

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

ELISA MOBINI KESHEH

REDUÇÃO DE GARGALO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO MISTA DA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Joinville, 2016

ELISA MOBINI KESHEH

REDUÇÃO DE GARGALO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO MISTA DA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Automotiva na Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus
Joinville.

Orientador: Dra. Janaina Renata Garcia
Coorientador: Msc. Marcelo da Silva
Meira

Joinville, 2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a senhora minha mãe, que além de lutar para que eu me formasse sempre, por vezes duvidou que um dia eu terminaria esse TCC. Essa vitória eu dedico a você, minha rainha.

Agradeço a minha orientadora Janaína Renata Garcia, que apesar de nunca ter me dado aula, me aceitou de braços abertos e nunca demorou mais de meia hora para responder meus whatsapps, até mesmo nos finais de semana. Eu diria que essa é a orientadora dos sonhos de qualquer jovem universitário, muito obrigada querida.

Agradeço ao senhor co-orientador, Marcelo Meireles, que além de ter me apresentado para o mundo da produção, um mundo bastante mágico, aceitou ainda me ajudar nessa jornada. Meireles por vezes se encontrava muito mais animado que qualquer outra pessoa existente no mundo quando se tratava deste trabalho, inclusive já me inscreveu em congressos, planejou meu mestrado, meu doutorado, phd, entre outros.

Agradeço ao meu companheiro, Eduardo Schmid, que dentre tantos dias que não recebeu minha atenção, ainda assim por vezes me mostrou seus dotes culinários ao preparar tapiocas de presunto e queijo inimaginavelmente deliciosas, e em outras vezes ficou brabo quando via que eu estava me divertindo em vez de fazer o TCC. Amor, todo mundo é filho de Deus.

Agradeço ao meu ex-orientador, Leonel Rincon Cancino, que nadou tanto comigo em tempos difíceis, me recebeu nos sábados, levou xingões da esposa por receber emails na madrugada, mas infelizmente morremos na praia. O que importa é participar.

Agradeço a minha amiga, Renata Schmoeller, que me acompanhou nessa vida de atraso de TCC e longas jornadas de estágio, me abrigou para fazermos o TCC juntas, mas no final acabamos no baile funk dançando todas, fazer o que né amiga, pelo menos nos divertimos muito.

Agradeço ao melhor amigo casal, Andressa Otto e Pedro Pastorelli, apesar de o Pedro lamentar muito a decisão do tema do meu TCC, falando que deixei de fazer TCC em engenharia, ainda assim sei que ele sente enorme orgulho de mim, não é mesmo, Pedro? E a Andressa por aguentar tanto chororô, é ou não é?

A minha amiga queridíssima Marina Pauli que também fingiu que estudaria comigo enquanto eu fizesse TCC mas ficou apenas assistindo greys e me oferecendo comida de 3 em 3 segundos, ainda bem que eu faço TCC assistindo seriado, multitask total.

Agradeço aos colegas que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, especialmente o jovem Edgar Costa, que com imensurável paciência me treina para ser um dia uma parcela do que ele é. Também ao Vinicius Hilgen (assim já acho no skype), que me ensinou tudo que eu sei de Fitness, já emagreci 3kg, e ao Gilmar Silva, Thiago Emiliano. E aos colegas que fazem o dia nascer feliz, GISELE BUCKSTEGGE, Alexandre Lisboa, Patricia Rizzi e Valéria Santos.

Agradeço aqueles colegas da universidade que viraram a noite comigo estudando até enxergar o sol, Geovana Folle, Lais Ledra, Jéssica Gumiel e Evandro Machado, vamos ter calma nós. Aos grandes amigos que fiz durante a faculdade, Nicole Hannes, Manu Sabatke (porque ninguém sabe seu nome de verdade), Meryellen Felicio e Aline Mroskowski.

E por último, mas bem importante, a grande família que é muito unida e também muito ouriçada, Emilia Mobini Kesheh, Fazel Mobini Kesheh, Foad Mobini Kesheh, José Augusto Schmid e Ester Schmid. Amém!

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de uma linha de produção mista de uma empresa da indústria automotiva, no setor de carroceria. O objetivo deste trabalho é reduzir o gargalo do setor de carroceria, que é a linha que monta as laterais dos veículos, propondo soluções para minimizar o tempo de ciclo das mesmas. Para melhor compreensão do problema é construído com o software de simulação de manufatura Witness um modelo de simulação discreta, nesse modelo é representado o processo com a configuração atual de implantação e modo de funcionamento, com os tempos de operação de cada posto. Também foram aplicados os princípios de balanceamento de linha com racionalização de atribuições de tarefas e automação de atividades que não agregam valor. Para algumas propostas de solução encontradas, foram conduzidos estudos de factibilidade através de avaliação virtual de alterações dos meios de produção utilizando o software Catia V5. Por fim, é avaliado também o sistema de produção atual em comparação ao sistema *Just-In-Time* (JIT). Para tal avaliação foi realizado um projeto para aplicação de sistema de *kitting* sincronizando estoque com o processo através do uso de veículos autoguiados (AGV). Através dessas avaliações, reduziu-se as perdas por deslocamentos, tempos de esperas e ineficiências e eliminou-se a restrição atual dessa linha de montagem.

Palavras-chave: Balanceamento de uma Linha de Produção Mista. Método *Kitting*. JIT. Indústria Automotiva

ABSTRACT

The present paper presents a study of case of a mixed model assembly line production in automotive industry, in body in white section. The main objective of this work is to reduce the bottleneck of this sector, which is the line that assembles the sides of the vehicles, proposing solutions to minimize the cycle time of the line that assembles the left lateral of the vehicle. A discret simulation model was built in Witness, a manufacturing simulation software, for better comprehension of the problem, that describes the process with the actual configuration of implantation and operating mode, with times of operation for each place. Were also applied the principles of balancing in the assembly line with rationalization of attributions in tasks and automating tasks that does not add value. For some proposals of encountered solutions, feasibility studies were conducted through virtual avaliation of changes in the modes of operation using software Catia V5. Lastly, a comparison between the actual production mode and the Just-in-time (JIT) system is evaluated. For such evaluation it was conceived a project in which the kitting system was applied synchronizing stock with the process through auto guided vehicles (AGV). Through these avaliations, it was reduced losses from move, waiting times and inefficiency that allowed to eliminate the actual restriction in the referred assembly line.

Key-words: Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem (MALBP). Kitting method. JIT. Automotive Industry.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura de um TCC e suas partes relevantes	16
Figura 2. Os sistemas produtivos e suas estratégias competitivas.....	20
Figura 3. Dinâmica da programação empurrada	21
Figura 4. Dinâmica da programação Puxada.....	21
Figura 5. Sistema kanban de um único cartão.....	22
Figura 6. (a) Fluxo tradicional (b) JIT entre estágios.	23
Figura 7. Diferentes visões de utilização de capacidades nas abordagens (a) tradicional e (b) JIT.	25
Figura 8. O Planejamento e Controle da produção	28
Figura 9. Visão geral do planejamento-mestre da produção	30
Figura 10. Fatores que influenciam séries históricas	33
Figura 11. Número de produtos em linhas de produção: simples, mista e multi-modelo, respectivamente	34
Figura 12. O balanceamento das Linhas de montagem	36
Figura 13. Exemplo de diagrama de precedência	40
Figura 14. Identificação de atividades e tempos (fictícios) de ciclo.....	43
Figura 15. Layout representativo do setor de carroceria da fábrica estudada	45
Figura 16. Modelos fabricados	46
Figura 17. Linha lateral esquerda	47
Figura 18. Peças montadas por posto.....	47
Figura 19. Transporte das pré-montagens de cada posto através de grippers	48
Figura 20. Valor agregado (VA) e valor não agregado (NVA) da linha lateral esquerda	50
Figura 21. Valor agregado (VA) e valor não agregado (NVA) por operador	51
Figura 22. Porcentagem de atividades por estação de trabalho	52
Figura 23. Número de veículos de cada modelo fabricados no período analisado.....	53
Figura 24. Porcentagem de veículos fabricados de cada modelo no período analisado	54
Figura 25. Display simulação Witness.....	55
Figura 26. Tempo teórico e simulado do Gripper1	56
Figura 27. Tempo teórico e simulado do Gripper2.....	57
Figura 28. Tempo teórico e simulado do Posto 1	58

Figura 29. Tempo teórico e simulado do Posto 2	59
Figura 30. Tempo teórico e simulado do Posto 3	59
Figura 31. Exemplo de dispositivo semelhante ao existente em cada postos de trabalho	60
Figura 32. Diferença entre o método de estoque em borda de linha (line stocking) e o método de <i>kitting</i>	62
Figura 33. Classificação dos processo de <i>kitting</i> a) Kit Estacionário b) Kit Viajante	63
Figura 34. Sistema de abastecimento por <i>kitting</i>	64
Figura 35. Proposta de kit para abastecer o lado superior do veículo	65
Figura 36. Proposta de kit para abastecer o lado inferior do veículo	66
Figura 37. Dispositivo atual - Posto 1	68
Figura 38. Dispositivo atual - Posto 2	69
Figura 39. Modelo da linha lateral esquerda com enquadramento separado do Posto 1	70
Figura 40. Tempo teórico e simulado do Gripper1, caso com o enquadramento separado	71
Figura 41. Tempo teórico e simulado do Gripper2, caso com o enquadramento separado	72
Figura 42. Tempo teórico e simulado do Posto 1, caso com o enquadramento separado	72
Figura 43. Tempo teórico e simulado do Posto 2, caso com o enquadramento separado	73
Figura 44. Tempo teórico e simulado do Posto 3, caso com o enquadramento separado	73
Figura 45. Celula robôs montagem geral	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tempos teóricos (em minutos) dos postos de trabalho e dos transportes através de grippers ou operadores.	54
Tabela 2. Tempos utilizados na simulação.....	56
Tabela 3. Tempos simulação com separação enquadramento e adição de AGV	70
Tabela 4. Tempos de ciclo dos postos.....	74
Tabela 5. Tempos de ciclo com automatização do gripper	75
Tabela 6. Pontos que podem ser retirado por posto por modelo	77
Tabela 7. Pontos que podem ser introduzidos em cada robô por posto	77
Tabela 8. Tempos (min) que podem ser reduzidos de cada posto por modelo	77
Tabela 9. Tempos de ciclo dos postos após transferência dos pontos de solda.....	78
Tabela 10. Tempos de ciclo por posto após implemento das melhorias	78
Tabela 11. Postos balanceados com tempo de ciclo de 8,5 minutos	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
1.5 METODOLOGIA	15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO	18
2.1.1 Sistemas de produção discretos e contínuos	19
2.1.2 Sistemas de produção puxados e empurrados	20
2.2 MANUFATURA ENXUTA.....	22
2.3 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	27
2.4 PREVISÃO DE DEMANDA	31
2.5 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM	33
2.5.1 Tipos de linhas de montagem	34
2.5.2 Tempos de montagem	35
2.5.3 Rotinas de operações-padrão	37
2.5.4 Balanceamento de uma linha de montagem mista	38
2.6 ANÁLISE DE VALOR.....	41
2.6.1 Mapeamento do fluxo de valor	43
3 ESTUDO DE CASO	45
3.1 SITUAÇÃO ATUAL DA LINHA LATERAL ESQUEDA	49
3.2 SITUAÇÃO VALOR AGREGADO/NÃO AGREGADO	50
3.3 DEMANDA DA PRODUÇÃO	53
3.4 SIMULAÇÃO DA LINHA DE LATERAIS.....	54
4 PROPOSTAS PARA MINIMIZAÇÃO DO GARGALO DA LINHA LATERAL	62
4.1 IMPLANTAÇÃO DE KITTING.....	62
4.2 SEPARAÇÃO DO POSTO 1	66
4.2.1 Separação enquadramento do posto 1	67
4.2.2 Simulação dos tempos de ciclo	70

.3 REDUÇÃO DOS TEMPOS DE CICLO.....	74
4.3.1. Automatização dos grippers.....	74
4.3.2. Passagem de pontos da lateral para os robôs	76
4.3.3. Pequenas melhorias	78
4.3.4. Balanceamento dos postos.....	78
4.4. RESULTADOS.....	79
5 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística é uma das mais expressivas na economia do Brasil e do mundo. O anuário da indústria automobilística da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores ANFAVEA (2014) mostrou que no Brasil essa indústria representa 20,4% do PIB (Produto Interno Bruto) industrial e 4,1% do PIB total. Ela é responsável por grande geração de renda, emprega mais de 130 mil colaboradores diretos e 1,5 milhão de empregos na cadeia produtiva. Iniciada a 60 anos atrás a indústria automobilística no Brasil já produziu mais de 78 milhões de veículos, e destes 70 milhões foram comercializados. Segundo Casotti e Goldenstein (2008) a cada emprego direto, mais cinco indiretos são gerados.

Um veículo é um bem de consumo durável de alto valor agregado composto por milhares de peças, desde insumos básicos até produtos mais complexos da indústria de eletrônicos, “a construção de um veículo exige participação ampla e significativa de subsetores com ligações para trás e para frente na cadeia produtiva” (GABRIEL, 2011, p. 5), além dos serviços relacionados à venda e manutenção. A importância desta indústria é, de acordo com Casotti e Goldenstein (2008), 50% da borracha, 25% do vidro e 15% do aço produzidos no mundo se destinam a essa indústria.

Pode-se afirmar que “a cadeia automotiva é a cadeia mais importante da economia brasileira quanto à indução direta e indireta de crescimento para todos os demais setores” (BAHIA; DOMINGUES, 2010, p. 13), ainda de acordo com Casotti e Goldenstein (2008) a rede de fornecedores no Brasil é eficiente e competente, em média, 81% dos componentes utilizados para se produzir um carro podem ser supridos localmente. Apenas a Rússia apresenta um índice de nacionalização maior (83%).

Essa indústria também contribui no desenvolvimento de novos modelos de gestão fabril, que se tornaram referência não só para a indústria automotiva, mas para indústrias de diversos segmentos. Dois grandes exemplos de gestão de produção desenvolvidos na indústria automotiva foram o *Fordismo* e o *Toyotismo*. O fordismo nasceu no final do século XIX quando Henry Ford introduziu seus conceitos de produção em linha em torno de montagem

com esteiras rolantes. Através deste conceito Ford conseguiu padronizar procedimentos, reduzir o esforço humano, produzir em larga escala, reduzir custos e tempo de produção, e melhorar substancialmente a qualidade. “O conceito-chave da produção em massa não é a ideia de linha contínua, como muitos pensam, mas a completa e consistente intercambialidade de partes, e a simplicidade de montagem”. (WOOD, 1992, p. 4)

O Toyotismo trouxe a flexibilização da produção, ou seja, uma mesma linha passou a produzir grande variedade de bens, adaptando-se a mudanças de demanda e disponibilidade de insumos durante a produção. “O alto custo da matéria-prima exigiu a aplicação de técnicas de controle da produção que reduziam os desperdícios gerados ao longo da cadeia” (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008, p.4), a ideia de uma fábrica sincronizada com o cliente, sem estoque, tornou-se um novo conceito.

1.1 PROBLEMA

O presente estudo de caso acontece em uma montadora que monta uma família de veículos utilitários de quatro modelos. A fábrica W que produz esta família é composta por seis linhas de produção principais, as linhas que produzem as laterais do veículo, esquerda e direita, que são o objeto de estudo deste trabalho. As linhas laterais são o gargalo do processo de produção por possuírem os maiores tempo de ciclo da fábrica, não atendendo ao volume diário demandado pela empresa.

As linhas laterais esquerda e direita são compostas por quatro estações de trabalho cada, onde o problema principal destas linhas é o fato de que nem todos os modelos de veículo precisam passar pelas quatro estações de trabalho, ou seja, a variação da ordem com que os veículos são montados na linha influi fortemente no tempo de produção total das linhas laterais. Outros problemas identificados são: presença de estoques na borda de linha gerando desperdício excessivo por movimentação dos trabalhadores para buscar as peças, os postos de trabalho desta linha apresentam diferentes tempos de ciclo, o número de dispositivos para transportar as montagens não é suficiente para balancear estas linhas e o número de pontos de solda por posto é muito alto.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor alternativas para reduzir o gargalo das linhas laterais de uma fábrica de veículos utilitários.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar o impacto da sequência de modelos no tempo de montagem das linhas laterais.
- ✓ Propor, com base nas referências bibliográficas, alternativas para minimizar o gargalo existente no processo de montagem das laterais do veículo.
- ✓ Analisar a resposta das diferentes propostas utilizando software de simulação discreta de manufatura Witness.
- ✓ Verificar a viabilidade técnica da implantação do projeto.

1.4 JUSTIFICATIVA

Uma linha de produção de veículos eficiente é um dos grandes desafios enfrentados pelos engenheiros que trabalham em montadoras, o estudo desse processo é essencial para todos os envolvidos na indústria automobilística. A melhoria da produção da linha lateral poderá gerar aumento na produtividade e capacidade da fábrica estudada, e reduzir os custos com ações que não possuem valor agregado.

Além da justificativa profissional, este trabalho se justifica em relação a formação acadêmica por se tratar de uma das áreas interdisciplinares da engenharia automotiva descritas pela Universidade Federal de Santa Catarina. Segundo a universidade ainda esta formação está orientada para várias áreas, algumas das principais são citadas abaixo:

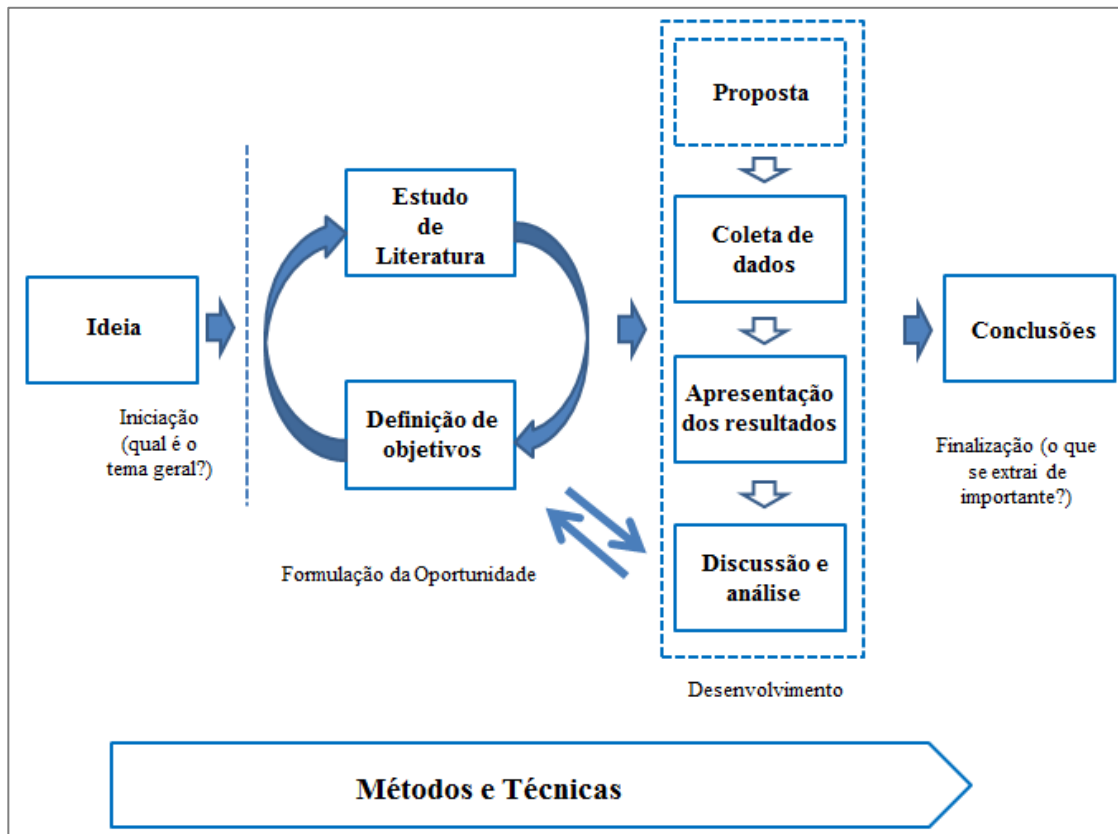
- Identificar possibilidades e limitações, propondo soluções diante dos problemas detectados durante as diversas fases do desenvolvimento de produtos automotivos, aplicando o conhecimento científico e tecnológico existente na área;
- Gerenciamento e elaboração de processos de fabricação e montagem de conjuntos;
- Elaborar e interpretar documentação técnica, dimensionando recursos e

analisando custos de implantação de projetos;
- Propor soluções de melhoria na funcionalidade, operação, desenvolvimento e produção de componentes e sistemas automotivos. (UFSC, 2013)

1.5 METODOLOGIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é do tipo estudo de caso, escolhido por tratar-se de uma oportunidade de uma melhoria identificada na indústria. “O estudo de caso é um estudo de caráter empírico que investiga um fenômeno no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não são claramente definidas” (YIN, 2001 apud MIGUEL et al., 2012, p. 132). O trabalho seguirá a metodologia do desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso, cujo esquema está ilustrado na Figura 1, onde primeiramente define-se o objetivo geral e os objetivos específicos, em seguida estuda-se o referencial teórico do tema escolhido, familiarizando-se com as ferramentas disponíveis para propor soluções para o tema escolhido, e por fim analisa-se os resultados do mesmo confrontando-os com os objetivos específicos.

Figura 1. Estrutura de um TCC e suas partes relevantes



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.*, 2012, p. 218

Silva e Menezes (2005) propõe uma classificação de pesquisa, dentro da qual este estudo como sendo uma pesquisa predominantemente quantitativa, onde a maior parte do trabalho pode ser quantificado e os resultados podem ser analisado objetivamente analisando-se recursos e técnicas estatísticas. Mas em alguns tópicos, como por exemplo a análise de valor, a pesquisa se torna qualitativa, por se tratar de um método de análise de coleta de dados onde os resultados dependem da análise de cada pessoa envolvida. Quanto aos objetivos deste trabalho, de acordo com GIL (1991) apud Silva e Menezes (2005), por se tratar de um estudo de caso, classifica-se como pesquisa exploratória, este tipo de pesquisa basea-se em estudo bibliografia e pesquisa do histórico do problema, assim como outros trabalhos semelhantes. Este trabalho foi desenvolvido conforme a seguinte descrição:

a) Para a execução deste trabalho foi necessário estudar e construir a revisão bibliográfica, a revisão contém as principais definições de manufatura enxuta, previsão de demanda, sistemas de produção, balanceamento de linha e análise de valor.

b) Para a apresentação do estudo de caso foi preciso familiarizar-se com a linha de produção, delimitando-se o problema. Gravou-se um vídeo dos postos de trabalho para facilitar a extração de informações e para identificar as principais atividades dos operadores.

c) Para o entendimento da situação atual estudou-se o software de manufatura Witness e em seguida, utilizando o software, simulou-se o problema existente, deixando evidente a ineficiência da linha existente. Além disso também foi necessário avaliar quais atividades realizadas pelos operadores possuem valor agregado e quais não.

d) Após, utilizando o software Catia V5 e o modelo das peças montadas nos postos da linha, desenvolveu-se um modelo de veículo *kitting* para esta linha, avaliando-se o menor deslocamento até a peça, a sequência de montagem e a visibilidade das peças.

e) Em seguida, utilizando o software Witness estudou-se a separação do posto 1 e quais mudanças seriam necessárias para tal.

f) Estudou-se então maneiras para atingir o tempo de ciclo desejado, onde as principais soluções identificadas foram a automatização dos meios de transporte e a transferência de pontos de solda da linha para robôs.

g) Por fim simulou-se no Witness uma configuração final com todas as propostas aplicadas e com a carga dividida de forma balanceada entre as estações de trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em 6 tópicos principais.

- No primeiro capítulo apresenta-se a introdução do trabalho, o problema existente, os objetivos deste trabalho (geral e específicos), justificativa da escolha do tema e a metodologia para se desenvolver este trabalho;

- No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, que engloba a teoria envolvida no desenvolvimento do trabalho, descrevendo alguns temas da manufatura enxuta e outros conceitos básicos de administração, programação e planejamento da produção;

- No terceiro capítulo é apresentado o estudo de caso, descrevendo a empresa, o funcionamento da linha e delimitando-se o problema existente;

- No quarto capítulo são apresentadas as propostas de soluções para o problema identificado e os resultados obtidos;

- No quinto capítulo apresenta-se a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica são introduzidos os conceitos que serão utilizados no desenvolvimento do presente trabalho, sendo eles, sistemas de produção, planejamento, programação e controle da produção, manufatura enxuta, balanceamento de linha e análise de valor.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O propósito da manufatura é, de acordo com Askin e Stamdrige (1993), enriquecer a sociedade através da produção funcionalmente desejada, esteticamente agradável, ambientalmente segura, economicamente acessível, altamente confiável, e de alta qualidade. O sistema de produção em massa, como o nome já diz, é a produção em grande escala de produtos altamente padronizados. Um exemplo deste tipo de produção é o caso das montadoras, “as montadoras de automóveis possuem linhas focadas nos chassis, que, por sua vez, podem ser carregados, com diferentes carrocerias, motores e demais acessórios, gerando uma afinidade de produtos acabados, sob a ótica do cliente; contudo, bastante padronizado sob a ótica da produção.” (TUBINO, 2009, p. 7)

O sistema de produção em massa surgiu no século XX quando Henry Ford criou uma linha de produção onde os operadores não precisavam se deslocar para realizar suas tarefas, pois a tarefa passou a vir até eles. No sistema Ford, as atividades dos operadores muitas vezes limitava-se a um único movimento, não havendo necessidade de um funcionário qualificado, reduzindo o custo com mão-de-obra.

