajustar a linha de produtos sob encomenda e produtos de linha. Nos produtos de linha utilizou-se o armário deslizante de arquivamento vertical, composto por 20 partes, sendo cada parte composta de um trabalho diferente. Na linha-padrão foram considerados os gaveteiros, as peças de apoio e a estrutura para mesas, incluindo as demandas mínimas como restrições e o tempo operacional para sua elaboração.

## **3. MÉTODO**

Este estudo é um estudo de caso único, o qual contemplará a análise da gestão da produção com foco na maximização dos resultados. A metodologia aplicada ao estudo conduzirá o levantamento bibliográfico de base de dados, o mapeamento dos processos, o levantamento dos dados pertinentes ao processo produtivo do período de 11/2015 a 04/2016 e a simulação dos dados com foco na redução de tempo e maximização do lucro. A sequência da pesquisa seguirá o protocolo expresso na Tabela 1.

Tabela 1 Protocolo de pesquisa.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo</b>
<b>01</b>	Levantamento dos dados de base e específicos em artigos científicos e livros da área de gestão de produção. Livros publicados na última década e artigos científicos disponíveis em bancos de artigos e teses de universidade, Scielo, Capes e revistas científicas nacionais e periódicos internacionais da área de Gestão e controle da produção e pesquisa operacional publicados nos últimos cinco anos.	2 semanas
<b>02</b>	Reunião com gerente de produção, líder de seção e funcionário-chave de processos <sup>1</sup> para adquirir informações detalhadas para o processo, seguida do mapeamento do processo produtivo.	2 semanas
<b>03</b>	Observação do processo produtivo a campo, possibilitando alterações do mapeamento de processo. (Observação setorial e agrupada)	4 semanas
<b>04</b>	Acompanhamento do processo produtivo a fim levantar dados e delimitação da pesquisa. (Registros de todos os dados aferidos no período referente a tempo de produção, quantidade produzida, custo médio e valor de ganho médio)	4 semanas
<b>05</b>	Estruturação dos dados e comparação com os dados de duas empresas do setor com similaridade de grupo de produtos para aferição da situação da empresa, para tal foi adotada a análise do plano de produção e a entrevista com os encarregados de produção e programadores de produção.	1 semana

<b>06</b>	Simulação e análise dos dados (Auxílio da ferramenta Solver do Microsoft Excel 2007)	2 semanas
<b>07</b>	Finalização do estudo e comunicação dos resultados	1 semana

<sup>1</sup>Funcionários com atribuições de direcionamento de peça, por exemplo, no processo de dobra, dobrador nível 3 – colaborador responsável por interpretar o desenho da peça e dobrar a parte secundária e primária da peça.

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A empresa objeto deste estudo é do ramo de manufatura de móveis de aço para escritórios. Está no mercado desde 1932, conta com 25 funcionários diretos e 8 funcionários terceirizados. Até o fim do mês de novembro de 2015 contava com mais de 70 funcionários entre diretos e indiretos. Contudo, após a crise econômica financeira, a empresa optou por reduzir o quadro de funcionários a fim de minimizar os custos. A redução no quadro de funcionários impactou diretamente a capacidade produtiva da empresa, contudo, com a queda nos pedidos, ambas as situações eram para ser compensadas, mas a empresa encontra dificuldades para ajustar o modelo de gestão da produção de forma do atender aos pedidos em dia, sem a necessidade de contratação de serviços de produção de empresas terceirizadas, o que gera aumento do custo de produção e no custo dos produtos, que os clientes não estão dispostos a pagar. Posto essa situação, a empresa precisa de uma readequação de seu modelo de gestão da produção de forma a otimizar a apropriação de seus recursos e aumentar os lucros da empresa, possibilitando a capitalização da mesma.

#### **4. RESULTADOS**

Os cálculos e a estruturação dos dados se basearam nas indicações de Ohno (1997), Schumacher (2001), Caddah (2004), Lachtermacher (2004), Rangel et al. (2012), Baio et al. (2013) e Krause e Pessoa (2014), em relação ao conhecimento e à organização dos recursos da empresa de forma analítica, promovendo maior suporte a decisão, posto que se conhecem os limites e os potenciais de cada recurso, possibilitando à empresa a alocação de forma otimizada dos recursos, maximizando a utilização dos mesmos e tornando-a mais eficiente e lucrativa.

