

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AFONSO LUIZ MASSARO CHAGURI

**Aplicação do lean manufacturing em linha de montagem de indústria
automobilística**

SÃO CARLOS
2011

AFONSO LUIZ MASSARO CHAGURI

**Aplicação do lean manufacturing em linha de montagem de indústria
automobilística**

Trabalho apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como quesito para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Jonas de Carvalho

SÃO CARLOS
2011

É PERMITIDA A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Chaguri, Afonso Luiz Massaro

C433a Aplicação do *lean manufacturing* em linha de montagem de indústria automobilística/ Afonso Luiz Massaro Chaguri ; orientador Jonas de Carvalho — São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Afonso Luiz Massaro Chaguri

Título: Estudo de layout e dimensionamento de linha de montagem
seqüenciada de parachoques em um complexo industrial automobilístico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia Mecatrônica (ou Mecânica)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Luciana Montanari

Nota atribuída: 8,5 (oito e meio)

Luciana Montanari
(assinatura)

Eng. MSc. Altibano Ortenzi Jr. (Doutorando – Mecânica)

Nota atribuída: 8,5 (oito e meio)

[Assinatura]
(assinatura)

Prof. Dr. Jonas de Carvalho (orientador)

Nota atribuída: 8,5 (oito e meio)

[Assinatura]
(assinatura)

Média: oito e meio (8,5)

Resultado: Aprovado

Data: 07 / 07 / 2011

“Que o teu trabalho seja perfeito para que,
mesmo depois da tua morte, ele permaneça.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

CHAGURI, A. L. M. **Aplicação do lean manufacturing em linha de montagem de indústria automobilística.** 2011. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

A concorrência no mercado automobilístico mundial faz com que as montadoras apresentem uma gama de novos modelos a cada ano e estes exigem a modificação das instalações e das linhas de produção para ambientes mais complexos devido à tentativa de conquistar o mercado consumidor com inovações, principalmente quanto ao design. O Sistema Toyota de Produção, ou produção enxuta, aparece como filosofia na busca de linhas de produção mais eficientes, visando à eliminação dos desperdícios, na adoção do fluxo puxado de produção. Assim, este trabalho trata do layout e dimensionamento de uma linha de montagem sequenciada de para-choques em um complexo industrial automobilístico. São detalhados os desenvolvimentos do layout, como o posicionamento das máquinas e alternativas encontradas para armazenagem e abastecimento de peças, assim como o dimensionamento da linha, como o número de operadores e capacidade de atendimento ao cliente interno, e por fim os benefícios da utilização do sistema de produção enxuta nesta aplicação. Outro ponto relevante abordado pelo trabalho é a necessidade de manutenção da sequência de produção, uma vez que o cliente interno, ou seja, a linha de produção da montadora, produz mais de um modelo de veículo e, cada um destes exige diferentes para-choques de acordo com a versão que está sendo produzida. A metodologia da produção enxuta já havia sido implantada na empresa na fabricação de para-choques mais simples, que exigiam menos etapas de montagem, e assegurado o atendimento ao cliente interno sem rupturas. Desta forma decidiu-se adotá-lo novamente no estudo da nova linha como forma de garantir eficiência e atendimento ao cliente sem rupturas. De acordo com esse estudo, pode-se afirmar que o Sistema Toyota de Produção é uma ferramenta excelente para garantir eficiência em linhas de manufatura assim como o atendimento à demanda, seja o cliente interno ou externo.

Palavras-chave: Layout. Dimensionamento. Linha de montagem.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO DA LITERATURA	9
3	METODOLOGIA	12
	<i>3.1 Revisão do escopo, premissas e restrições</i>	<i>12</i>
	<i>3.2 Análise de produto e demanda.....</i>	<i>13</i>
	<i>3.3 Análise de conteúdo de trabalho</i>	<i>15</i>
	<i>3.4 Conceito de layout preliminar</i>	<i>16</i>
	<i>3.5 Conceito de layout, embalagem e movimentação</i>	<i>23</i>
	<i>3.6 Balanceamento de linha.....</i>	<i>28</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO	31
	<i>4.1 Revisão do escopo, premissas e restrições</i>	<i>31</i>
	<i>4.2 Análise de produto e demanda.....</i>	<i>32</i>
	<i>4.3 Análise de conteúdo de trabalho</i>	<i>32</i>
	<i>4.4 Conceito de layout preliminar</i>	<i>32</i>
	<i>4.5 Conceito de layout, embalagem e movimentação</i>	<i>33</i>
	<i>4.6 Balanceamento de linha.....</i>	<i>33</i>
5	CONCLUSÕES.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho terá como contexto o estudo do layout e o dimensionamento de uma linha de montagem sequenciada, baseada no Sistema Lean de Produção em uma indústria química pertencente a um complexo industrial automobilístico. Este estudo foi realizado em aproximadamente três meses.

Assim, o estudo de caso estuda os benefícios trazidos pelo sistema de produção enxuta na linha de montagem sequenciada de uma indústria manufatureira.

Desta forma, o objetivo geral deste estudo será identificar os impactos gerados pela implantação deste sistema de produção na área de fabricação da empresa estudada. Pode-se também identificar um objetivo secundário para o trabalho, que será compreender as dificuldades que a manutenção da sequencia traz para a linha de montagem.

A empresa foco do estudo de caso é uma indústria fabricante de parachoques que atua dentro de um complexo industrial automotivo e tem como cliente interno a linha de produção da montadora automobilística.

É assegurado por contrato o atendimento à linha de produção da montadora, com o pagamento de multas altas caso haja alguma ruptura de fornecimento e assim a parada da linha principal.

Com a introdução de um novo modelo na linha da montadora, novas peças e novos processos foram necessários, assim como manter a operação de um modelo da plataforma atual.

Este cenário mostrou haver dificuldade operacional para lidar com o novo modelo no mesmo layout assim como limitação de espaço.

Como o novo modelo apresentou diferenças significativas em relação aos processos de manufatura exigidos no modelo anterior, surgiu a necessidade de se estudar o layout e o dimensionamento da linha para se buscar soluções eficientes e garantir o atendimento ao cliente.

Espera-se que o estudo do layout e dimensionamento da nova linha sequenciada de parachoques pautada na manufatura enxuta resulte em uma linha de alta eficiência e que garanta o atendimento da demanda do cliente sem rupturas.

O presente trabalho terá estrutura desenvolvida em cinco capítulos, incluindo esta introdução para caracterização do tema, justificativa do trabalho e apresentação dos objetivos propostos e metodologia de pesquisa seguida.

O segundo capítulo trará o levantamento bibliográfico sobre a mentalidade enxuta e a criação de fluxo contínuo em linhas de produção introduzindo assim os principais conceitos abordados por este trabalho.

No capítulo três é apresentada a metodologia da implementação sobre a qual o estudo foi conduzido, abordando os passos seguidos durante todo o projeto.

O capítulo quatro descreve os resultados obtidos durante a aplicação da metodologia da implementação em cada etapa do projeto.

Por fim, o capítulo cinco apresenta as conclusões da pesquisa, finalizando-a e levantando os pontos relevantes do estudo e suas limitações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No começo da década de 90, as empresas da América do Norte, da Europa e do Japão estavam paralisadas e em busca de uma fórmula para o crescimento sustentado e para o sucesso. Com o foco voltado para as organizações existentes e em definições obsoletas de valor, estas empresas ficaram fadadas a criar uma cultura de desperdícios mantendo a economia dos países avançados estagnadas.

Um novo tipo de pensamento mostrou-se necessário para ajudar as empresas a especificar o valor de forma correta e alinhar todas as atividades que criam valor e fazer com que este flua uniformemente de acordo com as necessidades do cliente, idéias contrárias ao que o mundo obsoleto da produção em massa defendia. Este novo tipo de pensamento foi chamado de produção enxuta, ou Lean manufacturing, por tratar-se de uma forma de se fazer cada vez mais com cada vez menos (WOMACK; JONES, 1998).

A aplicação desta metodologia se tornou conhecida graças aos excelentes resultados obtidos pela Toyota ao longo da década de 90 e as boas práticas desenvolvidas nas suas plantas e os princípios do pensamento enxuto começaram a ser de interesse da classe industrial, principalmente das indústrias automotivas.