Este conceito mudou ao longo dos anos, até que a Toyota inseriu um novo sistema de produção, conhecido como Manufatura Enxuta, será visto com maior profundidade na seção 2.2., que aumentou muito a produtividade da fábrica em comparação aos sistemas convencionais. Os operadores, diferentemente do sistema Ford, “são treinados para exercer diversas tarefas, aumentando seu nível de polivalência, gerando rotinas de operações-padrão dentro de um tempo de ciclo maior, que, em conjunto com um layout mais flexível (não linear), permite balanceamento entre rotina de operação padrão mais eficiente.” (TUBINO,

2009, p. 8) Os produtos montados através de sistemas de produção em massa geralmente têm uma produção estável a curto prazo, tornando altos investimentos viáveis, uma vez que eles podem ser amortizados ao longo dos anos.

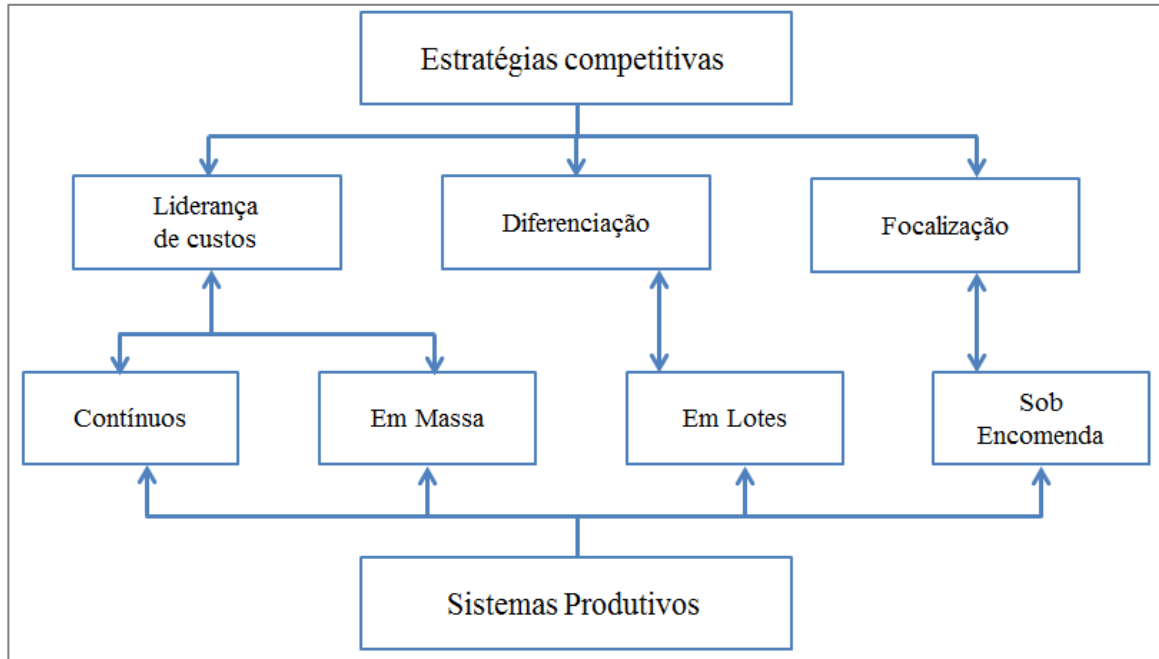
2.1.1 Sistemas de produção discretos e contínuos

Tubino (2009) dividiu os sistemas produtivos em dois grandes grupos: sistemas contínuos e sistemas discretos (em massa, em lotes e sob encomenda), ilustrados na Figura 2. Os sistemas de produção contínuos são empregados quando existe alta uniformidade na produção, o produto flui constantemente e não se pode separar uma unidade do produto das demais que estão sendo produzidas. Neste processo muitas vezes é necessário considerar outras variáveis além da quantidade e sequência, como velocidade, temperatura, pressão, entre outros. Este tipo de sistema é utilizado, por exemplo: em refinarias de petróleo e outras indústrias químicas.

Já nos sistemas de produção discretos são produzidos produtos que podem ser desmontados, como veículos, eletrodomésticos, entre outros. A forma mais utilizada, de acordo com Martins (2007), para planejar este tipo de produção é através do BOM (Bill of Material), que também é chamado de estrutura de produtos. O BOM lista as peças, sub-montagens e as quantidades necessárias para se fabricar um produto completo, para que posteriormente seja definido claramente a sequência de tarefas que serão realizadas para montar o produto acabado.

No âmbito da produção discreta, a produção sob encomenda só inicia após receber um pedido, este tipo de produção está voltado para atender as necessidades específicas dos clientes. Geralmente o produto encomendado é complexo e caro, como por exemplo: navios, aviões, edifícios, entre outros. Já o sistema de produção em lotes é utilizado quando se deseja produzir uma quantidade limitada de um tipo de produto, o volume fabricado é mais alto quando comparado ao sistema sob encomenda. Neste sistema cada lote de produtos necessita de um planejamento e programação específica e uma grande área de estoque é necessária para produzir cada lote.

Figura 2. Os sistemas produtivos e suas estratégias competitivas

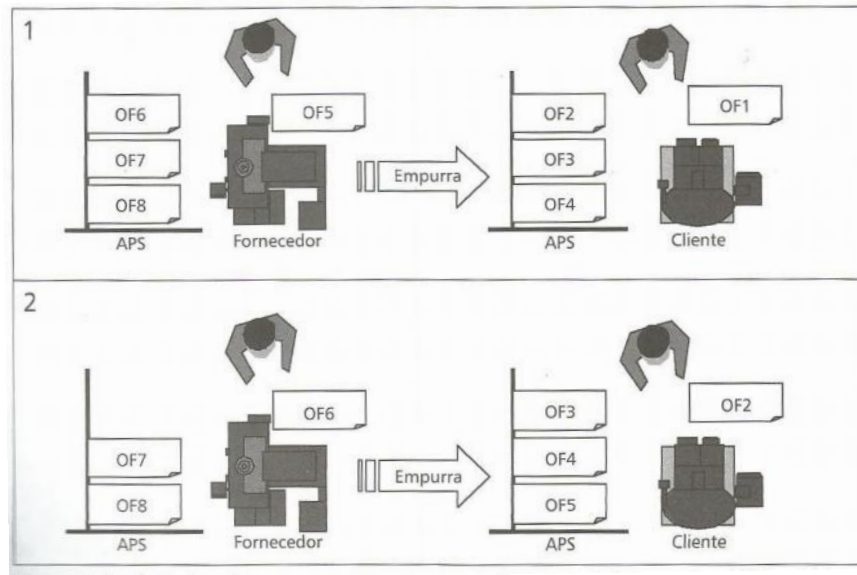


Fonte: Adaptado de Tubino, 2009, p. 38

2.1.2 Sistemas de produção puxados e empurrados

Os processos de produção industrial tradicionais são empurrados. Barco e Villela (2008) relatou que um sistema de produção empurrada funciona lançando o material necessário para a primeira operação de acordo com a previsão de demanda, conforme ilustrado na Figura 3. Em seguida, o produto que está sendo montado é lançado para a próxima etapa, sem que haja uma requisição por parte desta, ou seja, os materiais são empurrados. O ponto negativo deste sistema produtivo é que ele gera estoques de produtos em processo sempre que há desbalanceamento de capacidade produtiva ou qualquer imprevisto que ocasione a parada da linha, por outro lado, maiores estoques implicam, conseqüentemente, em maiores níveis de serviço ao cliente e maior capacidade para lidar com variações inesperadas da demanda.

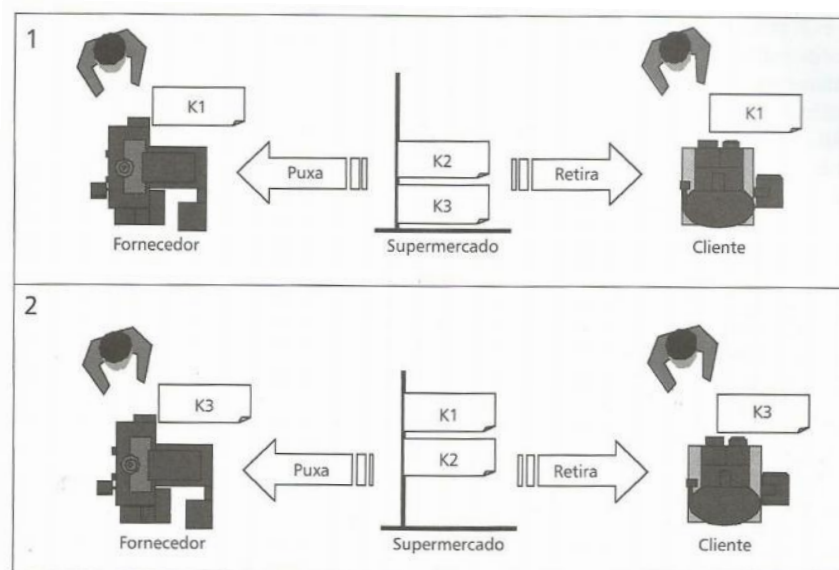
Figura 3. Dinâmica da programação empurrada



Fonte: Tubino, 2009, p. 10

Diferentemente da programação empurrada, a programação puxada, ilustrada na Figura 4, procura ajustar a produção à demanda pelos produtos, isto é, “algo será produzido, transportado ou comprado somente no momento exato em que for necessário e somente na quantidade exata que será utilizada” (BARCO; VILLELA, 2008, p. 4).

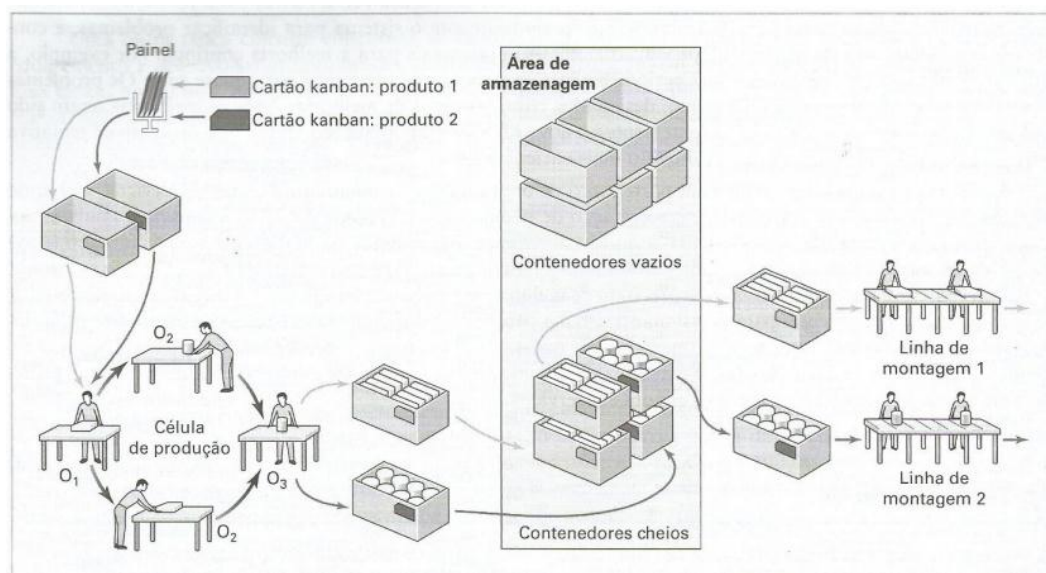
Figura 4. Dinâmica da programação Puxada



Fonte: Tubino, 2009, p.11

O mais conhecido dos sistemas de produção puxada é o Kanban, do japonês significa “cartão”, e refere-se aos cartões usados no controle do fluxo de produção em uma fábrica. Este sistema de controle da produção foi desenvolvido no Japão pela Toyota, e seu funcionamento acontece entre estações/postos de trabalho consecutivos, este sistema é ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Sistema kanban de um único cartão.



Fonte: Ritzman e Krajewski, 2004, p. 408

O autor Tubino (2009) detalha o processo kanban utilizando cartões da seguinte forma: existe um cartão fixado em cada caixa de produtos produzidos, a caixa contém uma parcela das necessidades diárias de um item, quando o usuário das peças esvazia uma caixa, o cartão é removido dela e colocado em um painel. A caixa vazia é levada para a área de armazenagem e um cartão sinaliza a necessidade de produzir uma outra caixa de peça. Após a caixa ter sido reabastecida, o cartão é colocado nela, que então retorna para uma área de armazenagem, e o ciclo inicia-se novamente quando o usuário das peças retira a caixa com o cartão anexado.

2.2 MANUFATURA ENXUTA

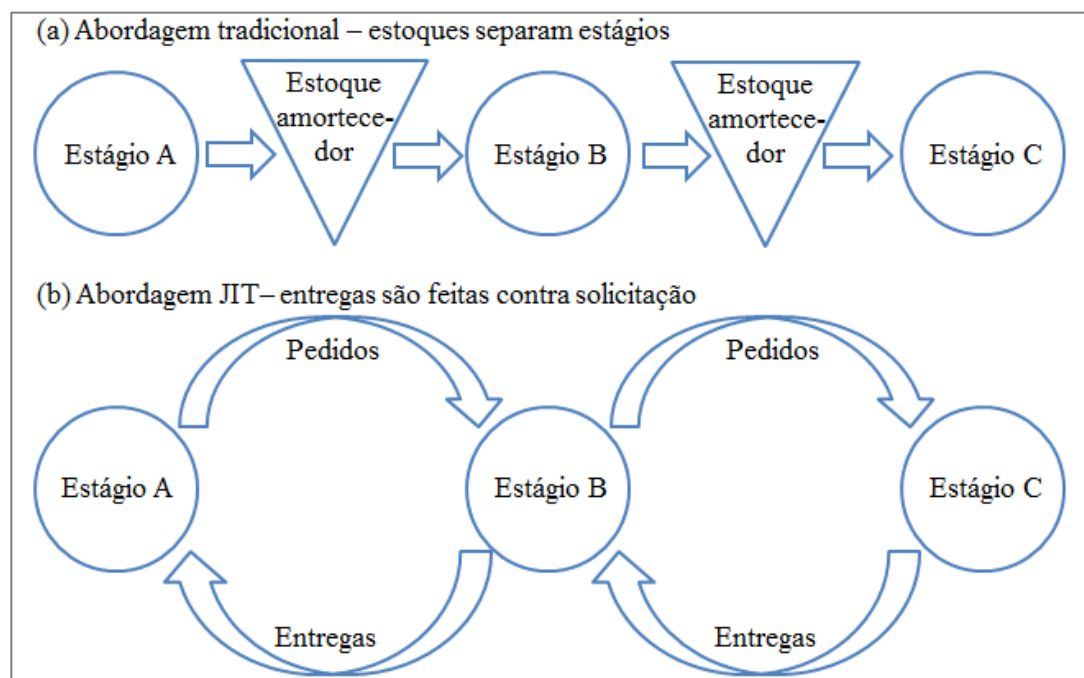
A manufatura “enxuta” é um método utilizado para o planejamento e o controle da produção. Esta abordagem foi desenvolvida, primeiramente, na Toyota Motor corporation, e

passou a ser adotada por empresas de diversos segmentos que fabricam um volume alto de produtos. A ideia principal deste método é eliminar todos os tipos de desperdícios, operações que não possuem valor agregado, que são gerados em uma linha de produção em massa, tornando a produção mais rápida, com maior qualidade e menor custo.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009) o JIT, assim como o nome já diz, significa produzir um bem ou serviço somente quando ele é necessário – não antes, para que não formem estoques, e não depois, para que o cliente não fique esperando, conforme Figura 6. Outra definição para o JIT seria:

O *just-in-time* (JIT) é uma abordagem disciplinada, que visa aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios. Ele possibilita a produção eficaz em termos de custo, assim como o fornecimento apenas da qualidade correta, no momento e local corretos, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos. O JIT é dependente do equilíbrio entre a flexibilidade do fornecedor e a flexibilidade do usuário. Ele é alcançado por meio da aplicação de elementos que requerem um envolvimento total dos funcionários e trabalho em equipe. Uma filosofia chave do JIT é a simplificação. (VOSS, 1997 apud SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 452)

Figura 6. (a) Fluxo tradicional (b) JIT entre estágios.



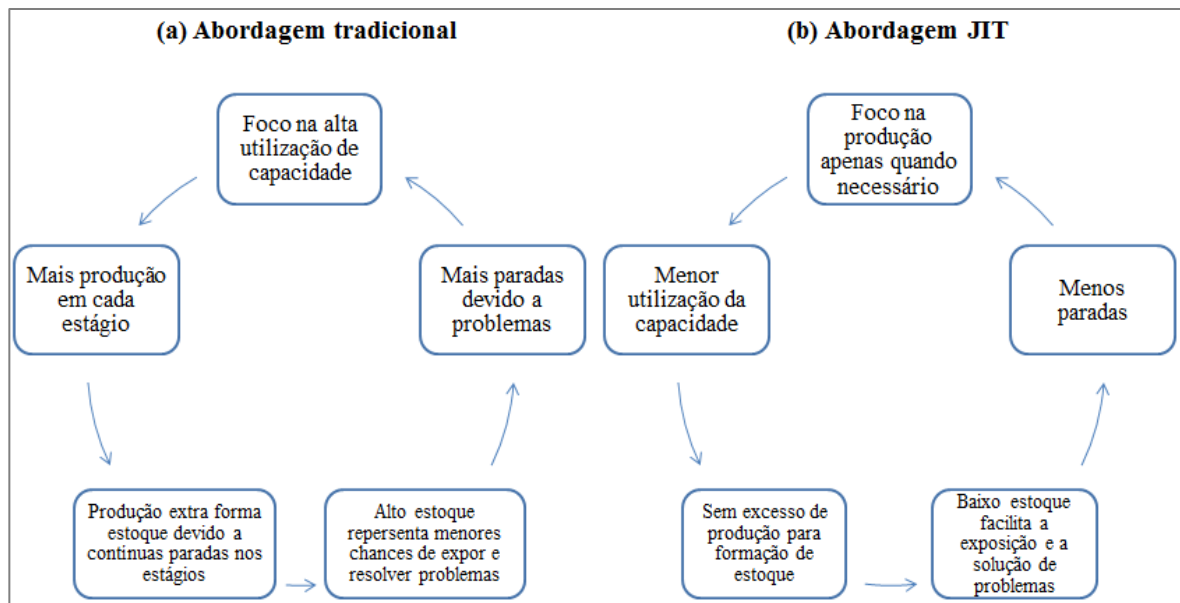
Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston, 2009, p. 453

A ideia deste método é isolar um posto de trabalho dos outros postos. Este isolamento é alcançado tendo-se um estoque antes do posto de trabalho, o alimentando, e um estoque após o posto de trabalho, que será alimentado por ele. Desta forma cada posto de trabalho se torna parcialmente independente, quanto maior o estoque, mais independente será o posto de trabalho e menor a chance ocorrer alguma interrupção na linha de produção, entretanto, estoque alto significa alto custo de estoque e tempo de atravessamento alto. O exemplo a seguir esclarece o conceito de dependência dos postos de trabalho:

Por exemplo, se o estágio A interrompe sua produção, o estágio B perceberá imediatamente e o estágio C logo depois. O problema do estágio A é agora rapidamente exposto a todo o sistema e todo o sistema é afetado pelo problema. Uma consequência disso é que a responsabilidade pela resolução do problema não está mais confinada ao pessoal do estágio A, mas é agora compartilhada por todos. Isso amplia consideravelmente as chances de que o problema seja resolvido, pelo simples fato de que agora ele é muito importante para ser ignorado. Em outras palavras, evitando o acúmulo de estoques entre estágios, a operação amplia as chances de a eficiência intrínseca da fábrica ser aprimorada. (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 453)

Lotes reduzidos possuem benefícios e malefícios para o sistema de produção (Figura 7). O principal malefício da adoção do sistema JIT é o risco de reduzir a capacidade do sistema. Em sistemas tradicionais existem grandes estoques alimentando a linha de produção, então, problemas pontuais não causam a paralização da linha, pois todos os postos estarão sendo alimentados pelo estoque, desta forma a linha sempre produz em sua capacidade máxima. Porém, pelo fato de a linha estar sempre sendo alimentada, “o just-in-time vê os estoques como um “manto negro” estendido sobre o sistema de produção, evitando que os problemas sejam descobertos” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 453), quando se sabe quais os problemas estão presentes no sistema, mais rapidamente eles são corrigidos.

Figura 7. Diferentes visões de utilização de capacidades nas abordagens (a) tradicional e (b) JIT.



Fonte: Adaptado de Slack, 2009, p. 455

Ritzman e Krajewski (2004) relatam que estoques pequenos possuem três grandes vantagens: A primeira delas seria a redução do estoque cíclico, e com ele a redução do tempo e espaço envolvidos na fabricação e na manutenção do estoque. A segunda vantagem relatada é a redução do tempo de espera, resultando na diminuição do estoque de material em processo e do tempo que o lote leva para ser processado na estação seguinte. Além de ser mais fácil inspecionar defeitos em um lote pequeno, quando esta ação for necessária. A terceira, e última, vantagem é que lotes pequenos permitem uma programação mais simples e eficaz da produção, e possibilitam a produção de vários modelos (diversidade).

Segundo Ritzman e Krajewski (2004) dois mecanismos simples são comumente usados na manufatura enxuta, “os sete tipos de desperdício”, e “os 5 Ss”. O autor Leite (2012) cita que atualmente existe ainda um oitavo desperdício, são eles:

1. Superprodução, produzir mais do que é imediatamente necessário;
2. Tempo de espera, eficiência de máquina e eficiência de mão-de-obra, ou seja, máquinas, produtos ou pessoas ociosas;
3. Transporte, movimentações desnecessárias de materiais dentro da fábrica, assim como a dupla ou tripla movimentação do estoque em processo;
4. Processo, operações no processo que não agregam valor ao cliente;

5. Estoque, como já comentado, todo estoque deve tornar-se um alvo para eliminação, uma vez que não são necessários;
6. Movimentação, movimentação desnecessárias dos trabalhadores, um operador pode parecer ocupado, mas algumas vezes nenhum valor está sendo agregado pelo trabalho;
7. Produtos defeituosos, custos relacionados a retrabalho;
8. Intelectual, não aproveitamento da capacidade intelectual do trabalhador, da sua criatividade, focando-o em rotinas do dia-a-dia que não agregam valor ao produto final, criando frustrações e oportunidades perdidas.

E os 5s significam: 1. Separe (Seiri), elimine o que não é necessário e mantenha o que é necessário; 2. Organize (Seiton), posicione as coisas de tal forma que sejam facilmente alcançadas sempre que necessário; 3. Limpe (Seiso), mantenha tudo limpo e arrumado, nenhum lixo ou sujeira na área de trabalho; 4. Padronize (Seiketsu), mantenha sempre a ordem e a limpeza – arrumação perpétua; 5. Sustente (Shitsuke), desenvolva o compromisso e o orgulho em manter os padrões.

Outro princípio utilizado é o tempo de atravessamento (*lead time*) de uma peça ao longo da linha, quanto mais longo for o tempo em que os itens processados forem mantidos em estoque, em movimento, em checagem ou sujeitos a atividades que não agregam valor, mais longo será o tempo levado para atravessar o processo. Assim, olhar exatamente o que acontece a itens dentro de um processo é um excelente método de identificar fontes de desperdício.

Outro método eficaz que busca eliminar fontes de desperdícios ao longo do processo é o mapeamento do fluxo de valor, uma abordagem simples para o entendimento do fluxo de material e informação durante as etapas em que se agrega valor a um produto, ou serviço, ao longo do processo, operação ou cadeia de suprimentos. É uma forma de mapear visualmente o caminho da “produção” de um produto ou serviço, do início ao fim. O mapeamento de valor será visto com mais detalhes posteriormente.

A manufatura enxuta busca apoiar uma divisão uniforme de carga entre as estações de trabalho, para que os trabalhadores não fiquem nem ociosos, nem sobrecarregados, além de treinar sua equipe para executar múltiplas tarefas de baixa complexidade, evitando problemas em caso de imprevistos. “Embora atribuir aos trabalhadores funções que normalmente não executam possa reduzir a eficiência, alguma rotatividade alivia o tédio e revigora os trabalhadores. ” (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004, p. 405). E claro, caso seja possível

automatizar uma determinada operação, sendo ela viável financeiramente, é preferível que ela seja automatizada, uma vez que a automatização impacta diretamente em aumento de lucratividade, eficiência e dispersão.

Padronizar também os componentes e os métodos utilizados nas diferentes estações de trabalho ajuda o operador a estar sempre familiarizado com a ferramenta, resultando em um tempo de adaptação menor. “Com maior repetição, os funcionários aprendem a realizar a tarefa de modo mais eficiente. A padronização de componentes e de métodos de trabalho ajuda a cumprir os objetivos de produtividade elevada e estoque reduzido dos sistemas JIT” (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004, p. 405). Deve ser realizada a manutenção dessas máquinas preventivamente, para evitar transtornos durante a produção, resultando em perda de capacidade da linha.

Um item muito importante para uma produção Lean (enxuta), é manter uma relação próxima com os fornecedores de uma produção, pois devido ao estoque reduzido na linha de produção, existe uma necessidade de proximidade com o fornecedor para que os lotes sejam entregues pontualmente e com qualidade elevada. Ritzman e Krajewski (2004) reforçam três pontos fortes para melhorar a qualidade dos produtos recebidos de terceiros: redução do número de fornecedores, utilização de fornecedores locais e melhoria nas relações com os fornecedores.

Tendo-se um número reduzido de fornecedores é possível criar uma relação proximidade maior com eles e mantê-los sempre atualizados quanto a projetos e pedidos. E finalmente, procurar melhorar o processo continuamente, eliminando dos desperdícios mais significativos até os não tão impactantes, mas que, quando somados, impactam visivelmente na eficiência do sistema de produção.