#### 4.1. TEMPO OPERACIONAL ÚTIL DISPONÍVEL (TO)

O tempo operacional disponível foi calculado considerando as indicações de estruturação de Baio et al. (2013). O cálculo foi feito considerando 0,95 de utilização do tempo operacional diário, multiplicado pela quantidade de dias uteis por mês descontando-se os feriados, multiplicados pelas máquinas que podem estar ligadas simultaneamente.

$$TO = Ht \times Di \times Tm$$

Considerados os seguintes dados:

- *Ht* (Horas de trabalho por dia): 09 horas de trabalho diário, por se tratar de escala de compensação de sábado.

- *Di* (Dias uteis por mês): 22 dias uteis, descontados dos 4 fins de semana médios mensais 8 dias.

- *Tm* (Total de máquinas trabalhando simultaneamente): 06 máquinas trabalhando simultaneamente.

Tem-se:

$$TO = Ht \times Di \times Tm$$

$$TO = 9 \times 22 \times 6$$

$$TO = 1188 \text{ horas disponíveis por mês}$$

#### 4.2. TEMPO OPERACIONAL POR GRUPO

Inicialmente foram separados os itens do portfólio por nível de complexidade para a produção contemplando o tempo de produção, agrupados por lote de 10 peças. A espessura da chapa não foi incorporada nesta classificação, pois são aplicáveis 03 tipos de chapas – 14, 16 e 18 mm, mas na troca de chapa é apenas necessário um ajuste na máquina de dobra, que dura cerca de 03 segundos. Foi realizada uma tentativa de separar os produtos e mapear por unidade. Contudo, essa separação não demonstrou viabilidade técnica por conta do alto nível de variabilidade por se tratar de produtos personalizados. Assim, a medida que conseguiu dar suporte à pesquisa foi a separação por lote de 10 peças e a desagregação por níveis de complexidade e tempo médio, de acordo com a



Tabela 2. Para os cálculos, observou-se a lógica do cálculo sugerida por Ohno (1997) e Caddah (2004) e a ótica de produção sob encomenda de Votto e Fernandes (2014), contemplando ainda o tempo disponível e o tempo alocado para se produzir uma unidade, o tempo operacional diário, de forma a não se obter estoques demasiados, atendendo assim o fluxo da produção puxada.

Tabela 2 Grupos por nível de complexidade.

<b>Grupo</b>	<b>Nível de complexidade</b>	<b>Especificação</b>
G1	Peças nível de complexidade 1	Peças contam com partes médias e soldas simples e complexas com pintura (gaveteiros e estruturas de apoio de mesa)
G2	Peças nível de complexidade 2	Peças contam com partes grandes e soldas simples e complexas com pintura (estruturas de mesas, partes de armários, arquivos)
G3	Peças nível de complexidade 3	Peças contam com partes pequenas, microsoldas e cromagem, zincagem e pintura (chapas, apoios centrais, estojos de demonstração de cores)

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Foi aferido o tempo da produção por grupo, observando-se o tempo com maior frequência (moda). A média foi descartada, já que não expressaria a realidade por conta de existirem muitos picos de aumento no tempo e também reduções bruscas. Não foram analisadas as possibilidades de baixa produção por conta de problemas de máquinas, pois a empresa contava com um programa de manutenção preventiva. Outro ponto não contemplado foi a capacidade produtiva por colaborador e oscilação por falta de treinamento, já que, de acordo com os históricos da empresa, os mesmos contam com capacitação periódica e atualização profissional sob responsabilidade da empresa terceirizada contratada. As Tabelas 3 a 5 apresentam a moda observada, pois esse valor foi tomado como padrão, tendo em vista que a média não expressava a realidade por conta

das oscilações. O melhor tempo (menor) e o pior tempo (maior) foram observados a título de comparação, mas não foram aplicados diretamente no levantamento.

Tabela 3 Tempo por atividade do Grupo 1.