São princípios da produção enxuta (WOMACK; JONES, 1998):

- Especificar Valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final. A melhor maneira de se entender valor é usar a perspectiva do cliente e entender valor como aquilo que o cliente está disposto a pagar.
- Combate aos desperdícios. Por desperdícios entende-se qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor. Produção de itens que ninguém deseja, erros que exigem correção e movimentação desnecessárias são exemplos comuns de desperdícios nas organizações produtivas.
- Identificação da Cadeia de Valor. A cadeia de valor é definida desde o momento da concepção do produto até a entrega deste ao cliente. Muitas vezes na extensão deste percurso existem etapas que não criam valor e devem ser eliminadas, salvo quando inevitáveis, como por exemplo inspeções de qualidade.

- Fluxo. Por fluxo entende-se como fazer as etapas que criam valor fluir.

Ao contrário do pensamento departamentalizado fruto de nossa intuição, a criação de fluxo está ligada ao correto dimensionamento das máquinas e etapas de forma que o produto de uma máquina seja processado imediatamente nas máquinas adjacentes, sem a formação de um estoque intermediário. O fluxo está diretamente ligado a necessidade do cliente, pois se deve dimensionar o sistema para que a produção de uma peça esteja de acordo com a demanda do cliente. Por exemplo uma peça a cada 20 segundos.

- Produção Puxada. O conceito de Produção Puxada está ligado a somente produzir o que o cliente quer, quando o cliente quer. Deve-se deixar que o cliente puxe o produto, quando necessário, ao invés de empurrar os produtos muitas vezes indesejados.

- Perfeição. Conceito ligado à melhoria contínua. Quando os quatro primeiros princípios começam a ser utilizados, mais desperdícios ficam evidentes, permitindo assim sua eliminação, e quanto mais se consegue eliminar, mais próximo da perfeição ficamos.

Rother e Harris (2001) definiram uma sequência de aplicação de técnicas para que os princípios da manufatura enxuta pudessem ser alcançados em uma linha de produção:

- Cálculo do Takt Time. O takt time é definido pela divisão do tempo disponível de produção pela demanda de itens do cliente e serve para definir o ritmo que a linha deve seguir para atender o cliente.

Rother e Shook (1999) recomendam que não se deve subtrair o tempo de paradas de máquina não planejadas ou outros problemas internos, uma vez que o takt deve representar a taxa de demanda real do cliente.

- Análise do conteúdo de trabalho. O conteúdo de trabalho deve ser estudado através da reiteração da medição do tempo necessário para as atividades de um processo. O conjunto das medições de diversas atividades indica o conteúdo de trabalho da linha. Os autores recomendam a não utilização de dados de arquivos, pois além da possibilidade de obsolescência, não contribui para a identificação da melhor maneira de realização da tarefa resultado da observação in loco.

- Conceituação da movimentação dos operadores e do gerenciamento dos materiais. Os autores sugerem que nesta etapa seja desenvolvido o layout da linha, preferencialmente celular, tendo como objetivo a redução da movimentação

dos operadores através da aproximação dos processos e da disponibilização dos materiais próximos as estações em flow racks, não necessitando da parada do ciclo de trabalho para reabastecimento. O uso dos flow racks também é recomendado por Harris, Harris e Wilson (2003) nas áreas de formação de kits, ou supermercados de compra de peças.

- Balanceamento da carga de trabalho entre operadores. O número de operadores apropriado para a linha é definido pela divisão entre a carga de trabalho pelo takt time. Como esta divisão na maioria das vezes não é exata, os autores sugerem que se a parte decimal for menor que 0.3 deve-se arredondar o número para baixo e buscar redução de desperdícios para que o número de operadores satisfaça a carga de trabalho da linha. Se a parte decimal for de 0.3 a 0.5 recomenda-se utilizar o número de operadores arredondado para baixo, da mesma forma anterior, mas deve-se avaliar se a redução de desperdícios será suficiente. Caso não seja possível, recomenda-se adicionar um operador. Quando a parte decimal for maior que 0.5 deve-se acrescentar um operador e buscar a redução dos desperdícios a eliminação de um operador da célula.

3 METODOLOGIA

O plano de trabalho foi dividido nas seguintes fases:

- Revisão do escopo, premissas e restrições;
- Análise de produto e demanda;
- Análise de conteúdo de trabalho;
- Conceito de Layout Preliminar;
- Conceito de Layout, Embalagem e Movimentação;
- Balanceamento de linha.

3.1 *Revisão do escopo, premissas e restrições*

A revisão do escopo definiu quais os limites do projeto:

Definir um novo layout macro para a área de seqüenciamento considerando atender a linha de montagem seqüenciada de parachoques para 2 modelos de veículos:

- Definir o fluxo de materiais e componentes (interno a área de seqüenciamento);
- Balancear operadores;
- Conceituação de equipamentos, bancadas de montagem, poka-yokes e embalagens;
- Dimensionamento de estoque de componentes e áreas de armazenagem;
- Definição do sistema de chamada de componentes e controle de estoque em processo dentro das células de trabalho;

Como premissas do projeto foram definidas:

- Novo layout de sequenciamento deve ser menor ou igual à área de sequenciamento atual;

- Maximizar espaço para racks de sequenciamento nas áreas de saída para a linha;
- Maximizar estoque sequenciado (2 horas) para melhorar nivelamento do trabalho.

E finalmente, como restrições do projeto:

- Limitar a utilização de 90% do tempo do operador (questões de segurança, produtividade qualidade e recuperação de atrasos);
- Limite de operadores na célula deve estar dentro do estabelecido no orçamento para a operação.

3.2 Análise de produto e demanda

A análise de produto consistiu em verificar as peças necessárias à montagem dos parachoques dianteiro e traseiro do novo modelo, assim como a sequência dos processos de montagem. Como resultado desta análise, obtivemos as matrizes peça versus processo (figuras 1 e 2) e a sequência de montagem de cada modelo (figuras 3 e 4):

	N.	Peça	Processo				
			Corte	Clipagem		Solda	Rebite
				Manual	Máquina		
Front Bumper	1	Front Fascia Bumper			x	x	x
	2	Upper Grille			x		
	3	Ring for Upper Grille			x		
	4	Front Bracket			x		
	5	Ring Fog Bezel			x		
	6	Fog Bezel, without Fog Lamp			x		
	7	Fog Bezel			x		
	8	Valance				x	
	9	Valance With Holes	x			x	
	10	Tow Hook		x			
	11	Applique				x	
	12	Speed Lip				x	x
	13	Upper Support				x	
	14	Lower Grille (Ring Incorporado)			x		
	15	Lower Grille			x		
	16	Ring for Lower Grille			x		
	17	Fog Lamp					

Figura 1 - Matriz peça versus processo para parachoque dianteiro.

	N.	Peça	Processo			
			Corte	Clipagem		Solda
				Manual	Máquina	
Rear Bumper	18	Rear Bumper Without Holes				x
	19	Rear Bumper With Holes	x			
	20	Side Panel				x
	21	Rear Reinforcement				x
	22	Tow Hook		x		
	23	Applique				x
	24	Fog Lamp		x		
	25	Reverse Lamp		x		
	26	License Plate		x		
	27	Wiring Harness		x		
	28	Key less Antenna		x		
	29	Parking Aid Sensor (4)		x		
	30	Parking Sensor Clip (4)		x		

Figura 2 - Matriz peça versus processo para parachoque traseiro.

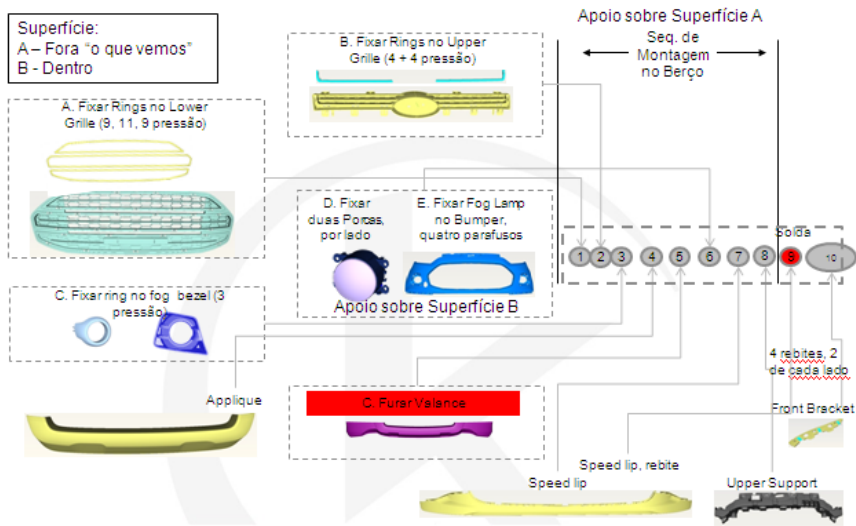


Figura 3 - Estudo da sequência de montagem do parachoque dianteiro.

