

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

CAINÃ ALESSI SANTANA  
LEONARDO DOS SANTOS BATISTA

**BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE INSTALAÇÃO DE CAIXAS  
DE TRANSMISSÃO POR MEIO DE MODELO DE PROGRAMAÇÃO  
LINEAR INTEIRA MISTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

CAINÃ ALESSI SANTANA  
LEONARDO DOS SANTOS BATISTA

**BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE INSTALAÇÃO DE CAIXAS  
DE TRANSMISSÃO POR MEIO DE MODELO DE PROGRAMAÇÃO  
LINEAR INTEIRA MISTA**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Leandro Magatão

CURITIBA

2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE INSTALAÇÃO DE CAIXAS DE TRANSMISSÃO POR MEIO DE MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA", realizada pelos alunos Cainã Alessi Santana e Leonardo dos Santos Batista, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Leandro Magatão  
UTFPR – DAMEC

Avaliador: Prof. Osvaldo Verussa Jr.  
UTFPR – DAMEC

Avaliador: Prof. Tiago Weller  
UTFPR – DAMEC

Curitiba, 09 de dezembro de 2014.

Em dedicação a Jose Santana (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, criador de todas as coisas, também às nossas famílias, amigos e namoradas por todo o apoio e incentivo para a realização deste trabalho, aos colegas de empresa pela contribuição no entendimento e validação das informações e, em especial, ao Professor Orientador Leandro Magatão pelos sábios ensinamentos, incansável dedicação e orientação exemplar.

“Comece fazendo o que é necessário, depois, o que é possível e, de repente, você estará fazendo o impossível”.

– São Francisco de Assis

## RESUMO

BATISTA, Leonardo dos Santos; SANTANA, Cainã Alessi. Balanceamento de uma linha de instalação de caixas de transmissão por meio de modelo de Programação Linear Inteira Mista. 2014. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba-PR, 2014.

O presente trabalho propõe realizar o balanceamento de uma linha de instalação de caixas de transmissão em uma empresa automobilística da Cidade Industrial de Curitiba. Tal linha é relativamente antiga e vem passando por inúmeros processos de melhoria e otimização, mas sem um balanceamento atualizado. A linha é composta por oito estações de tarefas essencialmente manuais, onde ocorre a instalação da caixa de câmbio no motor, e uma estação, onde é feito o *download* do *software* na caixa e a conferência dos componentes. Existem, basicamente, dois tipos de caixas de transmissão, dois tipos de motores e duas configurações opcionais que diferenciam bruscamente o tempo de ciclo. O presente trabalho aplica uma modelagem em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) com o objetivo de sugerir soluções otimizadas de balanceamento e, assim, auxiliar o processo de tomada de decisões operacionais para equilibrar a carga de trabalho entre estações e operadores. A implementação e a resolução computacional do modelo foram realizadas no *software* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio*. Para aplicar o modelo, uma metodologia de trabalho foi seguida, a fim de melhor estruturar e validar os dados a serem inseridos no modelo e assim obter resultados factíveis e de aplicação real. Resultados computacionais obtidos indicam, por exemplo, a possibilidade de diminuições de tempo de ciclo de 4,66% e a viabilidade de redução de um operador na linha, mantendo-se características de produtividade. Houve também um ganho ao se diminuir os índices que retraram a ociosidade da linha de uma maneira geral em todas as simulações realizadas.

**Palavras-chave:** Balanceamento de linha de montagem; Otimização de processos; Pesquisa Operacional (PO); Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

## ABSTRACT

BATISTA, Leonardo dos Santos; SANTANA, Cainã Alessi. Balanceamento de uma linha de instalação de caixas de transmissão por meio de modelo de Programação Linear Inteira Mista. 2014. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba-PR, 2014.

The proposal of this project is to make a line balancing optimization of a gearbox assembly line for a Curitiba automobile company, located on the Industrial District. The assembly line is relatively old, and has been passing for a bunch of process improvements, but without acting on the balancing optimization. The line is defined by eight workstations, which have, basically, manual tasks, and it is where is made the assembly of the gearbox with the motor, and one more workstation, where is made the software download in the gearbox and the inspection operations. There are, basically, two kinds of motors, two kinds of gearboxes, and two more assembly configurations, which influences directly on the cycle time. The current project applies a mathematical model on Mixed Integer Linear Programming (MILP), with the objective of propose optimized solutions on line balancing, and then help in the process of operational decisions based on the equilibrium of workload between the workstations and the workers. The implementation and the computational resolution were made in the software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. A work methodology was followed to apply the MILP model, collecting and validating the data, so it was possible to obtain improved results and with a real applicability. The computational results indicated, for example, a possibility of cycle time decrease of 4.66%, and the viability of reduce one worker, without change the productivity. There was also an improvement indicating an equilibrium solution in the distribution of tasks between workstations, with less idleness.

**Keywords:** Assembly Line Balancing; Optimization; Operations Research (OR); Mixed Integer Linear Programming (MILP).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Combinações suportadas na LICT .....	15
Figura 2 - <i>Layout</i> Simplificado da LICT .....	15
Figura 3 - Produção da LICT no ano de 2013/2014 e <i>forecast</i> para 2015 .....	16
Figura 4 - Balanceamento atual da LICT para o modelo F: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	18
Figura 5 - Balanceamento atual da LICT para os modelos E, F, G e H: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	19
Figura 6 - Arranjo Físico por Produto em Linha Reta .....	25
Figura 7 - Exemplo de Diagrama de Precedência.....	27
Figura 8 - Linhas de produção de modelo único, misto e multi-modelo .....	31
Figura 9 - Fluxograma de metodologia a ser seguida .....	36
Figura 10 - Exemplo de Agrupamento de Atividades .....	42
Figura 11 - Diagrama de Precedências para o modelo F .....	46
Figura 12 - Diagrama de Precedências para os modelos E, F, G e H.....	47
Figura 13 - Realocação das Tarefas .....	52
Figura 14 - Balanceamento para a configuração 1M_9W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	53
Figura 15 - Balanceamento para a configuração 1M_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	55
Figura 16 - Balanceamento para a configuração 1M_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	56
Figura 17 - Balanceamento para a configuração 4M_9W_1: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	58
Figura 18 - Balanceamento para a configuração 4M_9W_2: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	59

Figura 19 - Balanceamento para a configuração 4M\_8W: (a) por posto de trabalho;  
(b) por operador .....61

Figura 20 - Balanceamento para a configuração 4M\_7W: (a) por posto de trabalho;  
(b) por operador .....62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Subtipos de SALBP .....	29
Quadro 2 - Volume de Produção 2013/2014 e <i>forecast</i> 2015 .....	41
Quadro 3 - Tempos de Deslocamento Entre Estações .....	43
Quadro 4 - Disponibilidade de Equipamentos e Dispositivos na LICT .....	44
Quadro 5 - Resultados computacionais das simulações .....	50
Quadro 6 - Resultados para a configuração 1M_9W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	54
Quadro 7 - Resultados para a configuração 1M_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	55
Quadro 8 - Resultados para a configuração 1M_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	56
Quadro 9 - Resultados para a configuração 4M_9W_1: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	58
Quadro 10 - Resultados para a configuração 4M_9W_2: (a) por posto de trabalho; (b) por operador .....	60
Quadro 11 - Resultados para a configuração 4M_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	61
Quadro 12 - Resultados para a configuração 4M_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador.....	62
Quadro 13 - Cronograma .....	64
Quadro 14 - Índices aplicados ao modelo matemático proposto.....	70
Quadro 15 - Conjuntos aplicados ao modelo matemático proposto .....	70
Quadro 16 - Parâmetros aplicados ao modelo matemático proposto.....	71
Quadro 17 - Variáveis aplicadas ao modelo matemático proposto .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

**11L:** Veículos produzidos com motor de capacidade 11L

**13L:** Veículos produzidos com motor de capacidade 13L

**ALBP:** Problema de Balanceamento de Linha, do inglês *Assembly Line Balancing Problem*

**AT:** Veículos produzidos com caixa de transmissão automatizada

**GALB:** Balanceamento de Linha de Montagem Geral, do inglês *General Assembly Line Balancing*

**LICT:** Linha de Instalação da Caixa de Transmissão

**PLIM:** Programação Linear Inteira Mista

**PPP:** Proposta de Projeto de Pesquisa

**PO:** Pesquisa Operacional

**PTO:** Veículos produzidos com tomada de força

**SALB:** Balanceamento de Linha de Montagem Simples, do inglês *Simple Assembly Line Balancing*

**SALBP:** Problema de Balanceamento de Linha de Montagem Simples, do inglês *Simple Assembly Line Balancing Problem*

**UPTO:** Veículos produzidos sem tomada de força

**UT:** Unidades de tempo

**VBA:** Linguagem de programação de nome inglês *Visual Basic for Applications*

**VT:** Veículos produzidos com caixa de transmissão não automatizada

**WCM:** Manufatura de Classe Mundial, do inglês *World Class Manufacturing*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Contexto do Tema	13
1.2	Caracterização do Problema	17
1.3	Objetivos	20
1.4	Justificativa	22
1.5	Conteúdo do Trabalho	22
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>24</b>
2.1	Arranjo Físico de Produção	24
2.2	Terminologia da Análise de Linhas de Produção	26
2.3	Balanceamento de Linha	28
2.3.1	Balanceamento de Linha de Montagem Simples (SALB)	29
2.3.2	Indicadores para Balanceamento de Linha	31
2.4	Programação Linear	32
2.4.1	Definições e Conceitos	32
2.4.2	Hipóteses da Programação Linear	33
2.4.3	Formulação e Aplicações de um Modelo Linear	34
2.4.4	Programação Linear Inteira Mista	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
3.1	Descrição da Metodologia	36
3.1.1	Definição do Problema	36
3.1.2	Agrupamento das Tarefas	37
3.1.3	Identificação das Restrições	37
3.1.4	Manipulação dos Dados	37
3.1.5	Alimentação do Modelo Matemático	38
3.1.6	Adaptação e Validação do Objeto de Estudo	38
3.1.7	Análise dos Resultados	38
3.1.8	Proposta de Balanceamento	39
3.2	Justificativa da Metodologia	39
3.3	Produtos do Projeto	40
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>41</b>
4.1	Problema e Desenvolvimento	41
4.2	Evolução do Modelo Matemático	48
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>50</b>
5.1	Resultados para Um Modelo	53
5.1.1	Mantendo nove operadores	53
5.1.2	Diminuindo para oito operadores	54
5.1.3	Diminuindo para sete operadores	55
5.2	Resultados para Quatro Modelos	57
5.2.1	Modelo matemático sem a nova restrição	57
5.2.2	Modelo matemático com a nova restrição	59
5.2.3	Diminuindo para oito operadores	60
5.2.4	Diminuindo para sete operadores	61
5.3	Cronograma	63
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>65</b>

6.1	Considerações Finais	65
6.2	Sugestões para Potencial Continuidade	66
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO</b>	<b>70</b>
	O Modelo Matemático	70
	Função Objetivo	72
	Restrições aplicadas ao modelo	73
	<b>APÊNDICE B – TABELA DE DADOS DAS TAREFAS</b>	<b>80</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Em um nivelamento da produção, os volumes produzidos são feitos os menores possíveis, em contraste com a produção em massa tradicional, onde o maior é considerado o melhor. Na Toyota, tentava-se evitar a montagem do mesmo tipo de carro em grandes volumes (OHNO, 1997).

No início do século XX, Frederick Taylor e Henry Ford desenvolveram um sistema de produção que predominou mundialmente até a década de 90. Sistema este que tem como proposta redução do custo de determinado produto através da produção em larga escala, especialização e divisão do trabalho, porém sem grande preocupação quanto à qualidade e com os desperdícios gerados. Após a segunda guerra mundial, a indústria japonesa enfrentou escassez de recursos, o que inviabilizava o sistema proposto por Ford. Foi, então, criado o sistema Toyota de produção, que teve como base a eliminação absoluta de desperdícios (WOMACK e JONES, 2004).

Em uma linha de produção, onde o produto passa de forma sequenciada por diferentes estações de trabalho, o tempo total de produção é fruto das somas dos tempos de ciclos de cada estação, somados aos tempos de espera e movimentação entre tarefas. A partir dos conhecimentos de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), o corrente trabalho tem como objetivo principal a eliminação de desperdícios em uma linha de produção que apresenta problemas de desbalanceamento, conforme explicitado na Seção 1.1 a seguir apresentada.

## 1.1 Contexto do Tema

O objeto de estudo deste trabalho é uma linha de produção de uma montadora de caminhões situada na Cidade Industrial de Curitiba, onde a principal operação nesta linha é a instalação da caixa de transmissão ao motor. A linha em estudo é composta por nove estações de trabalho, com nove operadores e tem seu ciclo planejado para **600 ut** (unidades de tempo). A Linha de Instalação da Caixa de Transmissão (LICT) suporta diferentes especificações de produtos, fato que afeta

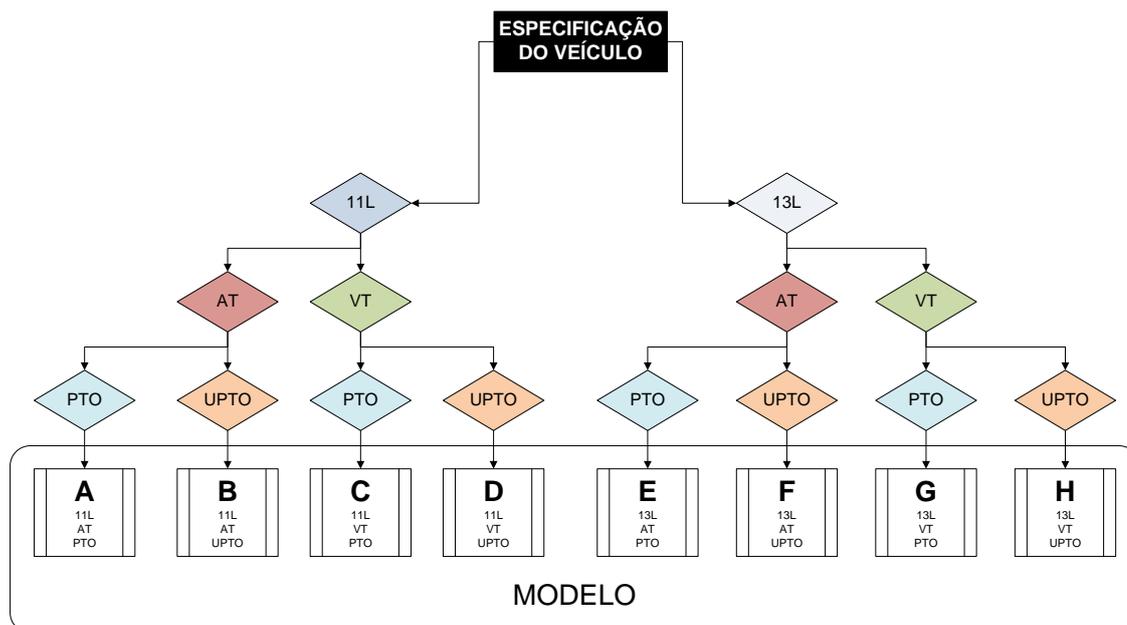
diretamente no tempo total do ciclo. Basicamente, a linha recebe dois modelos diferentes de motor e dois modelos de caixa, que podem ser combinados entre si e, dependendo da especificação do veículo, em uma das estações pode, ou não, ocorrer a montagem do sistema de tomada de força.

Dentre as combinações possíveis, têm-se oito possibilidades que afetam significativamente a variação do tempo de ciclo. Estas combinações variam em função de:

- **Modelo do motor:** a linha suporta dois tipos de motores de diferentes capacidades, definidos neste projeto como 11L e 13L;
- **Modelo da caixa de transmissão:** a linha suporta dois modelos de caixas, um modelo automatizado definido como AT e outro convencional definido como VT;
- **Tomada de força:** para aplicações especiais, alguns veículos são produzidos com o sistema de tomada de força. A especificação do produto pode solicitar a sua montagem, neste caso define-se a variante da caixa de transmissão como PTO; quando não há essa necessidade, define-se como UPTO.

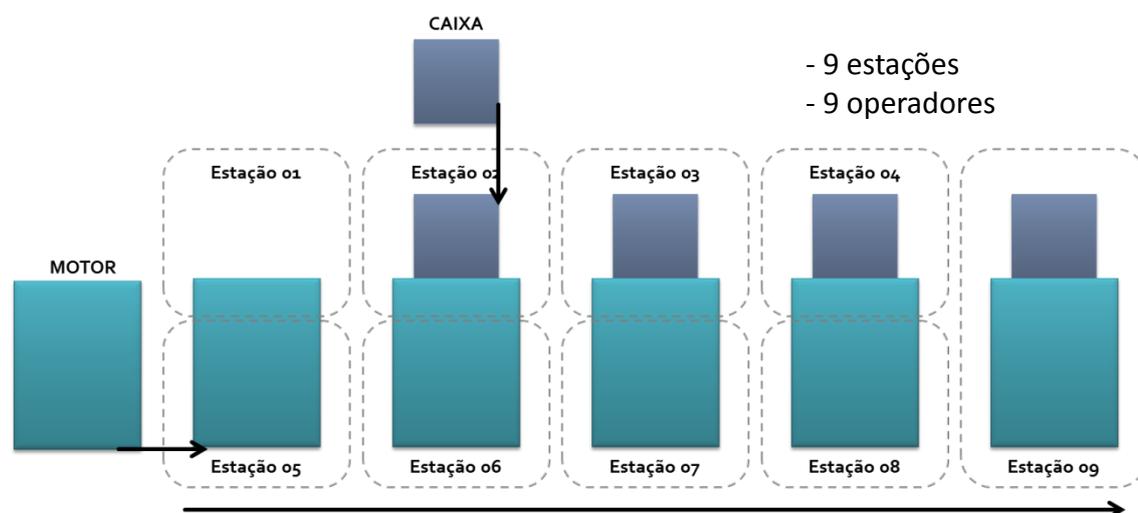
Desta forma, para abranger todas as possibilidades de veículos, tem-se o cenário ilustrado pela Figura 1. Para cada modelo foi atribuído uma letra (de A a H), a fim de facilitar o entendimento.

O fluxo de produção funciona de maneira ilustrada pela Figura 2: o motor e a caixa são abastecidos paralelamente próximos à primeira estação, onde ocorre a instalação da caixa ao motor. O produto combinado é puxado de forma intermitente por um transportador para as estações seguintes. Cada operador trabalha em um dos lados do motor. O processo de montagem tem maior variação nas estações 2, 3 e 4, dependendo das especificações de cada veículo. Na estação 9 ocorre a programação do conjunto, o lançamento no sistema de controle dos números de série de componentes críticos e a inspeção de qualidade. A numeração utilizada para as estações é conforme normalmente nominada no ambiente fabril. Desta forma, as estações de 1 a 4 são nas quais se realizam as operações do lado esquerdo do conjunto; as estações de 5 a 8, do lado direito.



**Figura 1 - Combinações suportadas na LICIT**

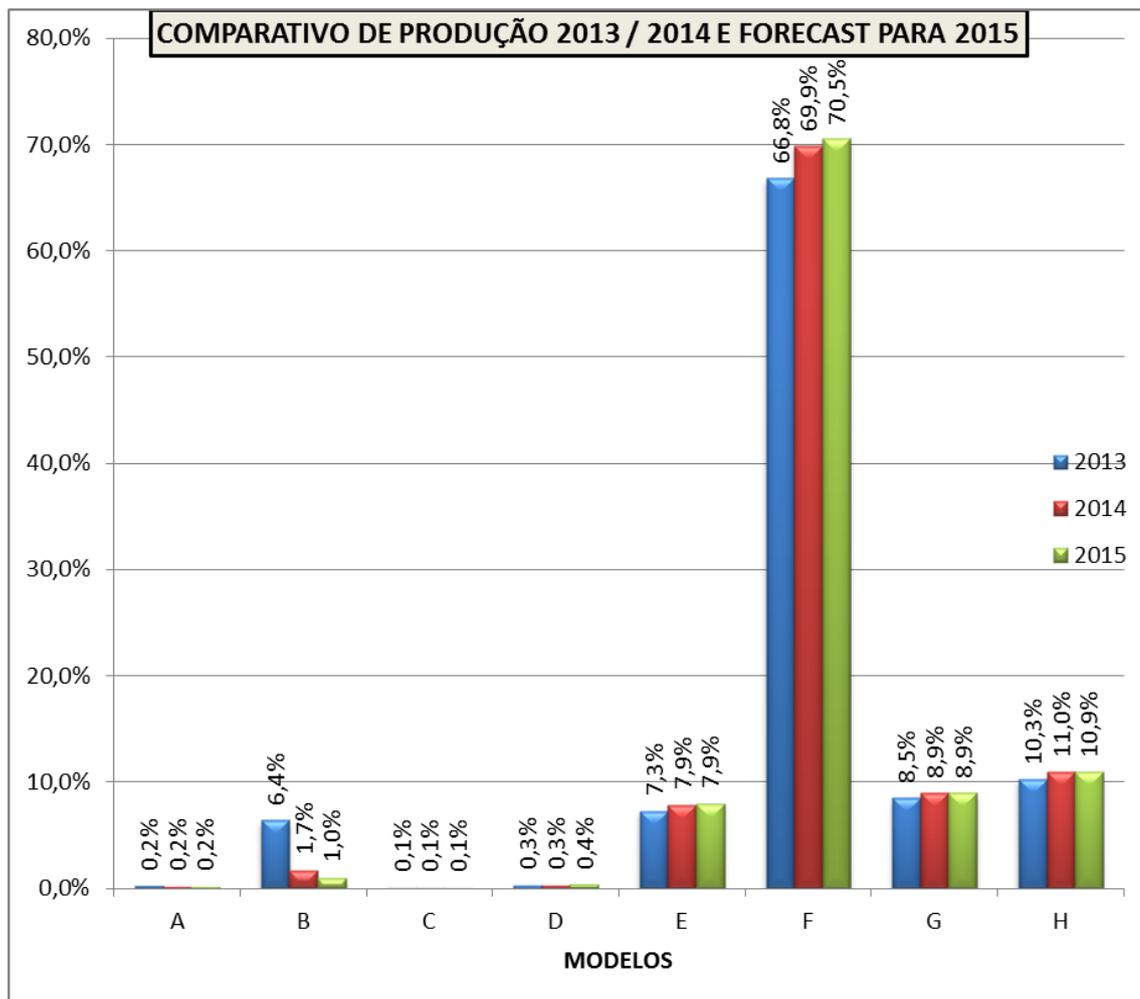
Fonte: Autoria própria



**Figura 2 - Layout Simplificado da LICIT**

Fonte: Autoria própria

Outro aspecto considerado no presente projeto é o planejamento de produção da empresa em questão. Ilustra-se na Figura 3 o balanço de produção dos oito diferentes modelos possíveis ao longo dos anos de 2013 e 2014, assim como a previsão para 2015.



**Figura 3 - Produção da LICT no ano de 2013/2014 e forecast para 2015**

Fonte: Autoria própria

No desenvolvimento da Proposta de Projeto de Pesquisa (PPP), considerou-se apenas a produção de 2013. Com a atualização destes dados, pôde-se perceber uma baixa na produção de modelos vinculados à variante 11L. Isso se deve ao fato de que a empresa, por uma questão de estratégia industrial, visa não produzir mais essa variante para caminhões pesados (*Heavy Duty Vehicle*).

Pela observação da Figura 3, tem-se que os modelos **E**, **F**, **G** e **H** correspondem em média a 98% da produção. Desta forma, sugere-se a análise destes quatro modelos dentro do escopo de balanceamento em estudo. Contudo, é possível observar que com somente a análise do modelo **F**, o qual corresponde a 70% do volume de produção observado, existem ganhos potenciais no balanceamento.

A equipe executora deste trabalho recebeu total acesso às informações e detalhes da linha. Entretanto, os tempos de ciclo e os valores dos volumes de produção foram multiplicados por um fator numérico, a fim de preservar os dados reais da empresa, porém sem alterar a proporcionalidade dos valores. O nome real de cada variante foi também alterado pelo mesmo motivo, assim como os valores monetários apresentados no Capítulo 6.

## 1.2 Caracterização do Problema

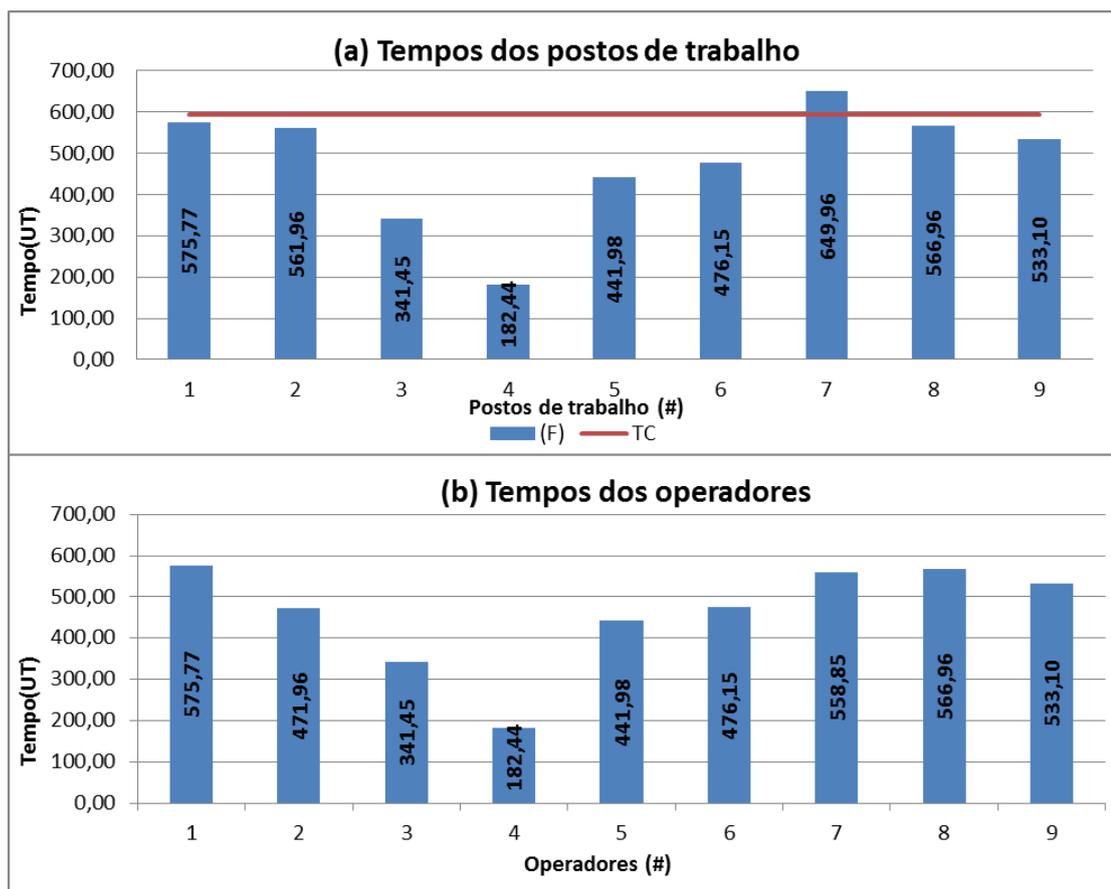
Nos últimos anos, visando melhores classificações no WCM (do inglês, *World Class Manufacturing*<sup>1</sup>), ocorreram inúmeras implementações nesta linha de produção que contribuíram de maneira significativa para a eliminação de desperdícios. Contudo, em relação ao balanceamento, a linha foi novamente analisada de forma empírica.