<b>Atividade</b>	<b>Moda</b>	<b>%</b>
Disposição da matéria-prima	8	3%
Corte	31	13%
Dobra	30	12%
Solda Mig	45	18%
Solda Tig	15	6%
Pintura	80	33%
Embalagem	35	14%
Tempo Total em Min.	244	100%
Tempo Total em Horas	4,1	

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

As peças do Grupo 2 apresentam um pequeno aumento no tempo de processo; contudo, isso se dá por conta do maior porte das peças de 80 a 100 cm (Tabela 4).

Tabela 4 Tempo por atividade do Grupo 2.

<b>Atividade</b>	<b>Moda</b>	<b>%</b>
Disposição da matéria-prima	20	4%
Corte	120	24%
Dobra	90	18%
Solda Mig	50	10%
Solda Tig	30	6%
Pintura	130	27%
Embalagem	50	10%
Tempo Total em Min.	490	100%
Tempo Total em Horas	8,2	

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Já as peças do Grupo 3 (Tabela 5) são as peças mais complexas e que demandam maior esforço e horas para serem elaboradas, pois, por se tratarem de peças pequenas (5 a 25 cm), que exigem maior delicadeza e atenção em sua elaboração, posto que as mesmas possuem uma taxa de acidentes muito superior às das demais peças, por conta de perfurações no dedo no momento da dobra, pintura ou zincagem, fatores estes que exigem a adaptação da rotina de trabalho por conta do uso de equipamentos de prevenção individual (EPI) diferenciados, os valores foram distribuídos dentro do tempo de cada atividade que os mesmos eram demandados.

Tabela 5 Tempo por atividade do Grupo 3.

<b>Atividade</b>	<b>Moda</b>	<b>%</b>
Disposição da matéria-prima	7	1%
Corte	70	10%
Dobra	130	19%
Solda Mig	90	13%
Solda Tig	70	10%
Zincagem	90	13%
Pintura	195	28%
Embalagem	40	6%
Tempo Total em Min.	692	100%
Tempo Total em Horas	11,5	

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

### **4.3. ESTRUTURA DE CUSTOS**

A estrutura de custos tem um comportamento variável por lote. Conforme a Tabela 6, demonstram os custos apurados a partir de dados obtidos em folhas de pagamentos, notas fiscais e faturas de locação. Foram convertidos o valor por hora para minuto.

Tabela 6 Custo por grupo.

<b>Distribuição dos Custos</b>			
<b>Grupo 1</b>			
Atividade	Mão de obra	Equipamentos	Material
Disponibilização da M.P	R\$ 3,00	R\$ 0,50	R\$ 0,12
Corte	R\$ 4,08	R\$ 1,19	R\$ 1,62
Dobra	R\$ 6,00	R\$ 10,60	R\$ 6,28
Solda Mig	R\$ 5,86	R\$ 2,54	R\$ 4,23
Solda Tig	R\$ 1,95	R\$ 0,84	R\$ 4,54
Pintura	R\$ 21,70	R\$ 25,60	R\$ 826,28
Embalagem e disposição da M.P	R\$ 3,73	R\$ 1,05	R\$ 365,00
Totais parciais	R\$ 46,32	R\$ 42,31	R\$ 1.208,07
			R\$ 1.296,70
<b>Grupo 2</b>			
Atividade	Mão de obra	Equipamentos	Material
Disponibilização da M.P	R\$ 3,80	R\$ 0,50	R\$ 0,12
Corte	R\$ 5,00	R\$ 1,19	R\$ 2,62
Dobra	R\$ 6,00	R\$ 10,60	R\$ 6,28
Solda Mig	R\$ 6,51	R\$ 2,82	R\$ 4,70
Solda Tig	R\$ 1,95	R\$ 0,84	R\$ 2,04
Pintura	R\$ 19,89	R\$ 23,47	R\$ 925,76
Embalagem e disposição da M.P	R\$ 2,61	R\$ 0,95	R\$ 375,00
Totais parciais	R\$ 45,76	R\$ 40,36	R\$ 1.316,51
			R\$ 1.402,63
<b>Grupo 3</b>			
Atividade	Mão de obra	Equipamentos	Material
Disponibilização da M.P	R\$ 3,80	R\$ 0,50	R\$ 0,12
Corte	R\$ 10,19	R\$ 6,13	R\$ 8,37
Dobra	R\$ 16,00	R\$ 0,88	R\$ 0,52
Solda Mig	R\$ 11,72	R\$ 5,07	R\$ 8,46
Solda Tig	R\$ 9,11	R\$ 3,93	R\$ 9,50
Zincagem	R\$ 13,05	R\$ 19,20	R\$ 355,66

