

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

Rodrigo Spricigo

**USO DE PROTÓTIPOS DE PROCESSO PARA O PROJETO DE
CÉLULA DE MONTAGEM EM UM AMBIENTE DE
MANUFATURA ENXUTA**

Florianópolis

2014

Rodrigo Spricigo

**USO DE PROTÓTIPOS DE PROCESSO PARA O PROJETO DE
CÉLULA DE MONTAGEM EM UM AMBIENTE DE
MANUFATURA ENXUTA**

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

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Spricigo, Rodrigo
USO DE PROTÓTIPOS DE PROCESSO PARA O PROJETO DE CÉLULA DE
MONTAGEM EM UM AMBIENTE DE MANUFATURA ENXUTA / Rodrigo
Spricigo ; orientador, Abelardo Alves de Queiroz -
Florianópolis, SC, 2014.
121 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Protótipo de processo. 3.
Projeto de célula. 4. Manufatura enxuta. 5. Layout
celular. I. Queiroz, Abelardo Alves de. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica. III. Título.

Rodrigo Spricigo

**USO DE PROTÓTIPOS DE PROCESSO PARA O PROJETO DE
CÉLULA DE MONTAGEM EM UM AMBIENTE DE
MANUFATURA ENXUTA**

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, 25 de fevereiro de 2014.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr.Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

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

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

Prof. Maurílio José dos Santos, Dr. Eng.
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Silene Seibel, Dr.^a Eng
Universidade do Estado de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha filha,
Maria Flor, que apesar de não ter
conhecimento disto, iluminou de
maneira especial meus pensamentos,
me levando em busca de mais
conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Preliminarmente, quero agradecer a Deus, por iluminar meu caminho durante toda esta longa jornada.

A todos os professores que contribuíram para o meu conhecimento, em especial ao Prof. Abelardo Alves de Queiroz, que pacientemente me orientou e acreditou no meu trabalho.

À minha esposa Charlene Serpa Spricigo, que de forma especial e carinhosa, me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldade e, apesar do total desconhecimento prévio sobre o assunto, leu e releu este trabalho para que eu não me sentisse só neste desafio.

Aos meus amados pais José Spricigo e Maria Ermínia Spricigo, indispensáveis nesta e em todas as minhas demais conquistas.

Aos amigos de trabalho que contribuíram efetivamente para a realização do estudo de caso, em especial ao mestre engenheiro Marcos André Menegassi Rossi e a mestre e futura doutora engenheira Marina Bouzon, que estudaram o assunto em conjunto comigo e muito contribuíram para meu conhecimento e ao coordenador da implantação, o engenheiro Marcio de Oliveira, pelo seu depoimento e dados cedidos.

A todo o corpo diretivo da *Empresa*, por ter apoiado a realização deste trabalho, em especial ao engenheiro Marcelo Pires da Silva, pelo incentivo e motivação para que este trabalho acontecesse.

A todos os consultores do *Kaizen Institute* Brasil, pelo conhecimento transmitido nesta caminhada e pela cessão de materiais importantes para compor este trabalho. Em especial a Ruy Cortez e Daniel Simões, pelas intermináveis discussões que incrementaram meu conhecimento sobre o assunto.

“Alguns homens veem as coisas como são e dizem ‘por quê?’. Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘por que não?’.”

(George Bernard Shaw).

RESUMO

O projeto de célula é um procedimento recorrente na manufatura enxuta, pois produz melhorias substanciais em sistemas de fabricação, tornando-os flexíveis, rápidos e pontuais, com melhores índices de qualidade e custo, se constituindo, assim, como um vetor da competitividade das empresas. As indústrias produtoras de bens duráveis estão continuamente envolvidas no lançamento de novos produtos e, conseqüentemente, reconfigurando seus processos de fabricação, especialmente os de montagem. Para promover respostas mais rápidas no desenvolvimento dos projetos de sistemas de fabricação, as empresas têm intensificado a utilização de protótipos de processo (*mockup*) para testar e avaliar o desempenho destes sistemas antes de implantá-lo no chão de fábrica. O presente trabalho é uma contribuição para a sistematização deste procedimento, tornando mais assertivas as decisões de engenharia e de investimento. O método aqui apresentado é fruto de intenso esforço de sistematização desta prática conduzida pelo pesquisador em uma empresa multinacional com sede no Brasil. O método aqui apresentado é aplicado ao processo de montagem em sistemas de fabricação celulares em ambiente de manufatura enxuta. O procedimento trata do planejamento, do projeto, da construção do protótipo, dos testes e análise. Um estudo de caso relata uma aplicação do método onde mostra como se opera e apresenta os bons resultados conseguidos.

Palavras-chave: Protótipo de processo, *mockup*, projeto de célula, fluxo contínuo, manufatura enxuta, *layout* celular.

ABSTRACT

The cell design is a recurrent procedure in lean manufacturing, because produces substantial improvements in manufacturing systems, making them flexible, fast and dependable, with improvements in quality and cost, constituting a vector of competitiveness of companies. The durable goods industries are continually involved in launching new products and consequently reconfiguring their manufacturing processes, especially the assembly. To promote faster responses in the development of projects of manufacturing systems, companies have stepped up the use of prototype process (mockup) to test and evaluate the performance of these systems before deploying it on the factory floor. This work is a contribution to the systematization of this procedure, becoming more assertive engineering and investment decisions. The method presented here is the result of intense effort to systematize this practice conducted by the researcher in a multinational company based in Brazil. The method presented here is applied to the assembly process of cellular manufacturing systems in a lean manufacturing environment. The procedure covers the planning, design, prototype construction, tests and analysis. A case study reports an application of the method which shows how it operates and presents good outcomes.

Keywords: Process prototype, mockup, design cell, continuous flow, lean manufacturing, cellular layout.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Transição de um <i>layout</i> funcional tradicional para um (b) <i>layout</i> celular em fluxo	36
Figura 2: Arranjo Físico Posicional	37
Figura 3: Arranjo Físico Funcional	38
Figura 4: Arranjo Físico Celular	39
Figura 5: Arranjo Físico Linear	40
Figura 6: Política de capacidade constante	45
Figura 7: Política de acompanhamento da demanda	45
Figura 8: Política Mista	46
Figura 9: Exemplo de célula em U	51
Figura 10: Gráfico de balanceamento operacional para resposta a um aumento de demanda.	55
Figura 11: Cenários de distribuição das atividades entre os operadores para três tempos takt diferentes.	56
Figura 12: Divisão do Trabalho	57
Figura 13: Circuito.....	58
Figura 14: Fluxo Reverso	58
Figura 15: Combinação.....	59
Figura 16: Um operador por estação.....	59
Figura 17 – Marcos de evolução na implantação da manufatura enxuta na Empresa.	87
Figura 18: Foto da construção de um <i>mockup</i> na fase inicial	94
Figura 19: Foto da construção de um <i>mockup</i> na fase de detalhamento dos postos de trabalho.	94
Figura 20: Foto da construção de um <i>mockup</i> na terceira etapa de detalhamento, com dispositivos a prova de erro.	95
Figura 21: Foto do <i>mockup</i> pronto para realizar as simulações.	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparativo Entre Principais Arranjos Físicos	42
Quadro 2: Folha de observação de tempos	54
Quadro 3: Fases e subfases do método para utilização do <i>mockup</i>	66
Quadro 4: Informações do processo produtivo	69
Quadro 5: Formulário da relação de postos de trabalho com observações e alterações necessárias (exemplo).	80
Quadro 6: Folha de observação de tempos	81
Quadro 7: Avaliação das melhorias por indicador e o detalhamento dos impactos nos resultados do indicador.	82
Quadro 8: Resumo dos resultados esperados com o novo processo	83
Quadro 9: Check list para diagnóstico de aplicabilidade	88
Quadro 10: Indicadores utilizados no estudo de caso (valores confidenciais) ...	89
Quadro 11: Programa de trabalho – Workshop <i>Lean Line Design</i> da Célula Conceito.....	91
Quadro 12: Balanceamento de tempos.....	97
Quadro 13: Resultados esperados para a futura célula, estimados com base no protótipo de processo.	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	CONTEXTO, JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DA PESQUISA	25
1.2	RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÕES.....	27
1.3	OBJETIVOS.....	28
1.3.1	Objetivo Geral.....	28
1.3.2	Objetivos Específicos.....	28
1.4	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	28
1.5	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA.....	29
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	MÉTODOS DE PROJETO DE SISTEMAS PRODUTIVOS.....	31
2.1.1	Protótipos, maquetes e <i>mockup</i>	31
2.1.2	<i>Mockup</i> físico e <i>mockup</i> virtual.....	32
2.1.3	Outros métodos para o projeto de sistemas produtivos.....	32
2.2	SISTEMAS PRODUTIVOS.....	33
2.2.1	Linha produtiva tradicional.....	33
2.2.2	Célula produtiva enxuta.....	34
2.2.3	Arranjos físicos.....	34
2.2.3.1	Arranjo físico posicional.....	37
2.2.3.2	Arranjo físico por processo (funcional).....	37
2.2.3.3	Arranjo físico celular.....	39
2.2.3.4	Arranjo físico por produto.....	40
2.3	MANUFATURA ENXUTA.....	42
2.3.1	Reconhecendo o Desperdício nas Células de Montagem e Células de Fabricação.....	42

2.3.2	Tempo <i>takt</i>	44
2.3.3	Variações no tempo <i>takt</i>	44
2.3.4	Porque o tempo <i>takt</i> é importante?.....	47
2.3.5	Como determinar os produtos a montar em uma mesma célula.....	47
2.3.6	Orientações para organizar uma célula de manufatura enxuta	50
2.3.6.1	Orientações para o <i>layout</i> celular	51
2.3.6.2	Orientações para bordo de linha e gerenciamento de materiais	52
2.3.7	Trabalho Padronizado.....	53
2.3.8	Distribuição do trabalho entre os operadores	57
2.4	ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	60
2.4.1	Objetivo qualidade	61
2.4.2	Objetivo rapidez	61
2.4.3	Objetivo pontualidade.....	62
2.4.4	Objetivo flexibilidade.....	62
2.4.5	Objetivo custo.....	62
3	MÉTODO PROPOSTO.....	65
3.1	ANÁLISE DO PROBLEMA	67
3.1.1	Diagnóstico de aplicabilidade	67
3.1.2	Análise da situação atual	69
3.2	PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO.....	70
3.2.1	Definição do escopo e metas.....	70
3.2.2	Planejamento do projeto.....	71
3.2.3	Preparação da equipe.....	74
3.3	CONSTRUÇÃO DO <i>MOCKUP</i>	74
3.3.1	Definição das características da célula	75

3.3.2	Construção dos postos de trabalho e bordo de linha	77
3.3.3	Simulação e Trabalho Padronizado	80
3.4	AVALIAÇÃO DE RESULTADOS E ANÁLISE DE DESEMPENHO	82
3.5	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A FERRAMENTA	83
4	ESTUDO DE CASO	85
4.1	APRESENTAÇÃO DA <i>EMPRESA</i>	85
4.1.1	Manufatura enxuta na <i>Empresa</i>	86
4.2	O CASO.....	87
4.2.1	A análise do problema.....	87
4.2.2	Planejamento e preparação	89
4.2.3	Construção do <i>mockup</i>	93
4.2.4	Avaliação dos resultados e análise de desempenho	98
4.3	COMENTÁRIOS SOBRE UM PROCESSO IMPLANTADO ...	99
4.4	FATORES DE SUCESSO E DIFICULDADES.....	100
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ESTUDO DE CASO.	102
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
	REFERÊNCIAS.....	111
	APÊNCIDE A – Detalhamento das 3 semanas de Atividades do Lean Line Design	115

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo visa contextualizar o tema da dissertação, mostrar a relevância e contribuições, apresentar a formulação do problema, os objetivos do trabalho, a justificativa da pesquisa e as suas limitações, bem como estruturar o corpo do trabalho.

1.1 CONTEXTO, JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DA PESQUISA

O atual cenário econômico de estagnação do crescimento gera uma competitividade ascendente entre as empresas e, para sustentar-se neste ambiente, é necessário lançar mão de técnicas comprovadamente eficientes de aumentar a produtividade, não apenas da mão de obra, mas de todos os recursos, como materiais, recursos energéticos e financeiros.

Ao longo do tempo essa competitividade, associada ao aumento da demanda dos mercados por novos produtos e aos recursos limitados, incentivaram alterações dos sistemas de produção, que evoluíram desde a fabricação artesanal, passando pela produção em massa, sistema tradicional de produção popularizado por Henry Ford no início do século XX, ainda presente nos dias atuais e, em novo ciclo de evolução, a manufatura enxuta, também conhecida como *lean manufacturing* ou simplesmente *lean*, um novo sistema de produção utilizado com sucesso na Toyota e mostrado ao mundo por Jones e Womack (2004), no livro “A máquina que mudou o mundo”. Segundo Ohno (1988) o objetivo do Sistema Toyota de Produção foi produzir muitos modelos em pequenas quantidades e a custos baixos, e dessa forma atender a variedade exigida pelo mercado.

Segundo Womack e Jones (2004), os cinco princípios que sustentam esta filosofia enxuta são: valor, cadeia de valor, fluxo, fluxo puxado e perfeição. Valor é a palavra de ordem, e significa tudo aquilo que o cliente está disposto a pagar. Por isso, cada etapa de um processo deve adicionar valor ao produto final e, portanto, eliminar atividades que só agreguem custo. A cadeia de valor refere-se a todas as ações ou processos específicos necessários, que são aplicados ao produto ou serviço, a fim de completar as três etapas do negócio: gerenciamento de informação, transformação física - que vai da matéria-prima até as mãos do cliente - e solução de problemas. Busca-se o fluxo para que as atividades que agregam valor fluam ao longo do processo produtivo. Para isso, o lote de produção deve ser o menor possível e o *layout* de

produção adequado. O fluxo puxado faz referência a um sistema de produção em fluxo contínuo que seja puxado de acordo com a demanda do cliente, e não empurrado como na produção tradicional. Pode-se definir produção puxada como “produzir apenas o que o cliente quer”, ou seja, uma etapa do processo só deve ser disparada quando for solicitada pela etapa posterior e assim por diante. Por fim, a busca incessante pela perfeição é um marco do sistema de produção da Toyota, que culminou no termo mundialmente conhecido, o *Kaizen*, que é a melhoria contínua. Idealmente, para que os princípios enxutos sejam alcançados em sua plenitude, as células produtivas devem ser projetadas de maneira a atender os requisitos da filosofia enxuta, envolvendo decisões sobre a forma como os recursos devem ser dispostos e como distribuir os centros de trabalho para facilitar a movimentação de pessoas e materiais.

