

## OTIMIZAÇÃO E BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS EM UMA EMPRESA AUTOMOTIVA

Fernando Santos de Oliveira (FATEC) [fsoliveirade@gmail.com](mailto:fsoliveirade@gmail.com)  
Reginaldo Borges (FATEC) [reginaldo.borge@scania.com](mailto:reginaldo.borge@scania.com)

### Resumo

A competitividade na qual as empresas automotivas estão inseridas reforçam a necessidade de possuírem processos enxutos que tenham poucas perdas e possam oferecer melhores resultados para atender as necessidades dos clientes. Os processos mais enxutos apresentam, geralmente, poucas perdas e conseqüentemente geram maior produtividade sem, no entanto, comprometer a confiabilidade dos produtos. Neste contexto, este artigo apresenta uma proposta de melhoria a ser realizada no balanceamento de uma linha de montagem de eixos de uma fabricante de veículos pesados. A metodologia utilizada foi a pesquisa-ação. Por meio de análises, estudo de tempos e informações relevantes contidas na referida empresa, foi possível definir pontos de melhorias, bem como iniciar as ações de implementação de forma a levantar alguns benefícios em comparação a situação atual. O trabalho apresenta que pode ser alcançado uma redução significativa de 17,7% nos tempos ociosos. Aumentando a produtividade da empresa. Além disso, uma racionalização da mão de obra e uma alteração de *layout* na linha de montagem visam proporcionar uma redução anual nos custos de produção da ordem de R\$ 616.500,00.

**Palavras-Chaves:** linhas de montagem, balanceamento, melhoria de *layout*, produtividade

### 1. Introdução

Linhas de montagem são sistemas de produção orientados para o fluxo de produtos, as quais, originalmente, foram desenvolvidos para atender as necessidades da produção em massa (PIORE; SABEL, 1984). Com as novas exigências do mercado, as linhas de montagem vêm ganhando cada vez mais importância em empresas manufatureiras para fabricação de produtos customizados e de pequenos lotes. (SCHOLL *et al.*, 2010).

De acordo com Gaither e Frazier (2002), empresas competitivas buscam condições de oferecer produtos com maior valor agregado pelo menor custo e no menor tempo possível. Para tanto, não basta que as empresas produzam com alta qualidade e baixo custo, além

dessas condições, as empresas devem aperfeiçoar efetivamente seus sistemas produtivos, visando reduzir os tempos e as perdas no processo (ZACHARIA; NEARCHOU, 2012). Um tipo comum de perda nas empresas é devido ao desbalanceamento de linha, causado pelo tempo desperdiçado na alocação inadequada do trabalho investido ou no tempo total de processamento de um produto ou serviço (BENZER *et al.*, 2006).

Para Vieira (2009), o balanceamento de linha consiste em equilibrar a carga entre os postos de trabalhos para que o tempo ocioso seja minimizado, de forma a atender as atividades e os tempos pré-estabelecidos nas ordens de fabricação. Neste contexto, o maior problema do balanceamento de uma linha de montagem é promover esse equilíbrio entre operações, reduzindo também os estoques em processo e o tempo de ciclo de diferentes produtos.

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa-ação que tem como objetivo resolver o problema do balanceamento de uma linha de montagem pertencente a uma empresa montadora de veículos pesados. Para solucionar esse problema, os tempos das atividades foram cronometrados e uma mudança foi proposta no balanceamento da linha de montagem e, conseqüentemente, no layout da empresa. O sequenciamento proposto na linha de montagem quando comparado com o sequenciamento utilizado atualmente pela empresa, apresentou-se mais eficiente, obtendo uma melhoria de 17,7% nos tempos de ciclo e uma redução nos custos de produção anual na ordem de R\$ 616.500,00.

## **2. Referencial teórico**

Neste tópico são apresentados um breve referencial teórico sobre o problema de pesquisa. Inicialmente buscou-se definir linhas de montagem, em seguida é descrito o balanceamento das linhas de montagem e, por fim, um estudo sobre tempos e métodos.