A linha em questão é antiga e vem passando por inúmeros processos de melhoria e otimização, além do aumento de produção. A rotina de estudo de um novo balanceamento ocorre de maneira esporádica, demandando, assim, uma melhor proposta de balanceamento. A Figura 4 apresenta a situação do balanceamento atual apenas para o modelo F, cujo volume de produção é o de maior representatividade (70%).

Há uma diferença observada nos gráficos da Figura 4 entre os tempos das estações 2 e 7 com os dos operadores 2 e 7, respectivamente. Tal diferença se deve às tarefas automáticas encontradas nas estações em questão. Tarefas automáticas são aquelas realizadas automaticamente mediante comando efetuado por um operador. A carga de trabalho do operador que executa tal tarefa não se vincula à duração da execução da tarefa em si e sim apenas o tempo de deslocamento até a estação (NOSO e PELEGRINI, 2014). Um exemplo de tarefa automática para a LICT é o abastecimento de óleo, que ocorre automaticamente após o *start* do operador.

---

<sup>1</sup> *World Class Manufacturing*: estado da arte das empresas de manufatura do século XXI, é resultado de séculos de conhecimentos e habilidades em manufatura, que tem como características principais o controle das perdas, a capacitação das pessoas, a organização de processos orientados e a padronização em metodologias de trabalho.



**Figura 4 - Balanceamento atual da LICT para o modelo F: (a) por posto de trabalho; (b) por operador**

Fonte: Autoria própria

Já na Figura 5, apresenta-se a situação para os quatro modelos cujo volume de produção soma 98% (E, F, G e H). Analisando o gráfico da Figura 5.a, observa-se que a estação 4 varia o tempo de ciclo de acordo com os cenários: maiores tempos nos modelos PTO e menores tempos nos modelos UPTO. O impacto das tarefas destas estações deve-se ao processo de montagem da tomada de força.

As Figuras 4.b e 5.b representam a média ponderada do tempo de ciclo de cada operador para cada modelo por seu *mix* (volume de produção). De forma análoga, a linha em vermelho do gráfico da Figura 5.a representa a média ponderada do tempo de ciclo de cada estação para cada modelo por seu *mix* (volume de produção).

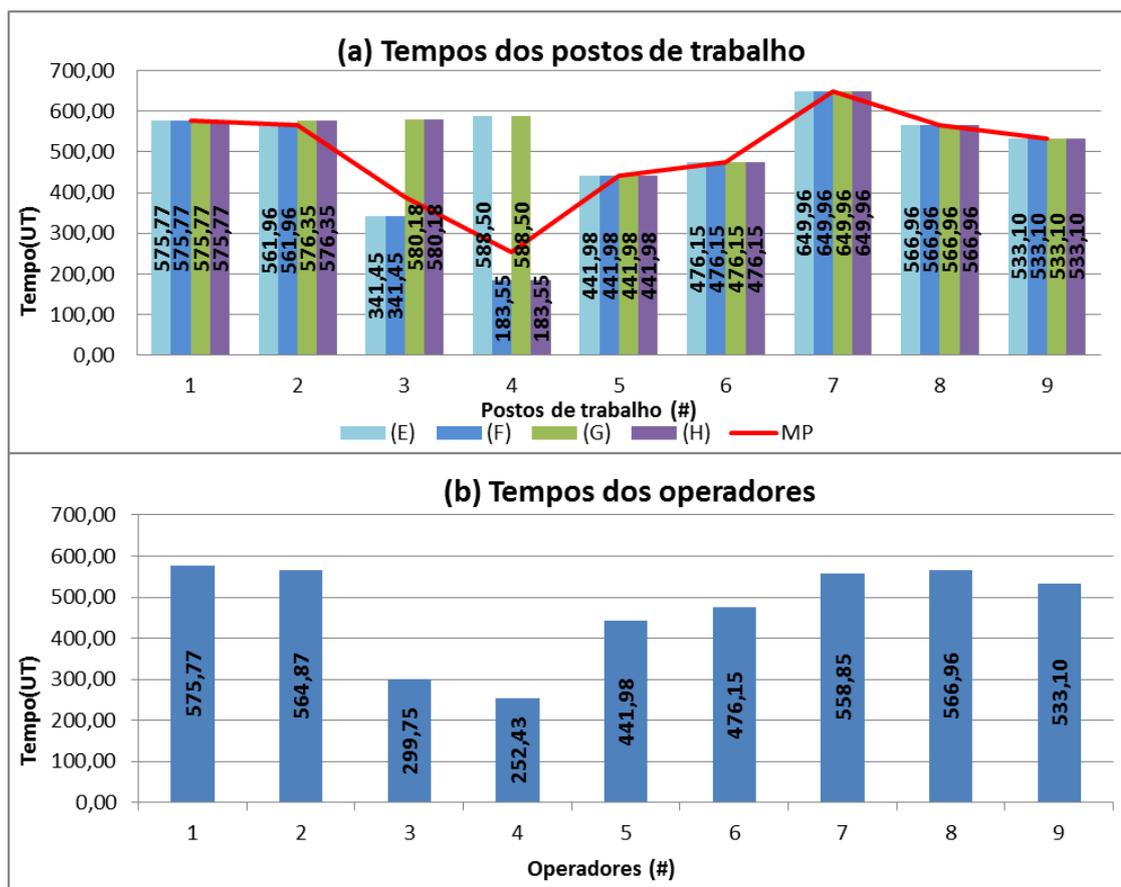


Figura 5 - Balanceamento atual da LICT para os modelos E, F, G e H: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

Segundo Ritzman e Krajewski (2004), obtém-se o tempo ocioso em uma linha de produção somando os tempos improdutivos de cada estação de trabalho. Para cada estação, o tempo ocioso é dado pelo  $takt\ time^2$  subtraído dos tempos das tarefas. Maiores detalhes sobre as definições e cálculos de tempo ocioso e de  $takt\ time$  são apresentados na Seção 2.2.

Como pode ser observado, quando a especificação do veículo determina um produto que demanda menor tempo de montagem, alguns operadores ficam parcialmente ociosos, sem nenhuma atividade em seus postos de trabalho (e.g., Figura 4). A ociosidade<sup>3</sup> pode camuflar falhas, como constatado por Noso e Pelegrini (2014). As variações nos tempos de produção têm um alto desvio padrão, em alguns

<sup>2</sup> *Takt Time*: taxa de produção que relaciona a demanda do fornecedor com o tempo disponível de utilização do processo.

<sup>3</sup> Ociosidade: para cada estação, o tempo ocioso é dado pelo  $takt\ time$  subtraído da soma dos tempos das tarefas.

casos devido a problemas de montagem, incertezas de processo, problemas logísticos, dentre outros, ou seja, uma falha pode gerar um desperdício<sup>4</sup> de tempo facilmente recuperável pelos operadores subocupados. Além disso, esta camuflagem dificulta o trabalho dos engenheiros responsáveis no sentido de encontrar soluções mais inteligentes e econômicas para gerenciar as flutuações de processo, o que pode ocasionar paradas mais sérias e de demorada reversão.

Fica desta forma evidente a necessidade de uma nova proposta de balanceamento de linha. O presente trabalho tem como finalidade reduzir a ociosidade e evitar a sobrecarga de operadores nas diferentes situações de produção. Os objetivos são explicitados na Seção 1.3.

### 1.3 Objetivos

O presente projeto tem como objetivo principal sugerir soluções de balanceamento para a linha de instalação da caixa de transmissão (LICT) de uma empresa automotiva da Cidade Industrial de Curitiba-PR por meio de um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista (PLIM), buscando-se soluções que diminuam os custos de desperdício por ociosidade.

Para alcançar o objetivo supracitado, devem-se seguir os seguintes objetivos específicos:

- Compreender detalhadamente o funcionamento da linha de produção em questão. Conhecer as tarefas realizadas no processo de forma que possa ser evidenciada qualquer fonte de desperdício no aspecto do balanceamento da linha;
- Conhecer as variações de produtos que a linha deve suportar e seus respectivos volumes, baseando-se na previsão e planejamento de produção;

---

<sup>4</sup> Desperdício: atividade que não agrega valor ao produto.

- Compreender detalhadamente o funcionamento e a metodologia que será utilizada. Conhecer as características, exigências, especificações, e limitações da Programação Linear Inteira Mista (PLIM);
- Levantamento de conhecimentos mais aprofundados sobre o tema balanceamento de linhas de montagem, buscando informações sobre suas definições, especificações, limitações, variedades, recentes avanços na área e possíveis abordagens a serem seguidas em cada caso;
- Avaliar todos os pontos compatíveis entre a situação problema apresentada, e o que pode ser obtido com a aplicação da PLIM;
- Implementar e resolver, através de ferramenta computacional, um modelo matemático em PLIM, aprimorado de Noso e Pelegrini (2014), capaz de gerar soluções factíveis ao problema de balanceamento de linha de montagem, utilizando as restrições demandadas pela operação real do caso em estudo;
- Realizar estudos de caso que envolvam somente o modelo de mais elevada demanda, evidenciando os potenciais obtidos com o novo balanceamento;
- Realizar estudos de caso que envolvam os quatro modelos de mais elevada demanda (consideração de linha de modelo misto), evidenciando os potenciais obtidos com o novo balanceamento e eventuais limitações a serem observadas;
- Realizar estudos de caso que avaliem eventuais diminuições no número de operadores presentes na linha e os impactos na produtividade;
- Propor um novo e melhor balanceamento de linha, capaz de gerar soluções factíveis com a situação problema apresentada.

## 1.4 Justificativa

Atualmente, a indústria mundial, especificamente o mercado automobilístico, apresenta forte concorrência, onde novos produtos são criados com cada vez mais frequência, cada qual trazendo um diferencial específico. Ter uma boa produtividade é uma constante deste ramo e deve ser buscada intensamente a fim de aumentar a lucratividade da empresa. A eliminação dos desperdícios é o principal meio para se aumentar a produtividade e deve ser fundamentado em dois pontos defendidos por Taiichi Ohno (1997):

- O aumento da eficiência só faz sentido quando está associado à redução de custos. Para obter isso, tem-se que começar a produzir apenas aquilo que se necessita usando um mínimo de mão-de-obra;
- Observe a eficiência de cada operador e de cada linha. Observe então os operadores como um grupo e depois a eficiência de toda a fábrica. A eficiência deve ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, para a fábrica como um todo.

Desta forma, a proposta de um melhor balanceamento de linha, utilizando o método matemático de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), se torna uma ferramenta oportuna na tentativa de aperfeiçoar o processo produtivo atualmente implementado, através da eliminação de custos, diminuindo a mão de obra direta, e aumento da produtividade.

## 1.5 Conteúdo do Trabalho

O Capítulo 2 contempla as definições encontradas na literatura pertinentes ao presente trabalho, como, por exemplo, conceitos de arranjo físico de produção, de precedência entre as tarefas, tempo de ciclo teórico e real, eficiência e ociosidade, além das definições necessárias para a aplicação da Pesquisa Operacional (PO).

A metodologia desenvolvida para o trabalho é descrita no Capítulo 3, em que, basicamente, citam-se em ordem lógica os passos a serem cumpridos para obtenção dos resultados.

O desenvolvimento do projeto, junto às informações sobre manipulação e validação dos dados, é apresentado no Capítulo 4. Torna-se claro, neste capítulo, o aumento da complexidade dos dados utilizados para a PLIM, bem como a evolução desta.

Em seguida, no Capítulo 5 são apresentados os resultados da aplicação do modelo proposto. A comparação dos resultados entre as simulações, da mesma forma como no capítulo anterior, também é feita de maneira crescente em complexidade.

Finalmente, o Capítulo 6 traz as conclusões após toda a análise do desenvolvimento e dos resultados do projeto. Sugere-se, então, uma continuidade ao que foi desenvolvido para futuros trabalhos.

Destaca-se também o APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO, que detalha o modelo matemático aprimorado a partir do modelo proposto em Leal (2013), aprimorado em Noso e Pelegrini (2014) e que foi novamente aprimorado no corrente trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Arranjo Físico de Produção

A importância do fluxo para uma operação dependerá de suas características de volume e variedade. Quando o volume é baixo e a variedade é relativamente alta, o fluxo não é uma questão central. Com volumes maiores e variedade menor, o fluxo dos recursos transformados torna-se uma questão mais importante (SLACK *et al.*, 2009). O verdadeiro desafio é criar um fluxo contínuo na produção de pequenos lotes quando se fazem necessárias centenas de unidades de um produto, e não milhões (WOMACK e JONES, 2004).

Define-se como arranjo físico o posicionamento físico dos recursos de um processo de transformação. De acordo com Slack *et al.* (2009), existem quatro destes arranjos, cada um com suas vantagens e desvantagens: posicional; por processo; celular; e por produto. O objetivo principal dos arranjos físicos de manufatura é minimizar o custo de processamento, transporte e armazenamento de materiais ao longo do sistema de produção (GAITHER e FRAZIER, 2002).

O arranjo físico posicional é indicado em casos de flexibilidade muito alta de *mix* de produto e de alta variedade de tarefas da mão-de-obra, uma vez que o produto permanece imóvel durante a transformação. Tem como contra partida custos unitários altos, além da grande movimentação de equipamentos e mão-de-obra (SLACK *et al.*, 2009).

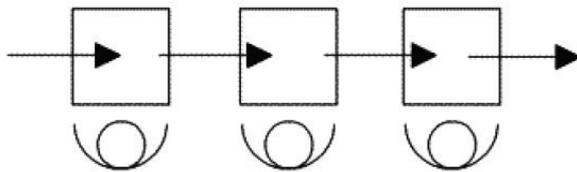
O arranjo físico funcional posiciona operações de mesma função próximas, o que é indicado para processos de alta flexibilidade de *mix* e produto, porém o estoque em processo pode ser alto. Já o arranjo físico celular requer uma capacidade maior, pois o processo, dentro do que se define como célula, é organizado também por arranjo físico funcional ou por produto, mas pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade (SLACK *et al.*, 2009).

O cenário em análise é composto por um arranjo físico por produto, também denominado em “fluxo” ou em “linha”, em que cada produto segue um roteiro pré-

definido, ou seja, a sequência de atividades requerida coincide com a sequência na qual os processos foram arranjados fisicamente (SLACK *et al.*, 2009).

Adicionalmente, se o equipamento é dedicado à produção contínua de uma linha estreita de produtos, esse modelo é geralmente chamado de linha de produção ou linha de montagem (DAVIS *et al.*, 1999).

A opção por este arranjo é resultado da característica de produção repetitiva ou contínua, sendo usualmente utilizado em operações que envolvem volumes elevados, ritmos de processamento mais rápidos, estoques menores e menores tempos improdutivo perdidos em conversões e movimentação de material. Tem-se que, em sua maioria, o arranjo físico por produto possui as estações de trabalho dispostas em linha reta, conforme mostrado na Figura 6, mas há também a possibilidade de que tais estações sejam dispostas em formato de L, S, O ou U (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004).



**Figura 6 - Arranjo Físico por Produto em Linha Reta**  
Fonte: (DONINNI, 2009)

São observadas algumas desvantagens, apesar dos reais ganhos, para tal arranjo físico: alto investimento inicial; baixa flexibilidade da linha; alto custo de modificação das operações; e impossibilidade das estações trabalharem independentemente, causando uma dependência de ritmo na linha com o posto mais lento (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004). Slack *et al.* (2009) destacam ainda a baixa robustez contra interrupções e o trabalho altamente repetitivo como desvantagens.

## 2.2 Terminologia da Análise de Linhas de Produção

Os conceitos a seguir são importantes para o entendimento do processo de balanceamento de uma linha de produção:

- **Tarefas:** menores unidades de trabalho que podem ser executadas de maneira independente (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004). Segundo Boysen *et al.* (2006), a tarefa é uma unidade indivisível de trabalho que pode conter um agrupamento de pequenas ações, executadas necessariamente em sequência, sendo que a cada tarefa é atribuído um tempo de duração;
- **Duração de uma tarefa:** tempo para que um operador previamente treinado, ou uma máquina não assistida, execute uma tarefa (GAITHER e FRAZIER, 2002);
- **Precedência entre tarefas:** sequência na qual as tarefas devem ser executadas; a precedência de cada tarefa é conhecida a partir de uma lista com as tarefas que devem precedê-la (GAITHER e FRAZIER, 2002);
- **Diagrama de precedência:** diagrama construído com o objetivo de visualizar a precedência entre as tarefas (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004). Utiliza círculos para representar as tarefas e setas para indicar as precedências. Um exemplo de diagrama de precedência é mostrado na Figura 7, a seguir. É possível observar que a tarefa C possui relação de precedência com a tarefa A. Assim sendo, para executar a tarefa C, faz-se necessária a execução da tarefa A. No caso da tarefa E, as tarefas B, C e D são suas precedentes, e, assim, a tarefa E depende da prévia execução das tarefas B, C e D e também da tarefa A, por consequência;

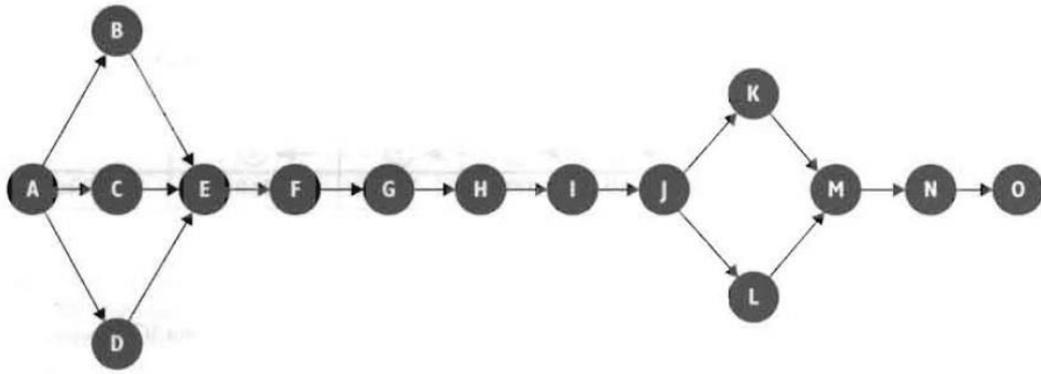


Figura 7 - Exemplo de Diagrama de Precedência

Fonte: (GAITHER e FRAZIER, 2002)

- **Estação** ou **posto de trabalho**: localização física em que um conjunto particular de tarefas é executado (GAITHER e FRAZIER, 2002);
- **Tempo de ciclo real**: intervalo de tempo entre a saída consecutiva de dois produtos no final da linha de produção. Em uma linha de montagem, o tempo de ciclo real é determinado pela estação de trabalho de maior tempo de ciclo da linha (GAITHER e FRAZIER, 2002);
- **Tempo de ciclo teórico** ou **takt time**: taxa de produção que relaciona a demanda do fornecedor com o tempo disponível de utilização do processo. Pode ser obtido pela Equação (1) abaixo (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004):

$$tt = \frac{1}{r} \quad (1)$$

onde “*tt*” é o *takt time* e “*r*” é a taxa de produção desejada;

- **Número mínimo de estações de trabalho**: menor número de estações de trabalho para atender a produção exigida (GAITHER e FRAZIER, 2002). Pode ser calculada pela Equação (2), fornecida por Ritzman e Krajewski (2004):

$$ME = \frac{\sum t}{tt} \quad (2)$$

em que “*ME*” representa o número mínimo de estações de trabalho necessárias e “ $\sum t$ ” é a soma dos tempos das tarefas. Para se chegar a um valor total de estações de trabalho necessárias na linha de produção

inteira, arredonda-se o número mínimo de estações de trabalho para o próximo valor inteiro mais alto (GAITHER e FRAZIER, 2002). Assim, o valor do número real de estações de trabalho necessárias na linha de produção é definido como “*RE*”;

- **Utilização:** representa a porcentagem de tempo em que uma linha de produção opera. Calcula-se pela Equação (3) (GAITHER e FRAZIER, 2002):

$$Utilizacao(\%) = \frac{ME}{RE} \cdot 100 \quad (3)$$

- **Eficiência:** é a razão entre o tempo produtivo (somatório dos tempos de todas as tarefas) e o tempo total (multiplicação do número real de estações de trabalho pelo *takt time*), expressa de forma percentual, como mostra a Equação (4) (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004):

$$Eficiencia(\%) = \frac{\sum t}{RE \cdot tt} \cdot 100 \quad (4)$$

- **Ociosidade:** somando-se os tempos improdutivo de cada estação de trabalho de uma linha de produção, obtém-se o tempo ocioso. Para cada estação, o tempo ocioso é dado pelo *takt time* subtraído da soma dos tempos das tarefas. A Equação (5) expressa a ociosidade total de uma linha de produção (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004):

$$Ociosidade = RE \cdot tt - \sum t \quad (5)$$

### 2.3 Balanceamento de Linha

De acordo com Gaither e Frazier (2002), em problemas de balanceamento de linhas analisam-se as linhas de produção a fim de dividir igualmente o trabalho a ser feito entre as estações de trabalho, com o objetivo de minimizar o número de estações de trabalho necessárias na linha de manufatura.

O balanceamento de linha pode ser aplicado em três situações: durante sua a instalação; quando se necessita alterar o índice de produção por hora; ou quando ocorre uma modificação de produto/processo (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004).

Define-se como Problema de Balanceamento de Linha de Montagem otimizar o balanceamento das tarefas ao longo das estações de trabalho, levando em consideração um objetivo a ser alcançado, também denominado com a sigla ALBP (*Assembly Line Balancing Problem*) (BECKER e SCHOLL, 2004). O problema mais simples, também mais conhecido e estudado, é o Balanceamento de Linha de Montagem Simples, do inglês *Simple Assembly Line Balancing*, ou ainda SALB. Outros problemas mais complexos, com linhas multi-modelo, ou com estações de trabalho paralelas, contemplam o termo GALB (*General Assembly Line Balancing*) (BOYSEN *et al.*, 2006).

### 2.3.1 Balanceamento de Linha de Montagem Simples (SALB)

Dentre os problemas SALBP (*Simple Assembly Line Balancing Problem*), existe uma nova divisão dos subtipos de acordo com a sua função e objetivo. São eles (BOYSEN *et al.*, 2006): SALB-1; SALB-2; SALB-E; SALB-F.

As quatro maneiras de caracterizar os problemas de SALBP estão listadas no Quadro 1.

Número de estações	Tempo de ciclo	
	Dado	Minimizar
Dado	SALBP-F	SALBP-2
Minimizar	SALBP-1	SALBP-E

Quadro 1 - Subtipos de SALBP

Fonte: (BECKER e SCHOLL, 2006)

Do Quadro 1, tem-se que quando se é dado o tempo de ciclo de uma linha e se deseja minimizar o número de estações de trabalho, o problema é do tipo SALBP-1. Se o número de estações de trabalho é dado e se necessita minimizar o tempo de ciclo, trata-se do tipo SALBP-2. Um problema SALBP-E caracteriza-se quando o tempo de ciclo e o número de estações podem ser alterados com o objetivo de otimizar a eficiência da linha. Por fim, o tipo SALBP-F refere-se ao problema de

encontrar um balanceamento factível quando o tempo de ciclo e o número de estações são dados (BOYSEN *et al.*, 2006).

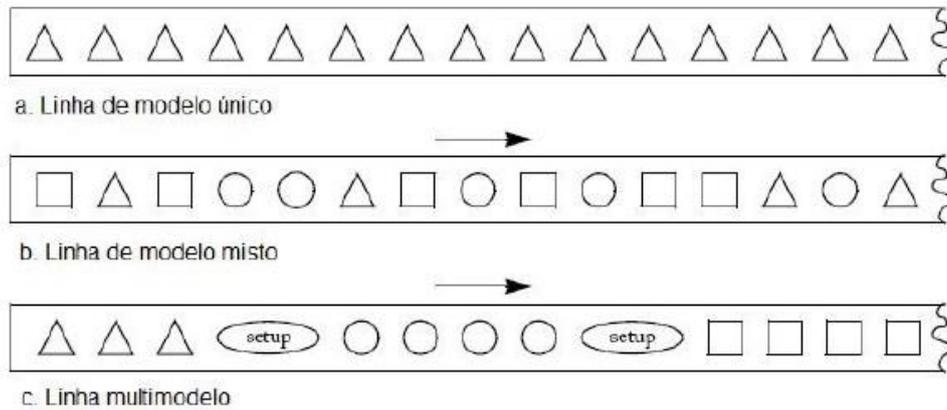
De acordo com Becker e Scholl (2004), um problema do tipo SALBP deve ter as seguintes características satisfeitas:

- Produção em massa de um produto homogêneo;
- Processo de produção predeterminado;
- Linha em compasso com tempo de ciclo fixo;
- Tempos de operação determinísticos e integrais, com pouca variação;
- Tarefas sem restrições de atribuição além das restrições de precedência;
- Linha em série, com número determinado de estações de trabalho;
- Todas as estações são igualmente equipadas em termos de equipamento e mão de obra.

Algumas destas premissas são modificadas por outros modelos para se alcançar a complexidade da situação real. Por exemplo, devido à demanda, é comum a existência de sistemas de manufatura que produzem diferentes modelos de produtos em uma mesma linha de montagem, situação que ocorre destas duas outras formas (BOYSEN *et al.*, 2006):

- **Linha de modelo misto:** a produção dos diferentes modelos de um produto básico ocorre de forma misturada na mesma linha. Exemplo: caixa de câmbio automática/manual;
- **Linha multi-modelo:** nesse caso, a produção ocorre em lotes; cada lote é composto por unidades de um mesmo modelo. Exemplo: refrigerador/fogão/lavadora;

Na Figura 8, pode-se observar as diferenças entre os três tipos de linha normalmente encontradas. Cada forma geométrica dentro da linha representa um modelo diferente de um mesmo produto.