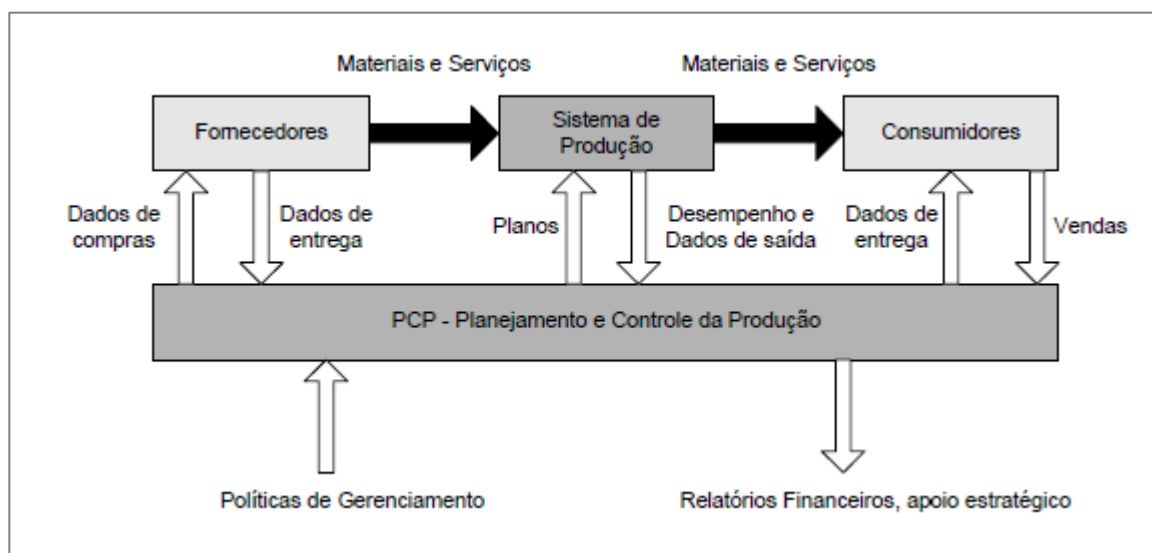
2.3 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Para se manter competitiva, uma empresa precisa reduzir custos de produção e aumentar a qualidade dos processos, e conseqüentemente, dos produtos. Para tal, é necessário planejar e programar bem a produção. O processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é uma ferramenta que ajuda a empresa a atingir essa meta, ele tem como principal objetivo atender as quantidades prometidas ao cliente, através do planejamento da sequência

das atividades de produção, no prazo determinado, com custo mínimo, verificando frequentemente se as etapas estão sendo seguidas conforme cronograma.

O sistema produtivo transforma, via processamento, inputs (entradas - insumos) em outputs (saídas - produtos) de bens e serviços. As operações que realizam essa transformação é o que é chamado de processo de programação. PCP se comporta como um sistema de transformações de informações, pois recebe informações de n fontes e transforma elas em um cronograma de produção para empresas e um de compras para os fornecedores, como ilustrado na Figura 8.

Figura 8. O Planejamento e Controle da produção



Fonte: Plossi, 1994, p. 5 apud Nunes, Melo e Nigro, 2009

As atividades do PCP podem ser de longo prazo, médio prazo e curto prazo. Para cada um dos três casos é preciso montar um plano de produção utilizando um estudo de previsão de acordo com o prazo solicitado, para que se possa projetar qual a capacidade de produção que será necessária para atender os clientes.

O sistema a longo prazo, segundo Tubino (2009) é conhecido por ser uma etapa estratégica, onde a empresa ainda precisa destinar recursos financeiros para que o plano de produção seja realizado. A médio prazo, conhecido por ser uma etapa tática, o Programa-Mestre da Produção (PMP) busca maneiras para aumentar a eficiência do sistema já estruturado. E a curto prazo existe a etapa chamada operacional, uma vez que já estão definidos os sistemas e a tática de operação, é necessário operar o sistema de acordo com os

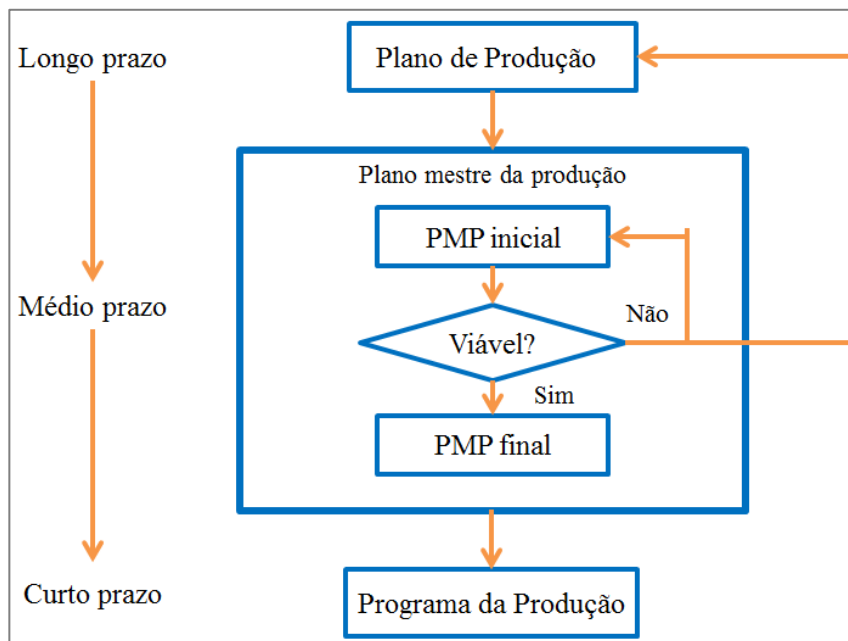
planejamento de longo prazo e médio prazo. “Um sistema produtivo será tão mais eficiente quanto consiga sincronizar a passagem de estratégias para táticas, de táticas para operações de produção e venda dos produtos solicitados.” (TUBINO, 2009, p. 2)

O Planejamento e Controle da Produção “é um sistema de transformação de informações sobre estoques existentes, vendas previstas, componentes, matérias-primas, processos, tempos, capacidade disponível, a partir do que se determinam os dados das ordens de produção (o que, quanto, quando, e onde produzir)” (ZAWARELLI apud ERDMANN, 1998, p. 20 apud NUNES; MELO; NIGRO, 2009, p. 4).

O planejamento, somente, é descrito como sendo uma “atividade preliminar de busca e preparação de informações que permita definir o que deve ser produzido, em que quantidades, como e com quais recursos” (ERDMANN, 1998, p. 17 apud NUNES; MELO; NIGRO, 2009, p. 3). É o estabelecimento de um plano de longo prazo que busca maximizar os resultados das operações com um risco reduzido. Nesta etapa o plano de produção é pouco detalhado, define-se as famílias de produto e as definições macro afim de determinar critérios de desempenho como qualidade, flexibilidade, custo, entre outros. “Planejar estrategicamente consiste em gerar condições para que as empresas possam decidir rapidamente perante oportunidades e ameaças, otimizando suas vantagens competitivas em relação ao ambiente concorrencial onde atuam, garantindo sua perpetuação no tempo”. (SANTOS; BARBOSA, 2007, p. 2)

Outra função principal do PCP é definir também o Plano-Mestre de produção, consiste no estabelecimento de um plano de médio prazo, para construir este plano o PCP recebe as famílias de produtos definidas pelo plano estratégico da produção e especifica itens finais que fazem parte da mesma, utilizando os roteiros de fabricação e a estrutura dos produtos definidos pela engenharia, conforme mostrado na Figura 9. Nunes (2009) relatou que o PMP executa tarefas de planejamento que vão do controle de estoque ao planejamento estratégico da empresa, além de ser responsável por coordenar vendas, produzir e transpor planos de médio prazo e detalhar decisões de curto prazo, considerando impactos nos recursos de produção que são críticos para a empresa.

Figura 9. Visão geral do planejamento-mestre da produção



Fonte: Adaptado de Tubino, 2009, p.52

Após definição do plano mestre, utiliza-o como entrada para o Planejamento das Necessidades de Material, nele são determinados quais os produtos que serão fabricados, quanto e quando, o sistema produtivo é então encarregado a assumir compromissos de fabricação e montagem dos bens ou serviços, e, de acordo com Tubino (2009), o PCP deve analisar o PMP quanto as necessidades de recursos produtivos afim de identificar problemas que inviabilizem a execução do plano a curto prazo, para que se possam ser tomadas as medidas preventivas necessárias. O PMP deve ser refeito até se tornar viável.

A programação consiste em estabelecer com maior eficiência, o sequenciamento adequado ou ideal das ordens de produção para minimizar e otimizar a utilização dos recursos. É o estabelecimento de prazos: início e fim de cada evento. O ato de controlar se dá no monitoramento do que foi planejado e programado, sendo possível fazer alterações necessárias para se adequar às necessidades de atendimento das metas organizacionais. (NUNES; MELO; NIGRO, 2009, p. 4)

A programação do que deve ser produzido, e a quantidade, é uma atividade de grande complexidade, especialmente em empresas onde existe uma variedade enorme de alternativas, bem como possíveis imprevistos. “Se o plano de produção providenciou os recursos necessários, e o PMP equacionou os gargalos, não deverão ocorrer problemas na execução do

programa de produção sequenciado. ” (TUBINO, 2009, p. 4) No caso de sistema empurrado, a empresa enviará ordens a todos os setores, em caso de sistema puxado, a empresa enviará apenas aos setores afetados.

Já o controle busca a execução dentro do prazo da programação de produção coletando dados nos pontos de controle, visando desta forma identificar qualquer problema, corrigindo-se antes que o mesmo venha a atrasar o cumprimento do programa de produção. “O acompanhamento e controle da produção normalmente está encarregado de coletar dados (índices de defeitos, horas/máquinas e horas/homens consumidas, consumo de materiais, índices de quebras de máquinas entre outros) para apoiar outros setores do sistema produtivo.” (TUBINO, 2009, p. 4)

2.4 PREVISÃO DE DEMANDA

Para gerir uma empresa que possui muitos fornecedores é preciso ter uma previsão do que será produzido no futuro para poder antecipar o pedido dos componentes, especialmente para o caso de fornecedores internacionais. A previsão da demanda ajuda a prever, de forma mais acurada, o que será produzido nos próximos meses. A demanda é a variável mais importante na definição de um sistema de produção, ela “é a base para o planejamento estratégico da produção, vendas, e finanças de qualquer empresa. ” (TUBINO, 2009, p. 15)

Para que esta previsão seja mais exata o possível é necessário conhecer os fatores que a influenciam, por exemplo, o clima é uma variável muito importante para frutas e influi diretamente no seu preço, logo na quantidade vendida. Quanto maior o número de informações coletadas sobre o histórico da demanda do produto, maior a confiabilidade do resultado. Existem duas abordagens principais nas literaturas, a abordagem quantitativa e a abordagem qualitativa. Para escolher uma técnica é preciso levar em conta que “técnicas que levam a uma acuracidade maior são, normalmente, mais caras na elaboração. Deve-se avaliar quanto se está disposto a gastar no modelo de previsão e quanto custa o erro decorrente de uma previsão inadequada. “ (TUBINO, 2009, p. 17)

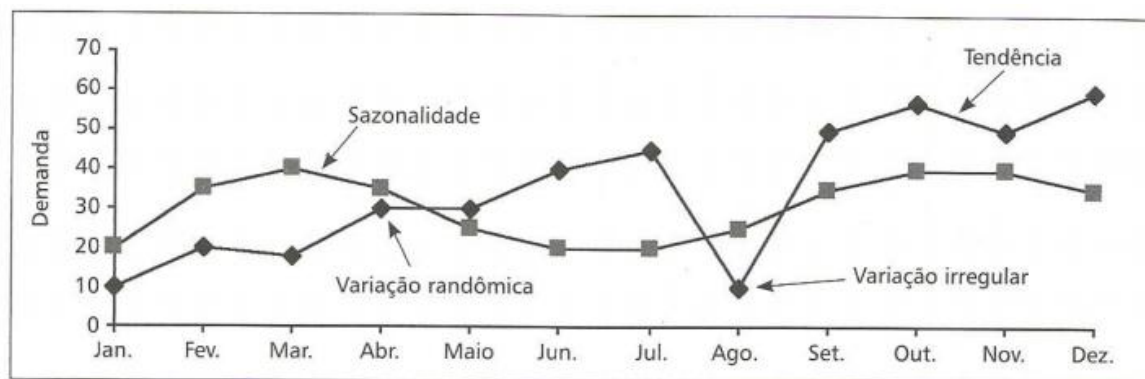
Os métodos qualitativos de previsão de demanda são gerados através de opiniões de especialistas, geralmente este método é o escolhido quando não se dispõe de dinheiro, tempo ou dados passados. Slack, Chambers e Johnston (2009) citaram três métodos qualitativos: abordagem de painel, método Delphi e planejamento de cenário. A abordagem de painel é

semelhante ao brainstorming, mas ao invés de ideias, os participantes expõem suas opiniões, afinal, a opinião de um grupo tende a ser mais confiável que a de uma única pessoa. O planejamento de cenário é semelhante a abordagem de painel, porém neste método os participantes tentam imaginar cenários futuros, e então procuram maneiras para evitar os cenários mais indesejados e alcançar os mais desejados. Já no método Delphi, um método mais formal, um formulário é enviado a vários especialistas do ramo, após a obtenção de suas respostas individuais, cada especialista recebe a resposta de todos os participantes e são convidados a reconsiderar suas respostas. Este processo pode ser repetido algumas vezes, até que ocorra uma convergência entre as opiniões.

Os métodos quantitativos também são conhecidos como previsões baseadas em séries temporais. São utilizados cálculos estatísticos baseados na demanda passada para prever a futura, desconsiderando qualquer outra influência. Este é o método mais simples e usual de previsão onde o comportamento passado (em função do tempo) da demanda é analisado, buscando projetar uma demanda futura. Geralmente a demanda temporal é dividida entre 5 padrões básicos, ilustrados na Figura 10 e descrito abaixo:

1. Horizontal: flutuação dos dados em torno de uma média constante;
2. Tendência: aumento ou diminuição sistemáticos na média das séries ao longo do tempo;
3. Sazonal: Um padrão repetido de aumentos ou diminuições da demanda, dependendo da hora do dia, da semana, mês ou da estação;
4. Cíclico: Aumentos ou diminuições graduais da demanda menos previsíveis em períodos mais longos de tempo (anos ou décadas);
5. Aleatório: uma variação da demanda que não pode ser prevista. (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004, p. 261)

Figura 10. Fatores que influenciam séries históricas



Fonte: Tubino, 2009, p.19

A sazonalidade geralmente é uma variação de curto prazo, como período de férias ou estação do ano, já a tendência é uma variação a longo prazo. Além destas ainda existem componentes randômicas. Os modelos mais comuns na abordagem quantitativa, segundo Tubino (2009), são: técnica para previsão da média (média móvel e média experimental média) e técnicas para ajustamento da tendência (equação linear para tendência e ajustamento exponencial para a tendência).

2.5 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

O conceito de linha de montagem, descrito por Askin, Standridge (1993), é a associação sequencial de um conjunto de estações de trabalho, interligadas por um fluxo contínuo de material, onde cada estação monta peças e sub-conjuntos afim de obter-se o produto acabado ao final da linha. Uma linha de montagem bem balanceada é composta de uma alta parcela de atividades que possuem valor agregado, ou seja, é uma linha eficiente com baixo índice de desperdício, e com a alta competitividade do mercado. O balanceamento de linhas é necessário para que os custos operacionais sejam mínimos, e para “ (...) reduzir as despesas operacionais relacionadas diretamente à produção, pois nivela os diferentes postos de trabalho encontrando uma configuração que proporcione um fluxo contínuo e que diminua as ociosidades tanto de pessoas como de equipamentos. “ (GORI, 2012, p. 2)

O balanceamento de linha é um método que busca nivelar o ritmo de todas as estações de trabalho, dividindo igualmente a carga de trabalho entre os operadores, uma linha desbalanceada gera postos com sobrecarga e outros com alto índice de ociosidade. “Uma

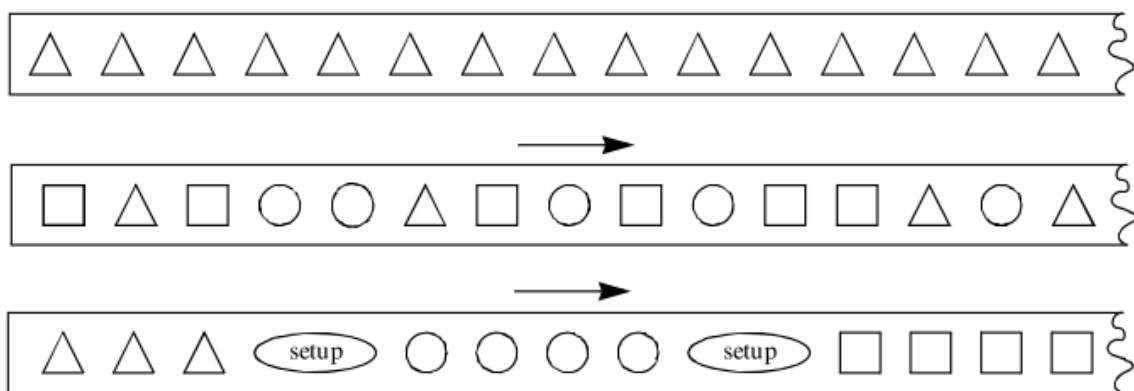
linha balanceada significa que cada estação de trabalho, produz de forma sincronizada e na quantidade adequada, gerando um fluxo constante e sem interrupções em todas as estações da linha” (ABDULLAH, 2003 apud GORI, 2012, p. 2).

Outra vantagem de uma linha bem balanceada é que ela “(...) deixa em evidência seu gargalo, que é o recurso cuja capacidade é menor ou igual à demanda colocada nele” (GOLDRATT; COX, 2014 apud WAGMANN; ARAÚJO, 2009, p.2).

2.5.1 Tipos de linhas de montagem

As linhas de montagem podem ser caracterizadas através de diversos parâmetros, “quanto ao número de produtos as linhas de produção podem ser classificadas em três tipos básicos (BECKER e SCHOLL, 2006; SMIDERLE; VITO e FRIES, 1997 apud BREGINSKI, 2013, p. 19):” Pode ser uma linha de produção simples, onde apenas um produto é produzido em massa, ela pode ser uma linha de produção mista, onde mais de um produto pode ser produzido em massa usando a mesma linha e o mesmo setup, ou ainda uma linha multi-modelo, onde se produz mais de um produto com setups diferentes, desta forma se produz em lotes para minimizar a ineficiência da linha. A Figura 11 exemplifica esses 3 tipos de linha, respectivamente.

Figura 11. Número de produtos em linhas de produção: simples, mista e multi-modelo, respectivamente



Fonte: (BECKER e SCHOLL, 2006 apud BREGINSKI, 2013, p. 19).

As linhas de montagem podem ser classificadas, de acordo com Boysen, Fliedner e Scholl (2008) apud Breginski (2013), através do movimento dos produtos como sendo uma

linha compassada, descompassada síncrona e descompassada assíncrona. Em uma linha compassada, a movimentação dos produtos através da linha é constante e simultânea, geralmente é realizado através de uma correia puxando a linha em uma determinada velocidade. A linha descompassada síncrona, diferentemente da linha compassada, essa não trabalha com uma velocidade constante, cada posto pode ter seu tempo, porém a hora de movimentar o produto para a próxima estação acontece de forma sincronizada, geralmente utilizando-se correia. Por fim na linha descompassada assíncrona não só a velocidade não é constante, como a passagem do produto entre estações é dessincronizada, assim que um posto termina seu trabalho, passa ele a próxima estação, sem necessidade da próxima estação já ter terminado seu trabalho.

Boysen, Fliedner e Scholl (2008) apud Breginski (2013) também classificaram as linhas de acordo com seu arranjo físico, podendo ser linhas em série, linhas em U, linhas paralelas, linhas de dois lados e estações paralelas. A linha em série é aquela em que uma estação vem após a outra, guiadas geralmente por uma correia, são as mais encontradas na indústria. As linhas em U possuem seu início e fim juntos, o que possibilita que os operadores trabalhem em dois segmentos da linha com maior facilidade. As linhas arranjadas em paralelo são duas linhas independentes, a falha de uma delas não interfere na outra, tornando-as mais confiáveis e flexíveis. A linha de dois lados é uma linha arranjada em série, porém trabalhada em paralelo, do lado esquerdo e direito, é largamente utilizada para montar produtos grandes. E por fim as estações em paralelo, são utilizadas geralmente em pontos onde existem gargalos, divide-se um posto em dois para diminuir o tempo de execução do posto.

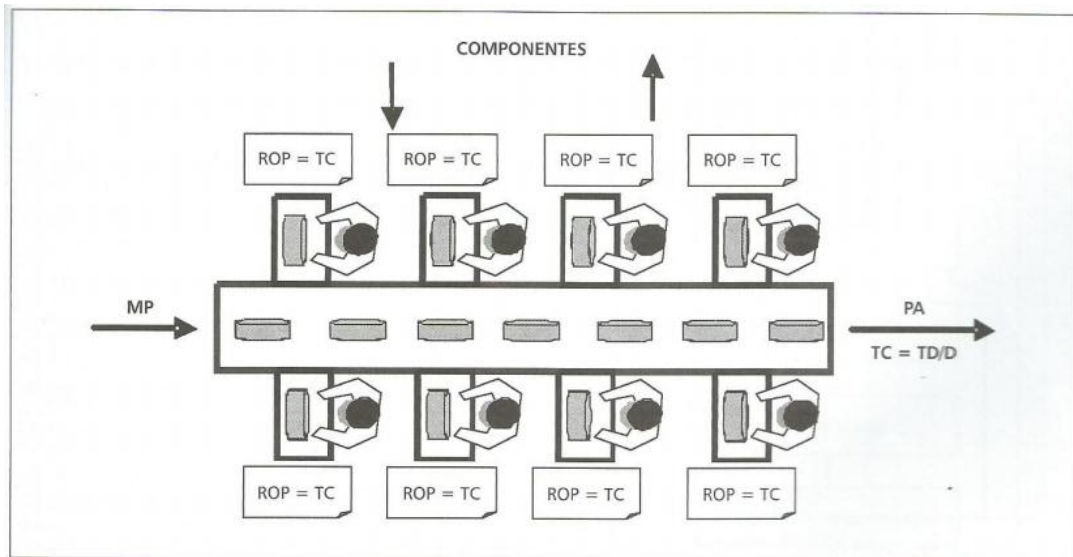
2.5.2 Tempos de montagem

Geralmente qualquer atividade realizada na linha de produção corresponde a um tempo ideal para realiza-la, desta forma a soma das atividades de cada estação de trabalho delimita o tempo de ciclo do mesmo, ilustrado na Figura 12, por isso existe a necessidade das operações serem padrões e possíveis de serem executadas por qualquer trabalhador.

Os montadores, colocados em postos de trabalhos, seguem um conjunto de operações-padrão necessário para montar o produto, chamado de rotina de operações-padrão (ROP), limitado a um tempo de ciclo (TC), de forma que a cada TC um produto acabado seja montado. Ao final do tempo disponível de

trabalho (TD), seguindo o ritmo de TC, uma quantidade de produtos acabados será finalizada para atender a demanda (D). (TUBINO, 2009, p. 103)

Figura 12. O balanceamento das Linhas de montagem



Fonte: Tubino, 2009, p. 103

Um dos tempos mais importantes para uma linha de montagem é o Takt time, Blati; Cordeiro; Kelenxy (2010) apud Wagmann e Araújo (2014) referencia *Takt time* como a relação entre o tempo disponível para fabricação de um determinado item e sua demanda, objetivando adequar a produção á demanda existente, conforme equação (1). Para Tapping (2002), o *takt time* é o ritmo da demanda, ou seja, é a taxa com a qual a empresa precisa produzir um produto para atender a demanda do cliente. Outro deles é a capacidade de produção, a capacidade geralmente é dada em unidades de produtos prontos em um período de tempo, que deve ser o tempo ciclo da operação gargalo.

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo de produção efetivo por turno}}{\text{demanda do cliente por turno}} \quad (1)$$

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{\text{Quantidade de produção}}{\text{Período de tempo}} \quad (2)$$

O tempo de ciclo, já citado por Tubino (2009) é definido por Gori (2012) apud Tapping (2002) como o tempo do início de uma operação até a operação ser completada, ou

seja, é o tempo de processamento de um produto. “O tempo de ciclo da operação mais lenta é igual à taxa de peças que é produzida pela linha, ou seja, a operação com maior tempo de ciclo da linha afeta diretamente a produtividade.” (MORTIMER, 2006 apud GORI, 2012, p. 3). “O tempo máximo permitido de cada estação de trabalho antes que a tarefa seja passada para estação seguinte, é definida como tempo de ciclo” (GRAEMI; PEINADO, 2007 apud WAGMANN; ARAÚDO, 2014, p. 2). O tempo de ciclo é então determinado através da divisão do *Takt Time* pelo número de operadores da etapa.

$$\text{Tempo de Ciclo} = \frac{\text{Takt Time}}{\text{Número de trabalhadores}} \quad (3)$$

E o número de estações necessárias é definido pela equação abaixo, onde o tempo individual de cada tarefa seria um tempo pre-determinado para qualquer atividade realizada.

$$\text{Número de estações de trabalho} = \frac{\sum \text{Tempos individuais das tarefas}}{\text{Tempo de Ciclo}} \quad (4)$$

Para Roter e Harris (2002) apud Gori (2012), se o tempo de ciclo for muito menor que o *takt time*, aumentam-se as chances de ocorrer excesso de produção, pois a linha está balanceada para produzir mais itens que o necessário para atender a demanda.

