

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

Lívia Rodrigues Lothhammer Venturini

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROCESSO DE
MONTAGEM ENXUTO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE BENS
DE CONSUMO DURÁVEIS: UM ESTUDO DE CASO**

Florianópolis

2012

Lívia Rodrigues Lothhammer Venturini

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROCESSO DE
MONTAGEM ENXUTO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE BENS
DE CONSUMO DURÁVEIS: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Abelardo Alves de
Queiroz, Ph.D

Florianópolis

2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

V469p Venturini, Livia Rodrigues Lothhammer

Proposta de implantação de um processo de montagem enxuto no setor de produção de bens de consumo duráveis [dissertação] : um estudo de caso / Livia Rodrigues Lothhammer Venturini ; orientador, Abelardo Alves de Queiroz. - Florianópolis, SC, 2012.

134 p.: il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia mecânica. 2. Processos de fabricação. 3. Bens de consumo duráveis. 4. Produtividade industrial. I. Queiroz, Abelardo Alves de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU 621

Lívia Rodrigues Lothhammer Venturini

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROCESSO DE
MONTAGEM ENXUTO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE BENS
DE CONSUMO DURÁVEIS: UM ESTUDO DE CASO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 17 de fevereiro de 2012.

Prof. Júlio César Passos, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D – Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lourival Boehs, Dr.Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Adrián Guillermo Ricardo Lucero, Dr.Eng.

*Dedico este trabalho aos
meus pais, Alfredo e Sirlei,
e, em especial, ao meu marido
Mauricio.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por nos dar a vida e, cuja presença se traduz na força que nos mantêm persistentes na busca de nossos objetivos.

Agradeço aos meus pais, Alfredo Lothhammer e Sirlei Rodrigues Lothhammer, bem como ao meu irmão, Frederico Rodrigues Lothhammer, que apesar da distância, sempre me dedicaram apoio, amor e confiança, estando presentes em todos os momentos da minha vida.

Meu agradecimento especial ao meu marido, Mauricio Cargnelutti Venturini, pelo carinho sem tamanho e estímulo para a concretização dos meus ideais.

Ao Prof. Abelardo Alves de Queiroz por sua confiança, dedicação, amizade e orientação na pesquisa desenvolvida.

À empresa que gentilmente possibilitou o estudo desenvolvido e as pessoas envolvidas no projeto, em especial à Marilaine Jancowshi Pedroso e ao Eng. Antonio Carlos Lupinacci Filho por colaborarem com o desenvolvimento, construção, funcionamento e aprimoramento da célula de montagem. Ao Gerente Industrial, Maciel Leve Laus, pela oportunidade e total apoio. Ao colega Iury Luís Radünz por auxiliar na criação do projeto. Agradeço também a Roberto Beirão Amaral e Silvano Mafra por contribuírem com a construção da célula, assim como às funcionárias Dilma de Abreu Rosa, Jurema Vieira da Silva e Maria Aparecida Padilha da Silva. A participação e comprometimento destas funcionárias foram de extrema importância, permitindo que a célula deixasse de ser um desafio para tornar-se uma realidade.

Aos demais colegas de empresa: Leandro Berkmann, Eduardo Venturelli, Sadi de Souza, Rogério Ebel, Claubert Cristiano Fischer, Osorio Rossetto e Carlito de Souza Júnior pela amizade e colaboração.

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e a todos os professores que contribuíram para o meu crescimento profissional.

Por fim, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que confiou em meu trabalho e outorgou a bolsa para este mestrado. Muito obrigada!

RESUMO

Nas últimas décadas, a busca pela manufatura enxuta tem crescido na indústria mundial. A implantação dos conceitos *lean* vem sendo feita por meio de adaptações das formas tradicionais de trabalho, visando reduzir os desperdícios para elevar a competitividade. Entre as práticas enxutas, a manufatura celular traz benefícios expressivos, tais como flexibilidade e produtividade. Partindo dessas considerações, esta dissertação apresenta uma proposta para a implantação de células de montagens no setor de produção de bens de consumo duráveis. Tal pesquisa foi desenvolvida mediante um estudo de caso em um ambiente industrial de produção seriada a fim de resolver o problema de produtividade e eficiência operacional em um processo de montagem. A proposta é estruturada em quatro fases: planejamento para célula de montagem *lean*; projeto da célula; implantação do piloto; e por fim, consolidação da célula de montagem. A implementação da proposta em uma indústria líder no segmento de eletrodomésticos foi de grande sucesso, confirmando ganhos significativos de produtividade, flexibilidade, redução de estoque e de área ocupada.

Palavras chave: manufatura celular, implementação, manufatura enxuta.

ABSTRACT

In recent decades, the search of lean manufacturing has grown in the industry worldwide. The implementation of lean has been made through adaptations of traditional forms in order to reduce waste to increase competitiveness. Among the practices lean, cellular manufacturing brings significant benefits such as flexibility and productivity. Based on these considerations, this dissertation presents a proposal for implementing of cell assembly of consumer durables. This research was developed through a case study in an industrial serial production in order to solve the problem of productivity and operational efficiency in an assembly process. The proposal is divided into four phases: planning for lean assembly cell, the cell design, implementation of the pilot, and finally, consolidation of the cell assembly. The implementation of the proposal into an industry leader in the appliance was a great success confirming significant gains in productivity, flexibility, reduced inventory and floor space.

Keywords: cellular manufacturing, implementation, lean manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Célula de manufatura em forma de U. Fonte: adaptado de Hyer e Wemmerlöv (2002).	42
Figura 2 – Célula de manufatura em forma de U. Dois operadores polivalentes para sete postos de trabalho. Fonte: adaptado de Liker (2005).....	43
Figura 3 – Visão esquemática do procedimento proposto. Fonte: elaborado pelo autor.	60
Figura 4 – Planta baixa da linha de montagem. Postos de trabalho numerados. Fonte: dados da empresa (2010).....	75
Figura 5 – Identificação e cronometragem dos elementos de trabalho para uma unidade do eletrodoméstico. Folha de Estudo do Processo – Linha de montagem. Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).....	81
Figura 6 – Quadro <i>yamazumi</i> da linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.	82
Figura 7 – Análise da cronometragem dos elementos de trabalho. Fonte: elaborado pelo autor.	83
Figura 8 – <i>Kaizen</i> no Papel para o conteúdo de trabalho de uma unidade do eletrodoméstico. Fonte: elaborado pelo autor.	85
Figura 9 – Proposta de quadro <i>yamazumi</i> para a célula de montagem. Fonte: elaborado pelo autor	87
Figura 10 – <i>Mock-up</i> realizado durante o estudo. Fonte: dados da empresa (2010).	89
Figura 11 – Quadro <i>yamazumi</i> após o <i>mock-up</i> . Fonte: elaborado pelo autor. .	91
Figura 12 – Projeto preliminar da célula de montagem. Fonte: dados da empresa (2010).	93
Figura 13 – Planta baixa da célula e do supermercado. Fonte: dados da empresa (2010).	93
Figura 14 – Quadro do controle horário de produção. Monitoramento do segundo dia de funcionamento da célula. Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).	96
Figura 15 – Desempenho da célula de montagem durante a segunda e terceira semana de funcionamento. Fonte: elaborado pelo autor.....	97

Figura 16 – Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).....	100
Figura 17 – Diagrama de Trabalho Padronizado para o Operador 1. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).....	101
Figura 18 – Diagrama de Trabalho Padronizado para o Operador 2. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).....	101
Figura 19 – Folha de Instrução de Trabalho para o Operador 1. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).....	102
Figura 20 – Folha de Instrução de Trabalho para o Operador 2. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).....	103
Figura 21 – Quadro <i>yamazumi</i> da célula após três meses em operação. Fonte: elaborado pelo autor.....	106
Figura 22 – Planta baixa com três operadores trabalhando na célula. Fonte: dados da empresa (2010).	107
Figura 23 – Quadro <i>yamazumi</i> para atender o aumento de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.....	108
Figura 24 – Quadro <i>yamazumi</i> para atender a redução de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.....	111
Figura 25 – Esquema do deslocamento do operador para atender a redução de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os sete tipos de desperdícios identificados por Taiichi Ohno. Fonte: adaptado de Hall (1988), Liker (2005) e Slack, Chambers e Johnston (2009).	35
Quadro 2 – Os benefícios do fluxo unitário. Fonte: adaptado de Liker (2005).	45
Quadro 3 – Os benefícios da manufatura celular. Fonte: adaptado de Hyer e Wemmerlöv (2002), Monden (1997), Rocha (2008), Wemmerlöv e Johnson (apud BASHIR; KARAA, 2008, p. 1005).	46
Quadro 4 – Decisões necessárias para a implantação de projeto celular. Abordagem de sócio-técnico. Fonte: adaptado de Hyer, Brown e Zimmerman (1999).	49
Quadro 5 – Orientação para determinar o número de operadores em uma célula. Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).	54
Quadro 6 – Demandas mensais e diárias consideradas neste estudo. Em destaque, a demanda de referência. Fonte: dados da empresa (2010).	74
Quadro 7 – Atividade dos funcionários da linha de montagem. Fonte: dados da empresa coletados pelo autor (2010).	76
Quadro 8 – Pontos positivos e negativos da linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.	77
Quadro 9 – Tempo <i>takt</i> referente às três demandas definidas no estudo. Em destaque, a demanda de referência. Fonte: elaborado pelo autor.	80
Quadro 10 – Número de operadores na célula conforme a taxa de flutuação da demanda em estudo de acordo com o raciocínio de Monden (1997). Fonte: elaborado pelo autor.	86
Quadro 11 – Desempenho da célula nas diferentes demandas. Fonte: elaborado pelo autor.	112
Quadro 12 – Análise de desempenho do processo produtivo tradicional e enxuto. Fonte: elaborado pelo autor.	114
Quadro 13 – Características avaliadas dos sistemas em estudo. Fonte: elaborado pelo autor.	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FIFO – *First In, First Out* – significa “primeira peça que entra, primeira peça que sai”.

JIT – *Just-in-time* – No momento exato.

MRP – *Material Requirements Planning* (Planejamento das Necessidades de Materiais).

OF – Ordem de Fabricação.

PCP – Planejamento e Controle da Produção.

SKU – *Stock Keeping Unit* (Unidade de Manutenção de Estoque) – código ou referência de cada variante dos produtos mantidos em estoque.

STP – Sistema Toyota de Produção.

WIP – *Work-In-Process* – significa trabalho em processo, estoques de material em processo.

LISTA DE TERMOS ESTRANGEIROS

Gemba – termo japonês para “local real”, utilizado para designar chão de fábrica.

Kaizen – termo japonês para melhoria contínua, cuja combinação de duas palavras japonesas significa: "*Kai*" (mudança) e "*Zen*" (para melhor).

Lead time – tempo de atravessamento.

Lean Manufacturing – Manufatura Enxuta.

Jidoka – Traduzida por Automação. Significa automação das máquinas com inteligência humana, a ponto de evitar problemas automaticamente.

Just-in-time – no momento exato. Sistema de produção que produz e entrega apenas o necessário, quando necessário e na quantidade necessária.

Mix – variações de um produto ou gama de produtos ofertados.

Mock-up – modelo em escala reduzida ou em tamanho real utilizado para simular um projeto, o mais próximo da realidade.

Muda – termo japonês que significa perda ou desperdício.

One-Piece-Flow – fluxo de uma só peça.

Setup – tempo de preparação de máquinas ou de processo para a mudança de produção.

Poka-yoke – dispositivo a prova de erro.

Takt time – tempo *takt*. Sincroniza a produção de uma peça ou produto com a demanda do cliente. *Takt* é um termo alemão que se refere a um intervalo preciso de tempo.

Yamazumi – gráfico de barras que mostra a distribuição de trabalho dos operadores em relação ao *takt time*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	CONTEXTO DA PESQUISA	25
1.2	JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DA PESQUISA.....	26
1.3	OBJETIVOS.....	26
1.3.1	Objetivo Geral.....	26
1.3.2	Objetivos Específicos	27
1.4	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	27
1.5	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	27
1.5.1	Processo de Pesquisa.....	28
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	CONCEITOS E DIFERENÇAS: PRODUÇÃO EM MASSA E MANUFATURA ENXUTA (<i>LEAN MANUFACTURING</i>).....	31
2.1.1	Os Desperdícios	33
2.1.2	O Pensamento Enxuto.....	34
2.1.3	Implantação da Manufatura Enxuta	37
2.2	PROCESSO DE MONTAGEM	38
2.3	MANUFATURA CELULAR	40
2.4	IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA CELULAR.....	46
2.5	CONCEPÇÃO PRELIMINAR DA CÉLULA	50
2.5.1	Tempo <i>Takt</i>	50
2.5.2	Conteúdo Total de Trabalho	51
2.5.3	Cronometragem.....	52
2.5.4	Balanceamento dos Operadores – Quadro <i>Yamazumi</i>: no Estado Original.....	53
2.5.5	<i>Kaizen</i> no Papel.....	53
2.5.6	Número de Operadores na Célula	54
2.5.7	Distribuição de Trabalho na Célula.....	55

2.6	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 2	56
3	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	59
3.1	PLANEJAMENTO PARA CÉLULA DE MONTAGEM <i>LEAN</i>	59
3.1.1	Formar Equipe de Projeto	61
3.1.2	Observar a Produção Original.....	61
3.1.3	Coletar Dados de Produção	61
3.1.4	Planejar o Desenvolvimento da Célula	62
3.2	PROJETO DA CÉLULA	63
3.2.1	Conceber o Modelo Preliminar	63
3.2.2	<i>Mock-up</i>	64
3.2.3	Avaliar os Dados	64
3.3	IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PILOTO	65
3.3.1	Projeto Preliminar.....	65
3.3.2	Treinar os Operadores	65
3.3.3	Construir a Célula.....	66
3.3.4	Ativar e Coletar os Dados.....	66
3.3.5	Analisar e Propor Melhorias.....	67
3.3.6	Padronizar o Trabalho	68
3.3.7	Concepção Final da Célula	69
3.4	CONSOLIDAÇÃO DA CÉLULA DE MONTAGEM	69
3.4.1	Estabilizar o Sistema	69
3.4.2	Dar Flexibilidade ao Sistema	70
3.4.3	Expandir para Outras Unidades	70
3.5	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O PROCEDIMENTO PROPOSTO... ..	70
4	CASO ESTUDADO.....	73
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	73
4.2	APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	73
4.3	PLANEJAMENTO PARA CÉLULA DE MONTAGEM <i>LEAN</i>	73

4.3.1	Formar Equipe de Projeto	73
4.3.2	Observar a Produção Original	74
4.3.2.1	Descrição do Produto	74
4.3.2.2	Descrição do Processo - Sistema de Montagem Original.....	74
4.3.3	Coletar Dados de Produção.....	77
4.3.4	Planejar o Desenvolvimento da Célula	78
4.4	PROJETO DA CÉLULA	79
4.4.1	Conceber o Modelo Preliminar	79
4.4.1.1	Tempo <i>Takt</i>	79
4.4.1.2	Conteúdo Total de Trabalho.....	80
4.4.1.3	Cronometragem.....	80
4.4.1.4	Balanceamento dos Operadores – Quadro <i>Yamazumi</i> : no Estado Original.....	82
4.4.1.5	<i>Kaizen</i> no Papel.....	83
4.4.1.6	Número de Operadores na Célula	84
4.4.1.7	Distribuição de Trabalho na Célula.....	86
4.4.2	<i>Mock-up</i>.....	88
4.4.3	Avaliar os Dados.....	89
4.5	IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PILOTO.....	92
4.5.1	Projeto Preliminar	92
4.5.2	Treinar os Operadores.....	94
4.5.3	Construir a Célula	95
4.5.4	Ativar e Coletar os Dados	95
4.5.5	Analisar e Propor Melhorias.....	98
4.5.6	Padronizar o Trabalho.....	99
4.5.7	Concepção Final da Célula.....	104
4.6	CONSOLIDAÇÃO DA CÉLULA DE MONTAGEM.....	104
4.6.1	Estabilizar o Sistema.....	104
4.6.2	Dar Flexibilidade ao Sistema.....	105

4.6.3	Expandir para Outras Unidades	113
4.7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	113
5	CONCLUSÃO	117
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
5.2	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS	121
	APÊNDICE A – Plano de Ação	127
	ANEXO A - Folha de Estudo do Processo	129
	ANEXO B - Controle Horário da Produção.....	130
	ANEXO C – Planilha de Capacidade do Processo	131
	ANEXO D – Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado... 	132
	ANEXO E – Diagrama de Trabalho Padronizado.....	133
	ANEXO F – Folha de Instrução de Trabalho.....	134

1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o contexto, a justificativa e questão da pesquisa, assim como os objetivos deste trabalho, a apresentação da empresa onde o estudo foi desenvolvido, além da classificação da pesquisa e a estrutura do trabalho como um todo.

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

Em ambiente produtor de bens de consumo duráveis, as diferentes etapas de processamento conferem ao produto final os desejos do cliente. No entanto, dificilmente o produto é entregue ao mercado consumidor sem passar pelo processo de montagem.

Montagem é a união de componentes e subconjuntos que formam outra peça ou o produto final. Para Hirani et al. (2006), a montagem fornece a maior atividade de agregação de valor ao produto.

Segundo Gong et al. (2010), desde meados de 1990, muitos fabricantes têm transformado o trabalho das linhas (correia transportadora) em células de montagem para lidar com a variação da demanda crescente. Células de manufatura estão ganhando popularidade como uma maneira de melhorar desempenho da produção.

Desse modo, para elevar a competitividade e atender a exigente demanda, cada vez mais, empresas estão adotando os conceitos da manufatura enxuta (cujo sistema produtivo celular é uma das práticas), levando as organizações a fazerem sempre mais com cada vez menos. Para Bashir e Karaa (2008), a implantação da filosofia *lean* vem sendo feita por meio de adaptações das formas tradicionais de produção, tal como a conversão do sistema de produção em lotes em manufatura celular.

Uma das características do sistema celular é o fluxo contínuo. A célula de manufatura proporciona vantagens como flexibilidade, trabalhadores polivalentes, redução do custo por produto, produção em fluxo unitário que, por sua vez, favorece o aumento da produtividade, a eliminação dos desperdícios, bem como a redução do tempo de atravessamento (*lead time*), etc.

Além disto, outros benefícios da manufatura celular podem ser citados como: minimização dos estoques (principalmente do estoque em processo – WIP, *Work-In-Process*), menor tempo de entrega, aumento da qualidade e confiabilidade do produto, visando atender precisamente as necessidades do cliente.

Desse modo, Lubben (1989) afirma que desenvolver uma estratégia de implantação *lean* garante uma conversão mais suave e consistente. Para o autor, o desenvolvimento de um programa piloto, através de uma equipe de implementação, é um ótimo começo de transformação, já que representa um custo relativamente baixo e assegura o comprometimento das pessoas envolvidas no projeto. Além disso, o sucesso do projeto piloto proporciona o interesse dos outros grupos da empresa, facilitando a transferência de conhecimento para as demais áreas. Assim, a incorporação das práticas enxutas em um ambiente fabril deve ser uma expansão natural do programa piloto.

1.2 JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DA PESQUISA

A configuração celular é uma das práticas da manufatura enxuta que atende as necessidades do cliente com a máxima redução dos desperdícios, tornando a empresa mais ágil e competitiva perante a atual dinâmica de mercado.

Dessa maneira, a motivação da pesquisa é resolver o problema de produtividade e eficiência operacional em um processo de montagem de produtos de bens de consumo duráveis através da implantação de uma célula.

No entanto, identificou-se como pressuposto básico da pesquisa desenvolver um procedimento para a implantação de um sistema de montagem em célula a fim de alcançar o máximo desempenho que o conceito proporciona. Logo, formulou-se a seguinte questão de pesquisa:

“Quais são as etapas necessárias para converter uma linha de montagem em célula enxuta no setor de produção de bens de consumo duráveis?”

Neste contexto, o estudo busca contribuir para as pesquisas acadêmicas sobre os conceitos e práticas enxutas. Através desta questão, os objetivos da pesquisa foram delineados, conforme detalhado a seguir.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Sistematizar um procedimento de conversão de linha de montagem em célula de montagem de bens de consumo duráveis.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Compreender o estado atual da linha de montagem;
- Desenvolver o procedimento de conversão e produzir seu fluxograma;
- Validar o procedimento proposto de implantação mediante aplicação prática em uma empresa produtora de bens de consumo duráveis.

1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Esta pesquisa desenvolveu-se em uma empresa nacional do ramo metalúrgico localizada em Brusque, estado de Santa Catarina, durante o período de janeiro a agosto de 2010. A empresa pesquisada não terá seu nome divulgado.

Essencialmente familiar, a *Empresa* iniciou suas atividades em 1966. Gradativamente a companhia foi ampliando seu espaço em construções próprias e diversificando sua produção. Possui atualmente um parque industrial moderno e bem equipado com cerca de 60 mil metros quadrados e emprega aproximadamente 800 funcionários. Está presente nos mercados de equipamentos para construção civil, casas modulares, bicicleta e eletrodomésticos, sendo este o mais significativo em termos de faturamento.

O sistema de produção em massa é predominante na *Empresa*. Até a presente pesquisa, nenhuma ferramenta ou prática da manufatura enxuta foi aplicada.

Para manter-se a frente da concorrência, a *Empresa* busca a implantação do sistema de produção enxuto.

1.5 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com os critérios da metodologia científica, este tópico tem por finalidade apresentar a classificação desta pesquisa, garantindo a confiabilidade e um melhor entendimento sobre o método proposto:

- Quanto à Natureza: esta pesquisa caracteriza-se por ser **aplicada**, já que visa gerar conhecimentos para aplicação

prática dirigida à solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2001).

- Quanto aos Objetivos: o presente trabalho possui caráter de pesquisa **descritiva**, pois objetiva observar, descrever, analisar, classificar e registrar os fatos sem qualquer interferência por parte do pesquisador (FURASTÉ, 2007), assumindo em geral a forma de levantamento de dados (GIL, 2007).
- Quanto aos Procedimentos Técnicos: a metodologia de **pesquisa-ação** mostra-se a mais adequada para esta pesquisa, uma vez que foi aplicada em um ambiente empresarial com estreita associação a uma ação ou solução de um problema. Para Miguel et al. (2010), esta metodologia permite a produção de conhecimento através da prática, com a modificação de uma dada realidade ocorrendo como parte do processo de pesquisa. A pesquisa-ação exige o envolvimento ativo do pesquisador e a ação por parte das pessoas ou grupo envolvidos no problema (GIL, 2007; FURASTÉ, 2007). Segundo Thiollent (1997), a pesquisa-ação é um método de aplicação orientado para a elaboração de diagnóstico da situação, identificação do problema e busca de soluções.

1.5.1 Processo de Pesquisa

O presente trabalho foi estruturado de acordo com as quatro fases da metodologia de pesquisa-ação descritas por Thiollent (1997): 1) Fase Exploratória; 2) Fase Principal; 3) Fase de Ação; e 4) Fase de Avaliação. A seguir, apresenta-se o desenvolvimento da pesquisa segundo esta metodologia.

1. Fase Exploratória: Nesta fase, empresa e pesquisador estavam envolvidos em identificar um problema real a ser solucionado. Conhecida a situação, o problema encontrado estava em uma linha de montagem, sendo esta ineficiente, com baixa produtividade e muitos desperdícios. Uma equipe de projeto foi formada pelo autor da pesquisa e membros multidisciplinares da organização. Com base no problema encontrado, o escopo do projeto foi desenvolver um método de implantação de um processo de montagem mais flexível e eficiente, de acordo com os moldes da Manufatura Enxuta.

2. Fase Principal: Também chamada de Pesquisa Aprofundada. Esta etapa compreende o entendimento sobre o assunto do projeto. Pesquisas bibliográficas foram realizadas em livros, periódicos, artigos científicos, teses e dissertações (Capítulo 2). De modo interativo com o processo de aprofundamento teórico, elaborou-se uma proposta de implantação de uma célula de montagem enxuta (piloto) apresentada no Capítulo 3.

3. Fase de Ação: Esta é a etapa de implantação do projeto, descrita no Capítulo 4. Visto que a empresa não possuía nenhuma prática enxuta, optou-se por construir uma célula piloto para diminuir as restrições ao “diferente” processo produtivo. A célula piloto foi construída próxima à linha de montagem para a observação simultânea dos dois modelos de produção. Durante a implantação, as discussões em grupo foram importantes para alcançar as melhorias no projeto (*kaizen*), bem como para validar a proposta.

4. Fase de Avaliação: A avaliação final do estudo é realizada, não só com base nos dados coletados durante implantação do projeto, mas também com o conhecimento adquirido no decorrer deste processo. Assim, foi possível alcançar o objetivo da pesquisa, bem como comprovar a eficácia do método proposto e sugerir trabalhos futuros (Capítulo 5). Finaliza-se esta fase com a elaboração e apresentação desse trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa está estruturada em cinco capítulos de modo a facilitar o entendimento do conteúdo apresentado. Esta dissertação abrange:

Capítulo 1 – Introdução: Corresponde a este capítulo, abrangendo contexto, justificativa e questão da pesquisa, além dos objetivos, a apresentação da empresa onde o estudo foi desenvolvido, a classificação da pesquisa e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, tratando sobre os conceitos relacionados à produção enxuta, processo de montagem, bem como conceitos e implantação da manufatura celular.

Capítulo 3 – Descrição da Proposta de Implantação: O capítulo descreve o procedimento proposto para a implantação de células de montagem *lean* para a produção de bens de consumo duráveis.

Capítulo 4 – Caso Estudado: Apresenta o estado original da linha de montagem, típica da manufatura tradicional, assim como relata a aplicação prática do procedimento proposto.

Capítulo 5 – Conclusão: Considera a pesquisa aplicada, apresentando as conclusões sobre o trabalho, assim como algumas recomendações para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo apresenta-se a revisão da bibliografia sobre os principais assuntos que são abordados durante a pesquisa, consultados via periódicos, artigos de conferências internacionais, livros, teses e dissertações.

2.1 CONCEITOS E DIFERENÇAS: PRODUÇÃO EM MASSA E MANUFATURA ENXUTA (*LEAN MANUFACTURING*)

A produção tradicional, chamada também de produção em massa, denota economia em escala, onde grandes volumes de produção reduzem o custo unitário do produto.

Aplicado e difundido por Henri Ford, a produção em massa surgiu no início do século XX. O Fordismo, assim também conhecido, nasceu da necessidade de produzir grandes volumes de produtos ou peças para atender a demanda crescente de automóveis. Durante esse período, os custos de estoque e os longos tempos de atravessamento eram facilmente absorvidos pelos bons resultados que esse sistema de produção apresentava (HOUNSHELL, 1985; WOMACK; JONES; ROOS, 1992). Todavia, quando a demanda começou a mudar, exigindo variedade de produtos em pequenas quantidades, a produção em massa tornou-se menos competitiva. Mesmo assim, a organização tradicional é até hoje utilizada na maioria das empresas.

A manufatura enxuta surgiu após a Segunda Guerra Mundial. Diante das grandes dificuldades econômicas que o Japão enfrentava, a empresa Toyota Motor Company reestruturou a sua maneira de produzir automóveis. Frente às condições adversas, a Toyota desenvolveu seu próprio sistema produtivo, o Sistema Toyota de Produção, STP, que mais tarde foi denominado *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta) (WOMACK; JONES, 2004).

Segundo Liker (2005, p. 41), o STP evoluiu da necessidade de adaptar-se ao processo de produção da Ford para atingir simultaneamente alta qualidade, baixo custo, menor tempo de entrega e flexibilidade. Frente à escassez financeira e operando em um país pequeno, com poucos recursos e capital, a Toyota precisava girar rapidamente seu dinheiro. Além disto, precisava produzir pequenos volumes de diferentes modelos usando a mesma linha de montagem, já que as condições de demanda eram baixas. Não havia mercado para

produzir grandes quantidades de um único produto, a exemplo do sistema de produção em massa da Ford.

Assim, STP resultou da capacidade de produzir uma considerável variedade de automóveis em volumes relativamente baixos em um custo competitivo, desfigurando a lógica convencional da produção em massa (HOLWEG, 2007).

