

## **BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM: integrando a perspectiva *lean* e indicadores tradicionais de balanceamento**

Renan Brendler Grando – UFRGS – Engenharia de Produção

renan\_grando\_@hotmail.com

Tarcisio Abreu Saurin – UFRGS – Engenharia de Produção

saurin@ufrgs.br

Marlon Soliman - UFRGS – Engenharia de Produção

marlonsoliman@gmail.com

### **RESUMO**

*Dentre as ferramentas utilizadas para obter eficiência produtiva está o balanceamento de linhas de montagem. Este artigo, a partir de uma sistemática de cinco etapas, fez uma proposta de um balanceamento de operadores em uma linha de montagem incorporando a filosofia enxuta, práticas tradicionais de PCP e indicadores de balanceamento. As cinco etapas são: Estudo da linha, filmagem e coleta de tempos, identificação e realização de melhorias, realização do balanceamento e coleta de indicadores e avaliação do balanceamento. Com isso, foi possível chegar a uma proposta que possibilitaria, dentre outros benefícios, o aumento de 33% da eficiência da linha, redução de 57% de estoques e de 84% do tempo de atravessamento do processo.*

*Palavras-Chave: Balanceamento de Linhas de Montagem, Gráfico Yamazumi, Lean Manufacturing.*

### **ABSTRACT**

*Among the tools used to obtain productivity efficiency is the assembly line balancing. This article, based on a five step systematic, performed a line balancing purpose incorporating lean philosophy, traditional PPC practices and line balancing indicators. The five steps are: Line study, film and sample times, identify and make improvements, line balancing and collect indicators, and procedure evaluation. With*

*the purpose it was possible to obtain, among others, a 33% increase on efficiency line, a reduction of 57% on stocks and 84% on lead time.*

*Key-Words: Assembly Line Balancing, Yamazumi Chart, Lean Manufacturing.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A abordagem *lean*, originada no Sistema Toyota de Produção (STP), surgiu na década de 40 com o objetivo de atender à demanda com qualidade perfeita e com ênfase no combate às perdas. A eliminação das perdas contribui para produtos e serviços entregues em um curto tempo de atravessamento, com alta qualidade, ao menor custo possível, com alta utilização de recursos e atendendo da melhor forma às necessidades dos clientes (SLACK, 2009).

Liker (2005) propôs 14 princípios que são base para o pensamento enxuto: dentre eles está a criação de um fluxo contínuo tanto na área fabril como na administrativa. A criação desse fluxo dá visibilidade aos problemas e desempenha papel fundamental na redução do *lead time*. Ademais, apoia diretamente outros fatores, como melhoria da qualidade e segurança, aumento da flexibilidade, produtividade e eficiência, melhor utilização do espaço e recursos, redução de estoque e incentiva a melhoria contínua.

Para Monden (2015), no chão de fábrica, a criação de um fluxo contínuo em linhas de montagem é de fundamental importância para obter uma linha eficiente, que forneça ao cliente um produto com preço competitivo, atendendo de forma rápida as variações do mercado e as suas demandas. Entre as ferramentas utilizadas para atingi-lo, está o balanceamento de linha, que segundo Gerhardt (2005), visa à minimização do tempo ocioso total dos operadores, o que acarreta em melhor utilização dos recursos produtivos.

Entre as abordagens utilizadas para o balanceamento existe a baseada no *lean manufacturing* que, conforme Sahoo (2008), enfatiza o mapeamento da linha como passo inicial, seguido da determinação dos tempos de ciclo, *takt time*, tempos de paradas e de movimentação de materiais. A partir destes dados, é feito o balanceamento objetivando a distribuição de tarefas de maneira que os operadores trabalhem no ritmo do *takt time*, eliminando a ociosidade. Ainda, segundo Womack (1998), o balanceamento *lean* deve ser guiado por cinco princípios, que são: alto valor agregado

do ponto de vista do cliente, eliminação de perdas ao longo da cadeia de valor, fluxo contínuo e estável, produção puxada e busca da perfeição.

Para a obtenção de resultados ótimos na realização de um balanceamento de operadores é fundamental a utilização de indicadores de balanceamento que complementem aqueles propostos pela abordagem *lean*. Esses indicadores auxiliam na identificação de lacunas de melhorias a serem feitas no processo, assim como na própria realização e avaliação do procedimento. Dessa maneira, irão contribuir para a obtenção de uma melhor eficiência da linha e para a eliminação de perdas.

Entretanto, muitas empresas têm dificuldade em ter as suas linhas balanceadas, com fluxo contínuo e perdas reduzidas. A maior dificuldade, de acordo com Dwivedi (2012), é agrupar as diferentes tarefas em postos de trabalhos individuais, garantindo que a soma dos tempos de ciclo em cada uma das estações não exceda o *takt time*.

Assim, o presente artigo relata um estudo de caso em uma linha de montagem de uma empresa de manufatura mecânica. O objetivo foi propor um balanceamento de operações com a visão *lean*, almejando se obter uma linha estável, que forneça um produto com alto valor agregado, desperdícios reduzidos, produção de acordo com a demanda e sem geração de estoques desnecessários.

O trabalho está composto por cinco seções, onde a primeira é a introdução, na qual se apresenta a problemática a ser abordada, objetivo e justificativa do trabalho. Na segunda seção, será apresentado o referencial teórico, que engloba os conceitos mais relevantes já existentes sobre o tema. Em seguida, na terceira seção, se aborda a metodologia de pesquisa e na quarta seção são relatados os estudos feitos, os resultados obtidos e a discussão sobre eles. Na quinta seção, apresenta-se a conclusão do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção foi desmembrada nos tópicos Balanceamento de linhas de montagem, estudo de tempos, Indicadores de Balanceamento e o Gráfico *Yamazumi* que serão apresentados nas subseções a seguir.

### **2.1. Balanceamentos de Linhas de Montagem**

Linhas de montagem são sistemas nos quais o produto segue um fluxo de produção através de uma linha composta por uma série de estações de trabalho onde

tarefas são realizadas. O produto começa o seu fluxo na linha pela primeira estação de trabalho e passa pelas demais estações de trabalho de acordo com as regras de precedência, até sair na última estação, quando a montagem está concluída. Assim, o problema do balanceamento de linha consiste em definir o número de estações de trabalho e quais tarefas cada uma realiza, sendo que todas as tarefas devem obedecer a uma determinada ordem de precedência e sem exceder o *takt time* (KUMAR, MAHTO, 2013).

Conforme Boysen et al. (2007), a realização de um balanceamento de linha é guiada por objetivos, os quais orientam posteriormente as possíveis soluções para o problema. Alguns objetivos já bem difundidos na literatura costumam ser minimizar o número de estações de trabalho, dado um nível de produção a ser atingido, minimizar o tempo de ciclo, o que equivale a maximizar a taxa de produção considerando uma determinada quantidade de estações de trabalhos já existentes, maximizar a eficiência da linha de produção e reduzir o custo. Estes objetivos conduzem a realização do balanceamento e podem ser almeçados em conjunto, como é o caso de otimizações multi-objetivo. No quadro 1, constam os objetivos e resultados obtidos com balanceamentos de linha já realizados na literatura.

<b>Autor</b>	<b>Objetivo do Balanceamento</b>	<b>Resultados</b>
Gerhardt (2007)	Reduzir o número de estações de trabalho	Redução de 25% da mão-de-obra e aumento de 31% na produtividade
Sihombing (2011)	Reduzir o desbalanceamento da linha	Redução de 30% da mão-de-obra e aumento de 25% na produtividade
Effendi Mohamad, Teruaki Ito, Mohd Rizal Salleh, Noor Aniza Nordin (2012)	Aumento de produtividade	23% de aumento na produtividade e 30% no lead time
Bagal (2014)	Otimizar a utilização de recursos e balanceamento	51% para 71%, redução de 18% da mão de obra
Noor (2014)	Eliminar perdas na linha	54,47% para 73,74% a eficiência da linha
Sane (2014)	Incrementar a eficiência da linha e uso de mão-de-obra	Redução de 47% do desbalanceamento da linha e redução de 22% da mão de obra
Torres (2014)	Propor uma sistemática para balanceamento de célula de manufatura	28,82% redução na ociosidade e 77,62% no lead time
S. Sathish and A.R. Lakshmanan (2015)	Reduzir o número de estações de trabalho	Redução de 13 para 6 estações, aumento de 40% na eficiência e 53% na eficiência

**Quadro 1: Objetivos e Resultados de Balanceamento**

As precedências da linha representam a ordem em que as tarefas devem ser executadas obedecendo às restrições de precedência do sistema. Um balanceamento de linha coerente deve ter uma associação de tarefas em cada estação de trabalho de maneira que nenhuma relação de precedência seja violada. Para garantir isso, pode ser elaborado um diagrama ou uma tabela de precedência, que permitem a sintetização e visualização destas relações. Neste diagrama, as tarefas são representadas por nós que são ligados por arcos às tarefas que elas são relacionadas refletindo as restrições de precedência do sistema. (BOYSEN, et al., 2007)

Segundo Rother e Harris (2002), uma tarefa é definida como o menor incremento de trabalho que pode ser distribuído para outra pessoa. Assim, ao longo de uma linha com diversos postos de trabalho, cada operador executa uma série de pequenas tarefas que somadas resultam no trabalho de cada operador na célula. A soma de todas as tarefas executadas pelos operadores representa o trabalho total da linha de montagem. Considerando que as estações de trabalho possuem diferentes capacidades de trabalho torna-se fundamental o balanceamento destas para se atingir uma alta utilização dos recursos, equipamentos e do tempo.