Segundo Tompkins et al (2010), mudanças significativas acontecem no projeto de sistemas de manufatura devido a tendências como variações de demanda e variedade de produtos, clientes mais exigentes em termos de prazos e confiabilidade de entrega, aumento de solicitações para menores tolerâncias (mais exatidão e precisão). Para responder a estas tendências, uma célula produtiva deve ser projetada para ser flexível e rápida, sendo capaz de fabricar produtos com qualidade superior, custo reduzido e entregas pontuais. Além disso, o projeto de célula concebido levando em conta estas premissas estará alinhado com a cultura de melhoria contínua.

A partir das informações acima, associadas à necessidade de desenvolver novos produtos cada vez mais rapidamente, formulou-se a seguinte questão de pesquisa:

Quais são as etapas para projetar uma célula de montagem flexível, rápida, pontual, que produza com qualidade e baixo custo?

Surge, então, a necessidade de uma ferramenta para auxiliar na definição de células enxutas, pois, embora teorias abordem estudos de casos e propostas de métodos para a implantação de células, não é comum a utilização de uma ferramenta que auxilie a realizar uma avaliação confiável dos potenciais resultados antes de iniciar a implantação em si e que permita realizar ajustes ao processo antes de iniciar a aquisição dos equipamentos.

A ferramenta proposta para atender a essa necessidade é um *mockup* para a simulação de processos de montagem. No *mockup* o visual não é tão importante, o que realmente importa é a capacidade de permitir que processos reais sejam simulados, de forma que operadores testem o novo conceito produtivo.

Para definir como referir à ferramenta utilizada, a teoria menciona que protótipo é a versão preliminar ou modelo de um produto, geralmente em tamanho real e com detalhes que permitam solicitar o feedback do cliente, avaliar projetos de engenharia e aumentar a experiência (ZHANG; VONDEREMBSE; CAO; 2009). Maquetes são miniaturas de projetos de engenharia (FERREIRA, 2010). *Mockup*, traduzido literalmente como maquete ou modelo, tem sido utilizado em simulações de processos, geralmente virtuais (MAROPOULOS et al, 2011).

Para esta dissertação, os conceitos mais adequados para descrever a ferramenta utilizada e também normalmente utilizados na indústria são *mockup* e protótipo de processo, que são considerados como sinônimos e, deste ponto adiante, significam um protótipo de processo em escala 1:1, simplificado, que será utilizado para simular a operação real do processo.

1.2 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÕES

A manufatura enxuta é tema constante nas comunidades acadêmica e empresarial. Este trabalho contribui para ambas. Na acadêmica, ao reunir conceitos de manufatura enxuta e de *mockup* e ao elaborar uma proposta que permite aplicá-los em conjunto para desenvolver novos sistemas de produção. Já na comunidade empresarial, normalmente existem restrições dos investidores em aplicar seus recursos sem a confiança de que o investimento trará o retorno esperado, então a utilização do *mockup* no desenvolvimento de novos sistemas produtivos facilita a sua visualização, esclarece as características dos equipamentos, os tipos de sistemas de abastecimento necessários, qual espaço o novo sistema produtivo ocupará, torna mais assertiva a necessidade de investimentos e aumenta a confiabilidade da avaliação dos benefícios, auxiliando na tomada de decisão dos investidores em prosseguir ou não com o projeto.

1.3 OBJETIVOS

Embasado nos dados exibidos na contextualização e justificativa da dissertação, que demonstra a necessidade de um método para auxiliar na definição e avaliação dos benefícios da célula enxuta antes de sua implantação, apresenta-se a seguir os objetivos do trabalho:

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um método que auxilie a definição do processo de montagem através do uso de um protótipo de processo (*mockup*) e que permita avaliar o desempenho de uma célula de montagem em ambiente de manufatura enxuta.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são apresentados a seguir:

- Construir um protótipo de processo de uma célula de montagem;
- Utilizar este protótipo de processo para detalhar o trabalho padronizado de uma célula de montagem ainda não implantada;
- Analisar o desempenho do protótipo de processo;
- Entender e relatar quais os fatores críticos para o sucesso e quais as dificuldades encontradas na utilização de protótipos de processo para o projeto de células.

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho considera em seu contexto uma célula de montagem de bens duráveis manufaturados e seus componentes, como são os aparelhos eletrodomésticos, embora não restritos a estes, contudo são necessários estudos mais aprofundados para a utilização em ambientes diferentes.

Este trabalho também considera como condições para a aplicação da ferramenta: um processo produtivo complexo, para justificar a utilização da ferramenta; uso intensivo de mão de obra, pois um dos principais objetivos do uso do *mockup* é a simulação das operações manuais; nível de automação intermediário, em que os equipamentos, na maioria dos casos operem seus ciclos de maneira automática e as

movimentações de peças entre estes equipamentos sejam realizadas manualmente, ou seja, estejam no nível 2 ou 3 de automação pela descrição de Rother e Harris (2002).

Finalmente, o tipo de demanda dos produtos também delimita a pesquisa, pois a utilização de arranjos celulares é indicada em casos em que os fluxos produtivos necessitem de flexibilidade de mix. É difícil especificar o nível de flexibilidade de mix que deve ser considerado como limite para o trabalho, porém, como orientação, considera-se que a flexibilidade de mix exija que os tamanhos de lote estejam entre vinte e duzentas unidades, porém este número pode variar de acordo com as características de demanda e processo de cada sistema produtivo, então em cada caso deve-se analisar se estes valores são condizentes com a realidade do processo.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Com o objetivo de assegurar o melhor entendimento, esta pesquisa foi classificada de acordo com os critérios da metodologia científica:

- Quanto à abordagem do problema: sob a visão da forma de abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa, visto que a preocupação é obter informações sobre a perspectiva dos indivíduos, bem como interpretar o ambiente em que a problemática acontece. Miguel (2012) complementa que a abordagem qualitativa não tem aversão à quantificação de variáveis e, por vezes, os pesquisadores qualitativos quantificam variáveis;
- Quanto à natureza: o estudo de caso mostra-se o mais adequado, uma vez que permite a análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa (MIGUEL, 2012);
- Quanto aos procedimentos técnicos: utilizou-se a pesquisa-ação, pois este método permite a focalização de problemas reais e a colaboração entre o pesquisador e os indivíduos que atuam no objeto de estudo, com ênfase na descrição das atividades conduzidas para a solução do problema identificado, contribuindo de maneira

significativa para o estudo de temas em que os processos de mudança são essenciais (MIGUEL, 2012).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura da dissertação pode ser observada a seguir.

Capítulo 1 – Introdução: construído de forma breve com uma discussão introdutória para contextualizar o tema a ser desenvolvido, onde são apresentados a formulação do problema, os objetivos do trabalho, a justificativa da pesquisa e as suas limitações.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: apresenta uma revisão bibliográfica sobre protótipos, maquetes e *mockup*, sistemas produtivos, manufatura enxuta com ênfase em projeto de célula e formas de implantação e, finalmente, avaliação de desempenho de processos produtivos, como forma de validar os resultados obtidos na aplicação do método. A revisão dá suporte à pesquisa desenvolvida.

Capítulo 3 – Método Proposto: Com apoio no embasamento teórico e adaptações provenientes de observações do estudo de caso, este capítulo visa apresentar a proposta de utilização da ferramenta, as suas principais características, aplicações e resultados esperados.

Capítulo 4 – Estudo de Caso: apresenta a empresa estudada e o planejamento do estudo de caso de acordo com a metodologia científica e a análise das observações e resultados obtidos.

Capítulo 5 – Considerações Finais e Recomendações: O capítulo final apresenta uma síntese sobre os resultados obtidos com a pesquisa, avaliando se os objetivos foram atingidos e as limitações do trabalho. Também traz as recomendações para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma fundamentação teórica referente aos temas abordados nesta dissertação. Inicia com a análise dos conceitos de protótipos, maquetes e *mockup*, definindo os termos *mockup* e protótipo de processo como sendo os mais indicados para representar a ferramenta abordada na dissertação. Em seguida são apresentados estudos sobre sistemas produtivos, os diversos tipos de arranjo físico de produção, no qual o arranjo físico celular é o mais apropriado para o desenvolvimento de células enxutas utilizando a ferramenta *mockup*. Depois a manufatura enxuta é fundamentada para dar a base necessária sobre os conceitos a serem aplicados no projeto de células. Finalmente o capítulo aborda os conceitos de avaliação de desempenho, fundamental para comparar sistemas produtivos diferentes e auxiliar no processo decisório.

2.1 MÉTODOS DE PROJETO DE SISTEMAS PRODUTIVOS

2.1.1 Protótipos, maquetes e *mockup*

O tema principal desta dissertação é a utilização da ferramenta *mockup* para auxiliar no projeto de células, mas o que exatamente é um *mockup* em um projeto de célula? Para o melhor entendimento do tema, é necessário falar sobre os conceitos de protótipos e maquetes.

Segundo Yang e Epstein (2005), a construção de protótipos é importante para o design de produto e desenvolvimento de processos. Porém a prototipagem física está ligada principalmente ao desenvolvimento de produtos e esses protótipos de produtos auxiliam no desenvolvimento de processos. O principal benefício do uso de protótipos é a redução dos riscos de projeto sem o comprometimento de tempo e custos com a produção em seu estado final (YANG; EPSTAIN, 2005 apud HOUDE; HILL, 1997).

O propósito de um protótipo dependerá de quais questões ele pretende responder. Ullman (2003) fez uma classificação com quatro estágios, dependendo da função e do estágio no desenvolvimento de produtos:

- Para entender melhor a abordagem na concepção de um produto, uma prova de conceito de protótipo é utilizado nas fases iniciais do desenvolvimento.

- Em seguida, um protótipo de prova de produto esclarece incorporação física das funções e a viabilidade de produção.
- Um protótipo de prova de processo mostra que os métodos de produção e materiais resultam no produto desejado.
- Finalmente, um protótipo de prova de produção demonstra que o processo de fabricação é eficaz.

Já maquete, no dicionário da língua portuguesa, é citada como sendo “miniatura de projeto arquitetônico, cenográfico ou de engenharia, modelo” (FERREIRA, 2010). Os artigos nacionais que mencionam o uso de maquetes em sua grande maioria discorrem sobre o uso de maquetes na construção civil, restando algumas publicações estrangeiras que tratam do tema *mockup* ou *mock-up* para tratar do uso de maquetes para fins de avaliação de processos.

2.1.2 Mockup físico e mockup virtual

A grande maioria dos artigos trata sobre *digital mockup*, uma versão computadorizada de maquete para a avaliação de processos. Segundo Maropoulos et al (2011), *digital mockup* está emergindo como uma ferramenta de colaboração nos projetos da indústria de transformação, em torno do qual diferentes equipes de engenharia trabalham para verificar o produto ao longo de todo seu ciclo de vida.

Já Song e Chung (2009) comentam que vários sistemas CAD são usados para projetar produtos complexos em um ambiente de design colaborativo. Desencontros e interferências devido a falhas dos designers e uso de vários sistemas CAD ocorrem. Para remover e compensar tais dificuldades no processo de design, *mockups* físicos têm sido utilizados. Na sequência, os autores sugerem o uso de *mockups* virtuais, como forma de substituir o uso de *mockups* físicos, porém sem citar quais são as vantagens no uso da versão virtual.

2.1.3 Outros métodos para o projeto de sistemas produtivos

Para complementar o método proposto nesta dissertação, é importante conhecer outros métodos para o projeto de sistemas produtivos.

Ho e Liao (2011) propõem uma solução para o fluxo intracelular, layout do trajeto e pontos de entrada e saída de células em um sistema de manufatura celular, onde propõe uma classificação da distância percorrida em cinco tipos e minimiza-os com vários modelos de programação linear. O procedimento tem quatro fases, na primeira encontram-se os pontos de entrada e saída do percurso, na segunda fase marcam outros pontos no caminho intracelular, na terceira fase usam os pontos das fases anteriores para orientar e organizar o trajeto e na quarta fase propõe a localização de cada ponto de entrada e saída.

Já Wu, Chu, Wang e Yan (2007) trazem como contribuição o uso de um algoritmo genético para o projeto manufatura celular e layout. O algoritmo genético hierárquico é desenvolvido para formar simultaneamente células de manufatura e determinar o layout do sistema de manufatura celular. As características do algoritmo proposto incluem uma estrutura hierárquica cromossomo para codificar duas decisões importantes do design celular, um novo esquema de seleção que considera dinamicamente duas funções de convergência correlacionadas, e um grupo de operadores de mutação para aumentar a probabilidade de mutação. A partir de análises computacionais, estruturas e os operadores propostos são encontrados para melhorar a qualidade da solução, bem como acelerar a convergência

Dentre os diversos métodos, a grande maioria baseia-se em métodos computacionais, que dificulta a utilização por necessitar de conhecimentos específicos de computação, além de recursos computacionais para a execução de tais métodos. Dentre as vantagens da utilização do *mockup* físico em relação aos meios virtuais estão o custo menor, pois não exige materiais utilizados no *mockup* são mais baratos que softwares especializados e treinamento para operação destes softwares e também a possibilidade de envolver os operadores no processo de definição do sistema produtivo.

2.2 SISTEMAS PRODUTIVOS

2.2.1 Linha produtiva tradicional

Segundo Baudin (2002) uma linha produtiva tradicional é um sistema pelo qual produtos unitários movem-se através de uma sequência de estações, cada qual equipada com os materiais, máquinas, ferramentas, operadores e instruções necessárias para a realização do

trabalho, na qual cada unidade é processada e passada adiante para a estação seguinte.

2.2.2 Célula produtiva enxuta

Uma célula produtiva enxuta é o arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos, onde as etapas do processo estão próximas e sequenciadas e o processamento das partes ocorre em fluxo contínuo ou em pequenos lotes. (ROTHER; HARRIS, 2002).