Desenvolvido por Taiichi Ohno, o STP foi projetado para a produção em fluxo contínuo, baseado em dois princípios fundamentais: a Automação (*Jidoka*) e o *Just-in-Time*, JIT (BROWNING; HEATH, 2009). O primeiro princípio significa automação com inteligência humana e refere-se à instalação de dispositivos a provas de erros nas máquinas que podem evitar problemas automaticamente. O *Jidoka* envolve também as práticas de gestão visual de modo que a situação do sistema possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos. Já o *Just-in-time* dá origem ao fluxo contínuo, ao tempo *takt* e ao sistema puxado, estabelecendo que o fornecedor atenda seu cliente produzindo exatamente o item certo, na quantidade correta, no momento exato (OHNO, 1997; BROWNING; HEATH, 2009).

Mesmo concebido e implantado no período pós-guerra, o STP só obteve a atenção da indústria japonesa a partir de 1973, na primeira crise do petróleo. Durante esta emergência econômica foram notados, pela primeira vez, os bons resultados da Toyota adquiridos através do aumento da eficiência da produção pela eliminação consistente e completa dos desperdícios (OHNO, 1997). A partir desse momento, a Toyota e seu sistema produtivo vêm sendo pesquisados.

Em meio as grandes diferenças que há entre o conceito tradicional e enxuto, pode-se dizer que o sistema produtivo é uma delas.

A produção puxada e o fluxo contínuo são os sistemas produtivos utilizados na manufatura enxuta. Seus conceitos baseiam-se em produzir o produto somente em função da demanda. Nestes dois modelos, a forma como ocorre o fluxo de materiais tem muita importância, além de existir uma ligação direta entre o consumo real do cliente e a quantidade produzida. Rother e Shook (2003) orientam que se no fluxo produtivo houver interrupções, utiliza-se o sistema puxado. É necessário algum estoque dimensionado, chamado de supermercado, visto que a operação à frente “puxa” a quantidade de peças do supermercado da operação anterior, que por sua vez irá produzir para reabastecer seu supermercado. Isto elimina a necessidade de programação em cada etapa do processo. Já o fluxo contínuo, segundo os mesmos autores, é utilizado quando o processo não exige interrupções. Significa produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de

um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada entre eles, funcionando 100% de acordo com a demanda e com estoque zero.

Outra diferença significativa entre as abordagens tradicional e enxuta está na visão de inventário. Para Slack, Chambers e Johnston (2009), a abordagem tradicional almeja a eficiência, protegendo com estoques cada parte da produção de possíveis distúrbios. Já a enxuta tem uma visão oposta: a exposição do sistema aos problemas. A manufatura enxuta busca reduzir gradualmente os níveis de estoques para expor os problemas que geram as instabilidades no processo produtivo, e, posteriormente, identificar e eliminar todas as causas básicas dos problemas.

Em outras palavras, Aulakh e Gill (2008) mencionam que a principal diferença entre a manufatura enxuta e a manufatura em massa é a remoção de todos os tipos de estoques do sistema. Basicamente, o estoque funciona como rede de segurança contra as falhas previstas nos processos. Ou seja, a eliminação dos estoques expõe a fábrica ao risco de problemas. Assim, a manufatura enxuta não deixa qualquer margem para as complicações, apelando para a necessidade do perfeito controle e gerenciamento dos processos e sistemas.

Para Zagonel e Cleto (2007), diferente da produção em massa, onde os custos unitários apenas caem em função do aumento do volume produzido, no sistema enxuto o custo por unidade diminui devido a outros valores que não o volume produzido, mas sim pela eliminação dos estoques desnecessários e redução geral dos desperdícios.

Desse modo, a manufatura enxuta almeja a perfeição com custos sempre declinantes, nenhum estoque, qualidade e variedade de produtos. Ao desenvolver o STP, Ohno tinha como foco principal reduzir custos, eliminando desperdícios (HOLWEG, 2007).

2.1.1 Os Desperdícios

O conceito inicial do STP foi baseado na eliminação do *muda* (OHNO, 1997), termo japonês que significa perda ou desperdício. Essa ênfase levou a práticas como a redução de inventário, a simplificação do processo, além da identificação e eliminação de qualquer atividade que consome recursos e não agrega valor. Tais atividades são classificadas por Womack e Jones (2004) em três tipos:

- Aquelas que realmente criam valor, conforme percebido pelo cliente;

- Aquelas que não criam valor, contudo são necessárias com os métodos de produção atual (*muda* Tipo 1: desperdício inevitável e que precisa ser trabalhado);
- Aquelas que não criam valor e são desnecessárias (*muda* Tipo 2: desperdício que pode ser eliminado imediatamente).

Na Toyota, Taiichi Ohno identificou pela primeira vez os sete tipos de desperdícios (Quadro 1). Ele considerava a superprodução o maior dos desperdícios, já que podia gerar a maioria das demais perdas (LIKER, 2005).

Womack e Jones (2004, p. 3) afirmam que “felizmente, existe um poderoso antídoto ao desperdício: O Pensamento Enxuto”, que é uma forma de especificar valor, buscando oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam.

2.1.2 O Pensamento Enxuto

“No coração do *lean* está o pensamento enxuto”. Tal afirmação dita por Aulakh e Gill (2008, p. 1184) mostra a importância da mentalidade enxuta que é a dinâmica, a orientação do conhecimento e o processo focado no cliente através do qual todas as pessoas de uma empresa decidem eliminar continuamente os desperdícios com o objetivo de criar valor.

Pensamento enxuto é uma filosofia aplicada que muitas empresas de manufatura e serviços têm adotado para adquirir a flexibilidade necessária para atender aos novos desafios competitivos de eliminar desperdícios, aumentando a produção e promovendo inovação (SHETTY; ALI; CUMMINGS, 2010).

O conceito da mentalidade enxuta permite a essas organizações fazer mais com menos esforço humano, menos tempo, menos espaço, menos equipamentos, etc. Tal conceito apresenta uma visão abrangente para eliminar/reduzir o desperdício (SHETTY; ALI; CUMMINGS, 2010).

Womack e Jones (2004) definiram os cinco princípios da Mentalidade Enxuta ou Pensamento Enxuto: (1) definir o valor em termos do cliente final; (2) identificar o fluxo de valor para cada produto; (3) fazer o valor fluir sem interrupções – fluxo contínuo (*one-piece-flow*); (4) puxar o fluxo a partir do cliente, e (5) buscar a perfeição por meio de um ambiente de melhoria contínua.

DESPERDÍCIO	DESCRIÇÃO	COMENTÁRIO
Superprodução	Excesso de produção antes da demanda	Produzir mais do que é imediatamente necessário para o próximo processo é a maior fonte de desperdício. Tal desperdício gera estoques, ocultando os possíveis problemas de produção.
Esperas	Espera de materiais em processo, de equipamentos e de mão de obra	Ociosidade de material em fila à espera da próxima etapa de processamento, bem como o desbalanceado de trabalho em equipamentos e operadores.
Transporte	Materiais	Movimentação desnecessária de materiais em processo dentro da fábrica. O arranjo físico e as rotas devem ser otimizados.
Processamento	Processamento em si	Tecnologia ou projeto inadequado que deve ser melhorado ou ainda, processos intermediários que não agregam valor.
Estoque	Estoque desnecessário de mercadorias à espera de processamento ou consumo	Ocupam espaço, aumentam o custo operacional e não agregam valor ao produto. Geram custos de movimentação e armazenagem, obsolescência, além de ocultar problemas de: desbalanceamento da produção, defeitos, quebra de equipamentos e longo tempo de <i>setup</i> .
Movimentação	Movimento desnecessário (de pessoas)	Movimento desnecessário dos funcionários durante o período de trabalho e que não agrega valor, como deslocamento, levantamento de cargas e atividades que requerem esforço físico.
Defeitos	Produção de peças defeituosas (correção ou descarte destes produtos)	Consertar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significa custos, bem como perdas de manuseio, tempo e esforço. Dispositivos do tipo <i>poka-yoke</i> eliminam defeitos e reduzem as horas-homem de inspeção à zero.

Quadro 1 – Os sete tipos de desperdícios identificados por Taiichi Ohno. Fonte: adaptado de Hall (1988), Liker (2005) e Slack, Chambers e Johnston (2009).

Esses princípios demarcam as ações necessárias para converter uma organização de produção em massa em uma organização enxuta. Para Womack e Jones (2004, p.4), “o pensamento enxuto também é uma forma de tornar o trabalho mais satisfatório, oferecendo *feedback* imediato sobre os esforços para transformar desperdícios em valor”.

A seguir, as definições sobre os cinco princípios *lean* com base nas publicações de Aulakh, Gill (2008), Shetty, Ali, Cummings (2010) e Womack, Jones (2004):

- **Valor:** O foco inicial da mentalidade enxuta está no valor atribuído pelo cliente final. Uma vez definido, o valor é criado pelo produtor em termos de um bem (produto ou serviço) sendo oferecido no momento certo a um preço adequado. As atividades da organização são orientadas pelas necessidades e expectativas do cliente.
- **Fluxo de Valor:** Compõem as atividades específicas necessárias para projetar, produzir e entregar um produto ao cliente. A análise da cadeia de valor quase sempre mostra que ocorrem três tipos de ação ao longo de sua extensão: (1) muitas etapas que certamente criam valor; (2) muitas outras etapas que não criam valor, mas são inevitáveis e (3) descobre-se que muitas etapas não criam valor e devem ser evitadas imediatamente. Assim, visa-se eliminar os desperdícios ao longo cadeia de valor de modo que todas as atividades criem valor.
- **Fluxo:** Realização progressiva de tarefas, em um fluxo contínuo, ao longo do fluxo de valor, fazendo com que as etapas que criam valor fluam, permitindo que o produto chegue às mãos do cliente sem interrupções, defeitos ou retrofluxos.
- **Produção Puxada:** O sistema produtivo deve ser configurado de tal forma que o acionamento se dê a partir do pedido do cliente, seja ele interno ou externo, de maneira que o fluxo de material e a programação sejam puxados, e não empurrados.
- **Perfeição:** A busca pela excelência é sustentada através da cultura de melhoria contínua. Promove um processo dinâmico de mudança e construção da capacidade para garantir a vantagem competitiva.

O pensamento enxuto é um aliado na anulação das perdas, uma vez que este conceito está presente em cada um dos seus princípios. É uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos e,

simultaneamente, oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam (WOMACK; JONES, 2004).

Para Aulakh e Gill (2008) as seguintes práticas transformam os princípios *lean* em ações para alcançar o pensamento enxuto:

- Sincronizar o fluxo por todo o fluxo de valor;
- Garantir o fluxo contínuo de informações;
- Buscar a qualidade perfeita;
- Promover liderança e decisão eficaz em todos os níveis;
- Otimizar os recursos e a utilização de todas as pessoas;
- Estimular a aprendizagem organizacional;
- Estabelecer relação baseada na confiança mútua e compromisso.

Tais práticas descritas acima preparam a organização para a implementação do *Lean Manufacturing* (AULAKH; GILL, 2008).

2.1.3 Implantação da Manufatura Enxuta

O *lean manufacturing* é composto por um conjunto de práticas e princípios que as empresas devem seguir com intuito de tornarem-se mais enxutas, ágeis e competitivas perante a atual dinâmica de mercado.

Nesse sentido, a implantação da filosofia *lean* nas empresas vem sendo feita por meio de adaptações das formas tradicionais de produção, principalmente através da conversão do sistema produtivo em lotes em manufatura celular (BASHIR; KARAA, 2008).

No entanto, no início da conversão, é praticamente inevitável a perda de produção devido à capacidade das operações enxutas de expor os problemas já existentes (LUBBEN, 1989).

Além disso, a implantação da manufatura enxuta traz dificuldades na condução deste processo, bem como na sustentação da proposta nas organizações. A primeira dificuldade que surge é o entendimento deste conceito. As organizações imaginam implantar algumas técnicas enxutas para ter resultados em curto prazo e que geralmente aparecem, mas não se sustentam. As técnicas enxutas são interdependentes e somente mantêm-se caso forem aplicadas através de um sistema de autossustentação (HORNBURG, 2009).

Outra dificuldade está na disseminação desse sistema na organização. Não há um método claro para introduzir a manufatura enxuta e a principal barreira é o não envolvimento das pessoas (HORNBURG, 2009). Talvez o obstáculo mais difícil seja mudar a

maneira de pensar dos funcionários a respeito de seu trabalho. A conversão geralmente exige a adequação dos métodos operacionais aos novos conceitos, que podem estar em contradição com as práticas existentes (LUBBEN, 1989). Por esta razão, é importante que a proposta de implantação seja apoiada pela alta administração. Caso contrário, a resistência à mudança, apresentada por alguns indivíduos, pode comprometer ou inviabilizar o progresso do projeto (WOMACK; JONES, 2004).

Sobre as técnicas de implantação, Lubben (1989) relata que muitas empresas descobriram que é necessário um time altamente motivado e de forte liderança para construir as bases para o processo de transformação cultural. O líder dessa equipe deverá ter grande conhecimento sobre os conceitos *lean* e interesse em desenvolver o sistema em toda a empresa.

Para Womack e Jones (2004), a presença de um líder – alguém que assuma a responsabilidade pessoal pela mudança – é essencial. Nenhuma empresa efetua mudanças radicais e abrangentes sem que alguém, em alguma parte, assuma a iniciativa e lidere a mudança.

Logo, a fase de conversão envolve não só a implementação do novo sistema, como também a gestão de mudança do sistema antigo para o novo (BASHIR; KARAA, 2008).

Lubben (1989) defende que desenvolver uma estratégia para implantar o *lean* garante uma transição mais suave e consistente. O desenvolvimento de um programa piloto, através de uma equipe de implementação, é um ótimo começo porque representa um custo relativamente baixo e assegura o comprometimento das pessoas envolvidas no projeto. À medida que o sucesso do projeto piloto torna-se evidente, aumenta o interesse dos demais grupos da empresa a conhecer e expandir os conceitos em outras áreas e projetos. Logo, a incorporação das práticas enxutas em um ambiente fabril deve ser uma expansão natural do programa piloto.

Neste sentido, obter sucesso nas fases iniciais da implantação é fundamental para que se crie a confiabilidade necessária e se ajude a suprimir a resistência inerente a qualquer movimento de mudança interna nas empresas (ANDRADE, 2006).

2.2 PROCESSO DE MONTAGEM

No âmbito industrial, montagem é a união de vários elementos que formam um subconjunto ou um produto final. Para Hirani et al.

(2006), a montagem é o processo que fornece a maior atividade de agregação de valor ao produto.

Na manufatura tradicional, em indústrias de alto volume de bens padronizados, o processo de montagem é realizado em linhas que são sistemas de produção orientados por fluxo (BECKER; SCHOLL, 2006; SILVA JR., 2007). Em geral, tais linhas são formadas por uma série de postos de trabalho alinhados em ordem de operação, obedecendo a um fluxo linear rígido, nem sempre fácil de ser alterado (BLACK, 1998).

Na mesma forma, Becker e Scholl (2006, 2009) definem linha de montagem como sendo um conjunto de estações distribuídas de forma sequenciada e conectadas por um dispositivo de movimentação de materiais (esteiras, correias móveis, dispositivos de transferência, etc.).

A fabricação de um produto em uma linha de montagem requer o fracionamento da quantidade total de trabalho entre as estações ao longo da linha, chamado de balanceamento da linha. Assim, as peças entram na primeira estação e passam para as estações seguintes em intervalos de tempo determinados, chamados de tempo de ciclo, até atingir o último posto de trabalho dando origem a um subconjunto ou produto final (BECKER; SCHOLL, 2006, 2009).

Em uma linha de montagem, o tempo em cada estação de trabalho é limitado pelo tempo de ciclo. Cada uma das estações de trabalho reúne uma quantidade de tarefas que são repetidas, dentro do tempo de ciclo, a cada novo elemento processado. Tal restrição acarreta uma taxa de produção fixa (BECKER; SCHOLL, 2006). Entretanto, a ausência de um tempo de ciclo comum, ou seja, as estações operam a uma velocidade individual, a peça em processamento pode ter que esperar antes de passar para a próxima estação ou a estação pode ficar ociosa a espera da próxima peça. Essas dificuldades são parcialmente superadas pelos estoques entre as estações (BECKER; SCHOLL, 2006)

De acordo com Black (1998) e Rocha (2008), a produção em linha proporciona um fluxo lógico, com menor área ocupada e menor tempo de produção unitário. O processo produtivo torna-se mais simples, o que requer menor especialização e controle operacional. Para Silva Jr. (2007, pág. 3) “o tempo de *setup* em uma linha de montagem tende a ser mínimo, visto que há grande repetitividade das tarefas executadas em cada posto de trabalho”. Contudo, o processo é vulnerável e pode ser interrompido com a paralisação de uma estação de trabalho (BLACK, 1998; ROCHA, 2008).

Dessa forma, a linha de montagem visa produzir uma demanda elevada e estável, por isso, a alta capacidade de produção reduz o custo unitário do produto (ROCHA, 2008). Segundo Hanisch e Munz (2008),

linha de montagem dedicada é uma solução econômica para o alto volume de produção de um determinado produto. No entanto, na maioria das vezes, a linha é ajustada para operar na velocidade máxima, independente das necessidades da demanda, acarretando a superprodução (BLACK, 1998; ROCHA, 2008).

Todavia, com os padrões de consumo cada vez mais sofisticados, desde a década de 1990 os fabricantes buscam sistemas de produção mais flexíveis, substituindo as linhas com esteiras pelas células de montagem para lidar com a variação crescente da demanda e melhorar sua competitividade (GONG et al., 2010).

Tal leiaute alternativo vem ganhando espaço da indústria, principalmente nos setores que operam com baixo volume e alta variedade de produtos, dispendo de estações de trabalho com um formato parecido com a letra “U” (SILVA JR., 2007). Assim, células de montagem estão ganhando popularidade já que oferecem maior qualidade com custos competitivos, bem como favorece a produção de um amplo *mix* de produtos (GONG et al., 2010).

2.3 MANUFATURA CELULAR

A Manufatura Celular é uma das práticas mais importantes do *Lean Manufacturing* e pode ser considerada a alma deste sistema produtivo (HYER; WEMMERLÖV, 2002). Pesquisas preveem que, no futuro, a manufatura celular será o modelo principal de produção adotado pelas empresas industriais (ZHANG; LI, 2010).

Segundo a abordagem de Miyake et al. (apud SEVERINO FILHO, 1999, p. 45):

A Manufatura Celular corresponde a um novo paradigma de organização industrial, resultante da tentativa de se **linearizar o fluxo de materiais** [...]. Desse modo, o arranjo celular representa um meio termo entre o arranjo funcional e o arranjo linear [...] [grifo do autor].

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 224) afirmam o mesmo ao relatarem que “células representam um compromisso entre a flexibilidade do arranjo físico por processo [funcional] e a simplicidade do arranjo físico por produto [linear]”. Analogamente, Rocha (2008) descreve que tal combinação melhora a capacidade produtiva.

O arranjo celular tem origem no conceito de tecnologia de grupo: peças similares agrupadas em famílias, com base na analogia de forma, tamanho, processos, etc. A família de produtos com roteiros de produção semelhantes, isto é, na mesma sequência de processamento, é produzida na mesma célula, visando uma otimização dos recursos de manufatura (AULAKH; GILL, 2008; BLACK, 1998; FRANCISCHINI; FEGYVERES, 1998; HYER; WEMMERLÖV, 2002; SEVERINO FILHO, 1999; ZHANG; LI, 2010).

Assim, o sistema celular é um grupo de processos localizados muito próximos para fabricar certa família de produtos. Esta disposição assemelha-se com o leiaute linear, porém, planejada para ter flexibilidade. Quando comparado com o arranjo físico funcional, o tempo de atravessamento da célula é, em média, 90% menor (HARMON; PETERSON, 1991).

Para Francischini e Fegyveres (1998) e Severino Filho (1999), as células constituem “mini-fábricas”. Elas recebem as matérias-primas ou componentes e entregam os produtos acabados. Rocha afirma o equivalente: “A célula produtiva tem como objetivo fabricar, em um só local, todo o produto, do princípio ao fim” (2008, p. 116).

Portanto, a célula consiste em uma minuciosa organização de pessoas, máquinas ou estações de trabalho em uma sequência de processamento a fim de facilitar o fluxo unitário de peças, através de várias operações, a uma razão determinada pelas necessidades do cliente e com um mínimo de atraso e espera (LIKER, 2005). As peças fluem de uma estação de trabalho para a outra a uma frequência estabelecida pelo tempo *takt* – ritmo da demanda (AULAKH; GILL, 2008).

Em outras palavras, Zagonel e Cleto (2007) relatam, como características de uma célula, o uso de máquinas menores, mais lentas e de menor custo, alocadas em sequência de acordo com o processo. Os operadores polivalentes trabalham em pé e circulam dentro da célula, com produção em lote unitário.

O arranjo físico celular permite reduzir o tempo de ciclo, bem como área ocupada, tornando o espaço fabril menos saturado e disponível para futura expansão de capacidade (FRANCISCHINI; FEGYVERES, 1998).

Para Narusawa e Shook (2009), trata-se de uma célula o projeto de uma linha que evita ilhas isoladas, minimiza acúmulos de inventário entre as etapas, libera o operador do trabalho que não gera valor, elimina o deslocamento excessivo do operador e remove os obstáculos nos locais por onde o mesmo se desloca. Por esta razão, muitas células acabam naturalmente tendo a forma de U.

Sobre esta disposição, o leiaute celular também pode estar organizado nos formatos S, L ou até mesmo linear. Todavia, o arranjo físico em U, Figura 1, é considerado o modo mais eficiente para o movimento de pessoas e de materiais, além de facilitar a comunicação entre os operadores e a visualização do todo.

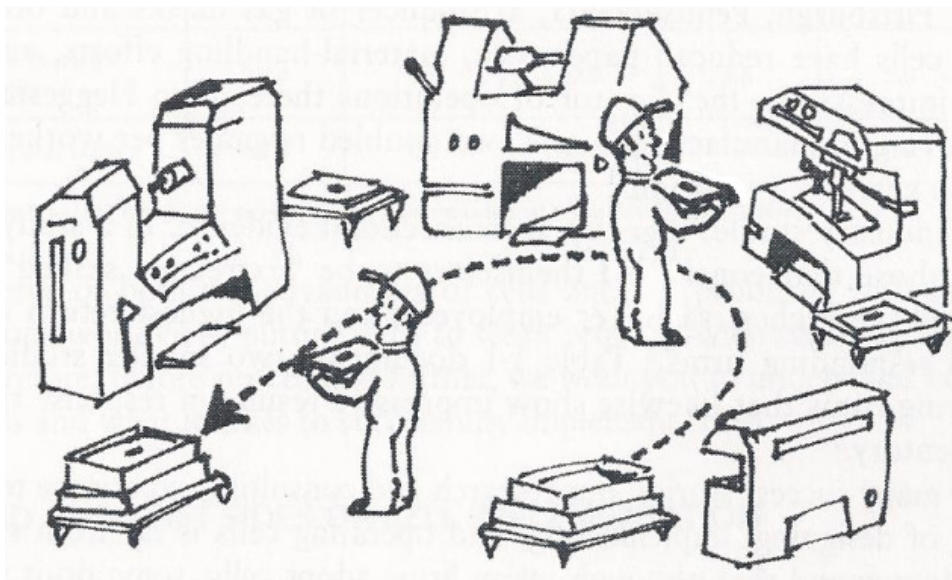


Figura 1 – Célula de manufatura em forma de U. Fonte: adaptado de Hyer e Wemmerlöv (2002).

Ademais, o formato U permite que o mesmo operador desempenhe a primeira e última etapa do processo, útil para a manutenção do ritmo de trabalho e de um fluxo suave (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003). Segundo Monden (1997), a vantagem mais notável e importante deste leiaute é a flexibilidade para aumentar ou diminuir o número necessário de trabalhadores, adaptando-se às mudanças de demanda. Contudo, esses trabalhadores devem possuir características multifuncionais. Responsáveis por várias tarefas, os operadores precisam ser versáteis e bem treinados, capazes de adequar-se às flutuações da demanda.

Monden (1997) relata que os trabalhadores multifuncionais da Toyota são cultivados através de um sistema de rotação de trabalho exclusivo. E, finalmente, a revisão da rotina padronizada de operações podem ser feitas através de melhorias contínuas nos equipamentos e nos trabalhos manuais. O propósito de tais melhorias é reduzir o número necessário de operadores mesmo no período de maior demanda.

Segundo Francischini e Fegyveres (1998), o treinamento dos operadores para executarem dinamicamente operações em múltiplos

processos na célula pode ser considerado uma vantagem, despertando neles a satisfação com o seu trabalho e aprimorando suas habilidades.

De acordo com Lubben (1989), os pré-requisitos para o uso eficiente de uma célula de produção em forma de U incluem fatores tais como: treinamento dos trabalhadores para executar e operar diversas tarefas e máquinas, respectivamente; simplificação das operações intensivas de mão de obra e o balanceamento do processo de produção para um fluxo mais suave.

Rother e Harris (2002) também reforçam a importância do balanceamento, afirmando que cada operador deve possuir trabalho equivalente a aproximadamente 95% do tempo *takt*.

Assim, a Figura 2 exibe um arranjo celular com o balanceamento das atividades entre dois operadores polivalentes. Black (1998) explica que o sistema celular separa o homem da máquina de maneira que a utilização do operador não está ligado ao uso do equipamento. Isso significa que poderá haver menos operadores do que máquinas na célula.

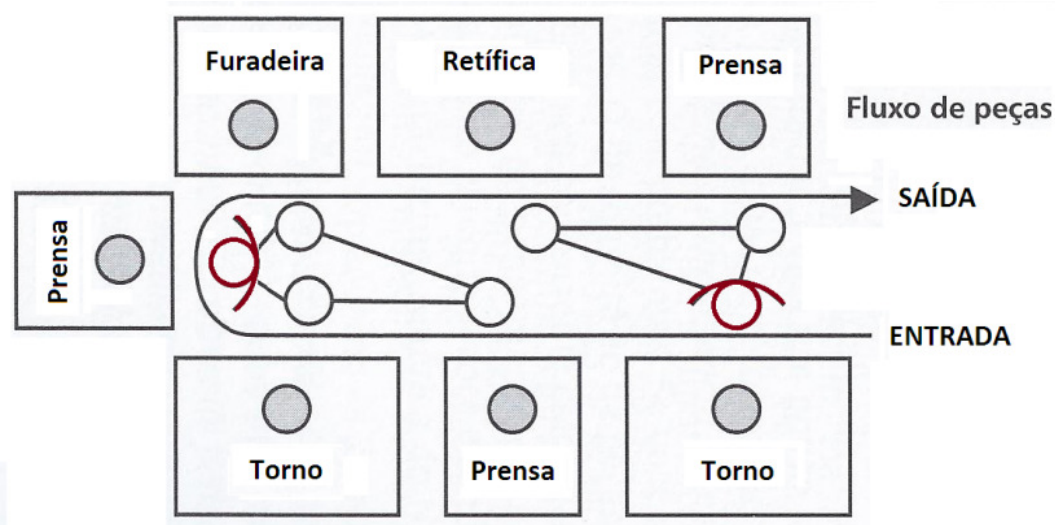


Figura 2 – Célula de manufatura em forma de U. Dois operadores polivalentes para sete postos de trabalho. Fonte: adaptado de Liker (2005).

Com as atividades distribuídas entre os operadores, o funcionamento da célula ocorre mediante orientação de uma trabalho padronizado, o que significa a determinação de procedimentos exatos para o trabalho de cada operador, baseado em três elementos: tempo *takt*, sequência de trabalho e estoque padrão (estoque em processo) (NARUSAWA; SHOOK, 2009).

A padronização é base para garantir a qualidade e a melhoria contínua. É impossível melhorar um processo sem que ele seja

padronizado. Assim, deve-se padronizar e estabilizar o processo antes que o aperfeiçoamento contínuo possa ser efetuado.

Sobre o planejamento e controle de produção, normalmente utiliza-se o princípio do sistema puxado, onde cada etapa seguinte do processo é um cliente do processo anterior que produz, para o posto seguinte, apenas o que lhe foi requisitado (BLACK, 1998; HYER; WEMMERLÖV, 2002; LUBBEN, 1989).