O *takt time* (equação 1) representa o ritmo de produção necessário para atender a uma determinada demanda do mercado, dadas às restrições de capacidade da linha, e pode ser encontrado dividindo-se o tempo total disponível para a produção pela quantidade total de unidades a serem produzidas. Já o tempo de ciclo (equação 2) é definido como o tempo entre o início da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo em condições de abastecimento constantes (WOMACK, JONES e ROOS, 1990).

$$TT = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda no período}} \quad (1)$$

$$TC = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Quantidade produzida}} \quad (2)$$

Tendo-se em vista o balanceamento da linha e a definição do número de operadores necessários para que a linha trabalhe próximo ao *takt*, deve-se calcular o número teórico de operadores da linha (equação 3). O valor pode ser encontrado pela divisão da soma do tempo total de tarefas ao longo de toda a linha pelo *takt time*. O valor encontrado deve ser arredondado para cima para evitar faltas e paradas. Após a

definição do número de operadores deve-se calcular o tempo de ciclo estimado para cada um deles. Chega-se ao valor dividindo o tempo total de ciclo da linha pela quantidade que foi definida de operadores necessários. (NOOR et al., 2014)

$$N = \frac{\text{Tempo total de tarefas}}{\text{takt time}} \quad (3)$$

Quando a sobra no cálculo de N for inferior a 0,5, deve-se trabalhar em atividades de melhoria para reduzir o desperdício e trabalhos não importantes e evitar o acréscimo deste trabalhador. Quando a sobra for superior a 0,5 deve-se continuar objetivando a eliminação dos desperdícios para se eliminar, futuramente, a necessidade deste operador. Neste momento, pode-se optar pelo método tradicional de balanceamento ou pelo balanceamento *lean*. O balanceamento tradicional acaba embutindo o desperdício no processo pela divisão igual da carga entre os operadores, o que acaba dificultando a posterior eliminação deste trabalhador e cria o potencial para superprodução. Já a opção *lean*, ocupa todos de forma que estejam sempre próximos ao *takt*, com a exceção de um operador, no qual é concentrado todo o desperdício, facilitando e incentivando a realização de *kaizens* para a eliminação de perdas e, conseqüentemente, da necessidade deste operador. (ROTHER; HARRIS, 2002)

Gerhardt (2005) propõe uma sistemática de sete etapas para aplicação de procedimentos de balanceamento em linhas de montagem multi-modelos, são elas: (i) identificação e caracterização do sistema produtivo a ser balanceado; (ii) escolha do procedimento para o balanceamento da linha de montagem; (iii) definição das informações e indicadores de desempenho a serem coletados; (iv) coleta das informações necessárias à realização do balanceamento e obtenção dos indicadores de desempenho; (v) realização do balanceamento; (vi) coleta das informações necessárias para obtenção dos indicadores de desempenho após o balanceamento; (vii) avaliação do balanceamento através da comparação dos indicadores obtidos antes e após a sua realização.

## 2.2. Estudo de Tempos

Para a obtenção dos tempos de execução das tarefas deve-se cronometrar o tempo que uma pessoa qualificada e treinada leva para executar uma tarefa específica trabalhando em ritmo normal. O tempo gasto na execução da tarefa é chamado de tempo padrão. O tempo deve começar a ser cronometrado no momento em que o operador

inicia a tarefa e deve ser lido quando a tarefa é concluída. Alguns autores propõem equações para a definição da quantidade de observações a serem coletadas, mas, em geral, 10 observações é um número recomendado e utilizado na literatura. (BARNES, 1977)

Para Calado et al. (2005), a cronometragem dos tempos através da filmagem é uma metodologia que permite obtenção de tempos com exatidão e auxilia também a esclarecer dúvidas e também no entendimento do processo. E ainda, a utilização da cronometragem através da filmagem permite, segundo Barnes (1977), que seja identificado o melhor método de se executar uma tarefa e também facilita a visualização de perdas nos processos. Assim, a cronometragem através da filmagem pode ser utilizada também para identificação de melhorias nos processos e eliminação de tarefas sem valor agregado.

Uma característica que deve ser levada em consideração em balanceamentos de tarefas está relacionada à variabilidade dos tempos de tarefa. Quando existem variações consideráveis nos tempos de execução das tarefas, geralmente decorrentes de instabilidade na execução dos trabalhos, os tempos são considerados estocásticos. Já quando a variação for suficientemente pequena, como no caso de estações de trabalho automatizadas ou tarefas simples, os tempos são considerados determinísticos. Considera-se que coeficientes de variação das tarefas iguais ou inferiores a 10% são considerados determinísticos para efeitos de estudo. (BECKER; SCHOLL, 2004)

### **2.3. Indicadores de Balanceamento**

Nesse contexto, para se quantificar as melhorias feitas e comparar os estados de balanceamento da linha devem ser utilizados alguns indicadores que os levem em consideração. No quadro 2 são apresentados indicadores já utilizados e bem difundidos na literatura. A utilização dos indicadores fazem comparações do estado anterior e posterior da linha para se verificar a efetividade do balanceamento realizado e para identificar potenciais de melhorias e podem ser encontradas de acordo com as métricas disponíveis no quadro.

<b>Autor</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Métrica</b>
Gerhardt (2007)	Atraso de balanceamento e índice de suavidade,	Tempo ocioso total da linha/tempo de atravessamento; Variação entre o tempo total máximo e os tempos totais do restante das estações de trabalho
Sihombing (2011)	Relação de balanceamento, Eficiência da linha	Tempo de ciclo total/(Número de estações x Operação mais longa); Tempo de ciclo total/nº de operadores x <i>takt time</i>
Bagal (2014)	Relação de balanceamento	Tempo de ciclo total/ Número de estações x Operação mais longa
Noor (2014)	Eficiência da linha	Tempo total de Tarefas/Número de estações x <i>takt time</i>
Sane (2014)	Eficiência da linha, <i>Takt time</i>	Tempo de ciclo total/nº de estações x Operação mais longa, tempo disponível/demanda de produtos
S. Sathish and A.R. Lakshmanan (2015)	Eficiência da linha	Tempo de ciclo total/nº de operadores x <i>takt time</i>

**Quadro 2: Indicadores e Métricas de Balanceamento**

Outros indicadores também podem ser utilizados para identificar o estado da linha e visualizar os efeitos de melhorias realizadas nos processos e no fluxo. Um deles é o *lead time*, que mede o tempo gasto desde a chegada do item na linha até a saída do produto pronto. O *lead time* está diretamente relacionado ao tempo de resposta da linha às variações do mercado e ao tempo decorrido desde o pedido até a entrega do produto pronto. Outros indicadores que podem ser utilizados são o estoque em processo, que mede a quantidade de produtos que estão na linha em processamento ou aguardando processamento, e a produtividade por operador, que é encontrada dividindo a produção diária pela quantidade de operadores (SLACK, 2009).

#### **2.4. Gráfico Yamazumi**

De acordo com Torres e Lemos (2014), para balanceamentos com tempos determinísticos pode ser feita a utilização do Gráfico *Yamazumi* ou Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO). O GBO é utilizado para determinar as tarefas que serão designadas para cada um dos operadores visando nivelar as cargas o mais próximo possível ao *takt time*. Além disso, segundo Sihombing (2011), a ferramenta também permite a identificação e análise de cada etapa do processo auxiliando na redução do tempo de ciclo através da identificação e eliminação de tarefas sem valor agregado.

Segundo Navarro et al. (2012), para que se possa otimizar os resultados obtidos no balanceamento é de fundamental importância identificar as atividades que agregam



valor, não agregam mas são necessárias e as que não agregam valor ao produto. Para Monden (2015), atividades com valor agregado são todas aquelas que o cliente julga necessária e está disposto a pagar. As sem valor agregado, mas necessárias, incluem atividades necessárias no modelo de operação atual que o cliente avalia como sem valor agregado. Estas são difíceis de serem removidas no curto prazo e só podem ser melhoradas a partir de maiores mudanças no sistema operacional. Atividades sem valor agregado são aquelas que o cliente julga sem valor e incluem perdas puras e execução de ações desnecessária que devem ser eliminadas. Estas devem ser reduzidas ou eliminadas e possibilitam o aumento da eficiência do processo no curto prazo sem requerer muito esforço.