2.5.3 Rotinas de operações-padrão

As rotinas de operações-padrão (ROP) definem as atividades a serem realizadas em cada posto de trabalho, para isso é necessário conhecer a ferramenta matriz de polivalência que dá a visão de quais atividades cada operador domina. Isso explica a importância de ter-se trabalhadores polivalentes, ainda que sejam profissionais mais valorizados, para a formulação da ROP, quanto mais polivalente o grupo de trabalhadores, mais fácil para defini-las, determinar rodízios, entre outros.

Após determinado o TC e a ROP pode-se definir o número de estações de trabalho necessárias. “Por definição, a ROP é o conjunto de atividades que um posto de trabalho deve seguir dentro do TC planejado no sentido de executar a lista de operações para montar ou fabricar um item.” (TUBINO 2009, p. 107). O autor classifica as atividades como manuais, mecânicas e de deslocamento. As atividades manuais são aquelas que necessitam da presença

do trabalhador, como por exemplo, soldar duas peças, acionar uma máquina, entre outros. As atividades mecânicas não exigem a presença do operador, por exemplo, quando o robô está soldando duas peças. Já as atividades de deslocamento, são atividades que exigem movimentação, como por exemplo buscar a peça no estoque.

É necessário que as ROPs sejam documentadas, para que, independente troca de funcionário em um mesmo posto, a sequência de atividades será mantida. “Nesse documento junto ao chão de fábrica podem ser incluídas outras informações úteis como ponto de atenção de segurança, quantidade padrão de material permitido dentro do posto, ferramentas necessárias, entre outros.” (TUBINO, 2009, p. 109). Por último é necessário definir a quantidade de material que deve existir em cada estação de trabalho, e a quantidade que deve existir nos respectivos estoques.

2.5.4 Balanceamento de uma linha de montagem mista

Uma linha mista de produção, já definida anteriormente como uma linha que monta mais de um produto, pode ser descrita como “um arranjo produtivo formado por estações de trabalho geralmente distribuídas ao longo de um sistema de movimentação. O produto é lançado consecutivamente de estação em estação, sofrendo modificações até alcançar a última estação de montagem” (GERHARDT, 2005; BECKER; SCHOLL, 2006; KRIENGGORAKOT; PIANTHONG, 2007 apud REGINATO; ANZANELLO; KAHMANN, 2016, p. 295) a utilização de linhas mistas é importante pois “a flexibilidade em produzir produtos diferentes ou de responder rapidamente a uma mudança de volume de produção também é considerada uma vital vantagem competitiva.” (MEIRA, 2015, p. 23)

De acordo com Smiderle et al., 1997; Becker & Scholl, 2006 apud Reginato, Anzanello e Kahmann (2016) este tipo de linha é utilizado geralmente quando há similaridade dos processos para produzir variações de um produto com tempo de setup suficientemente baixo, desta forma, pode-se produzir produtos diferentes aleatoriamente, atendendo um tempo de ciclo planejado para a capacidade necessária. Apesar de procurar-se atingir um tempo de ciclo nivelado, os diferentes produtos impactarão em tempos de ciclo diferentes para uma mesma estação de trabalho, o que pode resultar em sobrecargas e ociosidades, dependendo do produto fabricado, podendo reduzir a eficiência da linha.

Os objetivos do balanceamento de uma linha mista são:

- (i) definir o tempo de ciclo;
- (ii) determinar o número de estações de trabalho;
- (iii) balancear a LM (linha mista);
- (iv) determinar a ordem de produção dos modelos. (REGINATO; ANZANELLO; KAHMANN, 2016, p. 295)

As principais vantagens desta aplicação são:

- i) permite um fluxo contínuo de cada produto ou modelo;
- ii) reduz inventário de produtos e peças;
- iii) elimina a necessidade de mudanças de configurações e setup da linha e permite uma grande flexibilidade na produção. (RAO, 1971 apud MEIRA, 2015, p. 25)

Boysen, Fliedner e Scholl (2006) citaram que mesmo com o avanço dos sistemas produtivos e sua versatilidade, ainda assim para que uma linha produza mais de um produto é necessário que estes produtos necessitem de processos homogêneos, consequência de produtos similares, com variações tão pequenas que podem ser consideradas apenas como “opcionais” de um produto principal. O autor Boysen, Fliedner e Scholl (2006) concorda com Askin & Standridle (1993) e acrescenta ainda que o sistema de produção mista pode ser muito eficiente, desde que o processo seja robusto e que não haja variações acima de 30% nos tempos de ciclo das estações de trabalho.

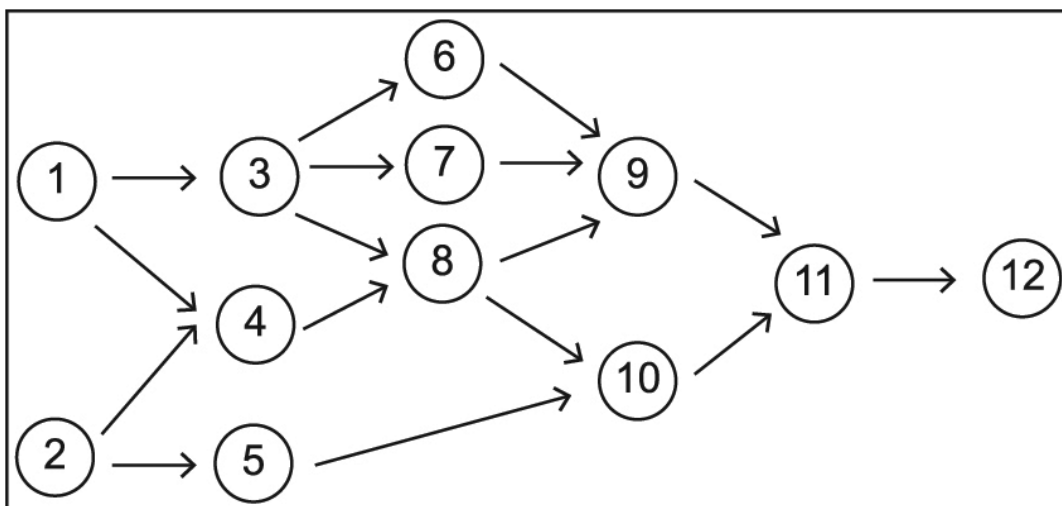
Se o produto que exige um maior tempo de montagem for montado mais de uma vez consecutiva, o tempo de ciclo excederá, necessitando de uma ação para amortizar este caso específico, como montar o produto com menor tempo de montagem sempre após montar o produto mais demorado, este seria o caso de introduzir restrições a linha, que não é uma solução ideal por limitar a produção. De outra forma, o balanceamento da linha mista tem a intenção de garantir um tempo de ciclo constante nas estações, para isso seria necessário nivelar a linha pelo gargalo, tornando o tempo de ciclo alto, ou ainda, de acordo com Reginato, Anzanello e Kahmann (2016), caso o produto gargalo possua uma demanda baixa, é possível estimar o tempo de ciclo adicionando pesos aos diferentes produtos.

Para executar o balanceamento de uma linha é necessário trabalhar com o diagrama de precedência, neste diagrama é ilustrada a ordem de execução das atividades considerando as restrições das estações de trabalho e do produto. Nesta ferramenta são demonstrados os diferentes tempos de processamento do mix (quantidade de cada produto a ser montado), considerando a frequência com que ele é montado e gerando um gráfico similar ao mostrado

na Figura 13. Segundo Reginato, Anzanello e Kahmann (2016) este gráfico mostra que as tarefas que são executadas de maneira similar para diferentes modelos devem ser realizadas na mesma estação de trabalho, porque geralmente utilizam os mesmos recursos, porém é necessário avaliar os ganhos de mantê-los no mesmo posto, por vezes compensa comprar múltiplas ferramentas e dividir as tarefas em outras estações de trabalho.

Em alguns casos não é viável utilizar o gráfico de precedência para fazer o balanceamento de uma linha mista, o autor Röder and Tibken (2006) apud Reginato, Anzanello e Kahmann (2016) exemplifica uma montadora que produz veículos similares porém com pequenas diferenças, que quando somadas, resultam em 227 diferentes modelos. Fazer um modelo de precedência se torna impossível para esse caso, ao menos que estes modelos sejam agrupados em um número reduzido, considerando apenas os mais sensíveis ao processo.

Figura 13. Exemplo de diagrama de precedência



Fonte: Adaptado de Becker & Scholl (2006) apud Reginato, Anzanello e Kahmann (2016)

A Figura 13 mostra um diagrama de precedência, onde os números são tarefas e as flechas a relação de precedência. Para calcular o tempo de ciclo de cada posto é necessário estimar o tempo para cada atividade realizada nele. Por exemplo, Reginato, Anzanello e Kahmann (2016) afirma que para balancear uma linha utilizando o método dos pesos posicionais (RPW – Rank positional Weight) cada tarefa do diagrama possui um peso que é a soma do tempo da tarefa com o tempo das tarefas anteriores, posteriormente é necessário

organizar os pesos em ordem decrescente e atribuir as tarefas aos postos baseando-se na ordem do peso posicional e respeitando-se as restrições de precedência.

Uma linha deve ser balanceada quando está sendo projetada pela primeira vez, porém na maioria dos problemas de balanceamentos a linha já existe e precisa ser reconfigurada para atender algum tipo de variação do processo. De acordo com Boysen, Flidner e Scholl (2006) os problemas de re-balanceamento são muito frequentes, reconfigurar uma linha é necessário quando existe aumento/redução de cadência, introdução/remoção de produtos, redução de número de estações de trabalho, ou quando notar-se que a linha está mal balanceada precisando-se nivelar as atividades dos postos de trabalho. No caso de reconfigurar uma linha, o tempo de ciclo pode ser baseado na capacidade demandada pelo mercado, tendo-se em mãos os dados de vendas já existentes.

Depois de determinar o arranjo e número de estações de trabalho, é necessário analisar se será possível mover o maquinário, que possivelmente é uma atividade trabalhosa, pode ser que o balanceamento tenha que considerar que os maquinários/dispositivos precisem se manter nos postos que estão, ou analisar o espaço de cada estação e verificar se ela comportará o maquinário a ela designado.

Além disso é necessário avaliar a realocação dos operadores nas estações e considerar o custo de um novo treinamento para tais, por este motivo, a reconfiguração da linha deve manter-se o mais semelhante possível à configuração anterior, para evitar gastos em movimentações de maquinários e treinamento de trabalhadores.

2.6 ANÁLISE DE VALOR

Durante o projeto de um processo produtivo, é previamente estabelecido o tempo de cada operação, de cada posto de trabalho, da linha inteira, para cada mix. Porém nem sempre este tempo será o real, “esses fatores estão relacionados à existência de gargalos, ineficiência operacional, fornecimentos de insumos, dentre outros; que acarretam em transtornos no decorrer do fluxo produtivo. Ao final do fluxo produtivo, o somatório das perdas causadas por estes fatores, pode acarretar na demora de entrega do produto final ao cliente. ” (CHRISTOPHER, 1997 apud BRAGA, 2008, p. 31).

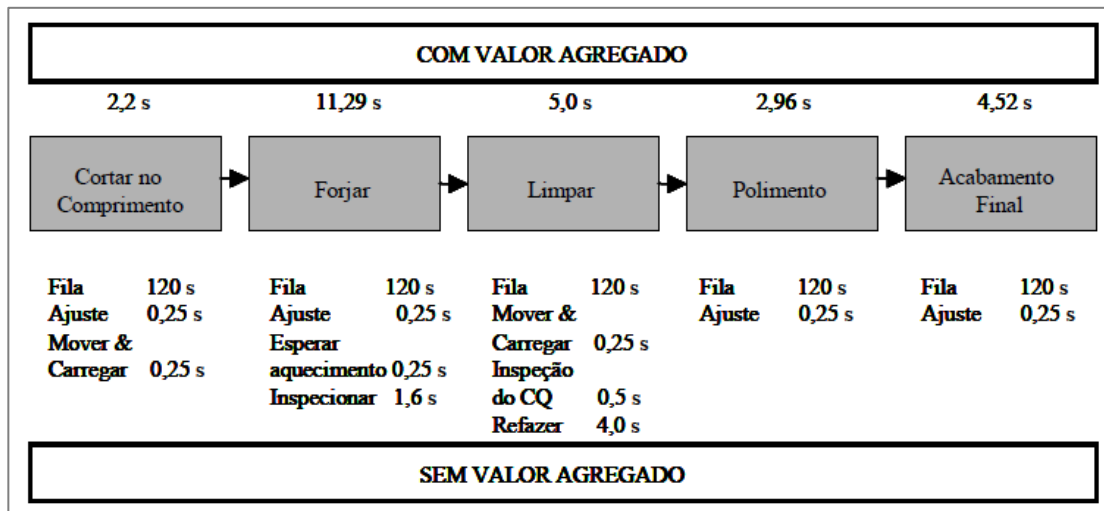
A análise de valor é uma técnica que procura classificar todas as atividades entre atividades que agregam valor e que não agregam valor, esta avaliação é realizada do ponto de

vista do cliente, seja ele interno ou externo. O objetivo da análise de valor é reduzir os 8 desperdícios da manufatura enxuta introduzidos anteriormente. As atividades são classificadas em grupos de acordo a sua organização:

- Atividades que agregam valor: são atividades que, aos olhos do consumidor final, agregam valor ao produto ou serviço. Ou seja, atividades pelas quais o consumidor ficaria feliz em pagar por elas.
- Atividades desnecessárias que não agregam valor: são atividades que, aos olhos do consumidor final, não agregam valor ao produto ou serviço e que são desnecessárias em qualquer circunstância. Estas atividades são nitidamente desperdícios e devem ser eliminadas a curto e médio prazo.
- Atividades necessárias que não agregam valor: são atividades que, aos olhos do consumidor final, não agregam valor ao produto ou serviço, mas que são necessárias. Trata-se de desperdícios difíceis de serem eliminados em curto prazo, e que, portanto, necessitam de um tratamento em longo prazo, ao menos que sejam submetidos a um processo de transformação radical. (HINES & TAYLOR, 2000 apud NAZARENO; RENTES; SILVA, 2001, p. 5 e MENEGON; NAZARENO; RENTES, 2003, p. 4)

Hines & Taylor (2000) apud Nazareno, Rentes e Silva (2001) ainda mostram que na indústria cerca de 5% das atividades agregam valor, 60% das atividades não agregam valor e 35% das atividades não agregam valor, mas são necessárias, um exemplo é mostrado na Figura 14. Por exemplo, segundo Laugeni e Martins (2005), uma atividade de inspeção de qualidade pode parecer uma atividade necessária do ponto de vista da empresa, porém não é uma atividade que o cliente estaria disposto a remunerar. Para o cliente a qualidade do produto já deve ter sido garantida na produção do mesmo, não necessitando pagar mais para inspeções e retrabalhos. Desta forma, se torna importante que as atividades que não agregam valor do ponto de vista lean, sejam minimizadas ao máximo, uma vez que a empresa não está sendo remunerada por tais.

Figura 14. Identificação de atividades e tempos (fictícios) de ciclo



Fonte: Adaptado de Ostrenga, 1993 apud Nazareno, Rentes e Silva, 2001

2.6.1 Mapeamento do fluxo de valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor (Value Stream Mapping), largamente utilizada na indústria, é uma ferramenta que constrói os cenários de manufatura, mapeando o fluxo de valor de todas as atividades relacionadas a produção de um determinado produto, desde a compra da matéria prima até que o produto esteja acabado. Este método, criado por Mike Rother e John Shook (ROTHER & SHOOK, 1998 apud Nazareno, Rentes e Silva, 2001), é um método de baixo custo, utiliza somente papel e lápis, nele se constrói todo o fluxo de informações de material através de uma cadeia de produção de um fluxo contínuo, ajuda na comparação entre a situação atual e a situação desejada, concentra-se na redução do lead time, definido como tempo total que o produto permanece na linha de produção, dos sistemas através da minimização dos desperdícios, como por exemplo, os elevados tempos de espera entre uma atividade e outra. É necessário produzir apenas o necessário para que todo o processo se torne puxado pelo cliente, quando o cliente desejar.

O Mapeamento do Fluxo de Valor (Value Stream Mapping) é uma ferramenta essencial, pois: ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais. Você pode enxergar o fluxo; ajuda a identificar mais do que os desperdícios. Mapear ajuda a identificar as fontes do desperdício; fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura; torna as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo que você possa discuti-las; junta conceitos e técnicas enxutas, que ajuda a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente; forma a base para um plano de implementação; e mostra a

relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. ROTHER&SHOOK (1998) apud (NAZARENO; RENTES; SILVA, 2001, p. 3)

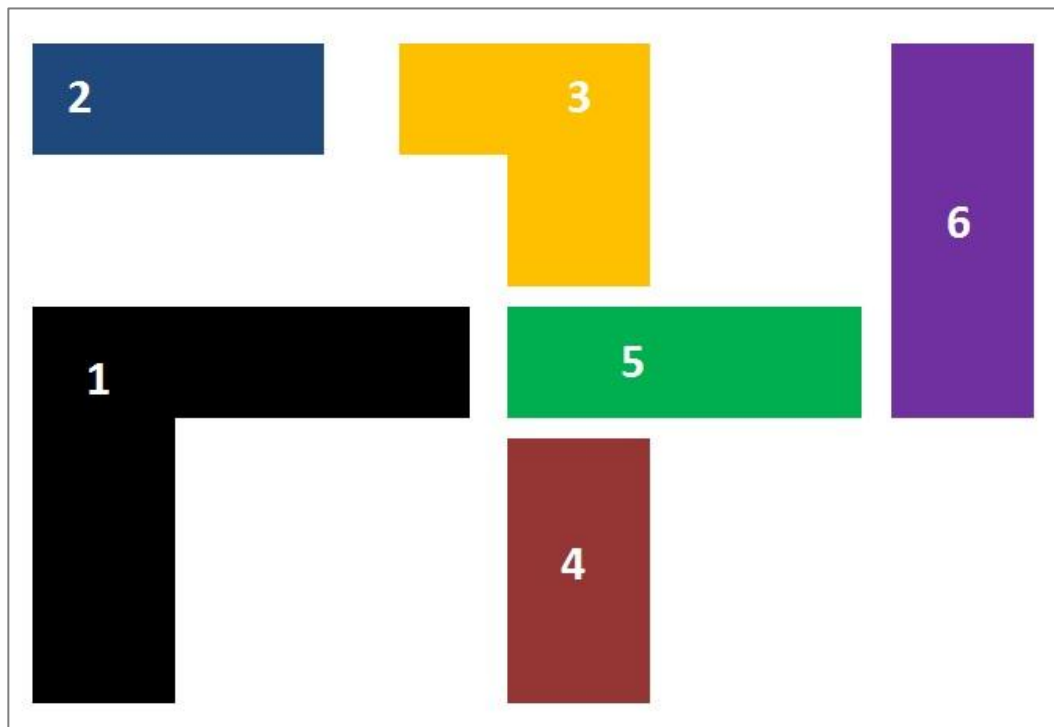
Na análise de valor é necessário mensurar o tempo de cada atividade separadamente e, de acordo com Wagmann e Araújo (2014) apud Laugeni e Martins (2005), são influenciados pelo tipo de fluxo a que são submetidos, quando o processo é automatizado o tempo de ciclo dificilmente varia, já quando existe intervenções humanas, a medição deste tempo se torna mais complicada, e a dispersão entre as medições aumenta. É necessário fazer essa análise baseando-se em um profissional capaz, sabendo que existe um tempo para que um profissional atinja esse desempenho padrão.

3 ESTUDO DE CASO

O caso em estudo contextualiza-se em uma fábrica de produção empurrada que produz 48 veículos utilitários por turno por dia, no departamento de carroceria, composto por 6 linhas principais, conforme Figura 15 e descrição abaixo:

- a linha 1 monta o assoalho principal do veículo;
- a linha 2 monta as partes móveis do veículo (portas dianteiras, porta corrediça, porta traseira e capô);
- a linha 3 monta a lateral direita do veículo e a 4 monta a lateral esquerda;
- a linha 5 forma a estrutura principal do veículo através da união do piso principal, das laterais e das travessas do teto que dão a forma de estrutura principal (main frame);
- na linha 6, ocorre o fechamento do teto e terminação dos pontos de solda por robô que finalizam a rigidez da estrutura principal do veículo.

Figura 15. Layout representativo do setor de carroceria da fábrica estudada

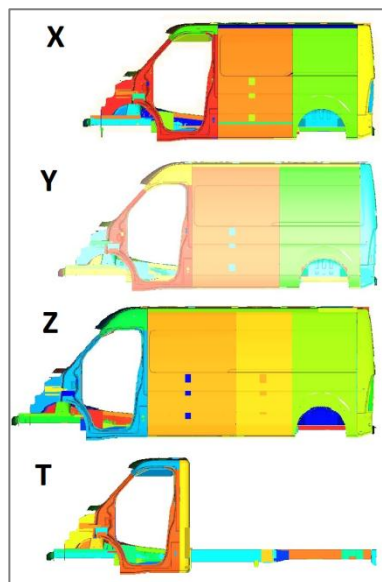


Fonte: A autora

Este trabalho tem o objetivo de reduzir o tempo de ciclo nas linhas que montam as laterais dos veículos, as linhas laterais esquerda e direita são basicamente iguais, com pequenas diferenças, como o caso da porta corrediça que existe apenas na lateral direita, além de serem contrárias umas a outra, uma da esquerda para a direita, e a outra o contrário. Neste trabalho o foco será apenas na lateral esquerda que atualmente é a mais crítica.

Quatro modelos principais são montados nesta fábrica, eles são classificados conforme sua altura e comprimento, podendo ser X, Y, Z ou T, ilustrados na Figura 16. Onde X e T tem uma altura igual e inferior a altura de Y e Z, que também possuem a mesma altura. O comprimento dos veículos são diferentes, onde $X < Y < Z$, e T é o veículo chassis cabine. No total existem até nove diversidades de produtos sensíveis ao processo.

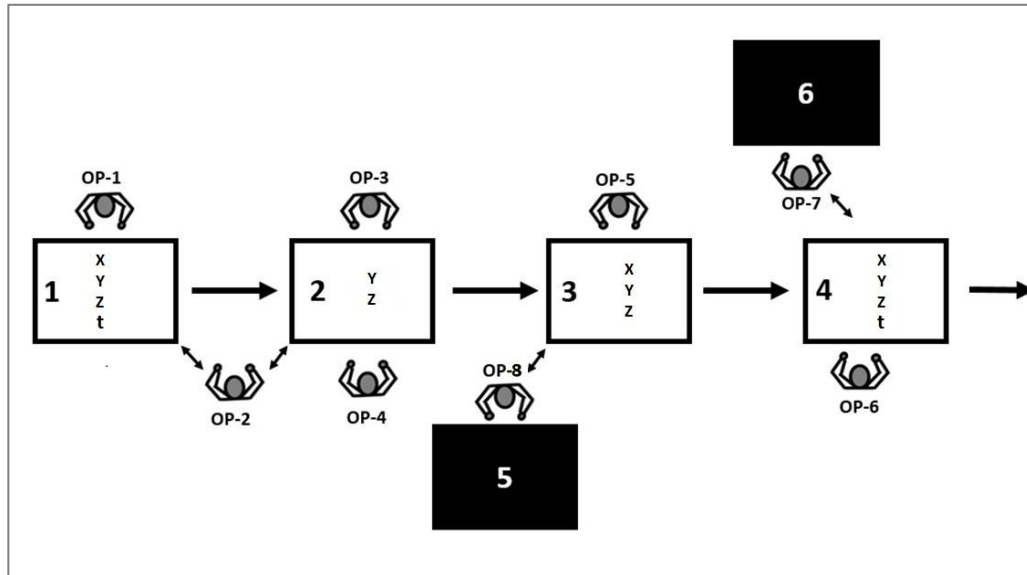
Figura 16. Modelos fabricados



Fonte: Empresa W

A lateral esquerda é composta por 4 estações de trabalho, estações 1, 2, 3 e 4, e mais duas estações de preparação de sub-montagens, as estações 5 e 6, que serão utilizadas na linha lateral, conforme Figura 17. Na lateral esquerda trabalham oito operadores, alguns engajados em mais de um posto de trabalho, conforme o modelo de produto que estiver sendo montado.

Figura 17. Linha lateral esquerda



Fonte: A autora

As peças que são montadas em cada posto são mostradas na Figura 18, nesta Figura estão as peças do modelo Y, porém os outros modelos seguem a mesma lógica. Uma informação importante é que a montagem que é realizada no posto 2 para os modelos Y e Z, é a mesma realizada no posto 1 para o modelo X, isto acontece devido a complexidade de um gabarito único que comporte os três modelos.