Para Francischini e Fegyveres (1998), o controle de produção é mais simples e eficaz no sistema celular, devido a um fluxo de material mais organizado. Porém, a eficácia do controle produtivo só ocorre com uma supervisão mais objetiva e racional.

Além disso, a manufatura celular utiliza a produção em fluxo contínuo (*one-piece-flow*). O agrupamento dos postos de trabalho diminui as filas intermediárias, e as peças processadas fluem continuamente – uma de cada vez ou em pequenos grupos – seguindo a sequência de produção. Está é a maneira mais rápida de transformar a matéria-prima em produto acabado.

A organização do trabalho em fluxo contínuo favorece não só o controle da qualidade, como também a eliminação do retrabalho. (FRANCISCHINI; FEGYVERES, 1998).

Para Aulakh e Gill (2008), a manufatura enxuta defende a produção puxada de uma única peça baseada no fluxo. A ideia é reduzir os estoques em processos, manter um controle sobre a qualidade durante a fabricação e diminuir o *lead time*. Os autores ainda afirmam que os requisitos para alcançar o fluxo unitário de peças são: minimizar os tempos de *setup*; eliminar totalmente dos defeitos; equipamentos e máquinas devem operar perfeitamente e possuírem dispositivos a prova de erros (*poka-yoke*).

Segundo Liker (2005), em uma célula com fluxo unitário de peças (*one-piece-flow*) há muito pouca atividade sem agregação de valor, como o deslocamento de material. Assim, rapidamente é possível perceber quem está muito ocupado e quem está ocioso. O autor ainda lista os benefícios do fluxo unitário, descritos no Quadro 2.

Alguns autores mencionam os benefícios da manufatura celular sobre a configuração da produção tradicional, expostos no Quadro 3.

Em suma, o conceito de célula tem ênfase no agrupamento de diferentes máquinas para produzir uma família de produtos com requisitos de processamento semelhantes, criando um fluxo de trabalho onde tarefas e funcionários estão intimamente ligados em termos de tempo, espaço e informação (HYER; BROWN, 1999).

BENEFÍCIOS	DESCRIÇÃO
Reduz o custo do estoque	Libera o capital para outros investimentos quando ele não está sendo aplicado em um estoque. Além disso, a obsolescência do estoque também é reduzida.
Cria maior produtividade	Diferente da produção em massa, no fluxo unitário é mais fácil calcular o trabalho que agrega valor e encontrar o número de pessoas para atender certa taxa de produção, sendo mais significativa a produtividade.
Cria flexibilidade	Tal flexibilidade significa mudar a produção de um produto para outra combinação a fim de atender rapidamente as necessidades do cliente. Ou seja, nivelar a produção para disponibilizar ao consumidor uma variedade de produtos.
Acrescenta qualidade	Os defeitos são identificados e resolvidos mais rapidamente, já que cada operador inspeciona e resolve qualquer problema em sua estação antes de passá-lo para a próxima.
Libera espaço	No sistema tradicional, os equipamentos estão organizados em departamentos, precisando de espaço para estocar altos volumes de material. Já em um fluxo unitário de produção, tudo está mais próximo e pouco espaço é destinado ao estoque.
Aumenta a segurança	Converter um processo de grandes lotes em fluxo unitário de peças naturalmente aumentaria a segurança, uma vez que lotes menores de material seriam deslocados na fábrica. Lotes menores significam eliminar o uso de empilhadeiras, que são consideráveis fontes de acidentes.
Estimula o moral	No fluxo unitário de peças, as pessoas executam mais trabalho com agregação de valor e podem imediatamente observar os resultados, o que lhes proporciona um senso de realização e a satisfação no emprego.

Quadro 2 – Os benefícios do fluxo unitário. Fonte: adaptado de Liker (2005).

BENEFÍCIOS DA MANUFATURA CELULAR
Redução dos tempos de atravessamento – <i>lead time</i> ;
Redução do tempo de ciclo;
Redução dos tempos de <i>setup</i> ;
Redução do tempo de resposta aos pedidos do cliente;
Redução dos estoques em processo – WIP;
Redução dos estoques de produtos acabados;
Redução do custo unitário do produto;
Redução do espaço ocupado;
Aumento da qualidade do produto;
Aumento da velocidade e da eficiência de trabalho;
Flexibilidade;
Controle de produção simplificado;
Utilização de operadores multifuncionais.

Quadro 3 – Os benefícios da manufatura celular. Fonte: adaptado de Hyer e Wemmerlöv (2002), Monden (1997), Rocha (2008), Wemmerlöv e Johnson (apud BASHIR; KARAA, 2008, p. 1005).

2.4 IMPLANTAÇÃO DA MANUFATURA CELULAR

O projeto de um sistema de manufatura celular não é uma tarefa simples. Ele abrange questões estratégicas de escolha e justificativa, decisões estruturais sobre peças e equipamentos, além das decisões operacionais do dia a dia de funcionamento (HYER; BROWN; ZIMMERMAN, 1999, p. 179).

Por ser uma tarefa relativamente complexa, empresas se esforçam para implantar células de manufatura, porém, seus resultados geralmente são menores do que o previsto.

Segundo Yauch e Steudel (2002), tal situação deve-se a forte ênfase nos aspectos técnicos durante a implantação e a menor importância aos aspectos culturais da organização que pode ser uma forte barreira à mudança.

Do mesmo modo, Hyer, Brown e Zimmerman (1999) afirmam que muitas das decisões inerentes à concepção do sistema celular são de natureza técnica (configurar leiaute, formar grupos de máquinas e famílias de peças, por exemplo). No entanto, há também importantes fatores de âmbito social que devem ser considerados, tais como: seleção, treinamento, recompensas e valorização dos funcionários.

Sobre os aspectos humanos, Hornburg (2009) cita que a principal barreira para a implantação das práticas enxutas é o não envolvimento das pessoas. Talvez o obstáculo mais difícil seja mudar a maneira de pensar dos funcionários a respeito de seu trabalho. A reorganização do trabalho, necessária para converter o sistema em manufatura celular, tem um impacto direto sobre a cultura de uma organização (Yauch; Steudel, 2002).

Para minimizar isto, Lubben (1989) defende a formação de uma equipe motivada para construir as bases para o processo de transformação cultural. Da mesma forma, Nyman e Lee (apud HYER; BROWN; ZIMMERMAN, 1999, p. 182) também afirmam, em obras diferentes, uma abordagem baseada em equipe para o desenvolvimento do projeto celular.

Segundo Lubben (1989), o desenvolvimento de um programa piloto é uma estratégia interessante de implantação, garantindo uma transição mais suave e consistente do novo sistema. Analogamente, na recomendação de Black (1998), as empresas devem iniciar o processo de transformação com uma célula piloto, de maneira que todos possam aprender e entender sobre o seu funcionamento. O método mais simples seria iniciar com o desenvolvimento de uma célula manual, uma vez que a redução do tempo de *setup* das máquinas envolve a etapa seguinte do processo.

Lubben (1989) ainda afirma que os bons resultados do projeto piloto aumenta o interesse dos demais funcionários da empresa, tornando natural sua expansão. Do mesmo modo, Hyer e Wemmerlöv (2002) declaram que o sucesso rápido da implantação é fundamental, especialmente se manufatura celular representa uma área nova e inexplorada para a empresa.

Frente às considerações já expostas, existem, porém, poucas informações na literatura a respeito da implantação de célula de manufatura e tampouco há uma sequência exata a ser seguida.

Entre as encontradas, Lee (apud HYER; BROWN; ZIMMERMAN, 1999, p. 182) recomenda quatro etapas básicas para projetar um sistema celular:

- I. Analisar e selecionar os produtos e peças que a célula irá produzir (formar as famílias de produto);
- II. Determinar os processos que serão incluídos na célula e melhorá-los conforme necessário;
- III. Planejar a infraestrutura da célula, incluindo manuseio de materiais, controle de produção, qualidade, atribuição de trabalho, supervisão e remuneração;
- IV. Determinar um modelo final de célula.

Já Nyman (apud HYER; BROWN; ZIMMERMAN, 1999, p. 182) sugere outro modelo de projeto de célula, também dividido em quatro etapas principais:

- I. Planejamento macro: fundamentado nas estratégias de negócio da empresa em médio prazo;
- II. Desenvolvimento conceitual de uma célula piloto: abrange uma ampla gama de decisões estruturais principalmente sobre as peças, equipamentos, leiaute inicial, recursos humanos e relações de apoio;
- III. Projeto detalhado da célula piloto: informações sobre o leiaute preciso e os procedimentos operacionais, incluindo sequenciamento e atribuições de trabalho, bem como medidas de desempenho;
- IV. Implementação, avaliação e revisão da célula: o bom resultado dessa etapa sustenta o retorno para a etapa dois, onde a próxima célula é planejada, projetada e implementada.

Além desses autores, Hyer, Brown e Zimmerman (1999) apresentam um estudo de caso de concepção e implementação de células usando uma abordagem de sistema sócio-técnico onde questões sociais e técnicas se complementam. Desse modo, os autores definiram as decisões necessárias para a implantação de projeto celular, Quadro 4.

Em suma, para os mesmos autores, a valorização humana diante das mudanças é um fator potencial para o sucesso da implantação da manufatura celular. O sistema técnico nada mais é do que a maneira como as coisas são feitas enquanto que o sistema social, por outro lado, considera o comportamento das pessoas.

CATEGORIA	PRINCIPAIS DECISÕES E AÇÕES
Estratégica	Identificar a necessidade de mudança; Preparar a organização - justificativa e negociação; Determinar quem e qual processo será utilizado para o projeto das células; Determinar os objetivos estratégicos do projeto da célula.
Estrutural	Selecionar partes /produtos que serão produzidos na célula; Selecionar equipamentos para processos incluídos na célula; Selecionar sistema de manuseio de material; Determinar o leiaute; Fazer a atribuição das tarefas aos operadores; Criar ferramentas e ajustes;
Operacional	Estabelecer o plano de atividade e as políticas de rotação; Determinar as funções e as responsabilidades dos supervisores; Determinar inspeções e procedimentos de qualidade; Determinar procedimentos de manutenção; Determinar o plano de produção; Determinar a atividade de controle da produção; Projetar o controle de custo e disseminar as informações; Determinar recompensas e políticas de compensação; Desenvolver políticas de controle de documentação; Estabelecer atividades de treinamento; Determinar procedimentos e métricas para avaliação do desempenho da célula; Estabelecer procedimentos de segurança.
Implementação	Comunicar a mudança; Executar as mudanças - modificação física ou configuração; Evoluir e aprimorar o trabalho na célula.

Quadro 4 – Decisões necessárias para a implantação de projeto celular. Abordagem de sócio-técnico. Fonte: adaptado de Hyer, Brown e Zimmerman (1999).

Da mesma forma, Olorunniwo e Udo (2002) também defendem que o aspecto sócio-técnico é uma abordagem necessária para a implementação da manufatura celular. Para eles, o apoio da alta administração é fundamental para o sucesso da implantação, além do

forte treinamento dos operadores, tornando-os capazes de executar várias atividades.

A implantação da primeira célula é mais complicada do que a segunda, e assim por diante, desde que a organização aprenda com os seus erros e dificuldades. O objetivo de uma célula é sempre chegar à grande escala de operação o mais rápido possível, porém, sem sacrifício para a empresa e seus empregados (HYER; WEMMERLÖV, 2002).

Para Hyer e Wemmerlöv (2002), a operação plena é quando uma célula funciona de acordo com a expectativa. Isso significa cumprir as metas de desempenho, bem como os operadores fazerem todas as tarefas de acordo com o plano de trabalho projetado.

2.5 CONCEPÇÃO PRELIMINAR DA CÉLULA

O processo de implantação da manufatura celular inicia com a determinação de parâmetros técnicos a fim de formar a concepção preliminar da célula.

Segundo Rother e Harris (2001), não basta apenas concentrar-se no desenvolvimento de leiautes em formatos U, mas sim em criar e manter um fluxo contínuo, o que caracteriza uma célula de verdade. Para isso, os autores recomendam utilizar algumas ferramentas para definir os parâmetros a respeito do processo original, o que dará base para a concepção do sistema celular.

As ferramentas recomendadas por Rother e Harris (2001) e aplicadas neste trabalho são: tempo *takt*; conteúdo total de trabalho; cronometragem; balanceamento dos operadores – quadro *yamazumi*; *kaizen* no papel; número de operadores na célula; distribuição de trabalho na célula.

Tais ferramentas têm como objetivo auxiliar o projeto celular na tomada de decisões sobre os aspectos técnicos. No entanto, o projeto de células de manufatura não é completo sem a consideração dos aspectos sociais e humanos envolvidos.

2.5.1 Tempo *Takt*

Takt time ou simplesmente *takt*, é um conceito usado para projetar o trabalho em um sistema produtivo de acordo com a demanda do cliente. Em termos de cálculo, significa o tempo disponível para

produzir peças em um intervalo específico de tempo (LIKER; MEIER, 2007).

A palavra *takt* é um termo alemão que significa compasso, ritmo. Nesse sentido, o tempo *takt* é utilizado para estabelecer o ritmo de produção e está expresso na equação 1:

$$\text{Tempo } Takt = \frac{\text{Tempo Disponível do Período}}{\text{Demanda do Período}} \quad \text{eq. (1)}$$

Onde:

Tempo Disponível do Período é o tempo do início ao fim do período menos as paradas programadas (lanches, reuniões, etc.).

Demanda do Período é baseado na demanda média de longo prazo. Quando há variações na demanda diária, é melhor operar o sistema produtivo com um tempo *takt* constante, uma vez que mudanças frequentes no *takt* são ineficientes, interrompem o ritmo de trabalho e aumentam o potencial de surgimento de problemas de qualidade (ROTHER; HARRIS, 2001).

Um dos benefícios da célula é proporcionar flexibilidade ao processo. Com as flutuações da demanda, o processo produtivo precisa adequar-se ao ritmo de venda, evitando a escassez do produto ou a sua superprodução. Com isto, para atender os picos de sazonalidade, geralmente há um tempo *takt* para cada demanda média de longo prazo (ROTHER; HARRIS, 2001).

Alvarez e Antunes (2001) alegam que a utilização indiscriminada dos termos tempo de ciclo e *takt time* levam, na prática industrial, a ambiguidade acerca de suas definições e a interpretações equivocadas dos conceitos por detrás dos mesmos. Tais conceitos são diferentes: Tempo de ciclo refere-se tanto ao tempo necessário para a fabricação de uma peça em um processo (capacidade), como também o tempo que um operador leva para completar todas as atividades antes de repeti-las. O tempo *takt* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção. Em um processo *lean*, o tempo de ciclo sempre será menor que o tempo *takt*.

2.5.2 Conteúdo Total de Trabalho

O conteúdo total de trabalho são todas as atividades essenciais para formar um produto. Tal conteúdo é composto pelo tempo de ciclo da máquina e pelos elementos de trabalho.

Em um processo produtivo, cada operador exerce uma sequência de pequenas tarefas ou “elementos de trabalho” necessários para completar um ciclo de trabalho em cada estação.

Esse elemento pode ser definido como o menor incremento de trabalho que pode ser transferido à outra pessoa. O entendimento deste é fundamental para criar e manter o fluxo contínuo (ROTHER; HARRIS, 2001).

Dividir o trabalho em elementos ajuda a identificar e eliminar desperdícios que, caso contrário, ficariam escondidos dentro do ciclo total do operador.

Observando repetidamente o trabalho real, todos os elementos e tempos de máquina são descritos na Folha de Estudo do Processo, Anexo A – adaptado de Rother e Harris (2001). Durante esta análise, não se deve incluir nenhum desperdício óbvio como elemento de trabalho, visto que eles não agregam valor ao produto e um dos objetivos do projeto é eliminá-los.

A identificação dos elementos de trabalho e dos tempos de máquina não pode ocorrer através de dados em arquivos, mas sim definidos e revisados no *gemba* (chão de fábrica).

A análise no *gemba* exige tempo para observar o processo a ser melhorado. Por isso, é fundamental manter a cortesia com os operadores e explicar o que está sendo feito, esclarecendo que o objetivo é obter informações sobre o processo e não avaliar o desempenho individual. Assim, os operadores devem ser orientados a não mudarem suas rotinas de trabalho.

2.5.3 Cronometragem

A cronometragem de cada elemento de trabalho ocorre no *gemba* a partir da observação dos operadores considerados experientes e aptos às funções. Utiliza-se cronômetro aferido para a coleta dos dados, bem como a cortesia no chão de fábrica.

Os tempos são registrados na Folha de Estudo do Processo, Anexo A. A cronometragem acontece repetidas vezes até se obter dados relevantes. Valores interrompidos devem ser eliminados e considera-se verdadeiro o menor valor repetido.

Para Rother e Harris (2001), coletar as informações no próprio local auxilia a entender a situação real e a enxergar os desperdícios que, de outra maneira, permaneciam ocultos.

A cronometragem é um trabalho intenso e que consome tempo. Entretanto, esta etapa é de extrema importância, pois os elementos de trabalho e seus respectivos tempos são a base sólida para o restante do projeto do fluxo contínuo (ROTHER; HARRIS, 2001).

2.5.4 Balanceamento dos Operadores – Quadro *Yamazumi*: no Estado Original

O balanceamento dos operadores, também conhecido de quadro *yamazumi* (termo japonês que significa “empilhar”) é um gráfico de barras que mostra a distribuição de trabalho dos operadores em relação ao tempo *takt*, baseada em dados reais registrados na Folha de Estudo do Processo (TALIP et al., 2011).

O quadro *yamazumi* permite visualizar o conteúdo do trabalho, distribuir adequadamente as tarefas entre os funcionários, bem como eliminar as atividades que não adicionam valor ao produto. As barras coloridas identificam as modificações realizadas para elevar a produtividade do processo (TALIP et al., 2011).

Ferramenta útil para observar o sistema, tal balanceamento é um instrumento eficaz que ajudar a entender, criar, gerenciar e melhorar o fluxo contínuo (ROTHER; HARRIS, 2001). Além disso, ajuda na redistribuição dos elementos de trabalho entre os operadores, essencial para a minimização do número de pessoas, tornando a quantidade de trabalho realizada por cada operador (tempo de ciclo) quase igual ao tempo *takt*.

2.5.5 *Kaizen* no Papel

O *kaizen* no papel é uma análise crítica sobre os elementos de trabalho do processo. O objetivo é eliminar alguns desperdícios no papel, antes do estudo ser colocado em prática (ROTHER; HARRIS, 2001).

Através de uma coluna de tempo, todos os elementos de trabalho são ordenados de acordo com o modo como os operadores as realizam. Em seguida, constrói-se uma segunda coluna no lado direito referente às melhorias, mostrando o conteúdo total de trabalho após as eliminações de todos os desperdícios.

Geralmente, a análise do *kaizen* do papel favorece um ganho significativo no tempo de produção, uma vez que os desperdícios são eliminados e pontos de melhorias são identificados.

2.5.6 Número de Operadores na Célula

Rother e Harris (2001) apresentam em sua publicação a equação 2. O cálculo define o número de operadores capaz de atender o tempo *takt* do sistema produtivo para uma unidade do produto.

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Operadores} = \frac{\text{Tempo Proposto (kaizen no papel)}}{\text{Tempo Takt}} \quad \text{eq. (2)}$$

A recomendação clássica orienta arredondar o valor para cima sempre que o resultado não for um número inteiro (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Contudo, o referencial teórico de Rother e Harris (2001) exposto no Quadro 5, orienta de maneira diferente a decisão sobre o número de funcionários em uma célula.

Sobra a partir da equação (2)	ORIENTAÇÃO / META
< 0,3	Não adicionar um operador extra. Aproveitar para reduzir o desperdício e trabalhos não importantes.
0,3 - 0,5	Ainda não adicionar um operador extra. Após duas semanas de operação da célula, avaliar cuidadosamente se desperdícios e trabalhos ainda podem ser eliminados.
> 0,5	Adicionar um operador extra se necessário. Observar os desperdícios e trabalhos não importantes para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Quadro 5 – Orientação para determinar o número de operadores em uma célula.

Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).

Monden (1997) menciona que a flexibilidade é essencial quando o número de operadores precisa ser minimizado devido a uma redução na demanda. O número de funcionários precisa adequar-se a realidade de produção.

Quanto a isso, Monden (1997) exhibe o raciocínio diferente do apresentado por Rother e Harris (2001), porém, ambos os métodos apresentarão os mesmos resultados. Em sua obra, Monden (1997, p.159) afirma que o número de operadores deve variar com taxa de flutuação da demanda. Por exemplo: se as vendas caírem 50%, o número de operadores na célula deve ser reduzido à metade. Porém, se a demanda aumentar, o percentual do acréscimo deve ser aplicado à quantidade de funcionários.

2.5.7 Distribuição de Trabalho na Célula

O arranjo celular permite distribuir as atividades de várias maneiras, de modo que os operadores possam se movimentar facilmente dentro da célula durante seu ciclo de trabalho. Essas tarefas devem ser equivalentes a aproximadamente 95% do tempo *takt* para cada operador (ROTHER; HARRIS, 2008).

A alocação de trabalho na célula fundamenta-se em dividir os elementos de trabalho entre os operadores de modo que cada um realize uma fração do conteúdo total. Tal divisão considera os elementos de trabalho da proposta do *kaizen* no papel, após eliminação dos desperdícios, como também o cálculo do número de operadores na célula.

No entanto, Rother e Harris (2001) afirmam que ao distribuir as atividades conforme essa proposta, o conteúdo total de trabalho para cada operador pode ser maior do que o tempo *takt*. Isso é normal uma vez que nem todos os desperdícios podem ser eliminados durante o *kaizen* no papel. Trabalhar o processo no chão de fábrica é fundamental para identificar e eliminar novos desperdícios.

De acordo com os mesmos autores, a distribuição das atividades para cada operador pode ser feita de diferentes formas, tais como:

1. **Divisão do Trabalho:** A cada operador é atribuída uma fração do conteúdo total de trabalho. Frequentemente, seu deslocamento ocorre entre várias estações de trabalho, atribuindo ao mesmo operador o primeiro e o último elemento de trabalho no fluxo de material, criando um efeito de sincronização na célula.

2. **Circuito:** O operador realiza todas as atividades relacionadas à fabricação do produto, movimentando-se de acordo com o fluxo do material, fazendo um circuito. Enquanto isso, um segundo operador o segue algumas estações atrás. Tal método promove automaticamente o rodízio dos operadores, no entanto, é limitado a dois operadores devido à dificuldade de coordenar mais do que isso. Além disso, requer um bom balanceamento das atividades entre as estações de trabalho para evitar congestionamento dos operadores.

3. **Fluxo Reverso:** Cada operador realiza todos os elementos de trabalho no fluxo contrário ao fluxo do material. Tal método requer o uso de máquinas com descargas automáticas, disponibilizando a peça à operação seguinte.

4. **Combinação:** Combinar a distribuição das atividades entre dividir o trabalho com circuito ou fluxo reverso. Recomendável para mais de dois operadores, onde o mesmo operador executa o primeiro e último elemento de trabalho do fluxo de material.

5. **Um Operador por Estação de Trabalho:** Utilizado para trabalhos manuais com equipamentos não automáticos. Cada operador permanece fixo na sua estação de trabalho. Realiza uma fração do total dos elementos de trabalho que, ao concluí-la, passa a peça para a próxima estação. Porém, tal método tem dificuldades como balancear igualmente as atividades e de utilizar plenamente os operadores, devido à limitação de flexibilidade na combinação de trabalho. Geralmente utiliza-se esteira móvel para transferir as peças, para manter o fluxo contínuo e evitar a produção em lotes.

6. **Corte:** Neste modelo, a diferença entre o número de estações de trabalho e o número de operadores é igual a 1. Cada operador opera duas máquinas e se movimenta para frente e para trás a cada incremento do *takt*, fornecendo um forte mecanismo de sincronização. Entretanto, o modelo só é viável se os tempos de ciclo em cada estação de trabalho forem iguais.

2.6 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO 2

O presente capítulo apresentou a fundamentação teórica necessária ao entendimento desse trabalho.

A produção em massa, sistema produtivo predominante na *Empresa* onde a pesquisa foi aplicada, denota economia em escala, onde

grandes volumes de produção reduzem o custo unitário do produto. Já a manufatura enxuta, sistema produtivo desenvolvido pela Toyota, visa o aumento dos lucros em função da redução/eliminação dos desperdícios. Por esse motivo, cada vez mais empresas buscam implantar os conceitos enxutos, principalmente por meio de adaptações das formas tradicionais de produção, transformando o sistema produtivo em lotes em manufatura celular.

A proposta de implantação de processo de montagem enxuto em um ambiente fabril foi o foco de estudo para esse trabalho. Em vista disso, esclareceu-se o conceito teórico sobre montagem, manufatura celular e implantação da manufatura celular.

Na literatura, porém, foram encontradas algumas informações sobre a implantação de células, sendo que praticamente todos os autores concordam, de certo modo, em um mesmo ponto: no projeto de células de manufatura, os aspectos técnicos só são válidos se os aspectos sociais e humanos também forem considerados.

Portanto, com base na revisão bibliográfica, o próximo capítulo descreve o procedimento proposto de implantação de célula de montagem.

3 DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

O presente capítulo tem o objetivo de apresentar o procedimento proposto para a implantação de célula de montagem *lean*.

Tal proposta está fundamentada no aspecto sócio-técnico apresentada na revisão bibliográfica por boa parte das obras consultadas.

O procedimento proposto apresenta algumas orientações de natureza técnica citadas nas obras de Lee e Nyman (apud Hyer; Brown; Zimmerman, 1999, p. 182), Hyer e Wemmerlöv (2002), Lubben (1989), Narusawa e Shook (2009) e de Rother e Harris (2001).

Do mesmo modo, o âmbito social também se faz presente na proposta, por meio da formação da equipe de projeto, seleção e treinamento dos operadores, desenvolvimento da célula piloto, além do trabalho de motivação e valorização dos funcionários. Nesse aspecto, a proposta está baseada nas recomendações de Hyer, Brown e Zimmerman (1999), Olorunniwo e Udo (2002), Liker e Meier (2007), Lubben (1989), Black (1998) e Narusawa e Shook (2009).

Assim, a estrutura do procedimento proposto está organizada em quatro etapas principais:

- I. Planejamento para Célula de Montagem *Lean*;
- II. Projeto da Célula;
- III. Implantação do Projeto Piloto;
- IV. Consolidação da Célula de Montagem.

A proposta deve ser aplicada após análise e definição das famílias de produtos. Cada etapa está desdobrada em passos menores, descritas a seguir, detalhando a implementação. A Figura 3 exibe a visão esquemática do procedimento proposto.

3.1 PLANEJAMENTO PARA CÉLULA DE MONTAGEM *LEAN*

A primeira etapa trata do planejamento para implantar uma célula de montagem *lean*.

A atividade inicia com a formação da equipe de projeto que, em seguida, observa a produção original e realiza a coleta dos dados de produção.

A partir dessas informações a equipe planeja o desenvolvimento da célula.