Além de ser uma ferramenta bastante poderosa e bem difundida no meio prático para balanceamentos e criação de fluxo contínuo, segundo Salleh (2012), o GBO traz outro benefício, que é a possibilidade de utilizá-lo na visualização das perdas passíveis do processo. Rother e Harris (2002) fazem o balanceamento da linha e distribuição do trabalho através do gráfico e com auxílio deste identificam as tarefas quanto ao valor agregado e as dividem nos três grupos já mencionados. A partir da divisão, são realizados *kaizens* visando à eliminação dos desperdícios ou tarefas que não agregam valor ao produto e a redução do trabalho incidental ou tarefas sem valor agregado, mas necessárias. Ainda, segundo os autores, à medida que as tarefas são eliminadas ou reduzidas deve ser realizado novo balanceamento visando manter o GBO atualizado e a linha eficiente.

### **3. MÉTODO DE PESQUISA**

Nesta seção será apresentado o enquadramento metodológico, desenho da pesquisa e os métodos de coleta e análise dos dados.

#### **3.1. Enquadramento Metodológico**

Este trabalho pode ser classificado como de natureza aplicada, já que objetiva gerar conhecimentos práticos dirigidos à solução do problema de balanceamento. Quanto à abordagem de pesquisa, pode ser classificada como quantitativa já que faz uso de técnicas matemáticas na resolução de problemas relacionados a números. Em relação aos objetivos de pesquisa, esta pode ser classificada como exploratória, pois visa compreender os impactos do balanceamento em uma linha de montagem e, também, por

conduzir a exploração deste tema visando proporcionar maiores conhecimentos sobre o assunto. O procedimento pode ser classificado como pesquisa-ação, porque trata da resolução de um problema coletivo e os participantes estão envolvidos de modo participativo na realização do trabalho (GIL, 1991).

### 3.2. Desenho da Pesquisa

Para abordar o problema do balanceamento em uma linha de montagem da empresa alvo foi elaborada uma sistemática de cinco etapas baseada em Gerhardt (2007). As cinco primeiras etapas propostas por aquela autora foram condensadas em duas etapas no procedimento criado. Isso visou concentrar o estudo nas etapas do balanceamento e realização de melhorias, que foi incorporada ao procedimento com a criação de uma etapa adicional voltada à identificação e realização destas. A sistemática foi a escolhida como base por ter apresentado resultados satisfatórios no trabalho da autora e por utilizar como apoio o gráfico de balanceamento de operadores, que também foi utilizado neste trabalho. Dessa maneira, a realização do trabalho foi dividida seguindo as etapas da figura 1. A figura mostra, em paralelo, onde as etapas do procedimento de Rother e Harris (2002) se encaixaram na sistemática elaborada.

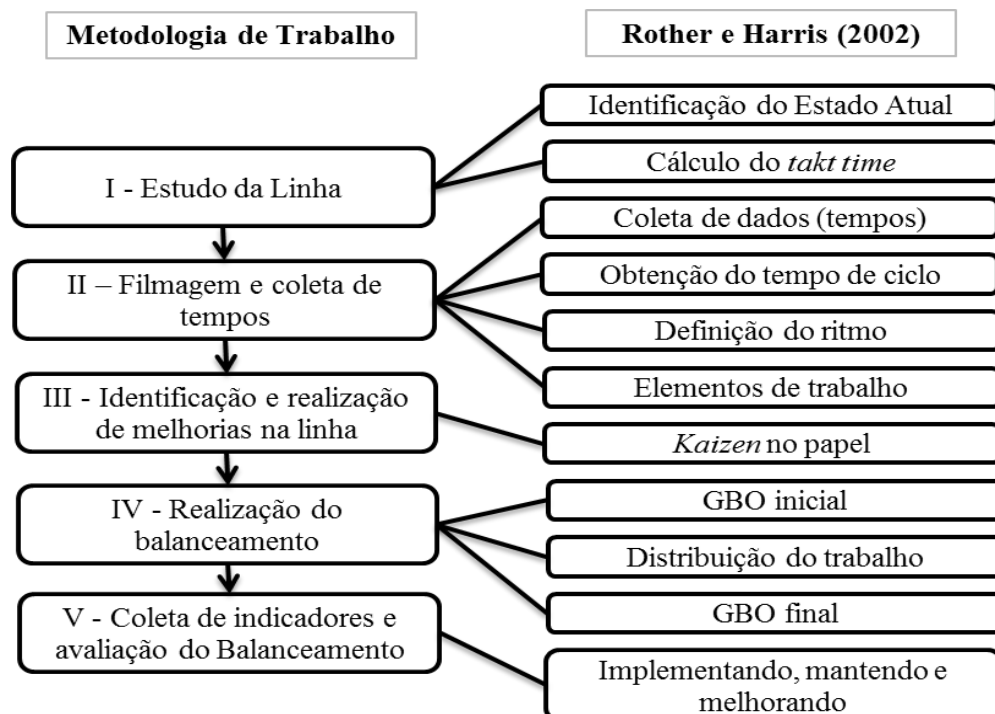


Figura 1: Etapas para realização do balanceamento

### 3.3. Coleta de Dados

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos pela filmagem de todas as operações de ambos os modelos produzidos na linha, totalizando 7 horas de filmagem, entrevistas com montadores e líder da linha e a reunião de finalização. Para obtenção dos tempos foram filmados e cronometrados 10 ciclos de montagem para ambos os modelos do produto em cada uma das estações de trabalho, enquanto um operador experiente desempenhava as tarefas.

A filmagem foi realizada visando identificar a sequência de tarefas executadas pelos operadores, os elementos de trabalho em si, obter os tempos de ciclo de cada uma delas e identificar oportunidades de melhoria. Os tempos obtidos foram então computados e foi calculado o desvio padrão deles para verificar se havia diferenças significativas entre os tempos obtidos. Caso fossem encontrados desvios padrão superiores a 10% da média, os tempos individuais seriam analisados e, caso fossem identificados pontos especiais nos tempos ou atípicos, estes seriam eliminados com o intuito de não mascarar os dados coletados e uma nova coleta seria feita para substituir o ponto especial.

As entrevistas individuais informais foram realizadas com todos os 14 funcionários e o líder da linha para a identificação de oportunidades de melhoria na linha onde foram abordados essencialmente quatro pontos: produção unitária, estoques, processamento e proposições de melhoria. Foram abordados nas entrevistas a possibilidade da produção unitária em cada um dos postos, redução do estoque que antecede o posto e se haveriam impactos na linha, possibilidade de eliminação de tarefas ou redução de etapas na montagem e, por fim, sugestão de possíveis melhorias que os operadores houvessem identificado na linha. Esses dados também serviram de base para a definição do estoque máximo dos postos de trabalho

Já a reunião de finalização foi feita com todos os envolvidos no estudo para apresentação da proposta do balanceamento, coleta final de sugestões, comentários e obtenção do *feedback* dos operadores sobre o trabalho. Nesta reunião também foram apresentadas todas as etapas da realização do trabalho e os resultados que seriam possíveis se obter com a sua implementação.

### 3.4. Análise de Dados

No Estudo da linha, primeiramente, foi feito uma breve descrição do cenário onde o trabalho foi realizado com a caracterização geral da empresa, número de funcionários, setor de atuação, localização e o funcionamento da planta. Em seguida, foi feito o estudo preliminar da linha com a identificação dos postos de trabalho, cálculo do número de operadores, demanda diária e o *takt time* da linha, que foram calculados considerando a demanda média dos últimos quatro meses e a programação dos dois meses seguintes da data da coleta. Além disso, também foi calculado o estoque médio em processo da linha em cada posto de trabalho e o respectivo custo associado a ele, que foi obtido através de consulta ao sistema da empresa onde constam os custos médios dos itens. A linha foi escolhida em conjunto com os gestores da empresa para a realização do trabalho porque foi uma linha recentemente reformulada e apresenta uma ociosidade aparente dos funcionários com a nova configuração.