**Figura 8 - Linhas de produção de modelo único, misto e multi-modelo**

Fonte: (BECKER e SCHOLL, 2004)

### 2.3.2 Indicadores para Balanceamento de Linha

Dois indicadores principais são utilizados para verificar se o balanceamento executado na linha foi bem sucedido em relação à distribuição de tarefas entre as estações de trabalho: o Atraso de Balanceamento e o Índice de Suavidade (GERHARDT, 2005).

O Atraso de Balanceamento é uma medida da ineficiência da linha, que resulta em tempo improdutivo devido à distribuição imperfeita de tarefas entre as estações. Este indicador fornece um percentual do tempo total em que a linha fica ociosa e, como mostra a Equação (6), pode ser calculado pela divisão do tempo ocioso total da linha pelo tempo que o produto leva para atravessar a linha de montagem, do começo ao fim (GERHARDT, 2005). Na Equação (6), “*Atraso de Balanceamento (%)*” indica uma medida percentual de desbalanceamento da linha, “ $t_{total}$ ” é a multiplicação do tempo de ciclo real pelo número de estações de trabalho, e “ $\sum t_{postos}$ ” indica a soma dos tempos de todas as estações.

$$Atraso\ de\ Balanceamento(\%) = \frac{t_{total} - \sum t_{postos}}{t_{total}} \cdot 100 \quad (6)$$

Ao se obter um atraso de balanceamento nulo, indica-se um balanceamento perfeito, o que é obtido quando cada estação de trabalho da linha recebe a mesma carga de trabalho (DESSOUKY *et al.*, 1995).

O Índice de Suavidade, que também é um indicador relacionado à eficiência da linha, é uma medida da variação existente entre o tempo total máximo de trabalho obtido dentre as estações e os tempos totais de trabalho do restante das estações alocadas na linha de produção. Quanto maior este índice, maior a variação dos tempos de operação entre as estações, resultando em um balanceamento de baixa eficiência. O Índice de Suavidade é calculado pela Equação (7) (GERHARDT, 2005) e fornecido em unidades de tempo (ut):

$$\text{Índice de Suavidade} = \sqrt{\sum_{j=1}^{RE} (S_{max} - S_j)^2} \quad (7)$$

onde, “RE” é o número de estações de trabalho, “S<sub>max</sub>” o tempo total máximo de operação existente dentre todas as estações e “S<sub>j</sub>” o tempo de execução da estação (GERHARDT, 2005).

Ressalta-se que medidas de Atraso de Balanceamento e Índice de Suavidade são utilizadas *a posteriori* (e.g. Capítulo 5) como indicadores de soluções obtidas.

## 2.4 Programação Linear

A Programação Linear, uma área da Pesquisa Operacional (PO), é uma ferramenta matemática que permite encontrar a solução ótima para um determinado tipo de problema. O termo programação refere-se à existência de um planejamento de atividades; o termo linear, por sua vez, está relacionado com a linearidade das equações envolvidas no problema (ALMEIDA *et al.*, 2003).

### 2.4.1 Definições e Conceitos

Para compreender a Programação Linear, define-se:

- **Função objetivo:** função linear de variáveis que se pretende otimizar, ou seja, maximizar ou minimizar (ALMEIDA *et al.*, 2003);

- **Variáveis de decisão:** incógnitas a serem determinadas pela resolução do modelo (LISBOA, 2002);
- **Restrições:** consiste em relacionar cada atividade e respeitar a disponibilidade dos recursos utilizados, sendo normalmente expressas na forma de equações ou inequações lineares (ALMEIDA *et al.*, 2003):
  - Restrições de não negatividade: as variáveis relacionadas na formulação do problema não podem assumir valores negativos;
  - Restrições do problema: itens que implicam restrições às possíveis soluções;
- **Região viável** ou **solução viável:** conjunto de restrições que representa todas as combinações admissíveis de variáveis de decisão (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004);
- **Parâmetro:** valor que o tomador de decisão não pode controlar e que não se altera quando a solução é implementada; também conhecido como coeficiente ou constante dada (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004).

#### 2.4.2 Hipóteses da Programação Linear

De acordo com Puccini e Pizzolato (1990 *apud* MAGATÃO, 2014, p. 14), as hipóteses fundamentais da programação linear são:

- **Proporcionalidade:** todos os retornos/custos e recursos utilizados variam de forma proporcional ao valor da variável do modelo;
- **Aditividade:** o efeito total de duas variáveis é a soma dos efeitos relacionados a cada uma delas. As hipóteses de proporcionalidade e aditividade estabelecem a linearidade da função objetivo e das restrições;
- **Divisibilidade:** é possível que as variáveis do modelo assumam valores fracionados;
- **Certeza (determinístico):** todos os parâmetros do modelo são constantes conhecidas.

### 2.4.3 Formulação e Aplicações de um Modelo Linear

O problema geral de Programação Linear é utilizado para otimizar uma função objetivo, sujeita a uma série de restrições (MAGATÃO, 2014). Nesse caso, a formulação do problema a ser resolvido segue alguns passos fundamentais elencados em (LISBOA, 2002):

- Definição da função objetivo, que representa o objetivo básico do estudo, isto é, a otimização a ser atingida;
- Identificação das variáveis de decisões envolvidas no problema;
- Identificação das restrições que afetam as variáveis.

Um modelo matemático é, então, formulado através do qual será possível resolver o problema de otimização (ALMEIDA *et al.*, 2003).

Bradley *et al.* (1977 *apud* MAGATÃO, 2014, p. 13) define a Programação Linear por meio da formulação indicada em (8):

$$\begin{aligned} \max \quad & cx \\ \text{s.t.} \quad & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{aligned} \tag{8}$$

Onde  $c$  é um vetor linha  $n$  dimensional de fatores de ponderação (pesos);  $x$  é um vetor coluna  $n$  dimensional de variáveis do modelo;  $A$  é uma matriz  $m$  por  $n$ ;  $b$  é um vetor coluna  $m$  dimensional ( $m$  define o número de equações do modelo); e  $x \geq 0$  refere-se à restrição de não negatividade.

De acordo com Almeida *et al.* (2003), é possível utilizar esse tipo de formulação para tomada de decisões em diversas aplicações, como por exemplo: planejamento agregado de produção; análise de produtividade de serviços; planejamento de produtos; otimização do fluxo produtivo; otimização do processo de produção.

#### 2.4.4 Programação Linear Inteira Mista

Para o problema de balanceamento da linha em estudo, as possíveis soluções serão obtidas por meio de um modelo de Programação Linear Inteira Mista. Segundo Magatão (2014), esse modelo leva em consideração o fato de que certas variáveis devem assumir valores inteiros, e pode ser definido pela formulação apresentada em (9):

$$\begin{aligned} \max \quad & cx + hy \\ \text{s.t.} \quad & Ax + Gy = b \\ & x \geq 0 \\ & y \in Z_+ \end{aligned} \tag{9}$$

na qual  $c$  é um vetor linha  $n$  dimensional de fatores de ponderação (pesos);  $x$  é um vetor coluna  $n$  dimensional de variáveis do modelo;  $A$  é uma matriz  $m$  por  $n$ ;  $h$  é um vetor linha  $p$  dimensional de pesos;  $y$  é um vetor coluna  $p$  dimensional de variáveis que devem assumir valores inteiros;  $G$  é uma matriz  $m$  por  $p$ ;  $b$  é um vetor coluna  $m$  dimensional ( $m$  define o número de equações do modelo); e  $x \geq 0$  refere-se à restrição de não negatividade.

A diferença entre o número de variáveis ( $n + p$ ) e o número de equações ( $m$ ) do modelo é conhecida por graus de liberdade apresentados pelo sistema (MAGATÃO, 2014).

De acordo com Williams (1999), a resolução de modelos de Programação Linear Inteira Mista pode demandar uma carga computacional elevada, uma vez que, em geral, métodos de busca em árvore (e.g. *Branch-and-Bound*<sup>5</sup>) são aplicados em colaboração à execução do algoritmo *Simplex*<sup>6</sup> em cada nó gerado da árvore.

---

<sup>5</sup> *Branch-and-Bound*: técnica particular de solução de modelos que envolvam variáveis contínuas e discretas baseado na divisão do problema em subproblemas menores de forma que a solução do problema inicial possa ser obtida através da solução dos subproblemas (adaptado de MAGATÃO, 2014).

<sup>6</sup> *Simplex*: algoritmo onde um procedimento sistemático é repetido seguidamente (iteração) até que o resultado desejado seja obtido (adaptado de MAGATÃO, 2014).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da Metodologia

Para a execução deste projeto, a fim de listar e ordenar todas as atividades necessárias, será seguido o fluxograma apresentado pela Figura 9 a seguir e cada etapa será detalhada em seguida.

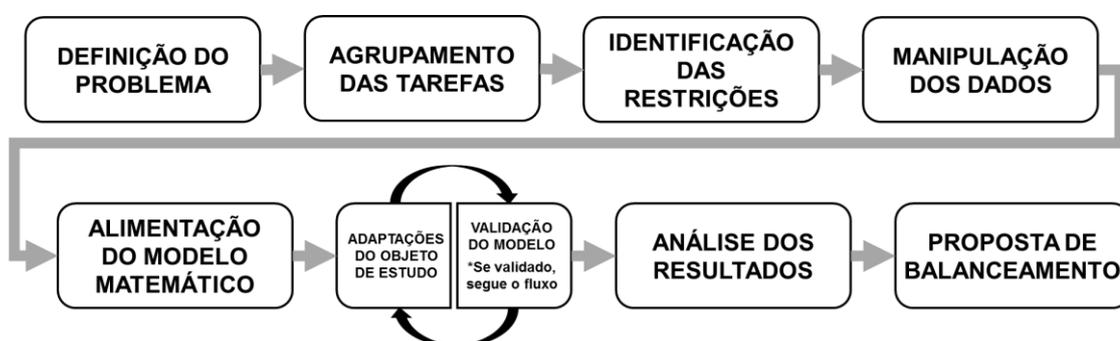


Figura 9 - Fluxograma de metodologia a ser seguida

Fonte: Autoria própria

##### 3.1.1 Definição do Problema

De acordo com Magatão (2014), na definição do problema, são estabelecidas as hipóteses de representação e ficam caracterizados os objetivos a serem atingidos com a formulação proposta. Neste caso em particular, a definição e a caracterização da situação problema já foram preliminarmente apresentadas conforme Seções 1.1 e 1.2.

### **3.1.2 Agrupamento das Tarefas**

Para o estudo de balanceamento de linha, fica-se indicado que tarefas vinculadas e executadas, necessariamente em sequência e em uma mesma estação de trabalho, devem ser agrupadas como sendo um único bloco de tarefas.

As descrições e características das atividades executadas por cada operador foram disponibilizadas ao grupo executor do corrente trabalho em formato de Instruções de Trabalho. Tomou-se como base para a cronoanálise das atividades os dados fornecidos pela empresa através de uma ferramenta interna e de uso exclusivo, a qual se teve acesso, e que vem sendo usada desde o início de produção nesta linha para análises de balanceamento de produção.

Para validação dessa etapa do projeto solicitou-se a validação do técnico de produção responsável pela LICT.

### **3.1.3 Identificação das Restrições**

Para cada conjunto agrupado de tarefas, fez-se uma análise para levantar possíveis pontos que restringiam a sua realocação para outra estação de trabalho. Neste caso, as tarefas foram divididas em três grupos: Tarefas Fixas a uma Estação, Tarefas Fixas a um Conjunto de Estações e Tarefas Livres. Itens como disposição física de equipamentos, alimentação de peças e sequência de montagem, são exemplos de restrições consideradas.

### **3.1.4 Manipulação dos Dados**

Os dados para estudo do corrente trabalho foram administrados em uma planilha contendo todas as informações relevantes sobre o processo em questão, começando com o número da tarefa agrupada e sua composição, tempo e restrições até a sua disponibilidade para cada modelo. Nesta etapa, fizeram-se alterações nos

tempos relacionados às tarefas, multiplicando cada tempo envolvido por um fator comum, a fim de mascarar valores, além de auxiliar a preservar a identidade da empresa.

### **3.1.5 Alimentação do Modelo Matemático**

Para resolução de problemas de desbalanceamento de linha, será utilizado como ferramenta o modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista, apresentado no Apêndice A, desenvolvido em Leal (2013), aprimorado por Noso e Pelegrini (2014), e que ainda foi aprimorado no presente trabalho, conforme detalhamento da Seção 4.2.

### **3.1.6 Adaptação e Validação do Objeto de Estudo**

A linha de montagem apresentada neste projeto tem suas características as quais devem ser contempladas ao se utilizar o modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista. Conforme apresentado na Seção 1.2, os quatro modelos de produto com maior demanda representam aproximadamente 98% da produção. O fato de existirem quatro modelos de produto distintos para análise foi considerado como um potencial risco, pois o levantamento de dados e a execução do modelo matemático poderiam tornar proporcionalmente complicar o atendimento dos prazos definidos no cronograma do trabalho. Sendo assim, executou-se uma proposta inicial avaliando apenas a combinação com maior demanda de produção (combinação F), a fim de obter, inicialmente, um resultado para a condição de maior demanda.

### **3.1.7 Análise dos Resultados**

Os resultados obtidos foram verificados junto ao técnico de produção que atua na LICT a fim de avaliar a viabilidade das mudanças propostas. Foram consideradas

inviáveis todas as modificações que exigiam investimento em novos equipamentos e/ou em alterações que afetassem os processos logísticos de alimentação de peças (restrições).

### **3.1.8 Proposta de Balanceamento**

Depois de verificados e revisados os resultados, foram propostas novas soluções de balanceamento de linha, capazes de cobrir os objetivos já descritos na Seção 1.3.

## **3.2 Justificativa da Metodologia**

Em particular, o mercado nacional vem despertando para o grande potencial econômico apresentado por este tipo de modelagem. A razão para o interesse é simples: os modelos obtidos evidenciam procedimentos que levam a diminuição dos custos produtivos (MAGATÃO, 2014).

A situação problema, descrita anteriormente, exige uma abordagem diferente para solucionar o desbalanceamento de linha em questão. Busca-se uma forma ainda não experimentada para o estudo do caso. A metodologia adotada foi baseada em trabalhos de conclusão de curso sobre temas semelhantes: DONNINI, 2009; MARCILIO e SKRABA, 2010; MIBACH e CAMPOS, 2013; LEAL, 2013; NOSO e PELEGRINI, 2014, para os quais um modelo de Programação Linear Inteira Mista foi desenvolvido para solucionar problemas de balanceamento de linha.

A utilização da metodologia descrita, além de ser inovadora e nunca antes aplicada na linha de montagem em questão, mostrou ser eficaz na resolução de problemas de balanceamento de linha. Resultados positivos foram alcançados com a aplicação de modelo de Programação Linear Inteira Mista, como por exemplo:

“Com os resultados obtidos através dos modelos matemáticos, pôde-se verificar o ganho potencial das soluções de balanceamento. A análise da viabilidade dos resultados, realizada por um dos autores e especialista do sistema, identificou

pontos de potencial melhoria no balanceamento da linha de montagem, principalmente no que diz respeito ao equilíbrio da carga entre os operadores, uma vez que a movimentação de tarefas entre os postos de trabalho é bastante restrita” (MARCILIO e SKRABA, 2010).

“O resultado deste trabalho foi uma possibilidade de redução do tempo de ciclo de 140,5 para 127,2 segundos, ou seja, um ganho de 10,4% (47,7 peças na produção diária) de produtividade. O investimento necessário para a implementação desses resultados na empresa é muito baixo, uma vez que o balanceamento não requer a compra de máquinas” (MIBACH e CAMPOS, 2013).

### **3.3 Produtos do Projeto**

A principal entrega do corrente projeto é uma nova proposta otimizada para resolução dos problemas de balanceamento da linha de instalação de caixas de transmissão de uma empresa automobilística da região metropolitana de Curitiba-PR.

Este projeto servirá como forma de consulta a futuros interessados no tema de Balanceamento de Linha, assim como exemplo para avaliação da eficiência do modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista quando aplicado às linhas de produção que suportem a montagem de diferentes produtos.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

### 4.1 Problema e Desenvolvimento

A primeira atividade para o desenvolvimento do corrente projeto foi o levantamento de dados referente ao planejamento de produção para a LICIT. Nesta etapa, obteve-se todo o volume de produção dos anos de 2013 e 2014 assim como a previsão para 2015 dos oito modelos em questão (Quadro 2), fato este que, conforme explicado na Seção 1.1, resultou em uma alteração no escopo do projeto reduzindo para quatro modelos o objeto de estudo. Lembrando que os valores foram alterados por um fator numérico, a fim de preservar as informações da empresa, mas sem alterar a proporcionalidade.

MODELO	2013	2014	2015
A	24	20	20
B	633	154	100
C	8	5	10
D	34	27	40
E	721	701	800
F	6596	6215	7100
G	839	795	900
H	1016	974	1100
	<b>9871</b>	<b>8891</b>	<b>10070</b>

**Quadro 2 - Volume de Produção 2013/2014 e forecast 2015**

Fonte: Autoria Própria

Posteriormente, buscaram-se dados referentes às atividades de montagem através do material fornecido pela empresa, dividido basicamente em dois modelos de documentos para consulta:

1. Instruções de montagens, material este que também é disponibilizado ao operador em seu posto de trabalho para orientação de seu trabalho;

2. Relatórios do sistema de uso interno e exclusivo, ferramenta utilizada para suporte ao gerenciamento de balanceamento de linha, contendo os principais dados para alimentação do modelo matemático.

Os dados coletados através dos relatórios foram então revisados e adaptados conforme a necessidade do projeto. O tempo de ciclo para cada atividade foi obtido através desse relatório e em seguida multiplicado por um fator numérico, a fim de manter a proporcionalidade, porém sem divulgar informações da empresa.

As tarefas estavam descritas minuciosamente e foram agrupadas, partindo da média de 1300 tarefas para cada modelo, para 68 tarefas agrupadas, levando em conta as que eram relacionadas entre si e que não eram possíveis de ser separadas. A tabela completa com a alocação das tarefas em todos os postos de trabalho encontra-se no APÊNDICE B – TABELA DE DADOS DAS TAREFAS. Uma parte desta tabela está ilustrada como exemplo na Figura 10. Cada bloco é constituído por um conjunto de tarefas, agrupadas segundo a experiência do especialista do sistema, observando as tarefas que não podem ser executadas de modo independente uma em relação à outra (MARCILIO; SKRABA, 2010).

A	B	C	D	E	F	G	H	I
TAREFAS AGRUPADAS	ATIVIDADES	NOME	DESCRIÇÃO	ITEM	(E)	(F)	(G)	(H)
15	175; 176; 177; 178; 179; 180; 181; 182; 183; 184; 185; 186; 187; 188; 189; 190; 191; 192; 193; 194; 195; 196; 197	LACRAR MONTAGEM DA CAIXA COM CABO DE AÇO	Pegar cabo de aço p/ lacre; Pegar alicate corte; Cortar cabo de aço p/ lacre; Pegar retentor de plástico; Pegar alicate lacre; Posicionar ferramentas; 2 passos; Fixar arame; Pegar lacre; Montar lacre; Fixar lacre; Pegar alicate corte; Cortar excesso de cabo de aço; Descartar excesso de cabo de aço; Pegar braçadeira plástica; Fixar braçadeira plástica; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver alicate corte; Devolver mark7; Devolver alicate lacre; 3 passos	Cabo de aço p/ lacre; Alicate corte; Markei; Retentor de plástico; Alicate lacre; Ferramentas; Cabo de aço p/ lacre; Retentor de plástico; Retentor de plástico; Retentor de plástico; Alicate corte; Alicate corte; Cabo de aço p/ lacre; Braçadeira Plástica; Braçadeira Plástica; Mark7; Abraçadeira; Abraçadeira; Alicate corte; Mark7; Alicate lacre;	0	0	187,3	187,3
16	198; 199; 200; 201; 202; 203; 204; 205; 206; 207; 208; 209	COLETA DE NÚMEROS DE SÉRIE	Pegar ficha sobre o motor; 2 passos; Pegar caneta; 4 passos; Verificar nº de série da cx de câmbio; Anotar nº de série da cx de câmbio; Verificar nº de série da cx de câmbio; Anotar nº de série da cx de câmbio; Check nº motor; Check	Ficha; ; Caneta; ; Caixa de cambio AT2612D; Caneta; Caixa de cambio AT2612D; Caneta;	40,71	40,71	40,71	40,71

**Figura 10 - Exemplo de Agrupamento de Atividades**

**Fonte: Autoria própria**

Em seguida, o aprendizado ocorreu de forma prática ao acompanhar durante uma semana a produção da LICT e entender as características dos processos e peculiaridades de cada modelo. Após o agrupamento das tarefas e o aprendizado

prático, iniciou-se o trabalho de estipular restrições de mobilidade dos operadores, restrições de montagem e precedências de cada tarefa.

Para restringir a mobilidade dos operadores entre as estações, foi utilizado um conceito aplicado na empresa em questão que limita a locomoção do operador a uma distância de um posto de trabalho. Ou seja, o operador de determinada estação pode ser direcionado a atuar apenas na estação anterior ou na seguinte. Adicionalmente, foram determinados os tempos médios de deslocamento dos operadores entre as estações, pois estes devem ser levados em conta na carga de trabalho do operador, quando ele atuar em mais de uma estação (MARCILIO e SKRABA, 2010). O Quadro 3 expõe os tempos de deslocamento considerados entre os postos de trabalho. Nota-se que se trata de uma matriz simétrica, indicando assim que o tempo de deslocamento entre duas estações é o mesmo nas duas direções. A ordem das tarefas, assim como dos operadores, representado na matriz reflete a ordem física da LICT, conforme mostrado na Figura 2 (Seção 1.1).

ESTACION / OPERADOR	1	5	2	6	3	7	4	8	9
1	0,0	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8	30,1	34,4
5	4,3	0,0	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8	30,1
2	8,6	4,3	0,0	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8
6	12,9	8,6	4,3	0,0	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5
3	17,2	12,9	8,6	4,3	0,0	4,3	8,6	12,9	17,2
7	21,5	17,2	12,9	8,6	4,3	0,0	4,3	8,6	12,9
4	25,8	21,5	17,2	12,9	8,6	4,3	0,0	4,3	8,6
8	30,1	25,8	21,5	17,2	12,9	8,6	4,3	0,0	4,3
9	34,4	30,1	25,8	21,5	17,2	12,9	8,6	4,3	0,0

**Quadro 3 - Tempos de Deslocamento Entre Estações**

Fonte: Autoria Própria

Para restrições de montagens, utilizou-se como critério a disponibilidade de equipamentos e dispositivos já instalados na LICT, assim como as operações logísticas de alimentação de peças e componentes. Desta forma, a mobilidade para realocação de tarefas fica mais limitada, porém é possível obter resultados de maior facilidade de implementação, com baixo ou até mesmo sem nenhum investimento. O Quadro 4 relaciona a disponibilidade de equipamentos e dispositivos da LICT e a partir dela se adicionou as restrições das Tarefas Fixas e das possibilidades de

realocações de tarefas. Por exemplo, no Quadro 4, estações 1 e 5, verifica-se que existe uma apertadeira pneumática em ambas. Assim, se uma tarefa que essencialmente precisa deste equipamento e estiver alocada à estação 1 poderia, a cargo da avaliação do modelo, ser movida para estação 5.

ESTAÇÃO	APERTADEIRA ELETRÔNICA	APERTADEIRA PNEUMÁTICA	TALHA	EQUIPAMENTOS PARA PROGRAMAÇÃO DA CAIXA	DISPOSITIVO PARA ENCHIMENTO DE ÓLEO DA CAIXA
1	✓	✓	✓	✗	✗
2	✓	✓	✓	✓	✗
3	✗	✓	✗	✗	✗
4	✗	✗	✓	✗	✓
5	✗	✓	✗	✗	✗
6	✓	✓	✗	✗	✗
7	✓	✓	✗	✗	✗
8	✗	✓	✗	✗	✗
9	✗	✗	✗	✗	✗

**Quadro 4 - Disponibilidade de Equipamentos e Dispositivos na LICT**

Fonte: Autoria Própria

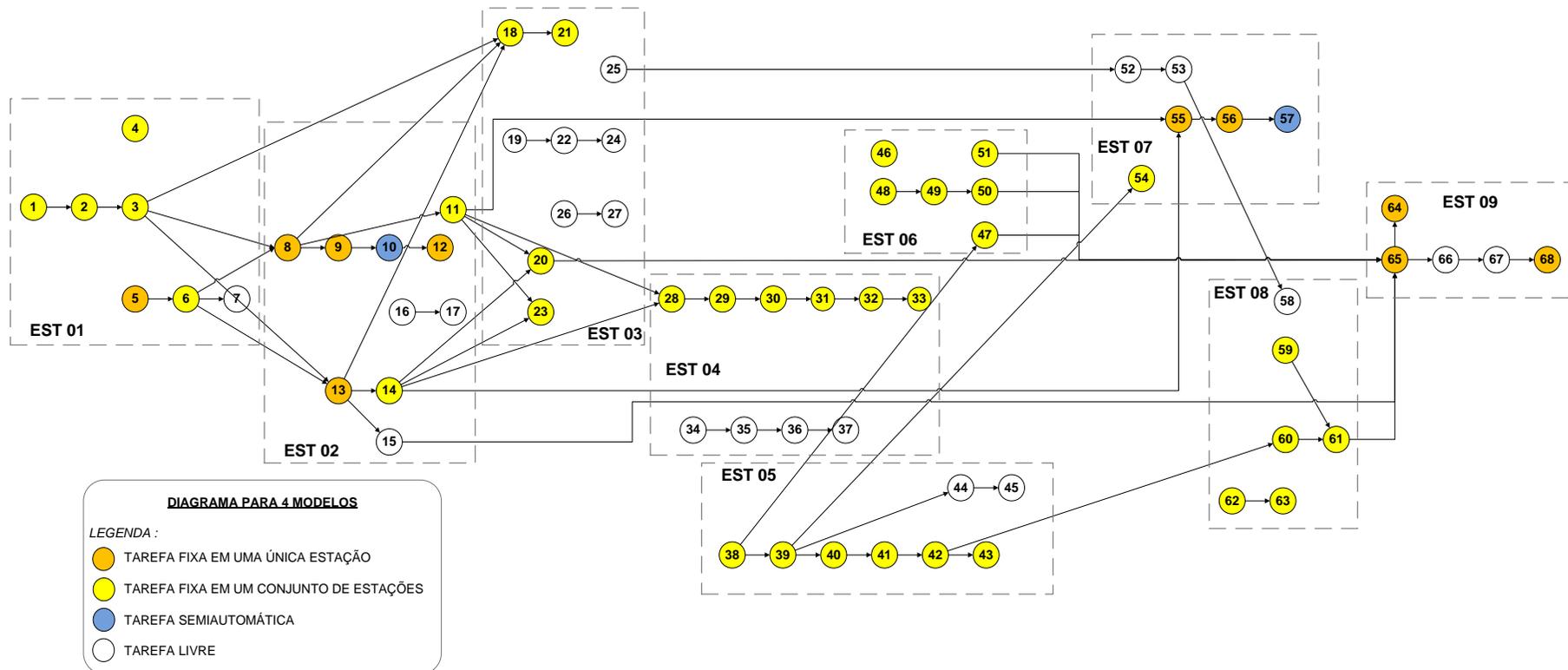
O levantamento das precedências de montagem demandou grande tempo da equipe, uma vez que muitas tarefas estão relacionadas de forma indireta. Por exemplo, quando, por uma questão de ergonomia do operador, uma tarefa deve preceder à outra, mesmo que os itens de montagens não se relacionem. Fatores como este exigiram constante retroalimentação de dados.