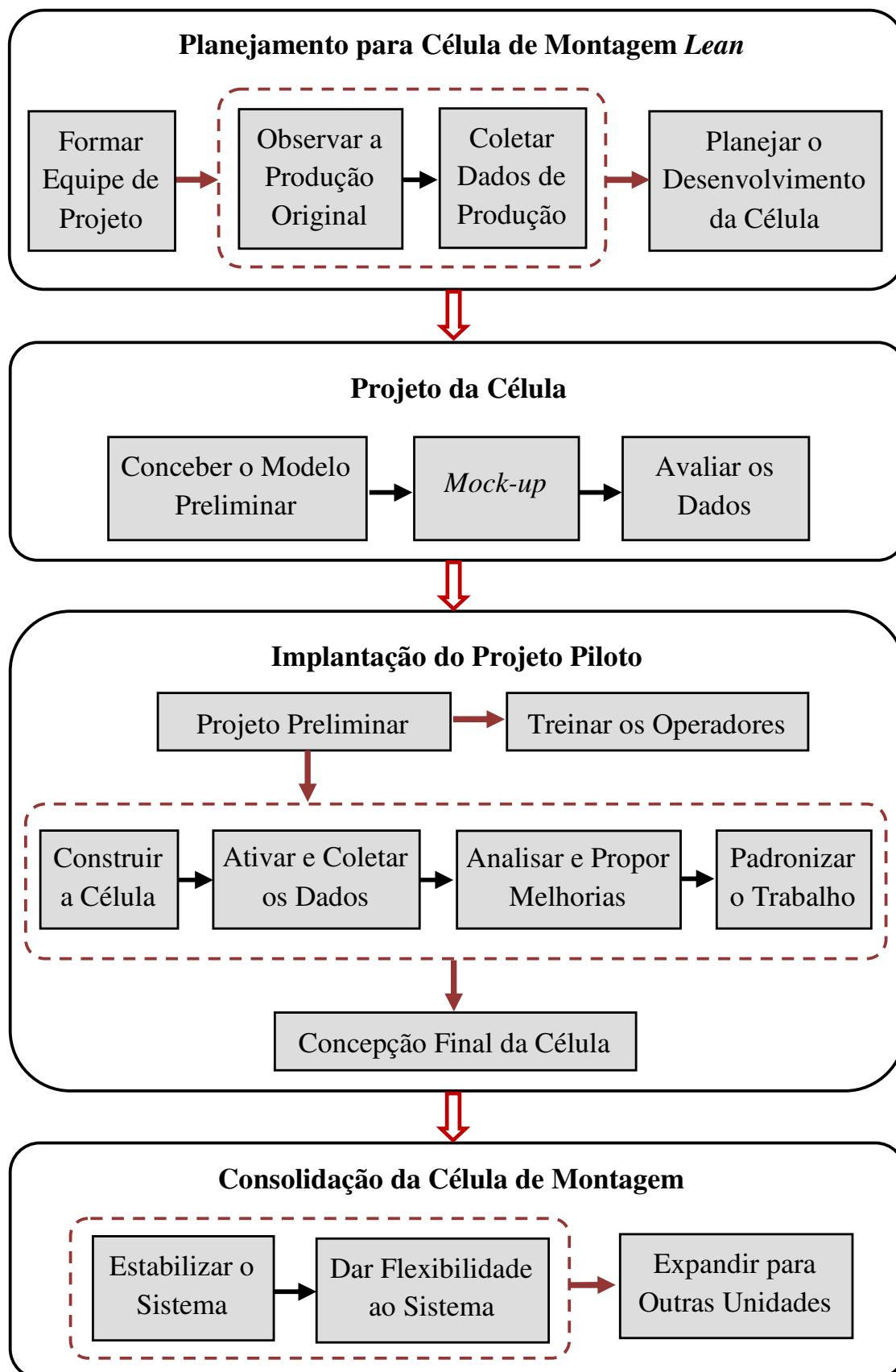


Figura 3 – Visão esquemática do procedimento proposto. Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.1 Formar Equipe de Projeto

Tendo em vista que a aplicação do *lean* envolve a interação de diversas áreas da empresa, uma equipe multidisciplinar deve ser organizada para desenvolver o projeto.

Todos devem possuir conhecimento sobre os conceitos *lean*, podendo ser necessário algumas horas de treinamento.

O apoio da alta administração é fundamental, pois confere autonomia à equipe para o desenvolvimento do estudo.

3.1.2 Observar a Produção Original

A fim de monitorar mudanças em um processo, deve-se entender o seu estado antes da implantação, bem como o estado ou condição da empresa antes da implementação enxuta (LUBBEN, 1989).

Assim, a equipe deve observar da produção original de modo a conhecer o processo, identificar os problemas existentes, bem como obter informações para o planejamento da célula de montagem.

Liker e Meier (2007) afirmam que é vital fazer melhorias com base nas reais necessidades do processo. Quando as necessidades são apontadas pelo grupo, as melhorias são sustentadas e o processo não volta aos desperdícios do estado original.

Além disso, é importante identificar a demanda e a capacidade do processo, bem como o tipo de trabalho (mão de obra intensiva, conjunto de máquina e mão de obra, ou apenas máquina).

Outro aspecto a ser analisado é o produto que envolve o estudo. Para a aplicação de um processo contínuo deve-se observar se os modelos do produto refletem uma mesma família, com similaridades nas etapas do processo e nos equipamentos.

Em casos de produtos diferentes, recomenda-se processá-los em outra célula ou outro sistema produtivo quando a quantidade de trabalho variar muito, uma vez que torna difícil manter o fluxo e a produtividade (ROTHER; HARRIS, 2001).

3.1.3 Coletar Dados de Produção

Examinar a realidade atual do sistema produtivo permite adquirir informações qualitativas e quantitativas que oferecem suporte ao dimensionamento do novo sistema de produção.

As informações sobre a situação original podem ser usadas para avaliar as mudanças, a partir de um ponto fixo de referência. Essa análise permite medir o desempenho em relação ao padrão estabelecido (LUBBEN, 1989).

A seguir, os elementos avaliados nesta proposta para futura análise de desempenho:

1. Tipo de arranjo físico;
2. Área ocupada (m²);
3. Número de operadores;
4. Distribuição de trabalho;
5. Multifuncionalidade dos operadores;
6. Estoque em processo;
7. Produção diária;
8. Produção horária conforme a equação:

$$\text{Produção Horária} = \frac{\text{Produção diária}}{\text{Horas diárias}} \quad \text{eq. (3)}$$

9. Produtividade da mão de obra, cuja expressão matemática utilizada nesta pesquisa é:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Quantidade Produzida no período}}{(\text{n}^\circ \text{ homens} \times \text{n}^\circ \text{ horas}) \text{ do período}} \quad \text{eq. (4)}$$

A produtividade é uma relação dos “resultados de um processo de transformação com os recursos gastos para produzi-los” (LUCERO, 2006, p. 120). Logo, qualquer resultado obtido a partir de um recurso consumido pode ser chamado de produtividade.

Neste estudo, utilizou-se a produtividade da mão de obra que é um dos indicadores mais utilizados para avaliar o desempenho de um processo produtivo.

3.1.4 Planejar o Desenvolvimento da Célula

Com as informações levantadas sobre o processo original, o próximo passo é planejar o desenvolvimento da célula.

O processo de montagem enxuto pode ser obtido a partir da criação de um projeto piloto ou mesmo pela transformação da produção existente. Tal decisão deve ser considerada observando a reação dos funcionários (envolvidos no processo original) sobre a mudança na

forma de produzir. Caso haja resistências, mais vale construir uma célula piloto, independente do processo original, convidando os trabalhadores a conhecerem e a participarem da proposta, do que modificar o sistema produtivo para atender os conceitos enxutos. A imposição de algo diferente pode despertar a oposição dos trabalhadores, o que compromete o processo de implantação do sistema de montagem enxuto.

Dessa maneira, considera-se mais interessante a implantação de uma célula piloto, que também pode servir de instrumento de treinamento prático aos demais funcionários da empresa.

Com tal decisão planeja-se: a disponibilidade de local, os recursos necessários, a distribuição das tarefas entre os membros da equipe e o tempo previsto para a execução do piloto. O resultado dessa etapa é a criação de um plano de ação.

3.2 PROJETO DA CÉLULA

A presente etapa visa formar uma concepção preliminar da célula de montagem a partir do estudo do processo original, favorecendo um efeito aprendido e tornando possível enxergar situações antes complicadas de observar.

Dessa maneira, desenvolve-se a construção de um modelo de protótipo (*mock-up*) com futura avaliação dos dados.

3.2.1 Conceber o Modelo Preliminar

Visando estabelecer o fluxo contínuo de materiais, característica essencial do sistema celular, a equipe define os parâmetros para conceber o modelo preliminar de célula de montagem a partir das ferramentas descritas na bibliografia, item 2.5, mediante estudo do processo original.

Desse modo, com os valores e resultados obtidos, é possível definir as características da futura célula e criar um esboço inicial para a realização do *mock-up*.

3.2.2 *Mock-up*

Em um projeto ou na manufatura, *mock-up* significa um modelo de escala reduzida ou de tamanho real de um projeto ou dispositivo que pode oferecer parte da funcionalidade de um sistema, bem como permitir o teste do mesmo. É um método de simulação do projeto, executado o mais próximo da realidade para maximizar a utilização dos recursos produtivos. Assim, a finalidade do *mock-up* é a aprendizagem e a integração com o novo processo, além das reduções de tempo e custo.

O *mock-up* pode ser realizado com elementos físicos reais (ferramentas, peças, dispositivos, etc.) para simular o sistema celular. No entanto, nem sempre tais elementos estarão disponíveis. A equipe pode utilizar produtos similares ou mesmo reproduzi-los com o uso de materiais simples e baratos, a exemplo do papelão.

Além disso, é usual realizar o *mock-up* com os operadores, convidando-os a participar do projeto. Isso favorece a valorização das pessoas e reduz as chances de rejeição ao estudo desenvolvido. Portanto, recomenda-se a participação dos funcionários que atuam no processo original, não só porque possuem conhecimento prévio sobre a produção do produto, mas também para reconhecê-los pelo trabalho já desenvolvido.

Para Macarrão Jr. e Kaminski (2004), o *mock-up* permite analisar o tamanho e espaço ocupado, a distância entre as bancadas, o posicionamento ergonômico, o acesso a ferramentas e componentes. Tais detalhes tornam a avaliação muito próxima da situação real.

A realização do *mock-up* do sistema celular permite observar a dinâmica das atividades e adequar sua sequência, assim como identificar pontos de melhorias prevalecendo a dinâmica do círculo virtuoso entre testar o novo processo e aperfeiçoar o sistema (*kaizen*). O sucessivo aprimoramento na execução do trabalho e a familiarização da equipe no ambiente de operação também favorecem o efeito aprendido.

3.2.3 Avaliar os Dados

Esta etapa consiste em avaliar os resultados do *mock-up*. Melhorias devem ser aplicadas até obter-se um sistema ideal a ser implantado.

A partir dessas análises, elabora-se o projeto preliminar do novo arranjo celular.

3.3 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PILOTO

Com o conhecimento adquirido anteriormente, inicia-se a implantação do projeto piloto.

Tal etapa consiste em desenvolver o projeto preliminar da célula de montagem; treinar os operadores; construir a célula; ativar e coletar os dados; avaliar e propor melhorias; e padronizar as atividades. Isto resultará na concepção final do processo celular.

3.3.1 Projeto Preliminar

No projeto preliminar desenha-se o processo de montagem proposto após a realização e avaliação do *mock-up*. Seu objetivo é esclarecer os detalhes e as características da célula piloto, além dos dispositivos e suportes necessários.

Finalizado o projeto preliminar, dá-se início a sua construção. Paralelo à implantação da área piloto, realiza-se o treinamento com os operadores envolvidos no estudo.

3.3.2 Treinar os Operadores

A etapa de treinamento dos operadores busca orientá-los sobre o estudo realizado, além de apresentar características do sistema enxuto e o passo a passo das atividades da célula de montagem.

Em uma instrução breve, a equipe deve apresentar as diferenças existentes no ambiente de trabalho convencional e o baseado em células de manufatura. Outra questão importante é justificar e ressaltar a importância dos funcionários polivalentes, capazes de exercer outras atividades e de trabalharem em diversas estações de trabalho. Igualmente, deve ser enfatizada a importância de cada operador para o perfeito funcionamento da célula.

No esclarecimento sobre o projeto, a equipe deve explicar detalhes específicos do funcionamento da célula piloto e principalmente, reforçar seus fins. As atividades de cada estação de trabalho devem ser apresentadas aos operadores, enfatizando a necessidade de seguir o trabalho padronizado para garantir a qualidade e a melhoria contínua.

Segundo Liker e Meier (2008, p. 211) “o desenvolvimento de talentos tem a ver com o esclarecimento do conteúdo correto e com a maneira como é apresentado”. Desse modo, antes de iniciar o

treinamento sobre as atividades do processo, os autores recomendam uma conversa informal para deixar o aprendiz tranquilo. O instrutor deve explicar como acontecerá o treinamento e que a atividade será apresentada e revisada várias vezes até que o aprendiz entenda e seja capaz de reproduzi-la. Solicita também que o aprendiz comunique qualquer etapa mal entendida.

O instrutor deve pedir ao aprendiz que fique ao seu lado, que se posicione de modo a ver perfeitamente todos os movimentos de suas mãos. Se o aprendiz não tiver conhecimento sobre a atividade, talvez seja necessário discutir algumas habilidades fundamentais, como o uso de ferramentas, antes do início do treinamento (LIKER; MEIER, 2008).

Assim, o treinamento começa com a demonstração da sequência das atividades, enfatizando as principais etapas da operação. O instrutor deve executar a atividade e reforçar a importância de cada detalhe, sempre orientando a seguir o trabalho padronizado (LIKER; MEIER, 2008).

Motivar cada trabalhador a atingir e manter as metas também faz parte do treinamento. Quanto mais eficiente for essa etapa, mais rápido o piloto atingirá a situação de "normalidade" operacional.

3.3.3 Construir a Célula

Com o projeto preliminar concluído inicia-se a etapa de construção da célula, podendo ocorrer através da construção de um piloto (conforme o procedimento proposto) ou mediante a modificação do processo original.

Os desenhos referentes à estrutura física do projeto, bem como seus dispositivos e suportes, devem ser encaminhados aos departamentos responsáveis por confeccioná-los ou adquiri-los.

Concluí-se a presente etapa com a célula de montagem construída e apta a operar.

3.3.4 Ativar e Coletar os Dados

Implantado o novo leiaute, a célula piloto está pronta para iniciar as atividades. A equipe de projeto deve acompanhar e avaliar seu funcionamento, coletando informações para realizar possíveis melhorias.

No entanto, antes de iniciar qualquer avaliação, durante alguns dias a equipe deve orientar os operadores e acompanhar o funcionamento da célula até que todas as atividades estejam sendo executadas corretamente e na sequência determinada. Após garantir isto, inicia-se o monitoramento do processo produtivo que envolve:

- 1) O controle horário da produção;
- 2) O rodízio nos postos de trabalho – operador polivalente;
- 3) O balanceamento da célula;
- 4) Avaliar a sequência de trabalho de cada operador;
- 5) Identificar os problemas que favorecem o atraso;
- 6) Identificar os motivos de paradas não programadas;

Conforme os operadores trabalham na célula, a equipe de projeto deve monitorar as questões citadas e procurar novas oportunidades de melhorias. Além disto, é importante incentivar os operadores ao envolvimento no projeto, a darem sugestões de melhorias que podem contribuir para o aperfeiçoamento da célula.

O controle da produção é uma das formas de monitoramento, podendo ser realizado através de um quadro de controle horário, Anexo B. Tal ferramenta permite controlar a produção a cada hora, comparar os resultados produtivos com a programação, assim como identificar os motivos de interrupções no fluxo produtivo.

3.3.5 Analisar e Propor Melhorias

Nesta fase, analisam-se os dados coletados com o monitoramento do processo celular. Provavelmente, seu desempenho inicial não será animador, porém Rother e Harris (2001, p. 84) afirmam que:

Atingir 60 a 65% da meta de produção no primeiro dia não é ruim. 80% é frequentemente atingível em aproximadamente uma semana e 90% dentro de duas semanas.

Portanto, a constante avaliação do processo permite adquirir informações para melhorar o sistema celular. O efeito aprendido se faz presente, já que todo o problema é uma oportunidade de melhoria.

3.3.6 Padronizar o Trabalho

A partir das melhorias realizadas no sistema celular, a etapa seguinte é padronizar as atividades.

O objetivo da padronização é estabelecer as bases para a melhoria contínua, *kaizen*, a fim de garantir a estabilidade do sistema e então, continuar na busca de novas oportunidades. Os benefícios incluem a documentação dos processos utilizados em todos os turnos, redução da variação dos processos e dos acidentes, além de treinamentos mais simples aos novos operadores.

O trabalho padronizado significa a determinação de procedimentos exatos para cada operador, baseado em três elementos: tempo *takt*, sequência de trabalho e estoque padrão – em processo.

A criação do trabalho padronizado envolve:

- 1) **Planilha de Capacidade do Processo** (Anexo C): Planilha utilizada para calcular a capacidade de cada máquina do processo em estudo para confirmar a capacidade real e para identificar e eliminar gargalos. Os cálculos baseiam-se no tempo de funcionamento disponível, tempo de ciclo por peça e tempo perdido nas mudanças de ferramenta (*setup*) ou outras exigências de preparação da máquina (LIKER; MEIER, 2007; NARUSAWA; SHOOK, 2009).
- 2) **Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado** (Anexo D): Descreve a combinação de tempo de operações manuais, equipamentos automáticos e deslocamento para cada operador, dentro de uma sequência de trabalho (LIKER; MEIER, 2007; NARUSAWA; SHOOK, 2009).
- 3) **Diagrama de Trabalho Padronizado** (Anexo E): Mostra os movimentos do operador e a localização dos materiais em relação à máquina e ao leiaute geral do processo (NARUSAWA; SHOOK, 2009).
- 4) **Folha de Instrução de Trabalho** (Anexo F): Utilizada não só para treinar novos operadores, como também para que os operadores experientes reconfirmem as operações corretas. Relaciona as etapas do trabalho, detalhando qualquer habilidade especial que possa ser necessária para executar o trabalho com segurança, qualidade e eficiência (NARUSAWA; SHOOK, 2009).

3.3.7 Concepção Final da Célula

Após a execução das etapas anteriores tem-se a concepção final da célula de montagem.

O novo arranjo físico deve ser capaz de operar conforme os estudos realizados, mantendo o fluxo contínuo, bem como estar apto a prosseguir para a última fase do procedimento proposto, a consolidação da célula de montagem.

3.4 CONSOLIDAÇÃO DA CÉLULA DE MONTAGEM

A presente fase corresponde à operação diária. Deve-se acompanhar o processo celular visando a estabilidade e a flexibilidade do sistema.

Ao atingir tais metas, o último passo é a expansão da implantação às demais áreas da empresa, dando continuidade ao processo de transformação.

3.4.1 Estabilizar o Sistema

A estabilidade é definida como capacidade de produzir resultados coerentes ao longo do tempo. Ela é essencial para alcançar as melhorias estabelecidas (LIKER; MEIER, 2007).

A presente etapa visa estabilizar o novo sistema, proporcionando maior grau de flexibilidade e capacidade de atender a diversas exigências da demanda.

Os objetivos da estabilidade abrangem:

- Eliminar as atividades fora de ciclo. Aplicar e manter o trabalho padronizado;
- Identificar e eliminar as causas que interrompem o fluxo;
- Reduzir ao máximo a variabilidade de produtividade e de mudanças no processo (reposicionar operador; interromper a produção de um pedido pela ocorrência de problemas, etc.);
- Eliminar operações que operam independentemente (processos ilhados);
- Manter o fluxo contínuo.

3.4.2 Dar Flexibilidade ao Sistema

Flexibilidade é a característica chave do leiaute celular. O sistema pode reagir rapidamente às flutuações na demanda dos clientes, mudanças no projeto do produto ou no *mix* de produtos.

Para Monden (1997), a flexibilidade é equivalente ao aumento de produtividade pelo ajuste e reprogramação dos recursos humanos.

Segundo Black (1998), a célula deve possuir flexibilidade nas seguintes áreas:

- Operações de equipamentos: troca rápida de ferramentas, sem ou fácil ajuste, bem como detecção automática de erros;
- Processos: habilidade para lidar com a ampla variedade de produtos, com seus volumes e prioridades de produção;
- Capacidade e volume: habilidade para aumentar ou diminuir a saída, taxa e volume de produção.

Este último item citado por Black (1998) refere-se à variação dos pedidos dos clientes. O número de operadores na célula pode ser menor quando a demanda for baixa e aumentar quando a mesma for alta. Assim, o sistema produtivo deve-se adequar às possíveis mudanças do mercado.

3.4.3 Expandir para Outras Unidades

Depois de consolidada a implantação da célula de manufatura, inicia-se o processo de expansão às demais áreas da empresa.

Conforme afirmação de Lubben (1989), ao passo que o projeto piloto torna-se bem sucedido, surge o interesse dos outros grupos da empresa, passando a ocorrer uma ampliação natural do processo para outras áreas.

Recomenda-se o uso do mesmo procedimento proposto para a criação de novas células.

3.5 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O PROCEDIMENTO PROPOSTO

O presente capítulo teve por objetivo apresentar uma proposta de procedimento para a implantação de um processo de montagem enxuto,

no caso, uma célula de montagem. Dessa maneira, o capítulo foi estruturado em quatro etapas principais: planejamento para célula de montagem *lean*, projeto da célula, implantação do projeto piloto e finalmente, consolidação da célula de montagem.

Tal procedimento permite detalhar a situação do processo de montagem original, identificando suas limitações e problemas, a fim de planejar o desenvolvimento de uma célula de montagem enxuta a ser implantada.

A partir disso, o estudo mais completo sobre processo original resulta em uma concepção teórica de como poderia ser a célula de montagem nos conceitos enxutos, que posteriormente, é colocado em prática através de um protótipo chamado de *mock-up*. Tal simulação do estudo teórico favorece um efeito aprendizado, já que visa melhorar continuamente o projeto (*kaizen*) e familiarizar a equipe e os funcionários com o processo celular.

Após esse aperfeiçoamento, a equipe desenvolve o projeto preliminar, com todas as informações de leiaute, dispositivos e suportes necessários para a construção da célula. Simultaneamente a implantação do projeto piloto, ocorre o treinamento dos operadores para trabalharem na célula. Quando o sistema celular estiver construído e apto a operar, a equipe de projeto acompanha permanentemente o seu funcionamento. Deve orientar e motivar os operadores, além de estimular a multifuncionalidade mediante o rodízio entre os postos de trabalho. Os pontos de melhorias são identificados e aprimorados para, então, padronizar as atividades.

A consolidação da célula ocorre ao passo que se alcança a estabilidade do processo por meio da eliminação dos problemas que interrompem o fluxo produtivo. Além disso, o sistema celular deve possuir flexibilidade para atender rapidamente a flutuação da demanda e as possíveis mudanças no projeto do produto ou no *mix* do produto.

O procedimento descrito finaliza com a expansão dessa implantação nas demais áreas da empresa e, por isso, o sucesso do projeto piloto é importante, já que desperta o interesse das pessoas não envolvidas no estudo e favorece uma ampliação natural das práticas enxutas.

A garantia de aplicabilidade e de validade do procedimento proposto é apresentada no próximo capítulo através de um estudo de caso desenvolvido em um ambiente fabril de produção de bens de consumo duráveis.

4 CASO ESTUDADO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O presente estudo desenvolveu-se em uma empresa nacional do ramo metalúrgico situada na cidade de Brusque, estado de Santa Catarina.

Desde sua fundação, a *Empresa* vem investindo em um parque industrial moderno e bem equipado. Seu ambiente industrial possui uma produção vertical compreendendo vários processos metalúrgicos, além de pintura e montagem. Produtos e informações fluem através da operação, geralmente em grandes lotes, percorrendo um roteiro de processo a processo, de acordo com as suas necessidades. Em decorrência disto, há grande movimentação de materiais e muitos estoques em processo (WIP). Outros estoques como o de matéria-prima e o de produto acabado, em altos volumes, caracterizam ainda mais a presença da produção em massa.

A *Empresa* atua em diversos segmentos. Entre eles, o de eletrodomésticos é o mais significativo em termos de faturamento. Por este motivo, um de seus produtos fez parte deste trabalho.

O processo de montagem de um eletrodoméstico portátil foi o estudo desta dissertação.

4.2 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Seguindo o procedimento descrito do capítulo anterior, a implantação da célula de montagem em um ambiente fabril envolveu as seguintes etapas:

4.3 PLANEJAMENTO PARA CÉLULA DE MONTAGEM *LEAN*

4.3.1 Formar Equipe de Projeto

Com o conhecimento prévio do problema e sabendo onde o projeto seria aplicado, formou-se um time multidisciplinar com nove pessoas, sendo estes engenheiros e funcionários responsáveis pela produção, além do autor da pesquisa.

Antes de dar início às atividades, dezesseis horas de treinamento foram ministradas pelo autor a fim de apresentar os conhecimentos

sobre Manufatura Enxuta. A equipe tinha o apoio e o incentivo da alta administração o que permitiu a autonomia para a aplicação do projeto.

4.3.2 Observar a Produção Original

4.3.2.1 Descrição do Produto

O objeto envolvido neste estudo é um eletrodoméstico de pequeno porte que possui variação de quatro SKU em dois modelos. Assim, pertencem à mesma família de produtos e podem ser montados na mesma célula.

A produção do eletrodoméstico tem como última etapa o processo de montagem. A cada quatro produtos do mesmo SKU montados e embalados, uma caixa é confeccionada para armazená-los. É deste modo que o cliente da empresa recebe seus pedidos.

A demanda deste eletrodoméstico é sazonal. Para efeitos de estudo, três demandas foram definidas com base no histórico de vendas dos últimos anos apresentadas no Quadro 6. Para o cálculo das demandas diárias considerou-se um mês de produção equivalente a 24 dias úteis.

A demanda chamada de média refere-se à maior frequência de produção e manteve-se estável durante este estudo. Por este motivo, tal demanda foi utilizada para comparar o estado original e futuro, denominada aqui de “demanda de referência”.

DEMANDA	unidades/mês	caixas/mês	unidades/dia
Máxima	16000	4000	667
Média	12000	3000	500
Mínima	6000	1500	250

Quadro 6 – Demandas mensais e diárias consideradas neste estudo. Em destaque, a demanda de referência. Fonte: dados da empresa (2010).

4.3.2.2 Descrição do Processo - Sistema de Montagem Original

O estado original abrangia um sistema de montagem em linha, utilizado exclusivamente para produzir as variações do produto. A

manufatura era tradicional, nos moldes da produção em massa. Não havia, até este estudo, práticas de manufatura enxuta.

De maneira a facilitar o entendimento, a Figura 4 ilustra o leiaute da linha montagem que ocupava uma área total de 35m².



Figura 4 – Planta baixa da linha de montagem. Postos de trabalho numerados.
Fonte: dados da empresa (2010).

A linha de montagem operava com cinco operadores e um abastecedor, que além de abastecer os postos de trabalho, realizava outras tarefas auxiliares.

O processo de montagem abrangia quatro fases: montagem do produto, teste de funcionamento, embalagem do produto e, finalmente, embalagem em caixa do conjunto de quatro unidades. Os produtos acabados (caixas) eram colocados em paletes. O abastecedor realizava a transferência para a Expedição a cada palete completo que variava de 24 a 32 caixas dependendo do modelo produzido.

Os cinco funcionários distribuídos ao longo da linha eram responsáveis pela montagem dos componentes que, sequencialmente, davam forma ao produto. Os mesmos trabalhavam em função do movimento contínuo de uma esteira. Mesmo assim, operavam como postos isolados. Estoques intermediários surgiam entre eles interrompendo o fluxo contínuo, uma vez que o sistema parecia estar desbalanceado.

O Quadro 7 apresenta as atividades dos cinco operadores e do abastecedor. Cada funcionário ditava a sequência dos seus elementos de trabalho.

LINHA DE MONTAGEM

FUNÇÕES	ATIVIDADES
Operador 1	Montar a cuba.
Operador 2	Montar e testar a resistência.
Operador 3	Unir a resistência e a cuba. Confeccionar a embalagem do produto.
Operador 4	Confeccionar a caixa a cada quatro embalagens e acomodá-la no palete.
Operador 5	Auxiliar nas atividades do Operador 2.
Abastecedor (o único sem local fixo)	Conhecer e exercer todas as operações da linha. Abastecer os cinco postos de trabalho. Substituir momentaneamente algum operador quando necessário. Transferir os produtos acabados (em palete) para a Expedição.

Quadro 7 – Atividade dos funcionários da linha de montagem. Fonte: dados da empresa coletados pelo autor (2010).

A produção da linha não variava com a sazonalidade. Seguiu a política de “capacidade constante”. O aumento da demanda era atendido com o estoque de produtos acabados e horas extras. Em épocas de baixa demanda, o mesmo número de operadores era mantido e a superprodução era estocada.

A produção de cada SKU ocorria em lotes fixos de 1000 unidades. Via sistema MRP, o PCP emitia semanalmente as Ordens de Fabricação (OF) para a Produção. Durante o estudo, a meta diária de fabricação a ser atingida era igual ou superior a 655 unidades.