Na Filmagem e coleta de dados, foi feita a identificação das tarefas realizadas na montagem e das diferenças entre as montagens dos modelos. Posteriormente, foi feita a filmagem e cronometragem dos postos de trabalho para obter os tempos de realização das tarefas em cada um dos dois modelos do produto. Foi possível então desmembrar o trabalho total realizado em elementos de trabalho e definir os respectivos tempos de ciclo. A partir disso, foi possível levantar o estado atual do balanceamento com a construção do gráfico *Yamazumi*, que possibilitou a análise da utilização de recursos. Além disso, também foram levantados os indicadores do estado inicial da linha e foi criado o diagrama de precedência das tarefas. Foram utilizados os indicadores de eficiência da linha, relação de balanceamento, índice de suavidade, *lead time*, número de operadores, estoques em processo e redução de custo estimada por serem indicadores já bem difusos na literatura e por possibilitarem a análise e comparação dos estados de balanceamento da linha.

Na Identificação e realização de melhorias na linha, foram feitas entrevistas individuais informais com os 14 operadores da linha operadores e com o líder da linha visando obter novas informações e proposições de melhorias para a linha abordando os tópicos conforme descrito na subseção Coleta de Dados. Com base nisso, na análise dos vídeos, da linha e das operações, foram identificadas oportunidades de melhorias que viessem a eliminar perdas existentes no processo atual.

Na Realização do balanceamento, foi realizado o balanceamento *lean* das tarefas apoiado no Gráfico de Balanceamento de Operadores, obedecendo às regras de precedência da linha, considerando as distâncias entre os postos de trabalho e as demais restrições que a linha impõe. O método do balanceamento pelo gráfico *Yamazumi* foi o escolhido por ser uma ferramenta visual, de simples implementação, que possibilita a visualização das perdas, aponta as oportunidades de melhoria e incentiva a melhoria contínua. A distribuição das atividades também obedeceram às restrições do layout da linha, que impediram que algumas das tarefas pudessem ser distribuídas com outros postos de trabalho devido à dificuldade de acesso e a estrutura fixa da linha, a qual não poderia sofrer grandes alterações. Ainda, visando não ter maiores perdas por movimentação dos operadores, a distribuição de tarefas ficou limitada aos postos próximos. Em seguida, foram coletados os indicadores de eficiência da linha balanceada para posterior avaliação dos resultados.

Na Coleta de indicadores e avaliação do Balanceamento, foram comparados os indicadores de balanceamento obtidos antes e após a elaboração da proposta de balanceamento e analisados os resultados obtidos. Para finalizar o trabalho, foi feita uma reunião com o líder da linha e todos os seus integrantes para a apresentação do trabalho, revalidação do processo e identificação de possíveis novas sugestões sobre o balanceamento da linha e as etapas realizadas, e a realização de ajustes finais na proposta, caso fosse necessário.

#### **4. RESULTADOS**

Nesta seção serão apresentados os resultados do trabalho seguindo as etapas propostas no Método de Trabalho.

##### **4.1. Estudo da Linha**

A empresa na qual foi realizado o trabalho trata-se de uma multinacional alemã de grande porte responsável pela fabricação, comércio e prestação de serviços no ramo de elevadores. No Brasil, a empresa possui uma fábrica localizada na região Sul do Brasil, além de 65 filiais e escritórios distribuídos pelas principais cidades e capitais dos estados, que atendem a todo o mercado Latino Americano da empresa. Na totalidade são 4000 funcionários distribuídos no país, sendo 800 destes na sua matriz, onde foi

realizado o trabalho. A fábrica conta com uma área construída de 24 mil metros quadrados e possui um faturamento de aproximadamente 1,2 bilhões de Reais anuais.

A manufatura é dividida em transformação, montagem e expedição que totalizam 324 funcionários distribuídos em dois turnos de trabalho. O fluxo da produção inicia na transformação, a qual possui um layout funcional e é responsável pela transformação das matérias-primas em itens que farão parte de um conjunto final na montagem. Esta, por sua vez, é abastecida pela transformação e é dividida em 16 linhas, sendo que cada uma delas é responsável pela composição de uma das partes do elevador, como pavimentos, cabina, regulador de velocidade, estrutura, entre outros. Após cada um dos itens serem montados eles são encaixotados e enviados à expedição, onde os produtos prontos são alocados nos respectivos caminhões e enviados para uma filial da empresa mais próxima da localidade onde o elevador será instalado. A partir daí, as equipes de campo fazem a instalação e montagem do produto no local desejado. No Apêndice A consta o Mapa de Fluxo de Valor da fabricação do elevador para melhor visualização do processo fabril da empresa.

O alvo deste estudo é a linha de montagem de portas, que contém 14 funcionários distribuídos em uma área de 300 metros quadrados. Além desses, existem 4 operadores de apoio, sendo um deles o líder responsável pela gestão da linha e os demais responsáveis por fazer o abastecimento e transporte de materiais.

Atualmente são 14 operadores que compõem a linha de montagem, divididos em 14 postos de trabalho conforme a figura 2. A linha é responsável pela montagem de pavimentos, que correspondem a toda a estrutura que compõe a porta de um elevador (duas portas, um cabeçote, dois carros, uma soleira e duas laterais), seja ela com abertura central ou abertura lateral. As tarefas realizadas na montagem dos dois modelos são basicamente as mesmas, porém com diferença entre os tempos de cada um dos modelos, como será melhor evidenciado adiante. A linha possui um turno útil de 500 minutos diários, nos quais deve atender uma demanda média diária de 230 pavimentos sendo 60% do modelo central e 40% do modelo lateral, com o *takt time* de 130,4 segundos por unidade (pavimento). No desenho do *layout* na figura 2 também estão mostrados os pontos onde são gerados estoques no processo, e as respectivas quantidades médias existentes e o valor monetário (obtido do sistema) associado a elas que são apresentadas na tabela 1.



**Tabela 1: Estoque em processo atual**

Posto	Estoque	Custo (R\$)	Total (R\$)
<b>a</b>	30	25,00	750,00
<b>b</b>	30	25,00	750,00
<b>c</b>	100	73,60	7360,00
<b>d</b>	3	46,78	140,34
<b>e</b>	30	188,00	5640,00
<b>f</b>	40	53,23	2129,20
<b>g</b>	3	689,40	2068,20
<b>h</b>	6	782,49	4694,94
<b>Total</b>			R\$ 23.532,68

#### 4.2. Filmagem e coleta de tempos

Primeiramente com a observação dos postos de trabalho, conversa com os operadores e a realização de filmagens juntamente com o líder responsável pela linha foi possível que a montagem dos dois modelos fosse desmembrada em tarefas, totalizando 63 tarefas na montagem de cada um dos modelos de produtos. A partir disso, foi definida a ordem de precedência das tarefas para cada um dos modelos, apresentada nas tabelas 2 e 3, que mostram todas as tarefas realizadas na montagem dos modelos. Também constam a ordem de precedência que cada uma delas obedece, juntamente com o tempo médio de execução das tarefas, desvio padrão, coeficiente de variação, posto que executa a tarefa e o tempo total de montagem dos modelos. Com isso, os tempos puderam ser definidos como de natureza determinística, já que apresentaram coeficientes de variação menores ou iguais a 10%.

**Tabela 2: Tarefas e tempos do modelo lateral**

Posto	Tarefa	Descrição	Média (s)	Desvio	C. V.	Precedente
1	1	Pegar trinco	2,0	0,0	0,0%	0
	2	Colocar parafusos e Fixar	12,0	0,9	7,2%	1
3	3	Fixar rosca	8,0	0,8	9,4%	2
	4	Pegar trinco 2	2,0	0,0	0,0%	0
2	5	Fixar rodas	12,0	0,0	0,0%	4
	6	Juntar conjunto	17,0	1,6	9,6%	5
1	7	Prensar pinos no suporte	15,0	0,5	3,5%	6
	8	Colocar na Mesa	2,0	0,0	0,0%	7
	9	Fixar suporte no Carro	30,0	0,6	1,9%	8
	10	Fixar rodas	17,0	1,1	6,5%	3
	11	Colocar cabo de aço	35,0	0,5	1,5%	10
2	12	Preparar gabarito	10,0	0,5	5,0%	11
	13	Parafusar carro	22,0	2,1	9,4%	12
	14	Fixar Olhal	25,0	0,9	3,7%	13
	15	Retirar e passar para posto seguinte	9,0	0,7	7,3%	14
3	16	Fazer Furação e colocar parafusos	20,0	0,0	0,0%	9
	17	Preparar o gabarito	8,0	0,5	5,8%	16
	18	Fixar parafusos na lateral	21,0	1,0	4,6%	17