Figura 18. Peças montadas por posto

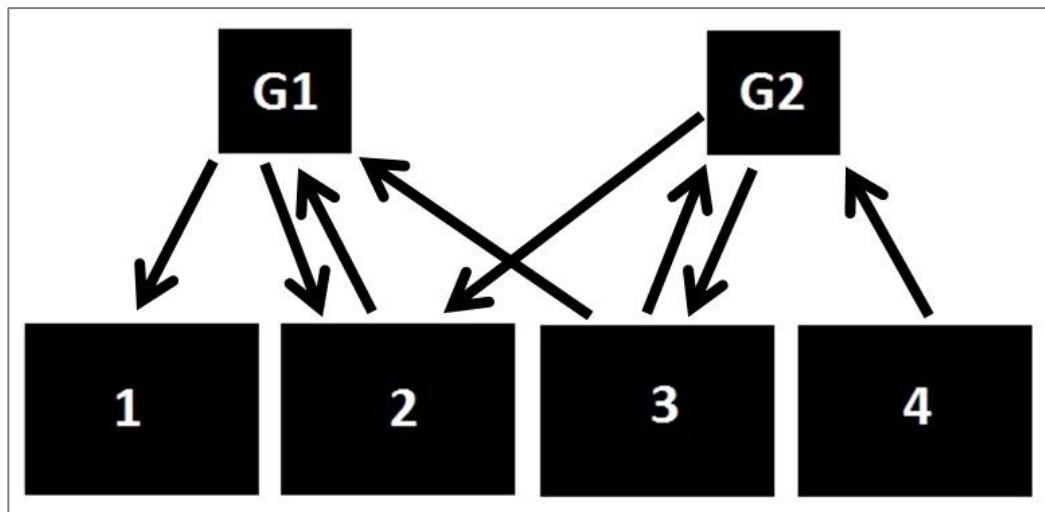
Posto	Montagem	Nº de Peças		Nº de Pontos de Solda	
1		10	21	96	126
2		18		278	
3		12		194	
4		13		163	

Fonte: Empresa W

O transporte das pré-montagens de um posto de trabalho para o outro é feito através de dispositivos suspensos do tipo gripper, para o transporte entre todos os postos da linha em questão existem 2 grippers disponíveis, estes grippers são guiados pelos condutores através de controles wireless, porém o condutor precisa caminhar junto com o dispositivo para entregá-lo no próximo posto de trabalho. Este transporte é realizado da seguinte forma (Figura 19):

- por utilizarem o mesmo trilho, um gripper nunca pode ultrapassar o outro;
- para retirar a pré-montagem do posto 1 é utilizado o gripper1 para os modelos X, Y e Z. Para o modelo T um operador retira manualmente e leva a pré-montagem até o posto 4;
- para retirar qualquer pré-montagem do posto 2 pode ser utilizado qualquer um dos dois grippers;
- para retirar qualquer pré-montagem do posto 3 é utilizado o gripper2;
- a retirada da peça do posto 4 é realizada pelo operador do posto 4 utilizando uma assistência.

Figura 19. Transporte das pré-montagens de cada posto através de grippers



Fonte: A autora

O takt time da fábrica para 48 veículos em um turno de 460 minutos é de 9,4 minutos, e o tempo de ciclo é de 8,5 minutos, essa diferença no resultado se deve a perdas existentes por rendimento operacional, ensaios destrutivos de pontos de solda para verificar qualidade das mesmas, fabricação de peças para abastecer as concessionárias e falta de peças.

3.1 SITUAÇÃO ATUAL DA LINHA LATERAL ESQUEDA

A linha que monta a lateral esquerda possui estoques de peças na borda de linha, estes estoques não são planejados conforme a programação da produção, ou seja, existe um estoque para cada peça que será montada na estação de trabalho, resultando em um tempo alto de deslocamento e em uma borda de linha bastante “poluída”. O funcionamento da linha acontece da seguinte forma:

- no posto 1 o operador 1 monta o enquadramento do veículo para todos os modelos, e para o modelo X ele monta além do enquadramento, os painéis laterais e colunas que geralmente seriam montados no segundo posto. Então, somente quando um veículo X é montado no posto 1, o operador 2 passa a trabalhar no posto 1.
- No posto 2 geralmente trabalham os operadores 2, 3 e 4, este posto monta somente modelos Y e Z, ou seja, quando passa um veículo X ou um T pela linha, este posto fica parado.
- No posto 3 trabalha o operador 8, neste posto são montadas peças dos veículos X, Y e Z, e o operador 4 que trabalha na preparação de peças do posto 5 monta uma peça no posto 3 e depois retorna para o posto 5. Como no caso anterior, quando um veículo T está sendo montado, este posto fica parado.
- No posto 4 trabalha o operador 6, este posto monta peças de todos os modelos, e o operador 7 que trabalha na preparação do posto 6 monta algumas peças neste posto e depois retorna para seu posto de origem.

O funcionamento descrito anteriormente deixa claro que o mix de produção tem impacto muito grande no tempo de ciclo dos postos das laterais, para que esses impactos sejam minimizados, não só nesta linha mas em toda a fábrica, existem algumas restrições na programação da produção, são elas:

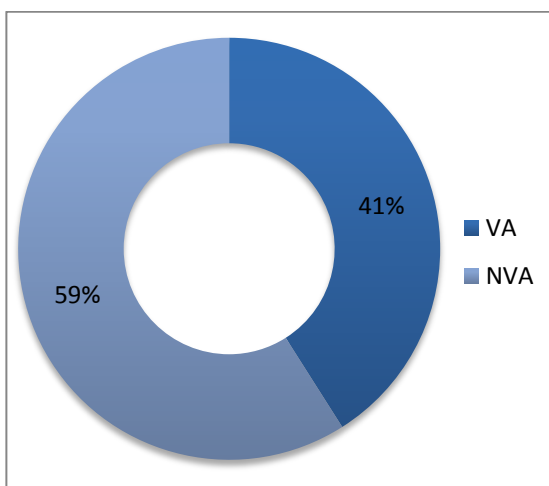
- Produção diária máxima de veículos X não pode ultrapassar 25%, esta restrição existe somente devido as linhas laterais;
- Produção diária máxima de veículos T não pode ultrapassar 66,6%, restrição dada pela quantidade de peças inferior deste modelo, deixando muitos postos ociosos quando é montado.

3.2 SITUAÇÃO VALOR AGREGADO/NÃO AGREGADO

Uma ferramenta largamente utilizada na empresa é a análise de valor agregado (VA) e não valor agregado (NVA), esta análise consiste em enumerar os operadores de uma linha de produção, observar aleatoriamente a atividade que cada um está desempenhando e anotá-la em uma folha padrão que é utilizada. Esta folha padrão é uma Tabela com o nome das atividades na horizontal e o número do operador na vertical, as atividades são divididas em atividades que agregam valor (aplicar (mastic/adesivos), soldar, fixar e aprovisionar/montar/retirar) e atividades que não agregam valor (limpar, retocar (lixar/polir/martelar), atividades manuais, deslocamento, leitura/controle, atividade logística, inatividade/espera/parada, ferramentas de pintura).

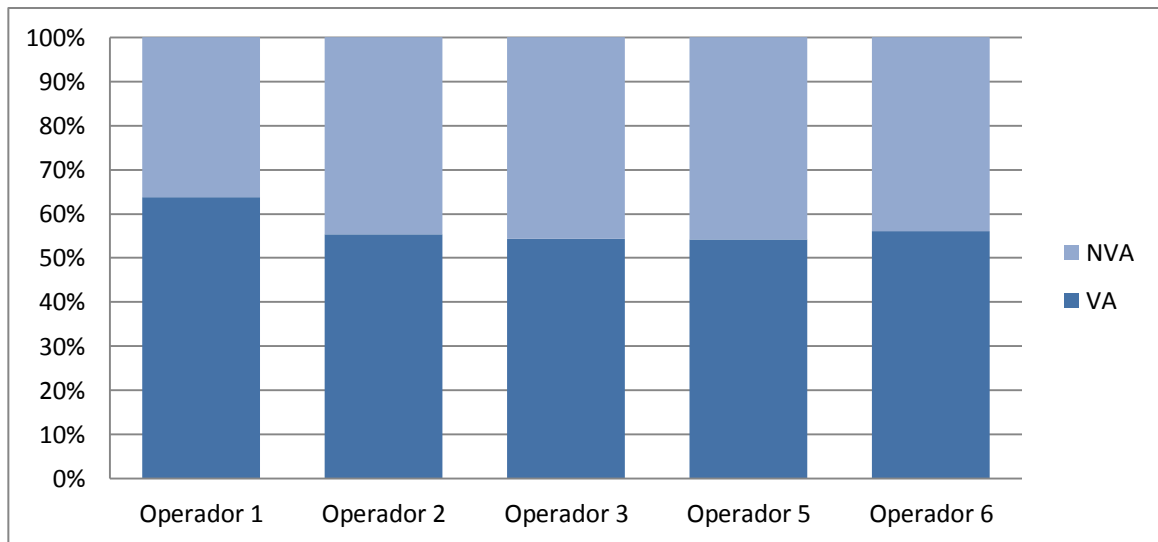
Existe um método empregado pela Sistema de produção da empresa W, que realiza a análise das perdas por NVA. Essa análise é realizada por um grupo de pessoas (entre 5 ou mais), e durante a análise é preciso coletar no mínimo 200 amostras para poder usá-la como uma fonte de informação que se aproxima da situação real. O média de valor agregado e valor não agregado da linha lateral esquerda é ilustrado na Figura 20, o resultado de valor agregado para cada operador da linha principal lateral esquerda é ilustrado na Figura 21, e o resultado geral das atividades realizadas realizadas por posto é ilustrado na Figura 22.

Figura 20. Valor agregado (VA) e valor não agregado (NVA) da linha lateral esquerda



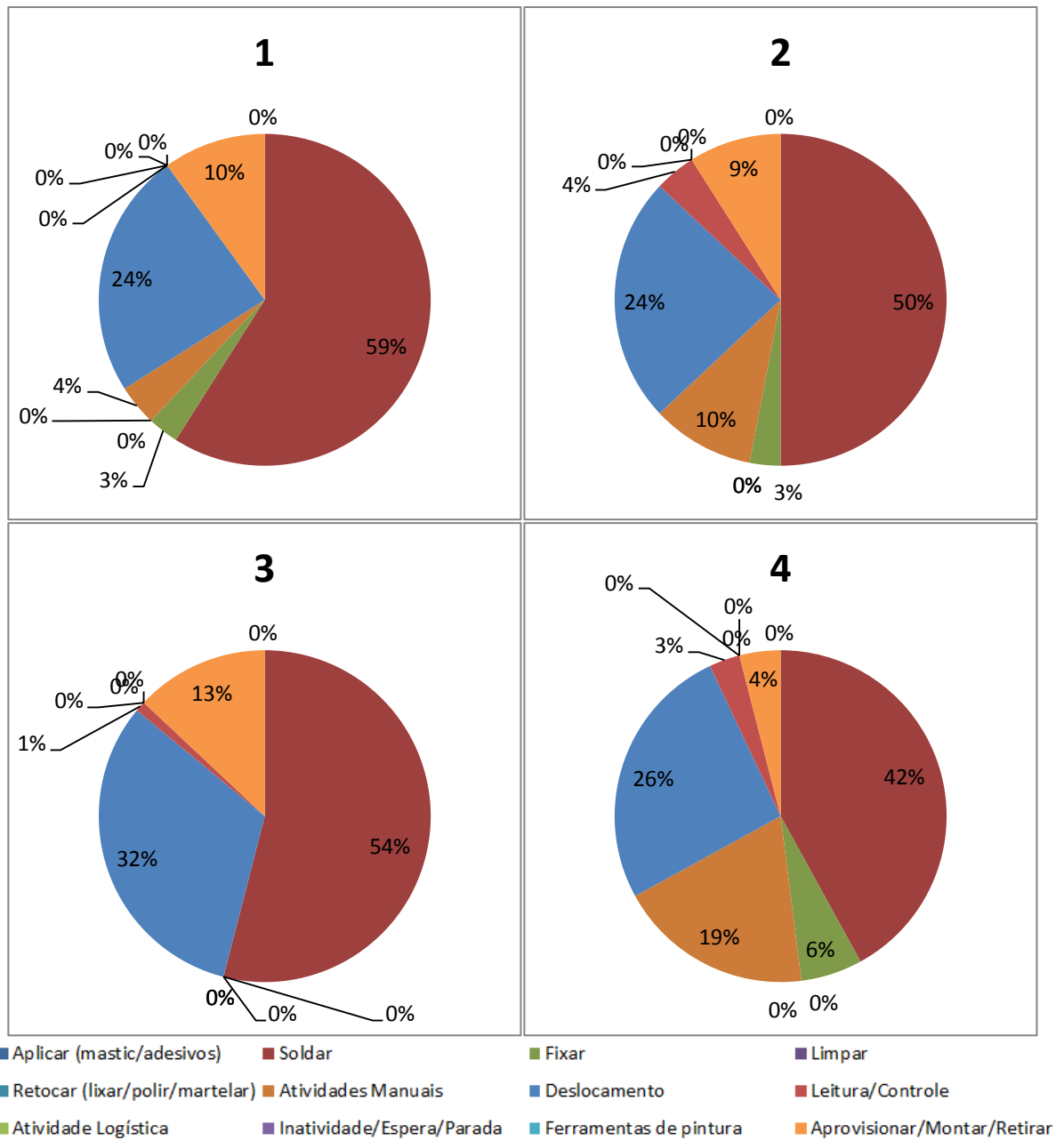
Fonte: Empresa W

Figura 21. Valor agregado (VA) e valor não agregado (NVA) por operador



Fonte: Empresa W

Figura 22. Porcentagem de atividades por estação de trabalho



Fonte: Empresa W

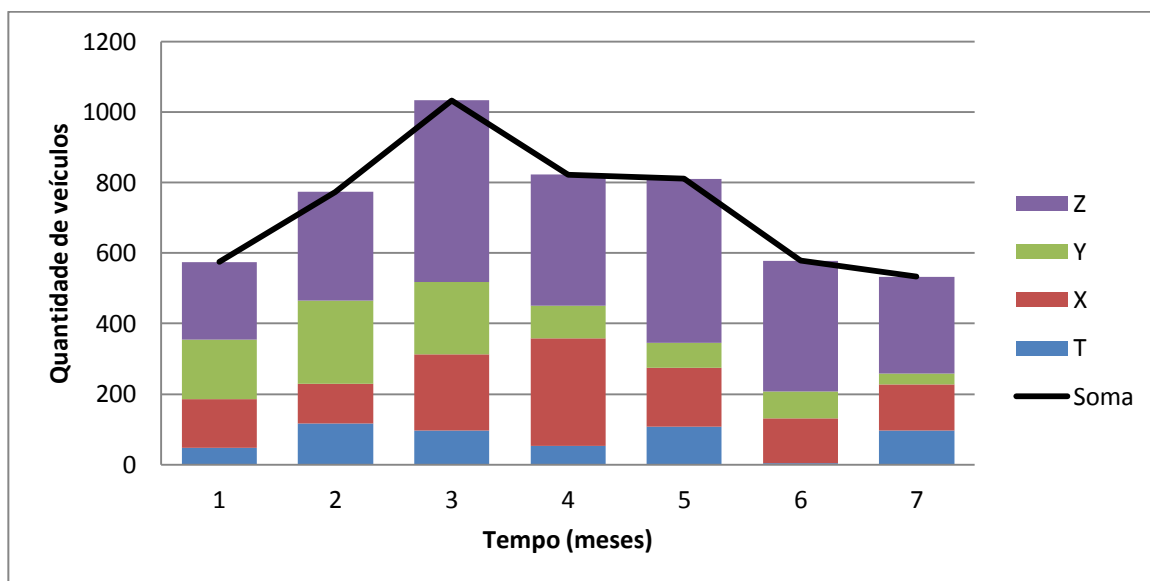
Como observado nos gráficos da Figura 22, grande parcela das atividades realizadas nesta linha são de valor não agregado, onde a principal delas é a atividade de deslocamento, que varia de 24% a 32%.

3.3 DEMANDA DA PRODUÇÃO

A programação da produção da fábrica é gerada através da soma dos pedidos/encomenda dos clientes, a produção diária é programada para os próximos dois meses, o sequenciamento, que inclui o horário da produção do produto, é programado para os próximos 5 dias. Além disso, pelo fato de a fábrica possuir muitos fornecedores internacionais, existe a previsão da demanda que engloba os próximos 6 meses de produção, ela é utilizada principalmente para que os fornecedores internacionais possam planejar o material que deverá ser entregue.

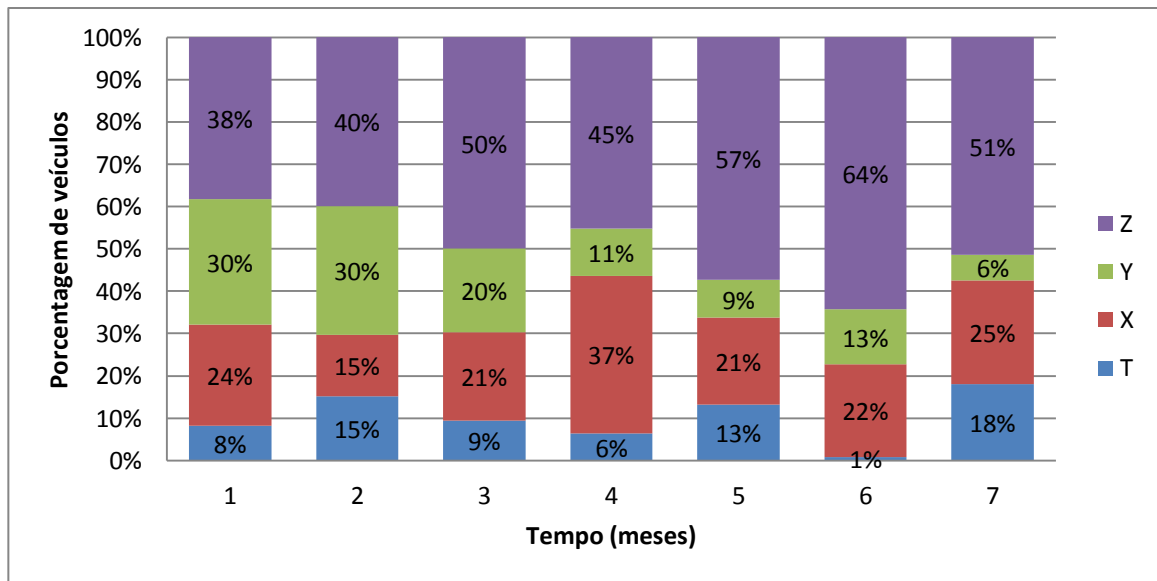
Por se tratar de um segmento de veículos utilitários, como apresentado por Meira (2015), a variação da demanda para este caso é inerente ao segmento, resultado das variações de vendas e, principalmente de fechamento de contrato para fornecimento de um número alto de veículos de frota, gerando grandes variações de mix de produção. A Figura 23 mostra o número de veículos de modelo fabricados em um período de tempo e na Figura 24 mostra a porcentagem de veículos produzidos neste mesmo período analisado. A variação da produção total é resultado de mudanças de programações para adaptar-se a mudança no volume de veículos fabricados. Sempre buscando o melhor nivelamento da produção dentro da restrição de capacidade da fábrica e prazos de entregas dos produtos.

Figura 23. Número de veículos de cada modelo fabricados no período analisado



Fonte: A autora

Figura 24. Porcentagem de veículos fabricados de cada modelo no período analisado



Fonte: A autora

O resultado mostra claramente a inconstância do mix fabricado, desta forma o ideal é a linha estar preparada para produzir qualquer sequência de modelos.

3.4 SIMULAÇÃO DA LINHA DE LATERAIS

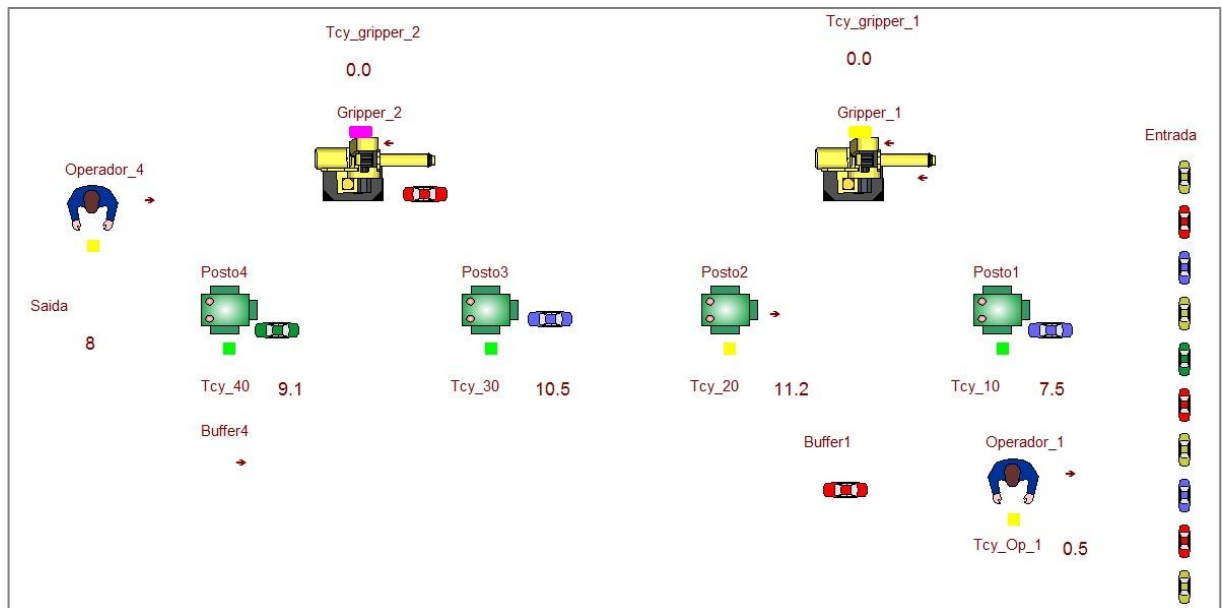
Para se visualizar o problema de uma forma mais clara, simulou-se a condição atual da linha lateral esquerda utilizando o software de manufatura @WITNESS. Nele foram inseridos os dados de entrada indicados na Tabela 1, os dados chamados de teóricos foram obtidos cronometrando-se uma amostra por modelo por posto, e a sequência de veículos utilizada na simulação é a sequência real de 3 dias de produção da fábrica, o display da simulação é ilustrado na Figura 25.

Tabela 1. Tempos teóricos (em minutos) dos postos de trabalho e dos transportes através de grippers ou operadores.

	1	2	3	4	Gripper 1	Gripper 2	Operador 4	Operador 1
X	16,15		9	7	1,5	1	1,1	
Y	7,5	9	9	7,5	1	1	1,1	0,5
Z	7,5	11	9,5	7,5	1	1	1,1	0,5
T	7,5			8			1,1	1

Fonte: A autora

Figura 25. Display simulação Witness



Fonte: A autora

Como pode ser observado, a simulação contém os quatro modelos de veículos que foram representados por cores diferentes, os dois grippers citados, os quatro postos principais da linha de montagem da lateral esquerda do veículo. Além disso ficaram aparentes dois operadores desta linha, um deles é o operador 1 do posto 1 que depois de terminar a montagem dos modelos Y e Z leva as peças até o Buffer 1, e depois de terminar a montagem do modelo T leva a peça no Buffer 4 que fica no Posto 4. Já o operador 4 está representado pois é ele quem retira a lateral esquerda do veículo utilizando uma assistência e um suporte onde a lateral é acomodada. Por fim existe a entrada, que representa os próximos veículos que entrarão na linha, e a saída que conta quantos veículos saíram dela.

Comparando-se o tempo obtido na simulação e os tempos teóricos apresentados na Tabela 1, foram gerados os gráficos mostrados nas Figuras 26, 27, 28, 29 e 30. Pode ser verificado que, no geral, o tempo de espera é alto e varia bastante dependendo do *mix*. Nestas simulações o tempo de gripper foi setado como zero, e o tempo em que o veículo deveria estar nele foi dividido entre os postos de trabalho porque é o operador do posto de trabalho quem retira a montagem utilizando o gripper, e o operador do posto seguinte que busca a montagem,

então foi dividido igualmente o tempo para a movimentação entre as estações, resultando nos tempos indicados na Tabela 2.

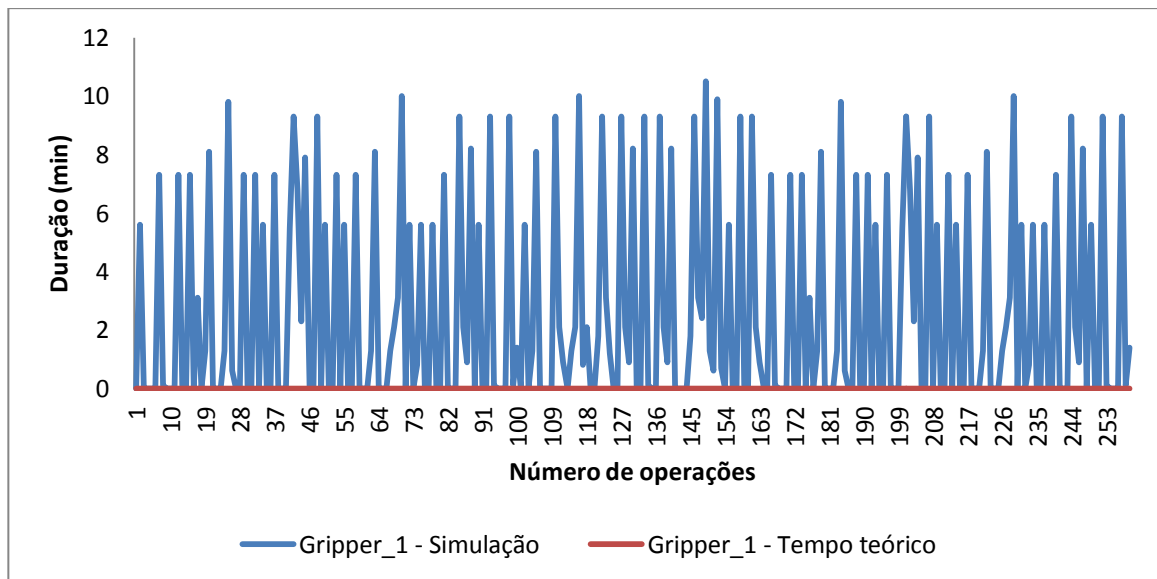
Tabela 2. Tempos utilizados na simulação

	1	2	3	4
X	16,55		10	8,6
Y	7,5	9,2	10	9,1
Z	7,5	11,2	10,5	9,1
T	7,5			9,1

Fonte: A autora

A Figura 26 mostra o tempo, obtido através de simulação, que o Gripper 1 transporta as pré-montagens de uma estação a outra, ele se torna um buffer de uma peça uma vez que o posto que utilizou o gripper 1 para esvaziar sua estação de trabalho pode reiniciar sua operação, porém ele precisa entregar essa montagem para poder receber outra. O Gripper 1 movimenta a montagem do modelo X do posto 1 até o 3, teoricamente em um minuto e meio, e movimenta as montagens dos modelos Y e Z do posto 2 até o posto 3, em um minuto. Como pode ser observado frequentemente ele avança o tempo proposto, isto acontece pois o posto de destino da montagem, para estes casos, está ocupado.