Sobre os componentes comprados, a empresa recebia de seus fornecedores grandes quantidades de material dispostas em embalagens plásticas, caixas de papelão ou paletes. Todos os componentes eram mantidos no Almoxarifado, tais como recebidos. Liberada a OF, os itens eram disponibilizados no processo de montagem nestas embalagens. O abastecedor era o responsável por fracionar e abastecer a linha.

Eventualmente, ocorria a substituição da OF durante o turno devido à falta de componentes ou necessidade de atender um pedido urgente. O material remanescente da ordem suspensa permanecia ao lado da linha esperando o retorno da produção. Já o estoque em

processo (WIP), normalmente variável, era guardado em baixo das bancadas. Porém, na maioria das vezes, tal manuseio danificava as peças montadas e o retrabalho era necessário. O palete incompleto de caixas prontas era despachado à Expedição.

O controle de produção do sistema original era realizado apenas no final da jornada de trabalho. Os problemas e atrasos no processo produtivo só eram notados no final do turno. A recuperação da produção era realizada no dia seguinte.

A rotina de trabalho ocorria, em média, 24 dias por mês em regime de um turno diário. O tempo efetivo de trabalho ao dia, já descontado as paradas programadas, correspondia à 7h e 30min (27000 segundos).

Em suma, o Quadro 8 exhibe os pontos positivos e negativos da linha de montagem.

LINHA DE MONTAGEM

Pontos Positivos	Pontos Negativos
Programação e controle da produção simplificado.	Estoque em processo (WIP) variável.
Operadores executam atividades simples.	Estoque de componentes (matéria-prima) ao redor da linha.
Processo produtivo simples.	Baixa produtividade.
Poucas paradas não programadas.	Inflexibilidade com relação à flutuação da demanda.
-	Operadores funcionais.

Quadro 8 – Pontos positivos e negativos da linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.3 Coletar Dados de Produção

Com o entendimento e análise do processo original, tornou-se possível adquirir informações para a futura análise de desempenho.

A aquisição dos dados ocorreu através de observação do processo, discussões com a equipe, conversas com os operadores, bem como através de históricos do processo produtivo.

Assim, o sistema de produção original apresentava:

1. Linha de montagem com esteira móvel.
2. Área ocupada de 35m².
3. Seis funcionários: cinco operadores e um abastecedor.
4. Linha de montagem aparentemente desbalanceada. Operadores fixos ao longo da linha.
5. Operadores funcionais, direcionados para executarem uma única fração do conteúdo total de trabalho.
6. Presença de estoque em processo variável.
7. Produção diária: meta igual ou superior a 655 unidades.
8. Produção horária de acordo com a equação 3:

$$\text{Produção Horária} = \frac{655 \text{ peças}}{7,5 \text{ horas}} = 87,3 \text{ peças/hora}$$

9. Produtividade operacional no período de um turno, conforme equações 4:

$$\text{Produtividade} = \frac{655 \text{ peças}}{(6 \text{ homens} \times 7,5 \text{ horas})} = 14,6 \text{ peças/h. h}$$

Além disso, identificaram-se alguns motivos de paradas não programadas que ocorriam esporadicamente no processo de montagem original, a exemplo da falta de material e dos problemas de qualidade dos componentes. Desde já, buscaram-se medidas corretivas junto aos departamentos responsáveis.

4.3.4 Planejar o Desenvolvimento da Célula

Conforme visto anteriormente, a produção original apresentava algumas deficiências. Desse modo, buscou-se através dos conceitos enxutos melhorar o processo de montagem a fim de aumentar a produtividade, a flexibilidade e a eficiência operacional através da eliminação dos desperdícios.

A equipe planejou o desenvolvimento da célula através de um plano de ação, Apêndice A, especificando o objetivo do projeto e como ele seria executado. As responsabilidades iniciais do projeto foram distribuídas entre os membros da equipe a fim de agilizar o processo de implantação.

A equipe de projeto planejou a construção de uma célula com leiaute em formato “U”, o mais utilizado em células de produção. Esta configuração de célula permite o fluxo contínuo entre as estações de trabalho e maior mobilidade dos operadores, já que o processo final está estabelecido no lado oposto ao inicial. Inclusive o arranjo em “U” favorece a flexibilidade, redistribuindo os elementos de trabalho por ocasião de um aumento ou redução na demanda.

Como estratégia de implantação, planejou-se construir uma célula piloto ao lado da linha original. Tal ação não faz parte do procedimento proposto, porém, foi a solução encontrada para familiarizar os funcionários com o projeto, bem como evitar possíveis rejeições por parte deles, uma vez que não conheciam o sistema enxuto. Além disto, a produção do eletrodoméstico não poderia ser comprometida. Ambos os processos estariam em funcionamento até que a célula estivesse estável e apta a atender a demanda.

A construção da célula piloto envolveria disponibilidade dos recursos humanos da empresa e poucos investimentos financeiros.

4.4 PROJETO DA CÉLULA

4.4.1 Conceber o Modelo Preliminar

A concepção do modelo preliminar resume-se a uma ideia teórica de como pode ser uma célula de montagem com base no estudo do sistema original.

Desse modo, utilizando as ferramentas descritas na bibliografia, item 2.5, a equipe definiu os parâmetros que resultaram nas características da célula piloto. A seguir, as ferramentas utilizadas e seus respectivos resultados.

4.4.1.1 Tempo *Takt*

Considerando os valores diários de produção para as diferentes demandas descritos no Quadro 6 e o tempo de trabalho efetivo ao dia que é de 27000s (já subtraído as paradas programadas), é possível calcular o ritmo de produção ou tempo *takt* utilizando a equação 1.

$$\text{Tempo } Takt = \frac{\text{Tempo Disponível do Período}}{\text{Demanda do Período}} \quad \text{eq. (1)}$$

Assim, a taxa real de compra do cliente nas diferentes demandas sazonais são apresentadas no Quadro 9.

DEMANDA	Demanda diária	Tempo <i>takt</i>
Máxima	667 peças/dia	≈ 41s
Média	500 peças/dia	54s
Mínima	250 peças/dia	108s

Quadro 9 – Tempo *takt* referente às três demandas definidas no estudo. Em destaque, a demanda de referência. Fonte: elaborado pelo autor.

4.4.1.2 Conteúdo Total de Trabalho

A Folha de Estudo do Processo descreve o conteúdo total de trabalho para montar uma unidade do eletrodoméstico, Figura 5.

A identificação dos elementos de trabalho e dos ciclos das máquinas ocorreu com a observação cuidadosa do sistema real. Alguns comentários sobre o processo foram relatados na área “observações”. A etapa seguinte foi a cronometragem desses elementos.

4.4.1.3 Cronometragem

Na Folha de Estudo do Processo, Figura 5, foram registrados os elementos de trabalho e seus respectivos tempos cronometrados. Também foram considerados os tempos de ciclo das máquinas envolvidas (esteira e equipamento de teste).

Para cada elemento de trabalho, a cronometragem ocorreu repetidas vezes até se obter dados relevantes, sendo considerado verdadeiro o menor valor repetido.

Na cronometragem das atividades do Operador 4, o menor tempo repetido foi fracionado por quatro, visto que a confecção de uma caixa corresponde a um conjunto de quatro unidades de produto.

Estudo do Processo: Linha de Montagem Eletrodoméstico		Observador: Leandro B., Leandro L. e Lívia		Data/hora: 29-04-10 / 14h	Pág. 1 / 1					
Etapas do Processo	Elementos de Trabalho	Operador						Média Ciclo Completo	Observações	
		Tempos Observados (segundos)								
		Menor Tempo Repetido	Máquina Tempo de Ciclo							
Operador 1 cuba	Pegar cuba e colocar no dispositivo.	5,2	3,6	4,2	4,3	2,9	3,6	3,7	1) Às vezes, o operador tem dificuldade para retirar o plástico que protege a cuba.	
	Pegar alça dianteira, colocar no dispositivo e fixar.	15,8	11,0	16,9	10,9	10,3	12,3	11,3		
	Colocar etiqueta na alça dianteira.	2,8	2,9	3,3	3,1	3,0	3,1	3,2		
	Pegar alça traseira, colocar no dispositivo e fixar.	13,8	10,1	9,8	11,7	11,7	11,6	12,5		
	Retirar a cuba do dispositivo e colocar manual.	3,3	2,8	3,0	3,4	2,6	3,4	3,1		
	MOVIMENTO DA ESTEIRA									4
Operador 2 punho + resistência	Colocar parte do punho no dispositivo.	2,4	1,8	1,4	1,6	1,7	2,0	1,7	1) Operador com dificuldade de fixar a rede elétrica no cabo. 2) WIP do conjunto resistência + rede elétrica atrapalha o operador.	
	Colocar resistência no dispositivo.	4,1	4,0	6,4	4,5	3,6	5,0	5,6		
	Pegar e fixar rede elétrica na parte inferior do punho.	12,1	10,3	11,0	9,9	12,1	11,3	11,0		
	Montar o punho e parafusar.	6,4	6,4	7,4	6,8	6,5	6,6	7,4		
	Testar resistência.	2,8	3,2	3,1	2,5	2,8	2,9	2,7		
	Retirar resistência do dispositivo.Colocá-la na cuba.	1,8	2,0	1,7	1,3	1,1	1,6	1,5		
Operador 3 embalagem	MOVIMENTO DA ESTEIRA								21	
	Etiqueta rede elétrica.	5,1	4,6	4,4	4,7	5,0	5,5	5,1	1) WIP de rede elétrica etiquetadas. 2) Movimento do operador para buscar grelhas e redes elétricas.	
	Colocar grelha na resistência.	1,6	2,2	2,2	1,7	1,5	2,0	2,1		
	Fixar resistência na cuba.	1,4	1,6	1,6	2,0	1,3	1,1	1,1		
	Montar embalagem individual.	3,1	3,1	3,7	2,9	3,0	3,0	3,0		
	Colocar o produto na embalagem e fechar.	6,3	6,6	5,7	6,3	6,3	7,7	6,2		
MOVIMENTO DA ESTEIRA								57		
Operador 4 caixa do conjunto	Colar etiqueta "3 pinos" na embalagem (1 etiqueta para 4 embalagens)	4,5	4,1	4,4	4,4	4,5	4,9	4,1	1) Operador não segue um padrão de trabalho.	
	Colocar etiqueta "código de barra" na caixa (4 etiquetas)	9,2	10,3	10,7	11,1	9,6	9,6	10,4		
	Montar e colar a caixa.	18,9	19,6	19,6	16,9	18,6	16,8	16,1		
	Colocar etiqueta "código de barra" na embalagem (1 etiquetas para 4 embalagens)	3,6	3,9	4,0	4,2	4,0	4,8	3,9		
	Colocar a embalagem na caixa. (menor tempo x 4)	1,8	1,2	1,2	2,3	1,4	1,6	1,2		
	Fechar caixa conjunto.	17,4	17,8	24,2	23,4	22,8	21,7	23,0		
Operador 5 (Auxilia Op. 2)	Colocar caixa no pallet.	16,2	19,3	17,2	20,3	20,7	18,2	16,7	22,8	
	Pegar rede elétrica e desencapar extremidade.	6,5	7,7	6,1	5,9	6,9	8,3	9,2		
	Pegar resistência e fixar na rede elétrica	13,4	11,3	10,6	10,7	11,9	11,4	10,1		
	Colocar conjunto ao lado da montagem II	1,7	1,8	2,1	1,9	1,1	1,9	2,0		
	Tempo total para obter 1 item							121		

Figura 5 – Identificação e cronometragem dos elementos de trabalho para uma unidade do eletrodoméstico. Folha de Estudo do Processo – Linha de montagem. Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).

4.4.1.4 Balanceamento dos Operadores – Quadro *Yamazumi*: no Estado Original

O quadro *yamazumi* exibe os elementos de trabalho para cada operador. Estes estão dispostos em sequência ascendente, com a altura de cada elemento proporcional à quantidade de tempo requerida. As cores das barras são diferentes para identificar as atividades de cada funcionário.

A Figura 6 exibe o balanceamento dos operadores da linha de montagem original para a produção de um item do eletrodoméstico, comparado ao tempo *takt* de referência que é de 54s.

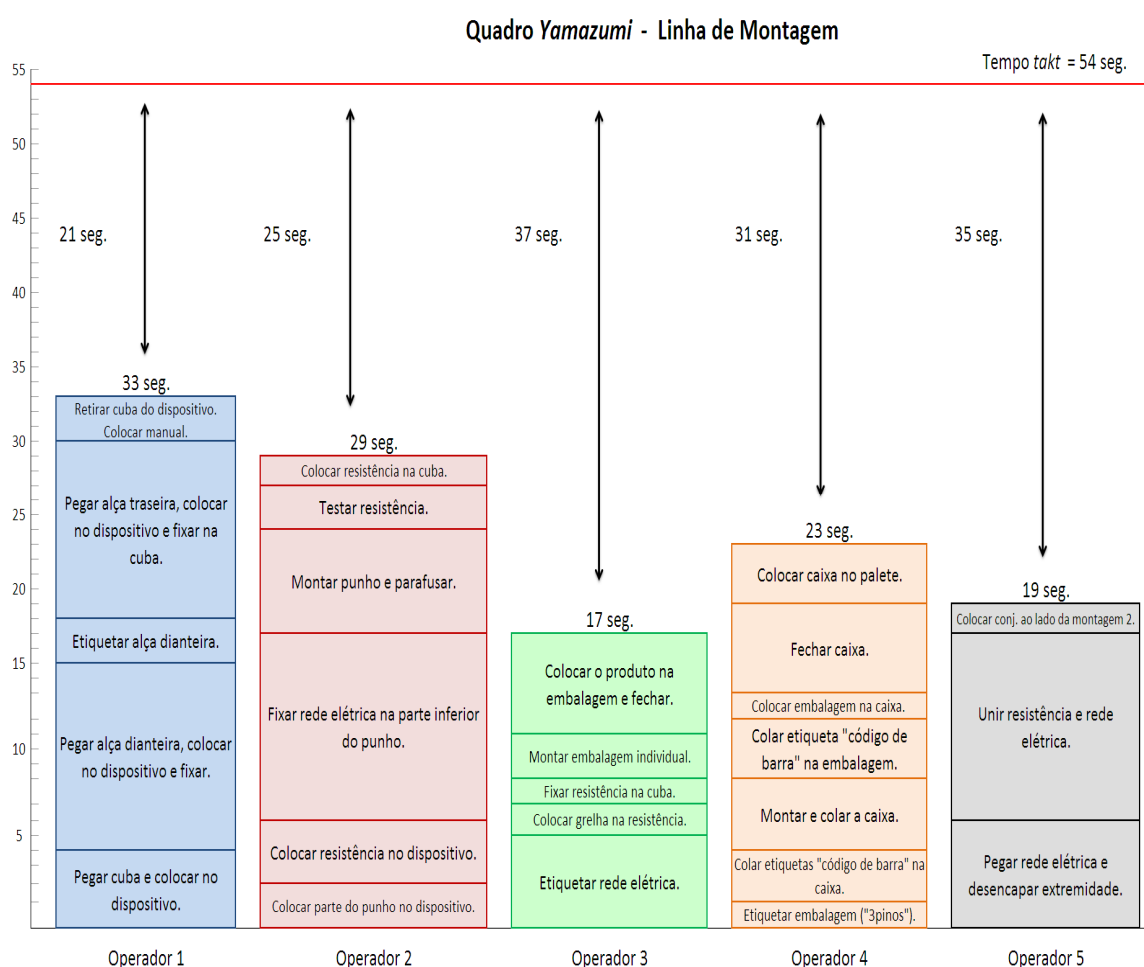


Figura 6 – Quadro *yamazumi* da linha de montagem. Fonte: elaborado pelo autor.

Na análise do gráfico exposto, o tempo de ciclo de cada operador não ocorria de forma igualitária. Existiam postos de trabalho mais carregados enquanto que outros, com pouca atividade, acumulavam estoques intermediários para não ficarem parados.

Outra observação, ainda sobre o *yamazumi*, Figura 6, é o tempo

de ciclo das estações muito menor do que o tempo *takt* do processo. Em três casos, o total dos elementos de trabalho era menor do que a metade do tempo *takt*. Isto significa o aumento das chances de gerar excesso de produção, acima da demanda real, contribuindo para a formação de estoques.

4.4.1.5 *Kaizen* no Papel

O estudo do *kaizen* no papel iniciou com a avaliação dos tempos medidos, Figura 7. A análise mostrou que alguns elementos de trabalho poderiam ser eliminados prontamente e indicou melhorias para um *gemba kaizen* futuro.

Etapas do Processo	Operador	Menor Tempo Repetido	Máquina Tempo de Ciclo
	Elementos de Trabalho		
Operador 1 cuba	Pegar cuba e colocar no dispositivo	4	
	Pegar alça dianteira, colocar no dispositivo e fixar	11	
	Colocar etiqueta na alça dianteira	3	
	Pegar alça traseira, colocar no dispositivo e fixar	12	
	Retirar a cuba do dispositivo e colocar manual	3	
	MOVIMENTO DA ESTEIRA (ELIMINAR)		4
Operador 2 punho + resistência	Colocar parte do punho no dispositivo	2	
	Colocar resistência no dispositivo	4	
	Fixar rede elétrica na parte inferior do punho	11	
	Montar e parafusar punho	7	
	Testar resistência (MELHORAR)	3	3
	Retirar resistência do dispositivo.Colocá-la na cuba (ELIMINAR)	2	
	MOVIMENTO DA ESTEIRA (ELIMINAR)		21
Operador 3 embalagem	Etiquetar rede elétrica	5	
	Colocar grelha na resistência	2	
	Fixar resistência na cuba	1	
	Montar embalagem individual	3	
	Colocar o produto na embalagem e fechar	6	
	MOVIMENTO DA ESTEIRA (ELIMINAR)		57
Operador 4 caixa do conjunto	Colar etiqueta "3 pinos" na embalagem (1 etiqueta para 4 embalagens)	1	
	Colar etiquetas "código de barra" na caixa (4 etiquetas) (MELHORAR)	2,5	
	Montar e colar a caixa	4,25	
	Colar etiqueta "código de barra" na embalagem (1 etiquetas p/ 4 embalagens)	4	
	Colocar a embalagem na caixa (menor tempo x 4)	1	
	Fechar caixa conjunto (MELHORAR)	5,75	
	Colocar caixa no palete (ELIMINAR)	4,25	
Operador 5 (Auxilia Op. 2)	Pegar rede elétrica e desencapar extremidade	6	
	Unir resistência e rede elétrica	11	
	Colocar conjunto ao lado da montagem II (ELIMINAR)	2	
	Tempo total para obter 1 item	121	

Figura 7 – Análise da cronometragem dos elementos de trabalho. Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da construção do *kaizen* no papel, Figura 8, a coluna da esquerda mostra o conteúdo total de trabalho no estado original com as identificações das atividades a serem eliminadas e melhoradas. A segunda coluna no lado direito referente às melhorias, chamada aqui de Proposta, que mostra o resultado após suprimir os desperdícios.

Ainda observando esta imagem, o processo atual necessitava de aproximadamente dois minutos, 121s, para obter uma unidade (desconsiderando os tempos de movimentação da esteira). Reduzindo os desperdícios, pode-se obter a mesma unidade com tempo inferior a dois minutos (113s).

4.4.1.6 Número de Operadores na Célula

A partir do *kaizen* no papel, a proposta para produzir uma unidade foi de 113s. Desse modo, determinou-se a quantidade de operadores para formar a célula de montagem.

Assim, aplicando a equação 2, o número de operadores capaz de atender o tempo *takt* de 54s é:

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Operadores} = \frac{\text{Tempo Proposto (kaizen no papel)}}{\text{Tempo Takt}} \quad \text{eq. (2)}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Operadores} = \frac{113\text{s}}{54\text{s}} = 2,09 \text{ operadores}$$

De acordo com as orientações de Rother e Harris (2001), expostas na referência bibliográfica (item 2.5.6), este projeto necessitaria dois trabalhadores para a demanda de referência, 12000 unidades/mês.

Já o raciocínio de Monden (1997), ainda exposto no item 2.5.6, afirma que o número de operadores deve variar com taxa de flutuação da demanda. Para melhor entendimento, o Quadro 10 ilustra a relação demanda, taxa de flutuação da demanda e necessidade de recursos humanos. No entanto, aplicando a equação 2 para a demanda máxima e mínima, também obtém-se os valores de 2,79 e 1,05, respectivamente, idênticos ao apresentado no Quadro 10. Logo, ambos os métodos oferecem os mesmos resultados.

Demanda (unidades/mês)	Varição (%) em relação à referência	Nº de Operadores
16000	Aumento de 33,3%	2,79 = 03
Valor referência = 12000	-	2,09 = 02
6000	Redução de 50%	1,05 = 01

Quadro 10 – Número de operadores na célula conforme a taxa de flutuação da demanda em estudo de acordo com o raciocínio de Monden (1997). Fonte: elaborado pelo autor.

Esclarecendo o quadro acima, se as vendas caírem 50%, caso da menor demanda em estudo – 6000 unidades/mês – o número de operadores na célula deve ser reduzido à metade, ou seja, um operador. No entanto, se a demanda aumentar, o percentual do acréscimo deve ser aplicado à quantidade de funcionários. A demanda máxima de 16000 unidade/mês corresponde a um crescimento de 33,3% em relação ao valor de referência. Nesta condição, o número de operadores no processo produtivo precisa ser 33,3% maior para atender a demanda, o que resulta 2,79 funcionários ($2,09 \text{ operadores} \times 1,333 = 2,79$). Adota-se o valor de três funcionários, já que a recomendação clássica orienta arredondar o valor para cima.

4.4.1.7 Distribuição de Trabalho na Célula

Com base no exposto anteriormente, o trabalho na célula piloto deve ocorrer com dois operadores.

Sobre a distribuição das atividades, optou-se pela divisão do trabalho. Cada operador realiza uma fração do conteúdo total e atribui-se ao mesmo funcionário o primeiro e o último elemento de trabalho no fluxo de material.

A primeira sugestão de balanceamento para a célula é exibida no quadro *yamazumi*, Figura 9. De acordo com a proposta do *kaizen* no papel, as tarefas foram distribuídas entre as estações de trabalho 1 e 2.

A meta é operar a célula com dois operadores. Entretanto, o conteúdo total de trabalho para cada operador ainda é maior do que o tempo *takt* de uma unidade. Para Rother e Harris (2001), exposto no item 2.5.7, isto é normal uma vez que nem todos os desperdícios podem ser eliminados durante o *kaizen* no papel. Por isso, deve-se realizar o *mock-up* a fim de identificar e eliminar, na prática, novos desperdícios.

PROPOSTA DE DIVISÃO DE TRABALHO

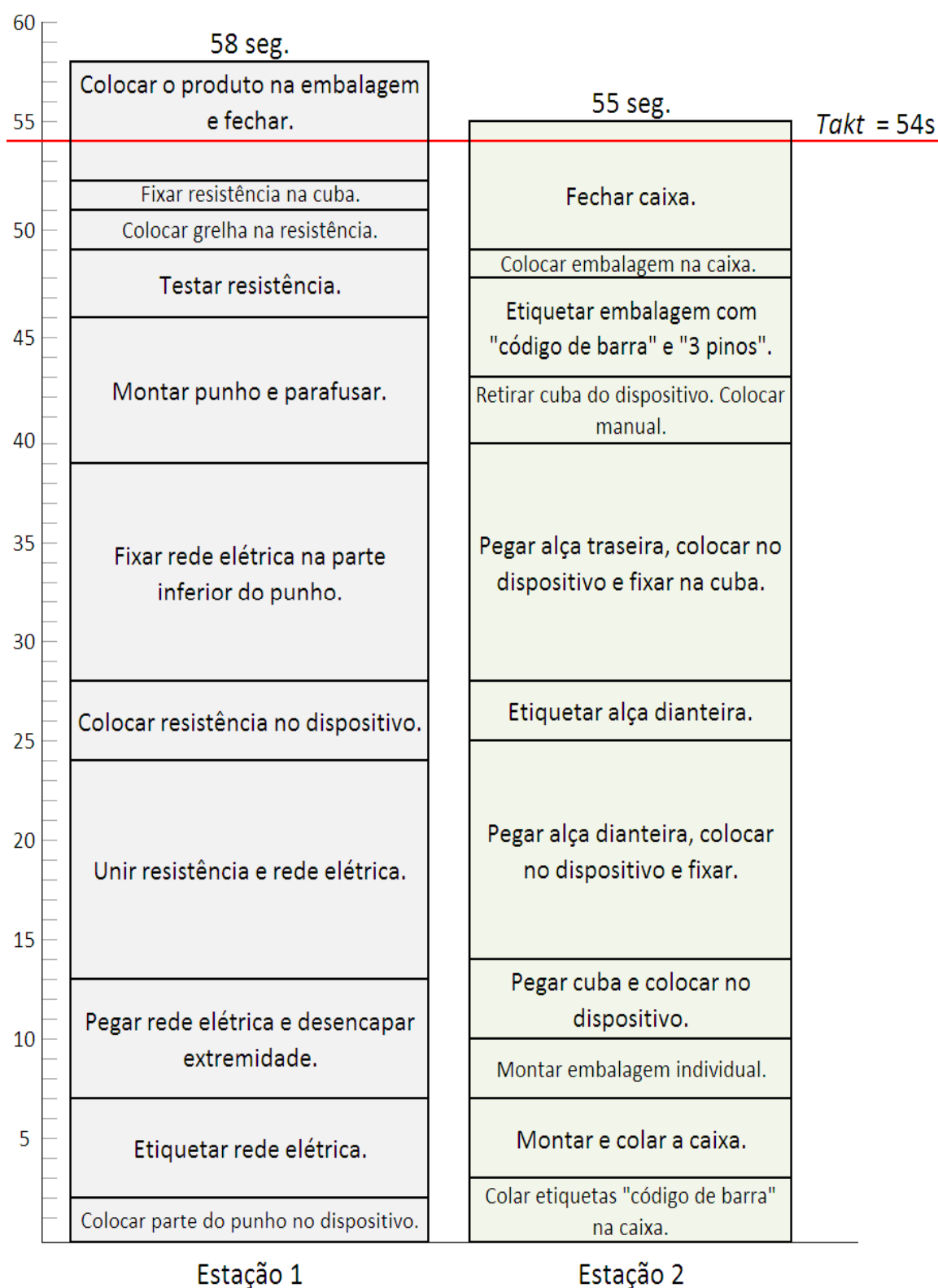


Figura 9 – Proposta de quadro *yamazumi* para a célula de montagem.
Fonte: elaborado pelo autor

4.4.2 *Mock-up*

A concepção do modelo preliminar representou ideias teóricas para a criação do fluxo contínuo. Colocá-las em prática, através do *mock-up*, foi o novo desafio.

Conforme orientações da proposta de implantação, item 3.2.2, foi reproduzido, em escala real, uma célula de montagem em forma de U ao lado da linha original, utilizando dispositivos e suportes improvisados. Três estações de trabalho constituíram a célula, cada qual com sua bancada.

O *mock-up* envolveu a participação de dois operadores, funcionários da linha de montagem. Estes foram convidados a participar do projeto, não só porque conheciam o processo de montagem do produto, mas ainda para integrá-los e motivá-los no estudo. Na célula piloto, as atividades de montagem foram distribuídas entre os operadores, sendo que apenas um deles deslocava-se no interior célula (Operador 1), enquanto que o outro permanecia fixo em um dos postos de trabalho (Operador 2). Dessa maneira, foram necessárias quatro reproduções do funcionamento de uma célula para aprimorar o sistema.

As simulações permitiram analisar a disposição do leiaute, a sequência dos elementos de trabalho, a disposição dos componentes, as questões ergonômicas, além de identificar outros pontos de melhorias.

Durante o *mock-up*, observou-se a necessidade de adicionar um abastecedor ao sistema celular a fim de auxiliar na redução do tempo produtivo. Então, outro operador foi convidado a participar do projeto, também oriundo da linha de montagem. Desse modo, outras duas reproduções do sistema celular foram realizadas.

De acordo com os conceitos enxutos, o abastecedor segue uma rota preestabelecida facilitando seu trabalho sem que falte material no sistema celular. A cada ciclo completo, ele retorna ao supermercado e retira mais material para reabastecer o processo produtivo. Assim, planejou-se construir um supermercado atrás da célula para atender a rota de abastecimento.