Pintura	R\$ 16,03	R\$ 16,64	R\$ 930,21
Embalagem e disposição da M.P	R\$ 4,78	R\$ 1,25	R\$ 207,94
Totais parciais	R\$ 80,87	R\$ 53,11	R\$ 1.520,65
			R\$ 1.654,63

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

#### 4.4. DEMANDA

A demanda dos itens, mesmo se tratando de uma produção da característica predominantemente puxada, apresentou um comportamento de demanda empurrada. Já que existe uma média de pedidos mensais, houve uma redução nos últimos doze meses, mas um valor médio se repetiu no período contemplado no estudo. Essa demanda foi representada por quantidades de lotes de dez peças por grupo. Para evitar desperdícios, procurou-se aferir o real número de vendas a partir da análise das notas fiscais e recibos, de forma a apurar a demanda de produção e projetada evitando desperdícios, conforme Votto e Fernandes (2014).

- **Grupo 1** – 76 lotes por mês.
- **Grupo 2** – 04 lotes por mês.
- **Grupo 3** – 56 lotes por mês.

Para atender a essa demanda, a empresa vem contando com a contratação de serviços de corte e pintura por mês por conta dos pedidos em especial do Grupo 1 e Grupo 3. A estratégia adotada pela empresa consiste na produção de estoque dos produtos do Grupo 1. Contudo, essa estratégia não tem dado certo, pois os produtos alocados não foram os que os clientes optaram no momento da inserção do pedido. Essa situação gerou estoque desnecessário e aumento nos custos, atrasando em cerca de 42% os pedidos do Grupo 3, o que diminuiu o nível de atendimento da empresa e elevou os riscos ligados ao surgimento de possíveis novos negócios.

Assim, a modelagem matemática pode simular um modelo que consiga atender a demanda média de produção dentro do período operacional compreendido no espaço de um mês.

#### 4.5. LUCROS

Após a organização dos dados obtidos na pesquisa de campo, o levantamento de custos e margens de ganho por grupo foi obtido conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 Custo × Receita por lote.

Grupo	Faturamento	Custo	Lucro
G1	R\$ 2.603,28	R\$ 1.296,70	R\$ 1.306,58
G2	R\$ 2.816,01	R\$ 1.402,62	R\$ 1.413,39
G3	R\$ 4.148,42	R\$ 1.654,63	R\$ 2.493,79

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

#### 4.6. PROGRAMAÇÃO LINEAR

A modelagem aplicada observou o elemento a ser maximizado e as restrições impostas ao mesmo, ou seja, todos os elementos que podem ser limitantes ou pré-requisitados para a elaboração dos lotes indo de encontro à formulação matemática e ao modelo de gestão indicados por Lachtermacher (2004); Caddah (2004); Evangelista et al. (2013); Krause e Pessoa (2014).

##### Variáveis de decisão:

- $G^1$  = Quantidade de lotes de 10 peças a serem produzidas do Grupo 1.
- $G^2$  = Quantidade de lotes de 10 peças a serem produzidas do Grupo 2.
- $G^3$  = Quantidade de lotes de 10 peças a serem produzidas do Grupo 3.

##### Função Objetivo:

$$Max Z = G^1 \times 1.306,58 + G^2 \times 1.413,39 + G^3 \times 2.493,79$$

##### Restrições:

1) Tempo operacional disponível:

$$G^1 \times 4,1 + G^2 \times 8,20 + G^3 \times 11,20 \leq 1188$$



2) Horas disponíveis para zincagem:

$$G^3 \leq 99$$

Com relação à demanda mensal, foi acrescida uma margem percentual por grupo para o atendimento de uma semana, a fim de contemplar possíveis problemas de reposição ou parada de máquina. Os percentuais aplicados foram  $G^1$  (8%),  $G^2$  (5%) e  $G^3$  (15%).