### **2.1. Linhas de montagem**

Linhas de montagem são sistemas de fluxos orientados de produção utilizadas frequentemente na produção industrial de altas quantidades e produtos padronizados. Entre os problemas de decisão, os problemas de balanceamento de linhas de montagem são atividades importantes para o planejamento de médio e longo prazo (SCHOLL *et al.*, 2010). Uma configuração adequada da linha tende a definir a capacidade de produção (KIMMS, 2000).

A decisão sobre a instalação de uma linha de montagem requer uma grande quantia de capital inicial, e, devido a isso, o planejamento de sua configuração é de grande relevância para indústria manufatureira, na busca de apoiar os sistemas produtivos por meio de modelos de otimização adequados. Este planejamento inclui a definição da capacidade do sistema, levando em consideração os tempos de ciclo, o número de estações de trabalhos, os dispositivos auxiliares, bem como a atribuição de tarefas e sequencia das operações (BOYSEN; FLIEDNER; SCHOLL, 2007).

## **2.2. Balanceamento de linhas de montagem**

O conceito de balanceamento de linhas de montagem é a atribuição de tarefas às estações em uma linha de modo a se obter um tempo de ciclo desejado com menor número de estações de trabalho (MAGATAO *et al.*, 2011). O balanceamento do fluxo de uma linha é uma das técnicas aplicadas para melhorar e simplificar o processo de gestão. Primeiramente deve-se determinar o tempo de ciclo das operações, para depois se realizar um balanceamento de linha. Este tempo de ciclo expressa o intervalo de tempo em que uma peça ou mais, são produzidas (MARTINS; LAUGENI 2005).

O problema do balanceamento de linhas de montagens tem sido estudado há mais de 50 anos e diferentes enfoques e considerações tem sido apresentado durante esse período (HAMTA *et al.*, 2013). Desde então, vários modelos de otimização propostos buscam dar suporte ao processo decisório sobre o balanceamento de linhas de montagem. Sabe-se que a proposta do problema de balanceamento é encontrar uma linha de montagem factível (BENZER *et al.*, 2006) e, para isso, atribui-se tarefas as estações de trabalho de forma que as relações de precedência e outras restrições não seja, violadas e que alguma medida de efetividade seja alcançada (EREL; SARIN, 1998).

Conforme Gaither e Frazier (2002), o procedimento geral para balanceamento de uma linha segue necessariamente algumas etapas, são elas:

- determinar quais as tarefas devem ser executadas para concluir uma unidade de um produto em particular;
- determinar a ordem ou sequência na qual as tarefas devem ser executadas;
- traçar um diagrama de precedência;
- estimar a duração das tarefas;
- calcular o tempo de ciclo;

- calcular o número mínimo de estações de trabalho;
- usar uma regra para atribuir as tarefas as estações de trabalho de forma que a linha seja balanceada.

Segundo os autores, as quatro primeiras etapas sempre serão seguidas para o balanceamento, independentemente do método escolhido.

O balanceamento de mão-de-obra para uma linha de produção acontece com base nos tempos padrões de produção calculados. Sempre que em uma linha de produção houver a montagem de mais de um produto, é preciso que se utilize o “tempo ponderado”, obtido a partir das quantidades a serem produzidas de cada produto e tempo-padrão de cada um deles. Conforme a equação 3, para saber o número de operadores que serão necessários para aquele tempo padrão (ou tempo ponderado, no caso de uma linha que produz vários tipos de produto) naquelas quantidades (volume), divide-se o resultado da multiplicação desses dois itens (tempo padrão e volume) pelo tempo disponível para produção (ROCHA, 2005).

$$\text{número de operadores} = \frac{\text{tempo padrão} \times \text{volume total a ser produzido}}{\text{tempo disponível para produção}} \quad (1)$$

### 2.3. O estudo de tempos

O estudo de tempos tem um papel fundamental na organização do trabalho, pois pode-se padronizar as operações, na qual surgem condições para avaliar a capacidade produtiva da mão-de-obra e, principalmente, identificar os pontos de melhorias (HAMTA *et al.*, 2013).