Embora o correto fosse o setor de Almojarifado ser o próprio supermercado, não seria possível, neste estudo, adaptar e habilitar o setor de Almojarifado para tal função, visto que as embalagens dos fornecedores não eram padronizadas. Remanejar as peças em caixas padrões utilizadas na empresa seria um desperdício, já que o tempo gasto não agregaria valor o produto.

A realização do *mock-up* permitiu encontrar oportunidades de melhorias antes que o processo real estivesse implantado no chão de

fábrica. A dinâmica *kaizen* prevaleceu no *mock-up*, sempre testando e melhorando o projeto, além de considerar as opiniões dos operadores.

A Figura 10 exhibe o último *mock-up* realizado antes de avaliar os dados e iniciar o esboço preliminar da célula piloto.



Figura 10 – *Mock-up* realizado durante o estudo. Fonte: dados da empresa (2010).

4.4.3 Avaliar os Dados

Através do *mock-up*, a equipe de projeto pode entender como seria a célula de montagem em funcionamento. Tal reprodução em escala real permitiu buscar novas propostas de melhorias, tudo para reduzir o tempo de produção e facilitar o processo produtivo.

Algumas melhorias no produto e no processo foram efetuadas tais como:

1. Melhorias no projeto do produto: cabo da resistência e alça dianteira da cuba;
2. Redução no número de etiquetas na caixa: de quatro para uma;
3. Modificação na maneira de fechar a caixa. Antes era manual com cola *Jet Melt*. Na célula, adotou-se uma máquina de fechamento automático utilizando fita adesiva.

4. Na célula, o operador não vai esperar a conclusão do teste da resistência. Ele realiza o teste e coloca a etiqueta na rede elétrica, simultaneamente.
5. Inclusão de um abastecedor ao sistema celular, conforme comentado no item anterior.

Durante o *mock-up*, o arranjo físico iniciou com área de 10,8m², sendo concluída com 17,7m² e espaço interno entre as bancadas de 1m. As simulações foram realizadas até obter-se um modelo celular ideal a ser aplicado, cujo balanceamento das atividades entre os operados está apresentado no quadro *yamazumi*, Figura 11, baseado na cronometragem individual dos elementos de trabalho durante a última reprodução.

Considerando não só a participação efetiva dos operadores durante o *mock-up*, mas também as melhorias aplicadas ao sistema esperava-se, como resultado dessa etapa, alcançar tempos de ciclo inferiores ao tempo *takt*. No entanto, isto não ocorreu, sendo que os tempos de ciclo aumentaram em comparação ao quadro *yamazumi* após a concepção do modelo preliminar, Figura 9. Todavia, tal situação pode ser esclarecida: a Figura 9 foi construída a partir de um estudo teórico de como poderia ser a célula com base na análise crítica do sistema original, enquanto que a Figura 11 exibe o balanceamento de um protótipo de célula que ainda exige aperfeiçoamento.

Esclarecendo o funcionamento da célula, o operador da estação de trabalho 1 deslocava-se entre as bancadas de início e fim do fluxo de material (a cada unidade montada) ao passo que o operador da estação 2 permanecia fixo. Este era responsável por montar a cuba e a embalagem, enquanto o primeiro preparava a resistência e a caixa.

A realização e análise do *mock-up*, aplicando a teoria estudada na simulação prática, consolidaram o projeto para a futura implantação.

Quadro Yamazumi

Balanceamento da Célula de Montagem após o *Mock-up*

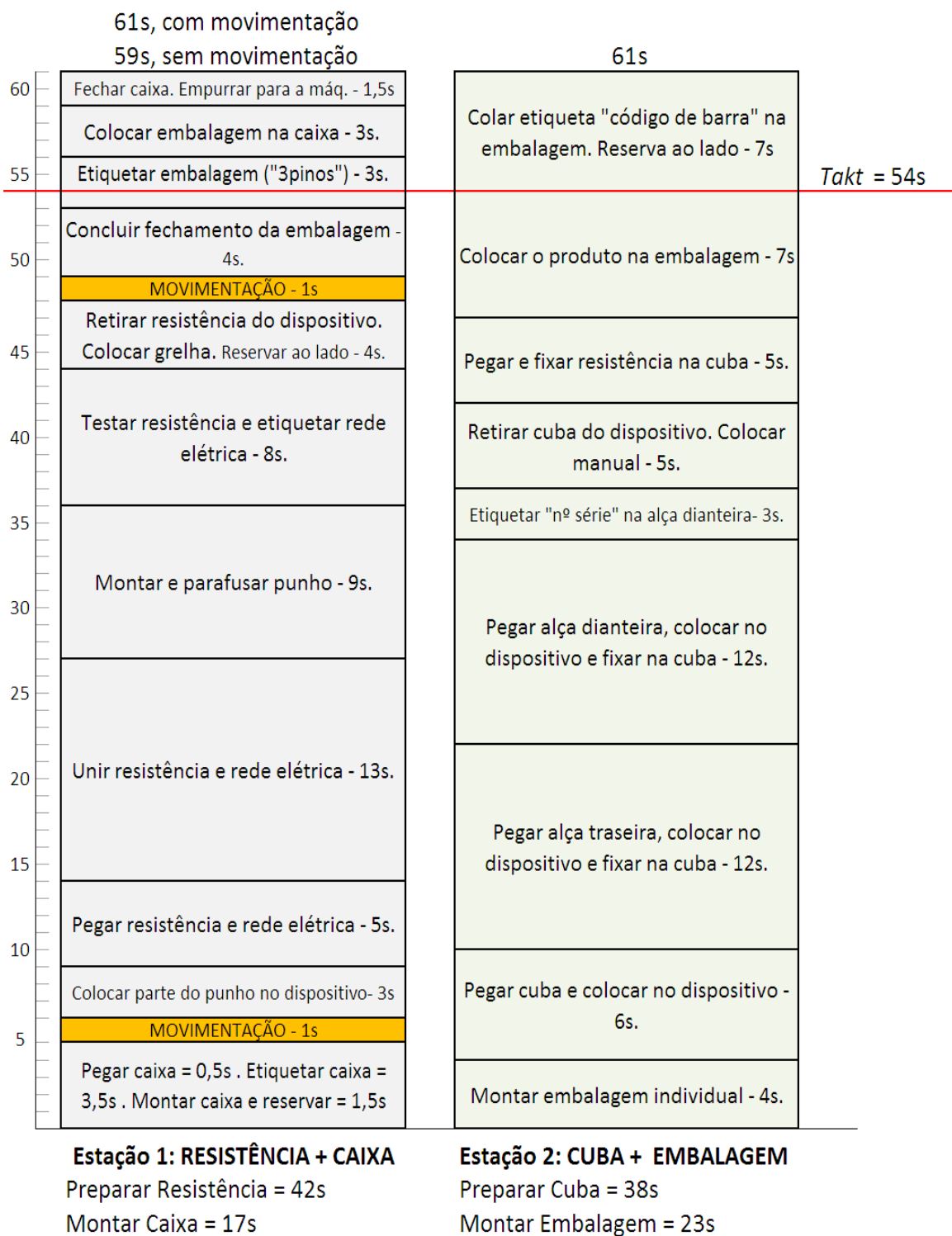


Figura 11 – Quadro *yamazumi* após o *mock-up*. Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PILOTO

4.5.1 Projeto Preliminar

Com as melhorias incorporadas ao sistema, conforme citado no item anterior, foi possível criar um desenho de como seria a futura célula.

Bancadas, suportes e dispositivos foram confeccionados por meio desse projeto, Figuras 12 e 13, desenvolvido a partir dos conhecimentos adquiridos na fase anterior.

Também se projetou um espaço atrás da célula dedicada ao supermercado, Figura 13. Buscou-se com isto criar a cultura de rota de abastecimento, assim como eliminar o que ocorria na linha de montagem: componentes em excesso ao redor da mesma.

Com área de 16m², espaço ideal para armazenar os componentes, o supermercado atenderia a produção de um turno que poderia variar conforme a demanda.

Diariamente, o Almoxarifado disponibilizaria no supermercado da célula a quantidade exata de itens e toda sobra de material (por motivos diversos) retornaria para este setor. A utilização do supermercado também proporcionaria a entrega constante de uma determinada quantidade de material para a célula de montagem, já com o intuito de treinar o abastecedor com a filosofia enxuta.

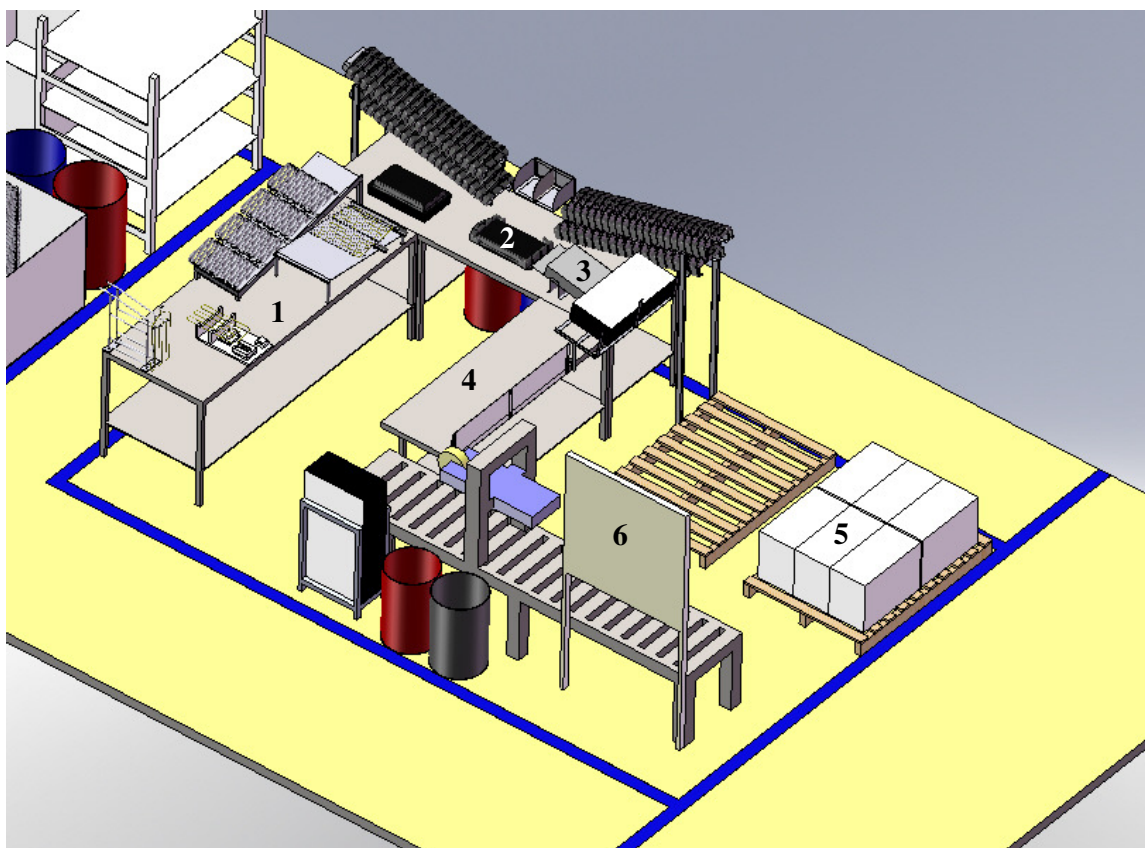


Figura 12 – Projeto preliminar da célula de montagem.

[1] confeccionar resistência; [2] confeccionar cuba; [3] confeccionar embalagem; [4] confeccionar caixa; [5] produto acabado; [6] quadro de controle horário. Fonte: dados da empresa (2010).

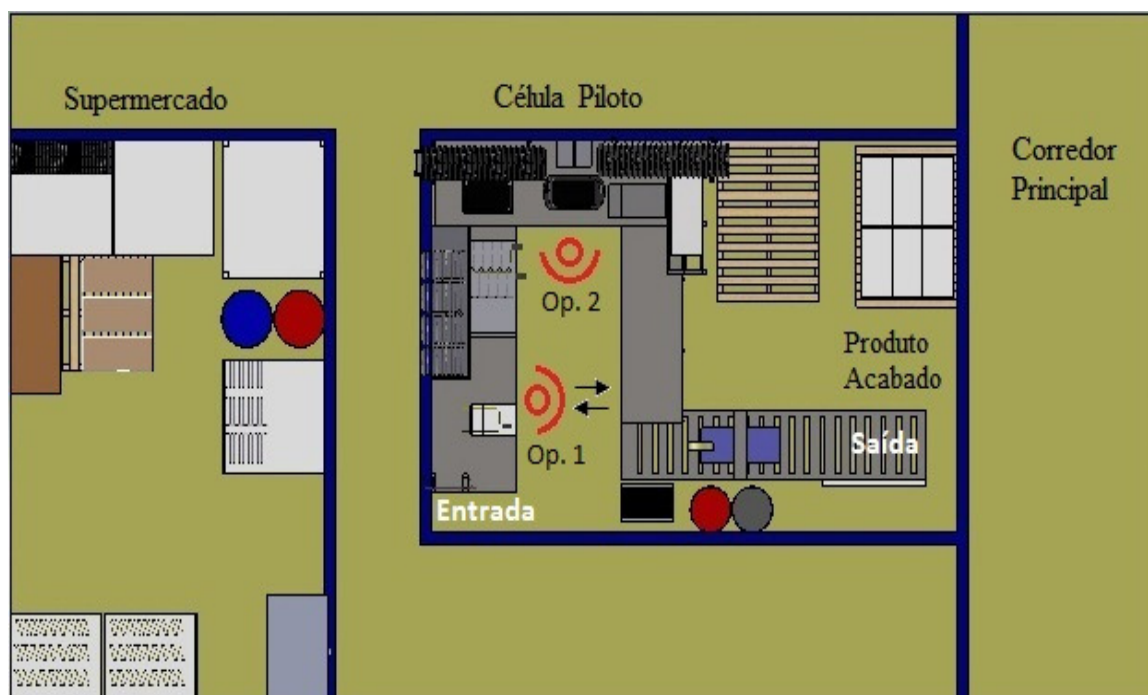


Figura 13 – Planta baixa da célula e do supermercado. Fonte: dados da empresa (2010).

4.5.2 Treinar os Operadores

Três funcionários da linha de montagem foram convidados a operarem o sistema celular, os mesmos que participaram no desenvolvimento do *mock-up*.

Inicialmente, os operadores foram instruídos sobre os conceitos da produção enxuta, bem como as diferenças entre a manufatura tradicional e a celular. Também se ressaltou a importância de cada pessoa e a necessidade de operadores multifuncionais para o perfeito funcionamento da célula. Tais informações foram transmitidas da maneira mais dinâmica possível para cativar o interesse e a confiança dos funcionários.

Sobre o projeto, esclareceram-se alguns detalhes específicos tais como:

1. Para o funcionamento do sistema celular são necessários dois operadores dentro da célula e um abastecedor, sendo que este também exercerá a função de líder da equipe;
2. A produção na célula piloto deve atender as metas horárias. Ao final do turno, os minutos restantes devem ser dedicados à limpeza e organização da célula;
3. O rodízio entre as três funções da célula deve ocorrer a cada semana. Os funcionários devem mudar de função para conhecer e aperfeiçoar cada atividade, tornando-os multifuncionais;
4. Com tal rotatividade, semanalmente a célula terá um líder diferente, o abastecedor. Rother e Harris (2001) citam que se a meta não está sendo atingido, o líder da equipe deve rever os problemas, usando soluções temporárias para atacar as condições anormais até que a causa raiz possa ser eliminada. Além disso, o abastecedor deve exercer outras atividades: preencher o quadro Controle de Produção Horária; substituir um operador quando necessário; abastecer a célula; retirar os produtos acabados e colocá-los no palete; levar o palete completo para a Expedição.

Diferente do que prega os conceitos *lean*, as funções de líder e de abastecedor, mesmo sendo distintas, foram atribuídas a uma única pessoa, uma vez que não havia volume de trabalho suficiente para justificar a presença de mais um funcionário. Tal fato pode mudar na medida em que novas células surgirem. Assim, o abastecedor atenderá apenas as várias células através de uma rota de abastecimento.

Após esclarecer tais detalhes do projeto, iniciou-se o treinamento

conforme descrito no item 3.3.2. Um a um, ao lado do instrutor, os operadores receberam o treinamento de todas as estações de trabalho. As atividades foram apresentadas e explicadas várias vezes, garantindo que os operadores entendessem e fossem capazes de reproduzi-las.

4.5.3 Construir a Célula

Com base no projeto preliminar, a construção da célula piloto levou quase um mês até que estivesse pronta para entrar em operação.

Todas as mesas, dispositivos e suportes foram produzidos com os recursos da empresa, conforme disponibilidade.

4.5.4 Ativar e Coletar os Dados

A célula piloto iniciou as atividades operando diariamente em um turno com os três operadores previamente treinados para atender a demanda de referência (12000 unidades/mês).

Em paralelo ao projeto, porém, não incluso no procedimento proposto, o processo original continuou operando como uma estratégia de implantação, conforme já mencionado. A linha de montagem trabalharia com parte da equipe que seria complementada com outros colaboradores. Acreditou-se que os dois sistemas produtivos em operação atenderiam a demanda até que a célula piloto estivesse em perfeito funcionamento.

A equipe acompanhou a produção da célula durante cinco dias, período de familiarização dos operadores com o sistema celular. A equipe orientou quanto ao rodízio, bem como garantiu a correta execução das atividades e sua exata sequência. A partir da segunda semana, o monitorado foi constante em busca de possíveis melhorias.

Desde o início, os operadores foram incentivados a recomendar melhorias, mostrando-se dispostos a contribuir com o crescimento do sistema celular.

Paralelamente, implantou-se o controle horário da produção, sendo possível comparar os resultados produtivos com a programação e identificar os motivos de interrupções do fluxo produtivo. Através de um quadro, tal controle foi instalado ao lado da célula piloto para que os funcionários e o supervisor acompanhassem o processo de montagem. Desse modo, a Figura 14 exhibe o controle produtivo realizado no segundo dia de monitoramento.

Controle de Produção por Hora		Tempo Takt = 54 segundos			
Célula: <i>Montagem do Eletrodoméstico</i>		Líder da Semana: JUREMA			
Meta diária: 500 unidades		Nº operadores: 2 + 1 abastecedor		Data: 03/08/2010	
Hora	Meta		Produção		Supervisão/Líder
	Horária/Acumulada	Realizada/Acumulada	Realizada	Acumulada	
1ª) 13:30h às 14:30h	68	68	28	28	Jurema
2ª) 14:30h às 15:30h	68	136	40	68	Jurema
3ª) 15:30h às 16:30h	68	204	52	120	Jurema
4ª) 16:30h às 17:30h	68	272	48	168	Jurema
5ª) 17:30h às 18:30h	68	340	52	220	Jurema
INTERVALO					
6ª) 19:30h às 20:30h	68	408	44	264	Jurema
7ª) 20:30h às 21:30h	68	476	32	296	Jurema
8ª) 21:30h às 22h	24	500	0	296	Jurema

Figura 14 – Quadro do controle horário de produção. Monitoramento do segundo dia de funcionamento da célula. Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).

Para atender a demanda de referência, a célula de montagem deveria produzir 500 unidades ao dia, ou seja, 68 unidades/hora, sendo que na última meia hora a meta seria produzir 24 unidades. Com o término da produção, nos minutos restantes para o final do turno, os operadores dedicavam-se à limpeza e organização da célula.

O abastecedor, líder da célula, completava o quadro hora a hora com os valores de produção e os problemas que ocorriam. Para avisá-lo do horário, uma lâmpada acendia a cada hora, indicando o momento para tal atividade.

A partir do controle horário produtivo, observou-se que a célula piloto apresentava dificuldades remanescentes da linha de montagem, a exemplo da falta de material e problemas de qualidade dos componentes. As medidas corretivas aplicadas no início do projeto não foram bem sucedidas e novamente, ações junto aos departamentos responsáveis foram tomadas.

A seguir, o resultado do monitoramento da segunda e terceira semana quanto à produção diária e paradas não programadas, Figura 15.

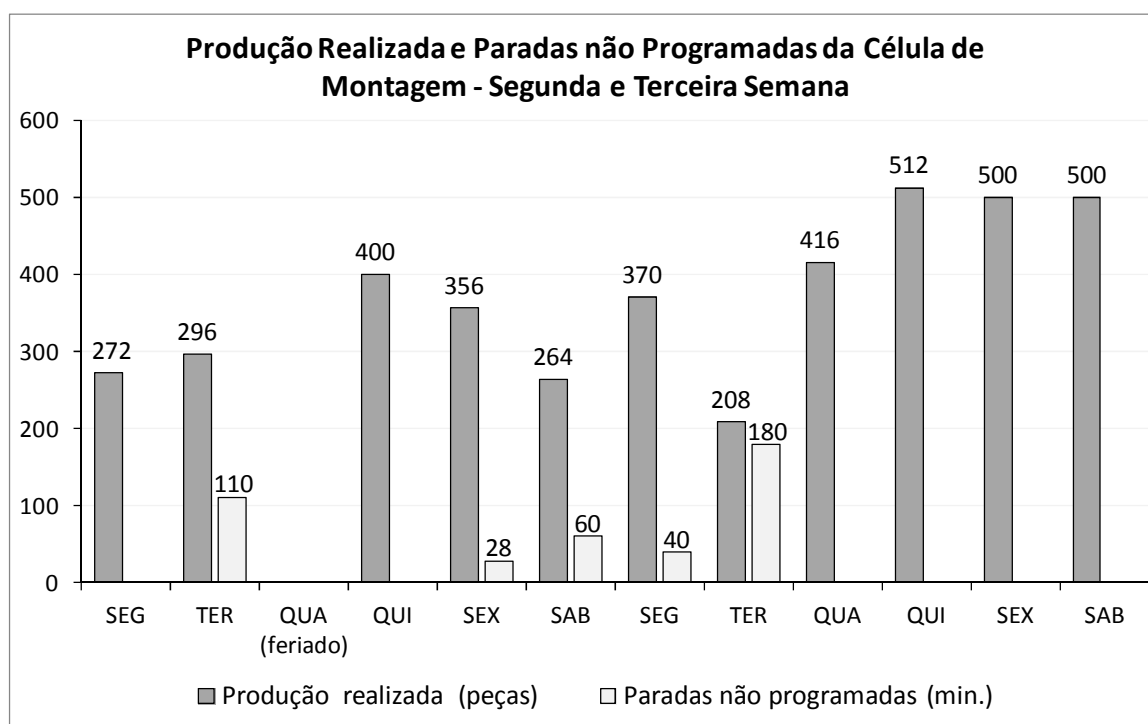


Figura 15 – Desempenho da célula de montagem durante a segunda e terceira semana de funcionamento. Fonte: elaborado pelo autor.

Durante a segunda semana de funcionamento apenas a meta horária foi alcançada algumas vezes. De fato, os operadores ainda estavam em fase de aprendizado, porém, os problemas que ocorreram interromperam o fluxo produtivo e comprometeram o bom

funcionamento do processo de montagem. Além disso, o Operador 1 mostrou-se bastante atrasado devido ao excesso de movimentação entre as bancadas de início e fim do fluxo de material, sendo necessário modificar a sequência de suas atividades.

No início da terceira semana colocou-se em prática a nova distribuição de trabalho do Operador 1. As modificações não foram apenas no seu deslocamento, que passou a acontecer a cada quatro unidades montadas, mas também se transferiu duas atividades para o Operador 2 (o fechamento da embalagem e a colagem da etiqueta “3 pinos” na mesma). Com tais alterações e sem paradas no fluxo produtivo, alcançou-se a meta diária de produção durante três dias consecutivos. No entanto, o que mais prejudicou o desempenho da célula no início da semana foi as constantes paradas, as mesmas da semana anterior.

A quarta e quinta semana apresentou resultados semelhantes à terceira semana.

4.5.5 Analisar e Propor Melhorias

Diante dos resultados apresentados, o desempenho da segunda semana de funcionamento da célula não foi animador, visto que em apenas um dia os 80% da meta de produção diária foram alcançados. No entanto, a terceira semana foi considerada satisfatória, pois, sem as paradas no fluxo produtivo, foi possível alcançar a meta diária nos últimos dias da semana.

Assim, as principais melhorias aplicadas no sistema celular foram:

1. A nova sequência dos elementos de trabalho executados pelo Operador 1, cujo deslocamento deve ocorrer a cada quatro peças montadas (resistências), além da transferência de dois elementos de trabalho para o Operador 2 (fechamento da embalagem e a colagem da etiqueta “3 pinos” na mesma);
2. A solução de alguns problemas junto aos setores responsáveis que comprometiam o perfeito fluxo contínuo da célula de montagem;
3. Alguns detalhes nos dispositivos e suportes foram alterados de modo a facilitar as atividades dos operadores.

Além dos problemas identificados e resolvidos, o rodízio semanal dos postos de trabalho também pode ter atrapalhado o ritmo produtivo.

Todavia, tal prática é importante para o conhecimento de cada função e para a flexibilidade do sistema.

4.5.6 Padronizar o Trabalho

Com as melhorias aplicadas, padronizaram-se as atividades estabelecendo as bases da melhoria contínua, além de garantir a estabilidade e a qualidade do sistema celular.

Também se padronizou um estoque máximo de quatro unidades nas bancadas de início e fim do fluxo de material (bancadas 1 e 3, respectivamente) necessário para sustentar o deslocamento do Operador 1 no interior da célula. Tal estoque foi planejado para possuir uma quantidade limitada de peças, obedecendo ao princípio FIFO (*First In, First Out*), ou seja, a primeira peça produzida na estação fornecedora será a primeira peça consumida na estação cliente. Assim, o fluxo contínuo na célula foi mantido por meio de uma rígida sequência de produção.

A criação do trabalho padronizado envolveu três das quatro etapas listadas no procedimento: Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado, Diagrama de Trabalho Padronizado e Folha de Instrução de Trabalho. A Planilha de Capacidade do Processo, que avalia a capacidade de máquina, não foi aplicada já que o processo de montagem era manual.

A Figura 16 exhibe a Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado que mostra a combinação de tempo de trabalho manual e de processamento para cada operador em uma sequência de produção. Tal tabela não foi construída com base no tempo *takt*, como sugere Narusawa e Shook (2009), mas sim na confecção de uma caixa, uma vez que as atividades referentes à caixa ocorrem a cada quatro unidades do produto. De fato, pode-se dizer que o *lead time* de produção da célula de montagem é de 216s.

As Figuras 17 e 18 exibem, respectivamente, o Diagrama de Trabalho Padronizado para o Operador 1 e 2, esclarecendo os seus movimentos e a localização dos materiais em relação ao leiaute do processo.

Já as Figuras 19 e 20 apresentam, respectivamente, as Folhas de Instrução de Trabalho para os Operadores 1 e 2.