3) Demanda mensal de lotes dos produtos do Grupo 1:

$$G^1 \geq 80$$

4) Demanda mensal de lotes dos produtos do Grupo 2:

$$G^2 \geq 5$$

5) Demanda mensal de lotes dos produtos do Grupo 3:

$$G^3 \geq 65$$

6) Não negatividade:

$$G^1; G^2; G^3 \geq 0$$

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÕES

O modelo foi resolvido com auxílio da ferramenta Solver disponível no Microsoft Excel, que possibilitou a resolução do problema apontando a alternativa que propiciara a maximização do uso dos recursos. Essa ferramenta mostrou-se atrativa nos estudos feitos por Baio et al. (2013), Alem e Morabito (2013) e Raymundo et al. (2015), todos aplicados à indústria com resultados de maximização e auxílio da ferramenta Simplex, sendo estas usadas no Lindo ou no Microsoft Excel (Solver).

O resultado apontou a produção de 97 lotes dos produtos do Grupo 1, cinco lotes do Grupo 2 e 65 lotes do Grupo 3, possibilitando à empresa atender plenamente a demanda com as margens para uma semana, obter um lucro de aproximadamente R\$ 296.475,18 contando apenas com a produção da empresa, sendo dispensável assim a contratação de empresa terceirizada para atender à demanda. Indo de encontro à

maximização do uso dos recursos disponíveis previstos por Caddah (2004); Cakir et al. (2011), Moshkovich et al. (2011), Pedroso et al. (2016) e Pinto et al. (2016), a falta de uso de ferramentas avançadas como a pesquisa operacional, impossibilitava a empresa de visualizar de forma profunda e analítica as possibilidades e a participação de cada grupo de produto, se comparada uma relação de custo  $\times$  lucro  $\times$  tempo operacional  $\times$  capacidade produtiva. A empresa objeto deste estudo focaliza a produção das peças do Grupo 2 por se tratarem de peças de maior porte. Porém, de acordo com o levantamento dos dados produtivos e a modelagem, essa decisão está desalinhada com a maximização do lucros conforme pode-se perceber ao comparar o lucro obtido na Tabela 8 (produção no modelo que a empresa adota) e Tabela 9 (modelo previsto pelo estudo, já que essa peças devem ser priorizadas, mas em um escala muito menor, sendo o grupo que a empresa deve destinar menor importância e empenho de recursos. A ordem de priorização mais indicada de acordo com o estudo é a seguinte: produtos do Grupo 3; produtos do Grupo 1 e produtos do Grupo 2.

Tabela 8 Produção no Modelo adotado pela empresa.

<b>Produção da Empresa no modelo atual</b>				
	Prod.	Faturamento	Custo	Lucro
G1	45	R\$ 117.147,59	R\$ 58.351,49	R\$ 58.796,10
G2	10	R\$ 28.160,17	R\$ 14.026,27	R\$ 14.133,90
G3	41	R\$ 170.085,02	R\$ 67.839,63	R\$ 102.245,39
Total				R\$ 175.175,39
<b>Produção terceirizada no modelo atual</b>				
	Prod.	Faturamento	Custo	Lucro
G1	29	R\$ 75.495,12	R\$ 41.364,73	R\$ 34.130,39
G2	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -
G3	15	R\$ 62.226,23	R\$ 27.301,35	R\$ 34.924,88
Total				R\$ 69.055,26
Lucro atual				R\$ 244.230,65

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Tabela 9 Produção no Modelo proposto pelo estudo.

<b>Cálculos para o modelo</b>				
	Prod.	Faturamento	Custo	Lucro
G1	97	R\$ 253.660,98	R\$ 126.349,14	R\$ 127.311,85
G2	5	R\$ 14.080,08	R\$ 7.013,13	R\$ 7.066,95
G3	65	R\$ 269.646,98	R\$ 107.550,63	R\$ 162.096,35
Total				R\$ 296.475,15

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Outro ponto que sinaliza que essa decisão é obtido pela venda dos lotes. Os lotes do Grupo 3, mesmo com alto custo, são atrativos e seus clientes são mais sensíveis a atrasos na entrega. Já os produtos do Grupo 1 têm maior aceitação de mercado e possuem uma margem de lucro próxima da obtida com o produto do Grupo 2. Por fim, o Grupo 2 deve ser mantido a fim de atender ao portfólio de produtos e à demanda dos clientes; no entanto, ele não deve ser priorizado.