Segundo Corrêa e Corrêa (2010), o método de estudo de tempos visa determinar um tempo-padrão para as diversas tarefas, que consiste basicamente em cinco passos descritos a seguir:

- definir as tarefas a serem estudadas;
- dividir as tarefas em elementos;
- cronometrar os elementos.
- determinar o tamanho da amostra;
- estabelecer os padrões com base no tamanho da amostra.

Ao analisar os elementos de trabalho é possível se obter o tempo de ciclo de cada processo dentro da montagem. Para Tapping *et al.* (2002), o tempo de ciclo é o tempo do início de uma

operação até a operação estar completada, ou seja, é o tempo de processamento de um produto como é mostrado pela Equação 2. O tempo de produção efetivo por turno é o tempo do início ao final do turno desconsiderando as pausas programadas.

$$TC = \frac{\text{tempo de prod. efetivo por turno}}{\text{prod. por posto de trabalho por turno}} \quad (2)$$

O tempo de ciclo da operação mais lenta é igual à taxa de peças que é produzida pela linha, ou seja, a operação com maior tempo de ciclo da linha, conhecida como “gargalo”, afeta diretamente a produtividade (MORTIMER, 2006).

Para realizar o balanceamento da linha é necessário também conhecer o *takt time* da linha. Para Tapping et al. (2002), o *takt time* é o ritmo da demanda, ou seja, é a taxa com a qual a empresa precisa produzir um produto para atender a demanda de consumo. O *takt time* é calculado de acordo com a Equação 3:

$$TC = \frac{\text{tempo de prod. efetivo por turno}}{\text{prod. por posto de trabalho por turno}} \quad (3)$$

De acordo com Martins e Laugeni (2005), o estudo de tempos é primordial para estabelecer padrões de produção, fornecer dados para determinação de custos e para o balanceamento de linhas de produção.

### 3. Procedimentos metodológicos

O presente estudo trata-se de uma pesquisa-ação, a qual foi realizada em uma montadora de veículos pesados (caminhão e ônibus) com operações globais e presença consolidada no Brasil. Segundo Miguel (2012), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa empírica, concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou resolução de um problema coletivo no qual os participantes e o pesquisador estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

O estudo se dividiu em duas fases, sendo que a primeira consistiu em uma análise do processo de montagem de eixos da empresa, observando-se o fluxo produtivo, os principais tipos de eixos fabricados e, por fim, foi realizado uma cronoanálise para definição do tempo padrão de

cada estação de trabalho. A segunda fase consistiu em um balanceamento da linha de montagem, baseado na demanda da empresa no ano anterior, no caso o ano de 2014, já que esta pesquisa foi realizada no segundo semestre de 2015.

A escolha do setor de produção de eixos traseiros de caminhões e ônibus deve-se a identificação de oportunidade de melhorias, pois o referido setor tem constantes aumentos de estoques entre os processos, além de apresentar operações com “gargalos” flutuantes e *setup* com tempos excessivos, os quais dificultam o atendimento da demanda do cliente.