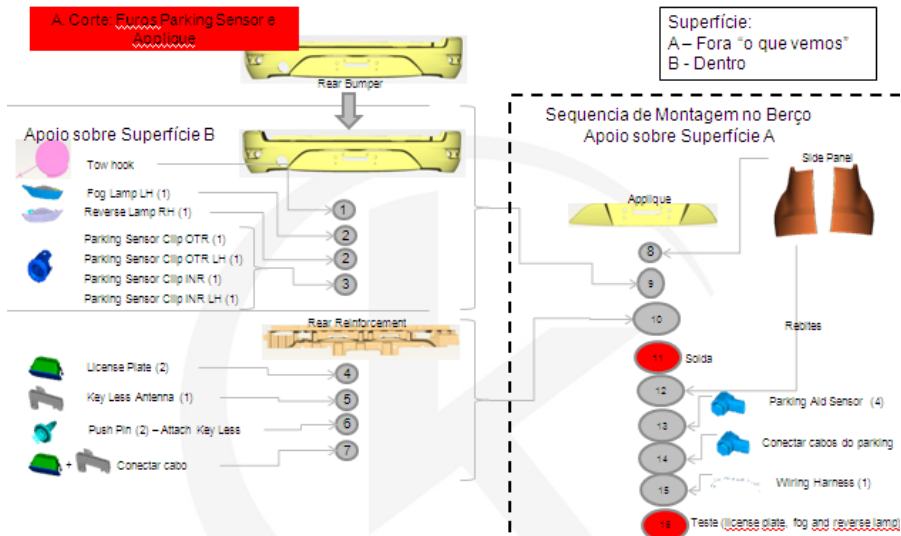


Figura 4 - Estudo da sequência de montagem do parachoque traseiro.

A partir do entendimento da seqüência de montagem do novo modelo verificou-se que o parachoque atual teria condições de ser montado na linha do novo, devido à similaridade de processos e simplicidade de montagem que este apresentava.

A análise da demanda verificou que a montadora produz cerca de 930 carros ao dia, ou seja, aproximadamente 42 carros por hora, o que nos dá um tempo takt de 85 segundos. Para dimensionarmos a linha de acordo com as restrições de projeto consideramos o takt time como 90% deste valor, ou 75 segundos.

A distribuição da demanda mostrou que a versão do parachoque de montagem mais complexa (4WD) respondia por 41% do total de parachoques fabricados. Decidiu-se assim dimensionar todos os sistemas baseados nesta versão, atendendo assim as demais e proporcionando certa disponibilidade quando outro parachoque de montagem mais simples estivesse sendo montado.

3.3 *Análise de conteúdo de trabalho*

Com o entendimento dos processos, das peças necessárias a cada modelo e da seqüência de montagem, foi possível estimar o conteúdo de trabalho através da extrapolação por similaridade, dos processos de montagem atuais com os dos novos modelos de parachoques, e da coleta de tempos no chão de fábrica.

No caso da coleta de tempos, foram utilizadas apenas três observações sobre a mesma atividade devido ao tempo reduzido no cronograma e da baixa variação dos dados colhidos, que podem ser entendidos devido à simplicidade dos processos e do costume do operador em efetuá-los.

Os resultados desta etapa foram planilhas com o conteúdo de trabalho de cada modelo como exemplifica a figura abaixo (figura 5):

Op	Operação	Atividade	Local	Oper.	Tempo (s)
1,1	Comprar peça no rack e caminha até a bancada de	Transporte	Inspeção	OP1	8
1,2	Limpeza e Inspeção da peça	Inspeção	Inspeção	OP1	51
2,1	Pegar peça e posicionar no berço da máquina de	Transporte	Bancada1	OP2	12
2,2	Acionar máquina, tempo de ciclo e retirar peça da	Montagem	Bancada1	OP2	24
2,3	Levar e posicionar no berço de montagem (superfície	Transporte	Bancada1	OP2	12
2,4	Pegar Fog Lamp ou Reverse Lamp e fixar no Rear	Montagem	Bancada1	OP2	8
2,5	Pegar Reverse Lamp e fixar no Rear Bumper	Montagem	Bancada1	OP2	8
2,6	Montar 4 suportes do Parking Sensor na superfície da	Montagem	Bancada1	OP2	16
2,7	Levar e posicionar na esteira de sequencia	Transporte	Bancada1	OP2	12
3,1	Pegar Rear Reinforcement e posicionar na bancada	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	8
3,2	Pegar License Lamp e fixar no Rear Reinforcement - 2	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
3,3	Posicionar e Fixar "wiring" nos 7 suportes	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	16
3,3	Fixar Kit Antena (key less)	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
3,4	Fixar Kit Antena (key less) com 2 push pins	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
3,5	Conectar cabo do key less e license plate	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
3,6	Posicionar peça na esteira da máquina	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	12
4,1	Pegar aplique, posicionar na	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	8
4,2	Pegar Rear Fascia	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	8
4,3	Pegar Side Bumper	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	8
4,4	Pegar Bumper	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	8
4,5	Aplicar adesivo	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
4,6	Aplicar adesivo	Montagem	Bancada3/4	OPM2/3	8
5,1	Levar para a esteira de sequencia	Transporte	Bancada3/4	OPM2/3	12

Figura 5 - Exemplo de Planilha de Conteúdo de Trabalho

3.4 Conceito de layout preliminar

O foco inicial da conceituação do layout foi o abastecimento de peças na linha de montagem sequenciada, pois este apresentava grande complexidade.

A técnica utilizada neste trabalho para obtenção de diferentes arranjos de layout, sem a necessidade da mudança física, foi a técnica da colagem, que consiste em desenhar em CAD, em escala, as dimensões dos equipamentos, bancadas, racks e outros componentes da linha de montagem, e colá-los sobre a reprodução da área disponível.

Através desta técnica verificamos que acomodar todas as peças necessárias aos diversos modelos na linha de montagem seria inviável devido ao espaço disponível e também por abrir margem para erros de sequenciamento.

Apresentou-se então a possibilidade da formação de kits de peças, as quais seriam selecionadas por um operador em área reservada e disponibilizadas para a linha de forma a assegurar a montagem do conjunto correto de peças e melhorar o uso do espaço disponível.

As boas práticas da produção enxuta para layouts sugerem uma série de itens a serem observados de maneira a obter eficiência e evitar problemas na linha de produção:

- Máquinas e estações de trabalho devem estar perto umas das outras para minimizar o deslocamento do operador;
- Remover obstáculos do caminho do operador;
- Eliminar espaços e superfícies onde se possam acumular estoques intermediários (WIP);
- Usar a gravidade para mover materiais e encaixar peças, sempre que possível, e assim ajudar o operador;
- Manutenção das ferramentas o mais próximo possível das estações de trabalho e instrução dos operadores quanto à correta forma de uso de cada uma delas;
- Assegurar completo atendimento às normas de segurança e ergonomia.

Guiados por estas boas práticas e pela experiência em implementações anteriores dos membros do projeto foram desenvolvidos três conceitos de layout preliminares sobre os quais serão observadas vantagens e desvantagens e que irão compor o layout definitivo em etapa posterior. Vale notar que serão estudadas duas linhas com o mesmo princípio de funcionamento que apenas se diferenciam no tipo de paracheque, um dianteiro e o outro traseiro:

O primeiro conceito desenvolvido foi o layout em linha (figura 9).