O que difere uma linha produtiva comum de uma célula enxuta são alguns pontos importantes que devem ser levados em consideração para que um fluxo seja considerado enxuto:

- A célula enxuta possui *setups* muito baixos, viabilizando a fabricação de pequenos lotes e permitindo grande flexibilidade na troca de produtos;
- O fluxo de produtos através da célula deve ser preferencialmente de uma peça por vez, e não em lotes, para evitar desperdícios como esperas e inventário em excesso;
- Fluir um kit de componentes pela célula, no entanto, é consistente com esta definição, pois todos os componentes irão convergir para um mesmo produto;
- A direção do fluxo não é específica, podendo os materiais fluírem para a esquerda ou para a direita, mas recomenda-se fazer no sentido anti-horário para atender a maioria da população, que é destra, facilitando desta forma a descarga dos componentes, que é feita com a mão esquerda e a carga com a mão direita, já que exige uma maior atenção;
- O retorno de peças não é permitido, ou seja, peças não devem voltar para estações por onde já passaram anteriormente.

2.2.3 Arranjos físicos

Segundo Canen e Williamson (1998), os recursos de produção são de vital importância para a organização, pois, usualmente, representam o maior e mais caro patrimônio da mesma. Na visão dos autores, o principal motivo para o planejamento do *layout* do setor

produtivo é o interesse em se reduzir os custos de movimentação. Um dos principais desperdícios, o transporte, é diretamente combatido, além de evitar esperas por parte dos operadores e viabilizar a implantação do fluxo contínuo nas células de montagem e células de fabricação. Moreira (2001) cita outros motivos que tornam importantes as decisões sobre o arranjo físico:

- Elas afetam a capacidade da instalação e a produtividade das operações. A mudança no arranjo físico pode viabilizar uma maior produção com os mesmos recursos utilizados anteriormente, tanto equipamentos quanto mão de obra;
- Essas mudanças podem implicar em gastos consideráveis, dependendo da área modificada e das alterações físicas necessárias.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação. De maneira simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e operadores. Ele também determina a maneira com a qual os recursos transformados – materiais, informações e clientes – fluem pela operação.

Existem algumas razões práticas pelas quais as decisões de arranjo físico são importantes:

- Muitas vezes são atividades difíceis e de longa duração;
- O reprojeto do arranjo de uma operação existente pode interromper o seu funcionamento;
- Se o arranjo físico está errado, pode levar a padrões de fluxos longos ou confusos, estoques, filas, tempo de processamento longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos.

Segundo Peinado e Graelm (2007) para atingir seus objetivos, alguns princípios devem sempre ser levados em conta no momento da definição do arranjo:

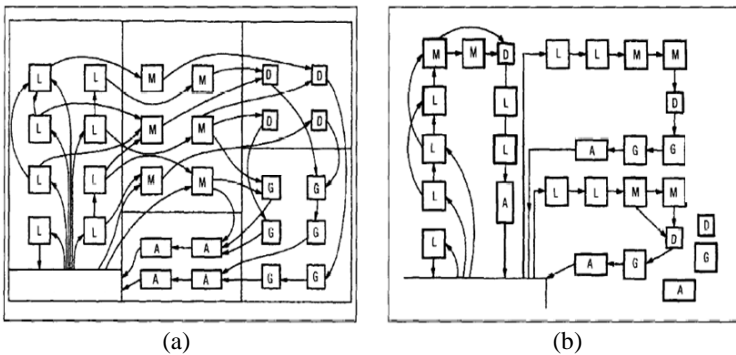
Integração - Os diversos elementos (fatores diretos e indiretos ligados a produção) devem estar integrados, pois a falha em qualquer um deles resultará numa ineficiência global. Todos os pequenos

pormenores da empresa devem ser estudados, colocados em posições determinadas e dimensionados de forma adequada.

Mínima Distância - O transporte nada agrega ao produto ou serviço. Deve-se procurar uma maneira de reduzir ao mínimo as distâncias entre as operações para evitar esforços inúteis, confusões e custos.

Obediência ao Fluxo das Operações - As disposições das áreas e locais de trabalho devem obedecer às exigências das operações de maneira que homens, materiais e equipamentos se movam em fluxo contínuo, organizado e de acordo com a sequência lógica do processo de manufatura ou serviço. Devem ser evitados cruzamentos e retornos, pois causam interferência e congestionamentos, conforme pode ser visto na Figura 1. Eliminar obstáculos a fim de garantir melhores fluxos de materiais e sequência de trabalho dentro da empresa, reduzindo materiais em processo.

Figura 1: (a) Transição de um *layout* funcional tradicional para um (b) *layout* celular em fluxo



Fonte: Hunter, 2002 apud Black, 1991

Racionalização de Espaço - Utilizar o espaço da melhor maneira, se possível as três dimensões.

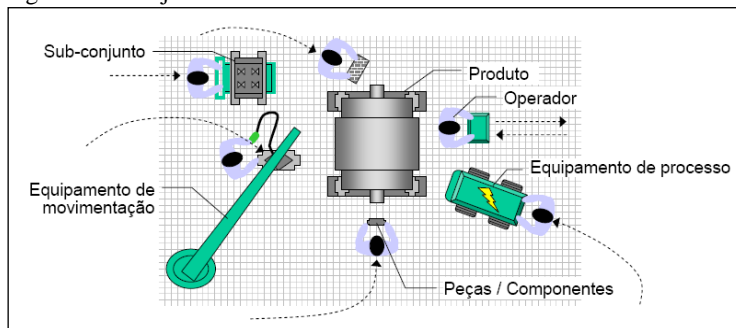
Satisfação e segurança - A satisfação e a segurança do homem são muito importantes. Um melhor aspecto das áreas de trabalho promove tanto a elevação da moral do trabalhador quanto a redução de riscos de acidentes.

Flexibilidade - Este é um princípio que, notadamente na atual condição de avanço tecnológico, deve ser atentamente considerado pelo projetista de *layout*. São frequentes e urgentes as necessidades de mudança do projeto do produto, mudanças de métodos e sistemas de trabalho e mudanças nas condições de demanda. No projeto do *layout* deve-se considerar que as condições vão mudar e que o mesmo deve ser fácil de adaptar às novas condições. Para atender a demanda de forma correta, o *layout* deve ser estabelecido preferencialmente em módulos, que são muito mais flexíveis a incrementos na demanda, para mais ou para menos.

2.2.3.1 Arranjo físico posicional

Basicamente neste arranjo, quem sofre a operação fica estacionário, e os recursos, como equipamentos, pessoas, máquinas, movem-se ao redor na medida do necessário, conforme pode ser visto na Figura 2. Algumas razões para utilização deste *layout* são produtos com dimensões muito grandes, como navios, aviões, ou produtos que são muito delicados para serem movidos.

Figura 2: Arranjo Físico Posicional



Fonte: Miyake, 2005

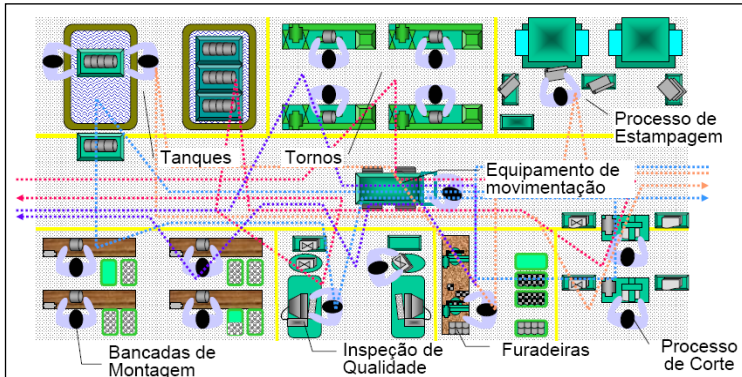
A marca principal deste tipo de arranjo é a baixa produtividade, além do que, um produto raramente é igual a outro, pois se configura praticamente em uma fabricação artesanal.

2.2.3.2 Arranjo físico por processo (funcional)

Neste arranjo, processos similares são localizados próximos uns dos outros, ou seja, os processos e equipamentos do mesmo tipo são

posicionados numa mesma área e também operações e montagens semelhantes são agrupadas num mesmo local. Um exemplo deste arranjo é apresentado na Figura 3. Teoricamente a razão para isto é que pode ser conveniente para a operação mantê-los juntos, ou a utilização dos recursos transformadores pode ser beneficiada.

Figura 3: Arranjo Físico Funcional



Fonte: Miyake, 2005

Segundo Moreira (2001) como características deste sistema destacam-se:

- Adaptação à produção de uma linha variada de produtos;
- Cada produto passa pelos centros de trabalho necessários, formando uma rede de fluxos;
- As taxas de produção são relativamente baixas, se comparadas àquelas obtidas com o arranjo físico por produto. Desta forma existe entre os dois arranjos uma troca entre flexibilidade e volume produtivo;
- Os equipamentos são geralmente do tipo “propósito geral”, ou seja, não específicos, disponíveis comercialmente.

Este sistema, no entanto, apresenta uma série de desvantagens, dentre elas, Moreira destaca:

- Os estoques em processo tendem a ser elevados e a bloquear a eficiência do sistema;
- A programação e o controle da produção tornam-se complexas, ao ter que trabalhar com variados produtos e suas exigências operacionais particulares;

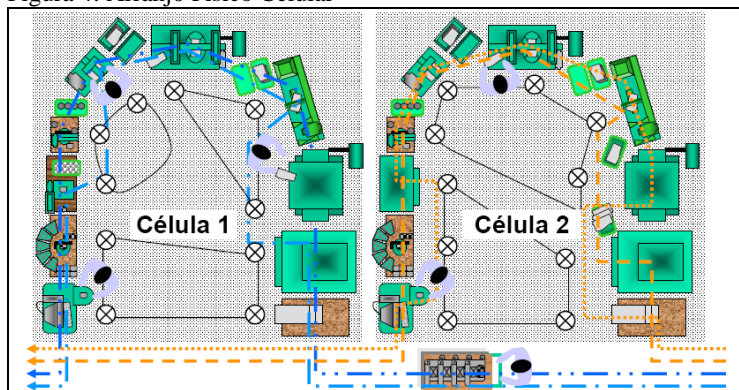
- O manuseio de materiais tende a ser ineficiente;
- A contrapartida da flexibilidade “teórica” é a obtenção de volumes relativamente modestos de produção por um custo relativamente maior do que o arranjo por produto.

É fácil de identificar que este modelo de *layout* não é o mais adequado para a aplicação dos conceitos da produção enxuta, pois este arranjo favorece a produção em lotes, com grandes estoques intermediários no processo. O *layout* funcional também inviabiliza o fluxo contínuo de produção e contribui para o surgimento de desperdícios como transporte, esperas, movimentação, superprodução, entre outros. Além disso, pelo fato de não possuir equipamentos dedicados a determinadas famílias de produtos, fica difícil estabelecer os sistemas puxados assim como realizar o balanceamento dos recursos produtivos.

2.2.3.3 Arranjo físico celular

De acordo com Peinado e Graelm (2007), o arranjo físico celular procura unir as vantagens do arranjo físico por processo, com as vantagens do arranjo físico por produto. Exemplificado na Figura 4, a célula de manufatura consiste em arranjar em um só local, conhecido como célula, máquinas diferentes que possam fabricar o produto inteiro. O material se desloca dentro da célula buscando os equipamentos necessários, porém o deslocamento ocorre em linha.

Figura 4: Arranjo Físico Celular



Fonte: Miyake, 2005

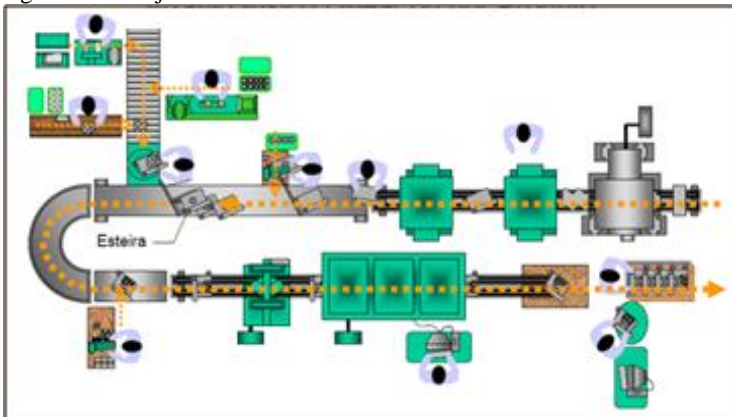
Este tipo de arranjo físico apresenta algumas vantagens, que estão alinhadas com as principais premissas do *lean*:

- Aumento da flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto;
- Diminuição do transporte de material;
- Diminuição dos estoques;
- Maior satisfação no trabalho;
- Adaptação às necessidades de demanda.

2.2.3.4 Arranjo físico por produto

Neste tipo de arranjo, as máquinas, os equipamentos ou as estações de trabalho são colocados de acordo com a sequência de montagem, sem caminhos alternativos para o fluxo produtivo, conforme pode ser visto na Figura 5. Cada produto segue um roteiro predefinido no qual a sequência de atividades requerida coincide com a sequência na qual os processos foram arranjados fisicamente. Um exemplo deste tipo de processo é a montagem de automóveis, em que quase todas as variantes do mesmo modelo requerem a mesma sequência de processos.

Figura 5: Arranjo Físico Linear



Fonte: Miyake, 2005

Dentre as vantagens deste tipo de arranjo podemos destacar:

- Possibilidade de produção em massa com grande produtividade: estas linhas geralmente têm alto custo de instalação, requerem equipamentos especializados e apresentam maior custo fixo, porém menor custo

variável por unidade, representando um elevado grau de alavancagem operacional. A produtividade da mão de obra é alta, pois as tarefas são altamente repetitivas, o grau de complexidade é mínimo e o grau de automatização é mais elevado;

- Carga de máquina e consumo de material constante ao longo da linha: é mais fácil obter uma condição de balanceamento da produção uma vez que o mesmo tipo de produto está sendo fabricado na linha a qualquer momento;
- Controle de produtividade mais fácil: a velocidade do trabalho em uma linha de produção é mais fácil de ser controlada, principalmente quando se trata de uma linha motorizada.

Como desvantagens evidentes deste arranjo, temos o elevado grau de investimento necessário, a pouca flexibilidade das linhas, o tédio dos operadores pelo fato das tarefas serem extremamente repetitivas, e uma grande suscetibilidade a paralisações e gargalos, que fazem com que toda a linha deixe de funcionar.