#### **4. Análise e discussão dos resultados**

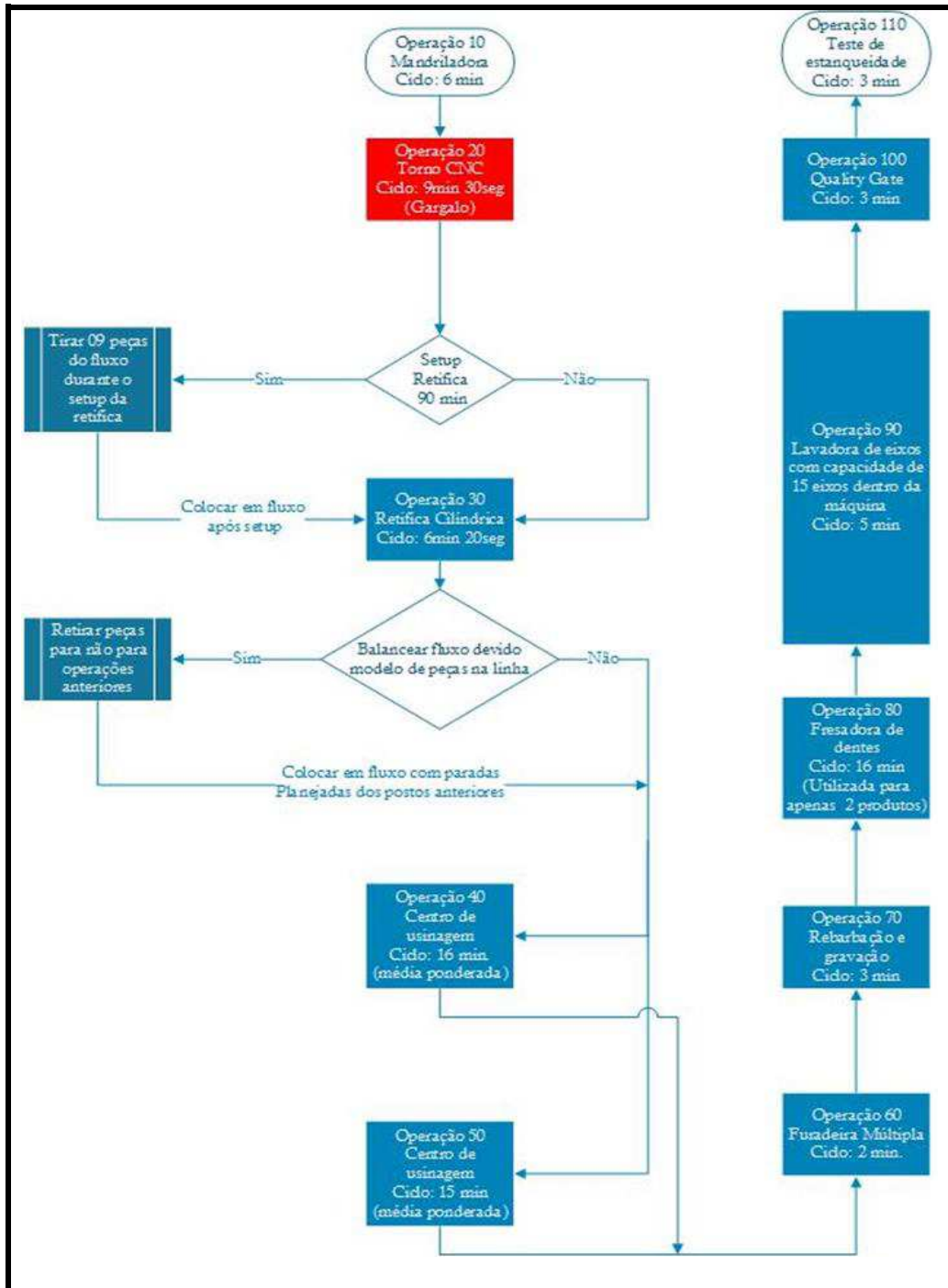
Neste tópico foram aplicados os conceitos, requisitos e orientações sobre melhorias em processos de montagem estudados na revisão da literatura. A seguir apresenta-se a situação atual e proposta para o processo de montagem de eixos, assim como alguns resultados obtidos com as alterações sugeridas neste trabalho.

##### **4.1. Análise da situação atual**

A configuração do processo de montagem pode ser verificada na Figura 1. Nesta configuração, a capacidade produtiva é de 18.000 produtos por ano, trabalhando-se em três turnos e, cada turno composto de 12 colaboradores. Esta linha de montagem conta com 11 postos de trabalho, dentro os quais, as operações 20 (Torno CNC) e 30 (Retífica Cilíndrica) são, frequentemente, considerados os “gargalos” da linha.