Semelhante ao ocorrido na indústria de móveis de aço indiana, objeto do estudo de Marichelvam et al. (2014), o modelo evidenciou a possibilidade de aumento da capacidade da planta em 74,4% (71 lotes) da produtividade, se comparado ao produzido pela empresa mais a produção terceirizada em 19,6% (27 lotes) e um aumento no lucro de 21,4% (R\$ 52.244,50). Vale ressaltar que não houve a necessidade de descarte de investimentos financeiros, apenas o empenho de horas de trabalho.

A análise de sensibilidade foi feita conforme o procedimento adotado por Marichelvam et al. (2014) e combinada às teorias propostas em Evangelista et al. (2013), o que possibilitou a identificação dos limites aos quais o modelo apresentado pode ser submetido mantendo-se o mesmo resultado. Estas informações servem para o gestor se orientar em caso de necessidade de mudanças ou alterações, pois, dentro do ambiente corporativo, as operações estão sujeitas a alterações. Na Tabela 10 pode-se verificar os efeitos de alteração no modelo, a redução nas quantidades de lotes do G<sup>1</sup> causam uma redução de R\$ 416,99 no valor obtido na solução, já nos lotes G<sup>2</sup> e G<sup>3</sup> não podem haver alterações, pois os mesmos estão sendo produzidos nas quantidades mínimas, mais o saldo da margem. No lote G<sup>3</sup>, a redução na produção causa uma redução de R\$ 1.198,77 do valor da solução.

Tabela 10 Relatório de Sensibilidade.

<b>Células Variáveis</b>					
	<b>Final</b>	<b>Reduzido</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Permitido</b>	<b>Permitido</b>
Nome	<b>Valor</b>	<b>Custo</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Aumentar</b>	<b>Reduzir</b>
<b>G1</b>	97,43902439	0	1306,08	1,00E+30	416,9896522
<b>G2</b>	5	0	1413,39	1198,77	1E+30
<b>G3</b>	65	0	2493,79	1169,605122	1E+30
<b>Restrições</b>					
	<b>Final</b>	<b>Sombra</b>	<b>Restrição</b>	<b>Permitido</b>	<b>Permitido</b>
Nome	<b>Valor</b>	<b>Preço</b>	<b>Lateral R.H.</b>	<b>Aumentar</b>	<b>Reduzir</b>
<b>RESTRIÇÕES</b>	1188	318,5560976	1188	1E+30	71,5
<b>RESTRIÇÕES</b>	97,5	0	99	1E+30	1,5
<b>RESTRIÇÕES</b>	97,43902439	0	80	17,43902439	1E+30
<b>RESTRIÇÕES</b>	5	-1198,77	5	8,719512195	5
<b>RESTRIÇÕES</b>	65	- 1169,605122	65	1	65

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

## 6. CONCLUSÕES

A solução de problemas de tomada de decisão tem sua assertividade aumentada quando é possível a modelagem de problema a ser resolvido de forma complexa e abrangente, utilizando ferramentas de solução disponíveis, como o Solver (Microsoft Excel) e o Lindo (Lindo Systems Inc.), entre outras. A utilização delas possibilita o maior aporte às decisões e à descoberta de comportamentos do modelo que não seriam evidenciadas sem o auxílio dessas ferramentas.

No presente estudo, não foi obtida apenas a configuração que maximiza o lucro e a utilização dos recursos, mas também dá suporte às decisões de alteração do modelo proposto se observarmos a análise de sensibilidade, pois nela podemos observar quanto de cada lote pode ser aumentado, por exemplo, o Grupo 1 pode ser aumentado em 17 lotes, o Grupo 2, em oito lotes, e o Grupo 3 em um lote mantendo-se a maximização dos

recursos. A redução de cinco lotes no Grupo 2 e 65 lotes no Grupo 3. Evidenciando os limites operacionais os pontos de máxima e mínima.

Vale ressaltar que os resultados obtidos neste estudo se aplicam apenas ao ambiente pertencente ao escopo, assim os mesmos não são passivos de generalizações. Para futuras pesquisas, propõe-se o estudo da associação das técnicas descritas neste estudo com relação a impactos ambientais, pois, de acordo com Luna, de Almeida e Silva e Ramos de Moura (2015), há um grande aumento na publicação de artigos sobre gestão ambiental, com pesquisa integrada a diversas áreas de conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos ao IFSP pelas instalações para a pesquisa e ao CNPq pela bolsa de pesquisa em produtividade em pesquisa CA-PE – engenharia de produção e transportes.