	19	Fixar parafusos no centro	20,0	1,6	8,0%	18
	20	Fixar parafuso na dobra	17,0	1,7	10,1%	19
4	21	Colocar cabeçote na mesa	7,0	0,6	9,3%	0
	22	Tirar rebarba	9,0	0,8	9,1%	21
	23	Fazer furação	13,0	0,7	5,7%	21
	24	Colocar porcas	19,0	1,9	9,9%	23
	25	Fazer dobra	6,0	0,6	9,2%	24
	26	Girar a mesa	6,0	0,5	7,7%	25
	27	Colocar contato	21,0	2,0	9,6%	25
5	28	Fixar carro 1	13,0	0,7	5,1%	27
	29	Colocar régua	11,0	0,6	5,1%	28
	30	Fixar Régua	22,0	1,2	5,7%	29
	31	Colocar Carro 2	9,0	0,4	4,6%	30
	32	Fixar parafusos	11,0	1,0	9,0%	31
6	33	Erguer o cabeçote	11,0	0,0	0,0%	21
	34	Fazer furação no carro	11,0	1,1	9,9%	21, 32
	35	Colocar trinco	11,0	0,9	8,5%	34
	36	Colocar suporte e fixar	19,0	1,9	10,2%	35
	37	Fixar trinco	19,0	1,9	9,8%	36
	38	Colocar mola e empurrar	14,0	1,1	8,2%	37
7	39	Posicionar soleira na banca	15,0	0,4	2,8%	0
	40	Colocar parafusos	18,0	1,5	8,3%	39
	41	Juntar e fixar	14,0	0,8	5,6%	40
	42	Colocar no estoque	5,0	0,4	8,8%	41
8	43	Pegar lateral e colocar na mesa	6,0	0,0	0,0%	42
	44	Pegar cabeçote e colocar na mesa	6,0	0,0	0,0%	38
	45	Fixar Portas	25,0	0,7	2,7%	0
9	46	Pegar cabeçote e colocar na mesa	5,0	0,0	0,0%	45
	47	Colocar a lateral	30,0	2,8	9,2%	46
	48	Parafusar lateral	10,0	0,0	0,0%	47, 55
	49	Pegar e guiar a porta	17,0	1,8	10,9%	0
10	50	Pegar lateral e colocar na mesa	6,0	0,0	0,0%	0
	51	Pegar soleira e colocar na mesa	14,0	0,6	4,5%	0
	52	Fixar lateral	30,0	2,7	9,0%	38
	53	Parafusar lateral	10,0	0,0	0,0%	49, 50, 52
11	54	Pegar porta 1 e colocar na mesa	13,0	0,5	3,6%	51
	55	Pegar porta 2 e colocar na mesa	13,0	0,7	5,1%	54
12,13,14	56	Regular altura das portas	64,0	6,4	10,0%	48
	57	Colocar mola	9,0	0,5	5,5%	56
	58	Subir porta	10,0	0,0	0,0%	57
	59	Fixar soleira	37,0	3,8	10,2%	58
	60	Prender porta inferior	16,0	1,5	9,2%	59
	61	Descer a porta	10,0	0,0	0,0%	60
	62	Prender porta superior	8,0	0,8	9,9%	61
	63	Colocar presilha na porta e carros	20,0	0,6	3,2%	62
Tempo Total (s)			947,0			

Tabela 3: Tarefas e tempos do modelo central

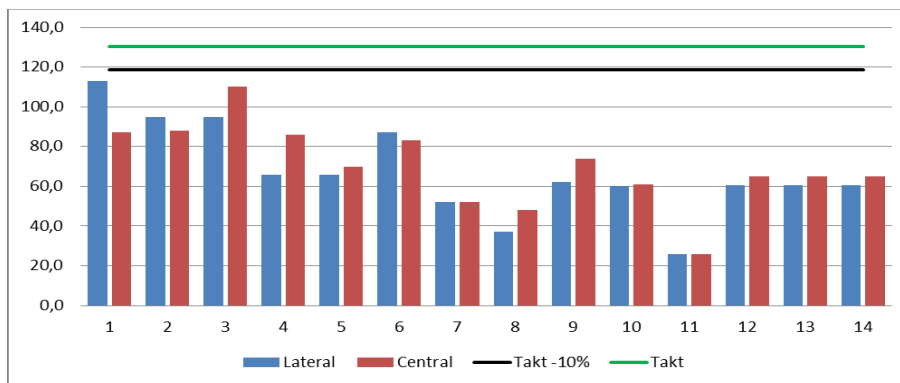
Posto	Tarefa	Descrição	Média (s)	Desvio	C. V.	Precedente
1	1	Pegar trinco	2,0	0,0	0,0%	0
	2	Colocar parafusos e Fixar	12,0	1,1	9,1%	1
	3	Fixar rosca	7,0	0,6	9,3%	2
	4	Pegar trinco 2	2,0	0,0	0,0%	3
	5	Fixar rodas	12,0	0,0	0,0%	4
	6	Juntar conjunto	17,0	1,8	10,5%	5
	7	Colocar parafusos e fixar	35,0	0,0	0,0%	0
2	8	Preparar gabarito e colocar carrinho	11,0	1,0	9,2%	7
	9	Fazer a fixação dos parafusos	48,0	2,6	5,3%	8
	10	Colocar no gabarito	2,0	0,0	0,0%	9
	11	Parafusar	27,0	2,5	9,3%	10
3	12	Fazer Furação e colocar parafusos	20,0	0,0	0,0%	6
	13	Preparar gabarito	12,0	0,9	7,8%	12
	14	Pegar carrinho e colocar na mesa	4,0	0,3	8,1%	13
	15	Pegar parafusos e parafusar	21,0	1,6	7,7%	14
	16	Colocar no molde	3,0	0,3	10,9%	15
	17	Pegar parafusos e parafusar	22,0	1,3	6,0%	16
	18	Colocar no molde 2	3,0	0,0	0,0%	17
	19	Pegar o trinco e fixar	7,0	0,8	10,9%	18

	20	Fixar Olhal	19,0	1,5	8,0%	19
4	21	Colocar cabeçote na mesa	8,0	0,7	8,3%	0
	22	Tirar rebarba	9,0	0,8	9,1%	21
	23	Colocar porca	16,0	1,3	8,1%	22
	24	Fazer dobra	5,0	0,5	9,4%	23
	25	Fixar Contato	41,0	4,3	10,5%	24
	26	Girar a mesa	6,0	0,5	7,7%	0
5	27	Colocar Régua	9,0	0,5	5,2%	26
	28	Fixar régua no Cabeçote	16,0	1,5	9,2%	27
	29	Fixar batente	17,0	1,2	7,1%	28
	30	Colocar batente na régua	7,0	0,6	8,8%	29
	31	Colocar carros no cabeçote	13,0	1,0	7,7%	30
	32	Parafusar os materiais	10,0	0,6	6,5%	31
6	33	Girar e erguer o cabeçote	11,0	0,3	2,8%	21
	34	Fazer furação no contato	4,0	0,0	0,0%	21, 32
	35	Parafusar trinco e furar	24,0	2,2	9,2%	34
	36	Apertar parafusos	12,0	0,8	6,3%	35
	37	Colocar mola e cabo	20,0	0,0	0,0%	36
	38	Colocar rodas e empurrar	9,0	0,5	5,5%	37
7	39	Posicionar soleira na banca	15,0	0,4	2,8%	0
	40	Colocar parafusos	18,0	1,5	8,3%	39
	41	Juntar e fixar	14,0	0,8	5,6%	40
	42	Colocar no estoque	5,0	0,4	8,8%	41
8	43	Pegar lateral e colocar na mesa	5,0	0,4	8,1%	0
	44	Pegar cabeçote e colocar na mesa	6,0	0,6	9,2%	38
	45	Fixar Portas	37,0	3,1	8,3%	0
9	46	Pegar cabeçote e colocar na mesa	5,0	0,6	11,7%	45
	47	Fixar lateral e rodas	29,0	1,9	6,7%	46
	48	Parafusar lateral	10,0	0,9	9,2%	47,55
	49	Pegar e guiar a porta	29,0	1,1	3,8%	0
10	50	Pegar lateral e colocar na mesa	8,0	0,6	8,1%	0
	51	Pegar soleira e colocar na mesa	14,0	0,9	6,7%	0
	52	Fixar lateral	29,0	1,8	6,1%	38
	53	Parafusar lateral	10,0	0,8	8,1%	49, 50, 52
11	54	Pegar porta 1 e colocar na mesa	13,0	1,1	8,8%	51
	55	Pegar porta 2 e colocar na mesa	13,0	0,8	6,3%	54
12,13,14	56	Colocar mola	13,0	1,2	9,4%	48
	57	Fixar corda	36,0	3,8	10,6%	56
	58	Regular altura das portas	53,0	5,4	10,2%	57
	59	Subir a Porta	10,0	0,6	5,6%	58
	60	Parafusar a base na soleira	38,0	3,7	9,8%	59
	61	Colocar presilha na base	11,0	1,0	9,4%	60
	62	Descer a Porta	9,0	0,7	7,4%	61
	63	Colocar presilha na porta e carros	24,0	2,2	9,1%	62
Tempo Total (s)			977,0			

A montagem dos dois modelos ocorre de forma semelhante, diferindo em algumas tarefas com a anexação ou retiradas de etapas do processo, o que reflete na variação dos tempos das tarefas entre os dois modelos. No entanto, como é mostrado nas tabelas 2 e 3, e posteriormente na figura 3, essa variação entre os tempos é quase nula, com exceção dos postos 1,2 e 4.