Na configuração atual da empresa, o “gargalo” do processo produtivo ocorre na operação 20 e, as maiores movimentações de peças acontece entre as operações 20 e 40 (Centro de Usinagem Romi). Estas movimentações ocorrem devido a preparação da retífica cilíndrica e se faz necessário para atender a demanda por meio dos três modelos de eixos existentes, sendo que os mesmos possuem diâmetros das pontas diferentes entre si.

Figura 1 – Configuração atual do processo de montagem de eixos



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

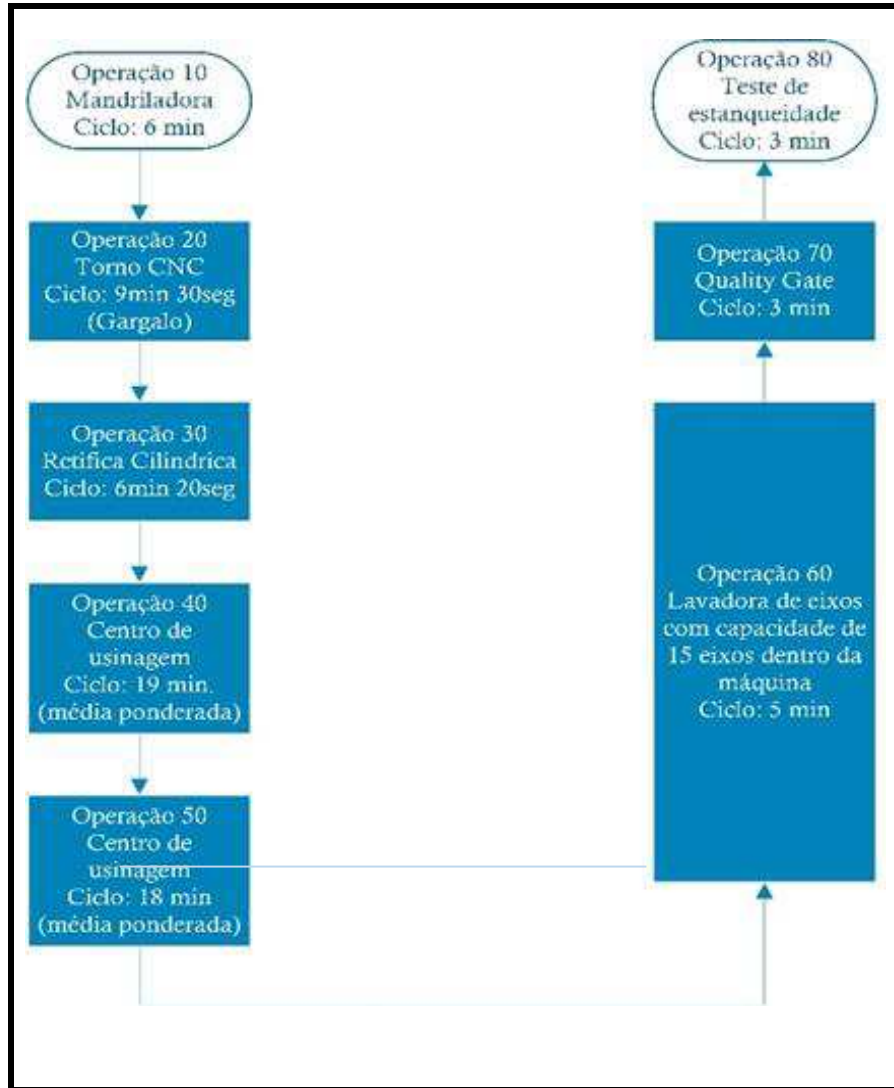
#### 4.2. Situação proposta

Foi feita uma análise no projeto dos eixos fabricados na empresa e pode-se detectar uma real melhoria, na qual seria realizado uma unificação das pontas dos eixos fabricados. Com isso, não seria mais necessário o *setup* da operação 30 que faz o acabamento dos produtos. Esse

setup tem uma duração média de 90 minutos, o qual faz a produção gerar um enorme estoque intermediário para atender as necessidades das próximas operações.

A partir destas informações, iniciou-se os estudos de tempos das operações e foi possível identificar as atividades que não agregam valor aos produtos, por fim, é proposta uma nova configuração ao processo de montagem, conforme ilustrado na Figura 2 a seguir.