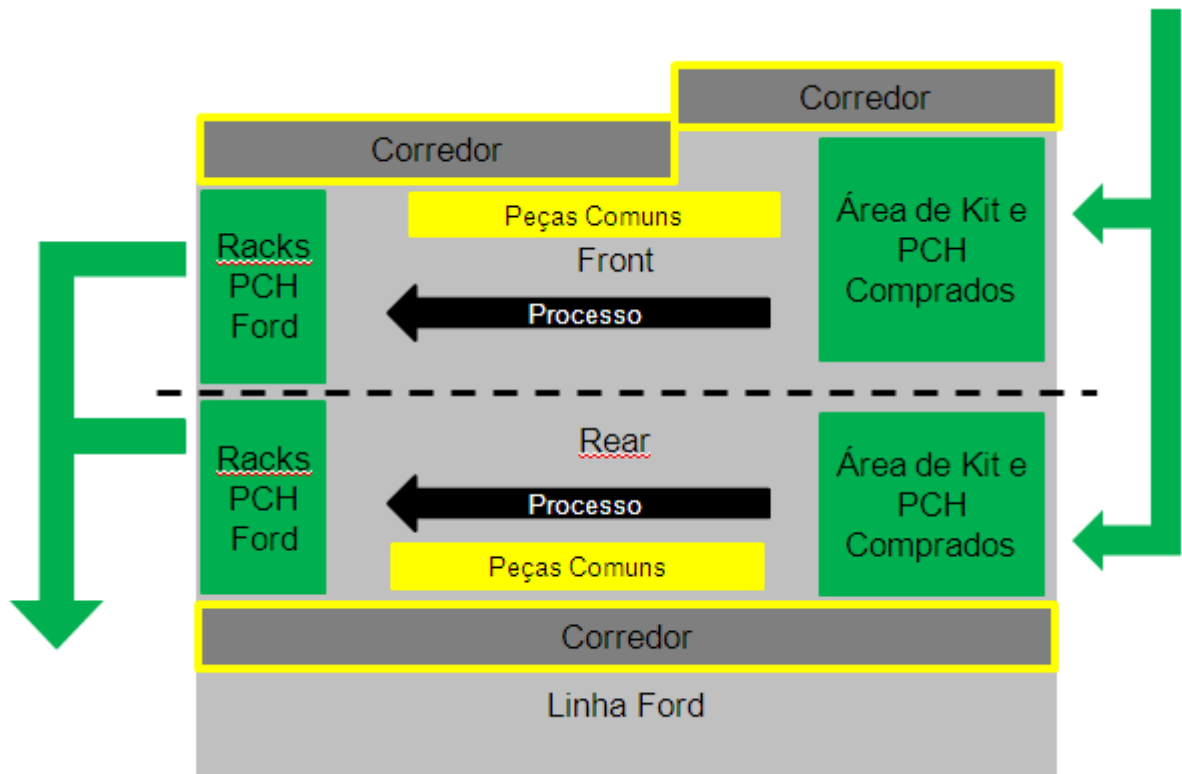


Figura 6 - Representação do conceito de layout em linha.

Para este layout foi pensado o uso de um carrinho com múltiplas funções que serviria como bancada para parte dos processos e como kit, levando as peças necessárias para a montagem de cada versão de parachoque.

O funcionamento deste layout tanto para o dianteiro quanto para o traseiro, em linhas gerais, pode ser explicado:

- A área de kit recebe a lista de parachoques que deverão alimentar a linha da montadora nas próximas duas horas;
- O operador responsável vai até o estoque de parachoques pintados e os compra na sequencia correta de cores e versões, os coloca sobre um rack e disponibiliza na área de kit;
- O operador da área de kit coloca sobre o carrinho multifuncional o parachoque correto de acordo com a versão e a cor, com todas as peças necessárias para a montagem e disponibiliza o carrinho para o primeiro processo, a inspeção.
- Cada processo recebe as peças que precisam de sequenciamento através do carrinho multifuncional e as peças comuns a todas as versões ficam disponíveis em racks próximos a estação de trabalho.

- Após passar por todos os processos da linha em FIFO para garantir a sequência, o parachoque é colocado no rack da montadora e levado para abastecer a linha principal.

Este layout em linha possui a vantagem da entrega dos produtos acabados sequenciados em um único ponto, a possibilidade de adoção de trilhos para garantir que a sequência seja mantida, e a fácil reposição das peças devido ao posicionamento dos racks nas regiões periféricas da linha, onde já existem corredores amplos, abrindo a possibilidade de abastecimento com uso de empilhadeiras.

Foi percebida a possibilidade de introdução de um automated guided vehicle (AGV), como forma de garantir o ritmo da linha. Esta possibilidade ficou para ser estudada junto ao fornecedor desta tecnologia na etapa de conceituação de layout, embalagem e movimentação.

Outro conceito desenvolvido foi a célula em U (figura 10).

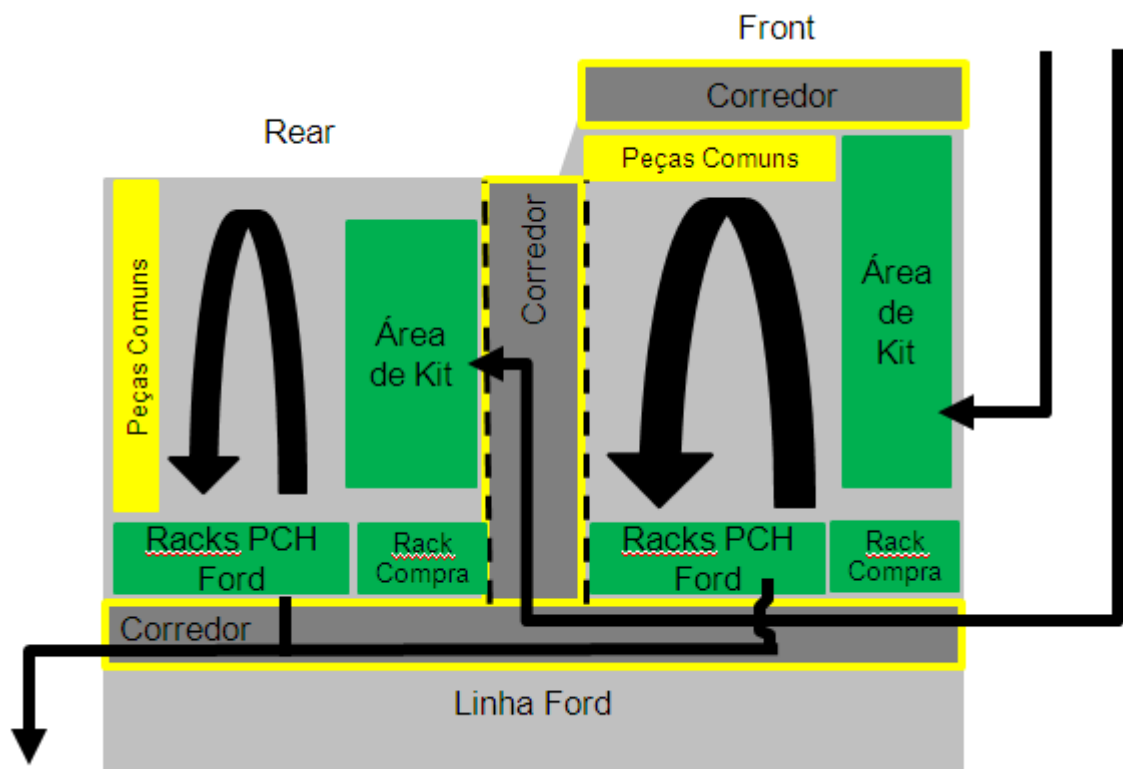


Figura 7 - Representação do conceito de layout celular em "U".

Este layout foi desenvolvido com o intuito de aproximar os processos e permitir que um operador pudesse realizar mais de um processo, transformando

assim o tempo de movimentação e transporte em tempo de agregação de valor ao produto, uma das principais idéias da produção enxuta.

O funcionamento deste layout é similar ao layout em linha, também permitindo a adoção do carrinho multifuncional, da área de kit para peças que necessitam ser seqüenciadas e possivelmente um AGV.

Este layout apresentou como vantagem a melhor distribuição dos componentes da linha e maior proximidade das operações, no entanto a necessidade de criação de um corredor no centro da linha para abastecimento dos racks da área de kit desagradou alguns membros da equipe responsáveis pela segurança. Segundo eles seria necessário minimizar, ou ainda se possível eliminar, áreas de fluxo compartilhado de pessoas e empilhadeiras.

O terceiro conceito foi o baleiro ou carrossel (figura 11).