Unindo a precedência de cada tarefa e sua possível realocação, foi desenvolvido primeiramente o diagrama ilustrado na Figura 11, que retrata o modelo de maior representatividade (F). O total de tarefas agrupadas para tal modelo é de 53 e foi a partir deste que as primeiras simulações foram feitas, a fim de validar o modelo matemático e obter os primeiros resultados, para assim validá-los através de uma análise de factibilidade com a LICT.

Um segundo diagrama, ilustrado na Figura 12, foi desenvolvido então após a obtenção e validação da análise para um único modelo (F). Tal diagrama é mais completo e retrata todos os quatro modelos que compõe 98% do volume de produção (E, F, G e H). O número de tarefas agrupadas aumentou para 68, onde se atribuiu o valor temporal zero à tarefa em que não se faz execução durante a

produção de um determinado do modelo. Na Figura 10 anteriormente apresentada é possível a visualização de um exemplo, onde a tarefa 15 só é executada nos modelos G e H, enquanto a tarefa 16 é executada nos quatro modelos.





**Figura 12 - Diagrama de Precedências para os modelos E, F, G e H**

**Fonte: Autoria Própria**

## 4.2 Evolução do Modelo Matemático

Em um primeiro momento, estruturaram-se os dados (agrupamento das tarefas, restrições e precedências) para o modelo de maior volume de produção (F), onde o número total de grupos de tarefas foi 53. A primeira execução do *software* foi se mantendo o mesmo número de operadores da LICT atual (nove). Retrata-se este estudo de caso por “1M\_9W” (1 *Model*, 9 *Workers*). Posteriormente, executou-se o modelo novamente, mas restringindo o número de operadores para oito (1M\_8W) e, na sequência, para sete (1M\_7W).

Dada a validade do modelo e seu cumprimento perante a factibilidade de aplicação dos resultados na LICT, incrementaram-se os dados a fim de retratar os quatro modelos, cuja soma do volume de produção é de 98% do total da linha (modelos E, F, G e H), conforme citado na seção anterior. O número de grupos de tarefas aumentou para 68 e manteve-se o número inicial de operadores (nove). Assim, foram obtidos os primeiros resultados para o que se denomina de estudo de caso “4M\_9W\_1”.

O resultado obtido para 4M\_9W\_1 foi matematicamente correto (média ponderada dentro do tempo de ciclo), mas com uma conotação prática abaixo do esperado, conforme será discutido na Seção 5.2. Os impactos em uma possível aplicação real na LICT tornariam tal resultado dependente do sequenciamento de produção imposto, fato este indesejável.

Uma nova restrição foi, então, adicionada ao modelo, conforme Inequação (10), a fim de fazer com que o valor do tempo de ciclo seja também ditado pela duração de cada modelo de produto em cada estação e não somente pela média ponderada dos tempos.

$$Dur(m, s) \leq CT \quad \forall m, s \in MS \quad (10)$$

onde “*m*” é o tempo de ciclo de cada modelo e “*s*” é o tempo de execução de um modelo em um posto de trabalho.

O modelo matemático com a adição da nova restrição foi utilizado nas configurações de simulação seguintes, primeiro mantendo-se o mesmo número de operadores anterior (4M\_9W\_2), depois diminuindo para oito operadores (4M\_8W) e, por fim, sete (4M\_7W). Desta forma, com o intuito de cumprir os objetivos do projeto, sete configurações de execução foram testadas:

- (i) 1M\_9W – 1 modelo (F) e 9 operadores;
- (ii) 1M\_8W – 1 modelo (F) e 8 operadores;
- (iii) 1M\_7W – 1 modelo (F) e 7 operadores;
- (iv) 4M\_9W\_1 – 4 modelos (E, F, G e H), 9 operadores e sem a nova restrição;
- (v) 4M\_9W\_2 – 4 modelos (E, F, G e H), 9 operadores e com a nova restrição;
- (vi) 4M\_8W – 4 modelos (E, F, G e H), 8 operadores;
- (vii) 4M\_7W – 4 modelos (E, F, G e H), 7 operadores.

No próximo capítulo, evidencia-se a evolução dos resultados e a compatibilidade com a implantação prática, observando-se o respeito ao índice de suavidade nas simulações tanto para um quanto para quatro modelos de produto e tanto para nove quanto para oito ou sete operadores. O APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO apresenta o modelo completo e aprimorado no presente estudo.

## 5 RESULTADOS

Dado o desenvolvimento do trabalho apresentado no Capítulo 4, onde os dados coletados juntamente aos tempos, precedências, restrições e demais considerações foram validadas na própria LICT, este capítulo apresenta os resultados obtidos, na ordem em que os experimentos foram desenvolvidos.

Os modelos matemáticos foram implementados e solucionados no *software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5* (ILOG-CPLEX, 2014). O *hardware* utilizado foi um computador *Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40GHz* com memória instalada (RAM) de 8,00 GB e sistema operacional *Windows 8.1 64 bits*.

Define-se na programação de todas as sete simulações realizadas o tempo máximo de execução do modelo para 30 min (1800 seg). O Quadro 5 a seguir compara os resultados computacionais das simulações. Neste quadro se apresenta o valor do *GAP* de Integralidade<sup>7</sup>, número total de restrições, variáveis binárias, variáveis contínuas, total de variáveis e tempo computacional demandado (em segundos). Tais valores variam de acordo com os cenários testados. Inicialmente, estes envolveram um modelo (1M) e nove (9W), oito (8W) e sete trabalhadores (7W), originando, respectivamente, os estudos de caso: 1M\_9W, 1M\_8W e 1M\_7W. Posteriormente, envolveram quatro modelos (4M) e nove (9W), oito (8W) e sete trabalhadores (7W), originando, respectivamente, os estudos de caso: 4M\_9W\_1, 4M\_9W\_2 (modelo matemático reformulado), 4M\_8W e 4M\_7W.

PARÂMETROS	1M_9W	1M_8W	1M_7W	4M_9W_1	4M_9W_2	4M_8W	4M_7W
<b>GAP de Integralidade [%]</b>	0,00%	0,07%	0,28%	0,00%	0,18%	0,05%	0,51%
<b>Nº Total de Restrições</b>	4384	4042	3798	5458	5494	5062	4782
<b>Nº Variáveis Binárias</b>	1824	1684	1576	2273	2273	2095	1971
<b>Nº Variáveis Contínuas</b>	62	58	55	89	89	85	82
<b>Nº Total de Variáveis</b>	1886	1742	1631	2362	2362	2180	2053
<b>Tempo Computacional [s]</b>	5,05	1222,35	1804,85	5,23	1273,90	1288,95	1804,97

**Quadro 5 - Resultados computacionais das simulações**

Fonte: Autoria Própria

<sup>7</sup>  $|(\mathbf{z}_r - \mathbf{z}_o)/\mathbf{z}_r|$ , onde  $\mathbf{z}_r$  é a solução inicial (relaxada) de Programação Linear utilizada pelo *branch-and-bound* e  $\mathbf{z}_o$  é a melhor solução inteira obtida até o momento. Quanto menor o *gap* de integralidade, mais rapidamente o modelo envolvendo variáveis decisórias tende a ser resolvido (adaptado de MAGATÃO, 2014).

O Quadro 5 permitiu observar que ao aumentar o número de modelos, mais restrições e variáveis são necessárias na formulação matemática gerada; o inverso ocorre ao diminuir o número de operadores. Observa-se que, à medida que a complexidade da resolução do modelo aumenta, o gradiente da integralidade final tende a aumentar, não conseguindo se aproximar tanto de zero quanto nos de menor complexidade. Ressalta-se, no contexto apresentado, que um modelo pode ter maior complexidade de resolução mesmo apresentando um menor número de variáveis/restrições (e.g. caso 4M\_8W *versus* 4M\_7W). Contudo, os valores de *gap* de integralidade obtidos em todos os experimentos após 1800 segundos foram inferiores a 0,51%, ou seja, valores muito pequenos, indicando que o modelo estava próximo de provar a otimalidade da solução (no pior caso estava a 0,51% da resposta ótima). Da mesma forma, maior é o tempo computacional necessário para a resolução nos estudos de caso mais complexos.

Um quadro com o retrato de quais grupos de tarefas foram alterados e para qual estação foram realocados pode ser encontrado na Figura 13.

**1 MODELO**  
**BALANCEAMENTO ATUAL**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 15	Tarefa 20
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 16	Tarefa 21
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 17	Tarefa 22
Tarefa 4	Tarefa 11	Tarefa 18	Tarefa 23
Tarefa 5	Tarefa 12	Tarefa 19	
Tarefa 6	Tarefa 13		
Tarefa 7	Tarefa 14		

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 24	Tarefa 32	Tarefa 37	Tarefa 43	Tarefa 49
Tarefa 25	Tarefa 33	Tarefa 38	Tarefa 44	Tarefa 50
Tarefa 26	Tarefa 34	Tarefa 39	Tarefa 45	Tarefa 51
Tarefa 27	Tarefa 35	Tarefa 40	Tarefa 46	Tarefa 52
Tarefa 28	Tarefa 36	Tarefa 41	Tarefa 47	Tarefa 53
Tarefa 29		Tarefa 42	Tarefa 48	
Tarefa 30				
Tarefa 31				

**1 MODELO**  
**BALANCEAMENTO 9 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 13	Tarefa 17
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 14	Tarefa 22
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 15	Tarefa 38
Tarefa 5	Tarefa 11	Tarefa 19	Tarefa 39
Tarefa 6	Tarefa 12	Tarefa 21	Tarefa 41
Tarefa 7	Tarefa 18	Tarefa 47	Tarefa 42
	Tarefa 20		

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 24	Tarefa 16	Tarefa 4	Tarefa 29	Tarefa 49
Tarefa 25	Tarefa 34	Tarefa 23	Tarefa 35	Tarefa 50
Tarefa 26	Tarefa 37	Tarefa 30	Tarefa 36	Tarefa 51
Tarefa 27	Tarefa 45	Tarefa 31	Tarefa 40	Tarefa 52
Tarefa 28		Tarefa 32	Tarefa 43	Tarefa 53
Tarefa 33		Tarefa 46	Tarefa 48	
Tarefa 44				

**1 MODELO**  
**BALANCEAMENTO 8 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 7	Tarefa 15	Tarefa 38
Tarefa 2	Tarefa 8	Tarefa 17	Tarefa 41
Tarefa 3	Tarefa 9	Tarefa 22	Tarefa 42
Tarefa 5	Tarefa 10	Tarefa 23	
Tarefa 6	Tarefa 11	Tarefa 47	
Tarefa 16	Tarefa 12	Tarefa 48	
Tarefa 20	Tarefa 18		
	Tarefa 19		
	Tarefa 21		

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 24	Tarefa 13	Tarefa 4	Tarefa 29	Tarefa 49
Tarefa 25	Tarefa 30	Tarefa 14	Tarefa 43	Tarefa 50
Tarefa 26	Tarefa 31	Tarefa 27	Tarefa 44	Tarefa 51
Tarefa 33	Tarefa 32	Tarefa 28	Tarefa 45	Tarefa 52
Tarefa 34	Tarefa 37	Tarefa 36	Tarefa 46	Tarefa 53
Tarefa 35	Tarefa 40	Tarefa 39		

**1 MODELO**  
**BALANCEAMENTO 7 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 15	Tarefa 41
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 16	Tarefa 42
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 18	
Tarefa 5	Tarefa 11	Tarefa 19	
Tarefa 6	Tarefa 12	Tarefa 21	
Tarefa 17	Tarefa 13	Tarefa 22	
Tarefa 20		Tarefa 39	
Tarefa 38		Tarefa 47	

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 14	Tarefa 28	Tarefa 4	Tarefa 31	Tarefa 7
Tarefa 24	Tarefa 37	Tarefa 23	Tarefa 32	Tarefa 43
Tarefa 25		Tarefa 29	Tarefa 36	Tarefa 49
Tarefa 26		Tarefa 30	Tarefa 45	Tarefa 50
Tarefa 27		Tarefa 34	Tarefa 46	Tarefa 51
Tarefa 33		Tarefa 35		Tarefa 52
Tarefa 40		Tarefa 44		Tarefa 53
		Tarefa 48		

**4 MODELOS**  
**BALANCEAMENTO ATUAL**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 18	Tarefa 28
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 19	Tarefa 29
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 20	Tarefa 30
Tarefa 4	Tarefa 11	Tarefa 21	Tarefa 31
Tarefa 5	Tarefa 12	Tarefa 22	Tarefa 32
Tarefa 6	Tarefa 13	Tarefa 23	Tarefa 33
Tarefa 7	Tarefa 14	Tarefa 24	Tarefa 34
	Tarefa 15	Tarefa 25	Tarefa 35
	Tarefa 16	Tarefa 26	Tarefa 36
	Tarefa 17	Tarefa 27	Tarefa 37

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 38	Tarefa 46	Tarefa 51	Tarefa 58	Tarefa 64
Tarefa 39	Tarefa 47	Tarefa 52	Tarefa 59	Tarefa 65
Tarefa 40	Tarefa 48	Tarefa 53	Tarefa 60	Tarefa 66
Tarefa 41	Tarefa 49	Tarefa 54	Tarefa 61	Tarefa 67
Tarefa 42	Tarefa 50	Tarefa 55	Tarefa 62	Tarefa 68
Tarefa 43		Tarefa 56	Tarefa 63	
Tarefa 44		Tarefa 57		
Tarefa 45				

**4 MODELOS**  
**BALANCEAMENTO 9 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 7	Tarefa 27	Tarefa 16
Tarefa 2	Tarefa 8	Tarefa 30	Tarefa 32
Tarefa 3	Tarefa 9	Tarefa 31	Tarefa 33
Tarefa 5	Tarefa 10	Tarefa 52	Tarefa 34
Tarefa 6	Tarefa 11	Tarefa 53	Tarefa 35
Tarefa 25	Tarefa 12	Tarefa 62	Tarefa 36
Tarefa 26	Tarefa 13	Tarefa 63	Tarefa 37
	Tarefa 14		Tarefa 55
	Tarefa 20		Tarefa 56
	Tarefa 22		Tarefa 57
	Tarefa 28		
	Tarefa 29		

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 23	Tarefa 4	Tarefa 15	Tarefa 19	Tarefa 64
Tarefa 38	Tarefa 17	Tarefa 18	Tarefa 21	Tarefa 65
Tarefa 39	Tarefa 24	Tarefa 47	Tarefa 43	Tarefa 66
Tarefa 40	Tarefa 44	Tarefa 54	Tarefa 45	Tarefa 67
Tarefa 41	Tarefa 46	Tarefa 59	Tarefa 49	Tarefa 68
Tarefa 42	Tarefa 48		Tarefa 50	
Tarefa 60	Tarefa 51		Tarefa 61	
	Tarefa 58			

**4 MODELOS**  
**BALANCEAMENTO 8 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 25	Tarefa 17
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 26	Tarefa 21
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 28	Tarefa 32
Tarefa 5	Tarefa 11	Tarefa 29	Tarefa 33
Tarefa 6	Tarefa 12	Tarefa 30	Tarefa 55
Tarefa 7	Tarefa 13	Tarefa 31	Tarefa 56
Tarefa 16	Tarefa 14	Tarefa 52	Tarefa 57
Tarefa 34	Tarefa 19	Tarefa 53	
Tarefa 35	Tarefa 20		
	Tarefa 22		
	Tarefa 24		
	Tarefa 36		

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 38	Tarefa 42	Tarefa 4	Tarefa 15	Tarefa 64
Tarefa 39	Tarefa 46	Tarefa 23	Tarefa 18	Tarefa 65
Tarefa 40	Tarefa 51	Tarefa 37	Tarefa 27	Tarefa 66
Tarefa 41	Tarefa 54	Tarefa 44	Tarefa 43	Tarefa 67
Tarefa 48	Tarefa 60	Tarefa 50	Tarefa 45	Tarefa 68
Tarefa 49		Tarefa 59	Tarefa 47	
Tarefa 58		Tarefa 63	Tarefa 61	
Tarefa 62				

**4 MODELOS**  
**BALANCEAMENTO 7 OPERADORES**

EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4
Tarefa 1	Tarefa 8	Tarefa 16	Tarefa 24
Tarefa 2	Tarefa 9	Tarefa 17	Tarefa 29
Tarefa 3	Tarefa 10	Tarefa 18	Tarefa 30
Tarefa 5	Tarefa 11	Tarefa 19	Tarefa 31
Tarefa 6	Tarefa 12	Tarefa 20	Tarefa 32
Tarefa 7	Tarefa 13	Tarefa 22	Tarefa 33
Tarefa 34	Tarefa 14	Tarefa 25	Tarefa 37
Tarefa 51			
	Tarefa 21	Tarefa 35	Tarefa 55
	Tarefa 28	Tarefa 36	Tarefa 56
		Tarefa 52	Tarefa 57
		Tarefa 62	

EST. 5	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9
Tarefa 26	Tarefa 7	Tarefa 4	Tarefa 15	Tarefa 43
Tarefa 38	Tarefa 23	Tarefa 27	Tarefa 45	Tarefa 58
Tarefa 39	Tarefa 48	Tarefa 44	Tarefa 46	Tarefa 64
Tarefa 40	Tarefa 53	Tarefa 47	Tarefa 49	Tarefa 65
Tarefa 41		Tarefa 54	Tarefa 50	Tarefa 66
Tarefa 42		Tarefa 61		Tarefa 67
Tarefa 59		Tarefa 63		Tarefa 68
Tarefa 60				

Legenda: Tarefa Realocada

**Figura 13 - Realocação das Tarefas**  
**Fonte: Autoria própria**

## 5.1 Resultados para Um Modelo

### 5.1.1 Mantendo nove operadores

A Figura 14 indica graficamente o balanceamento obtido na configuração 1M\_9W. Os resultados estão retratados no Quadro 6 a seguir. Observou-se uma diminuição do atraso em 45,15% para as estações e em 10,67% para os operadores, e do índice de suavidade em 366,08 ut para as estações e em 156,24 ut para os operadores. O resultado foi uma diminuição do tempo ocioso tanto dos operadores quanto das estações. Além disso, o tempo de ciclo real diminuiu em 4,66%.

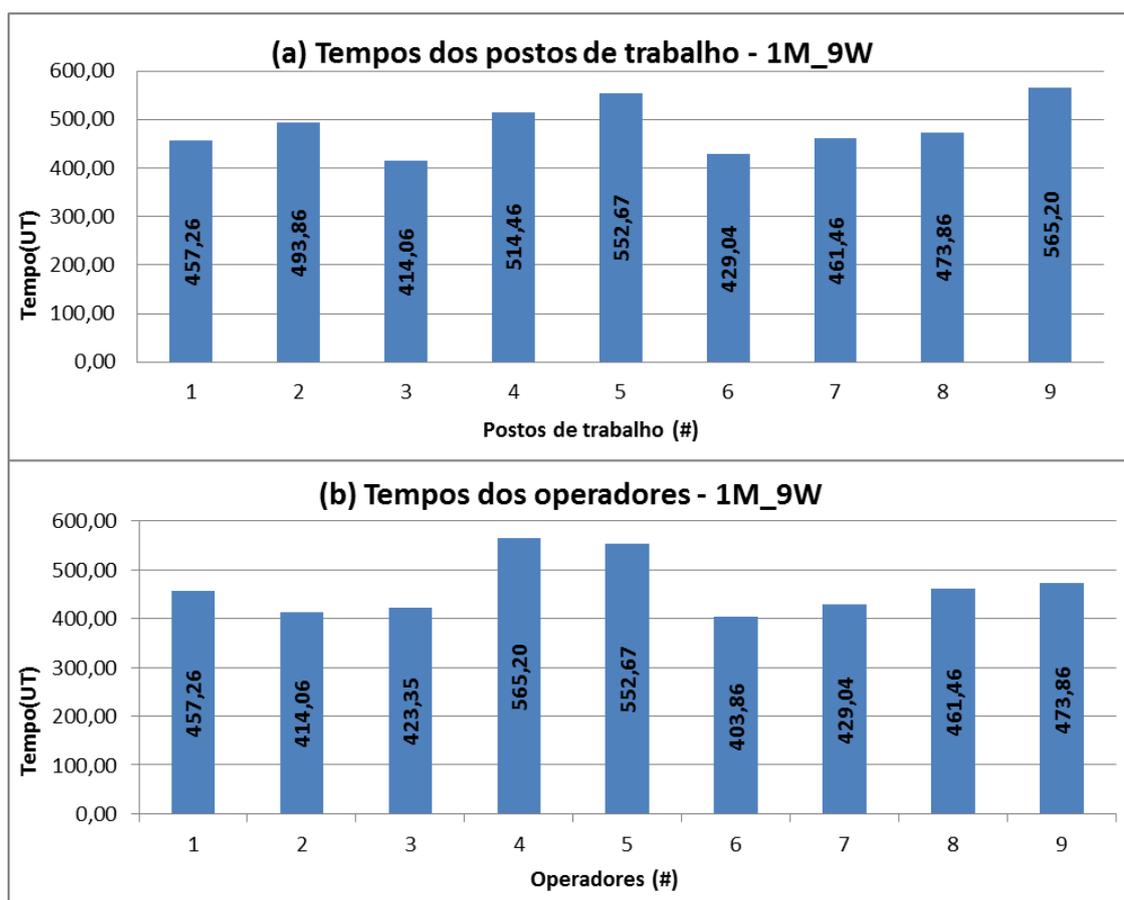


Figura 14 - Balanceamento para a configuração 1M\_9W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
1M_Atual	25,98%	648,85	592,80	19,94%	500,40	592,80
1M_9W	14,25%	282,77	565,20	17,81%	344,16	565,20
	-45,15%	-366,08	-4,66%	-10,67%	-156,24	-4,66%

**Quadro 6 - Resultados para a configuração 1M\_9W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador**

Fonte: A autoria própria

### 5.1.2 Diminuindo para oito operadores

A Figura 15 representa o balanceamento obtido na configuração 1M\_8W. Os resultados são observados no Quadro 7 a seguir. O operador 4 ficou encarregado de operar nos postos 4 e 7. Além de diminuir um operador na LICT, diminui-se também o atraso em 45,15% para as estações e em 62,67% para os operadores, e o índice de suavidade em 258,54 ut para as estações e em 350,34 ut para os operadores. Assim, resultou também em diminuição do tempo ocioso dos operadores e das estações. O tempo de ciclo real diminui em 4,66%, da mesma forma como para a configuração anterior com nove operadores. Ou seja, obteve-se igual tempo de ciclo (565,20 ut), mas com menor número de operadores.

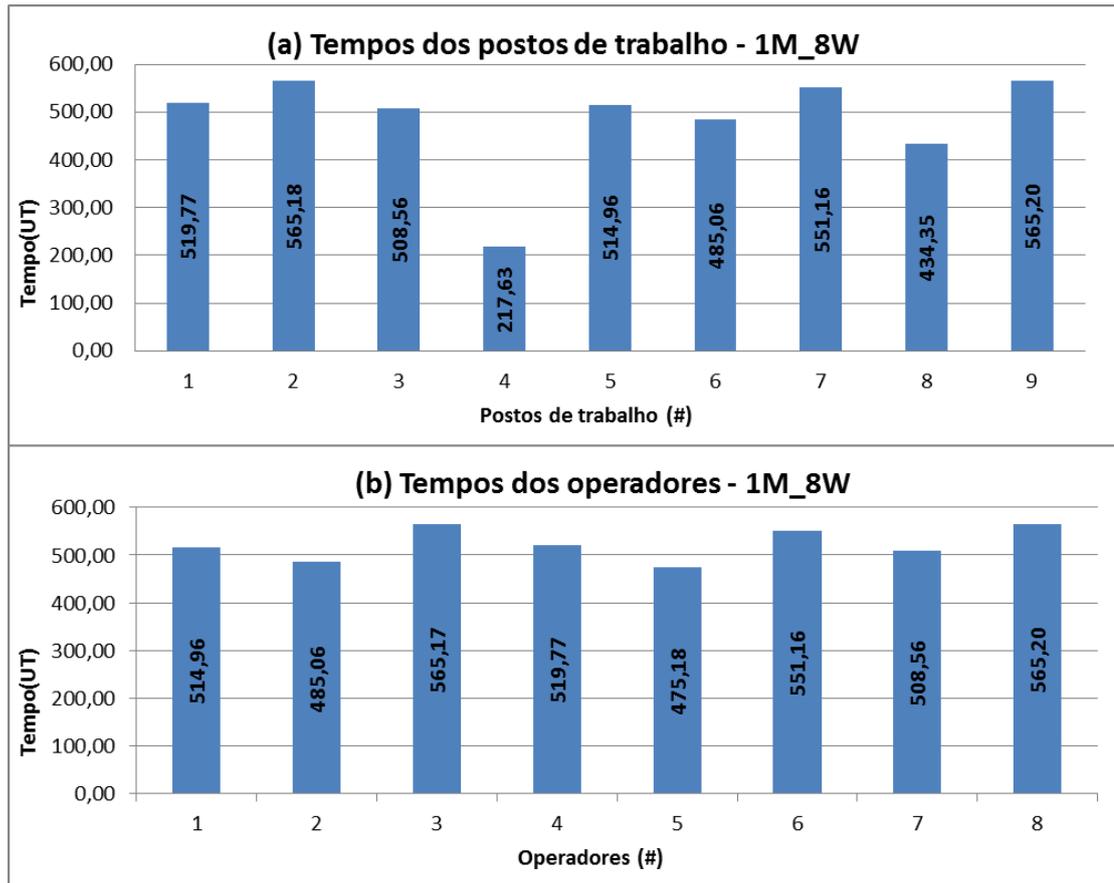


Figura 15 - Balanceamento para a configuração 1M\_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
1M_Atual	25,98%	648,85	592,80	19,94%	500,40	592,80
1M_8W	14,25%	390,31	565,20	7,44%	150,06	565,20
	-45,15%	-258,54	-4,66%	-62,67%	-350,34	-4,66%

Quadro 7 - Resultados para a configuração 1M\_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

### 5.1.3 Diminuindo para sete operadores

O balanceamento obtido na configuração 1M\_7W está retratado na Figura 16 e os resultados Quadro 8 a seguir. Diminuíram-se dois operadores na LICT, porém, para atender tal configuração, faz-se necessário o aumento do tempo de ciclo em 1,09% e o deslocamento do operador 2 entre as estações 2 e 6, além do deslocamento do operador 4 entre as estações 4 e 8. Tal configuração diminui ainda

a ociosidade tanto das estações quanto dos operadores. O atraso para as estações diminuiu em 26,43% e para os operadores em 99,34%, chegando em 0,13% para estes. Já o índice de suavidade diminuiu em 41,04 ut para as estações e em 496,97 ut para os operadores, chegando em 3,43 ut para os mesmos.