Figura 1 – Configuração proposta para linha de montagem de eixos



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A partir da nova configuração proposta, algumas melhorias na linha de montagem foram identificadas, sendo as principais descritas a seguir.

Operação 10: além das atividades normais que já eram executadas, este posto assumiu uma das atividades de gravação da operação 70 (Rebarbação e Gravação) e está sendo executada no ciclo da máquina em automático, ou seja, enquanto uma peça está sendo usinada a que está fora da máquina é gravada, não agregando tempo à operação.



Operação 20: Nesta operação não ocorreu alterações em seu processo, porém, deixa de ser “gargalo” e tem agora dois colaboradores dedicado no processo.

Operação 30: A mudança mais significativa nesta operação é a eliminação do *setup* e, por se tratar de um posto de usinagem de precisão, o colaborador se manteve dedicado a este processo.

Operação 40 e 50 (Centro de Usinagem Mazak): Esses postos assumiram todas as atividades do posto 60 (Furadeira Múltipla), a última atividade da operação 70 e o abastecimento do posto 90 (Lavadora de Eixos). Para isso foram necessárias algumas mudanças nos dispositivos de fixação, de modo a atender as alterações de projeto, essas mudanças visaram o acesso a ferramentas de usinagem para a realização de furos e roscas no flange dos eixos.

Operação 70: Será eliminado com a implementação do projeto

Operação 80 (Fresadora de Dentes): Atividade será realizada em uma nova linha terceirizada.

Operação 90: A máquina será abastecida pelos colaboradores dos postos 40 e 50.

Operação 100 (*Quality Gate*) e 110 (Teste de Estanqueidade): Nestes postos não ocorreram mudanças.

Vale ressaltar que essas mudanças não altera a demanda para atender as necessidades do cliente final. Segundo Uddin *et al.* (2010), as mudanças no negócio, onde a demanda é direcionada pelo consumidor, tem motivado empresas a adotar sistemas de manufatura baseados em montagem para produção sob encomenda e a produção em lotes.

### **4.3. Comparação dos tempos de ciclo**

Com a implementação das melhorias e tempo de espera para estabilização dos processos envolvidos, constatou-se os resultados decorrentes da primeira fase do projeto. Na Tabela 1 apresentam-se os tempos de ciclo em minutos por peça, comparando os valores obtidos antes das melhorias com aqueles medidos após e definidos pelo projeto proposto. A meta definida pela diretoria era reduzir o tempo de ciclo em 10% para as peças do escopo. Observa-se que esse alvo foi superado, já que a melhoria média obtida foi de 17,7%.

Tabela 1 – Tempo de ciclo em minutos por peça

Operação	Antes das melhorias	Depois das melhorias	Média de melhoria
10	6,0	6,0	17,7%
20	9,5	9,5	
30	6,2	6,2	
40	16,0	19,0	
50	15,0	18,0	
60	2,0	0,0	
70	3,0	0,0	
80	16,0	0,0	
90	5,0	5,0	
100	3,0	3,0	
110	3,0	3,0	

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

### 4.3. Comparação dos custos de produção

A finalidade principal de se realizar um estudo desta natureza é a redução de custos por meio de melhorias na produtividade, tornando a empresa mais competitiva. Para demonstrar os ganhos obtidos por meio da racionalização da mão-de-obra e otimização dos custos envolvidos na linha de montagem, a Tabela 2 apresenta uma comparação dos custos de produção obtidos antes da melhoria com os obtidos após a mesma, incluindo o *saving* anual.

Tabela 4 – Tempo de ciclo em minutos por peça

Situação	Postos de trabalho	Número de pessoas	Custos de produção por produto (R\$)	% melhoria	Custos de produção no ano (R\$)
Atual	11	12	235,14	14,56%	4.232.520,00
Proposta	09	10	200,89		3.616.020,00
				<b>Saving anual</b>	<b>616.500,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A partir dos dados coletados neste estudo, verificou-se uma redução dos custos de produção e da mão de obra na linha de montagem de eixos de veículos pesados de uma montadora. Esta pesquisa-ação resultou em um *saving* anual de R\$ 616.500,00, considerando a produção de 18.000 eixos por ano.