Os arranjos físicos podem ser mistos destes arranjos descritos acima. Pode ocorrer, por exemplo, uma divisão em arranjos físicos por processo, e dentro destas áreas, ocorrer o arranjo celular. Podemos citar empresas que possuem uma estrutura produtiva segmentada por processos, dentre eles, conformação mecânica, usinagem e tratamento térmico. Dentro desses processos elas possuem células, por similaridades de processo, ou fluxo comum de produtos.

O Quadro 1 compara algumas características de projeto entre os quatro tipos de arranjo físico, e pode servir de referência no momento de definir qual arranjo utilizar.

Segundo Pattanaik e Sharma (2009) para tornar a manufatura celular eficiente, é necessário implementar vários conceitos de manufatura enxuta dentro deste esquema celular e é mais simples implementar os conceitos de manufatura enxuta em um ambiente de manufatura celular, pois, quando bem configurado, permite a fabricação flexível alinhada com o tempo *takt*, além de possibilitar o abastecimento e retirada dos materiais de forma organizada. A configuração celular

também garante um maior nível de autonomia dos operadores, e faz com eles se sintam donos do processo.

Quadro 1: Comparativo Entre Principais Arranjos Físicos

	Posicional	Funcional	Celular	Linear
<i>Tipo de produto</i>	grande	médio / pequeno	médio / pequeno	pequeno
<i>Diferenciação de produto</i>	alta	alta	média / baixa	baixa / nenhuma
<i>Volume de produção por tipo de produto</i>	uma ou poucas unidades	pequena quantidade	pequena ou média quantidade	grande quantidade
<i>Produção</i>	sob encomenda	sob encomenda	para estoque	para estoque
<i>Projeto</i>	especial sob encomenda	variável / customizável	repetitivo / modular	padronizado
<i>Flexibilidade de processo</i>	alta	alta / média	média / baixa	baixa / nenhuma
<i>Variação de roteiro</i>	alta	alta / média	média / baixa	nenhuma
<i>Mão de obra</i>	qualificada	qualificada	polivalente	baixa qualificação

Fonte: Miyake, 2005

Pelos motivos ressaltados acima, concentraremos esta dissertação no arranjo físico celular.

2.3 MANUFATURA ENXUTA

2.3.1 Reconhecendo o Desperdício nas Células de Montagem e Células de Fabricação

Segundo Baudin (2002) os grandes desperdícios da manufatura são observados nas células de montagem e nas células de fabricação. Podemos descrevê-los da seguinte maneira:

Superprodução: produzir maior quantidade ou mais rápido que a necessidade do cliente. Quando o operador continua produzindo, mesmo existindo uma quantidade significativa de estoque à sua frente, apenas para se manter ocupado ou atingir metas locais de produtividade, o desperdício da superprodução está configurado. Isto nos indica que a célula possui excesso de capacidade, e o balanceamento das atividades não foi feito de maneira adequada para manter o operador ocupado com tarefas que agregam valor, de acordo com a demanda do cliente.

Esperas: tempo ocioso entre operações. Falta de componentes ou quebra de equipamentos são os motivos mais comuns para que os operadores fiquem esperando. Porém, existem outros motivos, como

falha no balanceamento de atividades entre operadores, que ocorre quando não é possível a utilização completa do tempo do operador.

Transportes: movimentação de material desnecessária ou em excesso, que assim como dupla ou tripla movimentação do estoque em processo, não agrega valor. O desperdício também se configura quando temos a necessidade de mover partes entre os processos com o auxílio de equipamentos de movimentação. Se uma empilhadeira precisa ser chamada, o impacto não vai mudar muito entre mover algo por dez ou por cem metros. Ocorre desperdício de transporte sempre que as atividades não estão arranjadas de maneira a favorecer o fluxo dos materiais.

Processamento impróprio: o desperdício no processo é o mais difícil de identificar, porque requer detalhado conhecimento do mesmo. Uma sequência errada de montagem pode ocasionar este desperdício.

Inventário desnecessário: é qualquer abastecimento em excesso que não ajude o fluxo de uma peça. Se ninguém consegue explicar o propósito da existência de um estoque de componentes específicos em alguma parte do chão de fábrica, é porque provavelmente ele é excesso de material decorrente de falhas no planejamento e execução. Estes inventários são bastante comuns, em empresas que não possuem processos ou fornecedores confiáveis.

Movimentação desnecessária: qualquer movimento que não agrega valor. O desperdício de movimentação nas células de montagem é fácil de observar. Em atividades de montagem, muitas vezes os operadores das células inserem um componente, largam o subconjunto e o apanham em uma etapa posterior. Estas movimentações desnecessárias, quando somadas, representam um grande desperdício. Outra movimentação desnecessária é o deslocamento do posto de trabalho para coletar componentes, ou até mesmo dentro do próprio posto quando os componentes não estão em posição adequada para facilitar o acesso à peça pelo operador.

Correções: consertar um produto ou serviço. Esse desperdício pode ser facilmente observado nas estações de reprocesso das linhas de montagem, onde são realizadas correções nos produtos. Caso o trabalho fosse realizado corretamente na primeira vez, estas estações poderiam deixar de existir.

2.3.2 Tempo *takt*

A palavra alemã *takt* serve para designar o compasso de uma composição musical, tendo sido introduzida no Japão nos anos 30 com o sentido de 'ritmo de produção', quando técnicos japoneses estavam aprendendo técnicas de fabricação com engenheiros alemães (ROTHER; SHOOK, 2003).

O tempo *takt*, conforme equação (1), é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção. É o ritmo de produção necessário para atender a demanda, ou seja, é a velocidade com a qual os clientes solicitam os produtos acabados.

$$\text{Tempo_Takt} = \frac{\text{Tempo_de_Trabalho_disponível_por_Turno}}{\text{Demanda_do_Cliente_por_Turno}} \quad (1)$$

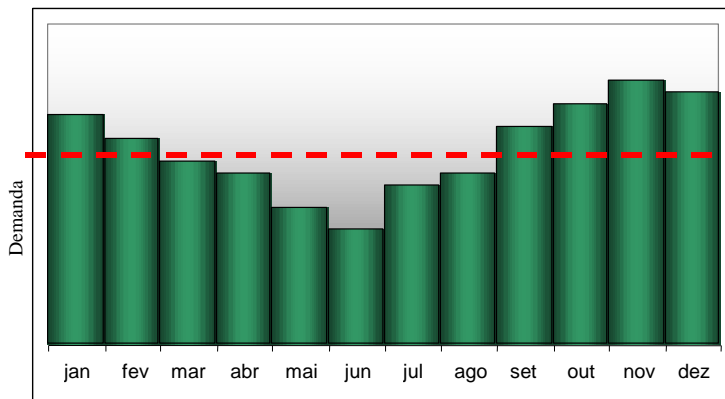
Este tempo pode ser calculado para qualquer tipo de processo, e corresponde a uma razão entre o tempo disponível para produção, e a demanda pelos produtos. Ele serve como base para o dimensionamento dos recursos produtivos, e ele pode ser desdobrado por célula de montagem, por célula produtiva e inclusive por equipamento.

O tempo *takt* pode ser calculado para um produto ou para uma família de produtos, fabricados em uma mesma célula de produção. Em ambos os casos, as operações devem ser ajustadas para atender o tempo *takt* calculado. A teoria também aconselha a utilização de 90 a 95% do tempo *takt* para realizar o balanceamento das operações na célula.

2.3.3 Variações no tempo *takt*

A célula deve ser projetada considerando possíveis alterações, de médio ou longo prazo, na demanda. Na política de capacidade constante (SLACK et al, 2009), a capacidade de processamento é estabelecida em um nível constante em todo período, e isso pode ocasionar altos níveis de estoque e desperdícios de recursos, por isso não é indicada para demandas com alta variabilidade. Usa-se a formação de estoques para suprir futuros picos de demanda, como mostra Figura 6. A linha pontilhada representa a capacidade de produção (neste caso constante) e as barras representam as demandas mensais ao longo do ano.

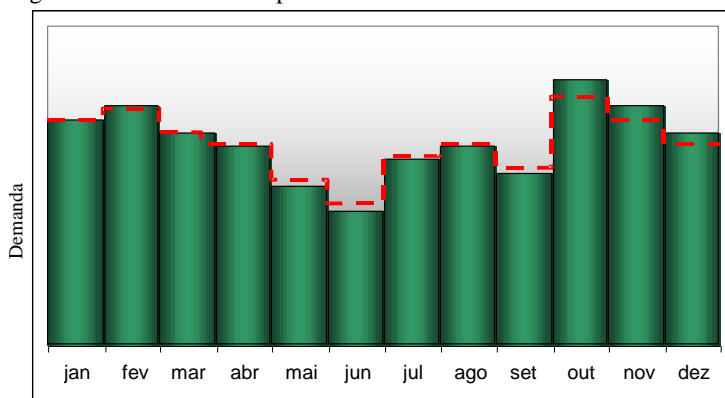
Figura 6: Política de capacidade constante



Fonte: Slack et al, 2009, adaptado pelo autor.

Na política de acompanhamento da demanda, a capacidade é periodicamente adaptada aos níveis variáveis de demanda prevista (Figura 7). Essa política tem a vantagem de gerar menos estoques, porém faz-se necessário um número diferente de recursos a cada momento, como pessoas, horas de trabalho, equipamentos, etc. Por isso, uma política pura de acompanhamento da demanda só é usada em casos extremos, como a produção de produtos perecíveis, por exemplo.

Figura 7: Política de acompanhamento da demanda



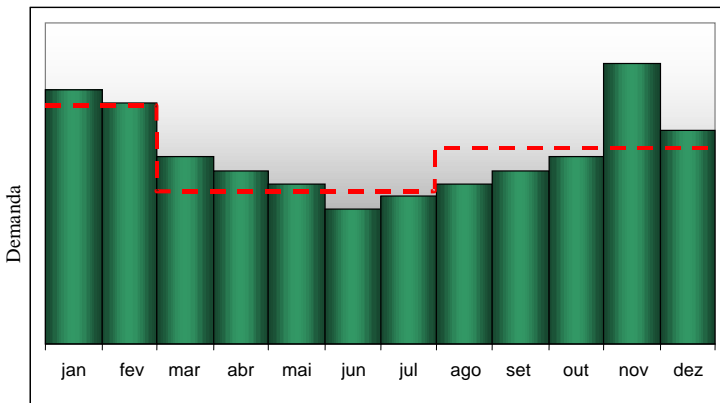
Fonte: Slack et al, 2009, adaptado pelo autor.

Existem algumas formas de ajustar a capacidade de produção. A forma mais rápida e conveniente é variando o número de horas trabalhadas, ou seja, horas extras ou horas ociosas. Outra forma é variando o número de pessoas trabalhando na célula. Porém, vale ressaltar que isso gera custos e implicações éticas. Uma variação da estratégia anterior é recrutar pessoal em tempo parcial. Por fim, ainda há possibilidade, nos períodos de alta demanda, de subcontratar mão de obra de outra organização, o que também pode gerar custos extras.

Outra forma de ajustar capacidade e demanda é atuar na demanda, buscando torná-la mais estável e uniforme, assim a capacidade pode ser mais bem utilizada. O modo mais comum de gerenciar a demanda é através do preço do produto, diferenciado no decorrer dos períodos de variação da demanda, estimulando o consumo fora do pico e restringindo no pico. Outra forma de gerenciar a demanda é investir em marketing nos períodos de baixa demanda.

Cada uma dessas políticas puras só é aplicável quando suas vantagens superam suas desvantagens. Por isso, o mais comum e indicado é a utilização de uma política mista que, dependendo das variações de demanda, resulta em uma solução diferente. Segue na Figura 8 uma ilustração de política mista.

Figura 8: Política Mista



Fonte: Slack et al, 2009, adaptado pelo autor.

Portanto, em uma política mista, há variação da capacidade de produção, porém em horizontes maiores, como também antecipação de produção, em menor escala comparada à política de capacidade constante pura, gerando estoques menores.

No caso de variações ocasionais na demanda, em geral é melhor operar com um tempo *takt* constante (baseado na demanda média em longo prazo), sustentando essas pequenas variações diárias com pequenos estoques (supermercados) ou horas extras. Isso é sempre mais vantajoso, pois mudanças constantes no tempo *takt* são ineficientes, interrompem o ritmo de trabalho e aumentam o potencial de surgimento de problemas de qualidade.

Por outro lado, se o departamento de vendas sinaliza um acréscimo ou redução na demanda que não seja temporária, o tempo *takt* deve ser ajustado para atender a esta nova demanda. Para isso é muito importante que as células sejam modulares e com automação adequada.

2.3.4 Porque o tempo *takt* é importante?

A principal razão é que os clientes são beneficiados indiretamente, através de custos mais baixos, maior qualidade e maior flexibilidade, assim como a organização, que tem seus benefícios traduzidos em lucros maiores e melhor imagem perante o mercado.

Rother e Harris (2002) ressaltam que em relação às demandas futuras para novos produtos, pode ser difícil fazer previsões precisas com muita antecedência. Quando a demanda futura é incerta, pode ser sensato adicionar capacidade em etapas, na medida em que a demanda for se tornando concreta, ao invés de partir com o sistema dimensionado para um pico de demanda.

2.3.5 Como determinar os produtos a montar em uma mesma célula

Ao determinar o tempo *takt*, é importante saber quais produtos serão montados nesta célula. Abaixo seguem algumas orientações:

Flexibilidade: às vezes a demanda por um produto é alta e estável, permitindo que a célula seja dedicada exclusivamente a um produto. No entanto, na grande maioria das vezes, a demanda gira entre

os diversos produtos. Neste caso, é adequado manter um tempo de *setup* próximo a zero e preparar a célula para compartilhar os diversos produtos, mesmo que nem sempre se opere dessa maneira. A capacidade total permanece a mesma em ambos os casos, mas a habilidade de cada processo em acomodar as mudanças de demanda é muito maior no segundo caso. Isso porque a demanda de um único produto dentro da família pode variar, mas a demanda de toda a família frequentemente é mais estável.

Com os dados históricos em mãos, deve-se realizar uma análise ABC da demanda, agrupando os produtos em categorias em função de sua demanda. Os itens “A” correspondem a cerca de 80% da demanda, e merecem em muitas situações, células dedicadas para a sua fabricação. Os itens “B” correspondem a cerca de 15% da demanda e devem ser agrupados em famílias com o objetivo de manter produtos semelhantes em uma mesma célula, de forma a simplificar o processo produtivo. Já os itens “C”, que correspondem a cerca de 5% da demanda, não permitem a utilização de recursos dedicados, devendo ser fabricados em recursos de alta flexibilidade.