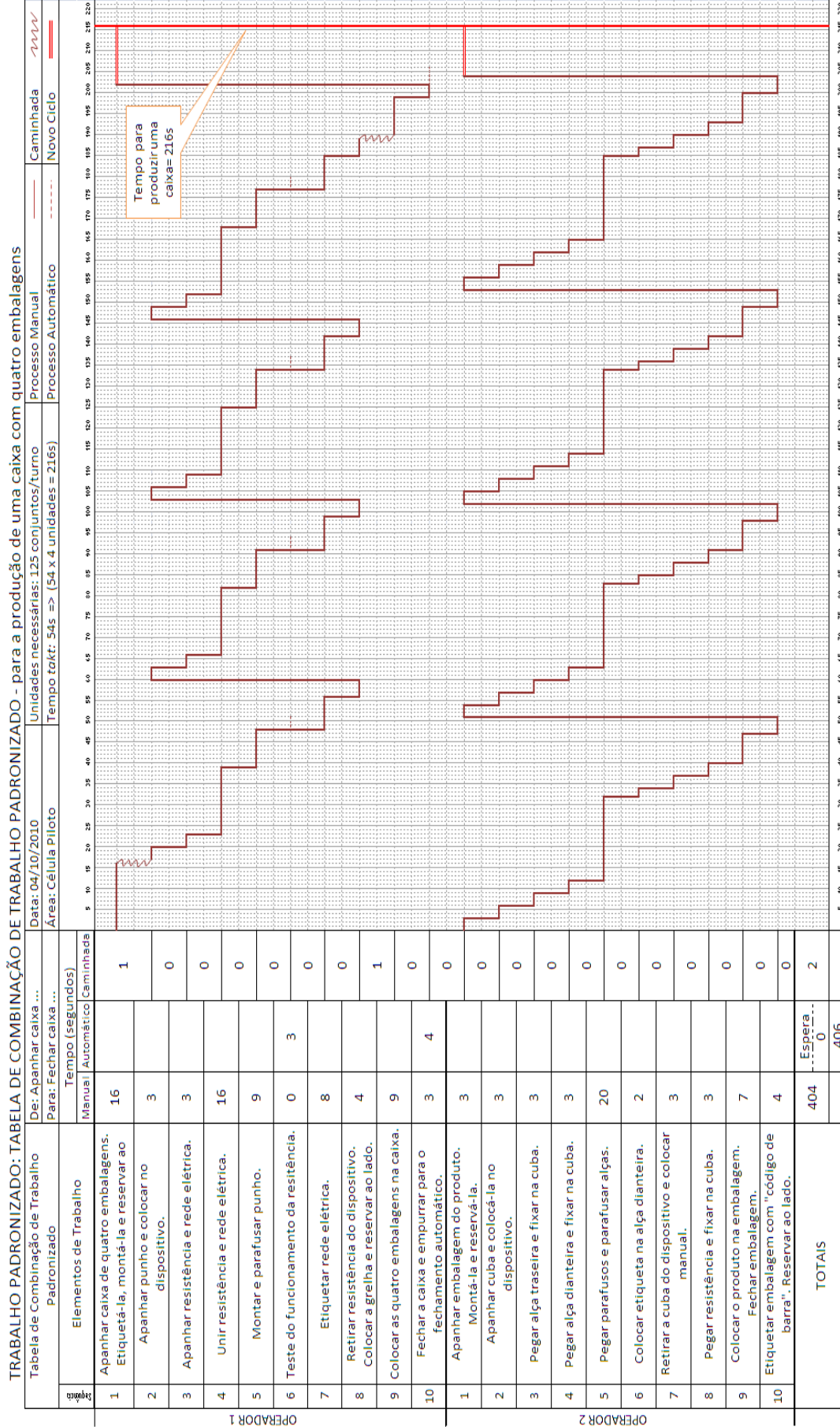


Figura 16 – Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

TRABALHO PADRONIZADO: DIAGRAMA DE TRABALHO PADRONIZADO

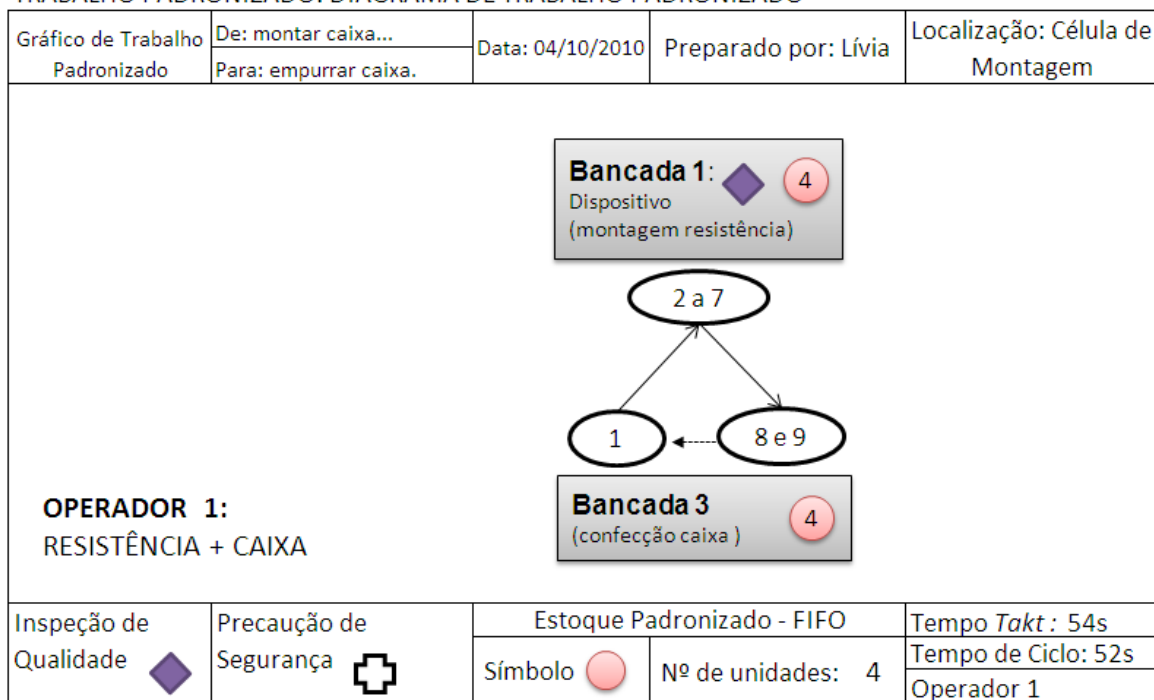


Figura 17 – Diagrama de Trabalho Padronizado para o Operador 1. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

TRABALHO PADRONIZADO: DIAGRAMA DE TRABALHO PADRONIZADO

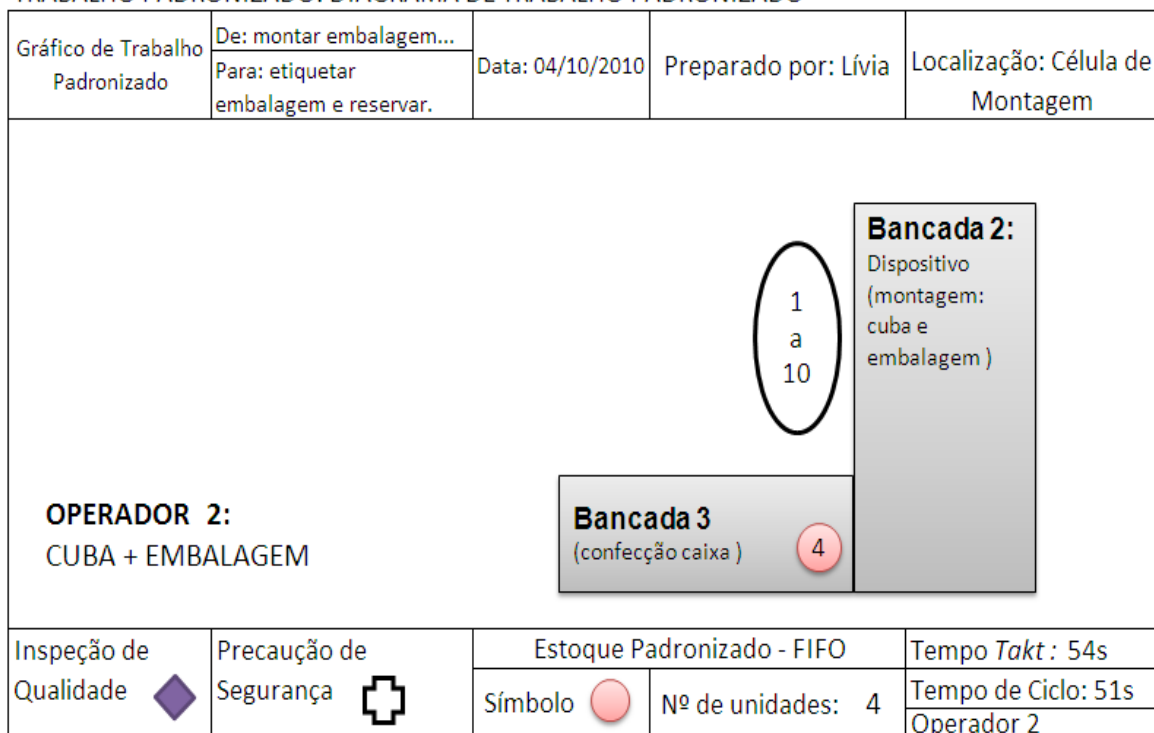


Figura 18 – Diagrama de Trabalho Padronizado para o Operador 2. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO		Nome das peças: 1, 8-9: CAIXA		Quantidade: 500	Data: 04/10/2010	Localização: Célula de Montagem
Operador 1		2-7: RESISTÊNCIA		peças	Preparado por: Lívia	Estoque Padrão: 4
Sequência	Elementos de Trabalho	Inspeção de Qualidade	Ferramenta	Observações	Tempo (s)	Tempo de Ciclo: 52s
1	Apanhar caixa de quatro embalagens. Etiquetá-la, montá-la e reservar ao lado.				16/4 = 4	<p>Bancada 1: Dispositivo (montagem resistência) 4</p> <p>2 a 7</p> <p>1</p> <p>8 e 9</p> <p>Bancada 3 (confeção caixa) 4</p>
	Caminhada				1	
2	Apanhar punho e colocar no dispositivo.			Preparar 04 resistências e reservar ao lado, antes de realizar a caminhada.	3	
3	Apanhar resistência e rede elétrica.				3	
4	Unir resistência e rede elétrica.				16	
5	Montar e parafusar punho.				9	
6	Teste do funcionamento da resistência + Etiquetar rede elétrica.	100%	equipamento de teste		8	
7	Retirar resistência do dispositivo. Colocar a grelha e reservar ao lado.				4	
	Caminhada				1	
8	Colocar as embalagens na caixa.			Todas as 04 embalagens.	9/4 = 2,3	Inspeção de Qualidade Precaução de Segurança Estoque Padronizado: FIFO
9	Fechar a caixa e empurrar para o fechamento automático.				3/4 = 0,8	
				Total	52	

Figura 19 – Folha de Instrução de Trabalho para o Operador 1. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO Operador 2		Nome das peças: 1, 9-10: EMBALAGEM 2-8: CUBA		Quantidade: 500 peças	Data: 04/10/2010 Preparado por: Lívia	Localização: Célula de Montagem	
Sequência	Elementos de Trabalho	Inspeção de Qualidade	Ferramenta	Observações	Tempo (s)	Tempo de Ciclo: 51s	Estoque Padrão: 4
1	Apanhar embalagem do produto. Montá-la e reservá-la.			Montar no dispositivo.	3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;">1 a 10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #cccccc;"> Bancada 2: Dispositivo (montagem: cuba e embalagem) </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 10px; background-color: #cccccc;"> Bancada 3 (confeção caixa) </div>	
2	Apanhar cuba e colocá-la no dispositivo.				3		
3	Pegar alça traseira e fixar na cuba.				3		
4	Pegar alça dianteira e fixar na cuba.				3		
5	Pegar parafusos e parafusar alças.			Peçar 06 parafusos e parafusar ambas as alças.	20		
6	Colocar etiqueta na alça dianteira.				2		
7	Retirar a cuba do dispositivo e colocar manual.				3		
8	Pegar resistência e fixar na cuba.			Pegar resistência com a mão esquerda.	3		
9	Colocar o produto na embalagem. Fechar embalagem.				7		
10	Etiquetar embalagem com "código de barra". Reservar ao lado.			Reservar, no máximo, 04 embalagens.	4		
				Total	51		

Inspeção de Qualidade		Precaução de Segurança		Estoque Padronizado: FIFO	
-----------------------	---	------------------------	---	---------------------------	---

Figura 20 – Folha de Instrução de Trabalho para o Operador 2. Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

Como mencionado no modelo, as Folhas de Instrução de Trabalho servem para treinar novos operadores, relacionando as etapas de trabalho e detalhando qualquer habilidade que possa ser necessário para executar o trabalho com segurança, maior qualidade e eficiência. Além disso, também pode ser útil para que os operadores experientes reconfirmem as atividades corretas.

O abastecedor não teve seu trabalho padronizado, haja vista que exercia duas funções principais: abastecer e ser líder da célula. Além disso, suas atividades eram dinâmicas e não seguiam uma sequência de trabalho: ora abastecia o processo, ora substituía algum operador; ora solucionava algum problema, ora contabilizava e anotava a produção horária; ora retirava o produto acabado da máquina de fechamento automático, ora entregava os paletes completos para a expedição. Assim, o abastecedor apenas recebeu orientações sobre suas atividades.

4.5.7 Concepção Final da Célula

Diante dos dados e argumentos já expostos, a célula de montagem está seguindo para alcançar a estabilidade. A produção em fluxo contínuo permite produzir de acordo com a programação horária e assim, alcançar a meta diária.

O próximo desafio é consolidar a estabilidade e obter a flexibilidade do sistema celular a fim de atender as três demandas estipuladas nessa pesquisa.

4.6 CONSOLIDAÇÃO DA CÉLULA DE MONTAGEM

4.6.1 Estabilizar o Sistema

A busca incessante em eliminar a causa raiz dos problemas que atrapalhava e/ou paralisava o funcionamento da célula, bem como a motivação dos operadores, permitiu alcançar e manter as metas do processo. No entanto, tais paradas são normais, haja vista que fazem parte do processo de aprendizado.

Após um mês em operação, a célula começou a atingir a estabilidade do processo. O sistema celular já operava abaixo do tempo *takt* e a meta diária era atingida sempre que o fluxo produtivo não era interrompido (as paradas não programadas ocorriam raramente). Assim,

com os resultados positivos a linha de montagem foi desativada, visto que a célula produzia o suficiente para atender a demanda.

Entretanto, a estabilidade plena do processo foi alcançada apenas no terceiro mês. Ademais, foi consolidado o tempo de ciclo para cada operador equivalente a 95% do tempo *takt* conforme orientação dos autores Rother e Harris (2002). A Figura 21 exhibe o quadro *yamazumi* a partir desse período.

A motivação e o aprendizado que os operadores adquiriram com a prática, bem como a redução significativa dos problemas que comprometiam o funcionamento da célula foram fatores que contribuíram para alcançar e manter a estabilidade da célula de montagem. As influências externas foram minimizadas, após medidas preventivas e negociação com os setores de abastecimento e serviço.

4.6.2 Dar Flexibilidade ao Sistema

Neste estudo, a flexibilidade no modelo celular iniciou com a proposta de rodízio semanal entre os funcionários, tornando-os multifuncionais e capazes de executar as diferentes rotinas de trabalho da célula. No entanto, isto não era suficiente. Era necessário também ser flexível com relação à demanda.

Após a célula operar por quatro meses de maneira satisfatória e sem flutuação da demanda, o período natalino ocasionou o aumento da produção mensal de 12000 para 16000 unidades.

Nesta situação, a demanda diária passou a ser:

$$\text{Demanda diária} = \frac{16000 \text{ unidades}}{24 \text{ dias}} = 667 \text{ unidades/dia}$$

Adotou-se 668 unidades/dia por ser múltiplo de quatro, necessário para completar a caixa.

O tempo *takt* foi calculado de acordo com a equação 1:

$$\text{Tempo } Takt = \frac{27000s}{668 \text{ unidades/dia}} \cong 41s$$

Desse modo, através da equação 2, calculou-se o número de operadores capaz de atender o novo tempo *takt*, considerando o tempo de 113s proposto no *kaizen* no papel:

Quadro Yamazumi

Balanceamento da Célula de Montagem após Três Meses em Operação

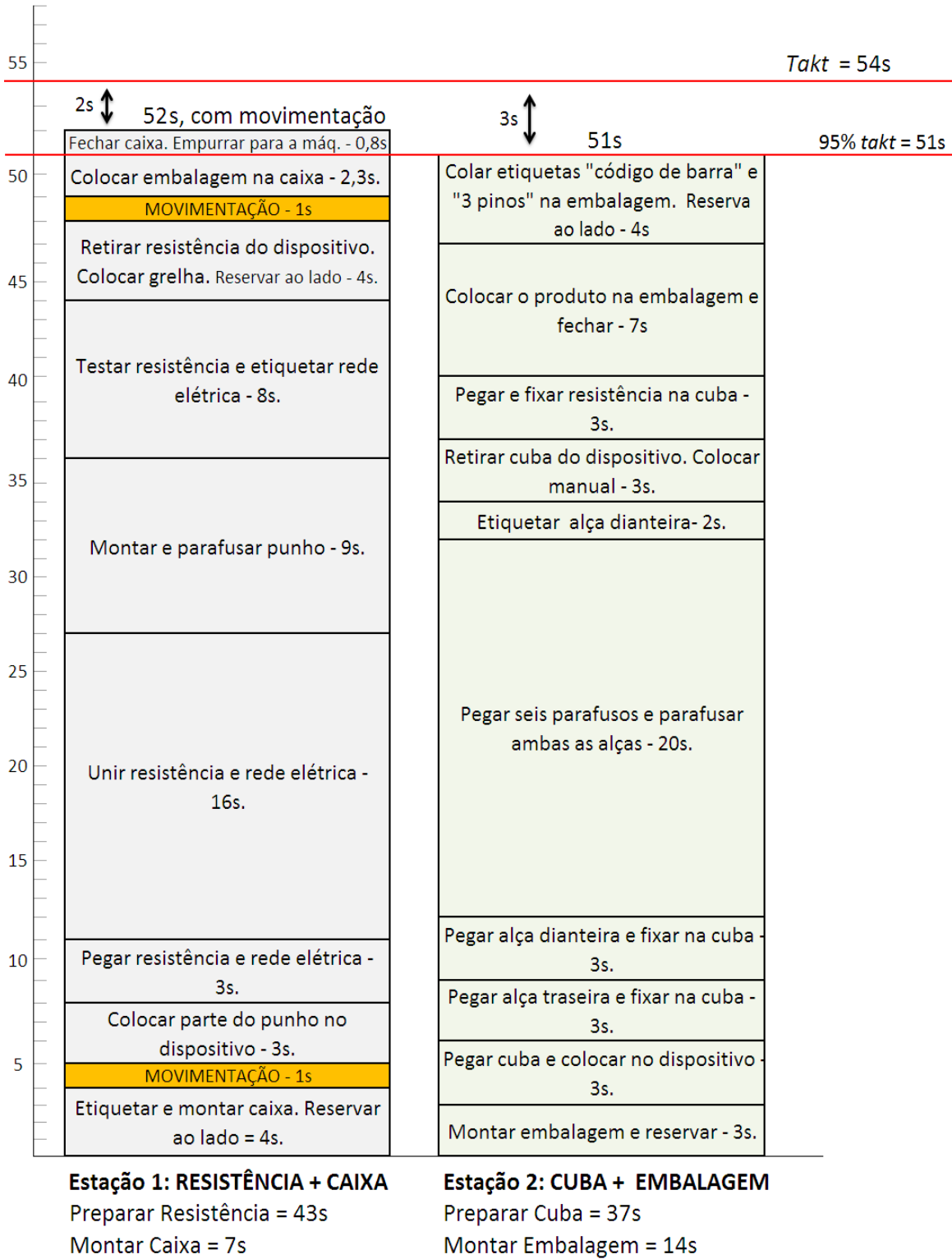


Figura 21 – Quadro *yamazumi* da célula após três meses em operação. Fonte: elaborado pelo autor.

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Operadores} = \frac{113s}{41s} = 2,8 \text{ operadores}$$

Assim, para compensar o acréscimo da demanda, adicionou-se um terceiro operador à célula.

Portanto, o sistema celular passou a funcionar com três operadores dentro do arranjo físico (os que já trabalhavam na mesma) e mais um abastecedor (sem experiência), totalizando quatro funcionários.

As regras aplicadas anteriormente também foram exercidas neste sistema. Manteve-se não só o rodízio semanal nos postos de trabalho, mas também o líder do grupo sendo o abastecedor. Além disso, os quatro funcionários receberam os treinamentos de todas as atividades executadas na célula de montagem.

O leiaute foi adaptado a fim de atender o novo volume mensal, conforme exibe a Figura 22. Entretanto, houve poucas alterações. Apenas afastou-se uma das mesas, de modo que a distância interna da célula, entre as bancadas 1 e 3, passou de 1m para 1,60m. Tal modificação não afetou a área física, permanecendo com 17,7m².



Figura 22 – Planta baixa com três operadores trabalhando na célula. Fonte: dados da empresa (2010).

Nessa situação, os operadores permaneceram fixos nos postos de trabalho. Os estoques restritos a quatro unidades, controlados via FIFO, existentes nas bancadas 1 e 3 não foram eliminados, visto que a quantidade limitada evitaria a produção em excesso.

Parte dos elementos de trabalho das operações 1 e 2 foram dedicados ao Operador 3, agora responsável por confeccionar a embalagem e a caixa.

Assim, nova cronometragem foi realizada e construiu-se outro balanceamento exibido no quadro *yamazumi*, Figura 23. Nessa aquisição de dados percebeu-se a redução de tempo em alguns elementos de trabalho, a exemplo da atividade “unir resistência e rede elétrica”. Tal queda deve-se, provavelmente, ao efeito aprendido ao longo dos meses.

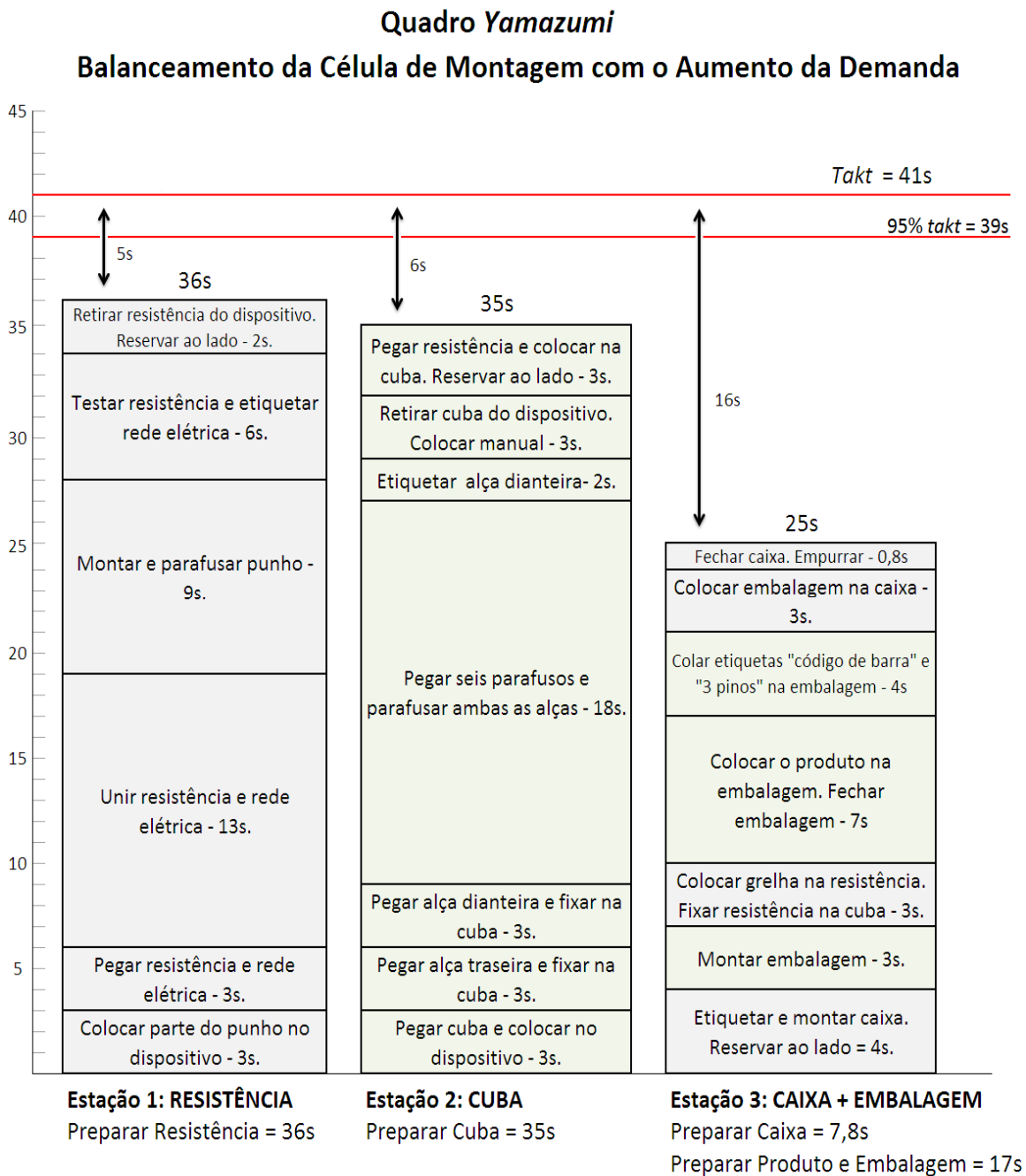


Figura 23 – Quadro *yamazumi* para atender o aumento de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.

Para atender ao novo tempo *takt*, a meta horária de produção passou de 68 para 90 unidades. Nos últimos 30 minutos para o término do turno, 38 unidades eram produzidas e, no restante do tempo – quase 7 minutos, os operadores organizavam o ambiente de trabalho.

A estabilidade do processo foi atingida após alguns dias em operação. Rapidamente os operadores adequaram-se ao novo ritmo, tendo seus tempos de ciclo próximos dos 95% do tempo *takt*, com exceção do operador 3. De acordo com as orientações de Rother e Harris (2002, p. 54), a concentração da maior parte do desperdício em um operador evidencia as oportunidades de melhorias, tendendo a eliminação desse operador do sistema. Então, quando a célula estiver apta a atender o aumento da demanda com dois operadores, a empresa obterá maior redução dos custos.

Mesmo que, ao longo dessa pesquisa, não tenha ocorrido a situação de baixa demanda, também se estudou como atender tal circunstância.

Só para lembrar, a menor demanda especificada neste trabalho, baseado no histórico de vendas, foi de 6000 unidades/mês.

Então, a produção diária seria:

$$\text{Demanda diária} = \frac{6000 \text{ unidades}}{24 \text{ dias}} = 250 \text{ unidades/dia}$$

Do mesmo modo, adotou-se o número de 252 unidades/dia por ser múltiplo de quatro, necessário para completar a caixa.

Para tal produção, de acordo com a equação 1, o tempo *takt* seria:

$$\text{Tempo } Takt = \frac{27000s}{252 \text{ unidades/dia}} \cong 107s$$

Desse modo, conforme a equação 2, o número de operadores necessário para atender a razão entre o tempo proposto no *kaizen* no papel e o tempo *takt* seria:

$$\text{Nº de Operadores} = \frac{113s}{107s} = 1 \text{ operador}$$

Assim sendo, um operador na célula deve ser suficiente para atender a menor demanda, além de um abastecedor, totalizando dois funcionários.

Também devem ser aplicadas as regras de rodízio semanal nos postos de trabalho (entre operador e abastecedor), bem como a liderança

da célula exercida pelo abastecedor. Novo treinamento também deve ser ministrado para instruir os funcionários às novas atividades.

Na situação de menor demanda, o leiaute permaneceria idêntico ao utilizado para satisfazer a demanda de referência. Logo, a distância interna da célula seria de 1m entre as bancadas 1 e 3, com área de 17,7m².

Com base na cronometragem realizada para o estudo de maior demanda, o quadro *yamazumi* expõe a rotina de trabalho para um operador, Figura 24, cujo seu tempo de ciclo estaria próximo dos 95% do tempo takt.

Nessa condição, o operador deslocar-se-ia no interior da célula passando pelas três bancadas. Porém, a produção não seria unitária. Acredita-se que a meta diária de fabricação seria alcançada se, em cada bancada, o operador produzisse quatro unidades antes de realizar a caminhada, com o propósito de completar uma caixa.

A Figura 25 esclarece como seria a rota do operador. Iniciaria as atividades na bancada 3 com a montagem de uma caixa e seguiria para a bancada 1, onde produziria quatro resistências. Na sequência, deslocar-se-ia para a bancada 2 e confeccionaria quatro cubas. Ao término de cada cuba, prepararia o produto e o embalaria, reservando-o na bancada 3. Concluída a quarta embalagem, caminharia até a bancada 3, colocaria as quatro embalagens na caixa e a empurraria para o fechamento na máquina automática. Novo ciclo iniciar-se-ia com a montagem de uma nova caixa.

Neste sistema para atender a baixa demanda, a produção horária seria de 34 unidades, sendo que na última meia-hora, 14 unidades seriam produzidas. No final do turno, restariam quase 7 minutos para organizar o ambiente de trabalho.