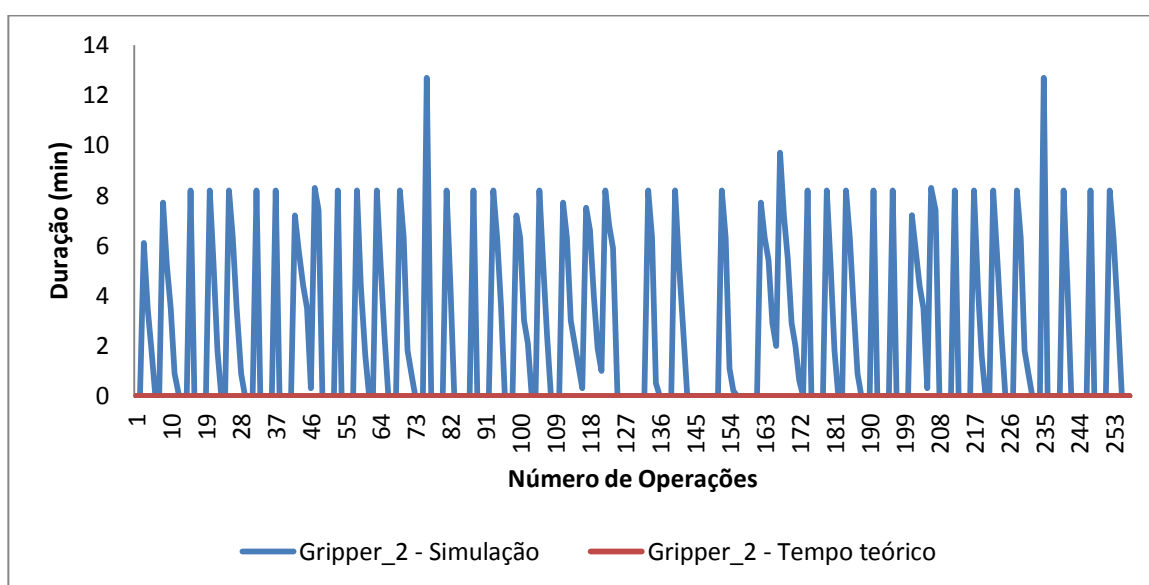
Figura 26. Tempo teórico e simulado do Gripper1



Fonte: A autora

O caso do Gripper 2 é semelhante ao caso do gripper 1, a diferença é que ele pode transportar os modelos Y e Z do posto 2 para o posto 3, e os modelos X, Y e Z do posto 3 para o posto 4, frequentemente a estação de trabalho de destino da montagem esta ocupada, tornando o tempo de espera alto, podendo chegar a um pico de 13 minutos, este pico é explicado pela passagem de 2 modelos T seguidos na linha, como é ilustrado na Figura 27. Note que nos próximos gráficos os mesmos picos acontecerão, também devido ao mesmo motivo.

Figura 27. Tempo teórico e simulado do Gripper2



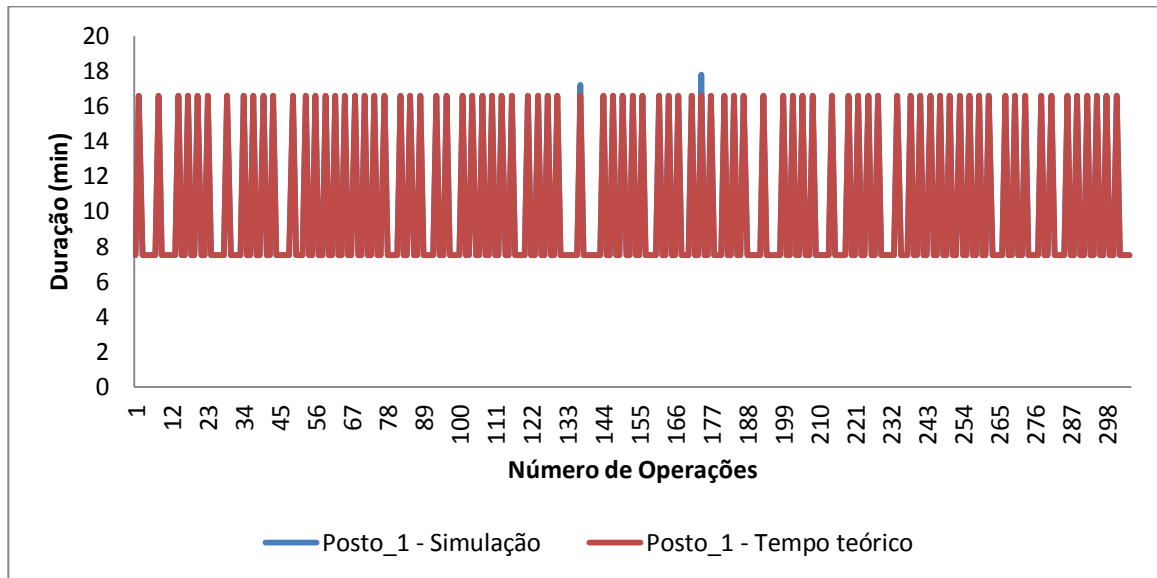
Fonte: A autora

O posto 1 raramente satura, de acordo com o gráfico da Figura 28, porque as montagens dos modelos Y e Z são levadas até o Buffer 1 pelo operador do posto 1 e a montagem do modelo T é levada até o Buffer 4 do posto 4 pelo operador do posto 1. Ou seja, para esses três modelos não existe tempo de espera, apenas para o caso do modelo X que precisa ser transportado pelo Gripper 1 que pode não estar disponível.

O gráfico aparenta estar unicamente com o tempo de simulação teórico, pois nestas operações o tempo simulado é igual ao tempo de ciclo, apenas em dois pontos o tempo simulado ultrapassou o tempo de ciclo, que são os dois picos apresentados. Estes picos aconteceram, como já citado, pela passagem de dois modelos T seguidos na linha, demonstrando a importância de respeitar um limite de mix de produção para que a

distâncias desses picos não diminua e provoque um aumento do tempo de ciclo como consequência.

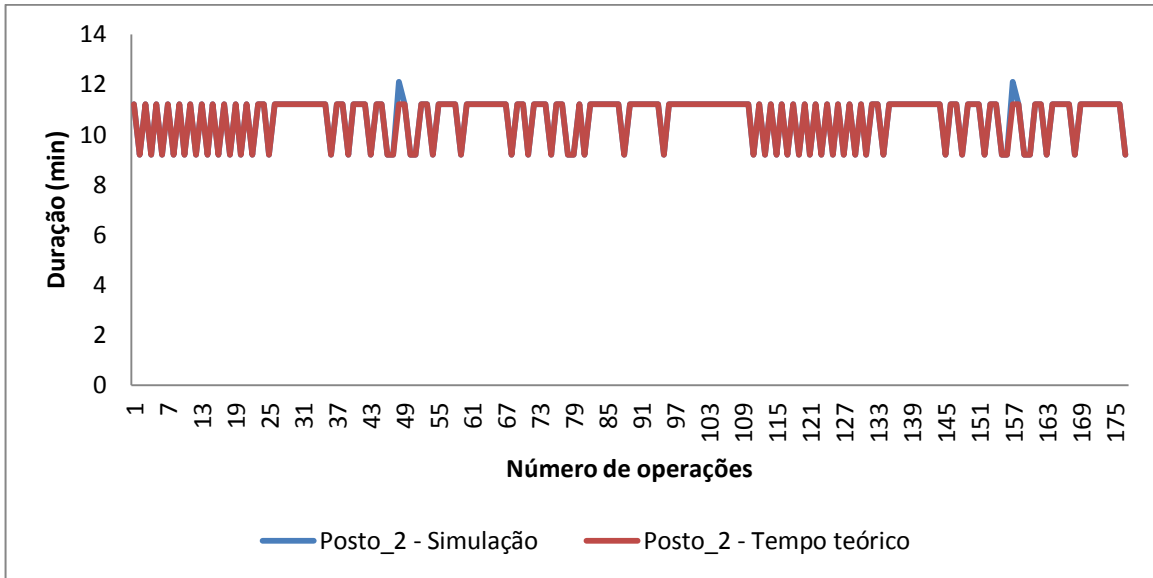
Figura 28. Tempo teórico e simulado do Posto 1



Fonte: A autora

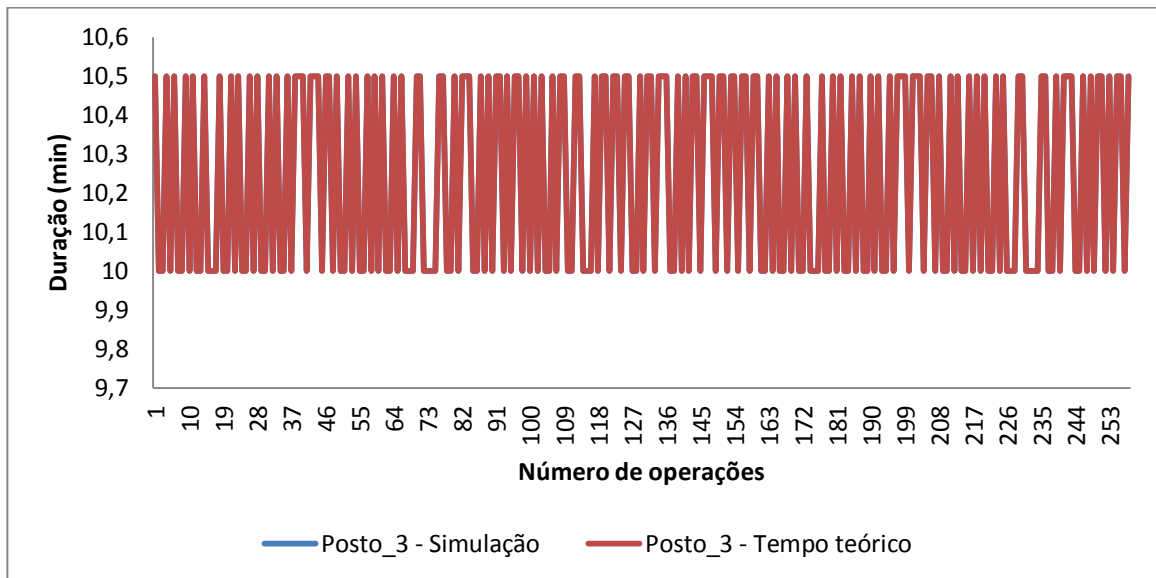
Para o posto 2, Figura 29, o principal motivo que poderia levá-lo a saturar seria o momento em que o modelo X é montado no posto 1 e ambos precisam entregar suas montagens para o gripper 1 sincronizadamente, é uma condição bem específica e dificilmente acontece, devido aos diferentes tempos de ciclo dos postos. O posto 3, Figura 30, dificilmente saturará, pois seu tempo de ciclo é superior ao da estação 4, e mesmo com a entrada de um modelo T na linha, a saturação aconteceria no gripper 2. E, por fim, o posto 4 não possui tempos de espera pois é o operador da própria estação que retira a montagem da linha utilizando uma assistência, coloca a montagem em um buffer e retorna para o posto para montar o próximo veículo. O tempo de transporte do posto quatro para o estoque de laterais montadas foi somado ao posto 4, para que uma nova montagem não se iniciasse sem o operador ter retornado.

Figura 29. Tempo teórico e simulado do Posto 2



Fonte: A autora

Figura 30. Tempo teórico e simulado do Posto 3



Fonte: A autora

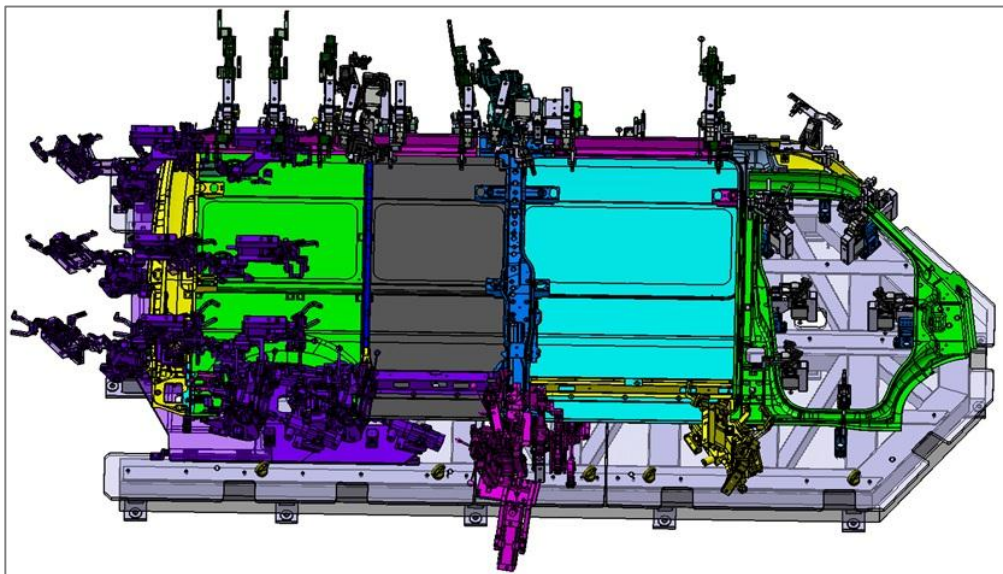
Através da simulação apresentada foram identificados os principais motivos para a existência de tempos de espera tão grandes, sendo eles: Os diferentes modelos passam por postos diferentes, ora aguardando o posto seguinte da operação ser liberado para avançar, ora ocupando um posto que causa uma interrupção no fluxo linear de outro produto que estava sendo preparado na linha; ii) o desbalanceamento dos postos (tempo de ciclos diferentes); iii)

o transporte entre postos ser realizado por apenas dois grippers, quando a movimentação exigiria três para que esse transporte fosse realizado de maneira sincronizada.

Outro problema existente nesta linha e que não foi ilustrado através da simulação, é o fato de a produção ser empurrada e existir um estoque/mercado na borda da linha de cada peça que será montada. Além de existirem peças grandes que precisam ser carregadas por dois operadores, ainda existe uma distância entre os estoques e as estações de trabalho, uma vez que o número de estoques é muito grande e espaço ocupado é significativo, resultando em um tempo de deslocamento alto.

Outro problema identificado é que ao acomodar as peças no dispositivo que garante a geometria das peças - um exemplo de dispositivo é mostrado na Figura 31 - fecham-se os grampos do dispositivo prendendo as peças na posição para que o operador possa as soldar. Para que ele possa realizar o fechamento destes grampos ele precisa ir até uma mesa executar este comando, isto é necessário por questões de segurança, para garantir que o operador esteja em posição segura durante este processo. A abertura e fechamento deste dispositivo é realizado diversas vezes durante um ciclo, por exemplo, no posto 3, é preciso acionar 6 vezes este comando, sendo que o dispositivo em si é grande e por vezes é necessário que o operador dê a volta no mesmo, contribuindo para um tempo de deslocamento alto.

Figura 31. Exemplo de dispositivo semelhante ao existente em cada postos de trabalho



Fonte: Empresa W

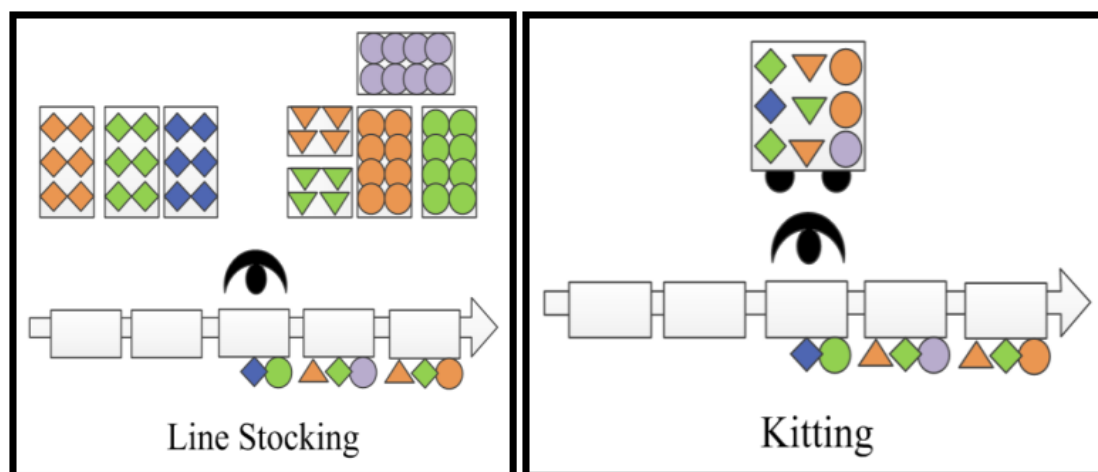
O tempo de ciclo que deveria ser de 8,5 minutos para este caso simulado resultou em 10,2 minutos, a empresa W precisa utilizar 1 hora e 20 minutos de hora suplementar por turno por dia para poder produzir a quantidade de veículos que atenda a capacidade demandada.

4 PROPOSTAS PARA MINIMIZAÇÃO DO GARGALO DA LINHA LATERAL

4.1. IMPLANTAÇÃO DE KITTING

Uma melhoria possível sem alteração dos gabaritos dos postos de trabalho, que são complexos e de alto custo, seria a alteração do método de abastecimento. O método utilizado atualmente é conhecido como *line stocking*, este método consiste em abastecer grandes quantidades de cada peça diretamente na linha, ou seja, ter um estoque para cada peça que será montada. O método proposto para esta linha é o *kitting*, um método proposto no *Just-in-time* muito utilizado como solução em linhas mistas, porque “à medida que a diversidade de cada componente aumenta, o espaço em bordo de linha para manter todos os componentes pode ser reduzido ou insuficiente” (LOPES, 2014, p. 13) conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32. Diferença entre o método de estoque em borda de linha (*line stocking*) e o método de *kitting*

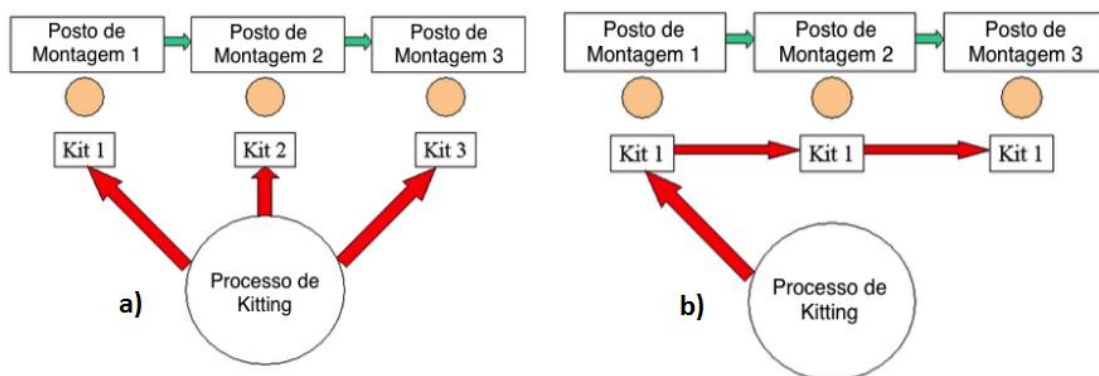


Fonte: Adaptado de Limére, 2012 apud Lopes, 2014, p. 14

O *kitting* é considerado por Bozer & McGinnis (1992) apud Lopes (2014) como “um método eficaz essencialmente no combate à necessidade de espaço em bordo de linha e à performance dos postos de trabalho nas linhas de montagem.” Este método consiste em abastecer a linha de montagem com apenas uma estrutura, definido como kit, que contenha

as peças em suas quantidades corretas para montar apenas um produto. De acordo com os autores, estes kits podem ser classificados como sendo estacionários ou viajantes. O kit estacionário é o kit que abastece apenas um posto de trabalho, este posto o consome até que ele fique vazio e seja substituído por um novo cheio. O kit viajante possui as peças de um produto para mais de um posto de trabalho da linha de montagem, ele acompanha o passo da linha e é consumido pelos postos a que é destinado. Ambas possibilidades são mostradas na Figura 33.

Figura 33. Classificação dos processo de *kitting* a) Kit Estacionário b) Kit Viajante



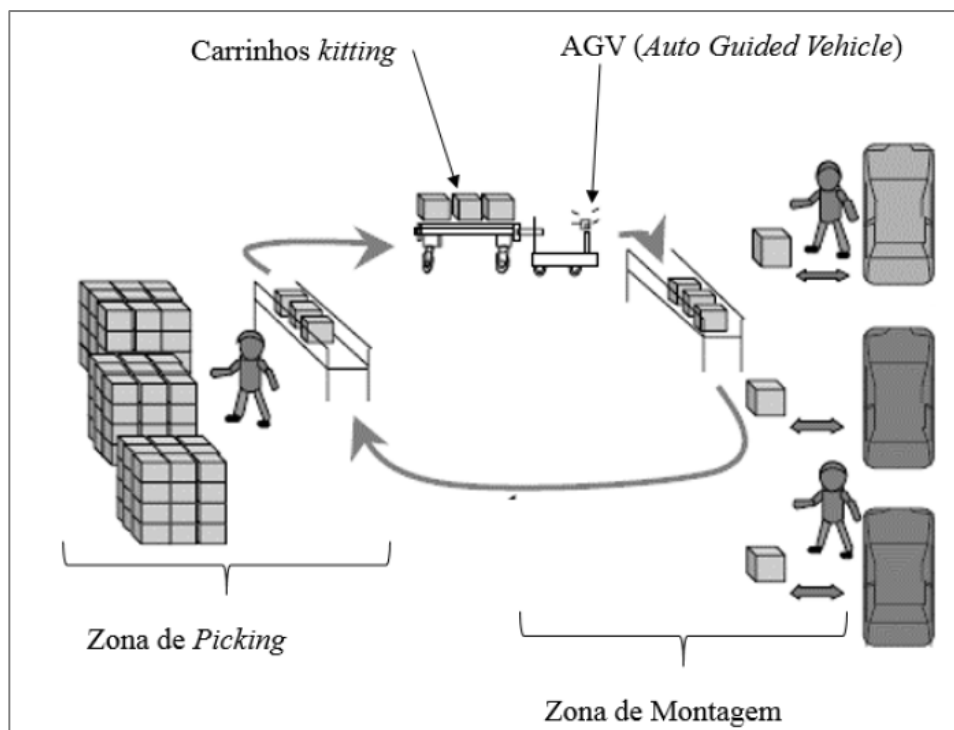
Fonte: Carlsson & Hensvold, 2008 apud Lopes, 2014, p. 16

No caso em estudo apenas os postos 1 e 2 são alimentados com peças provenientes diretamente de estoques logísticos, no posto 3 e 4 são montadas peças que foram preparadas nos postos 5 e 6. Neste primeiro momento a proposta é fazer o kit das peças dos postos 1 e 2, sendo este um kit viajante, para reduzir o tempo gasto em deslocamento. Além destas vantagens, o kit ainda evita que o operador selecione a peça errada, uma vez que só contém as peças que devem ser montadas no produto. Os lados negativos da implantação deste processo é que estes kits precisam ser montados em algum lugar, este lugar é conhecido como *picking*, e é necessário fazer a gestão destas peças de acordo com o sequenciamento da linha.

Um risco relacionado a implantação do *kitting* é o kit vir com alguma peça errada ou que alguma peça do kit esteja com defeito, no caso de peça defeituosa, não existirá outra peça na linha que possa substituí-la. Para evitar o problema de um kit com peças erradas o *picking* deve ser bem planejado, uma opção é o *picking by light*, já existente na empresa, o *picking by light* acende somente as luzes acima das peças que devem abastecer o kit.

Para este estudo de carro o kit será realizado sobre uma base com rodas e o transporte do mesmo será automatizado através de AGVs (*auto guided vehicle*), o sistema é ilustrado na Figura 34. Devido a distância entre os dois lados da linha lateral e quantidade e tamanho das peças que devem conter no kit, a proposta é a confecção de dois carrinhos *kitting*, um que abasteça o lado superior da linha e outro que abasteça o lado inferior.