As empresas que não praticam a análise ABC constantemente reclamam que não podem tirar vantagem de certas ferramentas, pois o seu processo produtivo é de difícil padronização. Então preparam os recursos produtivos para absorver qualquer *mix* de demanda, ou seja, os processos são preparados para produzir todos os seus produtos como se fosse o pior caso, ao invés de segmentar através de análise as famílias de materiais e recursos necessários e tratar os casos separadamente.

Varição no conteúdo total do trabalho: o tempo necessário para o operador produzir uma peça do início ao fim não deve variar mais do que 30% entre os diferentes produtos processados na célula (ROTHER; HARRIS, 2002). Quando o conteúdo do trabalho varia muito, fica difícil manter o fluxo e a produtividade. Nesse caso deve-se realocar os produtos especiais para outras células ou até mesmo criar células especiais para esse tipo de produto.

Nas células de montagem, particularmente aquelas com *mix* variado, a análise deve se estender para a lista técnica de materiais (BOM - Bill Of Material) para classificar os componentes por similaridade e volume consumido. O uso de componentes em comum é um critério para agrupar as famílias de produtos da classe “B”, enquanto

a classificação por volume consumido e número de itens é usada para planejar a logística de abastecimento desses materiais.

As listas técnicas dos diferentes produtos que passam por uma célula contêm informações que podem ser utilizadas das seguintes maneiras:

- Identificação de discrepâncias no número de partes: se um produto possui quatro vezes mais componente do que outro, significa que pode ser um problema mantê-los na mesma célula;
- Localização de discrepâncias no número de componentes em operações específicas;
- Quantificação e agrupamento de componentes comuns entre diferentes produtos;
- Classificação de componentes por frequência de uso e alocar os itens mais frequentes próximos ao operador;
- Classificação de componentes por valor e variedade e decidir sobre a forma de abastecimento, mantendo todos os itens disponíveis ou abastecendo na sequência de consumo.

Pode-se ainda conduzir análises por categoria de materiais, como componentes fabricados internamente e componentes comprados de terceiros, que indicam a facilidade em se propor alterações na forma de abastecimento, por exemplo.

Além destas utilizações, a análise das listas técnicas pode conduzir à necessidade de elevar o nível de padronização dos produtos. Também se pode utilizar essa análise para classificar os componentes de acordo com sua demanda e frequência, para determinar a melhor política de planejamento e gestão de estoques para cada subgrupo.

Similaridade das etapas do processo e dos equipamentos: se os estágios de produção forem muito diferentes para os produtos de uma mesma célula, os operadores terão que mudar constantemente a forma de trabalho. Isso reduz a produtividade e aumenta o risco de problemas de qualidade. A solução é, novamente, realocar os produtos em outras células, mais similares, ou criar células especiais para este tipo de produto.

Tempo *takt*: Harris e Rother (2002) orientam que o tempo *takt* de uma célula deve ficar entre 10 e 120 segundos. Valores abaixo de 10 segundos podem deixar o trabalho do operador altamente repetitivo e estressante. Por isso, quando uma elevada demanda resultar em um pequeno tempo *takt*, recomenda-se usar mais células iguais ao invés de utilizar apenas uma de alta velocidade.

Inversamente, quando o tempo *takt* for maior que 120 segundos, o número de elementos de trabalho é tão grande que dificulta a padronização das atividades e movimentos. Neste caso, recomenda-se considerar a colocação de produtos finais adicionais e similares na célula.

Localização do cliente: caso os clientes de um produto estejam muito espalhados geograficamente, pode ser vantajoso trabalhar com múltiplas células localizadas próximas ao cliente, principalmente se os custos de transporte e impostos forem altos em relação ao custo do produto.

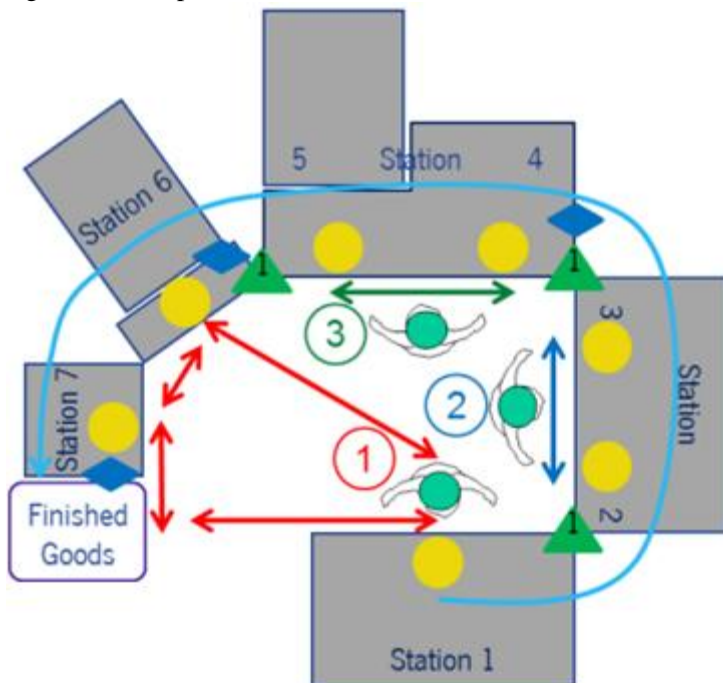
2.3.6 Orientações para organizar uma célula de manufatura enxuta

Segundo Rother e Harris (2002), uma técnica apropriada para o projeto de uma célula é dispor as máquinas, as estações de trabalho e o material nos dispositivos como se somente um operador fabricasse o produto do início ao fim, mesmo que isto seja inviável para a operação da célula. Ao desenhar o processo desta maneira, evita-se criar as ilhas isoladas de atividades, minimiza-se a acumulação de estoque entre os processos, elimina-se caminhadas excessivas, removem-se obstáculos existentes no caminho e trazem as etapas de criação de valor tão próximas umas das outras quanto possível.

Esta técnica gera um *layout* eficiente, mesmo que o número de operadores ainda não tenha sido definido. Além desta técnica, abaixo estão descritas algumas orientações para organizar as máquinas e estações de trabalho de modo que os operadores possam executar os seus elementos de trabalho de maneira eficiente. Entre essas orientações, recomenda-se colocar máquinas e estações de trabalho próximas, em formato de U e a largura dentro da célula deve ser mantida em torno de 1,5 metro, para permitir uma maior flexibilidade e mobilidade entre os

membros da equipe (Figura 9). Esta configuração facilita muito o trabalho de abastecimento e retirada de material pelo abastecedor.

Figura 9: Exemplo de célula em U



Fonte: Oliveira (2013)

2.3.6.1 Orientações para o *layout* celular

Segundo Harris and Rother (2002) algumas orientações merecem atenção como:

- Remover obstáculos no caminho do operador;
- Eliminar os espaços e locais onde o estoque de peças em processo possa se acumular;
- Manter alturas apropriadas para locais de trabalho e pontos de uso. Regular a altura do plano de trabalho para uma posição em pé;
- Localizar o processo inicial e final próximos;
- Deslocar objetos horizontalmente, evitar transferências de peças de cima para baixo e de frente para trás;

- Sempre que possível usar a gravidade para ajudar os operadores na movimentação de materiais;
- Colocar certas instalações no teto para facilitar os ajustes do *layout*;
- Manter ferramentas manuais tão próximas quanto possível do ponto de uso e as colocar na direção em que são utilizadas pelos operadores;
- Utilizar ferramentas manuais dedicadas, ao invés de ferramentas que necessitem mudanças na ponta e combinar duas ou mais ferramentas quando for possível;
- Garantir a segurança e a ergonomia da célula, pois a má ergonomia é indesejável do ponto de vista humano e contribui para os desperdícios;
- Cuidar para que o operador aproveite a luz natural ou artificial mais adaptada às características e às necessidades de seu trabalho;
- Manter as etapas do trabalho manual baseadas no operador, próximas umas das outras para permitir flexibilidade na distribuição dos elementos de trabalho e agregar valor ao trabalho do operador.

2.3.6.2 Orientações para bordo de linha e gerenciamento de materiais

Quando se projeta uma célula, deve-se sempre considerar o sistema pela qual os componentes serão abastecidos em seu local de uso na célula. Como orientação geral, os materiais devem ser abastecidos o mais próximo possível do ponto de uso, em embalagens pequenas e com condições ergonômicas que facilitem o trabalho do operador, e permitam que ele agregue mais valor a suas tarefas. O sistema puxado sempre deve ser utilizado para disparar o ressuprimento dos itens, evitar o acúmulo de inventário no processo e garantir o abastecimento dos componentes certos, no momento em que forem necessários. Rother e Harris (2002) fazem algumas recomendações que devem ser levadas em conta sempre que uma célula estiver sendo projetada:

- Posicionar as peças o mais próximo possível do ponto de uso, desde que não interfira no caminho do operador;
- Posicionar as peças para que o operador possa utilizar simultaneamente ambas as mãos;

- Tentar manter toda a variação de peças necessárias no posto de trabalho, acessível ao operador o tempo todo, para eliminar o tempo de troca;
- Quando for inviável manter todas as peças próximas ao local de uso, devido ao tamanho ou quantidade, a solução é aumentar a frequência de abastecimento ou sequenciar a entrega;
- Quando os componentes forem muito diferentes, utilizar dispositivos a prova de falhas;
- Não permitir que o operador reabasteça as suas próprias peças (o operador deve agregar valor ao produto);
- Não manter mais de duas horas de material no ponto de uso (caso ocorram problemas na entrega, a célula irá parar em breve, forçando os gerentes a resolver os problemas do fluxo de material);
- Não colocar estoque adicional de peças dentro ou próximo do processo;
- Utilizar o *kanban* para regular a reposição de peças;
- Os contentores devem ter a quantidade de peças convenientes ao operador e, preferencialmente, ser múltiplos da quantidade de peças da embalagem final, não pela conveniência do abastecedor ou de suprimentos.

2.3.7 Trabalho Padronizado

Em processos produtivos tradicionais é comum a existência de desperdícios de movimentação, estoques, transportes, esperas, desvios de qualidade que ficam ocultos devido à falta de fluxos contínuos e irregularidade no ritmo, sincronismo e padronização das atividades.

O trabalho padronizado busca a previsibilidade e controle de uma atividade através de medidas que garantam que todo serviço seja detalhadamente especificado em termos de conteúdo, sequência, tempo e resultado.

Segundo Dennis (2008), podem ser citados como principais vantagens do trabalho padronizado os seguintes itens:

- Estabilidade de processos, estabilidade significa a possibilidade de repetição;

- Pontos de início e término bem claros para cada processo;
- O trabalho padronizado mantém a experiência. Caso um funcionário experiente saia da empresa, seu conhecimento não é perdido;
- O trabalho padronizado permite avaliar a situação real e identificar problemas;
- Envolvimento do funcionário e membros da equipe cria o trabalho padronizado, com o apoio de supervisores e engenheiros;
- Membros da equipe identificam as oportunidades para a verificação de erros;
- O trabalho padronizado fornece a base para medir as melhorias alcançadas;
- O trabalho padronizado fornece uma base para o treinamento dos funcionários.

Para um projeto de célula, é fundamental dividir o trabalho em elementos. Somente desta forma será possível estabelecer diferentes cenários de distribuição de atividades entre os operadores. Um elemento de trabalho é caracterizado como o “menor incremento de trabalho que pode ser transferido para outra pessoa” (ROTHER; HARRIS, 2002)

Para auxiliar na coleta de dados, é possível utilizar a folha de observação de tempos, conforme exemplo no Quadro 2 abaixo, observando repetidamente o trabalho real.

Quadro 2: Folha de observação de tempos

FOLHA DE OBSERVAÇÃO DE TEMPOS										
Estudo do Processo	Processo:	Observador:	Data / Hora:	Página						
Etapas do Processo	Elemento de Trabalho	Tempo observado	Máquina		observações:					
			Menor Repetido	Tempo de Ciclo						

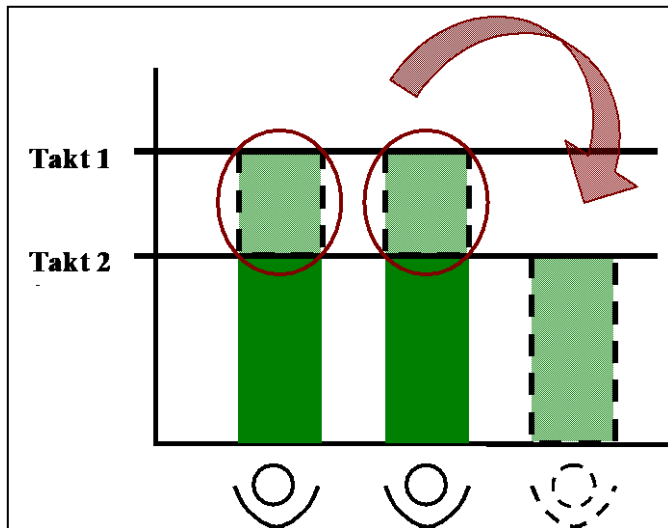
Fonte: dados de pesquisa do autor.

Ao coletar todos os elementos de cada posto de trabalho e seus tempos, obtém-se o trabalho total da célula. Sua divisão pelo tempo *takt* irá definir o número de operadores necessários, conforme equação (2) abaixo.

$$\text{Número_de_operadores} = \frac{\text{Tempo_total_de_montagem}}{\text{Tempo_takt}} \quad (2)$$

Como mencionado anteriormente, pode haver alterações na demanda e, neste caso, a célula deve responder a essa variação. Se a demanda aumentar, o tempo *takt* diminuirá e se o consumo do cliente diminuir ocorre o contrário. Para isso, são necessárias alterações de número de operadores na célula, como mostra o Gráfico de Balanceamento Operacional – GBO – abaixo:

Figura 10: Gráfico de balanceamento operacional para resposta a um aumento de demanda.