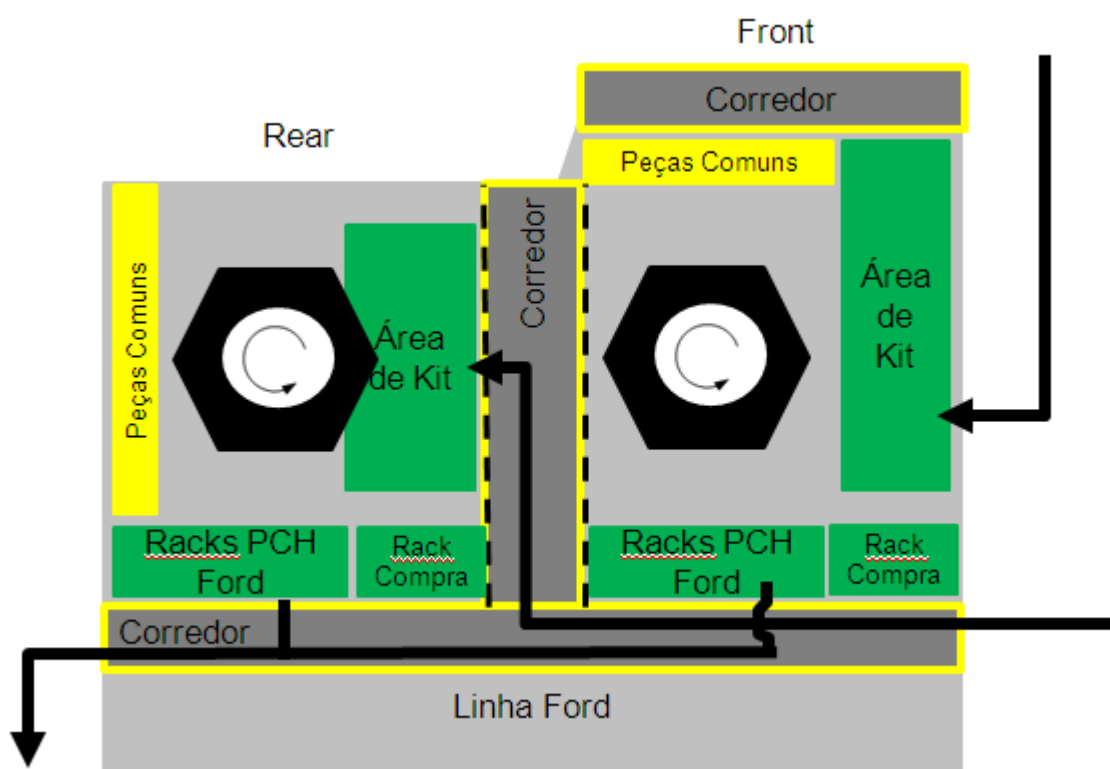


Figura 8 - Representação do conceito de layout com uso de baleiro.

Na busca de garantir o atendimento à montadora, sem rupturas, foi desenvolvido este layout.

Um baleiro, ou carrossel, é um dispositivo que a cada takt time gira, transferindo automaticamente o produto de um processo para a próxima etapa de fabricação. Sua grande vantagem é fazer a linha funcionar no ritmo exigido para o

completo atendimento ao cliente, não permitindo que os processos sejam feitos a velocidades elevadas, o que resultaria em tempo ocioso para os operadores, ou reduzidas, que levariam ao não atendimento do cliente.

A principal dificuldade foi verificar quais processos trariam vantagens em estar inseridos no baleiro. Processos de fabricação complexos trazem ônus significativos ao custo do baleiro assim como processos demasiadamente simples podem não justificar o investimento.

O funcionamento deste layout, por ser mais complexo, apresenta-se com maior detalhamento (figura 12).

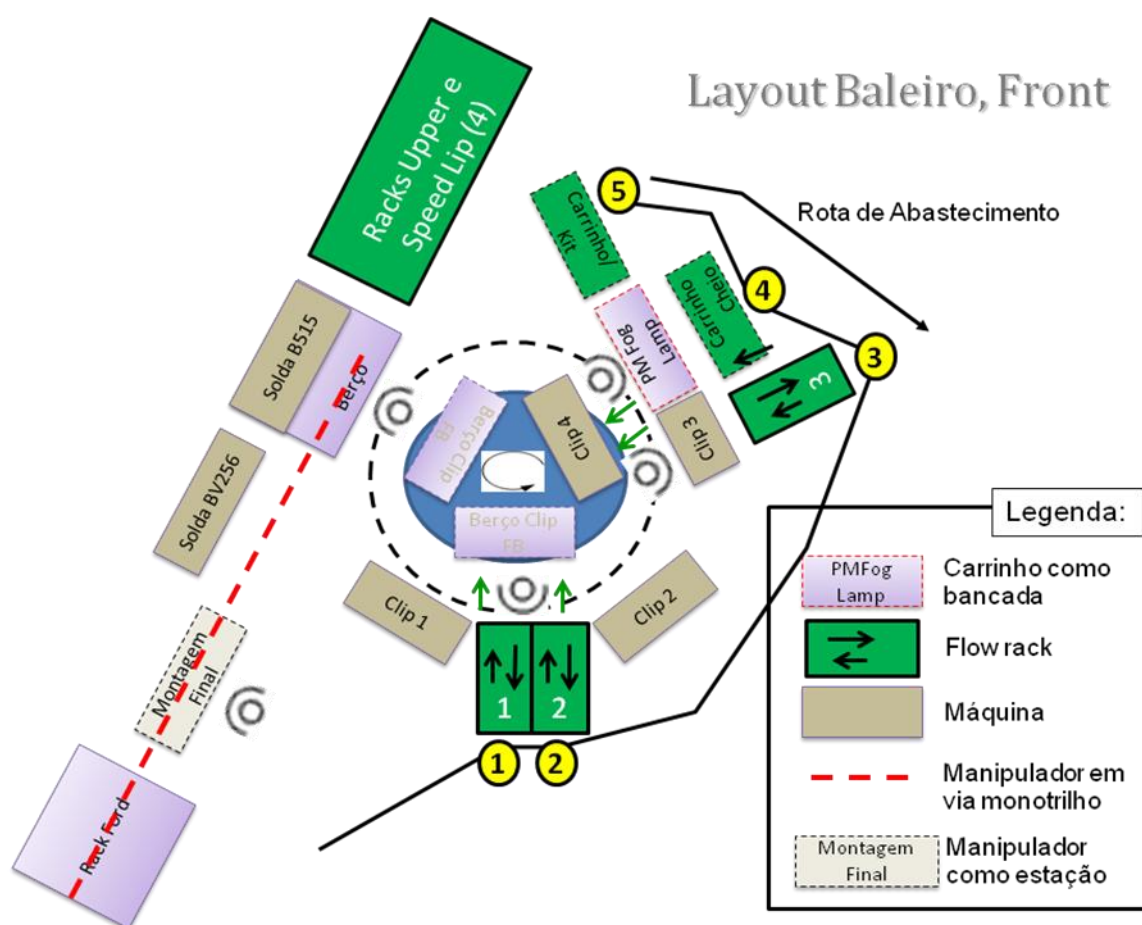


Figura 9 - Esquema detalhado de linha de montagem de paracheque dianteiro com o uso do baleiro.

- O operador responsável vai até o estoque de paracheques pintados e os compra na sequência correta de cores e versões, os coloca sobre um rack e disponibiliza na área de kit.
- A área de kit fica responsável por selecionar as peças e colocá-las no lugar correto no carrinho multifuncional, que diferentemente do que foi

concebido nos outros layouts agora tem caixas destinadas a cada montagem (figura 13).

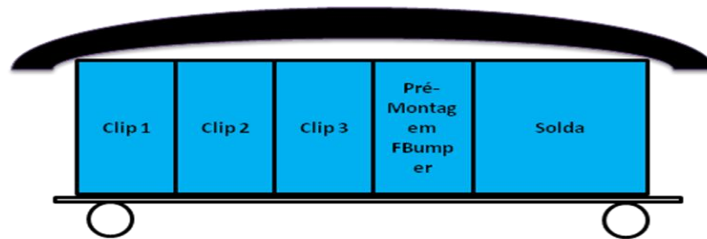


Figura 10 - Esquema de carrinho multifuncional composto por caixas definidas para cada processo.

- Cada caixa deve ser colocada no rack referente ao processo e o carrinho com o paracheque disponibilizado próximo ao processo de pré-montagem.
- Nesta etapa dois poka-yokes garantem o bom funcionamento do sistema. O primeiro (figura 14) faz com que somente a caixa correta possa ser entregue no rack referente ao processo correto e o segundo (figura 15) que garante a sequência de uso das caixas nos racks.

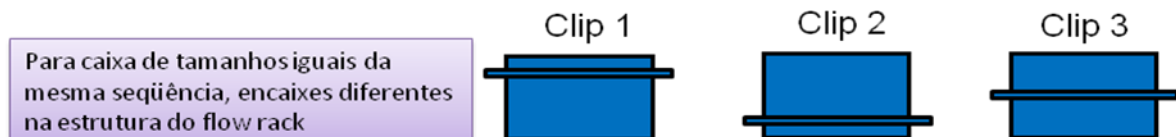


Figura 11 - Esquema de poka-yoke nas caixas do carrinho multifuncional para assegurar entrega no ponto de uso correto.