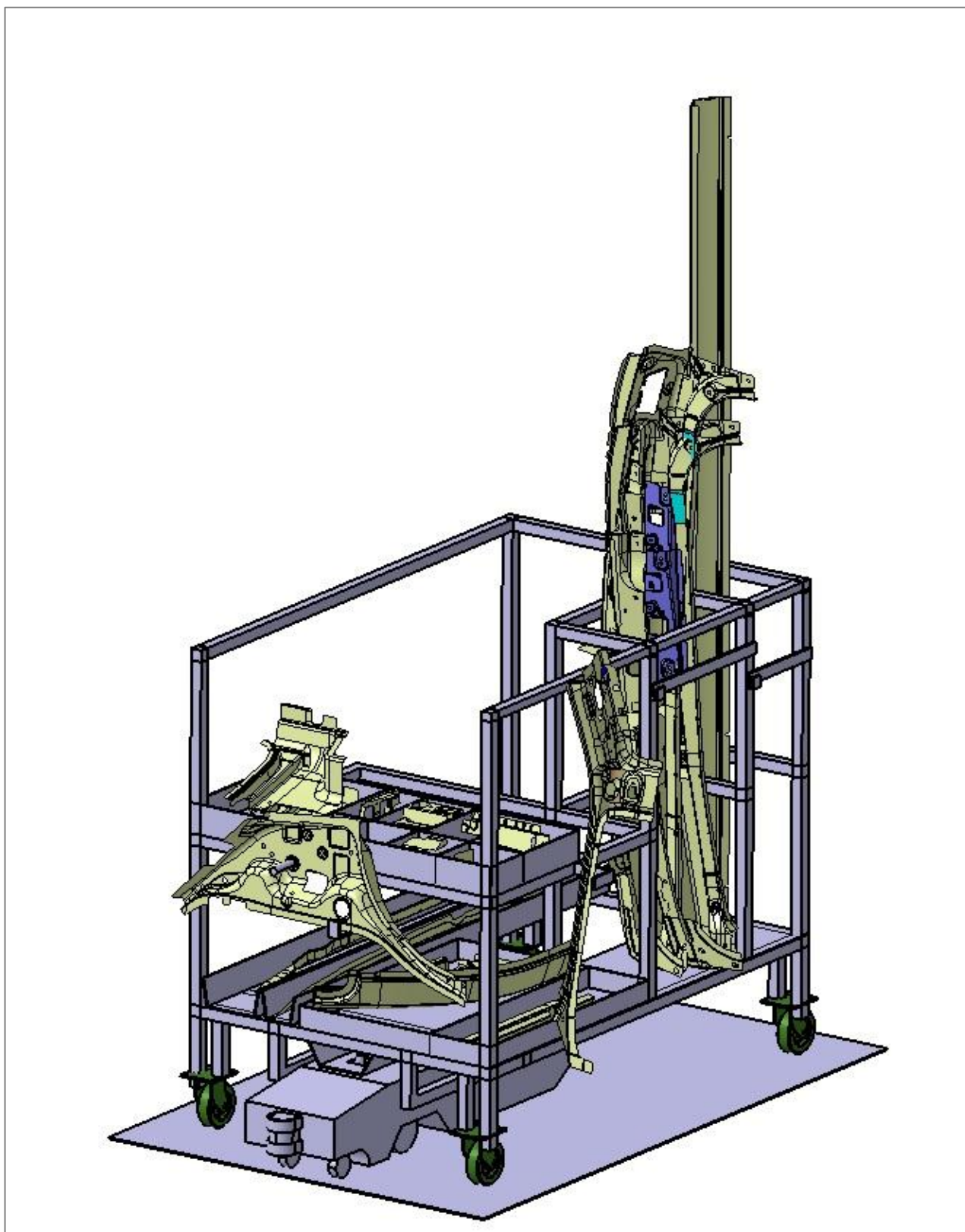
Figura 34. Sistema de abastecimento por *kitting*



Fonte. Meira, 2015, p. 48

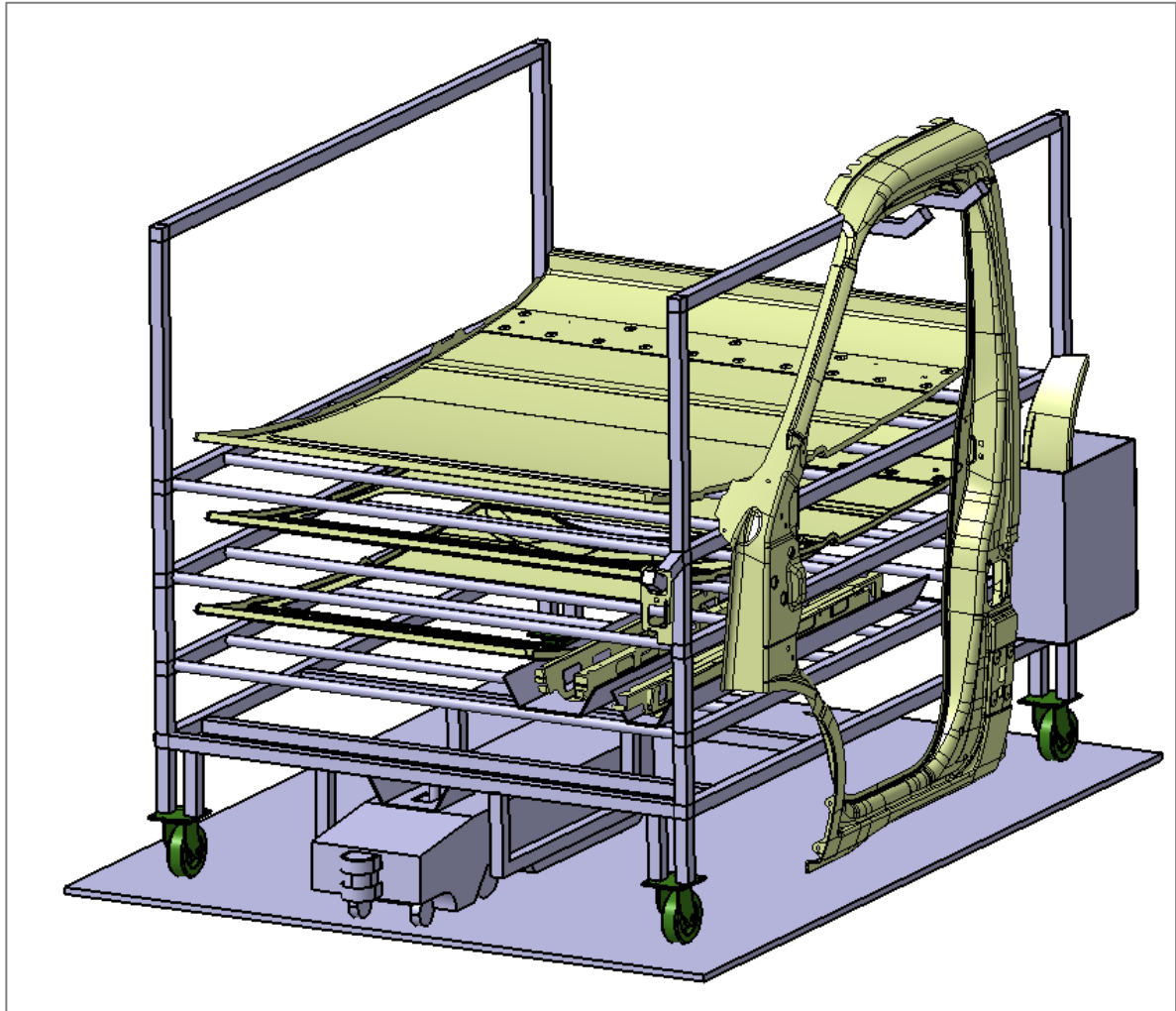
Desta forma o kit foi concebido pensando-se na ordem com que as peças são montadas, na posição em que ela é montada, superior ou inferior e na ergonomia para a retirada de peças dos kits. A proposta dos kits está ilustrada nas Figuras 35 e 36 e o modelo foi desenvolvido no software de modelagem geométrica Catia V5.

Figura 35. Proposta de kit para abastecer o lado superior do veículo



Fonte: A autora

Figura 36. Proposta de kit para abastecer o lado inferior do veículo



Fonte: A autora

Os dois carrinhos somados comportam no máximo 23 peças, esse número varia de acordo com o modelo. O carrinho que alimenta a parte inferior do veículo carrega no máximo 8 peças e o carrinho que alimenta a parte superior carrega no máximo 15 peças. O tempo considerado para o transporte do picking até a linha lateral é de 1 minuto.

4.2. SEPARAÇÃO DO POSTO 1

Como já foi citado anteriormente, o posto 1 faz o enquadramento da porta dianteira para todos os modelos de veículo, e somente para o modelo X ele realiza a mesma montagem que o Posto 2 realiza para os modelos Y e Z, que é a montagem dos painéis laterais e colunas. Desta forma propõe-se a separação do posto 1, em dois postos: o posto 0 que será o posto que

montará o enquadramento, este não precisa estar localizado na mesma linha, mas pode tornar-se uma preparação que será enviada para a linha lateral principal. E o posto 1 que será um posto paralelo ao posto 2, onde os três operadores trabalharão em ambos os postos, para o modelo X eles montam as peças no posto 1, para os modelos Y e Z eles montam as peças no posto 2.

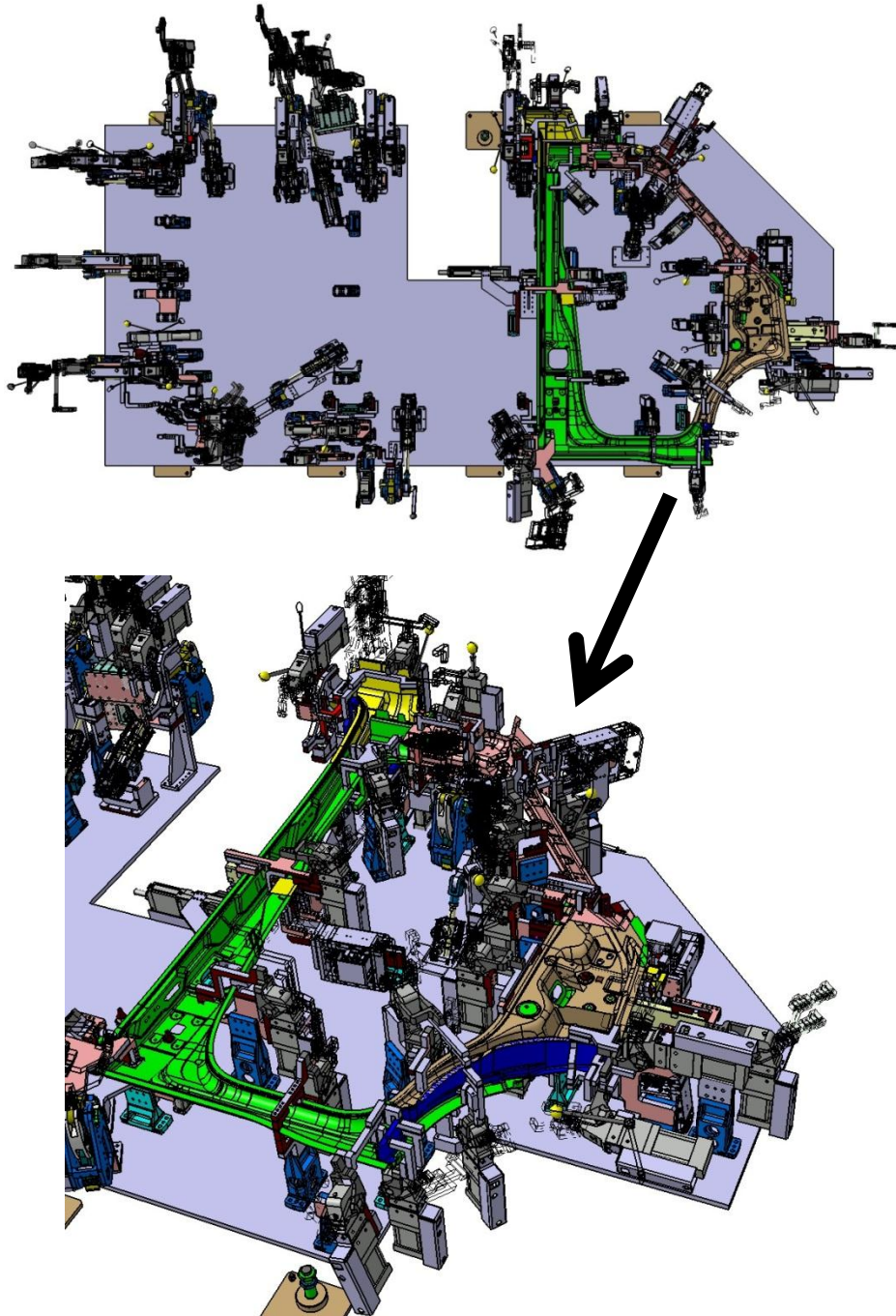
As principais vantagens da separação do posto 1 são: eliminar a restrição do modelo X na fábrica, devido ao fato de que ele não “pulará” mais nenhuma estação, tornar o número de grippers suficiente para esta linha, eliminar o tempo de espera que acontece quando o modelo X do posto 1 precisa ir para o posto 3 e o posto 2 também está esperando para mandar a pré-montagem para o posto 3.

4.2.1. Separação enquadramento do posto 1

Para a separação do enquadramento do posto 1 é possível utilizar os grampos do enquadramento no novo posto (posto 0), que montará somente o enquadramento dos 4 modelos. Para o novo posto 1, é necessário adicionar os grampos que faltam, este posto soldará os painéis com as colunas e o enquadramento pré-montado, dispositivo semelhante ao existente no posto 2, porém adequado ao tamanho do modelo X.

A Figura 37 mostra o dispositivo utilizado atualmente para realizar a montagem no posto 1, tanto para o enquadramento, quanto para os painéis e as colunas.

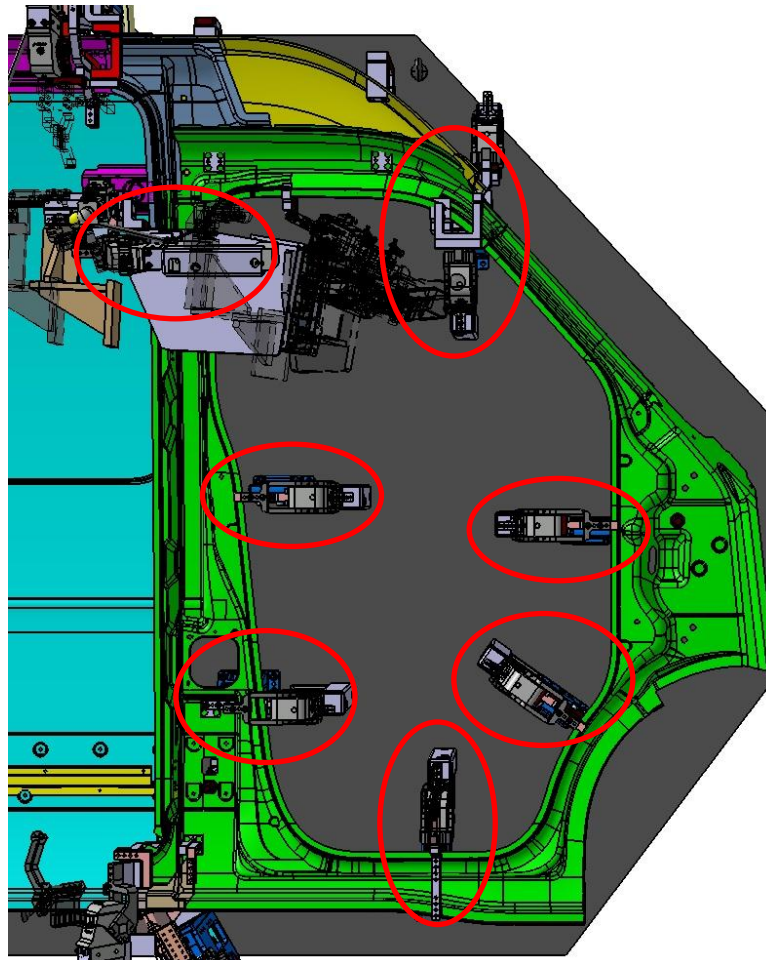
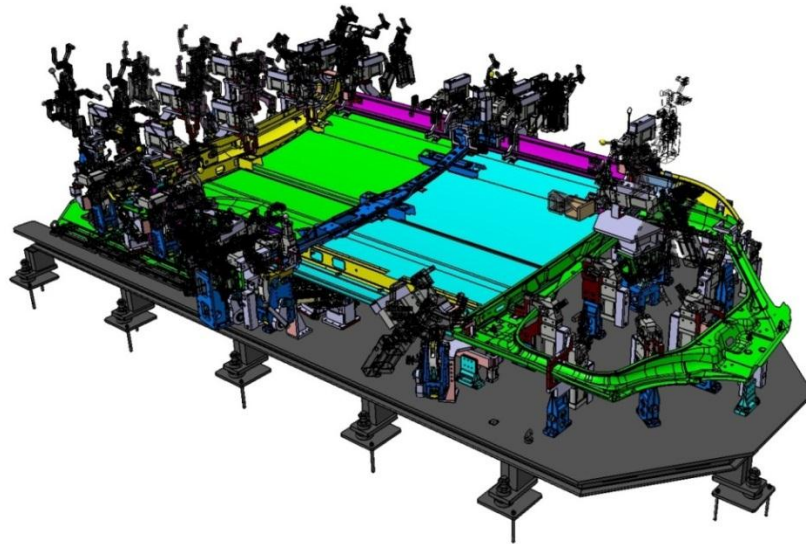
Figura 37. Dispositivo atual - Posto 1



Fonte: Empresa W

Já a Figura 38 mostra o dispositivo utilizado no posto 2, onde é soldado o enquadramento já montado, os painéis e as colunas. Nela estão destacados os grampos que deverão ser confeccionados novos para o dispositivo do Posto 1, é necessária a aquisição de uma base para a mesa, que é uma base menor por acomodar somente o enquadramento para constituir o posto zero, e a aquisição de 4 novos dispositivos de solda.

Figura 38. Dispositivo atual - Posto 2



Fonte: Empresa W

4.2.2. Simulação dos tempos de ciclo

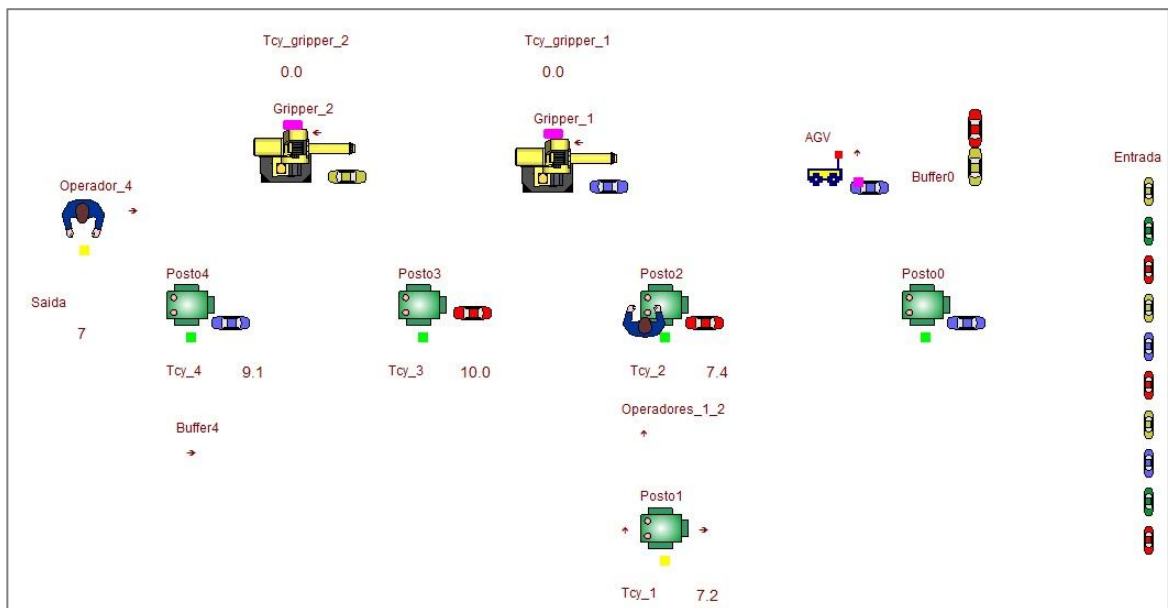
Um novo modelo foi criado no Witness para esta nova solução, ele está ilustrado na Figura 39, onde as diferenças do modelo anterior para esse são: a separação do Posto 1 entre Posto 1 e Posto 0, a adição do AGV trazendo o kit com as peças para cada modelo montado na linha que reduz o NVA dos postos 0, 1 e 2 reduzindo o deslocamento em 19%, passando de 24% para 5%, conseqüentemente baixando o tempo de ciclo dos postos 0, 1 e 2, conforme Tabela 3. Os Postos 1 e 2 são paralelos e os mesmos operadores podem trabalhar nos dois, e o buffer 0 foi criado para estocar os enquadramentos montados no Posto 0 e serem transportados através de AGV para a linha principal, utilizando os carrinhos *kitting* já apresentados, as páginas 35 e 36.

Tabela 3. Tempos simulação com separação enquadramento e adição de AGV

	0	1	2	3	4
X	7	7,2		10	8,6
Y	7		7,4	10	9,1
Z	7		9	10,5	9,1
T	7				9,1

Fonte: A Autora

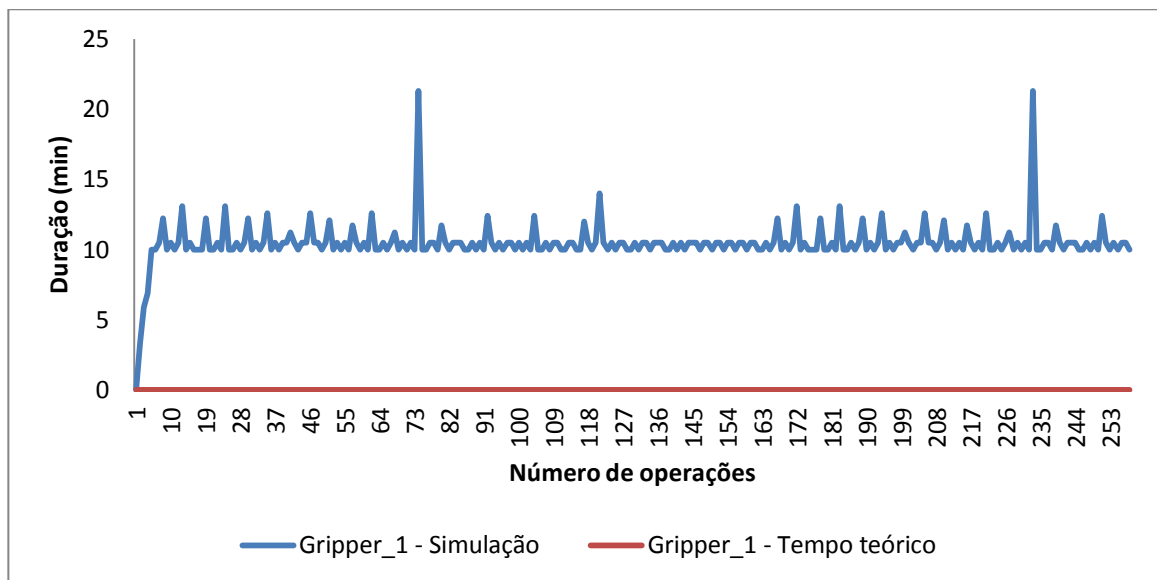
Figura 39. Modelo da linha lateral esquerda com enquadramento separado do Posto 1



Fonte: A autora

Os resultados da simulação para esse novo modelo são apresentados nas Figuras 40, 41, 42, 43 e 44. O posto 0 criado nunca precisará esperar pois seu tempo de ciclo é inferior aos outros postos, além de ele não ter tempo ocioso esperando peças. O posto 4 continua não ultrapassando seu tempo de ciclo, pois após este posto a lateral fica em uma zona de estoque, este posto fica ocioso esperando as pré-montagens chegarem até ele, mas estes tempos de espera estão representados como saturação nos outros postos e grippers.

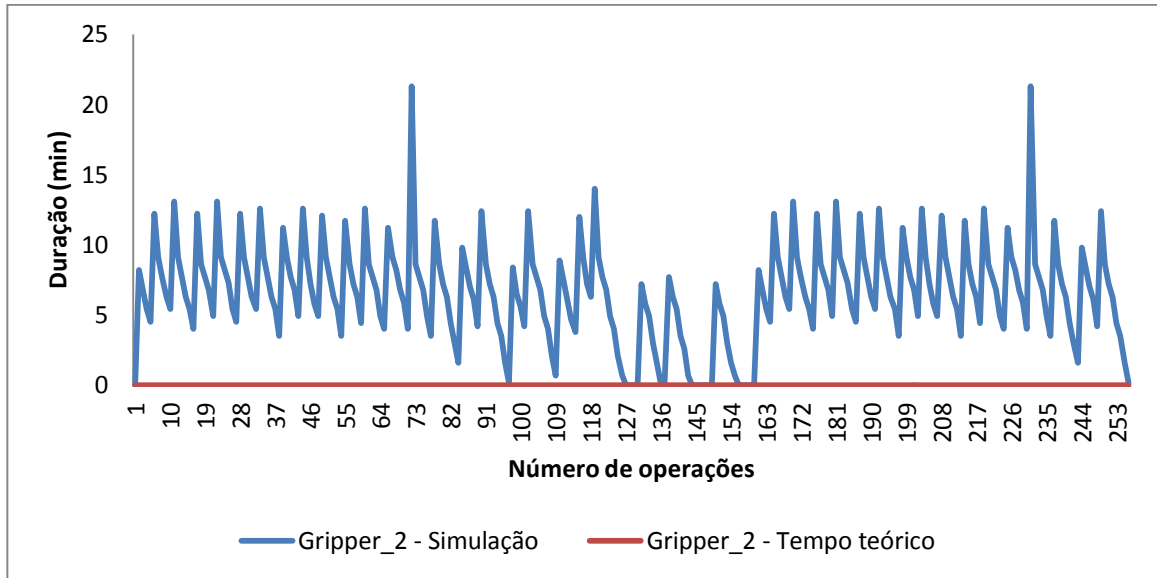
Figura 40. Tempo teórico e simulado do Gripper1, caso com o enquadramento separado



Fonte: A autora

O início do gráfico do Gripper 1, Figura 40, não tem tempo de espera pois a simulação começa sem veículos na linha, como o tempo do posto 3 é bastante superior ao tempo de ciclo do posto 1 e 2, o gripper 1 tenderá a estar sempre saturado. E os dois picos de 23 minutos são explicados pela passagem de dois modelos T seguidos na linha.