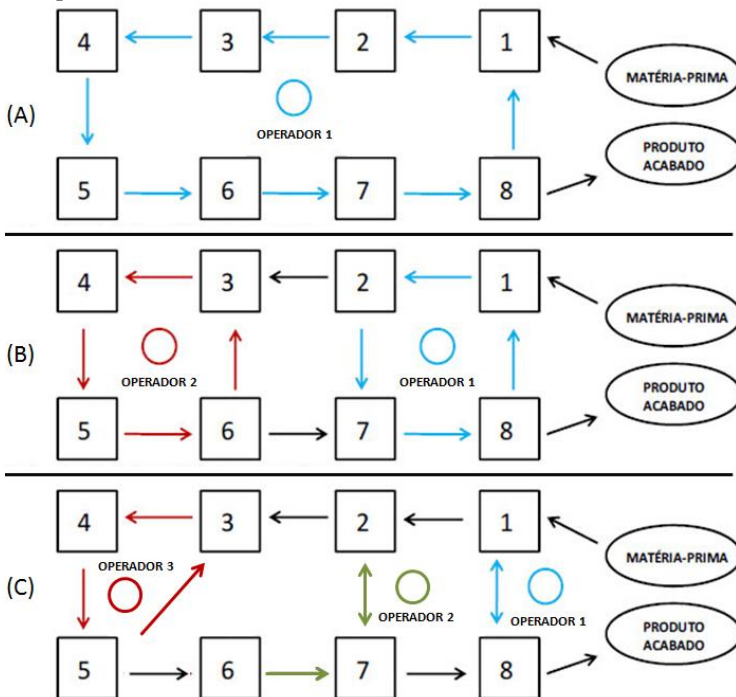
Fonte: Rother and Harris, 2002

A Figura 10 mostra o caso de um aumento significativo na demanda, fazendo com que o tempo *takt* da célula diminua e que, por isso, se faça necessário a transferência de algumas atividades dos dois primeiros operadores para um terceiro adicionado à célula.

Devido às variações de demanda, recomenda-se um *layout* em formato de U, com distância entre os lados do U de aproximadamente 1,5 metros, assim há opções de redistribuição de elementos de trabalho para diferentes números de operadores, sem que eles atrapalhem um ao outro durante a operação.

Como já mencionado, a célula deve ser projetada para atender a variações médias de demanda. Isso significa que, considerando o tempo *takt* atual, se o número dos operadores para uma dada célula for, por exemplo, dois operadores, deve-se criar, ao menos, cenários também para a célula operar com um e três operadores. Essa dinâmica de cenários está ilustrada pela Figura 11 abaixo.

Figura 11: Cenários de distribuição das atividades entre os operadores para três tempos *takt* diferentes.



Fonte: Adaptado de Productivity Press Development Team (2002)

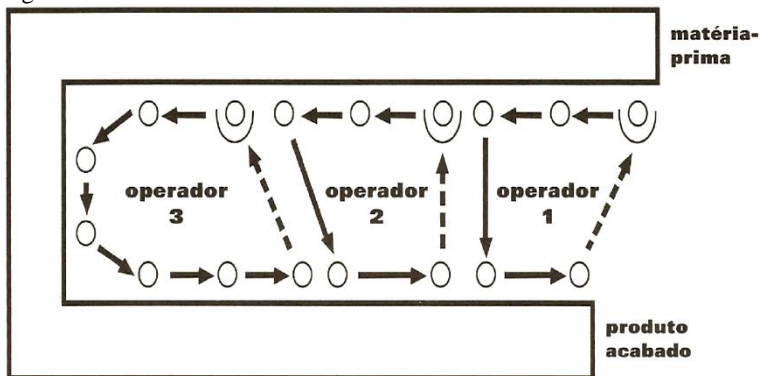
É necessário então distribuir as atividades aos operadores, conforme descrito abaixo.

2.3.8 Distribuição do trabalho entre os operadores

Segundo Rother e Harris (2002) existem alguns métodos para essa distribuição do trabalho entre os operadores e, dessa forma, garantir o atendimento do tempo *takt* e combater os desperdícios na operação.

Dividir o trabalho: dividir o trabalho entre os operadores de modo que cada um realize uma fração do conteúdo total de trabalho correspondente a um tempo *takt*, frequentemente movendo-se entre várias máquinas (Figura 12). Ainda segundo os autores, é interessante atribuir ao mesmo operador o primeiro e último elemento de trabalho no fluxo de material, isso cria um efeito de sincronização em toda a célula.

Figura 12: Divisão do Trabalho

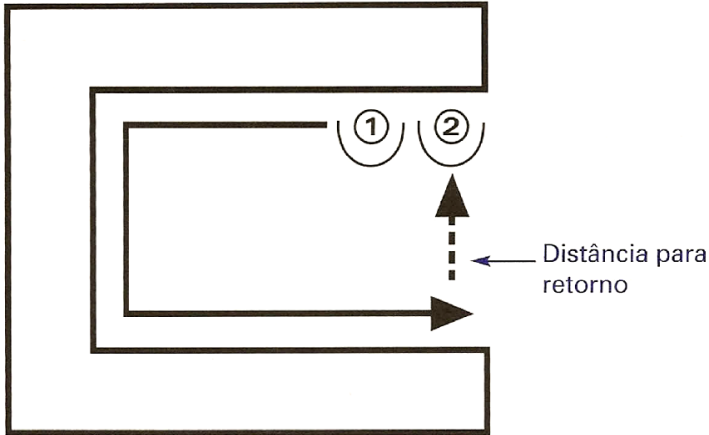


Fonte: Rother and Harris, 2002

Circuito: um operador realiza todos os elementos de trabalho, fazendo o circuito completo de uma célula no sentido do fluxo de material, e um segundo operador segue algumas estações atrás (Figura 13). Apresenta como uma de suas principais vantagens o fato de reduzir a distância para o operador iniciar o ciclo e torna o trabalho mais interessante. Como limitação pode-se ressaltar a dificuldade em coordenar mais de dois operadores e também o fato do sistema não funcionar se 40% do conteúdo do trabalho estiver em uma única estação. Além disso, os operadores devem ser muito bem treinados, pois eles são

responsáveis por todos os elementos de trabalho, seus controles e qualidade.

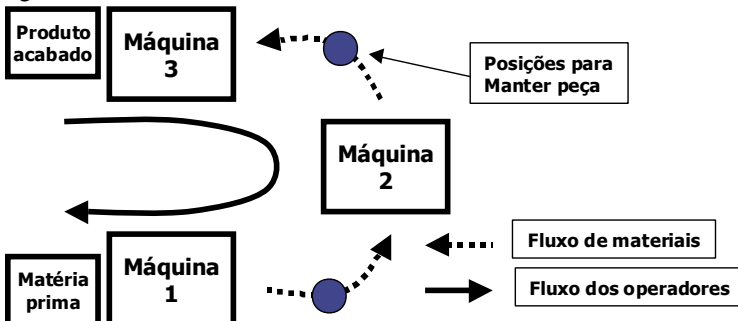
Figura 13: Circuito



Fonte: Rother and Harris, 2002

Fluxo reverso: reverter o sentido dos operadores em um circuito onde as peças exigem o uso de ambas as mãos é uma boa escolha quando as máquinas ainda não têm descarga automática das peças (Figura 14). Os operadores movem-se na direção oposta ao fluxo, então, começam na embalagem de produto acabado e trabalham até o ponto de início da célula. Este sistema exige que uma peça adicional seja mantida em espera entre cada duas operações do processo, mas as vantagens geralmente superam a manutenção deste desperdício.

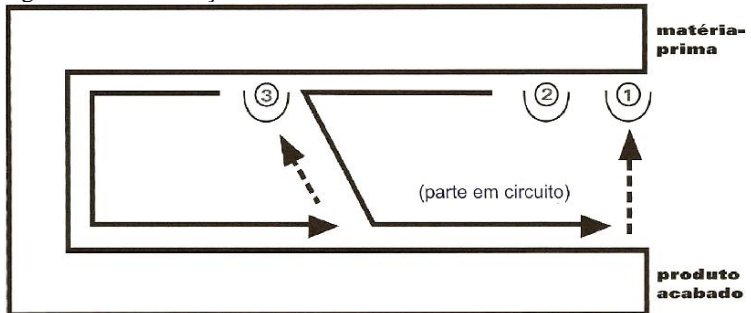
Figura 14: Fluxo Reverso



Fonte: Rother and Harris, 2002

Combinação: às vezes uma combinação entre dividir o trabalho e fluxo reverso faz mais sentido. Por exemplo, alguns operadores trabalham em estações específicas ou combinações de estações, enquanto um ou mais pares de operadores trabalham em circuitos ou fluxos reversos em outras partes da célula (Figura 15).

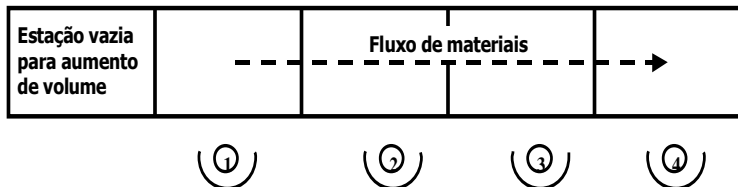
Figura 15: Combinação



Fonte: Rother and Harris, 2002

Um operador por estação: Alguns processos envolvem somente trabalho manual com equipamentos não automáticos. Nesta situação, o número de estações de trabalho pode ser o mesmo que o número de operadores (Figura 16). A atribuição de elementos é fácil, mas será difícil balancear igualmente o trabalho e utilizar plenamente os operadores. Uma esteira ajuda a manter o fluxo contínuo e impede o retorno do lote.

Figura 16: Um operador por estação.



Fonte: Rother and Harris, 2002

Pode-se citar ainda uma variante da distribuição das atividades ao operador, conhecido na indústria como “entre-ajuda” - a divisão de um elemento de trabalho entre dois operadores - que serve como nivelador da carga de trabalho. Esta variante pode ser utilizada para os métodos

“dividir o trabalho” e “fluxo reverso”, e funciona da seguinte forma: existe um elemento de trabalho identificado como elemento de “entre-ajuda”, então o primeiro operador fará os seus elementos de trabalho e ao chegar ao elemento de entre-ajuda, vai observar se o operador subsequente está à espera para realizar este elemento. Se estiver, repassa a responsabilidade de execução ao próximo operador, caso contrário, executa o trabalho.

2.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Como a proposta desta dissertação é avaliar o processo sem a necessidade da implantação física do processo em sua versão final, então é necessário que seja descrito como avaliar este processo. Segundo Corrêa e Corrêa (2009), a medição de desempenho pode ser definida como o processo de quantificação da eficiência e eficácia das ações tomadas por uma operação. Então a medição aqui proposta visa avaliar a eficiência e eficácia no projeto de novas células utilizando a ferramenta *mockup* em relação às linhas tradicionais de manufatura.

Ainda segundo Corrêa e Corrêa (2009), uma boa medida de desempenho deve ter os seguintes critérios:

- Ser derivada da estratégia e alinhada com as prioridades competitivas da operação;
- Ser simples de entender e usar;
- Prover *feedback* em tempo, de forma precisa;
- Ser baseada em quantidades que possam ser influenciadas ou controladas pelo usuário, ou por ele em conjunto com outros;
- Refletir o processo de negócio envolvido, ou seja, o cliente e o fornecedor devem participar da definição;
- Referir-se a metas específicas;
- Ser relevante;
- Ter propósito específico e definido;
- Basear-se em fórmulas e bases de dados explícitos;
- Ser objetiva e não apenas opinativa;
- Ser mais global do que localizada.

Para Slack et al (2009), os objetivos de desempenho da produção em nível estratégico são definidos identificando os *stakeholders* da organização, formando um pano de fundo para a administração da

produção. Porém, se for considerado o nível operacional da produção, cinco objetivos básicos se aplicam a todos os tipos de operações produtivas.

2.4.1 Objetivo qualidade

Segundo Slack et al (2009), qualidade sob a abordagem de manufatura significa fabricar os componentes conforme as especificações do produto, que estes sejam confiáveis e a montagem tenha sido corretamente executada. Além disso, a qualidade está associada à imagem de uma empresa, e é através da qualidade dos produtos que os consumidores avaliam a empresa.

Além da imagem frente aos consumidores, a qualidade também influencia em outros objetivos, por exemplo, a falta de qualidade irá gerar perdas em custos por sucatas, pessoas para realizar retrabalhos, devoluções de produtos com custos em fretes, consertos em campo ou até mesmo processos por danos que podem elevar em muito os custos da não qualidade. Outro exemplo, a falta de qualidade pode afetar a pontualidade de entrega, visto que ao se detectar um problema de qualidade o produto não poderá ser entregue no prazo previsto.

Estes pontos levados em consideração demonstram que é fundamental utilizar os conceitos de qualidade na fonte durante o projeto de uma célula, bem como avaliar os ganhos financeiros provenientes das melhorias propostas.

2.4.2 Objetivo rapidez

A rapidez é a medição do tempo que o consumidor espera desde sua solicitação até receber seu produto. Slack et al (2009) explicam que a rapidez na entrega de bens e serviços enriquece a oferta, pois quanto mais rápido o bem estiver disponível para o consumidor, maior é a probabilidade de compra.

Uma operação mais rápida exige estoques menores, uma vez que o tempo de passagem dos materiais pela fábrica é reduzido e isso irá reduzir os custos com manutenção e movimentação destes estoques. Além disso, os riscos são reduzidos, visto que as previsões que orientam a produção são tomadas para o curto prazo.

2.4.3 Objetivo pontualidade

Pode-se dizer que a pontualidade é o indicador de que a empresa cumprirá suas promessas aos clientes. Slack et al (2009) comentam que a pontualidade só pode ser avaliada após a entrega de um produto ou serviço. Porém, com o decorrer do tempo, a pontualidade passa a ser um critério decisivo, visto que afeta a imagem da empresa.

A falta de pontualidade dos processos pode ser uma importante fonte de desperdícios, visto que pode gerar fretes especiais de entrega e, no caso da indústria, a manutenção de estoques mais elevados para garantir a continuidade de operação, mesmo com os atrasos de entrega.

2.4.4 Objetivo flexibilidade

Para Slack e Lewis (2008), uma operação é mais flexível que outra se consegue fazer mais coisas, exibindo uma variedade de habilidades que lhe permitem adotar diferentes estados e elenca quatro tipos de exigência:

- Flexibilidade de produto ou serviço: habilidade de introduzir e produzir novos produtos e serviços ou modificar os existentes;
- Flexibilidade de *mix*: habilidade de mudar a variedade de produtos ou serviços que estão sendo fabricados ou prestados em um dado período de tempo;
- Flexibilidade de volume: habilidade de alterar os níveis de quantidade da operação;
- Flexibilidade de entrega: habilidade de mudar datas de entrega planejadas ou assumidas.