Com a obtenção dos tempos, os dados foram computados e foi criado o Gráfico de Balanceamento do estado atual da linha, sendo que o eixo x representa cada um dos 14 operadores na montagem dos dois modelos e as linhas acima representam o *takt time* com uma folga de 10% nos tempos e o *takt* sem a folga, também conhecido como tempo de ciclo meta. Pela análise do gráfico, pode-se concluir que os tempos de ciclo em cada um dos postos não diferem consideravelmente de um modelo para o outro e, também,

que a linha possui uma ociosidade elevada já que os tempos de ciclo estão distantes das linhas do *takt time*, o que se comprova pelos indicadores mostrados na tabela 4. Todos os cálculos realizados foram feitos de acordo com as equações propostas no Referencial Teórico e estão apresentados no Apêndice B do trabalho. Além disso, a existência deste desbalanceamento entre os postos de trabalho incentiva a criação de estoques mostrada na seção anterior.



**Figura 3: Estado atual da distribuição tarefas**

**Tabela 4: Indicadores de Balanceamento da Linha**

Número de operadores na linha	14
Operadores no Apoio	4
Eficiência	52,8%
Capacidade da Linha	269,83
Relação de Balanceamento	0,62
Índice de Suavidade	179,04
Lead Time (minutos)	282,6

#### 4.3. Identificação e realização de melhorias na Linha

As melhorias propostas para a linha foram guiadas pelos princípios *lean*, ou seja, visando a obtenção de uma linha com perdas reduzidas. Para isso, as melhorias foram focadas na criação de um fluxo contínuo e redução de estoques, que geram as sete perdas fundamentais. Assim, o primeiro ponto atacado nas melhorias foram os estoques existentes no processo. Como os estoques d, f e g são limitados pela estrutura da linha em 3, 3 e 6 unidades respectivamente, estes foram mantidos nestes níveis. Já os demais foram limitados de maneira que existisse estoque suficiente para suprir possíveis problemas na produção ou falhas no abastecimento por 10 minutos. Esse tempo foi assim definido por ser considerado pelo líder da linha como o tempo necessário para

que eventuais problemas que surgissem fossem sanados sem afetar a produtividade e ocasionar paradas de produção. Assim, foi definido um nível de estoque máximo nos demais postos como mostra a tabela 5.

**Tabela 5: Níveis máximos de estoque definidos**

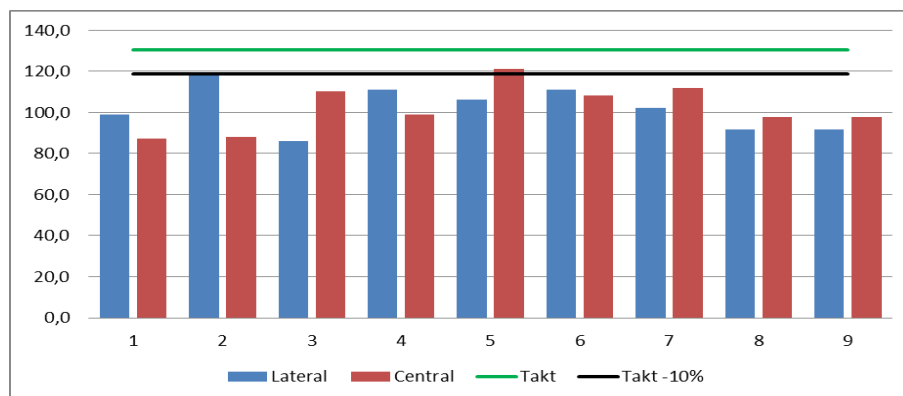
<b>Posto</b>	<b>Estoque</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
a	5	25,00	125,00
b	5	25,00	125,00
c	10	73,60	736,00
d	3	46,78	140,34
e	10	188,00	1880,00
f	5	53,23	266,15
g	3	689,40	2068,20
h	6	782,49	4694,94
Total			R\$ 10.035,63

O segundo ponto atacado foi a criação de um fluxo unitário na linha, em especial, nos postos de montagem dos carros (Posto 1, 2 e 3), que representam um subitem do pavimento. Anteriormente, os montadores que iniciavam o processo faziam a montagem em lotes de carros, que geralmente variavam entre 10 a 20 unidades de acordo com a quantidade de andares do elevador. Portanto, eles esperavam confeccionar todos os carros do lote para então, passar para o posto seguinte. Foi proposto que os carros fossem confeccionados um a um e que fossem disponibilizados no posto seguinte imediatamente, eliminando assim a criação de estoques intermediários desnecessários entre os processos. Nos demais postos, o fluxo já era unitário, pois o formato da linha não permite que sejam confeccionados mais de uma unidade por vez. Tanto essa melhoria como a proposta no parágrafo anterior não possuem empecilhos práticos para serem implementadas e não dependem da realização do balanceamento, tratando-se apenas de uma limitação que seria imposta objetivando a não criação de estoques desnecessários e a redução do *lead time* da linha.

#### **4.4. Realização do Balanceamento**

Com a identificação das melhorias propostas para a linha iniciou-se o balanceamento teórico dos operadores. A linha de montagem já possui uma estrutura fixa e não existe a possibilidade de se mudar o layout dos postos de trabalho. Portanto, ao realizar este balanceamento se partiu do pressuposto de manter os postos nos locais

onde estão, focando na distribuição das tarefas entre eles e na possível eliminação de alguns postos. A única mudança de layout proposta foi a mudança da banca onde é realizada a montagem da soleira para mais próximo à mesa central, já que a montagem será realizada pelos mesmos operadores e esta banca ser a única que possui uma maior mobilidade. Assim, ao realizar a distribuição de tarefas, estas foram agrupadas de modo que se mantivessem próximas aos operadores para evitar perdas por movimentação. Com isso, foi possível chegar a distribuição de tarefas como é mostrada na figura 4.



**Figura 4: Estado Futuro de distribuição tarefas**

Como é mostrado na figura 4, nota-se que todas as tarefas estão abaixo do *takt time* e, com exceção de uma, estão abaixo do *takt* com a margem de 10% de segurança. A principal contribuição do balanceamento foi a eliminação da necessidade de cinco operadores, que geraram o aumento de 33,25% da eficiência média da linha e nos demais indicadores de balanceamento. Para que a implementação seja completamente satisfatória, recomenda-se que esses funcionários que não serão mais utilizados na linha sejam realocados em outros setores ou funções que estejam deficientes de mão-de-obra, no caso da empresa uma opção seria o setor de logística interna, recém criado e com déficit de funcionários.

Além disso, também é possível observar que ainda existem oportunidades de melhor distribuição das tarefas de modo que o tempo de ciclo dos operadores esteja idealmente exatamente igual ao *takt* com a margem de segurança. Não foi possível se aproximar mais deste valor devido a restrições do próprio layout da própria linha e as distâncias entre os postos de trabalho, que não puderam ser alteradas no estudo. No entanto, a realização do estudo se mostrou satisfatória e eficaz, já que possibilitou aproximar a linha da quantidade ideal de 8 operadores, segundo a equação para cálculo do número mínimo de operadores na linha calculado de acordo com a equação 3 e

mostrado abaixo. Para o cálculo foi considerado o tempo total de tarefas de cada modelo (947,0 s e 977,0 s) ponderado pela proporção que cada modelo representa na produção, que são de 40% e 60% para o modelo lateral e central respectivamente. Através de um trabalho mais intenso de melhoria contínua a ser realizado almeja-se que futuramente se possa atingir a meta ideal da linha.

$$N = \frac{947,0 \times 40\% + 977,0 \times 60\%}{130,4} = 7,40 = 8 \text{ Operadores}$$

Ainda, com a simples realização do balanceamento, também será possível eliminar diretamente 6 tarefas, 3 de cada um dos modelos que estão relacionadas a realização de atividades sem valor agregado, são elas: retirar rebarba, colocar soleira no estoque e girar a mesa.