Sistema de Informação em cada estação



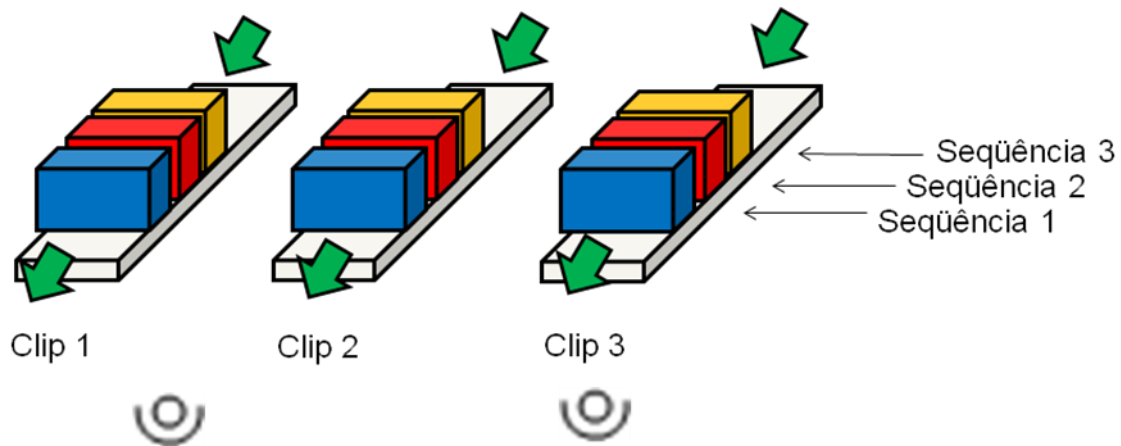


Figura 12 – Esquema de poka-yoke para garantir a sequência correta de montagem nas estações do baleiro.

- Garantido o abastecimento correto do baleiro, a cada takt este gira e leva o resultado de cada processo a etapa posterior.
- No último processo o parachoque é retirado do baleiro, colocado na máquina solda e após este último, movimentado através de um manipulador de ventosas sobre o qual ocorrerá a montagem final.

Como dito anteriormente, este layout apresenta a grande vantagem de garantir o ritmo da linha, mas pode representar também um grande risco se a confiabilidade do equipamento não for alta. É recomendado pelos autores consagrados no tema que se a confiabilidade não pode ser assegurada deve-se colocar o segmento automatizado em uma área separada, o que neste layout não é aplicável.

3.5 Conceito de layout, embalagem e movimentação

Após a concepção dos três conceitos do item anterior comparamos as características de cada layout em diferentes critérios (figura 16).

Critério	Linha	Célula em “U”	Baleiro
Qualidade (devido à manipulação)	Média	Média	Alta
Investimento Comparado	Baixo	Baixo	Alto
Uso da Área	Linhas de Front e Rear estão dispostas em paralelo com saídas de racks no mesmo ponto	Necessidade de abertura de 2 corredores internos para abastecimento; Área reduzida, mas existe ponto cegos na movimentação de pessoas e rebocadores	Disponibilidade de alocar mezanino (acima: administrativo; abaixo: mesa de descanso) entre Rear e Front, e alocar supermercado de contingência para Front Bumper
Conceito de Kit	Front: Todas as peças menos Speed Lip e Upper Support Rear: Kit e Peças comuns estão nas estações	Front: Todas as peças menos Speed Lip e Upper Support Rear: Kit e Peças comuns estão nas estações	Front: Todas as peças menos Speed Lip e Upper Support Rear: Todas as peças
Ritmo	Toda a linha tracionada ou com controle visual de ritmo por estação	Toda a linha tracionada ou com controle visual de ritmo por estação	Definido pelo intervalo do giro do baleiro
Pontos de decisão (Seqüência)	Kit (peças), pois modelo atual e novo compartilham o fluxo	Kit (peças), pois modelo atual e novo compartilham o fluxo	Kit (peças), Operador da Solda (BV256 ou B515) para Front, Operador Montagem Final (BV256N e B515)
Transporte Interno (processo)	Carrinho = Kit = Bancada, manipulador duplo para Solda-Montagem Final e Rack Ford	Carrinho = Kit = Bancada, manipulador duplo para Solda-Montagem Final e Rack Ford	Baleiro e Manipulador duplo
Abastecimento	Carrinho = Kit entregue na inspeção	Carrinho = Kit entregue na inspeção	Carrinho = Kit = Bancada Inspeção
Considerações	Speed lip e upper support devem ser abastecidos por abertura no guarda-corpo (casa de baterias), entrada e saída dos racks em via dupla	Necessidade de abastecimento pelo corredor da casa de baterias (rear), área de kit segregada pelos corredores (ponto cego), escritório alocado no rear	Quinto rack de saída do rear interfere na posição do guarda-corpo; Dois metros entre rack de scrap e parede; Entrega do rack de rear bumper comprado deve ser entregue por rebocador; manipulador com rota em L

Figura 13 - Comparativo de critérios entre diferentes conceitos de Layout desenvolvidos

Foi verificado pela comparação que o layout que melhor atendia aos requisitos do projeto era a célula em “U”, no entanto, o abastecimento deveria ser repensado para que não houvesse problema com a segurança, devido o fluxo compartilhado de pessoas e empilhadeiras e a existência de pontos cegos. A solução foi a mudança da área de formação do kit de peças para um corredor amplo já existente e algumas adaptações que resultaram no layout definitivo (figura 17).

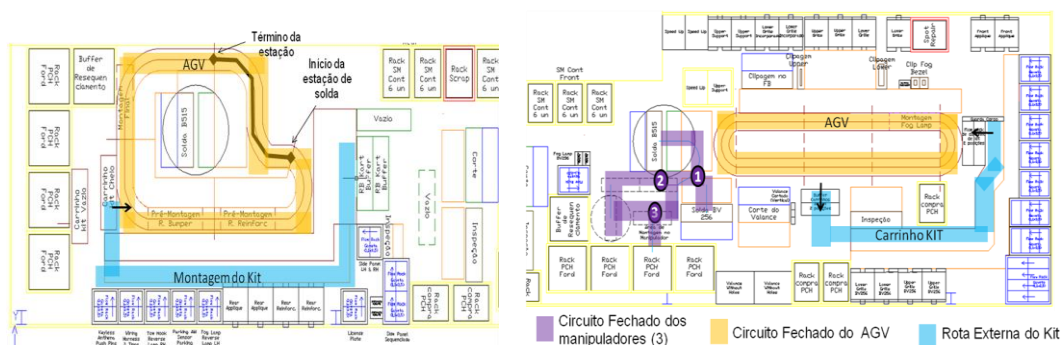


Figura 16 - Rotas de movimentação de AGVs nas linhas do paracheque traseiro e dianteiro.

Outra característica que viabilizou tal layout foi a utilização de flow racks (figuras 17 e 18). Esses são recomendados como boas práticas pelos manuais de produção enxuta por não interromper o trabalho quando há necessidade de reabastecimento de peças:



Figura 17 - Esquema de flow rack de gavetas pequenas.

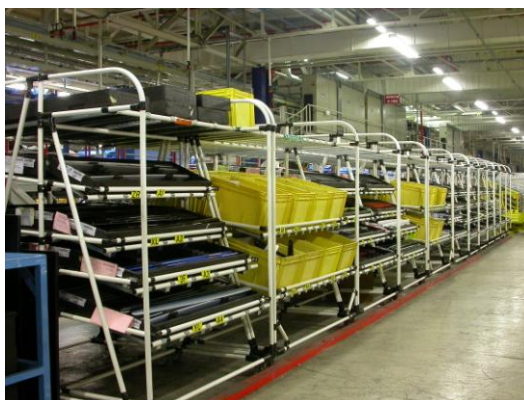


Figura 18 – Exemplo de uso de flow racks em área de formação de kit de peças

A idéia deste rack é que as gavetas com peças escorreguem por gravidade para o ponto de uso e que quando esvaziado a caixa o operador retire a gaveta e a coloque no primeiro (ou último andar). A próxima gaveta da sequência

escorregará para o ponto de uso e a gaveta vazia sinalizará ao operador de abastecimento a necessidade de reposição de peças, enquanto o trabalho continua sem interrupções.

O estudo da distribuição das peças em gavetas nos flow racks permitiu que houvesse quantidade de peças suficientes para suprir duas horas de demanda, diminuindo assim a necessidade de abastecimento ao mínimo possível, e ainda assim respeitando as regras de ergonomia (figura 19).