## **REFERÊNCIAS**

ALEM, D.; MORABITO, R. O problema combinado de planejamento da produção e corte de estoque sob incertezas: Aplicação em fábricas de móveis de pequeno porte. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 111-133, 2013.

BAIO, F. H. R. et al. Modelagem matemática para seleção de conjuntos mecanizados agrícolas pelo menor custo operacional. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 402-410, mar./abr. 2013

CADDAH NETO, E. D. A importância da programação linear no processo decisório. **Rev. FSA**, Teresina, v. 1, n. 1, p. 69-80, jan./dez. 2004.

CAKIR, B. et al. Multi-objective optimization of a stochastic assembly line balancing: A hybrid simulated annealing algorithm. **Computers & Industrial Engineering**, v. 60, n. 3, p. 376-384, 2011.

CARVAJAL JR. C. J. et. al. (Orgs.). **Empreendedorismo, tecnologia e inovação**. São Paulo: Livrus, 2015.

EVANGELISTA, C. S. et al. Lean Office – escritório enxuto: estudo da aplicabilidade do conceito em uma empresa de transporte. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 5, n. 1, p. 462-471, jan./jun. 2013.

FERNANDES, J.; ASSIS RANGEL, J. J. Modelo de simulação para análise do beneficiamento de blocos de granito – um estudo de caso. **IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 153-168, 2011.

KRAUSE, J.; PESSOA, T. R. Cálculo e controle dos custos de produção: como controlar as matérias-primas e administrar gastos. **Revista Organização Sistêmica**, v. 5, n. 3, p. 26-38, jan/jun, 2014.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 2. ed. São Paulo: Editora Campus, 2004.

LUNA, R. A.; DE ALMEIDA E SILVA, L. F.; RAMOS E MOURA, A. Um estudo bibliométrico sobre as publicações em periódicos acadêmicos na temática gestão ambiental. **Revista Científica Hermes**, n. 12, p. 137-153, dez. 2014.

MARICHELVAM, M. K. et al. A discrete firefly algorithm for the multi-objective hybrid flowshop scheduling problems. **IEEE transactions on evolutionary computation**, v. 18, n. 2, p. 301-305, 2014.

MOSHKOVICH, H. M. et al. An integrated multicriteria decision-making approach to reale state evaluation: case of the todim method. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 03-20, 2011.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookmam, 1997.

PEDROSO, L. B et al. Implicações do mapeamento de fluxo de valor na indústria. **Latin American Journal of Business Management**, v. 6, n. 3, p. 3-19, 2016.



PINTO, R. A. Q. et al. Do TOC para manufatura enxuta: um estudo de caso de mudança de gestão da produção. **Gestão & Regionalidade**, v. 32, n. 94, jan.-abr. 2016.

RANGEL, D. A. et al. Aumento da eficiência produtiva através da redução do tempo de setup: aplicando a troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor de bebidas. **P&D em Engenharia de Produção**, Itajubá, v. 10, n. 1, p. 36-49, 2012.

RAYMUNDO, E. A. et al. Pesquisa Operacional na tomada de decisão: Modelo de otimização de Produção e maximização do lucro. **Revista de Gestão & Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 11-16, 2015.

RODRIGUEZ, D. S. S. et al. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

SCHUMACHER, A. J. Padronização de processos produtivos (gestão da qualidade total – TQC), a busca pela confiabilidade e maior competitividade no mercado e seus reflexos sociais. **Revista Expectativa on-line**, v. 1, n. 1, Paraná: Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, 2001. ISSN 1982-3029.

VAGO, F. R. M. et al. A importância do gerenciamento de estoque por meio da ferramenta curva ABC. **Sociais e humanas**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 638-655, set./dez. 2013.

YARMISH, G. et al. Recent advances in applications of mathematical programming to business and economic problems. **Review of business and finance studies**, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2014.

VOTTO, R. G.; FERNANDES, F. C. F. Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na Indústria de Bens de Capital sob Encomenda. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 45-63, 2014.