#### **4.5. Coleta de indicadores e avaliação do balanceamento**

Nesta última etapa, foram coletados os indicadores de desempenho após os cálculos do balanceamento proposto que estão contidos na tabela 6 e no Apêndice B, onde é também feita a comparação entre os dois estados. Os indicadores mostram que os valores atingidos pelo estudo estão compatíveis com os demais trabalhos já realizados na literatura e que foram apresentados no Referencial Teórico deste trabalho, no quadro 1. Em relação à mão de obra, o balanceamento conforme proposto possibilitaria uma redução de 35,71%, enquanto que os resultados dos trabalhos anteriores variaram de 22% a 53%. Já na eficiência da linha, o resultado seria de 33,25%, também entre os 19% a 40% obtidos nos demais apresentados no quadro. Já no índice de suavidade, a melhora foi de 65,88% e, também, possibilitaria uma redução de 84,62% no tempo de atravessamento dos produtos na linha. Em relação ao custo de estoque, a delimitação dos níveis de estoques máximos fará com que ocorra uma redução de cerca de 13 mil Reais nos níveis de estoque e a redução do número de postos de trabalho resultaria na redução de 35% no custo da mão de obra.

Como se pode observar na tabela 6, a capacidade da linha apresentou um resultado negativo, já que foi reduzida em 7% devido a redução da capacidade dos postos de trabalho, em especial, ao aumento do tempo de ciclo do posto que antes era o gargalo. Essa redução foi feita visando nivelar a capacidade da linha à demanda e dificultar a acumulação de estoques entre os postos. Dessa forma, a redução da capacidade é simbólica, já que a linha continua tendo a sua capacidade de produção

mensal acima da demanda e a capacidade que a linha possuía não era utilizada, já que estava acima da programada.

**Tabela 6: Indicadores de balanceamento após a realização**

<b>Indicadores</b>	<b>Atual</b>	<b>Novo</b>	<b>Varição</b>
Número de operadores na linha	14	9	-35,71%
Operadores no Apoio	4	4	0,00%
Eficiência Central	53,7%	86,2%	32,54%
Eficiência Lateral	51,5%	85,8%	34,30%
Eficiência	52,8%	86,1%	33,25%
Capacidade da Linha	269,83	250,46	-7,18%
Relação de Balanceamento Central	0,64	0,84	32,76%
Relação de Balanceamento Lateral	0,59	0,86	45,01%
Relação de Balanceamento	0,62	0,85	38,67%
Índice de Suavidade Central	167,19	64,84	-61,22%
Índice de Suavidade Lateral	190,88	57,34	-69,96%
Índice de Suavidade	179,04	61,09	-65,88%
Lead Time (minutos)	282,6	43,5	-84,62%
Custo do Estoque em processo	R\$ 23.532,68	R\$ 10.035,63	-57,35%
Custo da Mão-de-Obra	R\$ 51.744,00	R\$ 33.264,00	-35,71%

Por fim, na reunião de encerramento a proposta de balanceamento foi apresentada e validada por parte de todos os interessados e, também, foi obtido o *feedback* positivo de todo o procedimento, que segundo eles possibilitou que as perdas já incorporadas à linha ficassem mais aparentes com a participação de uma pessoa estranha ao processo, expondo os desperdícios existentes e os potenciais de melhorias. Além disso, possibilitou a análise de suas tarefas de outro ponto de vista, a perspectiva *lean*, auxiliando-os na identificação de perdas que existem no processo atualmente, assim como também direcioná-los para a melhoria da eficiência da linha, identificação e eliminação de desperdícios.

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi atingido, ao passo que foi feita uma proposta de um balanceamento de operações visando à redução e eliminação de desperdícios da linha de montagem, atendendo à demanda rapidamente, fornecendo um produto de qualidade e ao menor custo possível, proporcionando assim um maior retorno para a empresa. A proposta apresentada possibilitaria a obtenção dessas finalidades atingindo, entre outros, uma redução de 35% do custo de mão-de-obra, aumento de 33% na eficiência e uma redução de quase 85% no tempo de atravessamento do produto, ou seja, o produto seria

entregue ao cliente da linha em um tempo 85% menor. Além disso, a aplicação dos princípios *lean* permitiriam a redução de 57% do estoque em processo (13 mil Reais), a eliminação de cinco postos de trabalho e de seis tarefas sem valor agregado do processo.

Assim, a implementação do balanceamento proposto possibilitaria que fossem atacados os desperdícios fundamentais do *lean* com: (i) redução da superprodução devido ao ajuste da capacidade da linha à efetiva demanda; (ii) redução dos estoques com a definição de um nível máximo para cada posto, evitando assim a acumulação desnecessária de materiais; (iii) redução do tempo de espera, à medida que os postos de trabalho começariam a trabalhar em ritmos semelhantes; (iv) a eliminação de tarefas desnecessárias do processo que não agregam valor ao produto.

Ainda, o trabalho mostrou que a utilização dos indicadores de balanceamento desempenhou papel fundamental na realização e na obtenção dos resultados almejados, ao passo que estes guiam a distribuição das tarefas e possibilitam a comparação entre os estados para que se possa utilizar os recursos da melhor maneira possível. Além disso, os indicadores utilizados estão diretamente relacionados com o objetivo do *lean manufacturing*, que é agregar o máximo de valor sem gerar desperdícios. Portanto, a utilização dos indicadores de balanceamento complementa a implementação *lean* e norteia a realização do balanceamento possibilitando que o objetivo final e a eficiência ótima sejam atingidos.

Entre as dificuldades e limitações da realização do trabalho estão aquelas relacionadas à implementação do balanceamento, já que o mesmo se deteve a uma implementação teórica. Os motivos por se optar pela não implementação no momento foram: a fábrica, de modo geral, não apresentar os seus processos totalmente estáveis, o que gerou insegurança para o estabelecimento de metas mais próximas ao *takt time*; o fato da implementação do *lean* estar em estágio inicial na empresa e a grande maioria dos funcionários e gestores não estarem ainda inteiramente adeptos e inseridos à filosofia. Para que o balanceamento seja realizado efetivamente, recomenda-se que sejam feitos trabalhos almejando a estabilização dos processos e materiais, para que assim se obtenha maior confiança na utilização das ferramentas *lean*, e sejam feitos *workshops* e treinamentos com os funcionários da empresa para que estes sejam melhor inseridos e tenham mais familiaridade e conhecimento das ferramentas.



## 6. REFERÊNCIAS

BAGAL, P. SANE, S.; KARANDIKAR, V.: Line Balancing on Wiring Harness Assembly Line: A Case Study. Industrial and Production Engineering Department, Vishwakarma Institute of Technology, Pune-411037, India, Vol.4, No.2, 2014.

BARNES, R. M. Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida do trabalho. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

BECKER, C.; SCHOLL, A.: A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research, v. 168, p. 694-715, 2004.

BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A.: A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research, v. 183, p. 674-683, 2007.

CALADO, R.; LIMA, P.; CALARGE, F.; MLLER, R. Metodologia de estudo de tempos para balanceamento de linha de montagem utilizando a técnica de filmagem. 2005.

DWIVEDI, A.: An Analysis and Development of Software for Assembly Line Balancing Problem of Manufacturing Industry, VSRD International Journal of Mechanical, Automobile & Production Engineering, Vol. 2 (2), 74-87, 2012.

GERHARDT, Melissa Petry; FOGLIATTO, Flávio Sanson; CORTIMIGLIA, Marcelo Nogueira. Metodologia para o balanceamento de linhas de montagem multi-modelo em ambientes de customização em massa. Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p. 267-279, 2007

GERHARDT, Melissa Petry. Sistemática para aplicação de procedimentos de balanceamento em linhas de montagem multi-modelos. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1991.

KUMAR, N.; MAHTO, D. Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application, Global Journal of Researches in Engineering, Industrial Engineering, Vol. 3 Iss. 2, 2013

LIKER, J. 14 Princípios de Gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MOHAMAD, E.; ITO. T.; SALLEH, M.; NORDIN, N.: Simulation Study Towards Productivity Improvement for Assembly Line, Journal of Human Capital Development 07/2012; 5(2):1985-7012.

MONDEN, Y. Sistema Toyota de Produção: Uma abordagem integrada ao just-in-time. Porto Alegre: Bookman, 2015.

NAVARRO, C. ; CLETO, Mercado. G. . O valor agregado no balanceamento de linha numa linha de montagem com abordagem da teoria das restrições: Estudo de caso numa multinacional no Brasil. In: XII SEPROSUL - Semana da la Ingeniería de Producción Sudamericana, 2012, Asunción. Anais do XII SEPROSUL - Semana da la Ingeniería de Producción Sudamericana, 2012.

NOOR, N. et al. Optimization Assembly Process base on Motion Time Study in Manufacturing: Study Case and Implementation, Journal of Applied Science and Agriculture Industry, ISSN: 1816-9112, Vol. 9 No.21 December 2014, 1-12.