Visão Frontal dos Flow Racks

	Flow Rack 1	Flow Rack 2	Flow Rack 3	Flow Rack 4	Flow Rack 5	Flow Rack 6	Flow Rack 7	Flow Rack 8
Nível6	Ring for Lower Grille, upper, Satin Aluminium Ring (painted)		Tow Hook, cor 1	Tow Hook, cor 2	Tow Hook, cor 3	Tow Hook, cor 4	Tow Hook, cor 5	
Nível5	Ring for Lower Grille, upper, Satin Aluminium Ring (painted)	Ring for Lower Grille, upper, Satin Aluminium Ring (painted)	Tow Hook, cor 6	Tow Hook, cor 7	Tow Hook, cor 8	Tow Hook, cor 9	Tow Hook, cor 10	Fog Bezel HS LH BV256
Nível4	Ring for Lower Grille, upper, London Gray Ring (painted)	Mid Gray Ring for Upper Grille (Painted) LH	Mid Gray Ring for Upper Grille (Painted) RH	Fog Lamp	Fog Lamp	Fog Bezel, LH without Fog Lamp	Fog Bezel, RH without Fog Lamp	Fog Bezel HS RH BV256
Nível3	Ring for Lower Grille, upper, London Gray Ring (painted)	Ring Fog Bezel, London Gray Ring (Painted) LH	Ring Fog Bezel, London Gray Ring (Painted) RH	London Gray Ring for Upper Grille (Painted) LH	London Gray Ring for Upper Grille (Painted) RH	Fog Bezel LH	Fog Bezel RH	Fog Bezel LS LH BV256
Nível2	Ring for Lower Grille, upper, London Gray Ring (painted)	Ring Fog Bezel, Chromed Ring LH	Ring Fog Bezel, Chromed Ring RH	Chromed Ring for Upper Grille LH	Chromed Ring for Upper Grille RH	Ring for Lower Grille, upper, Chromed Ring	Ring for Lower Grille, upper, Chromed Ring	Fog Bezel LS RH BV256
Nível1	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box	Return Empty Box

	Flow Rack 1	Flow Rack 2	Flow Rack 3	Flow Rack 4	Flow Rack 5	Flow Rack 6	Flow Rack 7	Flow Rack 8
Altura Máxima c/ Tolerância de +50mm	1350	1370	1480	1430	1430	1460	1460	1490
Altura Mínima (>300mm)	300	370	370	370	370	370	370	370

	Dentro da Especificação de		Dentro da Faixa de Tolerância				Acima do Valor Permitido
--	----------------------------	--	-------------------------------	--	--	--	--------------------------

Figura 19 – Estudo da distribuição das peças em gavetas nos flow racks e verificação da ergonomia.

As peças de tamanho grande, as comuns a todos os modelos ou ainda as que exigiam condições especiais de armazenamento, devido, por exemplo, à necessidade de proteção da superfície pintada, foram mantidos os racks vindos dos fornecedores, mas para que o abastecimento não fosse interrompido, foram colocados dois racks lado a lado (figura 20). Consome-se as peças de um rack e assim que estas se esgotam, começa-se a consumir do outro, enquanto o abastecedor substitui o vazio por outro cheio.

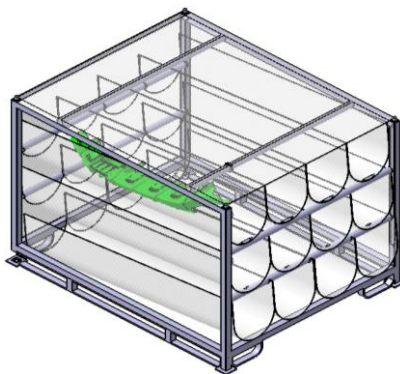


Figura 20 – Rack de embalagem especial devido a necessidade de proteção da camada de acabamento da peça.

A resolução do fluxo de materiais descrita acima foi muito importante para o próximo tópico, pois permitiu a diminuição da movimentação do operador e do transporte, considerados pelo lean como desperdícios e quando em excesso provocam a necessidade de um maior número de operadores na linha.

3.6 Balanceamento de linha

Baseado nos tempos colhidos em uma das etapas iniciais do projeto e no layout definitivo foram criadas planilhas de estudo de processos (figura 21) como recomendado pelos manuais de manufatura enxuta. Estas planilhas mostram atividades detalhadas de cada processo, assim como o tempo necessário para cada atividade.

Célula Montagem Front Bumper Sequenciamento

MONTAGEM FRONT					
Detalhes do Processo de Montagem					
Op	Operação	Atividade	Local	Oper.	Tempo - 4DW (s)
0	Compra do Front Bumper na área de pch pintados	Transporte	Compra	OP1	60
1.1	Pegar Front Bumper no rack de compra e posicionar na bancada de inspeção, superfície B sobre a base	Transporte	Inspeção	OP2	6
1.2	Inspeccionar Front Bumper	Inspeção	Inspeção	OP2	51
1.3	Pegar front bumper na bancada de inspeção e posicionar na bancada de montagem	Transporte	Inspeção	OP2	6
2.2	Pegar Valance no rack, posicionar na máquina de corte e acionar	Transporte	Corte	OP3	6
2.3	Acionar máquina de corte	Corte	Corte	OP3	24
2.4	Descarregar Valance da máquina de corte e posicionar no supermercado interno da área de kit	Montagem	Corte	OP3	6
2.5	Pegar Valance Cortado no supermercado e posicionar no carrinho	Kit	Kit	OP3	11,0
2.6	Pegar Fog Bezel LH e RH em rack único e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP3	11,0
2.7	Pegar Fog Lamp no rack e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
2.8	Pegar rings do Upper Grille (LH e RH) e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
2.9	Pegar Rings LH e RH do Fog Bezel em racks separados e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
3	Pegar Tow Hook no rack e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
3.1	Pegar rings do Lower Grille (Upper, mid e lower rings em rack único) e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
3.2	Pegar Applique no rack e posicionar no carrinho do kit	Kit	Kit	OP4	11,0
4.1	Pegar Fog Bezel LH & RH e posicionar na máquina de fixar ring	Transporte	Clipagem 3	OP5	8
4.2	Pegar Rings do Fog Bezel e posicionar peça (uma peça em cada mão)	Montagem	Clipagem 3	OP5	6
4.3	Acionar máquina de Clipagem para Fog Bezel + Ring - 3 snaps feature cada lado	Clipagem	Clipagem 3	Aut	15
6.1	Pegar Fog Lamp no carrinho, fixar 4 porcas plástica do Fog Lamp (2 por lado)	Montagem	Montagem Fog Lamp	OP5	14
6.2	Posicionar Fog Lamp no para-choque (2 lados)	Montagem	Montagem Fog Lamp	OP5	10
6.3	Fixar Fog Lamp com 4 parafusos (2 por lado) - Utilizar Parafusadeira Pneumática	Montagem	Montagem Fog Lamp	OP5	18
6.4	Pegar Tow Hook no carrinho	Transporte	Montagem Fog Lamp	OP5	6
6.5	Fixar Tow Hook no Front Bumper	Montagem	Montagem Fog Lamp	OP5	6
4.4	Descarregar máquina de Clipagem de Fog Bezel + Rings e posicionar peças no carrinho do kit	Transporte	Clipagem 3	OP5	6
3.1	Pegar Upper Grille no rack e posicionar na máquina de fixar ring	Montagem	Clipagem 2	OP6	6
2.1	Pegar Lower Grille no rack e posicionar na máquina de fixar ring	Montagem	Clipagem 1	OP6	6
2.2	Pegar Rings Lower Grille no carrinho do kit e posicionar peça	Montagem	Clipagem 1	OP6	6
2.3	Acionar máquina de Clipagem de Lower Grille - Ring superior 9 snaps, Medio 11 snaps e Inferior 9 snaps	Clipagem	Clipagem 1	OP6	6
3.2	Pegar Rings Upper Grille no carrinho do kit e posicionar peça sobre upper grille anteriormente posicionado	Clipagem	Clipagem 1	OP6	6
3.3	Acionar máquina de clipagem de Upper Grille - 4 snaps	Clipagem	Clipagem 1	OP6	6
2.4	Descarregar máquina de Clipagem de Fog Bezel + Rings	Clipagem	Clipagem 3	OP5	6
3.4	Descarregar máquina de Clipagem de Lower Grille	Clipagem	Clipagem 1	OP6	6
7.1	Pegar Fog Bezel LH e RH no carrinho	Transporte	Clipagem 3	OP5	6
7.4	Pegar Fog Lamp no carrinho	Transporte	Clipagem 3	OP5	6

Figura 21 – Exemplo de Planilha de estudo e distribuição das atividades entre operadores.