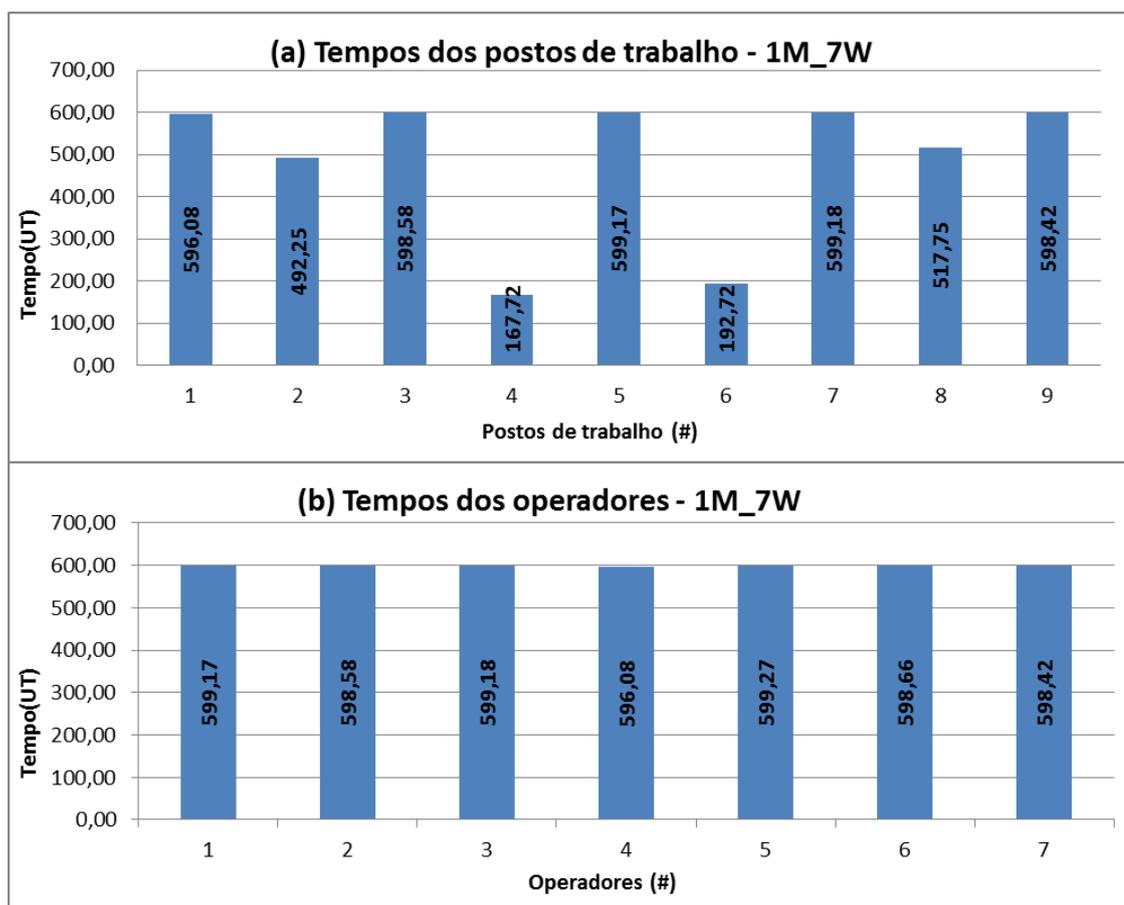


Figura 16 - Balanceamento para a configuração 1M\_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
1M_Atual	25,98%	648,85	592,80	19,94%	500,40	592,80
1M_7W	19,11%	607,82	599,18	0,13%	3,43	599,27
	-26,43%	-41,04	1,08%	-99,34%	-496,97	1,09%

Quadro 8 - Resultados para a configuração 1M\_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

## 5.2 Resultados para Quatro Modelos

### 5.2.1 Modelo matemático sem a nova restrição

Conforme comentado na Seção 4.2, o resultado obtido para 4M\_9W\_1, apesar de matematicamente correto, possuiu uma conotação prática abaixo do esperado. Este resultado está agora detalhado na Figura 17 e no Quadro 9, onde os parâmetros apresentados são as médias ponderadas entre os tempos para cada modelo e o volume de produção correspondente. Para a execução dos experimentos computacionais foram adotados os seguintes volumes médios de produção dos modelos E, F, G e H, respectivamente: 7,9%, 70,5%, 8,9%, 10,9%.

Os resultados obtidos satisfazem o modelo matemático, diminuindo o atraso entre estações em 21,17% e entre operadores em 14,47%, e diminuindo a suavidade entre as estações em 156 ut e entre os operadores em 170,75 ut. O tempo de ciclo real entre os operadores diminuiu em 4,66% (mesmo resultado que nas configurações 1M\_9W e 1M\_8W), assim como entre as estações.

Avaliando-se a Figura 17.a, é possível observar que o modelo matemático sugere que durante a passagem de modelos de produto com menores volumes de produção alguns postos de trabalho fiquem momentaneamente sobrecarregados (e.g., modelo G, posto 4). Contudo, a média ponderada dos tempos do posto ainda permanece adequada ao critério de diminuição do tempo de ciclo. Esta é uma solução normalmente adotada em contextos práticos onde o balanceamento da produção deve ser adotado em conjunto com regras (restrições) de sequenciamento produtivo. Por exemplo, vide Seção 1.2, Figura 4 e Figura 5, onde o atual balanceamento da linha em estudo é apresentado. Visto isto, o resultado em uma aplicação prática na LICT ficaria dependente de um correto sequenciamento produtivo, uma vez que haveria a necessidade de uma programação de produção robusta que evite que dois produtos de um mesmo modelo gargalo passem em sequência na linha.

Com o intuito de melhorar a característica da resposta obtida o modelo matemático foi, então, aprimorado, conforme Seção 4.2, e para os resultados

referentes das configurações seguintes, tal modelo aprimorado (APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO) foi aplicado.

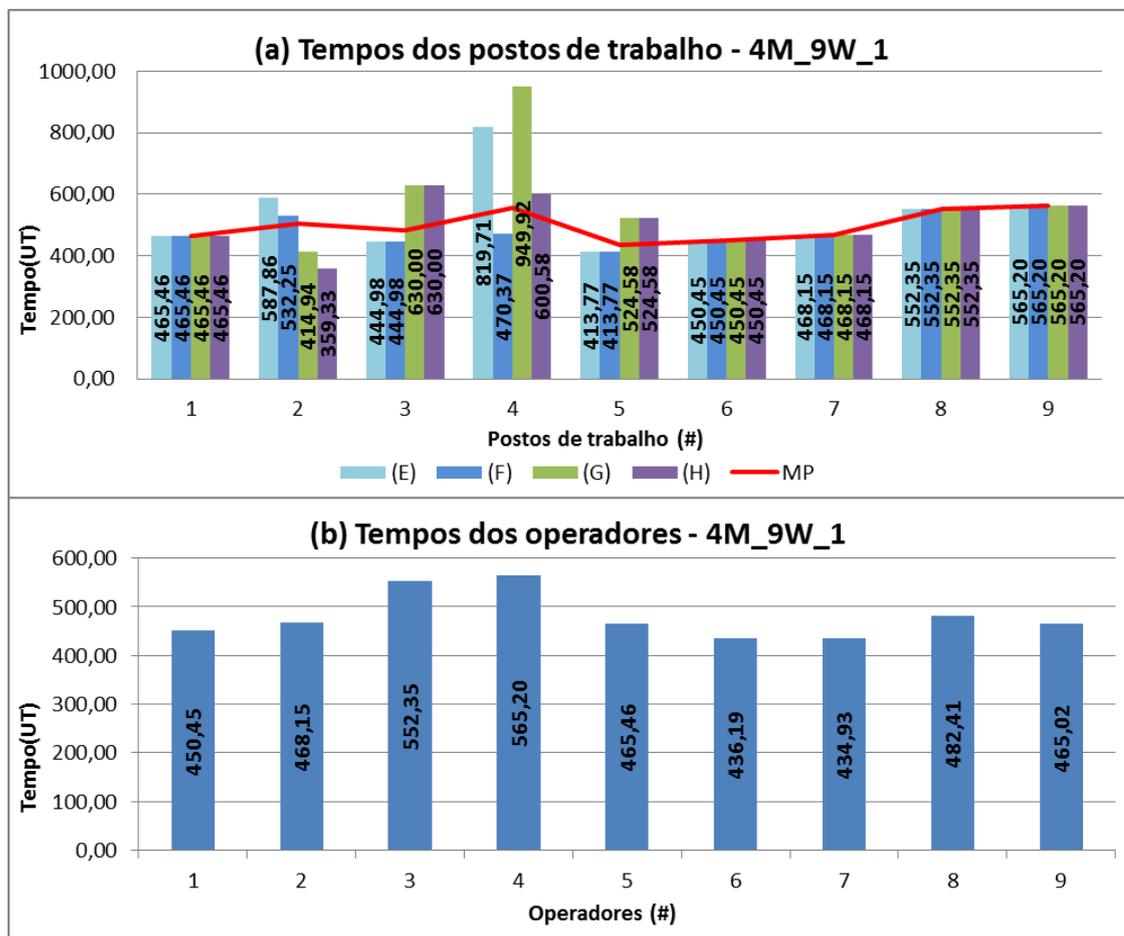


Figura 17 - Balanceamento para a configuração 4M\_9W\_1: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
4M_Atual	23,91%	595,94	592,80	17,60%	459,20	592,80
4M_9W_1	18,85%	439,94	565,20	15,07%	288,45	565,20
	-21,17%	-156,00	-4,66%	-14,37%	-170,75	-4,66%

Quadro 9 - Resultados para a configuração 4M\_9W\_1: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

## 5.2.2 Modelo matemático com a nova restrição

Repetindo a execução para 4M\_9W, só que agora com a nova restrição ao modelo, os resultados para a nova configuração 4M\_9W\_2 estão dispostos no gráfico da Figura 18 e no Quadro 10. A linha MP do gráfico representa o tempo de ciclo médio entre os postos. Ainda observa-se ociosidade, tanto para as estações quanto para os operadores, porém, comparando-se com o balanceamento atual da LICT, obteve-se uma diminuição do tempo de ciclo em 4,66%, do atraso em 50,36% para estações e 14,37% para operadores, além do índice de suavidade em 343,66 ut para estações e 125,95 ut para operadores.

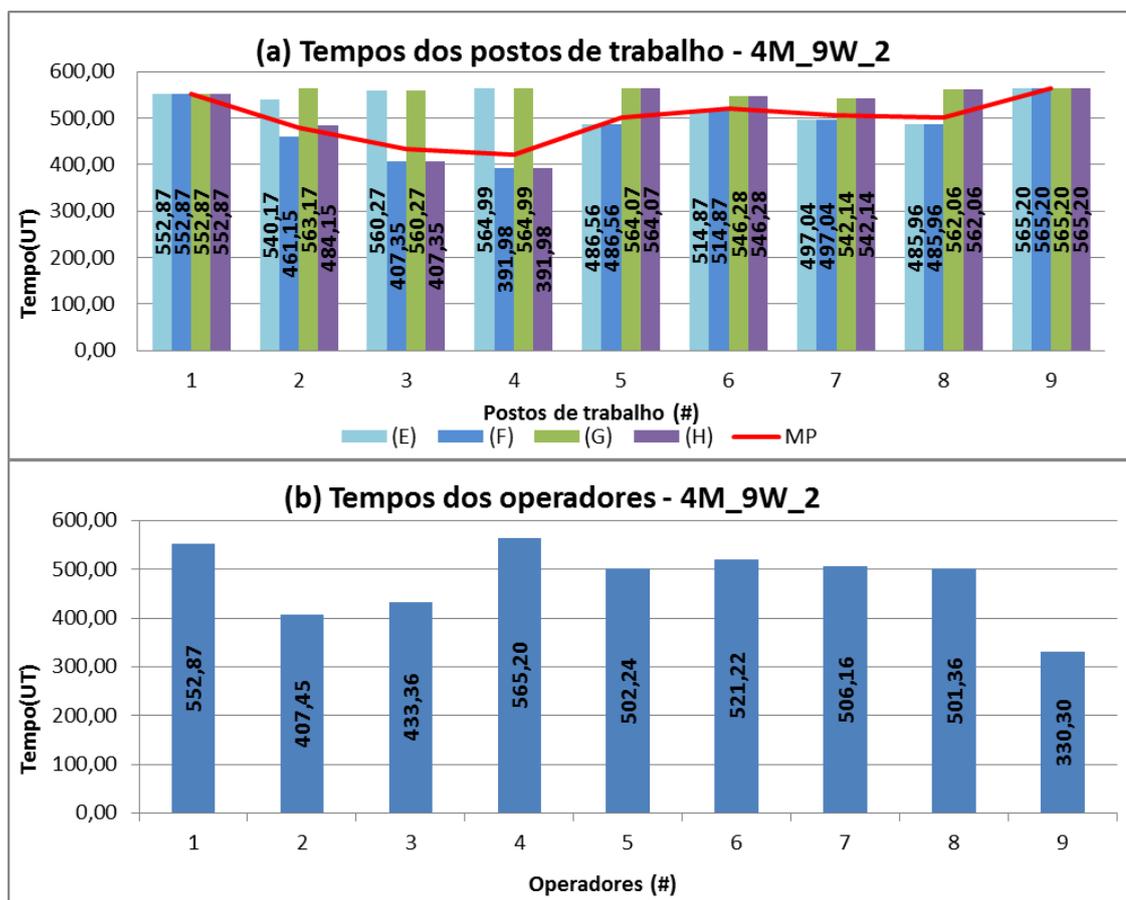


Figura 18 - Balanceamento para a configuração 4M\_9W\_2: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
4M_Atual	23,91%	595,94	592,80	17,60%	459,20	592,80
4M_9W_2	11,87%	252,28	565,20	15,07%	333,25	565,20
	-50,36%	-343,66	-4,66%	-14,37%	-125,95	-4,66%

**Quadro 10 - Resultados para a configuração 4M\_9W\_2: (a) por posto de trabalho; (b) por operador**

Fonte: Autoria própria

### 5.2.3 Diminuindo para oito operadores

Ao diminuir-se um operador, o operador 3 passa a realizar as tarefas nas estações 3 e 4, enquanto o tempo de ciclo real diminui em 4,66%. Assim, o valor de tempo de ciclo obtido com nove ou oito operadores foi o mesmo. O atraso cai em 50,36%, nas estações, e 75,77%, para operadores. Já a suavidade diminui em 238,70 ut e 356,20 ut para estações e operadores respectivamente. Os resultados estão indicados na Figura 19 e Quadro 11.

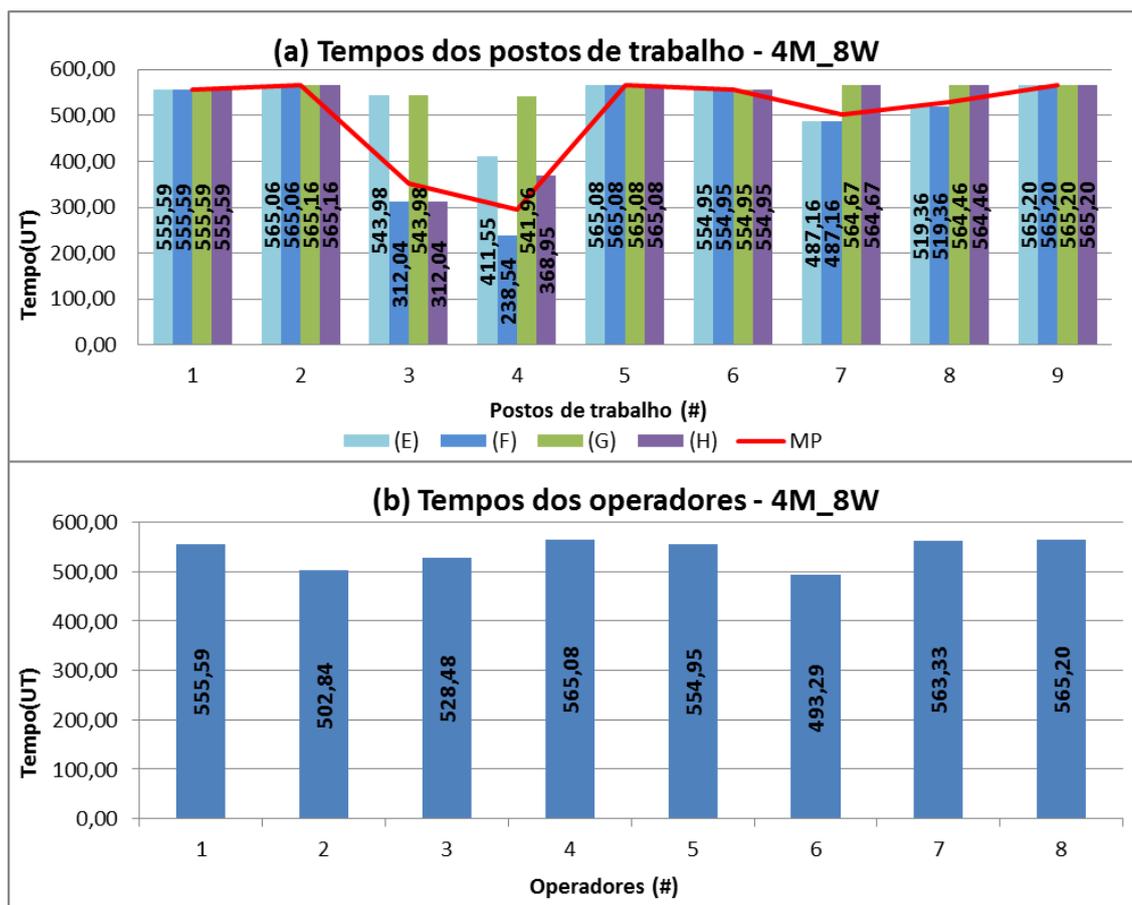


Figura 19 - Balanceamento para a configuração 4M\_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
4M_Atual	23,91%	595,94	592,80	17,60%	459,20	592,80
4M_8W	11,87%	357,24	565,20	4,26%	103,00	565,20
	-50,36%	-238,70	-4,66%	-75,77%	-356,20	-4,66%

Quadro 11 - Resultados para a configuração 4M\_8W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

## 5.2.4 Diminuindo para sete operadores

Ao se diminuir mais um operador (ficando com sete no total), faz-se necessário o deslocamento do operador 2 entre as estações 2 e 6, e do operador 4 entre as estações 4 e 8. Os resultados são indicados na Figura 20 e no Quadro 12.

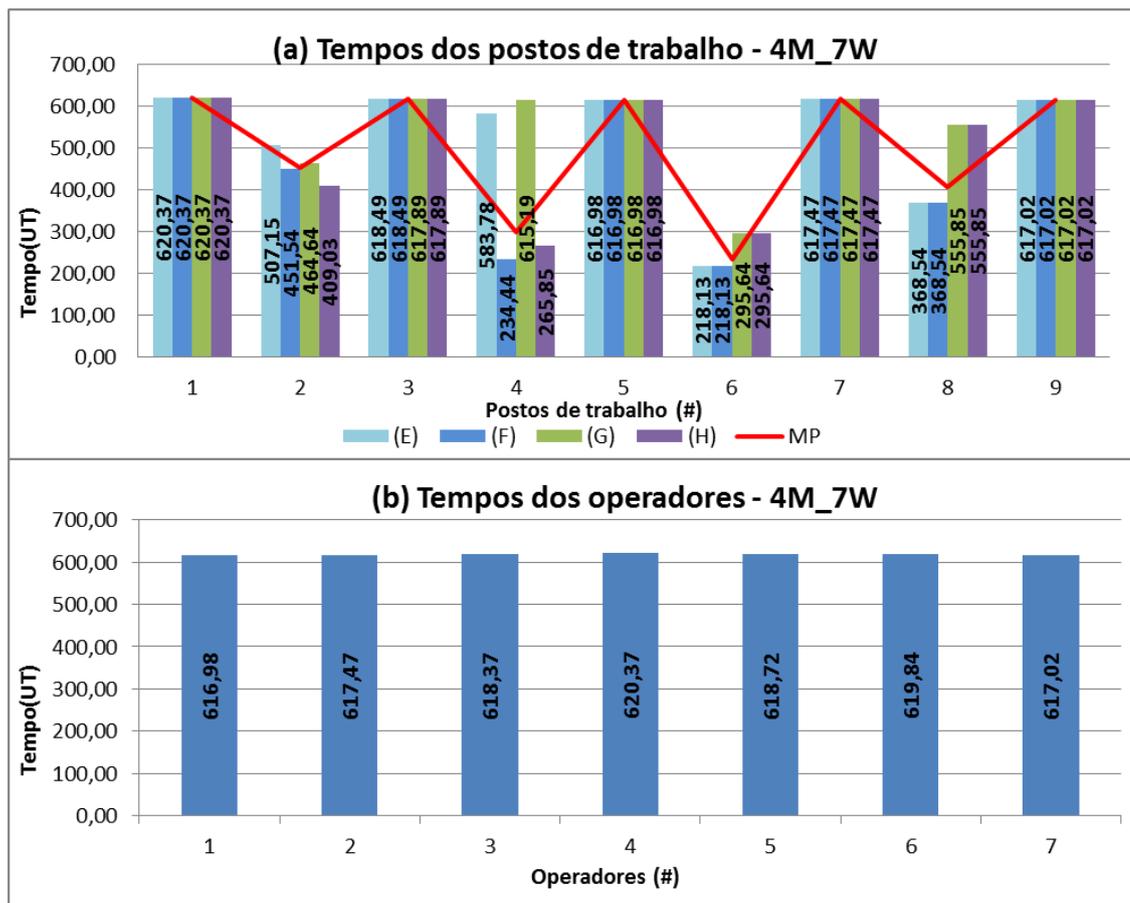


Figura 20 - Balanceamento para a configuração 4M\_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

PARÂMETRO	(a) ESTAÇÕES			(b) OPERADORES		
	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]	ATRASSO [%]	SUAVIDADE [ut]	TC [ut]
4M_Atual	23,91%	595,94	592,80	17,60%	459,20	592,80
4M_7W	19,71%	586,90	620,37	0,32%	6,18	620,37
	-17,58%	-9,04	4,65%	-98,19%	-453,02	4,65%

Quadro 12 - Resultados para a configuração 4M\_7W: (a) por posto de trabalho; (b) por operador

Fonte: Autoria própria

Houve um aumento no tempo de ciclo real em 4,65%. Tal benefício em se diminuir dois operadores contra o prejuízo de se aumentar o tempo de ciclo será discutido no Capítulo 6. Para tal configuração, observou-se, assim como na 1M\_7W, uma maior proximidade de zero para os valores de atraso e suavidade dos operadores. O que é ideal segundo Taiichi Ohno (OHNO, 1997), porém é algo que,

na prática, torna-se arriscado, pois não sobram margens para contornar imprevistos como atrasos no abastecimento de peças, ou falhas humanas de operação.

Por fim, o atraso das estações diminuiu em 17,58% e em 98,19% para os operadores. Já o índice de suavidade diminuiu em 9,04 ut para as estações e em 453,02 ut, chegando em 6,18 ut, para os operadores.

### **5.3 Cronograma**

Ao longo do desenvolvimento do corrente projeto, percebeu-se que o tempo necessário para as etapas iniciais de Manipulação e Análise de Dados foi previamente subdimensionado.

Durante o mês de junho do corrente ano, foi determinada a parada de produção durante três semanas na empresa em questão, fato este que postergou o início das atividades de Análise de Dados.

O Quadro 13 apresenta o impacto que as divergências supracitadas tiveram sobre o planejamento das atividades ao longo do projeto. Uma revisão dos prazos se fez necessária, a fim de adequar as atividades atrasadas ao calendário proposto para que a conclusão da disciplina se efetivasse ao final de 2014. Estes novos prazos foram, então, cumpridos conforme a revisão.

**QUINZENAS - (2013/2014)**

ATIVIDADES - TCC 1 e 2	NOV		DEZ		JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
	1ª	2ª																											
Reunião Abertura TCC1	■																												
Definição do tema e PO	■	■																											
Termo de Abertura		■	■																										
Reuniões com PO		■			■		■	■																					
Caracterização do Problema			■	■																									
Revisão Bibliográfica			■	■																									
Redação da PPP					■	■																							
Entrega da PPP							■																						
Agendar Apresentação da PPP								■																					
Apresentação da PPP									■																				
Correção da PPP									■	■																			
Entrega da versão final da PPP										■																			
Reunião Abertura TCC2												■																	
Reuniões com PO												■																	
Manipulação dos Dados													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Análise dos Dados													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Redação do PP													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entrega do PP																													
Agendar Apresentação do PP																													
Apresentação do PP																													
Correção do PP																													
Entrega da versão final do PP																													

Legenda: ■ Etapa Concluída ■ Etapa Prevista ■ Etapa Desviada

### Quadro 13 - Cronograma

Fonte: Autoria própria

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 Considerações Finais

Todos os objetivos propostos foram alcançados de forma satisfatória. Por meio de um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista, implementado no *software* de otimização *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5* (ILOG-CPLEX, 2014), foi possível produzir seis novas soluções de balanceamento para a linha de instalação da caixa de transmissão (LICT) de uma empresa automotiva da Cidade Industrial de Curitiba-PR.