## 5. Considerações Finais

Este presente estudo mostrou que após a visualização da necessidade e quantidade de produtos necessários é possível mudar o *layout* e o balanceamento de uma linha de montagem para atender as necessidades da demanda e melhorando a competitividade da empresa no que se diz respeito aos lucros. O estudo de tempos e o balanceamento da linha mostrou-se capaz de manter a eficiência sem impactar a qualidade dos produtos.

Nesta pesquisa-ação foi possível verificar que quando há aplicação correta de implementação de melhorias, pode-se atingir os objetivos como a diminuição direta de dois postos de trabalhos e a eliminação de *setup*. Com essa proposta a empresa obteve uma redução direta nos custos anuais de R\$ 616.500,00, ou seja, este valor pode ser revertido em investimentos futuros para manter as condições desta proposta.

## Referências

- BENZER, R.; AGPAK, K.; GOKCEN, H. Balancing of parallel assembly lines. *International Journal of Production Economics*. Turquia, v. 103, n. 2, p. 600-609, 2006.
- BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOOL, A. A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, vol. 183, p. 674-693, 2007.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. 2a. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- EREL, E.; SARIN, S.C. A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning and Control*, vol. 9, p 414-434, 1998.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Thomson Learning, 2002.
- GOMES, J.; OLIVEIRA, J.; ELIAS, S.; BARRETO, A.; AAGÃO, R. Balanceamento de Linha de Montagem na Indústria Automotiva - Um Estudo de Caso. *In: Anais do XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, ENEGEP, Rio de Janeiro, 2008.
- HAMTA, N.; GHOMI, S.M.T.F.; JOLAI, F.; SHIRAZI, M.A. A hybrid PSO algorithm for a multi-objectives assembly line balancing problem with flexible operation times, sequence-dependent setup times and learning effect. *International Journal Production Economics*, vol. 141, p 99-111, 2013.
- KIMMS, A. Minimal investment budgets for flow line configuration. *Institute of Industrial Engineers Transactions*, v. 32, n. 4, p. 287-298, 2000.

MAGATAO, L.; RODRIGUES, L. C. A.; MARCILIO, I.; SKRABA, M. Otimização do balanceamento de uma linha de montagem de cabines de caminhões por meio de programação linear inteira mista. *In: Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, Ubatuba, SP, 2011.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. *Administração da produção*. 2a. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (Organizador). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2012.

MORTIMER, A. A lean route to manufacturing survival, *Journal Assembly Automation, Manchester*, v. 26, n. 4, p. 265-272, 2006.

PIORE, M. J.; SABEL, C. F. *The second industrial divide: possibilities for prosperity*. New York: Basic Books. PMid:17837177, 1984.

ROCHA, D. R. Balanceamento de linha: um enfoque simplificado. *Revista da Faculdade 7 de Setembro*, v. 3, p. 51-62, 2005.

SCHOLL, A.; FLIEDNER, M.; BOYSEN, N. Absalom: Balancing assembly lines with assignment restrictions. *European Journal of Operational Research*, v. 200, n. 3, p. 688-701, 2010.

TAPPING, D; LUYSTER, T.; SHUKER, T. Value Stream Management: eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements. *Productivity Press*. New York, 2002.

UDDIN, M. K.; SOTO, M. C.; LASTRA, J. L. M. An integrated approach to mixed-model assembly line balancing and sequencing. *Assembly Automation*, v. 30, n. 2, p. 164-172, 2010.

VIEIRA, L. H. S. *Balanceamento de uma linha de montagem na Adira S.A.* Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Portugal, 63p., 2009.

ZACHARIA, P. T.; NEARCHOU, A. C. Multi-objective fuzzy assembly line balancing using genetic algorithms. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 23, n. 3, p. 615-627, 2012.