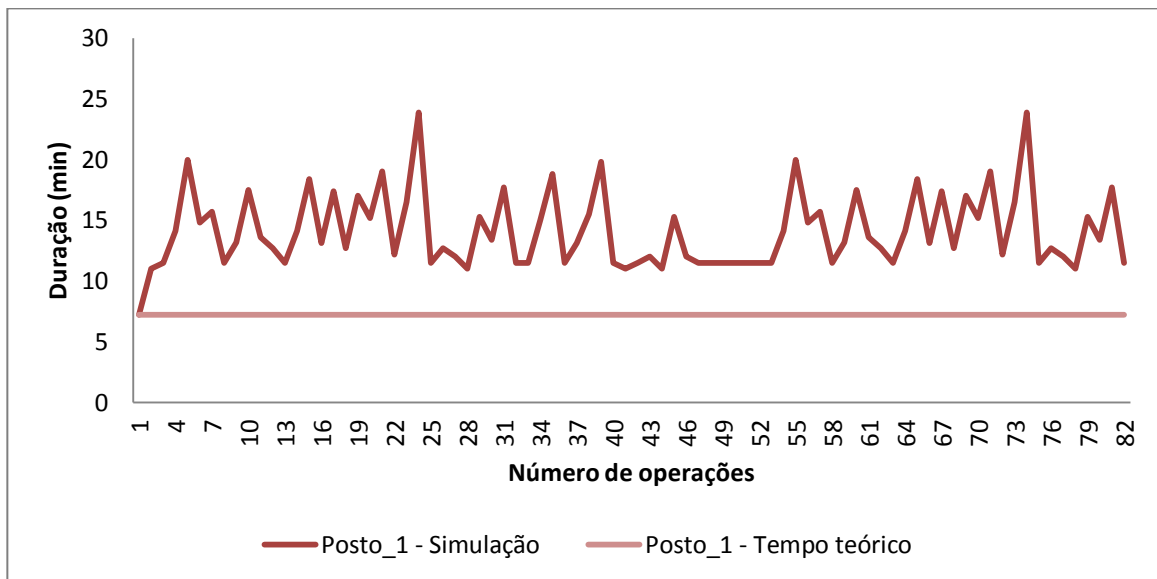
Figura 41. Tempo teórico e simulado do Gripper2, caso com o enquadramento separado



Fonte: A autora

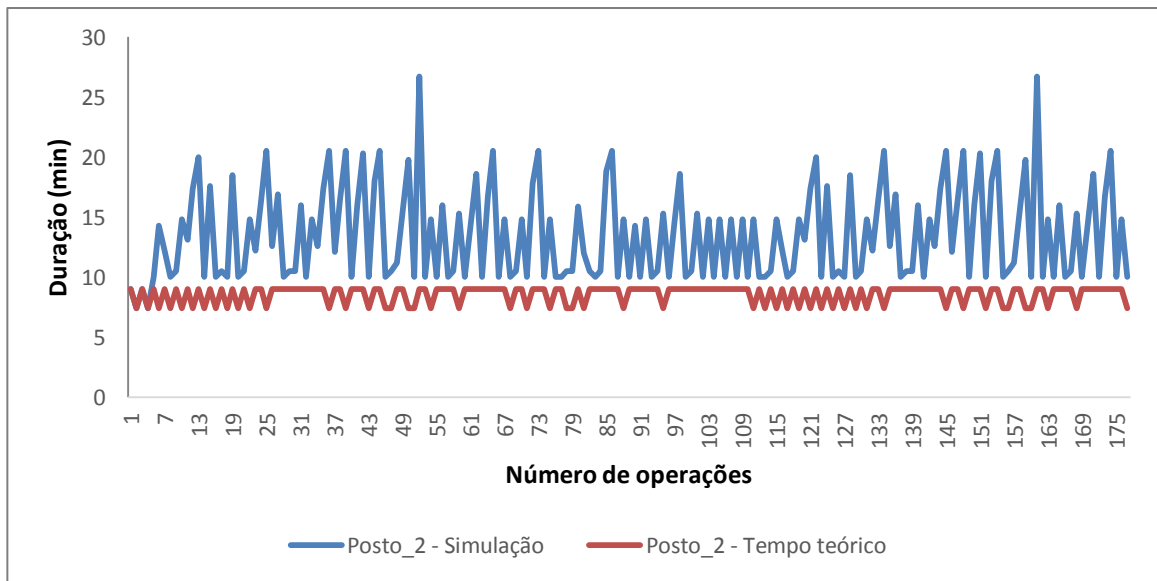
O tempo de espera do Gripper 2, Figura 41, é resultado unicamente do modelo T, pois seu tempo de ciclo é inferior ao tempo de ciclo do posto 3, porém a entrada do modelo T gera tempos de espera que afetam toda a linha, saturando todos os postos. Os picos são explicados pela passagem de dois modelos T seguidos na linha, o que indica a necessidade de tomar nota dessa restrição no planejamento de mixes.

Figura 42. Tempo teórico e simulado do Posto 1, caso com o enquadramento separado



Fonte: A autora

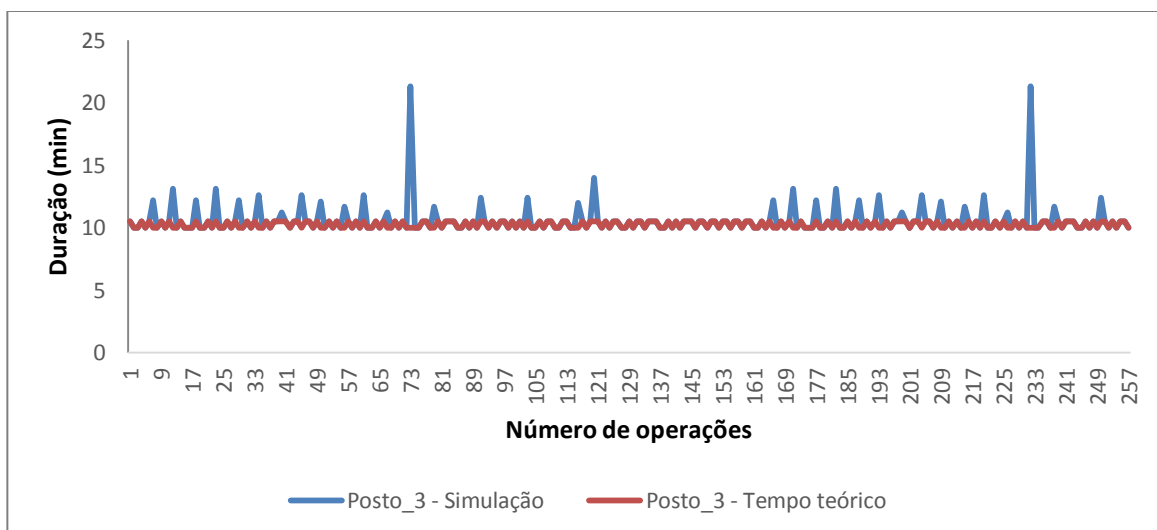
Figura 43. Tempo teórico e simulado do Posto 2, caso com o enquadramento separado



Fonte: A autora

O posto 1 e posto 2, Figuras 42 e 43, estão sempre saturados pois seus tempos de ciclo são muito baixo comparado ao tempo de ciclo do posto 3, entre o posto 1 e 2 um deles sempre está esperando, e com a entrada do modelo T muitas vezes o acumulo dos tempos de espera faz com que os dois postos saturem, onde um deles terá que aguardar mais de um ciclo do posto 3.

Figura 44. Tempo teórico e simulado do Posto 3, caso com o enquadramento separado



Fonte: A autora

O tempo de permanência no posto 3, Figura 44, só acontece com a entrada do modelo T, porém a entrada do modelo T atrasa em 9,1 minutos, ou seja, a perturbação que ocorre com a entrada deste modelo demora até se dissipar. Os picos são explicados pela passagem de dois modelos seguidos na linha.

O tempo de ciclo com a implementação do *kitting* e da separação do posto 1 caiu de 10,2 minutos para 9,1 minutos. Ainda assim a empresa W precisaria de meia hora extra de trabalho de cada operador desta linha para produzir 48 veículos por turno por dia.

4.3. REDUÇÃO DOS TEMPOS DE CICLO

Para atender a capacidade de 48 veículos por turno é necessário balancear esta linha para um tempo de ciclo de 8,5 minutos. A proposta apresentada anteriormente reduz o tempo de ciclo de 10,2 minutos para 9,1 minutos. Para atingir o tempo de ciclo e em seguida balancear-se a linha, ou seja, nivelar todos os postos com um tempo de ciclo de 8,5 minutos, é preciso reduzir o tempo de ciclo de alguns postos e aumentar o tempo de ciclo de outros, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Tempos de ciclo dos postos

	0	1	2	3	4
X	7	7,2		10	8,6
Y	7		7,4	10	9,1
Z	7		9	10,5	9,1
T	7				9,1

Fonte: A autora

4.3.1. Automatização dos grippers

Os maiores tempos de ciclo estão no posto 3, sendo que 1 minuto deste tempo é de transporte de gripper, meio minuto para buscar o gripper do posto 2 e meio minuto para retirar do posto 3. Uma proposta para reduzir este tempo de transporte por gripper é automatiza-los. Nesta nova proposta a linha deverá estar balanceada, os grippers deverão se mover sincronizadamente, retirando as montagens dos postos ao mesmo tempo e movimentando-se

no mesmo passo, entregando a montagem no posto seguinte sincronizadamente e em seguida retornando a sua posição original.

A maior parcela do tempo de transporte no gripper atualmente está na dificuldade de acomodar o gripper corretamente para a retirada da montagem e de que ambos se deslocam pelo mesmo trilho. O operador do posto 2 muitas vezes leva uma montagem até o posto 3 para retirar do seu posto, outras vezes o operador do posto 3 precisa retirar o gripper 1 e levá-lo mais perto do posto dois, retornar para trazer o gripper 2 vazio, retirar a montagem, levar o gripper 2 para o posto 4 e retornar para pegar o gripper 1 no posto 2 e colocar a nova montagem em seu posto. O tempo apenas de movimentação do gripper de um posto até o outro é cerca de 30 segundos.

Com a automatização do gripper o operador não precisa se deslocar, pode iniciar na sua posição para validação no início de montagem, os grippers podem ter uma velocidade maior, a posição no espaço de um gripper nunca interferirá na movimentação do outro, a acomodação do gripper seria precisa o que reduziria o valor não agregado na linha lateral esquerda. Após automatização os tempos de ciclo novos estão apresentado na Tabela 5.

Em seguida é necessário substituir a assistência manual que retira a lateral esquerda completa do posto 4 para que assim seja possível sincronizar a linha por completo e eliminar o estoque após este posto, o tempo que o operador leva para retirar essa montagem é de 1,1 minuto, após automatização é possível reduzir este tempo para 30 segundos.

Tabela 5. Tempos de ciclo com automatização do gripper

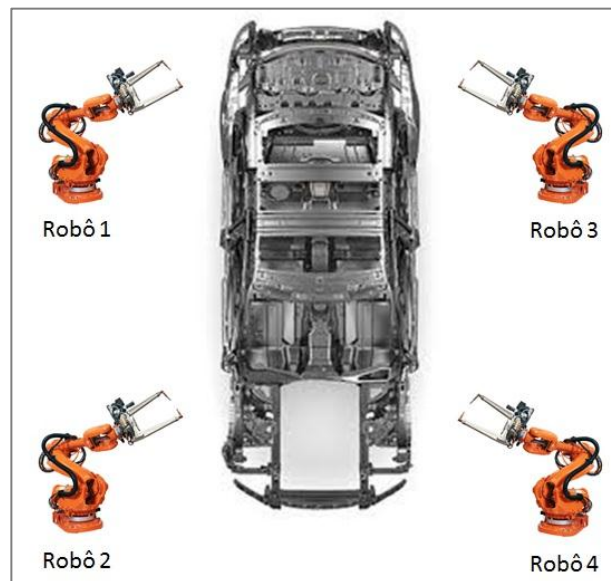
	0	1	2	3	4
X	7	7,05		9,5	7,85
Y	7		7,25	9,5	8,35
Z	7		8,75	10	8,35
T	7				8,35

Fonte: A autora

4.3.2. Passagem de pontos da lateral para os robôs

Na linha posterior as laterais, todas as partes do veículo (laterais, assoalho e teto) são montadas e soldadas, nela existe uma célula com 4 robôs que soldam o conjunto, conforme Figura 45. Atualmente estes robôs não soldam durante o ciclo inteiro pois existem situações onde o robô 4 está soldando uma região e o robô 3 precisa parar para que eles não colidam um com o outro. E a região de alcance do robô 1 é pequena, então seu ciclo geralmente acaba antes dos outros 3 robôs.

Figura 45. Celula robôs montagem geral



Fonte: A autora

A proposta neste caso é de separar dois robôs em outra célula para eliminar os tempos de inatividade dos robôs e poder introduzir mais pontos no mesmo, uma célula com os robôs 1 e 4 e outra célula com os robôs 2 e 3. Os pontos possíveis de se retirar de cada posto para cada modelo são apresentados na Tabela 6, e os robôs que conseguem acessar estes pontos são mostrados na Tabela 7.

Tabela 6. Pontos que podem ser retirado por posto por modelo

	1	2	3	4
X	33	0	10	47
Y	23	10	14	47
Z	23	10	14	47
T	33	0	0	24

Fonte: Empresa W

Tabela 7. Pontos que podem ser introduzidos em cada robô por posto

	1	2	3	4
Robô 1	33	10	0	19
Robô 2	0	0	0	0
Robô 3	0	0	14	11
Robô 4	0	0	0	17

Fonte: Empresa W

Considerando-se que o tempo considerado pela empresa W para se realizar um ponto de solda em média é de 5 segundos, os tempos em minutos que podem ser reduzidos em cada um dos postos para cada modelo é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8. Tempos (min) que podem ser reduzidos de cada posto por modelo

	1	2	3	4
X	2,75	0	0,83	3,92
Y	1,92	0,83	1,17	3,92
Z	1,92	0,83	1,17	3,92
T	2,75	0	0	2

Fonte: Empresa W

Passando os pontos dos postos que estão com o tempo de ciclo maior que 8,5 minutos, posto 2 e posto 3, seria possível reduzir o tempo dos postos para os mostrados na Tabela 9. Porém não é preciso retirar todos os pontos destes postos, a Tabela 9 mostra o tempo mínima que pode-se chegar apenas para os postos e modelos que estavam com um tempo de ciclo superior ao desejado.

Tabela 9. Tempos de ciclo dos postos após transferência dos pontos de solda

	0	1	2	3	4
X	7	7,05		8,67	7,85
Y	7		7,25	8,33	8,35
Z	7		7,92	8,83	8,35
T	7				8,35

Fonte: Empresa W

4.3.3. Pequenas melhorias

Algumas pequenas melhorias podem ser implementadas para atingir-se o tempo de ciclo no posto 3, uma delas é implementar mais um local onde seja possível fechar e abrir os grampos, para que o operador não precise se deslocar tanto, uma vez que neste posto essa atividade é repetida 6 vezes.

Outra melhoria possível é a troca do braço da pinça e o porta eletrodo da mesma, ganhando-se performance e eliminando a necessidade de o operador girar a pinça para poder soldar. E por último é possível eliminar uma atividade de fechamento que não é necessária. Estas ações conseguem reduzir os 20 segundos necessários para que todos os postos possam ser balanceados no tempo de ciclo solicitado pelo cliente, os novos tempos são ilustrados na Tabela 10.

Tabela 10. Tempos de ciclo por posto após implemento das melhorias

	0	1	2	3	4
X	7	7,05		8,34	7,85
Y	7		7,25	8,33	8,35
Z	7		7,92	8,50	8,35
T	7				8,35

Fonte: Empresa W

4.3.4. Balanceamento dos postos

Após todas as melhorias explicadas nos tópicos acima, o passo final é balancear os postos para que a linha fique sincronizada, alguns dos postos precisarão ter um tempo de ciclo maior e terão um tempo ocioso maior, uma boa alternativa em seguida é procurar maneiras para engajar os operadores em outras atividades. Não é uma solução comum o aumento do

tempo de ciclo para alguns postos, porém, um tempo menor simplesmente resultaria em superprodução de postos e gastos com a geração de estoque.

Tabela 11. Postos balanceados com tempo de ciclo de 8,5 minutos

	0	1	2	3	4
X	8,5	8,5		8,5	8,5
Y	8,5		8,5	8,5	8,5
Z	8,5		8,5	8,5	8,5
T	8,5				8,5

Fonte: Empresa W

Os novos tempos para todos os postos são mostrados na Tabela 11, e uma nova simulação foi realizada para esta condição provando que desta forma o tempo de espera se tornaria 0.

4.4. RESULTADOS

As principais soluções propostas neste trabalho foram: separação do posto 1, abastecimento das peças através de *kitting*, automatização dos meios de transporte entre postos e transferência de pontos de solda de operação manual das laterais para posto de terminação de solda com robô. A aplicação destas soluções de forma concomitante consegue alterar o tempo de ciclo da linha lateral esquerda de 10,2 para 8,5 minutos, atendendo a capacidade máxima da fábrica, e fazendo com que as linhas que montam as laterais do veículo deixem de ser o gargalo da mesma. Essa mudança no tempo de ciclo elimina o custo com horas extras, torna as restrições dos modelos X e T na linha lateral esquerda desnecessárias e atinge uma situação onde o número de grippers é suficiente para que esta linha seja sincronizada.

Com a sincronização da linha o gripper deixa de se tornar um estoque de uma peça. Com a implementação do dispositivo automatizado no posto 4, o estoque de laterais montadas após o posto 4 é eliminado. Com a implantação do AGV, os estoques existentes na borda de linha é reduzido, fazendo com que esta linha ocupe uma área de superfície da fábrica menor. Estas ações engajam melhor os operadores, tornam a linha mais eficiente e reduzem a quantidade de atividades sem valor agregado existentes na linha em questão.

Para a implementação das melhorias propostas será necessária a fabricação dos carrinhos *kittings*, que pode ser feita internamente na empresa com acessível, será necessária a aquisição da mesa do posto 1, dos 7 grampos do posto 0 e das 4 pinças para o posto 0. Além de automatizar os grippers e a assistência do posto 4 e da fabricação de uma nova assistências para o posto 4.

A modificação mencionada acima é viável tecnicamente pois a empresa W está trabalhando fortemente para tornar sua produção mais enxuta, eliminar estoques e sincronizar sua fábrica com o cliente. A análise de viabilidade financeira não foi abordada neste trabalho, porém na situação atual da empresa W é necessário 710,4 horas extras para cada um dos 8 operadores por ano na linha lateral esquerda para fabricar os 48 veículos por dia. Não seria mais necessário que os operadores da linha lateral esquerda realizem horas extras, tornando factível a eliminação dessa perda por ineficiência.

5 CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento deste trabalho conclui-se que o impacto no tempo de ciclo causado pela sequência dos modelos montados na linha podem ser corrigidos implementando-se as soluções propostas. Essas soluções foram obtidas através do estudo das boas práticas indicadas nas referências bibliográficas, da identificação da separação do posto 1 através dos princípios do JIT, da possibilidade de automatização de gripper e assistência, após o balanceamento das operações, da mudança do processo com a adoção do sistema de *kitting*.

As propostas foram simuladas através do programa Witness e nele foi verificado que as soluções apresentadas reduziram o tempo de ciclo do posto e que a aplicação das mesmas é factível tecnicamente. As propostas apresentadas contribuíram com a formação do autor por se tratarem da aplicação de ferramentas de engenharia, como foi o caso do projeto do carrinho *kitting* no software Catia V5 e a simulação das três situações no software de manufatura Witness.

Desta forma, os objetivos do trabalho foram atingidos, mostrando que com a aplicação das soluções propostas é possível, não só minimizar, mas eliminar o gargalo existente na linha lateral esquerda, deixando a linha mais produtiva e flexível, produzindo na capacidade solicitada e de maneira sincronizada com o cliente.

Futuros trabalhos podem estudar propostas para deslocar os postos de preparação desta linha, centralizar as preparações em uma célula e montá-las conforme demanda do cliente, reduzindo o número de operadores necessários e implementando as peças de preparação no *kitting*.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. *Anuário da Indústria Automobilística 2016*.

ASKIN, Ronald G. e STAMDRIDGE, Charles R. **Modeling and analysis of manufacturing**. In: John Wiley & Sons, New York, 1993.

BAHIA, Luiz Dias; DOMINGUES, Edson Paulo. **ESTRUTURA DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA**. Ipea: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2010.

BARCO, Clarissa Fullin; VILLELA, Fábio Barbin. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Rio de Janeiro. **ENEGEP 2008**.

BOYSEN, Nils; FLIEDNER, Malte e SCHOLL, Armin. Assembly line balancing: Which model to use when? **Friedrich-Schiller-Universität Jena**, 2006, Jena, Germany.

BRAGA, Ricardo Marques. **OS DESAFIOS PARA ESTABELEECER UM FLUXO CONTÍNUO NUMA LINHA DE PRODUÇÃO: CASO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**. 54 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BREGINSKI, Rodrigo Bonfim. **BALANCEAMENTO E SEQUÊNCIAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM DE MODELO MISTO: UM ESTUDO DE CASO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CASOTTI, Bruna Pretti; GOLDENSTEIN, Marcelo. **PANORAMA DO SETOR AUTOMOTIVO: AS MUDANÇAS ESTRUTURAIS DA INDÚSTRIA E AS PERSPECTIVAS PARA O BRASIL**. BNDES. Rio de Janeiro, 2008.

GABRIEL, Luciano; SCHNEIDER, Ariante H.; SKROBOT, Fabiana Cristina Campos; DE SOUZA, Marília. **UMA ANÁLISE DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL E A DEMANDA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES: ALGUMAS EVIDÊNCIAS PARA O PERÍODO RECENTE**. IV Encontro Internacional da Associação Keynesiana Brasileira. Rio de Janeiro, 2011.

GORI, Rodrigo Martinez. O BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM SEGUINDO A ABORDAGEM LEAN MANUFACTURING. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXII, 2012, Bento Gonçalves.

LEITE, Leandro Aparecido. **APLICAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA EM UM PROCESSO PUXADOR DE ESTERILIZAÇÃO POR AUTOCLAVE**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

LOPES, Pedro Daniel Rodrigues. **DESENHO DE UM SISTEMA DE KITTING: CASO PRÁTICO NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

MARTINS, Carlos Fernando. **EVOLUÇÃO FUNCIONAL DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS**. 2007. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MARTINS, P. Garcia e Fernando, P. Laugeni. *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Saraiva – 2ª ed. 2005.

MEIRA, Marcelo da Silva et al. *Investigação do Desempenho de uma Linha de Montagem Mista na Indústria Automotiva por meio de Programação Matemática*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 5., 2015, Ponta Grossa. **ConBRepro**. Curitiba: Aprepro, 2015. p. 1 - 12.

MEIRA, Marcelo da Silva. **OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM MISTA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**. 2015. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MENEGON, David; NAZARENO, Ricardo Renovato; RENTES, Antonio Freitas. **Relacionamento entre desperdícios e técnicas a serem adotadas em um Sistema de Produção Enxuta**. In: ENEGEP, 23, 2003, Ouro Preto. São Carlos, p. 1 - 8.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 260 p.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: < <http://www.more.ufsc.br/> > . Acesso em: 18.11.2016

NAZARENO, Ricardo Renovato; RENTES, Antonio Freitas; SILVA, Alessandro Lucas da. **IMPLANTADO TÉCNICAS E CONCEITOS DA PRODUÇÃO ENXUTA**

INTEGRADAS À DIMENSÃO DE ANÁLISE DE CUSTOS. In: ENEGEP, 2001, São Carlos.

NUNES, Deivid Marques; MELO, Paulo André Campos de; NIGRO, Idamar Sidnei Cobianchi. **PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: O USO DA SIMULAÇÃO DO PREACTOR EM UMA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2009.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços.** Curitiba: Cefet, 2007.

REGINATO, Gustavo; ANZANELLO, Michel José; KAHMANN, Alessandro. Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos. In: G&P, 23., 2016, São Carlos. Porto Alegre, 2014. p. 294 - 307.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J.. **Administração da produção e operação.** São Paulo: Abdr, 2004.

SANTOS, Graziela; BARBOSA, Reginaldo Jose. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA PRODUÇÃO. **Revista Científica Eletônica de Administração**, São Paulo, v. , n. 12, jun. 2007. Semestral.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2009.

TAPPING, D; LUYSTER, T.; SHUKER, T. **Value Stream Management: eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements.** Productivity Press. New York, 2002. 169p.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** 2. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2009.

WAGMANN, Paula Tatielle Dutra; ARAÚJO, Raquel Cirlene das Dores. Análise do balanceamento de uma linha de produção em uma empresa. In: SAEPRO, IX, 2014, Viçosa. **Simpósio Acadêmico de Engenharia de produção.**

WANKE, Peter. Um Estudo sobre os Impactos no Varejo das Principais De cisões Estratégicas de Produção e Di stribui ção da Indústria. In: GESTÃO & PRODUÇÃO, 1., 2006, Rio de Janeiro.

WOOD, Junior Thomaz. **FORDISMO, TOYOTISMO E VOLVISMO: OS CAMINHOS DA INDÚSTRIA EM BUSCA DO TEMPO PERDIDO**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, out. 1992.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Engenharia Automotiva**. 2013. Disponível em: <<http://automotiva.ufsc.br/en/>>. Acesso em: 09 out. 2016.