A comparação dos resultados (Capítulo 5) foi feita levando em consideração principalmente o planejamento de produção para 2015 (Quadro 2). O comparativo entre a economia com mão-de-obra foi considerado pouco expressivo por ser tratar de valores com baixa representatividade frente ao alto valor unitário do produto acabado (valor médio de concessionária de 45.000 um - unidades monetárias).

Em uma primeira análise, buscou-se levantar o ganho em produtividade que as propostas com menor tempo de ciclo poderiam oferecer: neste caso diminuir 4,66% resultaria em um aumento de 948 unidades produzidas no ano. Este aumento de produção poderá ser absorvido pelo crescimento de vendas previsto para 2015. Desta forma a opção de manter o mesmo quadro de funcionários seria a ideal.

Realizou-se outra avaliação, um cenário similar ao que aconteceu para 2014, onde o crescimento econômico esperado não ocorreu. Caso a demanda continue com valores similares ao do ano atual, o aumento de produtividade não seria benéfico e apenas criaria uma grande quantidade de produtos acabados em estoque. Enquanto optar por diminuir dois operadores poderia comprometer à produção anual, uma vez que o efeito do aumento no tempo de ciclo resultaria em 864 unidades a menos. Desta forma, a opção de reduzir apenas um operador no quadro de funcionários seria a melhor opção.

A avaliação dos índices de suavidade e de atraso, tanto para as tarefas quanto para os operadores, indica que, de uma maneira geral, todas as propostas aperfeiçoaram o balanceamento de linha atual.

No desenvolvimento do corrente projeto, optou-se por restringir a realocação das tarefas dentre estações que possuíam os mesmos equipamentos e dispositivos quando necessários, resultando em propostas que não exigem investimentos significativos para implementação. Mostrou-se, também, eficiente ao evidenciar potenciais oportunidades de melhoria que antes não haviam sido consideradas. A metodologia é simples de ser aplicada, o que reforça a viabilidade e o potencial de se fazerem estudos para balanceamento de linha utilizando a PLIM.

Estimou-se que para a realização de todas as etapas do projeto, desde a Reunião de Abertura - TCC1 até a Entrega da Versão Final do PP, foram necessárias 600 horas de trabalho. Caso a empresa contratasse (ou disponibilizasse) um funcionário para realizar esse trabalho, o mesmo atuaria durante dois meses exclusivamente nesta atividade ao custo médio de 130 um/hora (valor médio de mercado para a função), necessitando assim de um investimento na ordem de 78.000 um. Sabe-se que, no contexto do mercado atual, para contratação de serviços de consultorias especializadas neste tipo de análise, o valor investido tenderia a ser (muito) maior que o necessário via análise de um profissional da empresa auxiliado pelas sugestões de balanceamento do modelo matemático.

## **6.2 Sugestões para Potencial Continuidade**

- Executar projetos de proposta de balanceamento para linhas de produção com diferentes modelos e que tragam algum diferencial ainda não abordado (*e.g.*, linha com número de operadores maior do que o número de postos de trabalho);
- Desenvolver estudo sobre a influência que um modelo com maior demanda tem sobre a proposta de balanceamento de vários modelos;
- Desenvolver uma ferramenta dinâmica para criação e atualização de diagrama de precedências e alimentação do modelo matemático (*e.g.*, utilizar uma programação em VBA);
- Apresentar o corrente projeto aos possíveis interessados da empresa em questão;

- Auxiliar a implementação dos resultados deste projeto na linha de produção real.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Daniela; LOURENÇO, Paulo; PINTO, Sandrina. **Programação Linear**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra / Departamento de Matemática. Coimbra, 2003.

BECKER, Christian; SCHOLL, Armin. **State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing**. European Journal of Operational Research, v. 168, p. 666-693, 2004.

BOYSEN, Nils; FLIEDNER, Malte; SCHOLL, Armin. **A classification of assembly line balancing problems**. European Journal of Operational Research, v. 183, p.674-693, 2006.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3ª edição. São Paulo: Bookman, 1999.

DESSOUKY, M. M.; ADIGA, S.; PARK, K. **Design and scheduling of flexible assembly lines for printed circuit boards**. International Journal of Production Research, v. 33, n. 3, p. 757-775, 1995.

DONNINI, Nelson. **Estudo de Otimização por Meio de Modelos Matemáticos para uma Linha de Montagem de Bancos de Automóveis**. Projeto Final de Curso II. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2009.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8ª edição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GERHARDT, Melissa. **Sistemática para Aplicação de Procedimentos de Balanceamento em Linhas de Montagem Multi-modelos**. Dissertação de Mestrado. UFRGS / Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2005.

IBM-CPLEX. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5. Disponível em <<http://www-01.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer>>. Acesso em: 29 de agosto de 2014.

LEAL, Cesar Augusto. **Balanceamento de Linhas de Montagem por Meio de Modelos de Programação Linear Inteira Mista: Estudos em Indústria Automotiva**. Projeto Final de Curso II. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2013.

LISBOA, ÉRICO. **Pesquisa operacional**. Apostila da Disciplina. Rio de Janeiro, 2002.

MAGATÃO, Leandro. **Pesquisa operacional**. Notas de Aula. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2014.

MARCILIO, Ivair; SKRABA, Marco. **Otimização do balanceamento de uma linha de montagem de cabines de caminhões por meio de programação linear inteira mista**. Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2010.

MIBACH, Fernando; CAMPOS, Leonardo. **Balaceamento de uma linha de usinagem numa empresa de autopeças de Curitiba**. Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2013.

NOSO, Fábio T.; PELEGRINI, Fernando T. **Otimização do balaceamento de uma linha de montagem de caixas de transmissão utilizando modelos matemáticos**. Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR / DAMEC. Curitiba, 2014.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção, além da produção em larga escala**. Versão traduzida: ARTMED Editora S.A., 1997.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson Education, 2004.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

WILLIAMS, H. Paul. *Model Building in Mathematical Programming*. 4ª Ed. John. Wiley & Sons, 1999.

WOMACK, James P.; JONES Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas Lean Thinking**. 3ª edição. São Paulo: Editora Campos, 2004.

## APÊNDICE A – MODELO MATEMÁTICO

### O Modelo Matemático

Assim como realizado por Leal (2013) e aprimorado por Noso e Pelegrini (2014), para a implementação do modelo foram consideradas as definições de índices, conjuntos, parâmetros e variáveis. Os índices estão descritos no Quadro 14, os conjuntos utilizados estão descritos no Quadro 15, os parâmetros no Quadro 16 e as variáveis no Quadro 17.

**Quadro 14 - Índices aplicados ao modelo matemático proposto**

<b>Índice</b>	<b>Descrição</b>
$t$	Tarefa
$m$	Modelo
$c$	Cluster
$si$	Posto de trabalho inicial
$sf$	Posto de trabalho final
$w$	Operador
$sp$	Estação precedente
$ss$	Estação sucedente
$tp$	Tarefa precedente
$ts$	Tarefa sucedente
$movtime$	Tempo de deslocamento entre estações
$nw$	Número de operadores exigido para a execução de uma tarefa

**Quadro 15 - Conjuntos aplicados ao modelo matemático proposto**

<b>Conjunto</b>	<b>Descrição</b>
$Tasks(t)$	Conjunto de tarefas. Composto pelas tarefas " $t$ " de 1 a $NT$ .
$Stations(s)$	Conjunto de postos de trabalho. Composto pelos postos " $s$ " de 1 a $NS$ .
$Workers(w)$	Conjunto de operadores. Composto pelos operadores " $w$ " de 1 a $NW$ .
$Models(m)$	Conjunto de modelos. Composto pelos modelos " $m$ " de 1 a $NM$ .
$T_S(t,s)$	Conjunto que indica quais tarefas podem ser alocadas a cada um dos postos de trabalho. Limitado por $T_SFIX(t,s)$ e $FATS(t,s)$ .
$MS(m,s)$	Conjunto auxiliar de modelos e postos de trabalho para a formação de clusters
$MC(m,c)$	Conjunto auxiliar de modelos e clusters
$CS(c,s)$	Conjunto de estações que compõe cada cluster
$MCS(m,c,s)$	Conjunto de estações que compõe cada cluster para cada modelo
$W_S(w,s)$	Operadores que podem ser alocados em cada posto de trabalho. Limitado por $W_SFIX(w,s)$ e por $W_SFEAS(w,s)$ .
$W_S_S(w,sp,ss)$	Conjunto esparsos dos possíveis deslocamentos de operadores entre postos de trabalho. Limitado por $W_S(w,s)$ , $W_SFIX(w,s)$ e $W_SFEAS(w,s)$ . Deslocamentos para estações com somente tarefas totalmente automáticas ( $TAT$ ) são filtrados, impedindo operadores de se deslocarem a estações de $TATs$ .
$T_W(t,w)$	Tarefas que podem ser realizadas por cada operador. Limitado por $W_SFIX(w,s)$ , $W_SFEAS(w,s)$ , $T_SFIX(t,s)$ e $FATS(t,s)$ .
$T_W_S(t,w,s)$	Possíveis alocações de tarefa e operadores a postos de trabalho.

	Limitado por $T_S(t,s)$ , $T_W(t,w)$ e $W_S(w,s)$ .
$Share\_W(t,w,s)$	Conjuntos dos possíveis operadores que podem atuar em cada uma das Tarefas Comuns. Limitado por $T_S(t,s)$ , $T_W(t,w)$ e $W_S(w,s)$ .
$T\_nW(t,nw)$	Quantidade de operadores exigidos para cada tarefa.
$S\_nW(nw,s)$	Número de operadores que devem ser alocados em cada posto de trabalho.

**Quadro 16 - Parâmetros aplicados ao modelo matemático proposto**

Parâmetro	Descrição
$NT$	Número de tarefas.
$NS$	Número de postos de trabalho.
$NW$	Número de operadores.
$NM$	Número de modelos.
$OR(m)$	Taxa de ocupação de cada modelo na linha.
$WSFIX(w,s)$	Operadores fixos a estações específicas.
$WSFEAS(w,s)$	Operadores podem ser alocados a um conjunto de estações específicas.
$CSS(c,si,sf)$	Conjunto com as estações iniciais e finais de cada <i>cluster</i> .
$FT(s)$	Pré-carga alocada à estação. Valor dado em UT.
$PREC(tp,ts)$	Restrições de precedência entre as tarefas.
$DTm(m,t)$	Duração de cada uma das tarefas para cada modelo. Valor dado em UT.
$MT(sp,ss,MovTime)$	Tempo de movimentação entre postos de trabalho. Valor dado em UT.
$TSFIX(t,s)$	Tarefas fixas a estações específicas.
$FATS(t,s)$	Possíveis alocações de tarefas em postos de trabalho.
$M$	Constante para ponderações na função objetivo. Valor adotado, $M = 100$ .
$Mc$	Constante auxiliar para formulação <i>Big-M</i> . Valor adotado, $Mc = NT$ .
$eps$	Constante auxiliar mínima para formulação <i>Big-M</i> . Valor adotado, $eps = 0,1$ .
$AT(t,s)$	Operações Automáticas e estações às quais elas estão fixas.
$TAT(t,s)$	Operações Totalmente Automáticas e estações às quais elas estão fixas.
$CnT(t,s,nw)$	Conjunto contendo Tarefas Comuns, cada tarefa “ $t$ ” presente em uma estação “ $s$ ” e que demanda “ $nw$ ” trabalhadores à sua realização.
$avS$	Carga de trabalho média dos postos de trabalho. Valor dado em UT.
$avW$	Carga de trabalho média dos operadores. Valor dado em UT.
$avDT(t)$	Duração média de uma tarefa. Obtida a partir da média ponderada do tempo de execução da tarefa em um modelo específico pelo fator de ocupação do modelo na linha, $OR(m)$ . Valor dado em UT.

**Quadro 17 - Variáveis aplicadas ao modelo matemático proposto**

Variável	Descrição
$CT$	Tempo de ciclo. Valor dado em UT.
$WTime$ [Workers]	Carga de trabalho de cada operador. Valor dado em UT.
$TS$ [T_S]	Variável binária que indica a alocação de tarefas nos postos de trabalho
$TW$ [T_W]	Variável binária que indica a designação de tarefas para operadores
$TWS$ [T_W_S]	Variável que indica a alocação de tarefas e operadores nos postos de trabalho. Assume valores binários.
$WS$ [W_S]	Variável que indica quantas tarefas cada operador realiza em cada um dos postos de trabalho da linha
$WSb$ [W_S]	Variável binária que indica quais operadores estão alocados em quais postos de trabalho
$DifS$ [Stations]	Diferenças entre a carga de trabalho de cada posto e a carga média.

	Valor dado em UT.
$WSSb [W\_S\_S]$	Variável binária para indicar os deslocamentos entre postos de trabalho realizados por cada operador
$MaxDifW$	Máxima diferença de carga de trabalho entre operadores. Valor dado em UT.
$Dur [MS]$	Tempo de execução em cada posto para cada modelo para cada <i>cluster</i> . Valor dado em UT.
$CTm [MC]$	Tempo de ciclo de cada modelo em cada estação para cada <i>cluster</i> . Valor dado em UT.
$DifC [MC]$	Diferença de tempo de ciclo entre <i>clusters</i> . Valor dado em UT.

### Função Objetivo

Para a definição da função objetivo do modelo foram considerados cinco termos que deveriam ser minimizados. Para que houvesse uma adequação de prioridade foram utilizados os parâmetros “ $M$ ” como fatores de multiplicação (ponderação). Os termos a serem minimizados são elencados a seguir:

- (a) Tempo de ciclo;
- (b) O somatório das diferenças entre a carga de trabalho de cada posto e a carga de trabalho média dos postos de trabalho;
- (c) A máxima diferença entre a carga de trabalho dos operadores em relação à carga de trabalho média dos operadores;
- (d) Número total de deslocamentos entre postos de trabalho pelos operadores;
- (e) O somatório das diferenças de tempo de ciclo entre *clusters*.

A função objetivo é descrita na Equação (A.1) abaixo.

$minimize(z) =$

$$\begin{aligned}
 & (M * M) * CT + \\
 & (1) * \sum_{s \in Stations} DifS(s) + \\
 & M * MaxDifW + \\
 & \left(\frac{M}{10}\right) * \sum_{(w,sp,ss) \in W\_S\_S} WSSb(w, sp, ss) + \\
 & (10 * M) * \sum_{(m,c) \in MC} DifC(m, c)
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

Nota-se que há os fatores de ponderação escolhidos para determinar os itens de maior e menor importância. Para o primeiro termo, o fator escolhido foi  $M * M$  (10.000), colocando-o em nível de importância máximo na função; o último termo tem fator  $10 * M$  (1000), sendo o segundo mais importante; o terceiro termo apresenta fator  $M$  (100), sendo o terceiro em importância; o quarto termo tem fator  $M/10$  (10), ficando, portanto, em penúltimo lugar em importância; e o segundo termo recebe fator  $1$ , sendo, portanto, o termo com menor fator de importância dentre os cinco termos avaliados. Ou seja, os cinco termos foram colocados em patamares não competitivos na função objetivo. Por exemplo, minimizar o tempo de ciclo é prioritário em relação aos demais termos. Uma solução que, por exemplo, tivesse maior tempo de ciclo, mas apresentasse um menor valor para o somatório de  $DifS(s)$  não seria considerada a solução ótima na avaliação do modelo.

#### Restrições aplicadas ao modelo

A primeira restrição que deve ser imposta ao modelo é de que cada tarefa deve ser realizada em apenas um posto de trabalho, o que é garantido pela Equação (A.2) exposta a seguir.

$$\sum_{(t,s) \in T\_S} TS(t, s) = 1 \quad \forall t \in Tasks \tag{A.2}$$

É de fundamental importância que as relações de precedência entre as tarefas apresentadas no diagrama de precedências sejam cumpridas. A Inequação (A.3)

impõe que as tarefas sucedentes (índice  $ts$ ) sejam realizadas posteriormente às suas tarefas precedentes (índice  $tp$ ) para todos os pares de tarefas pertencentes ao conjunto de relações de precedência  $PREC$ .

$$\sum_{(tp,s) \in T_S} s * TS(tp, s) \leq \sum_{(ts,s) \in T_S} s * TS(ts, s) \quad \forall (tp, ts) \in PREC \quad (\text{A.3})$$

A Inequação (A.4) determina o tempo de ciclo real da linha ao atribuir à variável  $TC$  o maior valor dentre os tempos de execução dos postos de trabalho da linha.

$$\sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s)) + FT(s) \leq TC \quad \forall s \in Stations \quad (\text{A.4})$$

A Inequação (A.5) e a Inequação (A.6) visam determinar as diferenças entre as cargas de trabalho alocadas a cada posto de trabalho e carga média de todos os postos da linha.

$$DifS(s) \geq \sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) - avS \quad \forall s \in Stations \quad (\text{A.5})$$

$$DifS(s) \leq - \sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) + avS \quad \forall s \in Stations \quad (\text{A.6})$$

Nota-se que se fez necessária a utilização de duas inequações nessa restrição. Isso foi necessário para contemplar os casos em que a carga do posto é superior à carga média, aplicável à Inequação (A.5), e os casos em que a carga do posto é inferior à média, situação considerada pela Inequação (A.6). Pode-se resumir o funcionamento dessa restrição da seguinte forma:

- Se  $\sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) > avS$ , então  $\begin{cases} difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ positivo}) \\ difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ negativo}) \end{cases}$ . Portanto, a Inequação (A.5) em conjunto com o fato do valor de  $difS(s)$  estar sendo minimizado na função objetivo, faz com que  $difS(s)$  assumo o valor de  $\sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) - avS$ .
- Se  $\sum_{(t,s) \in T_S} (avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) < avS$ , então  $\begin{cases} difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ positivo}) \\ difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ negativo}) \end{cases}$ . Portanto, a Inequação (A.6) em conjunto como

fato do valor de  $difS(s)$  estar sendo minimizado, faz com que  $difS(s)$  assumo o valor de  $-\sum_{(t,s) \in T_{_S}}(avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) + avS$ .

- Se  $\sum_{(t,s) \in T_{_S}}(avDT(t) * TS(t, s) + FT(s)) = avS$ , então  $\begin{cases} difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ positivo}) \\ difS(s) \geq (\text{n}^\circ \text{ negativo}) \end{cases}$ . Como valor de  $difS(s)$  está sendo minimizado na função de avaliação, então  $difS(s) = 0$ .

A Equação (A.7) torna obrigatório que cada tarefa seja realizada por  $nw$  operadores. Isto é obtido ao se igualar a quantidade de tarefas alocadas a postos de trabalho com a quantidade de tarefas designadas aos operadores.

$$\sum_{(t,s) \in T_{_S}} TS(t, s) = \sum_{(t,s) \in T_{_W}} \frac{TW(t, w)}{nw} \quad \forall (t, nw) \in T_{_nW} \quad (\text{A.7})$$

A Inequação (A.8) define que cada tarefa seja realizada apenas uma vez por  $nw$  operadores.

$$\sum_{(t,w) \in T_{_W}} TW(t, w) \leq nw \quad \forall (t, nw) \in T_{_nW} \quad (\text{A.8})$$

A Inequação (A.9), a Inequação (A.10) e a Inequação (A.11) determinam quais os postos em que um operador realiza tarefas. Esta formulação obedece à lógica de que um operador é alocado a um posto se a tarefa está alocada neste posto e o operador realiza esta tarefa. Nesse sentido a variável  $TWS(t, w, s)$  assume a função de um “E” lógico entre as variáveis  $TW(t, w)$  e  $TS(t, s)$ .

$$TWS(t, w, s) \leq TW(t, w) \quad \forall (t, w, s) \in T_{_W\_S} \quad (\text{A.9})$$

$$TWS(t, w, s) \leq TS(t, s) \quad \forall (t, w, s) \in T_{_W\_S} \quad (\text{A.10})$$

$$TWS(t, w, s) \geq TW(t, w) + TS(t, s) - 1 \quad \forall (t, w, s) \in T_{_W\_S} \quad (\text{A.11})$$

A Inequação (A.12) e a Inequação (A.13) são restrições auxiliares na alocação dos operadores aos postos trabalho da linha com o intuito de fornecer cortes ao auxílio no processo de busca do *solver*, reduzindo o tempo computacional.

$$\sum_{(t,w,s) \in T_{_W\_S}} TWS(t, w, s) \geq TW(t, w) \quad \forall (t, w) \in T_{_W} \quad (\text{A.12})$$

$$\sum_{(t,w,s) \in T_{WS}} TWS(t, w, s) \geq TS(t, s) \quad \forall (t, s) \in T_S \quad (\text{A.13})$$

A Equação (A.14) caracteriza o número de tarefas associadas a um operador em um posto de trabalho ao somar todas as tarefas a ele atribuídas.

$$WS(w, s) = \sum_{(t,w,s) \in T_{WS}} TWS(t, w, s) \quad \forall (w, s) \in W_S \quad (\text{A.14})$$

A Inequação (A.15) e a Inequação (A.16) definem que, se pelo menos uma tarefa é realizada por um operador em um posto de trabalho, então este operador será alocado nesse posto de trabalho. Se o operador estiver alocado a um determinado posto então a variável  $WSb(w, s)$  assumirá valor um, caso contrário assumirá valor zero.

$$WS(w, s) \geq (-Mc - eps) * (1 - WSb(w, s)) + eps \quad \forall (w, s) \in W_S \quad (\text{A.15})$$

$$WS(w, s) \leq Mc * WSb(w, s) \quad \forall (w, s) \in W_S \quad (\text{A.16})$$

A Inequação (A.17) garante que o número de operadores que podem ser alocados em cada estação seja menor ou igual a  $nw$ .

$$\sum_{(w,s) \in W_S} WSb(w, s) \leq nw \quad \forall (nw, s) \in S_{nW} \quad (\text{A.17})$$

A Inequação (A.18), a Inequação (A.19) e a Inequação (A.20) determinam restrições de alocação dos operadores em relação aos postos de trabalho de forma análoga ao realizado na Inequação (A.9), na Inequação (A.10) e na Inequação (A.11). De fato, a variável  $WSSb(w, s, ss)$  indica se ocorreu o deslocamento do operador  $w$  da estação  $s$  para a estação  $ss$ . Esta variável é particularmente influenciada pelo conjunto  $W_{SS}$ , o qual filtra possibilidades de deslocamento de operadores para estações com somente Tarefas Totalmente Automáticas ( $TATs$ ), as quais, por definição, não demandam o auxílio de operadores.

$$WSSb(w, s, ss) \leq WSb(w, s) \quad \forall (w, s, ss) \in W_{SS} \quad (\text{A.18})$$

$$WSSb(w, s, ss) \leq WSb(w, ss) \quad \forall (w, s, ss) \in W_{SS} \quad (\text{A.19})$$

$$WSSb(w, s, ss) \geq WSb(w, s) + WSb(w, ss) - 1 \quad \forall (w, s, ss) \in W_{SS} \quad (\text{A.20})$$

O tempo de ocupação de cada operador é dado pela Equação (A.21), a qual prevê a soma de quatro fatores:

- (a) Tempo de execução de tarefas em postos de trabalho;
- (b) Tempo total de deslocamento entre estações;
- (c) Carga de trabalho previamente alocada ao posto de trabalho ao qual o operador é alocado.
- (d) O negativo do somatório (subtração) do tempo de execução das Operações Automáticas relacionadas ao operador.

O último fator é derivado diretamente da consideração de Operações Automáticas. Operações Automáticas não devem onerar a carga de trabalho dos operadores, por isso o tempo de execução destas é desconsiderado no tempo total de trabalho dos operadores.

Ressalta-se que a variável  $TW(t, w)$  indica, inclusive no caso de operações automáticas, que uma tarefa  $t$  está associada a um operador  $w$ . Isto permite saber que a operação automática  $t$  foi inicializada pelo operador  $w$ . Desta forma, conforme necessidade poder-se-ia considerar o valor do tempo estimado para inicialização de tarefas automáticas como fator integrante da carga de trabalho do operador. Por simplicidade, contudo, este tempo de inicialização da operação automática foi desconsiderado.

$$WTime(w) =$$

$$\begin{aligned} & \sum_{(t,w) \in T\_W} avDT(t) * TW(t, w) + \\ & \sum_{(w,sp,ss) \in W\_S\_S} WSSb(w, sp, ss) * movtime + \\ & \sum_{(w,s) \in W\_S} FT(s) * WSb(w, s) + \sum_{(w,s) \in WSFIX} FT(s) + \sum_{(w,s) \in WSFEAS} FT(s) - \\ & \sum_{(t,w) \in AT\_W} avDT(t) * TW(t, w) \end{aligned} \tag{A.21}$$

Assim, considerou-se que o tempo de ciclo pode ser determinado pelo operador com a maior carga de trabalho, conforme mostra a Inequação (A.22) a seguir apresentada.

$$WTime(w) \leq CT \quad \forall w \in Workers \quad (A.22)$$

A máxima diferença de carga de trabalho de um operador em relação à carga de trabalho média ( $avW$ ) é descrita pela Inequação (A.23) e pela Inequação (A.24) a seguir apresentadas.

$$MaxDifW \geq WTime(w) - avW \quad \forall w \in Workers \quad (A.23)$$

$$MaxDifW \geq -(WTime(w)) + avW \quad \forall w \in Workers \quad (A.24)$$

De forma análoga ao caso da comparação das cargas dos postos de trabalho com a carga média dos postos realizada na Inequação (A.5) e na Inequação (A.6), utilizou-se duas inequações para que fossem contemplados tanto os casos em que a carga do operador é superior à carga média, aplicável à Inequação (A.23), quanto os casos em que a carga do operador é inferior à média, situação considerada pela Inequação (A.24). A diferença nesse caso é que se busca determinar, e posteriormente minimizar, a máxima diferença entre as cargas dos operadores, sendo que no caso dos postos de trabalho visava-se minimizar o somatório das diferenças. Pode-se resumir o funcionamento dessa restrição da seguinte forma:

- Se  $WTime(w) > avW$ , então  $\begin{cases} MaxDifW(w) \geq (\text{n}^\circ \text{ positivo}) \\ MaxDifW(w) \geq (\text{n}^\circ \text{ negativo}) \end{cases}$ . Portanto, a Inequação (A.23) em conjunto com o fato do valor de  $MaxDifW(w)$  estar sendo minimizado na função objetivo, faz com que  $MaxDifW(w)$  assumo o valor de  $WTime(w) - avW$ .
- Se  $WTime(w) < avW$ , então  $\begin{cases} MaxDifW(w) \geq (\text{n}^\circ \text{ positivo}) \\ MaxDifW(w) \geq (\text{n}^\circ \text{ negativo}) \end{cases}$ . Portanto, a Inequação (A.24) em conjunto como fato do valor de  $MaxDifW(w)$  estar sendo minimizado, faz com que  $MaxDifW(w)$  assumo o valor de  $-(WTime(w)) + avW$ .