Quadro Yamazumi

Balanceamento da Célula de Montagem com a Redução da Demanda

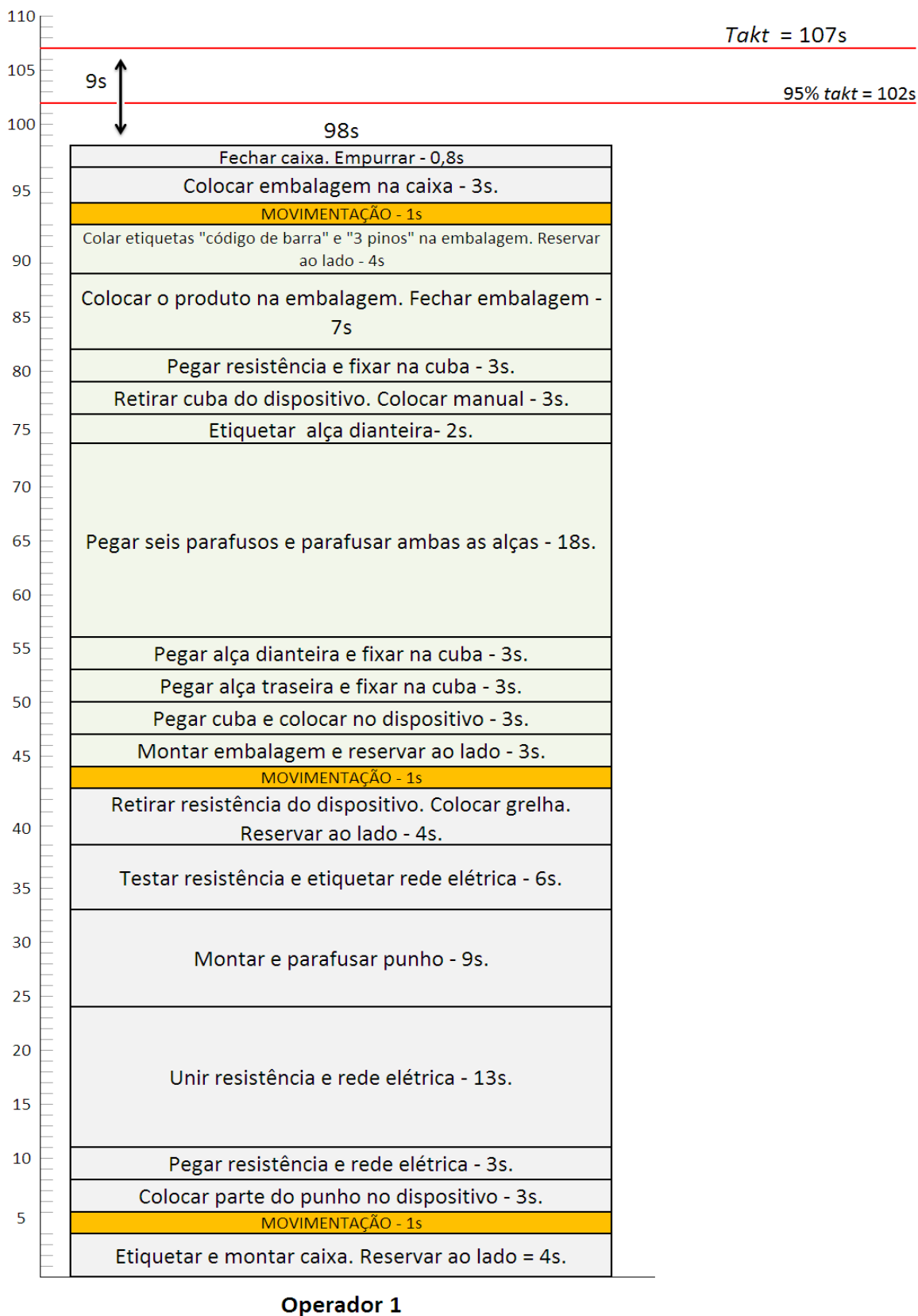


Figura 24 – Quadro *yamazumi* para atender a redução de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.

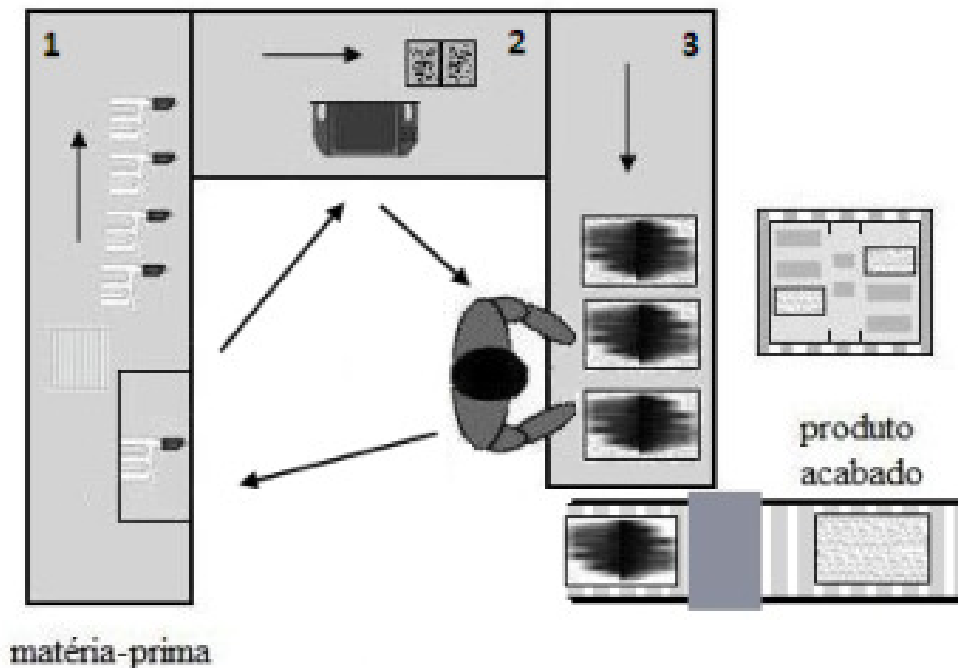


Figura 25 – Esquema do deslocamento do operador para atender a redução de demanda. Fonte: elaborado pelo autor.

Em resumo, o Quadro 11 exibe o desempenho da célula nas diferentes demandas.

INDICADORES DE DESEMPENHO	Demanda de Referência: 12000 unidades/mês	Maior Demanda: 16000 unidades/mês	Menor Demanda: 6000 unidades/mês
Área ocupada	17,7m ²	17,7m ²	17,7m ²
Nº de funcionários	2 operadores + 1 abastecedor	3 operadores + 1 abastecedor	1 operadores + 1 abastecedor
Produção diária	500 unidades/dia	668 unidades/dia	252 unidades/dia
Produção horária (eq.3)	66,7 peças/hora	89,1 peças/hora	33,6 peças/hora
Produtividade (eq.4)	22,2 peças/h.h	22,3 peças/h.h	16,8 peças/h.h

Quadro 11 – Desempenho da célula nas diferentes demandas. Fonte: elaborado pelo autor.

4.6.3 Expandir para Outras Unidades

O projeto de implantação da célula de montagem foi de êxito e gerou repercussões positivas ao longo do seu desenvolvimento.

Muitas pessoas do processo produtivo buscaram informações sobre o projeto, bem como se mostraram interessadas em reproduzi-lo nos seus setores.

A empresa ficou satisfeita com os resultados e estipulou a criação de novas células.

Com citado por Lubben (1989), o sucesso de um projeto piloto propicia a curiosidade dos demais grupos empresa, tornando natural o processo de expansão.

4.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O procedimento proposto foi aplicado em um ambiente fabril do setor produtor de bens de consumo duráveis.

Ao caracterizar o estado original (linha de montagem), identificaram-se alguns motivos de paradas não programadas que ocorriam esporadicamente. Medidas foram tomadas junto aos setores responsáveis para eliminar tais dificuldades, porém, não suficientes. Os mesmos problemas surgiram na célula piloto acarretando paradas constantes, principalmente porque os níveis de estoque foram bastante reduzidos. Novas ações corretivas foram executadas e asseguradas para garantir o funcionamento do sistema celular.

Após essas instabilidades, conseguiu-se melhorar a produtividade e a eficiência operacional da célula piloto. Os indicadores avaliados durante o estudo mostram que o projeto aplicado rendeu resultados positivos. O Quadro 12 exibe o desempenho do processo de montagem em linha e em célula para a demanda de referência (12000 unidades/mês), considerando o tempo disponível de 7,5 horas/dia e 24 dias ao mês.

Ao analisar o quadro, verifica-se que os índices de produção diária e horária foram menores na célula. Todavia, esses valores não são relevantes, já que a capacidade produtiva do sistema tradicional era maior, acima até das necessidades de demanda.

No entanto, a célula de montagem apresentou resultados expressivos nos demais indicadores. A área e a mão de obra sofreram redução de 50%, enquanto a produtividade operacional teve aumento superior a 50%.

INDICADORES DE DESEMPENHO	LINHA	CÉLULA	RESULTADO
Área ocupada	35m ²	17,7m ²	Redução de 49,4%
Nº de funcionários	5 operadores + 1 abastecedor	2 operadores + 1 abastecedor	Redução de 50%
Produção diária	655 unidades/dia	500 unidades/dia	Redução de 23,7%
Produção Horária (equação 3)	87,3 peças/hora	66,7 peças/hora	Redução de 23,6%
Produtividade Operacional (equação 4)	14,6 peças/h.h	22,2 peças/h.h	Aumento de 52,1%

Quadro 12 – Análise de desempenho do processo produtivo tradicional e enxuto. Fonte: elaborado pelo autor.

Outras características dos sistemas produtivos em estudo também foram avaliadas, conforme exhibe o Quadro 13.

CARACTERÍSTICAS	LINHA	CÉLULA
Arranjo físico	LINHA com esteira móvel	CÉLULA em forma de U
Distribuição de trabalho	Fixo ao longo da linha. Postos de trabalho desbalanceados	Fixa e móvel. Postos de trabalho balanceados
Operadores multifuncionais	Não	Sim
Estoque (WIP)	Presença de estoque flutuante	Estoque padronizado através de FIFO = 4 unidades
Flexibilidade	Inflexível com relação à demanda	Flexível com relação à demanda

Quadro 13 – Características avaliadas dos sistemas em estudo. Fonte: elaborado pelo autor.

No sistema original, o arranjo físico em linha utilizava uma esteira móvel para realizar a montagem entre as estações de trabalho. Entretanto, o fluxo contínuo era interrompido com quantidades variáveis de estoques em todo o processo.

Além disso, a linha era inflexível com relação à demanda. Produzia constantemente mesmo com a sazonalidade. Os operadores permaneciam fixos ao longo da linha, porém, o processo era desbalanceado, sendo que alguns funcionários estavam sobrecarregados.

Já no sistema celular, as atividades foram igualmente distribuídas entre os operadores. Utilizou-se uma combinação de trabalho entre posição fixa e deslocamento, ou seja, enquanto um dos operadores permanecia em uma estação, o outro se deslocava entre duas bancadas, atribuindo a ele o primeiro e último elemento de trabalho no fluxo de material.

Todavia, para viabilizar tal deslocamento, fez-se necessário utilizar FIFO (quantidade máxima de 4 unidades) tanto na montagem de resistências quanto para os produtos embalados que aguardavam sua colocação na caixa.

Com efeito, o balanceamento e a padronização das atividades permitiram a sincronização da célula, que tinha sua produção controlada hora a hora. Além disso, o sistema celular tinha flexibilidade para atender as demandas identificadas neste estudo, não só devido a melhorias feitas no processo produtivo, mas também por desenvolver a cultura de multifuncionalidade dos operadores.

Finalizando, pode-se afirmar que a execução do projeto não foi fácil: exigiu cativar e motivar os operadores a participar do estudo; a construção da célula sobreveio conforme disponibilidade dos recursos humanos da empresa; a eliminação das causas raízes dos problemas externos precisou da cooperação de outros departamentos, muitas vezes negando suas responsabilidades e transferindo-as a outro setor.

Portanto, o processo de implantação da manufatura celular é uma caminhada contínua na busca de melhorias que envolvem, não apenas a estrutura física, mas ainda o fundamental, a mudança cultural das pessoas.

5 CONCLUSÃO

O presente capítulo apresenta as considerações finais sobre o estudo e algumas sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de práticas do sistema *lean*, a exemplo da manufatura celular, impulsiona empresas no mercado competitivo através dos ganhos produtivos e financeiros. Tal prática traz benefícios expressivos e vem sendo empregada principalmente por meio de adaptações das formas tradicionais de trabalho.

Nesse contexto, o presente estudo enfocou no desenvolvimento de um processo de montagem enxuto em um ambiente fabril tradicional, visando não só simplificar o processo de conversão, mas também garantir os resultados positivos esperados.

A partir da fundamentação teórica sobre o assunto, criou-se uma proposta de implantação de célula de montagem como resultado do processo interativo da pesquisa-ação realizada.

O procedimento proposto foi estruturado em quatro etapas principais, das quais foram detalhadas por intermédio de uma série de atividades de implementação, com o objetivo de fornecer subsídios suficientes para o seu pleno entendimento.

A primeira etapa da proposta de implantação, denominada Planejamento para Célula de Montagem *Lean*, inicia-se com a formação de uma equipe de projeto multidisciplinar. Visando obter informações para planejar o desenvolvimento da célula, a equipe observa a produção original e coleta seus dados de produção. Logo após, na etapa intitulada Projeto da Célula, a equipe forma uma concepção preliminar da célula de montagem com base no estudo da etapa anterior, bem como realiza o *mock-up* e avalia seus resultados. A etapa seguinte, Implantação do Projeto Piloto, consiste em desenvolver o projeto preliminar da célula, assim como treinar os operadores, construir a célula piloto, ativar e coletar os dados de produção, avaliar e propor melhorias e, finalmente, padronizar as atividades do sistema celular, resultando na concepção final da célula de montagem. A Consolidação da Célula de Montagem, última etapa do procedimento proposto, corresponde à operação diária do processo celular. Busca-se alcançar a estabilidade e flexibilidade do sistema, além de expandir a proposta para outras áreas do ambiente fabril, dando continuidade ao processo de transformação.

A aplicação prática desse procedimento ocorreu em uma indústria nacional líder no segmento de eletrodoméstico e serviu para efetivar e validar a proposta de implantação. O trabalho surgiu da necessidade de combater os problemas de produtividade e eficiência operacional em um processo de montagem de produtos seriados. Ademais, a empresa também visou, por meio deste, iniciar o processo de transformação de manufatura tradicional em produção enxuta.

Um ponto importante do procedimento proposto é a realização do *mock-up*. Durante a aplicação na empresa, o *mock-up* foi reproduzido, em escala real, ao lado da linha original utilizando mesas e dispositivos improvisados. Três operadores do sistema original foram convidados a participarem do projeto, não só porque conheciam o processo de montagem, mas também visando integrá-los e motivá-los no estudo.

Além disso, a célula piloto foi construída e ativada em paralelo ao processo de montagem original como estratégia de implantação. Tal ação não fez parte do procedimento proposto, porém, foi a solução encontrada para familiarizar os funcionários da empresa com o projeto, bem como evitar possíveis rejeições por parte deles, uma vez que não conheciam o sistema enxuto. Além do mais, a produção do eletrodoméstico não poderia ser comprometida. Ambos os processos estiveram em funcionamento até que a célula estivesse estável e apta a atender a demanda.

Assim, diante do exposto, pode-se concluir que o objetivo geral proposto no presente trabalho, “sistematizar um procedimento de conversão de linha de montagem em célula de montagem”, foi plenamente alcançado. Igualmente, diante dos objetivos específicos:

- Compreendeu-se o estado original do processo de montagem, permitindo entender a produção em linha e identificar os pontos de melhorias, Capítulo 4.
- Desenvolveu-se o procedimento de conversão e seu fluxograma através da proposta de implantação de célula, Capítulo 3.
- Validou-se o procedimento proposto de implantação mediante aplicação prática em uma empresa produtora de bens de consumo duráveis, Capítulo 4.

De fato, tal estudo aplicado trouxe ganhos significativos à empresa: aumento de produtividade operacional superior a 50%; redução de 50% de área e de mão de obra; multifuncionalidade dos operadores; flexibilidade de acertar o volume de produção de acordo

com a demanda; além da motivação dos operadores em atingir e manter as metas.

Portanto, tendo em vista a elaboração do procedimento proposto, bem como a sua aplicação em uma situação real, pode-se afirmar que a presente dissertação atingiu os objetivos gerais e específicos a que se propôs, além de responder satisfatoriamente à questão da pesquisa por meio da síntese dos elementos teóricos e das discussões práticas realizadas.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para futuras pesquisas seguindo o tema apresentado, recomendam-se estudos acadêmicos mais aprofundados nos seguintes aspectos:

- Estudo sobre como desenvolver os fornecedores segundo as práticas enxutas, com o intuito de garantir a qualidade dos componentes e os acordos assumidos.
- Estudo sobre padronização das embalagens entre empresa e fornecedores, fundamental para viabilizar a criação de uma rota de abastecimento para atender várias células de produção.
- Estudo sobre sistemática de abastecimento de células a partir de supermercados de peças compradas e produzidas internamente, em ambiente *lean* de logística interna.

REFERÊNCIAS

AHLSTRÖM, P. Sequences in the Implementation of Lean Production. **European Management Journal**. v. 16, n. 3, p. 327-334, 1998.

ALVAREZ, R. R.; ANTUNES JR., J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**. v. 8, n. 1, p. 1-18, 2001.

ANDRADE, G. J. P. O. **Um Método de Diagnóstico do Potencial de Aplicação da Manufatura Enxuta na Indústria Têxtil**. Florianópolis: UFSC 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

AULAKH, S. S.; GILL, J. S. Lean Manufacturing – a Practitioner’s Perspective. In: IEEM – Industrial Engineering and Engineering Management, 2008, Singapore. **Proceedings**. Singapore: IEEE – Internacional Conference, 2008. 1184-1188.

BASHIR, H. A.; KARAA, S. Assessment of Clustering Tendency for the Design of Cellular Manufacturing Systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 19, n. 8, p. 1004-1014, 2008.

BECKER, C.; SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**. v.168, p. 694-715, 2006.

BECKER, C.; SCHOLL, A. Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. **European Journal of Operational Research**. v.199, p. 359-374, 2009.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

BORCHARDT, M. **Diretrizes para a Implementação dos Princípios da Mentalidade Enxuta**: o caso das empresas de transporte coletivo rodoviário urbano. Florianópolis: UFSC 2005. Tese (Doutorado

em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

BROWNING, T. R.; HEATH, R. D. Reconceptualizing the Effects of Lean on Production Costs with Evidence from the F-22 Program. **Journal of Operations Management**. v. 27, p. 23-44, 2009.

CHAKRAVORTY, S. S.; HALES, D. N. Implications of cell design implementation: A case study and analysis. **European Journal of Operational Research**. v. 152, p. 602-614, 2004.

CONTADOR, J. C. Produtividade. In: _____. **Gestão de Operação: A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

FRANCISCHINI, P. G.; FEGYVERES, A. Arranjo Físico. In: CONTADOR, J. C. **Gestão de Operação: A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

FURASTÉ, P. A. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico: elaboração e formatação**. 14.ed. Porto Alegre: s.n., 2007.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONG, J. et al. A Simulation-based Performance Comparison between Multi-Model Assembly Lines and Assembly Cells in a Just-In-Time Environment. In: CCDC – Control and Decision Conference, 2010, Xuzhou. **Proceedings**. Xuzhou: Internacional Conference, 2010. 1305 - 1309.

HALL, R. W. **Excelência na Manufatura**. 3.ed. São Paulo: IMAN, 1988.

HANISCH, C.; MUNZ, G. Evolvability and the intangibles. **Assembly Automation**. v. 28, n. 3, p. 194–199, 2008.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a Fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HIRANI, H. et al. Methodology for knowledge enriched requirements specification for assembly system reconfiguration. **Assembly Automation**. v. 26, n. 4, p. 307-314, 2006.

HOLWEG, M. The Genealogy of Lean Production. **Journal of Operations Management**. v. 25, p. 420-437, 2007.

HORNBURG, S. **Método para Eventos Gemba Kaizen**. Florianópolis: UFSC 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

HOUNSHELL, D. A. **From the American System to Mass Production, 1800-1932**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1985.

HYER N. L.; BROWN K. A. The discipline of real cells. **Journal of Operations Management**. v. 17, p. 557-574, 1999.

HYER N. L.; BROWN K. A.; ZIMMERMAN S. A socio-technical systems approach to cell design: case study and analysis. **Journal of Operations Management**. v. 17, p. 179–203, 1999.

HYER, N.; WEMMERLÖV, U. **Reorganizing the Factory: competing through cellular manufacturing**. New York: Productivity Press, 2002.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Léxico Lean: Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Modelo Toyota: manual de aplicação**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Talento Toyota: o modelo Toyota aplicado ao desenvolvimento de pessoas**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

LOPES, M. C. **Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura**. Florianópolis: UFSC 1998. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

LUBBEN, R. T. **Just-in-time**: uma estratégia avançada de produção. 2.ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1989.

LUCERO, A. G. R. **Um Método para Desenvolvimento de Medidas de Desempenho como Apoio à Gestão de Sistemas de Manufatura**. Florianópolis: UFSC 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

MACARRÃO JR., L.; KAMINSKI, P. C. **Importância do Uso de Mock-Ups e de Técnicas de Prototipagem Rápida e Ferramental Rápido no Processo de Desenvolvimento de Produto na Indústria Automotiva**. São Paulo: USP 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONDEN, Y. **Toyota Production System**: an integrated approach to just-in-time. 3.ed. Norcross: Institute of Industrial Engineers, 1997.

MORODIN, G. A. **Diretrizes para Avaliação da Utilização de Práticas de Produção Enxuta em Células de Manufatura**. Porto Alegre: UFRGS 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

NARUSAWA, T.; SHOOK, J. **Kaizen Express**: fundamentos para a sua jornada lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLORUNNIWO, F.; UDO, G. The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation. **International Journal of Production Economics**. v. 76, p. 27-38, 2002.

PATTANAIK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. v. 42, p. 772-779, 2009.

ROCHA, D. R. **Gestão da Produção e Operações**. Rio de Janeiro: Editora Ciencia Moderna, 2008.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2001.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2003.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas: Nove Lições Ocultas sobre Simplicidade**. 4.ed. São Paulo: Pioneira, 1992.

SEVERIANO FILHO, C. **Produtividade & Manufatura Avançada**. João Pessoa: Edições PPGE, 1999.

SHETTY, D.; ALI, A.; CUMMINGS, R. Survey-Based Spreadsheet Model on Lean Implementation. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 1, n. 4, p. 310-334, 2010.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3.ed. Florianópolis: UFSC, 2001. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/5558143/Edna-Lucia-da-Silva-Estera-Muszkat-Menezes-Metodologia-da-Pesquisa-e-Elaboracao-de-Dissertacao>>. Acesso em: 29 set. 2009.

SILVA, G. G. M. P. **Implantando a Manufatura Enxuta: um método estruturado**. Florianópolis: UFSC 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SILVA JR., O. C. da. **O Problema Dinâmico de Re-Configuração de Linhas de Montagem**. Belo Horizonte: UFMG 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TALIP, N. F. et al. The Study of Manufacturing Considerations of Fishery Product. **International Journal of Engineering Science and Technology**. v. 3, n. 5, p. 4474-4478, 2011.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-Ação nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.

WARNECKE, H. J., HÜSER, M. Lean Production. **International Journal of Production Economics**. v. 41, p. 37-43, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**: Elimine o Desperdício e Crie Riquezas. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YAUCH, C. A.; STEUDEL, H. J. Cellular manufacturing for small businesses: key cultural factors that impact the conversion process. **Journal of Operations Management**. v. 20, p. 593–617, 2002.

ZAGONEL, E.; CLETO, M. G. Estudo para a implantação do fluxo unitário de peças numa célula de usinagem por meio de simulação. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR570433_9347.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2010.

ZHANG, Q.; LI, X. Research on Autonomous Management Pattern of Cellular Manufacturing. In: MASS – Management and Service Science, 2010, Shanghai. **Proceedings**. Shanghai: IEEE – International Conference, 2010. 1-4.

APÊNDICE A – Plano de Ação

PLANO DE AÇÃO						
OBJETIVO: Implantar célula piloto de montagem – formato U						
COMO FAZER: Utilizar recursos internos da empresa e pouco investimento financeiro						
	<i>What</i> O quê?	<i>Why</i> Por quê?	<i>Where</i> Onde?	<i>Who</i> Quem?	<i>When</i> Quando?	<i>How</i> Como?
01	Concepção preliminar da célula da montagem.	Para construir uma ideia teórica da célula de montagem	Linha de montagem	Lívia, Leandro B, Leandro L.	Semana 1 e 2	Análise da linha de montagem
02	Definir local para a célula piloto.	Para a construção da célula piloto	O mais próximo da linha de montagem	Deko, Lívia	Semana 2	Reunião com gerência.
03	Providenciar bancadas, dispositivos, ferramentas improvisadas.	Para a realização do <i>mock-up</i>	Nos setores da empresa	Lívia e Mari	Semana 2	Solicitar tais recursos para demais setores por tempo determinado.
04	<i>Mock-up</i>	Para simular a teoria adquirida na concepção preliminar (item 01)	Local definido para a célula piloto (item 02)	Lívia, Mari, Cristiano, Leandro B.	Semana 2 a 4	Convidar operadores a participarem. Utilizar materiais improvisados (item 03)
05	Projeto preliminar (desenhar leiaute da célula piloto)	Para construir a célula piloto	Engenharia de Processos	Lívia, Mari e Yuri	Semana 4 a 6	Utilizando <i>software</i> SolidWorks
:						

Parte do Plano de Ação. Fonte: elaborado pelo autor.

ANEXO B - Controle Horário da Produção

Controle de Produção por Hora		Tempo Takt =		
Célula:		Líder:		
Meta diária:		Nº operadores:	Data:	
Hora	Meta Horária / Acumulada	Produção Realizada / Acumulada	Problemas / Causas	Supervisão/ Líder
1ª)				
2ª)				
3ª)				
4ª)				
5ª)				
6ª)				
7ª)				
8ª)				

Fonte: adaptado de Rother e Harris (2001).

ANEXO C - Planilha de Capacidade do Processo

TRABALHO PADRONIZADO: PLANILHA DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Planilha de Capacidade do Processo	Aprovado por:		Nº da peça:		Aplicação:		Data:		
	Sequência	Nome da Etapa	Máquina	Nome da peça:	Tempo Básico	Troca da Ferramenta	Capacidade de Processamento / Turno:	Observações	
					Manual	Automático	Conclusão	Troca	Tempo
1									
2									
3									
4									
5									
			TOTAL						




Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

ANEXO D – Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado

TRABALHO PADRONIZADO: TABELA DE COMBINAÇÃO DE TRABALHO PADRONIZADO										
Elementos de Trabalho	De:		Unidades necessárias por turno:		Processo Manual		Processo Automático		Caminhada	
	Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado		Tempo takt:		Processo Manual		Processo Automático		Novo Ciclo	
	Data:		Área:		Tempo (segundos)		Tempo (segundos)		Tempo (segundos)	
Manual		Automático		Caminhada		Caminhada		Caminhada		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
TOTAIS										Espera

Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

ANEXO E – Diagrama de Trabalho Padronizado

TRABALHO PADRONIZADO: DIAGRAMA DE TRABALHO PADRONIZADO			
Gráfico de Trabalho Padronizado	De: Para:	Data:	Preparado por: Localização:
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start; padding: 5px;"> <div style="width: 20%;"> <p>Inspeção de Qualidade </p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>Precaução de Segurança </p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>Estoque Padronizado </p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>Tempo <i>Takt</i> : Tempo de Ciclo: Nº do Operador:</p> </div> </div>			

Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).

ANEXO F – Folha de Instrução de Trabalho

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO										
FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO		Nome das peças:			Quantidade:		Data:		Localização:	
Seqüência	Elementos de Trabalho	Inspeção de Qualidade	Ferramenta	Observações	Tempo (s)	Preparado por:	Tempo Takt:	Tempo de Ciclo:	Estoque Padrão:	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Total										

Inspeção de Qualidade

Precaução de Segurança

Estoque Padronizado

Fonte: adaptado de Narusawa e Shook (2009).