A flexibilidade permite rapidez na resposta, uma vez que a troca rápida entre modelos em fabricação permite a produção de lotes pequenos e adequados à condição do cliente.

2.4.5 Objetivo custo

Certamente a lucratividade de uma empresa é a razão de sua existência, uma vez que os acionistas que estão investindo esperam o retorno de seu capital. Mesmo para os casos onde a organização é sem fins lucrativos, o controle de custos é fundamental para mantê-la.

No caso do projeto de células, o objetivo custo visa identificar quais são as fontes de custos e reduzi-las, de forma a ter uma operação com o menor custo possível. Segundo Slack et al (2009) e Corrêa e Corrêa (2009), os custos envolvidos na produção podem ser:

- Custos de funcionários: diretos, indiretos, horas extras;
- Custos de instalações, tecnologia e equipamentos;
- Custos de materiais consumidos na operação;
- Custos referentes à falta de qualidade: refugos, reparos, viagens a clientes, fretes, etc;
- Custos de manutenção de estoques;
- Despesas administrativas, entre outros.

Os custos também são a fonte para a análise de viabilidade financeira, então é importante que não sejam nem subestimados nem superestimados.

3 MÉTODO PROPOSTO

Este capítulo tem por objetivo apresentar um método para a utilização de protótipos de processos de fabricação, também conhecidos como *mockup*, para auxiliar o projeto de células de montagem de bens duráveis manufaturados e seus componentes, como são os aparelhos eletrodomésticos, embora não restrito a esta aplicação.

O objetivo dessa ferramenta é permitir a avaliação prévia detalhada dos resultados da implantação de células flexíveis de montagem, sem realizá-la de fato, utilizando protótipos de processo em tamanho real, para simular as operações e determinar os benefícios e ônus desse novo modelo de produção.

Por outro lado, esta dissertação não tem como objetivo abordar o projeto de célula como um todo, então, com intuito de delimitar o trabalho, em lugar de um projeto de célula completo, o uso da ferramenta *mockup* foi apresentada em um projeto para transformar uma linha de montagem em uma célula, sem abordar algumas questões no projeto de célula, como a definição de sequência de manufatura ou a definição de equipamentos, por exemplo.

Para facilitar o entendimento do uso da ferramenta *mockup* no projeto de célula, é importante que haja uma estruturação mostrando como a ferramenta se insere neste contexto e quais outras atividades são necessárias para a sua aplicação. Os requisitos utilizados ao estruturar o uso do método são:

- Simplicidade e facilidade de implantação;
- Apresentar uma visão sistêmica do processo de utilização da ferramenta na transformação de manufatura;
- Ser amplamente aplicável, de forma que possa ser aplicado nos mais diversos processos e em qualquer empresa de manufatura de bens duráveis;
- Permitir uma avaliação crível de resultados, de forma a aumentar a confiança de investidores sobre a viabilidade de implantação do projeto;
- Garantir a documentação de todas as fases para que o modelo possa ser concretizado na implantação física do processo.

A estrutura para a utilização do modelo, que pode ser visualizada no Quadro 3, divide-se em quatro fases principais: diagnóstico (item 3.1), planeamento e preparação (item 3.2), construção do *mockup* (item 3.3) e avaliação dos resultados e análise de desempenho (item 3.4). Esta estrutura foi construída pelo autor, que se baseou na fundamentação teórica e nas práticas observadas em campo. Desta forma pode-se observar uma conjugação de aspectos técnicos teóricos e práticos, provendo uma solução que possa ser utilizada pela indústria, mas que tem fundamentação académica.

Quadro 3: Fases e subfases do método para utilização do *mockup*



Fonte: dados de pesquisa do autor.

As fases e subfases que formam a espinha dorsal do método para a utilização do *mockup* estão detalhadas a seguir. Cabe ressaltar que ao utilizar esta ferramenta é fundamental o registro de informações em todas as etapas, para fins de implantação futura ou de utilização em outros projetos que tenham a mesma finalidade.

3.1 ANÁLISE DO PROBLEMA

A fase de análise do problema tem dois objetivos: O primeiro é entender quais são as características de um processo para que seja possível a aplicação do método proposto. Esta etapa foi chamada de diagnóstico de aplicabilidade. O segundo é entender a situação atual deste processo. Quais dados são importantes para comparar a situação atual com a situação proposta, e algumas recomendações de como obter estes dados, descritos no item 3.1.2 - Análise da situação atual.

Complementando, a fase de análise do problema não tem a função de selecionar um local para aplicar a ferramenta, mas, a partir de uma demanda pela alteração de um processo existente, avaliar a aplicabilidade do *mockup* e condições iniciais.

3.1.1 Diagnóstico de aplicabilidade

Para utilizar o método proposto é importante realizar uma análise prévia do local onde se pretende utilizá-la. Não com o intuito de descartar a utilização da ferramenta, mas sim para identificar a real necessidade de sua utilização e, em alguns casos, o nível de dificuldade. Para isso devem ser respondidas algumas questões a respeito do ambiente onde o método for aplicado.

Qual é a complexidade da mudança a ser realizada? Se ela for muito simples, é possível que não seja necessário fazer um *mockup* completo para simular o processo futuro. Talvez seja possível realizar os testes na própria linha de montagem, com pequenas adaptações. Quanto mais complexa a mudança, maior é a necessidade de utilizar o *mockup* para determinar a área requerida, as dimensões dos equipamentos, os acessos e a operação dos equipamentos, mas principalmente com o objetivo de tornar a mudança mais simples.

Há uso de mão de obra intensiva no processo produtivo? Segundo Angelo (2011), devido à utilização intensiva da mão de obra, grande parte dos custos de transformação do produto advém da produtividade dessa força de trabalho. Quanto mais intensiva for a utilização de mão de obra, maior será a necessidade do *mockup* para dimensionar e otimizar a utilização dela.

Qual é o nível de automação da linha a ser transformada? Quanto maior ele for, mais difícil será transformá-lo em um processo no qual as pessoas sejam responsáveis pela conexão entre os equipamentos e, no caso de automação ao nível máximo, é totalmente desnecessário o uso do *mockup* para simular a operação.

Que nível de flexibilidade e velocidade de resposta ao mercado este fluxo exige? A necessidade de utilizar o *mockup* na transformação de linhas em células é maior em fluxos produtivos que precisam de alta flexibilidade de produção e resposta rápida ao mercado, pois na fase de simulação podem-se determinar as posições de materiais e ferramentas para processar diferentes produtos e adaptar o processo produtivo e quantidade de mão de obra para diferentes valores de tempo *takt*.

Existe cultura de melhoria contínua na organização? Não é obrigatoriamente necessário, mas é prudente, que a cultura da organização esteja alinhada com a cultura de melhoria contínua, característica da manufatura enxuta, para que os efeitos causados por essa transformação sejam positivos, com pessoas que estejam motivadas em tornar seus processos cada vez melhores. Em um ambiente de desconfiança com o futuro de seus trabalhos, as pessoas tendem a buscar empecilhos para a mudança e, em casos extremos, boicotar o processo. Para que esse ambiente não seja um risco para o processo, ele deve passar por uma avaliação, que deve nortear a intensidade do esforço na preparação do ambiente.

Qual é o grau de conhecimento em conceitos de manufatura enxuta das pessoas envolvidas no processo? Este também não é entrave para a utilização da ferramenta, mas precisa ser trabalhado de forma que os envolvidos conheçam os conceitos de manufatura enxuta que estão sendo propostos.

Qual é o nível de organização do local de trabalho? É importante que a cultura do 5S esteja difundida entre os operadores, mantendo ambientes organizados e com controles visuais que facilitem o dia a dia na manufatura.

A liderança está preparada para conduzir um processo de gestão da mudança? A liderança da área precisa estar preparada para suportar esse processo de mudança, que demanda muita comunicação e confiança por parte da equipe, conduzindo um processo transparente de mudança,

possibilitando às pessoas participação nas decisões e mantendo sua palavra de evitar demissões.

Como resultado secundário, este diagnóstico ajudará a determinar o nível de maturidade da empresa nos conceitos de manufatura enxuta, sem a determinação quantitativa desta evolução, mas baseada na avaliação qualitativa, respondendo se a empresa está preparada para aderir a um método estruturado para o planejamento, projeto e implantação de um sistema de fabricação baseado nos conceitos de manufatura enxuta.

3.1.2 Análise da situação atual

Partindo do princípio de que o local foi considerado apto para a utilização da ferramenta, inicia-se a análise da situação atual. Com o objetivo de ter um resumo gerencial sobre o processo completo que se está alterando, propõe-se que informações sobre o processo atual sejam coletadas.

Para auxiliar na definição de quais informações devem ser coletadas, é necessário que se abordem os cinco objetivos de desempenho da produção (Slack et al, 2009), qualidade, rapidez, pontualidade, flexibilidade e custo. Se possível, além da coleta dos dados atuais, tem grande valia a coleta de informações de referência, ou seja, quais os melhores resultados obtidos em processos semelhantes. O Quadro 4 exemplifica uma possível organização destas informações.

Quadro 4: Informações do processo produtivo

Objetivos, indicadores e metas do processo				
Objetivo	Indicador (unidade)	Atual	Referência	Objetivo
Qualidade	Índice de rejeição no cliente (PPM)			Reduzir
	Índice de rejeição interno (PPM)			Reduzir
	Índice de retrabalho (%)			Reduzir
Rapidez	Lead time de processo (min)			Reduzir
	Produção por hora (pçs/h)			Aumentar
	WIP - Estoque em processo (pçs)			Reduzir
Pontualidade	Disponibilidade (%)			Aumentar
	OTIF - On Time In Full (%)			Aumentar
Flexibilidade	Tempo de troca entre modelos (min)			Reduzir
	No. De variações para volume			Aumentar
Custo	Produtividade operacional (pçs/operador)			Aumentar
	Área ocupada (m2)			Reduzir
	Investimento (\$)			Reduzir

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Além das informações para comparar a situação atual com a futura, algumas delas são necessárias para a definição do novo processo. Por exemplo, para que seja possível definir qual será o ritmo de produção e flexibilidade da célula, é necessário ter informações sobre as diferentes configurações do produto, a previsão de vendas e as características da demanda, como tamanhos de lote de vendas e sazonalidade e, desta forma, determinar o tempo *takt* e o tamanho de lote de produção.

3.2 PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO

A fase de planejamento e preparação visa delimitar o trabalho, definir os objetivos a alcançar, planejar os recursos que serão necessários para a construção do *mockup* e preparar a equipe para executar a tarefa.

3.2.1 Definição do escopo e metas

É importante definir quais são as fronteiras do trabalho, ou seja, até onde será realizada a avaliação do processo e de que forma esse trabalho influencia ou é influenciado por outras atividades. A equipe deve definir estes limites. Como sugestão:

- **Fluxo de informações:** receber a necessidade de produção já sequenciada (plano fino de produção) e entregar o resultado da produção. Para que a equipe de planejamento da produção possa fazer um plano adequado, a equipe deve estabelecer que nível de flexibilidade de *mix* (capacidade de produzir pequenos lotes) e a flexibilidade de volume (capacidade de variar a taxa de produção) a linha é capaz de absorver;
- **Fluxo de materiais:** receber o material na saída do supermercado do almoxarifado e entregar o produto acabado na entrada do almoxarifado. Para dimensionamento das outras áreas, a equipe deve entregar a definição da frequência de passagem do abastecedor e o tamanho dos contentores;
- Atender a todos os requisitos de segurança, ergonomia, meio ambiente, qualidade e legais.

Para o gerenciamento do processo de construção do *mockup* é necessário o estabelecimento de metas (CAMPOS, 2004), compostas por no mínimo três partes: objetivo gerencial ou indicador, valor e prazo (CAMPOS, 2004). A definição das metas deve abranger o máximo de indicadores que são afetados na mudança. O quadro de informações de processo, proposto no Quadro 04 durante o diagnóstico da situação atual pode ser utilizado, incluindo as colunas de valor e prazo. Com base nos valores atuais dos indicadores, dos valores referência encontrados em processos semelhantes e da avaliação de pessoas experientes, é possível definir os valores objetivos para cada indicador.

3.2.2 Planejamento do projeto

O planejamento da construção do *mockup* envolve a definição de recursos, equipe e o detalhamento das atividades necessárias para executar a tarefa.

Como a atividade prevê a construção de um *mockup*, ou seja, uma maquete em tamanho natural (1:1) da célula a ser implantada, o local de realização deve ser amplo o bastante para comportá-lo e protegido de intempéries, pois será confeccionado utilizando materiais como papelão e madeira. Também é necessário um local para realização de treinamentos e apresentações. O ideal é que este espaço esteja no mesmo ambiente do *mockup* ou, caso não seja possível, deve-se usar uma sala o mais próximo possível do local da construção.

Está apresentada a seguir uma lista de materiais de apoio para a atividade. É uma sugestão. O responsável pode alterá-la de acordo com a disponibilidade dos materiais e da criatividade. Os materiais para a realização da atividade podem ser divididos em duas partes, materiais necessários para treinamentos e recursos específicos para a montagem do *mockup*.

Materiais necessários para treinamentos:

- Material de segurança (Óculos de segurança, protetor auricular, sapato adequado, roupa adequada, etc.);
- *Flipcharts*, marcadores, papel, câmera fotográfica, vídeo, monitores, papel colante (*post-it*) de várias cores, pincel para quadro branco e papel, fita adesiva, caneta, lápis, borracha, prancheta para anotações, etc.;

- Projetor, computador, cabos para extensão caso necessário;
- Carteiras ou mesas e cadeiras adequados a ergonomia individual e ao espaço físico;
- Material de apresentação dos conceitos (dinâmicas, apresentações, filmes, etc.).

Recursos específicos para a montagem do *mockup*:

- Placas de compensado de madeira;
- Isopor;
- Cartolina;
- Papelão em diversos formatos: caixas, placas e cantoneiras;
- Paletes de madeira;
- Tubos e conexões de PVC;
- Fitas adesivas e elementos de fixação (pregos, grampos, cola, etc.);
- Ferramentas para cortar esses materiais (serra, estilete, etc.);
- Ferramentas para fixar estes materiais (martelos, grampeadeiras, etc.);
- Caixas plásticas padronizadas ou materiais para confecção de caixas;
- Componentes fabricados ou montados no processo em questão (peças desmontadas, componentes pré-montados em suas diversas fases, produto final).