- Se  $WTime(w) = avW$ , então  $\begin{cases} MaxDifW(w) \geq (n^o \text{ positivo}) \\ MaxDifW(w) \geq (n^o \text{ negativo}) \end{cases}$ . Como valor de  $MaxDifW(w)$  está sendo minimizado na função de avaliação, então  $MaxDifW(w) = 0$ .

O tempo de execução de cada posto de trabalho dentro de um *cluster* para cada modelo “ $m$ ” é dado pela Equação (A.25).

$$Dur(m, s) = \sum_{(t,s) \in T_S} (DTm(m, t) * TS(t, s) + FT(s)) \quad \forall (m, s) \in MS \quad (\text{A.25})$$

O tempo de ciclo de cada modelo “ $m$ ” é obtido através da Inequação (A.26) abaixo.

$$\sum_{m \in Models} (OR(m) * Dur(m, s)) + FT(s) \leq CT \quad \forall s \in Stations \quad (\text{A.26})$$

A Inequação (A.27) determina que o tempo de execução de um modelo em um posto de trabalho “ $s$ ” deve ser limitado pelo tempo de ciclo desse modelo no *cluster* no qual está inserido.

$$Dur(m, s) \leq CTm(m, c) \quad \forall m, c, s \in MCS \quad (\text{A.27})$$

A linha é composta por pelo menos um *cluster*. Caso haja mais de um, há a necessidade de criação de um *buffer* e o modelo deve minimizar a diferença entre os tempos de ciclo dos *clusters*. Essa condição é garantida pela Inequação (A.28) em conjunto com a função objetivo, Equação (A.1).

$$CTm(m, c) - Dur(m, s) \leq DifC(m, c) \quad \forall m, c, s \in MCS \quad (\text{A.28})$$

A Inequação (A.29), a fim de fazer com que o valor do tempo de ciclo seja também ditado pela duração de cada modelo de produto em cada estação e não somente pela média ponderada dos tempos, é expressa por:

$$Dur(m, s) \leq CT \quad \forall m, s \in MS \quad (\text{A.29})$$

## APÊNDICE B – TABELA DE DADOS DAS TAREFAS

Nº	TAREFAS	NOME	DESCRIÇÃO	(E)	(F)	(G)	(H)	EST	PRECEDÊNCIAS
1	9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18	ANCORAGEM DO MOTOR	Pegar ancoragem do motor; Pegar porca; 4 passos; Posicionar ancoragem do motor; Montar porca; Pegar ancoragem do motor; Pegar porca; 4 passos; Posicionar ancoragem do motor; Montar porca	42	42,11	42,11	42,11	1;2;6;7	-
2	19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34	FIXAÇÃO ANCORAGEM COM APERTADEIRA PNEUMÁTICA	Pegar apertadeira pneumática; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Fixar parafuso; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	35	35,11	35,11	35,11	1;2;6;7	1
3	35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48	FIXAÇÃO ANCORAGEM COM APERTADEIRA ELETRONICA	Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar parafuso; Devolver apertadeira eletrônica	101	100,91	100,91	100,91	1;2;6;7	2
4	49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81; 82	MONTAGEM DO SUPORTE DO FILTRO DE AR	Pegar suporte; Pegar porca; Pegar prisioneiro do volante; Pegar prisioneiro da ancoragem; Pegar abraçadeira de aço; Pegar parafuso; Pegar parafuso; Montar abraçadeira; Posicionar porca; Posicionar suporte; Montar prisioneiro no volante; Montar prisioneiro no coxim; Pega suporte; Manusear chicote; Montar suporte; Pegar apertadeira eletrônica; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar suporte; Devolver soquete; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar prisioneiro do volante; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar prisioneiro do coxim; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Devolver apertadeira eletrônica	118,51	118,51	118,51	118,51	1;2;6;7	-
5	83; 84; 85; 86; 87; 88; 89; 90; 91; 92; 93; 94; 95; 96; 97; 98; 99; 100; 101; 102; 103; 104; 105; 106; 107; 108; 109; 110; 111; 112; 113; 114; 115	MONTAGEM DO PLATO E DO DISCO DA EMBREAGEM	Pegar dispositivo guia; Posicionar dispositivo guia no disco; Pegar disco de embreagem; Pegar disco de embreagem; Posicionar disco de embreagem; Pegar dispositivo de elevação; Posicionar dispositivo de elevação na talha; Pegar platô; Posicionar platô; Pegar porca; Montar porca; Pegar parafuso; Posicionar parafuso; Pegar apertadeira eletrônica; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar platô; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Retirar dispositivo de elevação; Retirar dispositivo de elevação da talha; Devolver dispositivo de elevação; Devolver talha no dispositivo de elevação; Retirar dispositivo guia; Pegar soquete; Devolver dispositivo guia; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar porca; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Devolver apertadeira eletrônica	175,61	175,61	175,61	175,61	1	-
6	116; 117; 118; 119; 120; 121; 122; 123; 124; 125	MONTAGEM DOS PRISIONEIROS DA CARÇAÇA	Pegar prisioneiros da carçaça; Montar prisioneiros; Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; 2 passos; Fixar prisioneiro; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Devolver apertadeira eletrônica	93,91	93,91	93,91	93,91	1;2;6;7	5
7	126; 127; 128	LACRAR COXIM	Pegar markei; Lacrar coxim; Devolver markei	9,61	9,61	9,61	9,61	ALL	6
8	137; 138; 139; 140; 141; 142; 143; 144; 145; 146; 147; 148; 149; 150; 151; 152; 153; 154; 155; 156; 157; 158; 159; 160; 161; 162; 163; 164; 165; 166; 167; 168; 169; 170; 171; 172; 173; 174; 175; 176; 177; 178	MONTAGEM DA CAIXA DE CAMBIO	2 passos; Verificar motor da sequencia; Inspeccionar caixa de câmbio da sequencia; Retirar ficha da sequencia da caixa de câmbio; Devolver grampo; Descartar ficha; Soltar bujão da CVU; Retirar bujão da CVU; Recuar cilindro da caixa de cambio; Montar bujão na CVU; Torquear bujão da CVU; Pegar talha; Manusear dispositivo de elevação; 4 passos; Manusear Talha; 3 passos; 4 passos; Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Retirar dispositivo de elevação; Devolver dispositivo de elevação; Devolver talha no dispositivo de elevação; 3 passos; Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; 4 passos; Posicionar apertadeira eletrônica; Devolver apertadeira eletrônica; Pegar alicate corte; Pegar alicate lacre; Posicionar ferramentas; Pegar caixa de câmbio; Aproximar caixa de cambio do motor; Posicionar caixa de câmbio na embreagem; Montar caixa de câmbio no motor; Pegar porca; Montar porca na caixa de cambio; Apertar porca da cx de cambio; Aliviar dispositivo da caixa de câmbio; Apertar porca da cx de cambio	154,71	154,71	0	0	2	6; 3

9	179; 180; 181; 182; 183; 184; 185; 186; 187; 188; 189; 190; 191; 192; 193	PREPARAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DA CAIXA DE CÂMBIO -1	Pegar sprint; Posicionar sprint sobre a caixa de câmbio; Pegar cabo prosit; Retirar proteção da ECU; Conectar cabo prosit na ECU da caixa de câmbio; Posicionar proteção sobre a caixa de câmbio; Pegar sprint; Pegar scanner; Scanear sprint para iniciar calibração; Devolver scanner; Devolver sprint	22,91	22,91	0	0	2	8
10	194	CALIBRAÇÃO AUT DA CAIXA	Clibração automática da caixa i-shift	90	90	0	0	2	9
11	194; 195; 196; 197; 198; 199; 200; 201; 202; 203; 204; 205; 206; 207; 208; 209;	MONTAGEM DA PORCA	Pegar porca; Montar porca na caixa de cambio; Pegar porca; Montar porca na caixa de cambio; Apertar porca da caixa de câmbio com apertadeira eletrônica; Torquear porca da cx de cambio; 2 passos; Pegar alicate corte; Cortar excesso de cabo de aço; Descartar excesso de cabo de aço; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver alicate corte; Devolver mark7; Devolver alicate lacre;	170,21	170,21	0	0	1;2;6;7	8
12	210; 211; 212; 213; 214; 215; 216; 217	PREPARAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DA CAIXA DE CÂMBIO -2	3 passos; Retirar mangueira de ar; Retirar ponteira do nípel da ECU; Verificar caixa de câmbio em neutro; Retirar cabo do prosit; Devolver cabo prosit; Pegar proteção; Proteger conector da ECU	13,71	13,71	0	0	2	10
13	137; 138; 139; 140; 141; 142; 143; 144; 145; 146; 147; 148; 149; 150; 151; 152; 153; 154; 155; 156; 157; 158; 159; 160	MONTAGEM DA CAIXA DE CAMBIO	Inspeccionar caixa de câmbio; 2 passos; Pegar talha; Manusear dispositivo de elevação; Pegar caixa de câmbio; 4 passos; Manusear caixa de câmbio; Manusear Talha; Posicionar caixa de câmbio; 3 passos; Montar caixa de câmbio; Inspeccionar encaixe; Pegar porca; Montar porca; 4 passos; Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar porca; Fixar porca; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Retirar dispositivo de elevação; Devolver dispositivo de elevação; Devolver talha no dispositivo de elevação	0	0	93,21	93,21	2	6 ; 3
14	161; 162; 163; 164; 165; 166; 167; 168; 169; 170; 171; 172; 173; 174	MONTAGEM DA PORCA E CJ DEFLETOR	Manusear soquete; Pegar suporte cj defletor; Montar suporte cj defletor; 3 passos; Fixar porca; Pegar porca; Montar porca; Pegar apertadeira eletrônica; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar porca; 4 passos; Posicionar apertadeira eletrônica; Fixar porca; Devolver apertadeira eletrônica	0	0	185,41	185,41	1;2;6;7	13
15	175; 176; 177; 178; 179; 180; 181; 182; 183; 184; 185; 186; 187; 188; 189; 190; 191; 192; 193; 194; 195; 196; 197	LACRAR MONTAGEM DA CAIXA COM CABO DE AÇO	Pegar cabo de aço p/ lacre; Pegar alicate corte; Cortar cabo de aço p/ lacre; Pegar retentor de plástico; Pegar alicate lacre; Posicionar ferramentas; 2 passos; Fixar arame; Pegar lacre; Montar lacre; Fixar lacre; Pegar alicate corte; Cortar excesso de cabo de aço; Descartar excesso de cabo de aço; Pegar braçadeira plástica; Fixar braçadeira plástica; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver alicate corte; Devolver mark7; Devolver alicate lacre; 3 passos	0	0	187,31	187,31	ALL	13
16	198; 199; 200; 201; 202; 203; 204; 205; 206; 207; 208; 209; 210; 211	COLETA DE NÚMEROS DE SÉRIE	Pegar ficha sobre o motor; 2 passos; Pegar caneta; 4 passos; Verificar nº de série da cx de câmbio; Anotar nº de série da cx de cambio; Verificar nº de série da cx de cambio; Anotar nº de série da cx de cambio; Check nº motor; Check nº do motor com chassi; Check nº de série da caixa de câmbio; Check nº de série do alternador; Check nº de série compressor de ar condicionado; 4 passos	40,71	40,71	40,71	40,71	ALL	-
17	212; 213; 214; 215; 216; 217; 218; 219; 220; 221; 222; 223	VERIFICAÇÃO DE NÚMEROS DE SÉRIE	Logar computador; Inserir nº do motor no quality online; Inserir nº da linha (enter) no quality online; Conferir nº de ligação do chassi com motor; Inserir nº de série da caixa de câmbio no quality online; Conferir nº do motor online com a ficha; Conferir nº do chassi online com a ficha; Conferir nº de série do alternador online com a ficha; Conferir nº de série da caixa de câmbio online com a ficha; Conferir nº de série do compressor de ar condicionado online com a ficha; Devolver ficha sobre o motor; 2 passos	69,71	69,71	69,71	69,71	ALL	16
18	252; 253; 254; 255; 256; 257; 258; 259; 260; 261; 262; 263; 264; 265; 266; 267; 268; 269; 270; 271; 272; 273; 274; 275	MONTAGEM DO TUBO DE REFRIGERAÇÃO	Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Pegar abraçadeira plástica; Posicionar abraçadeira plástica; Pegar abraçadeira plástica; Manusear abraçadeira plástica; Fixar abraçadeira plástica; Pegar tubo refrigeração; Montar tubo de refrigeração; Fixar tubo; Pegar abraçadeira plástica; Fixar abraçadeira plástica; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7	142,21	142,21	0	0	2;3;4;7; 8;9	3 ; 8 ; 13
19	276; 277; 278; 279; 280; 281; 282; 283; 284; 285; 286; 287; 288; 289; 290; 291; 292; 293	MONTAGEM DO TUBO PLÁSTICO	Verificar sequência; Retirar proteção; Descartar proteção; Pegar pincel; Aplicar sabão no pincel; Devolver pincel; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Substituir soquete; Retirar tampa do trocador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar tubo plástico; Montar tubo plástico; Pegar nípel; Montar plug manualmente	54,31	54,31	0	0	ALL	-
20	232; 233; 234; 235; 236; 237; 238; 239; 240; 241; 242; 243; 244; 245; 246; 247; 248; 249; 250; 251; 252; 253; 254; 255; 256	MONTAGEM CILINDRO SERVO DA EMBREAGEM	Inspeccionar Garfo; Pegar Cilindro; Pegar porcas; Inspeccionar Garfo; Montar cilindro; Montar porcas; Pegar apertadeira; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Fixar porcas; Retirar soquete; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar nípel; Pegar junta; Posicionar junta; Pegar nípel; Montar nípel; Pegar torquímetro; Torquear nípel; Substituir torquímetro; Torquear nípel; Substituir torquímetro; Torquear porca; Devolver torquímetro	0	0	85,11	85,11	1;2;3;4	11 ; 14
21	257; 258; 259; 260; 261; 262; 263; 264; 265; 266; 267; 268; 269; 270; 271; 272; 273; 274; 275	MONTAGEM DE TUBO 1	Fixar tubo de passagem de ar; Pegar abraçadeira plástica; Posicionar abraçadeira plástica; Pegar abraçadeira plástica; Manusear abraçadeira plástica; Fixar abraçadeira plástica; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7; Pegar tubo refrigeração; Montar tubo de refrigeração; Fixar tubo; Pegar abraçadeira plástica; Fixar abraçadeira plástica; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7	0	0	130,41	130,41	2;3;4;7; 8;9	3 ; 8 ; 13

22	276; 277; 278; 279; 280; 281; 282; 283; 284; 285; 286; 287; 288; 289; 290; 291; 292; 293; 294; 295; 296; 297; 298; 299; 300; 301; 302; 303; 304; 305; 306; 307; 308; 309	MONTAGEM DE TUBO 2	Verificar sequência; Pegar tubo compressor; Pegar mangueira de união; Posicionar tubo de borracha na bancada; Retirar proteção; Descartar proteção; Pegar anel de vedação; Posicionar anel de vedação; Pegar pincel; Aplicar sabão no pincel; Devolver pincel; Montar braçadeira no tubo; Montar mangueira no tubo; Pegar parafuso; Pegar suporte; Pegar abraçadeira de aço; Pegar braçadeira; Manusear ficha; Montar tubo no motor; Montar suporte; Pegar trava níquel; Montar trava níquel; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Fixar abraçadeira de aço; Fixar suporte; Fixar trava níquel; Substituir soquete; Soltar tampa do trocador de marcha; Retirar tampa do trocador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	0	0	110,81	110,81	ALL	-
23	310; 311; 312; 313; 314; 315; 316; 317; 318; 319; 320; 321; 322; 323; 324; 325; 326; 327; 328; 329	MONTAGEM CABO DE MARCHA	Inspecionar cabo de marcha; Pegar cabo de marcha; Montar cabo de marcha; Fixar cabo de marcha; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Fixar tampa do trocador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Fixar trava níquel; Fixar suporte; Fixar abraçadeira de aço; Substituir soquete; Fixar tampa do trocador; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro	0	0	77,51	77,51	1;2;3;5; 6;7;8	11; 14
24	330; 331; 332; 333; 334; 335; 336; 337	MONTAGEM DE TUBO 3	Pegar apertadeira elétrica; Fixar abraçadeira; Devolver apertadeira elétrica; Pegar tubo intermediário; Pegar tubo plástico; Montar tubo plástico; Pegar níquel; Montar plug manualmente	0	0	31,41	31,41	ALL	-
25	338; 339; 340; 341; 342; 343; 344; 345; 346; 347; 348; 349; 350; 351; 352; 353; 354; 355; 356; 357; 358; 359; 360; 361; 362; 363; 364; 365; 366; 367	PREPARAÇÃO DE TUBO E SERPENTINA PARA ESTAÇÃO 7	Pegar níquel; Montar conexão de teste manualmente; Posicionar tubo no dispositivo; Travar tubo no dispositivo; Pegar torquímetro; Torquear tubo intermediário; Devolver torquímetro; Pegar torquímetro; Pegar chave combinada; Torquear plug; Torquear conexão de teste; Devolver torquímetro; Devolver chave combinada; Destruir tubo intermediário; Pegar tubo intermediário; Pegar markei; Lacrar conexão de teste; Devolver markei; Posicionar tubo pré montado no carrinho; Pegar tubo serpentina; Pegar níquel; Montar níquel manualmente; Posicionar serpentina no dispositivo; Travar serpentina; Pegar torquímetro; Torquear níquel; Devolver torquímetro; Destruir tubo da serpentina; Pegar tubo da serpentina; Posicionar serpentina no carrinho de kit	80,71	80,71	80,71	80,71	ALL	-
26	368; 369; 370; 371; 372; 373	CHECK NÚMEROS DE SÉRIE	Pegar ficha; Check nº motor; Check nº do motor com chassi; Check nº de série da caixa de câmbio; Check nº de série alternador; Check nº de série compressor de ar condicionado	24,51	24,51	24,51	24,51	ALL	-
27	374; 375; 376; 377; 378; 379; 380; 381	CONFIRMAÇÃO NÚMEROS DE SÉRIE	Logar computador; Conferir nº do motor online com a ficha; Conferir nº do chassi online com a ficha; Conferir nº de série do alternador online com a ficha; Conferir nº de série da bomba	39,71	39,71	39,71	39,71	ALL	26
28	390; 391; 392; 393; 394; 395; 396; 397; 398; 399; 400; 401; 402; 403; 404; 405; 406; 407; 408; 409; 410; 411; 412; 413; 414; 415; 416; 417; 418	PREPARAÇÃO PARA MONTAGEM DO EIXO DA TOMADA DE FORÇA	Pegar eixo; Posicionar sobre a bancada; Pegar anel trava; Pegar alicate de bico; Montar anel trava no eixo; Devolver alicate de bico; 2 passos; Pegar eixo; Posicionar eixo no dispositivo; Pegar rolamento; Retirar arruela de encosto; Posicionar rolamento na prensa; Posicionar eixo na prensa; Fixar rolamento no eixo com a prensa; Posicionar eixo; Pegar arruela de encosto; Montar arruela de encosto no rolamento; Pegar anel trava; Pegar alicate de bico; Montar anel trava; Devolver alicate de bico; 4 passos; Pegar graxa com pincel; Aplicar graxa no eixo; Pegar rolamento agulha; Inspecionar rolamento agulha; Montar rolamento agulha; Pegar graxa com pincel; Aplicar graxa no rolamento agulha	55,61	0	55,61	0	2;3;4;9	11; 14
29	419; 420; 421; 422; 423; 424; 424; 425	MONTAGEM DO EIXO DA TOMADA DE FORÇA	Pegar eixo; Pegar martelo; Pegar dispositivo Guia; Posicionar eixo na caixa de câmbio; Devolver dispositivo guia; Devolver martelo; Devolver martelo; Montar eixo na caixa de câmbio	23,41	0	23,41	0	2;3;4;9	28
30	426; 427; 428; 429; 430; 431; 432; 433; 434; 435; 436; 437; 438; 439; 440; 441	MONTAGEM DA TOMADA DE FORÇA	Pegar Sprint; Verificar sprint; Pegar tomada de força; Pegar tomada de força; Montar tomada de força; Pegar parafuso; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Pré apertar parafuso da tomada de força; Fixar parafuso na tomada de força; Substituir soquete; Soltar porcas da tampa; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	60,91	0	60,91	0	2;3;4;9	29
31	442; 443; 444; 445; 446; 447; 448; 449; 450; 451; 452; 453; 454; 455; 456; 457; 458; 459; 460; 461; 462; 463; 464	MONTAGEM DA TAMPA E DA BOMBA HIDRÁULICA	6 passos; Pegar junta de vedação; Montar junta no níquel; Montar níquel no resfriador; Montar flexível do resfriador; Retirar porca da tomada de força; Retirar arruela da tomada de força; Pegar junta; Montar junta; Pegar anel de vedação; Montar anel de vedação na bomba hidráulica; Pegar tubo de enchimento; Montar tubo de enchimento na bomba; Pegar parafuso; Pegar suporte de apoio; Montar suporte de apoio do tubo de aço; Pegar chave canhão; Pré apertar tubo de aço; Devolver chave canhão; Pegar chave gancho; Pegar bomba hidráulica; Montar bomba hidráulica; Devolver chave gancho	92,01	0	92,01	0	2;3;4;9	29
32	465; 466; 467; 468; 469; 470; 471; 472; 473; 474; 475; 476; 477; 478; 479; 480; 481; 482; 483; 484; 485	FINALIZAR MONTAGEM DE TOMADA DE FORÇA E BOMBA HIDRÁULICA	Pegar arruela; Pegar porca; Montar arruela de encosto; Montar porca; Pegar níquel; Montar níquel; Pegar torquímetro; Torquear tomada de força; Devolver torquímetro; Pegar torquímetro; Torquear bomba hidráulica; Devolver torquímetro; Pegar torquímetro; Torquear tubo; Devolver torquímetro; Pegar torquímetro; Torquear níquel; Devolver torquímetro; Pegar torquímetro; torquear flexível; Devolver torquímetro	131,01	0	131,01	0	2;3;4;9	31
33	486; 487; 488; 489; 490; 491; 492; 493; 494; 495; 496; 497; 498; 499; 500	INSPECIONAR MONTAGENS	Inspecionar aperto do flexível; 4 passos; Inspecionar aperto do tubo; Pegar markei; Lacrar níquel; Lacrar parafuso da tomada de força; Lacrar parafuso do tubo; Devolver markei; Pegar torquímetro; Torquear níquel da tomada de força; Devolver torquímetro; Pegar markei; Lacrar níquel da tomada de força; Devolver markei; 10 passos	43,11	1,11	43,11	1,11	2;3;4;9	32
34	501; 502; 503; 504; 505; 506; 507; 508; 509	PREPARAÇÃO DO KIT PARA SER ALIMENTADO NA ESTAÇÃO 1	Montagem da ancoragem do motor; Posicionar carrinho na preparação platô; 8 passos; Pegar A4; Inspecionar A4 de montagem da ancoragem; Marcar A4 de montagem; Inspecionar A4 de montagem do platô; Marcar A4 de montagem do platô; Devolver A4 de montagem	17,81	17,81	17,81	17,81	ALL	-