O objetivo é a distribuição das cargas de trabalho, minimizando o número de operadores na linha de montagem seqüenciada, e a obtenção do gráfico de balanceamento de operadores (gráfico 1):

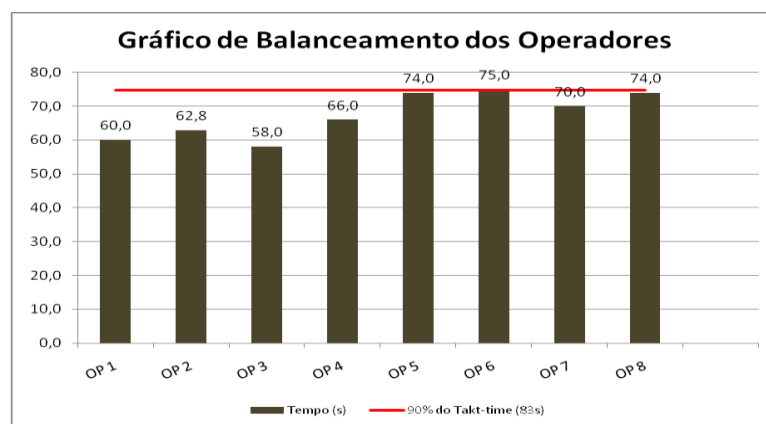


Gráfico 1 – Gráfico de Balanceamento dos Operadores da linha de para-choques dianteiros.

O resultado apontado pelo gráfico para a montagem do para-choque dianteiro foi da necessidade de 8 operadores para a carga de trabalho da linha, o que está de acordo com os manuais de produção enxuta que indicam que o número mínimo apropriado de operadores é a divisão entre a carga total de trabalho pelo takt time:

$$\text{Carga total de trabalho/Takt time} = \text{Número de Operadores}$$

$$544 \text{ s} / 75 \text{ s} = 7,25 \text{ Operadores}$$

Isto mostra que o número apropriado de operadores para a carga de trabalho da linha do parachoque dianteiro é 7. No entanto consideramos a utilização de 8 operadores devido a necessidade da consideração de certa ociosidade programada.

O mesmo método foi utilizado para obter o gráfico da linha do parachoque traseiro (gráfico 2).

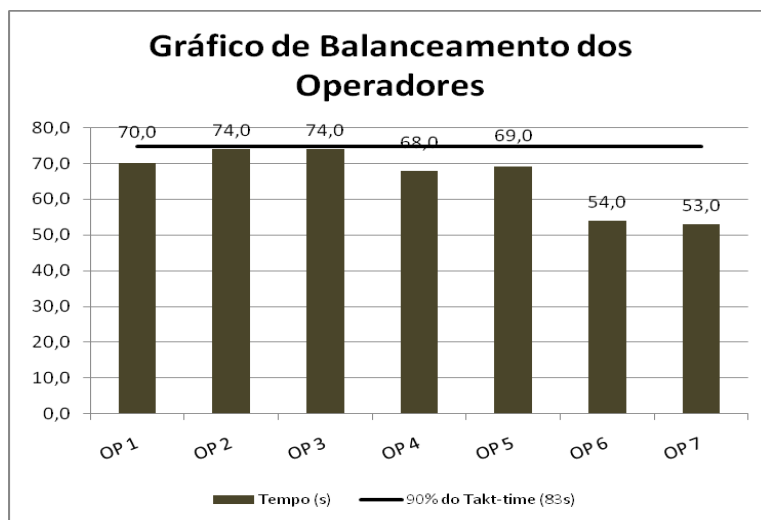


Gráfico 2 – Gráfico de Balanceamento dos Operadores da linha de parachoques traseiros.

Novamente:

$$\text{Carga total de trabalho/Takt time} = \text{Número de Operadores}$$

$$462 \text{ s} / 75 \text{ s} = 6,16 \text{ Operadores}$$

Assim temos que o número apropriado de operadores para a carga de trabalho da linha do parachoque traseiro é 6. Mais uma vez, devido a ociosidade programada a equipe de projeto optou pelo uso de 7 operadores.

A ociosidade programada é desejável para que em casos de contingência não seja necessário o deslocamento de operadores de outras áreas, pois há disponibilidade dos operadores na própria linha.

Ambos os dimensionamentos mostram que a carga de trabalho foi dividida eficientemente entre os operadores e para a configuração atual das linhas o número total de operadores está minimizado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO

A necessidade de atendimento ao cliente interno sem rupturas foi a maior motivação do projeto, por resultar em muitas altas para a indústria foco do estudo.

Apesar desta motivação principal, a aplicação da produção enxuta neste projeto foi além de apenas garantir o atendimento ao cliente interno. O lean foi utilizado para obter eficiência nas atividades, diminuindo os desperdícios como o excesso de transporte de peças e movimentação dos operadores e possibilitou que uma linha consideravelmente complexa utilizasse um espaço reduzido.

A seguir, discutiremos os resultados de cada fase do projeto com foco na contribuição da sistemática da produção enxuta:

- Revisão do escopo, premissas e restrições
- Análise de produto e demanda
- Análise de conteúdo de trabalho
- Conceito de Layout Preliminar
- Conceito de Layout, Embalagem e Movimentação
- Balanceamento de linha

4.1 *Revisão do escopo, premissas e restrições*

Os resultados obtidos nesta etapa são os limites claros dos pontos de abordagem do projeto, contribuindo assim para que a força de trabalho fosse direcionada para os pontos chave e que resultaram no atendimento as expectativas do cliente.

4.2 *Análise de produto e demanda*

Esta etapa trouxe o entendimento dos processos que fariam parte da linha de montagem assim como da demanda necessária para atender o cliente. O uso da matriz de processos e do cálculo do tempo takt, ferramentas lean recomendadas pelos manuais, tornou esta análise muito simples e com resultados que foram essenciais para os próximos passos no desenvolvimento do layout e dimensionamento da linha.

4.3 *Análise de conteúdo de trabalho*

Por se tratar de um modelo novo de parachoque cujos processos necessários eram de certa forma inéditos, a extrapolação do tempo necessário a processos semelhantes já executados nas linhas de montagem da fábrica, foi importante para estimar a carga de trabalho nas linhas.

4.4 *Conceito de layout preliminar*

A elaboração dos três conceitos preliminares de layout sempre tendo como objetivo os princípios da produção enxuta de combate aos desperdícios, a criação de fluxo e a melhoria contínua, foi um ponto chave do projeto, resultando em material para discussões com a equipe do projeto sobre as vantagens e desvantagens de cada conceito criado do ponto de vista enxuto. Estas discussões mostraram a possibilidade de integração dos pontos positivos de cada conceito em um único layout integrado que originou o definitivo.

4.5 *Conceito de layout, embalagem e movimentação*

O uso das técnicas apontadas pelos manuais de manufatura enxuta mostrou-se essencial para uma linha de montagem eficiente. O uso de racks especiais, os chamados flow racks, determinaram excelente distribuição das peças pelo espaço disponível e a redução da necessidade de movimentação dos operadores. O uso de AGVs garantiu o ritmo de funcionamento da linha de acordo com a necessidade do cliente.

4.6 *Balanceamento de linha*

O uso das planilhas de estudo de processos e o gráfico de balanceamento de operadores ilustra com muita clareza a carga de trabalho de cada operador, tornando assim a distribuição das tarefas mais fácil e eficiente. Os resultados da aplicação destas técnicas foram muito animadores, uma vez que obtivemos o menor número possível de operadores para a carga de trabalho que a linha exigia.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho foi motivado pela necessidade de introdução de um novo modelo de paracheque na linha de montagem sequenciada na empresa em questão. O uso da sistemática da manufatura enxuta já havia trazido bons resultados na linha existente, garantindo sempre o atendimento do cliente interno, a montadora. Desta forma buscou-se novamente a aplicação das técnicas desta metodologia como forma de dimensionar uma linha eficiente e que da mesma forma atendesse o cliente sem rupturas de fornecimento.

O trabalho em questão mostrou a busca pela eficiência através da eliminação dos desperdícios e com a aplicação das técnicas recomendadas pelos principais autores do tema através dos manuais de manufatura enxuta.

Uma dificuldade encontrada no desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentar os resultados e dados sem violar a confidencialidade de informações, ainda assim ilustrando com clareza os passos e as tomadas de decisões.

Os princípios da mentalidade enxuta se mostraram fáceis de aplicar, não exigiram investimentos exorbitantes, ou ainda tecnologia de ponta. Foram alcançados através de técnicas simples, mas que resultaram em uma linha de grande eficiência.

REFERÊNCIAS¹

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Creating Continuous Flow**: an action guide for managers, engineers & production associates. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute, 2001.

ROTHER, M.; HARRIS, R.; WILSON, E. **Making Materials Flow**: a lean material-handling guide for operations, production-control, and engineering professionals. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute, 2003.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. Tradução de José Roberto Ferro, Telma Rodrigues. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues, Priscila Martins Celeste. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. 6063