ROTHER, M.; HARRIS R.: Criando Fluxo Contínuo. Lean Institute Brasil. São Paulo. 105 p, 2002

SAHOO, A.K.; SINGH, N.K.; SHANKAR, R.; TIEARI, M.K.: Lean philosophy: Implementation in a forging company, International Journal of Advance Manufacturing Technology. London, 2008, p. 125-131.

SALLEH, N. et al. Simulation of Integrated Total Quality Management (TQM) with Lean Manufacturing (LM) Practices in Forming Process Using Delmia Quest, Procedia Engineering 41 (2012), 1702 – 1707.

SANE, S. et al. Assembly line balancing: A case study in silencer manufacturing. International Journal of Current Engineering and Technology 4(3), 2014: 1583-1586.

SIHOMBING, H. et al. Line balancing analysis of tuner product manufacturing. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), ISSN: 0975-5462, Vol. 3 No. 6 June 2011, 5206-5214.

SLACK, N. et al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 2009.,

SATHISH, S.; LAKSHMANAN, A.R.: Assembly Line Efficiency Measurement and Line Balancing-A Case Study on Automobile Cluster Assembly Line. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 9(8): 651-654, 2015.

TORRES, C.; LEMOS, F. Sistemática para balanceamento de célula de manufatura integrando abordagens determinística e estocástica: estudo de caso em uma empresa do ramo automotivo. Produto & Produção. Vol. 15, No. 4, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J.; JONES, T; ROOS, D.: The Machine that Changed the World. Macmillan Publishing Company, Inc, EUA, 1990.



## APÊNDICE B – CÁLCULO DOS INDICADORES

*Eficiência Central (antes)*

$$= \left( \frac{87,0 + 88,0 + 110,0 + 86,0 + 70,0 + 83,0 + 52,0 + 48,0 + 74,0 + 61,0 + 26,0 + 65,0 + 65,0 + 65,0}{14} \right) \times 100\%$$

$$= 53,7\%$$

*Eficiência Lateral (antes)*

$$= \left( \frac{113,0 + 95,0 + 95,0 + 66,0 + 66,0 + 87,0 + 52,0 + 37,0 + 62,0 + 60,0 + 26,0 + 60,7 + 60,7 + 60,7}{14} \right) \times 100\%$$

$$= 51,5\%$$

$$\text{Eficiência (antes)} = \frac{\text{Eficiência Central Antes} + \text{Eficiência Lateral Antes}}{2} = 52,8\%$$

*Eficiência Central (proposta)*

$$= \left( \frac{87,0 + 88,0 + 110,0 + 99,0 + 121,0 + 108,0 + 112,0 + 97,5 + 97,5}{9} \right) \times 100\%$$

$$= 86,2\%$$

*Eficiência Lateral (proposta)*

$$= \left( \frac{99,0 + 118,0 + 86,0 + 111,0 + 106,0 + 111,0 + 102,0 + 91,5 + 91,5}{9} \right) \times 100\%$$

$$= 85,8\%$$

$$\text{Eficiência (proposta)} = \frac{\text{Eficiência Central Proposta} + \text{Eficiência Lateral Proposta}}{2} = 86,1\%$$

*Capacidade da Linha (antes)*

$$= 60\% \times \text{Capacidade do Gargalo atual (Modelo Central)}$$

$$+ 40\% \times \text{Capacidade do Gargalo atual (Modelo Lateral)} = 265,5 \times 40\% + 272,7 \times 60\%$$

$$= 269,83 \text{ unidades/turno}$$

*Capacidade da Linha (proposta)*

$$= 60\% \times \text{Capacidade do Gargalo proposto (Modelo Central)}$$

$$+ 40\% \times \text{Capacidade do Gargalo proposto (Modelo Lateral)}$$

$$= 254,2 \times 40\% + 247,9 \times 60\% = 250,46 \text{ unidades/turno}$$

*Relação de Balanceamento Central (antes)*

$$= \frac{87,0 + 88,0 + 110,0 + 86,0 + 70,0 + 83,0 + 52,0 + 48,0 + 74,0 + 61,0 + 26,0 + 65,0 + 65,0 + 65,0}{14 \times 110,0}$$

$$= 0,64$$

*Relação de Balanceamento lateral (antes)*

$$= \frac{113,0 + 95,0 + 95,0 + 66,0 + 66,0 + 87,0 + 52,0 + 37,0 + 62,0 + 60,0 + 26,0 + 60,7 + 60,7 + 60,7}{14 \times 113,0}$$

$$= 0,59$$

*Relação de Balanceamento (antes)*

$$= \frac{\text{Relação de Balanceamento Central (antes)} + \text{Relação de Balanceamento lateral (antes)}}{2} = 0,62$$

*Relação de Balanceamento Central (proposta)*

$$= \frac{87,0 + 88,0 + 110,0 + 99,0 + 121,0 + 108,0 + 112,0 + 97,5 + 97,5}{9 \times 121,0} = 0,84$$

*Relação de Balanceamento lateral (proposta)*

$$= \frac{99,0 + 118,0 + 86,0 + 111,0 + 106,0 + 111,0 + 102,0 + 91,5 + 91,5}{9 \times 118,0} = 0,86$$

*Relação de Balanceamento (proposta)*

$$= \frac{\text{Relação de Balanceamento Central (antes)} + \text{Relação de Balanceamento lateral (antes)}}{2} = 0,85$$

*Índice de Suavidade Central (antes)*

$$= \sqrt{\frac{(87,0 - 110,0)^2 + (88,0 - 110,0)^2 + (110,0 - 110,0)^2 + (86,0 - 110,0)^2 + (70,0 - 110,0)^2 + (83,0 - 110,0)^2 + (52,0 - 110,0)^2 + (48,0 - 110,0)^2 + (74,0 - 110,0)^2 + (61,0 - 110,0)^2 + (26,0 - 110,0)^2 + (65,0 - 110,0)^2 + (65,0 - 110,0)^2}{9}} = 167,19$$

*Índice de Suavidade lateral (antes)*

$$= \sqrt{\frac{(113,0 - 113,0)^2 + (95,0 - 113,0)^2 + (95,0 - 113,0)^2 + (66,0 - 113,0)^2 + (66,0 - 113,0)^2 + (87,0 - 113,0)^2 + (52,0 - 113,0)^2 + (37,0 - 113,0)^2 + (62,0 - 113,0)^2 + (60,0 - 113,0)^2 + (26,0 - 113,0)^2 + (60,7 - 113,0)^2 + (60,7 - 113,0)^2 + (60,7 - 113,0)^2}{9}} = 190,88$$

*Índice de Suavidade (antes)*

$$= \frac{\text{Índice de Suavidade central (antes)} + \text{Índice de Suavidade lateral (antes)}}{2} = 179,04$$

*Índice de Suavidade Central (proposta)*

$$= \sqrt{\frac{(87,0 - 121,0)^2 + (88,0 - 121,0)^2 + (110,0 - 121,0)^2 + (99,0 - 121,0)^2 + (121,0 - 121,0)^2 + (108,0 - 121,0)^2 + (112,0 - 121,0)^2 + (97,5 - 121,0)^2 + (97,5 - 121,0)^2}{9}} = 64,84$$

*Índice de Suavidade lateral (proposta)*

$$= \sqrt{\frac{(99,0 - 118,0)^2 + 118,0 - 118,0)^2 + (86,0 - 118,0)^2 + (111,0 - 118,0)^2 + (106,0 - 118,0)^2 + (111,0 - 118,0)^2 + (102,0 - 118,0)^2 + (91,5 - 118,0)^2 + (91,5 - 118,0)^2}{9}} = 57,33$$

*Índice de Suavidade (proposta)*

$$= \frac{\text{Índice de Suavidade central (proposta)} + \text{Índice de Suavidade lateral (proposta)}}{2} = 61,09$$

*Lead time (antes) = Unidades em processo x takt time = 130 x 130,4 = 16956,52 s = 282,61 min*

*Lead time (proposta) = Unidades em processo x takt time = 20 x 130,4 = 2608,70 s = 43,48 min*

*Custo da Mão – de – Obra mensal (antes) =*

$$\frac{\text{custo}}{\text{hora}} \text{ por operador } \times N^{\circ} \text{ de Operadores } \times \text{ Jornada de Trabalho } \times \text{ dias } \acute{\text{u}}\text{teis no M\^e}s = \text{R\$ } 20,00 \times 14 \times 8,8 =$$

**R\$ 51.744,00**

*Custo da Mão – de – Obra mensal (proposta) =*

$$\frac{\text{custo}}{\text{hora}} \text{ por operador } \times N^{\circ} \text{ de Operadores } \times \text{ Jornada de Trabalho } \times \text{ dias } \acute{\text{u}}\text{teis no M\^e}s = \text{R\$ } 20,00 \times 9 \times 8,8 = \text{R\$}$$

**33.264,00**