35	510; 511; 512; 513; 514; 515; 516; 517; 518; 519; 520; 521	POSICIONAMENTO DE COMPONENTES NO CARRINHO DE KIT QUE SERÁ ALIMENTADO ESTAÇÃO 1	Retirar proteção plástica da ancoragem; Pegar ancoragem do motor; Posicionar ancoragem do motor no carrinho de kit; Pegar ancoragem do motor; Posicionar ancoragem do motor no carrinho de kit do platô; Retirar proteção plástica da ancoragem; Pegar ancoragem do motor; Posicionar ancoragem do motor no carrinho de kit; Pegar ancoragem do motor; Posicionar ancoragem do motor no carrinho de kit; Posicionar mangueira de respiro na caixa de câmbio; Posicionar carrinho de kit	39,81	39,81	39,81	39,81	ALL	34
36	522; 523; 524; 525; 526; 527; 528; 529; 530; 531; 532; 533; 534; 535; 536; 537; 538; 539; 540; 541; 542; 543; 544; 545; 546; 547; 548; 549; 550; 551; 552; 553	POSICIONAMENTO DA EMBREAGEM NO CARRINHO DE KIT QUE SERÁ ABASTECIDO NA ESTAÇÃO 1	Inspeccionar sequência de montagem do disco de embreagem; Pegar disco de embreagem; Posicionar disco de embreagem no carrinho de kit; Pegar proteção plástica; Retirar proteção plástica; Pegar disco de embreagem; Posicionar disco de embreagem no carrinho de kit; Pegar disco de embreagem; 3 passos; Posicionar disco de embreagem no carrinho de kit; Posicionar dispositivo de elevação na embreagem; Posicionar carrinho de kit; Pegar embreagem com dispositivo de elevação; Manusear embreagem com a talha; Posicionar embreagem no carrinho de kit; Retirar dispositivo de elevação da embreagem; Manusear dispositivo de elevação; Pegar proteção; Retirar proteção; Posicionar dispositivo de elevação na; Pegar embreagem com dispositivo de elevação; Manusear embreagem com a talha; Posicionar embreagem no carrinho de kit; Posicionar carrinho de kit; Pegar proteção; Manusear proteção; Retirar dispositivo de elevação da embreagem; Manusear dispositivo de elevação; Posicionar dispositivo de elevação na; Pegar embreagem com dispositivo de elevação; Manusear embreagem com a talha; Posicionar embreagem no carrinho de kit	59,21	59,21	59,21	59,21	ALL	35
37	554; 555; 556; 557; 558; 559; 560; 561; 562; 563; 564; 565; 566; 567; 568; 569; 570; 571; 572; 573; 574; 575; 576; 577; 578; 579; 580; 581	MANUSEIO DO CARRINHO DE KIT	Posicionar carrinho de kit; 2 passos; Manusear ancoragem no carrinho de kit; Pegar parafuso da ancoragem; Montar parafuso na ancoragem; Montar parafuso da ancoragem; Montar parafuso da ancoragem; Pegar parafuso da ancoragem; Montar parafuso da ancoragem; Manusear ancoragem no carrinho de kit; Pegar carrinho de kit; Manusear carrinho de kit até a estação; Pegar carrinho de kit; Manusear carrinho de kit; Posicionar carrinho de kit na estação; 8 passos; Pegar carrinho de kit; Manusear carrinho de kit; Pegar carrinho de kit; Manusear carrinho de kit; Manusear carrinho de kit; 3 passos	65,61	65,61	65,61	65,61	ALL	36
38	590; 591; 592; 593; 594; 595; 596; 597; 598; 599; 600; 601; 602; 603; 604; 605; 606; 607; 608; 609; 610; 611; 612; 613; 614; 615	MONTAGEM DO ALTERNADOR	Pegar parafuso; Pegar porca; Pegar parafuso; Pegar porca; Pegar alternador; Montar alternador; 4 passos; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Apertar parafuso do alternador; Torquear parafuso do alternador; Devolver torquímetro; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; 3 passos; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Apertar parafuso do alternador; Torquear parafuso do alternador; Devolver torquímetro; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	74,81	74,81	74,81	74,81	5;6;7;8; 9	-
39	616; 617; 618; 619; 620; 621; 622; 623; 624; 625; 626; 627; 628; 629; 630; 631; 632; 633; 634; 635; 636; 637; 638; 639; 640; 641; 642; 643; 644	MONTAGEM DO COMPRESSOR DE AR CONDICIONADO	Pegar compressor de ar; Posicionar compressor de ar na bancada; Posicionar chicote no compressor; Pegar parafuso; Posicionar parafuso no compressor de ar; Pegar braçadeira plástica; Presilhar chicote no compressor de ar; Pegar mark7; Cortar excesso de braçadeira; Descartar excesso de braçadeira; Devolver mark7; Pegar parafuso; Pegar compressor de ar condicionado; Posicionar parafuso sobre o rack; Montar compressor de ar condicionado; Pegar parafuso; Montar parafuso no compressor; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar parafuso do compressor; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Torquear parafuso do compressor; Devolver torquímetro; 4 passos; Fixar chicote do compressor	110,01	110,01	110,01	110,01	5;6;7;8; 9	38
40	645; 646; 647; 648; 649; 650	MONTAGEM DA CORREIA	Pegar cabo de força; Pegar correia; Posicionar correia; Montar correia; Devolver cabo de força; Verificar montagem da correia	22,71	22,71	22,71	22,71	5;6;7;8; 9	39
41	651; 652; 653; 654; 655; 656; 657; 658; 659; 660; 661; 662; 663; 664; 665; 666; 667; 668; 669; 670; 671; 672	MONTAGEM DO MANCAL DO VENTILADOR	Pegar conj montado ventilador; Pegar suporte; Pegar espaçador; Posicionar espaçador; Posicionar suporte; Posicionar conj mont no espaçador; Pegar parafuso; Posicionar parafuso no mancal; Pegar conj e espaçador com parafuso; Montar conj mont ventilador; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar parafuso no mancal; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear parafusos do mancal; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro	73,01	73,01	73,01	73,01	5;6;7;8; 9	40
42	673; 674; 675; 676; 677; 678; 679; 680; 681	APERTO DE PRISIONEIROS	Pegar prisioneiro; Montar prisioneiros; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar prisioneiros; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	37,81	37,81	37,81	37,81	5;6;7;8; 9	41
43	682; 683; 684; 685; 686; 687; 688; 689; 690	MONTAGEM DA POLIA E SUPORTE DO CHICOTE DA HÉLICE	Pegar polia; Montar polia; Pegar cabo de força; Pegar correia; Posicionar correia; Pegar suporte; Pegar porca trava; Devolver cabo de força; Montar suporte do chicote da hélice	28,21	28,21	28,21	28,21	5;6;7;8; 9	42
44	691; 692; 693; 694; 695; 696; 697; 698; 699; 700; 701	COLETA DE NÚMERO DO CHASSI E DE NÚMEROS DE SÉRIES	5 passos; Pegar ficha; Posicionar ficha; Pegar caneta; Anotar nº do chassi; Anotar nº do motor; Anotar nº de série do alternador; Anotar nº de série do compressor de ar condicionado; Devolver caneta; Check nº de série alternador; Check nº de série compressor de ar condicionado	23,01	23,01	23,01	23,01	ALL	38 ; 39

45	702; 703; 704; 705; 706; 707; 708; 709; 710; 711; 712; 713	CONFERIR NÚMEROS DE SÉRIE	Logar computador; Inserir nº do motor no quality online; Inserir nº da linha (enter) no quality online; Conferir nº de ligação do chassi com motor; Inserir nº de série do alternador no quality online; Inserir nº de série do compressor de ar condicionado no quality online; Conferir nº do motor online com a ficha; Conferir nº do chassi online com a ficha; Conferir nº de série do alternador online com a ficha; Conferir nº de série do compressor de ar condicionado online com a ficha; Devolver ficha sobre o motor; 3 passos	72,41	72,41	72,41	72,41	ALL	44
46	722; 723; 724; 725; 726; 727; 728; 729; 730; 731; 732; 733; 734; 735; 736; 737; 738; 739; 740; 741; 742; 743; 744; 745	MONTAGEM DA MANGUEIRA DE ADMISSÃO	Pegar mangueira de admissão; Pegar abraçadeira; Montar abraçadeira no folei; Pegar cabo de força e mangueira; Posicionar mangueira de admissão sobre o motor; Pegar pincel; Aplicar sabão no pincel; Aplicar sabão na mangueira; Devolver pincel; Pegar abraçadeira; Montar abraçadeira na mangueira; Montar mangueira no nípel; Pegar apertadeira eletrônica; Apertar abraçadeira na mangueira; Devolver apertadeira eletrônica; Pegar mangueira de admissão; Montar mangueira de admissão no turbo; Pegar apertadeira eletrônica; Apertar mangueira de admissão; Apertar suporte do ventilador; Devolver apertadeira eletrônica; Posicionar mangueira no motor; Pegar plástico; Proteger mangueira de admissão	73,51	73,51	73,51	73,51	6;7;8;9	-
47	746; 747; 748; 749; 750; 751; 752; 753; 754; 755; 756; 757; 758; 759; 760; 761; 762; 763; 764; 765; 766; 767; 768; 769	MONTAGEM CABO DE FORÇA DO ALTERNADOR	Montar chicote do alternador; Pegar porca; Montar porca do alternador; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar cabo do alternador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear cabo do alternador; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro; Pegar proteção da porca; Montar proteção da porca; Pegar braçadeira plástica; Presilhar chicote do alternador; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7; Verificar montagem	128,41	128,41	128,41	128,41	5;6;7;8;9	38
48	770; 771; 772; 773; 774; 775; 776; 777; 778; 779; 780; 781; 782; 783; 784; 785; 786	PREPARAÇÃO DA MONTAGEM DA VARETA DE ÓLEO E TUBO DE ENCHIMENTO	Pegar tubo de enchimento de óleo; Pegar vareta de óleo; Posicionar vareta sobre o motor; Posicionar tubo sobre o motor; Pegar anel de vedação; Montar tubo de enchimento; Pegar pincel; Aplicar sabão no pincel; Aplicar sabão no anel de vedação; Manusear tubo; Aplicar sabão no tubo; Devolver pincel; Pegar abraçadeira; Inserir braçadeira no tubo; Posicionar tubo no rack; Pegar caixa bin; Posicionar caixa embaixo do carter	51,61	51,61	51,61	51,61	5;6;7;8;9	-
49	787; 788; 789; 790; 791; 792; 793; 794; 795; 796; 797; 798; 799; 800; 801; 802; 803; 804; 805; 806; 807; 808; 809; 810; 811; 812; 814; 815; 816; 817; 818; 819; 820; 821; 822; 823; 824; 825; 826; 827; 828; 829; 830; 831; 832	MONTAGEM DOS TUBOS DE ENCHIMENTO	Pegar parafuso; Pegar tubo de enchimento de óleo; Montar tubo de enchimento; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar tubo de enchimento; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Posicionar banqueta; Pegar parafuso e arruela; Inserir arruela no parafuso; Posicionar parafuso pré montado; Pegar tubo de enchimento de óleo; Montar ligando os dois tubos; Montar tubo no carter; Pegar parafuso; Montar parafuso no tubo; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar tubo de enchimento; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Retirar tampa de proteção do carter; Retirar anel de vedação; Descartar anel de vedação; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Devolver caixa bin; Posicionar braçadeira; Posicionar tubo; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Realizar aperto no tubo; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	127,41	127,41	127,41	127,41	5;6;7;8;9	48
50	833; 834; 835; 836; 837; 838; 839; 840; 841; 842; 843; 844; 845; 846; 847; 848; 849; 850; 851; 852; 853	MONTAGEM DA VARETA DE ÓLEO DO MOTOR	Pegar vareta de óleo; Montar vareta de óleo no motor; Posicionar vareta no tubo de enchimento; Pegar abraçadeira plástica; Presilhar vareta no tubo de enchimento; Pegar abraçadeira plástica; Presilhar vareta no tubo de enchimento; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7; Pegar torquímetro; Pegar soquete; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear tubo de enchimento; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro; Pegar estopa; Limpar excesso de óleo; Devolver estopa	95,21	95,21	95,21	95,21	5;6;7;8;9	49
51	862; 863; 864; 865; 866; 867; 868; 869; 870; 871; 872; 873; 874; 875; 876; 877; 878; 879; 880; 881; 882; 883; 884; 885; 886; 887; 888; 889; 890; 891; 892; 893; 894; 895; 896; 897; 898; 899; 900; 901; 902; 903; 904; 905; 906; 907; 908; 909; 910; 911; 912; 913	MONTAGEM SUPORTE DO TUBO DE REFRIGERAÇÃO	Pegar nípel; Pegar nípel; Pegar suporte; Pegar parafuso; Inserir parafuso no suporte; Posicionar suporte sobre o motor; 5 passos; Pegar torquímetro; Pegar markei; Posicionar markei e torquímetro sobre o motor; Montar nípel manualmente; Pegar torquímetro; Torquear nípel; Pegar markei; Lacrar nípel; Devolver torquímetro; Devolver markei; Pegar suporte; Pegar parafuso; Inserir no suporte; Pegar abraçadeira; Inserir no parafuso; Pegar porca; Inserir porca no parafuso; Pegar parafuso; Pegar abraçadeira; 6 passos; Pegar parafuso; Montar suporte no motor manualmente; Inserir parafuso no suporte; Montar abraçadeira no motor; Pegar suporte; Pegar abraçadeira; Pegar parafuso; Inserir parafuso no suporte; Pegar bucha de borracha; Posicionar bucha sobre o motor; Montar suporte no motor; Pegar suporte; Pegar parafuso; Inserir parafuso no suporte; Montar suporte no motor; Pegar apertadeira eletrônica; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira eletrônica; Apertar suporte; Posicionar apertadeira eletrônica; Apertar suporte; Retirar soquete da apertadeira eletrônica; Devolver soquete; 8 passos; Devolver apertadeira eletrônica	154,91	154,91	154,91	154,91	1;2;6;7	-
52	914; 915; 916; 917; 918; 919; 920; 921; 922; 923; 924; 925	PRÉ-MONTAGEM DA SERPENTINA DE RESFRIAMENTO	Pegar serpentina de resfriamento; Pegar tubo intermediário; Posicionar tubo sobre o motor; Inserir serpentina de resfriamento; Montar serpentina no nípel manualmente; Pegar bucha de borracha; Inserir no tubo manualmente; Pegar bucha de borracha; Inserir no tubo manualmente; Pegar bucha de borracha; Inserir no tubo manualmente; Pré apertar serpentina	49,91	49,91	49,91	49,91	ALL	25

53	926; 927; 928; 929; 930; 931; 932; 933; 934; 935; 936; 937; 938; 939; 940; 941; 942; 943; 944; 945; 946; 947; 948; 949; 950; 951; 952; 953; 954; 955; 956; 957; 958; 959; 960; 961; 962; 963; 964; 965; 966; 967; 968; 969; 970; 971; 972; 973; 974	MONTAGEM DA SERPENTINA DE RESFRIAMENTO E TUBO INTERMEDIÁRIO	Pegar tubo intermediário; Montar tudo ligando a serpentina manualmente; Pegar bucha de borracha; 2 passos; Inserir no tubo manualmente; Pegar abraçadeira; Pegar parafuso; Inserir parafuso na abraçadeira; Pegar chave canhão; Pré apertar tubo; Devolver chave canhão; Pegar abraçadeira; Pegar parafuso; Inserir parafuso na abraçadeira; Pegar chave canhão; Pré apertar tubo; Devolver chave canhão; Pegar parafuso; Pegar abraçadeira; Inserir parafuso na abraçadeira; Pegar chave canhão; Pré apertar tubo; Devolver chave canhão; Ajustar abraçadeira; Pegar chave canhão; 2 passos; Pré apertar tubo; Devolver chave canhão; Pegar torquímetro; Apertar serpentina de resfriamento; Apertar serpentina de resfriamento; Apertar tubo conj de resfriamento; Devolver torquímetro; Pegar suporte; Montar suporte manualmente; Pegar torquímetro; Pegar soquete; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear suporte; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro; Pegar markei; Lacrar tubo de refrigeração; Lacrar suporte; Lacrar tubo da serpentina; Devolver markei; 3 passos; Pré apertar serpentina	156,91	156,91	156,91	156,91	ALL	52
54	975; 976; 977; 978; 979; 980; 981; 982; 983; 984; 985; 986; 987; 988; 989; 990; 991; 992; 993; 994; 995; 996; 997; 998; 999; 1000; 1001; 1002; 1003; 1004; 1005; 1006; 1007; 1008; 1009; 1010; 1011; 1012; 1013; 1014; 1015; 1016	MONTAGEM DA MANGUEIRA DE AR	Pegar parafuso; Pegar abraçadeira; Posicionar parafuso sobre o motor; Posicionar abraçadeira sobre o motor; Pegar mangueira de ar; Posicionar mangueira; Pegar parafuso; Montar mangueira de ar; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar mangueira de ar; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar parafuso; Pegar mangueira de ar; Montar mangueira de ar; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar mangueira de ar; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; Pegar abraçadeira; Inserir abraçadeira no tubo do ar condicionado; Pegar parafuso do cilindro; Inserir parafuso entre abraçadeira e cilindro; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar parafuso do cilindro; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear tubo do ar condicionado; Torquear parafuso do cilindro; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro	120,51	120,51	120,51	120,51	1;2;3;5; 6;7;8	39
55	1017; 1018; 1019; 1020; 1021; 1022; 1023; 1024; 1025; 1026; 1027; 1028; 1029; 1030; 1031; 1032; 1033; 1034; 1035; 1036; 1037; 1038; 1039; 1040; 1041; 1042; 1043; 1044; 1045; 1046; 1047; 1048	PREPARAÇÃO PARA ABASTECIMENTO DE ÓLEO NA CAIXA DE CÂMBIO SEM PTO	Pegar mangueira de ar; Inspeccionar anel de vedação do tubo de ar condicionado; Posicionar mangueira de ar no motor; Pegar mangueira de ar; 5 passos; Inspeccionar anel de vedação do tubo de ar condicionado; Posicionar mangueira de ar no motor; Retirar nipel da caixa de câmbio; Posicionar nipel sobre a caixa de câmbio; Pegar engate rápido; Posicionar engate rápido na caixa de câmbio; Pegar pistola de enchimento de óleo; Posicionar pistola no engate rápido; Pegar Sprint; Pegar scanner; Scanear Sprint; Devolver scanner; Acionar abastecimento; Devolver Sprint; Retirar pistola de enchimento; Devolver pistola de enchimento; Retirar engate rápido; Devolver engate rápido; Pegar estopa; Limpar o excesso de óleo; Pegar bujão; Devolver estopa; Montar bujão na caixa de câmbio; Pegar torquímetro; Fixar bujão na caixa de câmbio; Devolver torquímetro; Posicionar mangueira de respiro na caixa de câmbio	0	76,61	0	76,61	4	11 ; 14
56	1017; 1018; 1019; 1020; 1021; 1022; 1023; 1024; 1025; 1026; 1027; 1028; 1029; 1030; 1031; 1032; 1033; 1034; 1035; 1036; 1037; 1038; 1039; 1040; 1041; 1042; 1043; 1044; 1045; 1046; 1047; 1048	PREPARAÇÃO PARA ABASTECIMENTO DE ÓLEO NA CAIXA DE CÂMBIO COM PTO	Pegar mangueira de ar; Inspeccionar anel de vedação do tubo de ar condicionado; Posicionar mangueira de ar no motor; Pegar mangueira de ar; 5 passos; Inspeccionar anel de vedação do tubo de ar condicionado; Posicionar mangueira de ar no motor; Retirar nipel da caixa de câmbio; Posicionar nipel sobre a caixa de câmbio; Pegar engate rápido; Posicionar engate rápido na caixa de câmbio; Pegar pistola de enchimento de óleo; Posicionar pistola no engate rápido; Pegar Sprint; Pegar scanner; Scanear Sprint; Devolver scanner; Acionar abastecimento; Devolver Sprint; Retirar pistola de enchimento; Devolver pistola de enchimento; Retirar engate rápido; Devolver engate rápido; Pegar estopa; Limpar o excesso de óleo; Pegar bujão; Devolver estopa; Montar bujão na caixa de câmbio; Pegar torquímetro; Fixar bujão na caixa de câmbio; Devolver torquímetro; Posicionar mangueira de respiro na caixa de câmbio	76,61	0	76,61	0	4	11 ; 14
57	1205	ENCHIMENTO AUT DE ÓLEO	Enchimento automático de óleo	91,11	91,11	91,11	91,11	4	55 ; 56
58	1057; 1058; 1059; 1060; 1061; 1062; 1063	CONFERÊNCIA DE TORQUE NA PONTEIRA DA ADMISSÃO	Pegar torquímetro; Conferir torque na ponteira da admissão; Devolver torquímetro; 2 passos; Pegar markei; Lacrar ponteira da admissão; Devolver markei	23,61	23,61	23,61	23,61	ALL	53
59	1064; 1065; 1066; 1067; 1068; 1069; 1070; 1071; 1072; 1073; 1074; 1075; 1076; 1077; 1078; 1079; 1080; 1081; 1082; 1083; 1084; 1085; 1086; 1087; 1088; 1089; 1090; 1091; 1092; 1093	MONTAGEM DO SUPORTE ANEL DO VENTILADOR	Pegar arruela espaçadora; Manusear arruela espaçadora; Pegar parafuso; Inserir parafuso na arruela manualmente; Pegar parafuso; Inserir parafuso na arruela manualmente; Pegar parafuso; Inserir parafuso na arruela; Pegar espaçador; Posicionar arruela sobre o motor; Posicionar espaçador sobre o motor; 3 passos; Pegar parafuso; Pegar suporte anel ventilador LD; Pegar suporte anel ventilador LE; Montar suporte anel do ventilador LD; Montar suporte anel do ventilador LE; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar suporte anel do ventilador; Apertar suporte anel do ventilador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática; 5 passos; Pegar torquímetro; Torquear suporte anel do ventilador LD; Torquear suporte anel do ventilador LE; Devolver torquímetro	105,91	105,91	105,91	105,91	5;6;7;8; 9	-

60	1094; 1095; 1096; 1097; 1098; 1099; 1100; 1101; 1102; 1103; 1104; 1105; 1106; 1107; 1108; 1109; 1110; 1111; 1112; 1113; 1114; 1115; 1116; 1117; 1118; 1119	MONTAGEM DE HÉLICE E CORREIA	Pegar helice do ventilador; 3 passos; Montar hélice manualmente; Conectar chicote da hélice; Pegar presilha plástica; Presilhar chicote; Pegar mark7; Cortar excesso de abraçadeira; Descartar excesso de abraçadeira; Devolver mark7; Retirar elastico; Posicionar elástico na bancada; Pegar porca; Montar porca na helice manualmente; Pegar apertadeira pneumática; Apertar hélice; Devolver apertadeira pneumática; Desconectar mangueira de ar; Devolver apertadeira Duration: 1,1 s; Conectar mangueira de ar; Montar correia na polia; Retirar cabo de força; Verificar posicionamento da correia; Pegar torquímetro Duration: 2,9 s; Torquear hélice; Devolver torquímetro	168,21	168,21	168,21	168,21	5;6;7;8; 9
61	1120; 1121; 1122; 1123; 1124; 1125; 1126; 1127; 1128; 1129; 1130; 1131; 1132; 1133; 1134; 1135; 1136; 1137; 1138; 1139; 1140; 1141; 1142; 1143; 1144; 1145	MONTAGEM DO ANEL DO VENTILADOR	Pegar anel do ventilador; Posicionar borracha do aro; Montar anel do ventilador na hélice; Pegar arruela anel do ventilador; Montar arruela anel do ventilador; Pegar arruela anel do ventilador; Pegar espaçador; Montar arruela anel ventilador; Pegar arruela anel do ventilador; Montar arruela anel do ventilador; Pegar arruela anel do ventilador; Pegar espaçador; Montar arruela anel do ventilador; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar anel do ventilador; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear aro do ventilador; 2 passos; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro	108,41	108,41	108,41	108,41	5;6;7;8; 9
62	1146; 1147; 1148; 1149; 1150; 1151; 1152; 1153; 1154; 1155; 1156; 1157; 1158; 1159; 1160; 1161; 1162; 1163; 1164; 1165; 1166; 1167; 1168; 1169; 1170; 1171; 1172; 1173; 1174; 1175; 1176	MONTAGEM MANGUEIRA E TUBO DO TROCADOR DE AR	Pegar banqueta; 3 passos; Posicionar banqueta; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Soltar parafuso do suporte inferior; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira; 6 passos; Pegar mangueira Tracador; Pegar abraçadeira; Posicionar mangueira e abraçadeira; Posicionar; Pegar mangueira; Montar mangueira; Pegar abraçadeira sobre o rack; Posicionar abraçadeira; Pegar tubo do cooler; Pegar porca; Montar tubo do cooler; Pegar parafuso; Montar parafuso de fixação do tubo; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar porca de fixação do tubo; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver soquete; Devolver apertadeira pneumática	81,91	81,91	81,91	81,91	1;2;3;5; 6;7;8
63	1177; 1178; 1179; 1180; 1181; 1182; 1183; 1184; 1185; 1186; 1187; 1188; 1189; 1190; 1191; 1192; 1193; 1194; 1195; 1196; 1197; 1198; 1199; 1200; 1201	APERTO DE SUPORTE E FIXAÇÃO DE TUBO	Pegar dispositivo de montagem do tubo; Posicionar dispositivo no tubo; Pegar apertadeira pneumática; Pegar soquete; Posicionar soquete na apertadeira pneumática; Apertar suporte inferior; Apertar parafuso de fixação do tubo; Retirar soquete da apertadeira pneumática; Devolver apertadeira pneumática; Pegar torquímetro; Posicionar soquete no torquímetro; Torquear parafuso de fixação do tubo; Torquear suporte inferior; Retirar soquete do torquímetro; Devolver soquete; Devolver torquímetro; Retirar dispositivo de montagem; Pegar apertadeira elétrica; Apertar abraçadeira do tubo do cooler; Devolver apertadeira elétrica; Pegar markei; Aplicar markei na abraçadeira; Devolver markei; 2 passos; Devolver banqueta	78,91	78,91	78,91	78,91	1;2;3;5; 6;7;8
64	1202; 1203; 1204; 1205; 1206	CHECK LIST - 9	Pegar sprint; Manusear sprint; Verificar etiqueta de identificação do motor; Manusear sprint; Devolver sprint sobre o motor	32,1	32,1	32,1	32,1	9
65	1207; 1208; 1209; 1210; 1211; 1212; 1213; 1214	VERIFICAÇÃO DE MONTAGENS	Verificar montagem do alternador; Verificar montagem da vareta medidora de óleo; Verificar montagens dos nipeis da bomba seno; Verificar montagem do tubo; Verificar montagem da caixa de câmbio; Verificar montagem do tubo resfriador de ar; Verificar montagem da mangueira turbo; Verificar montagem da correia	348,1	348,1	348,1	348,1	9
66	1215; 1216; 1217; 1218; 1219; 1220; 1221; 1222; 1223; 1224; 1225; 1226; 1227	CHECK NÚMEROS DE SÉRIE 2	Retirar luva; Pegar ficha do motor; Verificar numero do chassi com a ficha; Verificar numero do motor com a ficha; Conferir serial number do alternador com a ficha; Conferir serial number da caixa de câmbio com a ficha; Conferir serial number da bomba hidráulica com a ficha; Check nº de série bomba hidráulica; Check nº motor; Check nº do motor com chassi; Check nº de série da caixa de câmbio; Check nº de série alternador; Check nº de série compressor de ar condicionado	87	87	87	87	ALL
67	1228; 1229; 1230; 1231; 1232; 1233; 1234; 1235; 1236; 1237; 1238; 1239; 1240; 1241; 1242	CONFERIR LIGAÇÃO DE NÚMEROS DE SÉRIE	Logar computador [ ] Computador; Inserir nº do motor no quality online; Inserir nº da linha (enter) no quality online; Conferir nº de ligação do chassi com motor; Inserir nº de série do alternador no quality online; Inserir nº de série da bomba hidráulica no quality; Inserir nº de série da caixa de câmbio no quality online; Inserir nº de série do compressor de ar condicionado; Conferir nº do motor online com a ficha; Conferir nº do chassi online com a ficha; Conferir nº de série do alternador online com a ficha; Conferir nº de série da bomba hidráulica online com a; Conferir nº de série da caixa de câmbio online com a; Conferir nº de série do compressor de ar condicionado; Devolver ficha sobre o motor	98	98	98	98	ALL
68	COMPLETE ASSY	COMPLETE ASSY	COMPLETE ASSY	0	0	0	0	9