As quantidades de cada material devem ser determinadas durante o planejamento do trabalho, de acordo com uma previsão de necessidades. É importante ter uma forma rápida de obter mais material em caso de falta.

A quantidade de pessoas para participar deste tipo de atividade irá depender do porte da empresa, mas é importante contar com, no mínimo, um integrante da equipe operacional e um integrante da equipe técnica.

A composição dos membros da equipe deve ser obedecida a fim de facilitar a criatividade, a geração de ideias, e a análise crítica através dos pontos de vista diferenciados. É aconselhável que a equipe tenha:

- Pessoal operacional (Operadores, preparadores, supervisores, etc.);
- Pessoal técnico (Engenharia de produto, manutenção, qualidade, processo, etc.);
- Pessoal administrativo (Segurança, compras, gestão de pessoas, financeiro, etc.);
- Convidados de outras unidades ou externos (Clientes ou fornecedores).

Na composição da equipe é fundamental a presença de um integrante da segurança do trabalho, para que ele possa avaliar questões relativas à segurança e ergonomia dos postos de trabalho e a possibilidade de inclusão de pessoas com necessidades especiais.

Para garantir a presença de todos é importante negociar a liberação das pessoas com as lideranças e a convocação deve ser realizada com a antecedência adequada.

Deve ser planejada uma agenda para a realização das atividades para auxiliar a determinar em que momento quais informações e recursos são necessários, avaliar o andamento das atividades e realizar os devidos ajustes para que o prazo determinado seja atendido. No Apêndice A - Detalhamento das 3 semanas de Atividades do *Lean Line Design* - existe uma sugestão de agenda para a realização da atividade. Esta deve ser adaptada dependendo do tamanho do processo que está sendo proposto e da experiência dos membros do grupo.

Por fim, é importante providenciar uma apresentação com os dados da atividade, por que ela será realizada. Quais são as metas e fronteiras do trabalho e que informações já estão disponíveis. E outra apresentação com conceitos para treinar a equipe nas diversas ferramentas de manufatura enxuta que serão utilizadas. Segue abaixo sugestão de tópicos a serem abordados:

- Os cinco princípios da manufatura enxuta;
- A importância do projeto de célula na manufatura enxuta;
- Reconhecer o desperdício em processos produtivos;
- Análise quantitativa da demanda, tendência e sazonalidade e seus impactos no projeto de célula e no tempo *takt*;

- Conceito de linha e tipos de arranjo físico;
- Níveis de automação;
- Dimensionamento da mão de obra;
- Outras ferramentas enxutas que possam ser necessárias.

Este treinamento deve ser realizado no primeiro dia de trabalho e pode contar com o auxílio de dinâmicas e filmes.

3.2.3 Preparação da equipe

A equipe formada para esta atividade difere em conhecimento sobre o processo produtivo. Tem nível diferente de acesso a informações. Pode conhecer ou não os conceitos de manufatura enxuta que serão explorados e, na maioria dos casos, os membros não se conhecem.

Portanto, é necessário prover o alinhamento desta equipe e, para isso, os trabalhos iniciam com a apresentação dos participantes, explicação sobre o que é a atividade e porque ela precisa ser realizada, mostradas as metas e fronteiras do trabalho. Então é apresentada a agenda de trabalho e solicitado o comprometimento para o cumprimento dela. Também é informado que diariamente tem um encerramento para avaliar o resultado do dia e possíveis pontos de melhoria. Neste momento apresentar-se os conceitos utilizados.

Para facilitar o entendimento destes conceitos é aconselhável utilizar uma dinâmica que explore conceitos de organização de processos, criação de fluxo, sistema puxado e trabalho padronizado. Esta dinâmica tem como efeito secundário a integração da equipe.

Para finalizar o nivelamento de informações são apresentados os dados prévios coletados. Informações sobre o produto, previsões de demanda, custos, qualidade, *setup*, manutenção, entre outros, são apresentados para toda a equipe.

3.3 CONSTRUÇÃO DO *MOCKUP*

A fase de construção do *mockup* inicia-se com a definição das características da célula, necessário para iniciar a construção dos postos de trabalho e o bordo de linha da célula. Com a célula construída, são

realizados testes e ajustes enquanto é determinado e descrito o trabalho padronizado da célula.

3.3.1 Definição das características da célula

Definir quais características a célula deve ter e obter informações que permitam dimensionar e especificar este arranjo.

Para iniciar o processo de dimensionamento, é importante conhecer as características de demanda de produtos para esta célula. Com a demanda, é possível determinar o tempo *takt* da célula e o nível de flexibilidade de volume, ou seja, para quais variações de tempo *takt* a célula deve ser preparada. Também é possível verificar quais são os produtos e suas famílias, permitindo avaliar a flexibilidade de *mix*, ou seja, para quais variações de produtos a célula precisa estar preparada.

Ao analisar a demanda, o grupo deve ter a seu dispor informações históricas sobre o processo, bem como previsões que ajudam a observar se esse comportamento tende a permanecer inalterado ou se estão previstas mudanças no perfil de demanda. Esta avaliação tem o objetivo de determinar a flexibilidade necessária ao novo processo produtivo.

Se a decisão for por utilizar uma política mista de capacidade, quando a célula for projetada, é necessário preparar cenários para responder às mudanças de demanda. Para isso, na fase de definição do trabalho padronizado devem ser feitos diversos Gráficos de Balanceamento Operacional (GBO) para diferentes números de operadores, de acordo com a flexibilidade desejada. Porém, para aumentar o volume de produção, em alguns casos, necessita-se também de um maior número de máquinas e equipamentos. Por isso, na fase de construção do *mockup*, recomenda-se definir máquinas simples, a fim de obter mais flexibilidade (SANDRAS JR., 2010).

Entretanto, no caso de um grande incremento na demanda, pode-se fazer necessária uma nova célula. É importante lembrar que os tempos *takt* definidos devem ficar dentro dos níveis considerados ideais, ou seja, entre 10 e 120 segundos (ROTHER e HARRIS, 2002).

Se a definição do tempo *takt* indicar a possibilidade de ter mais que uma célula de produção, a análise da demanda dos produtos pode

ajudar a definir qual produto pode ser fabricado em cada célula e qual a flexibilidade estimada.

Em se tratando da definição da sequência de montagem, como o ponto de partida é a pré-existência de um processo já estabelecido, é possível utilizar a sequência atual de montagem como base. Mas é importante fazer uma avaliação das possíveis variações desta sequência. Para isso, um grupo pode fazer a desmontagem de alguns produtos e anotar quais são as possibilidades. Elas devem ser simuladas durante a construção do *mockup*, para avaliar possibilidades de aproximar atividades, facilitar o trabalho padronizado ou melhorar a qualidade final do produto.

O nível de automação de uma célula depende de uma série de fatores. O primeiro deles é a necessidade de flexibilidade decorrente da análise de demanda. Se houver necessidade de alta flexibilidade, o nível de automação deve tender ao 2º, na tabela de níveis de automação apresentados no capítulo anterior. Um segundo fator que afeta o nível de automação é o tamanho dos componentes a serem processados. Se os componentes exigem a utilização de ambas as mãos para manuseio, o nível ideal de automação é o 3º pois prevê que as máquinas serão descarregadas automaticamente, evitando assim o excesso de movimentação dos operadores.

Mas, um fator determinante para a definição do nível de automação é a existência prévia da maior parte dos equipamentos, que devem ser avaliados para que seja possível a sua utilização.

De qualquer forma, é preciso evitar a utilização dos níveis de automação 1, 4 e 5. O primeiro porque fixa o operador no equipamento e os dois seguintes porque exigem alto investimento de capital, requerem uma alta complexidade técnica e em geral são menos flexíveis. Caso os níveis 4 e 5 de automação sejam exigidos por questões técnicas ou devido aos equipamentos já existirem e não ser viável a sua eliminação, esses trechos devem ser isolados da célula, ficando em um adendo automatizado (COIMBRA, 2009).

No momento da seleção dos equipamentos aproveitáveis na célula, algumas premissas devem ser adotadas, para não sair do conceito de criar uma célula enxuta e flexível:

- Selecionar equipamentos pequenos, simples e dedicados, ao invés de grandes, complexos e multitarefas. Isso torna a célula facilmente adaptável ao tempo *takt*. A simplicidade dos equipamentos possibilita que tenham dimensões menores, assim o arranjo físico será mais enxuto, com melhor aproveitamento de área e evita a formação de “ilhas isoladas” no processo;
- Implantar dispositivos de troca rápida, com tempos menores que o tempo *takt*. Duplique os dispositivos onde a troca rápida não for possível;
- Incorporar sensores para sinalizar condições anormais de trabalho e ainda, se for necessário, parada automática para as máquinas;
- Levar em consideração a confiabilidade dos equipamentos e sua facilidade de manutenção, para obter altos índices de disponibilidade.

De acordo com a prática industrial de grandes empresas, para garantir que o tempo *takt* seja cumprido, cada máquina deve ser capaz de completar seu ciclo para cada peça, contemplando a carga da máquina, o processamento da peça e a descarga da máquina, em tempo aproximadamente 20% a 30% menor que o tempo *takt* da célula, para assegurar que o operador não tenha que esperar a máquina encerrar seu ciclo. Caso a máquina não atenda ao requisito de operar 20% mais rápido que o tempo *takt*, instale duas máquinas e alterne entre elas em cada ciclo.

3.3.2 Construção dos postos de trabalho e bordo de linha

A construção do *mockup* é certamente a etapa mais importante de todo o processo, pois nela estará baseada a maioria das análises. O objetivo do *mockup* é simular as operações manuais a fim de avaliar a possibilidade de execução das operações, testar as soluções de eliminação dos desperdícios, analisar a fundo a movimentação do operador, validar os movimentos e mensurar os tempos operacionais. Por isso, o *mockup* é feito em tamanho 1:1, para facilitar a visualização e simular a operação para melhor definir a disposição das estações de trabalho, dos dispositivos, ferramentas, instrumentos de medição e do bordo de linha.

Além disso, o *mockup* serve para definir a forma de abastecimento dos componentes, que tamanho de caixa deve ser utilizado para cada componente, como é a puxada dos componentes, em que ponto o abastecedor tem que abastecer o material, quanto tempo de estoque estará disponível e em quanto tempo devem ser realizados reabastecimentos.

Como resultado final do *mockup*, deve-se ter definido o trabalho padronizado de cada elemento, em termos de descrição da atividade, sequência, tempo de operação e resultado esperado da operação. Com estas informações será possível definir o número de operadores para cada faixa de tempo *takt* calculado e a distribuição de atividades de cada operador, assim como avaliar a ergonomia dos postos.

Seguem abaixo, algumas regras básicas para a construção do *mockup*:

- Fazer de modo simples;
- Utilizar materiais de fácil moldagem (cartão, papelão, madeira, isopor, plásticos);
- Fazer maquetes na escala 1:1, para poder simular as operações manuais.

A construção do *mockup* acontece de forma incremental, onde a cada etapa será estabelecido um novo nível de refinamento. É necessário reforçar para toda a equipe que redobre os cuidados com segurança, pois para este trabalho será necessário realizar cortes com serras e estiletes. Em um primeiro momento, a construção do *mockup* consiste em fazer bancadas onde posteriormente serão simulados os postos de trabalho. Para fazer esta atividade podem ser utilizados paletes e chapas de madeira ou papelão. A primeira definição necessária é a altura da bancada, que deve ter entre 80 cm e 90 cm, pois conforme mencionado no capítulo 2, a altura ergonômica de trabalho em células de manufatura para operação em pé é de 80 cm a 110 cm, altura que será atingida com o detalhamento de dispositivos de montagem.

Após a primeira etapa de construção, onde o resultado são as bancadas de trabalho onde será realizada a simulação, inicia-se o detalhamento do posto de trabalho. Nessa etapa é muito importante que a equipe responsável pela construção do *mockup* leve em conta todas as orientações expostas no item 2.3.5, que versa sobre como organizar o

processo físico para o arranjo celular. Nesta fase a principal orientação é planejar a disposição dos equipamentos em um *layout* em U e considerando que apenas um operador irá trabalhar em todos os postos da célula, independente desta ser uma situação real ou não, pois dessa forma serão eliminados todos os obstáculos para o deslocamento do operador, garantindo que as operações estejam dispostas de forma a facilitar o trabalho padronizado.

Para esse primeiro momento, será considerado que as máquinas que integram o *mockup* são as mesmas atualmente utilizadas na linha de montagem, mudando a alimentação e descarga do equipamento, que se dará no mesmo local ou no local imediatamente ao lado. É importante construir o bordo de linha, definindo os pontos de entrada de materiais, garantindo que o *mockup* simule a condição real de trabalho do operador no posto. Deve-se avaliar se é necessário e possível realizar a descarga automática de peças das máquinas. Geralmente essa extração é necessária quando o trabalho exige que a peça a ser alimentada seja manuseada com ambas as mãos, assim o ponto de abastecimento vai estar livre para receber a próxima peça, economizando movimentos do operador.

Na terceira etapa, uma equipe deve avaliar questões de qualidade, construir formas de simular os dispositivos a prova de erros, como acesso somente ao componente que está em montagem para evitar misturas, e meios de medição.

Após esta etapa, é o momento de simular a operação e realizar todo o tipo de melhoria detectada na simulação. Este é o ponto alto do método, onde os maiores benefícios são alcançados. Nesse momento, toda a equipe deve estar reunida em torno da simulação, observando cada detalhe, sugerindo e testando alterações na sequência de montagem, aproximando equipamentos e ferramentas aos seus locais de uso, posicionando melhor os componentes para adequá-los à pega, incluir ou remover operações, dentre outras melhorias, tudo com o objetivo de obter a sequência de produção e tornar os postos de trabalho o mais conveniente possível ao operador.

Com todos os equipamentos determinados, os materiais dispostos e as operações definidas, chega o momento de analisar minuciosamente os requisitos de ergonomia e segurança, construindo proteções das partes móveis que possam oferecer risco às pessoas, pois na simulação

final elas podem influenciar na operação. Para essa atividade é fundamental a participação da equipe técnica de segurança do trabalho e acompanhamento dela, para possíveis ajustes.

Não faz parte deste trabalho definir os equipamentos que serão utilizados no processo produtivo definitivo, mas o uso da ferramenta exige que sejam descritas as características que cada equipamento precisa ter para assegurar que os resultados obtidos nas simulações sejam similares aos resultados reais do processo implantado. Para isso, a equipe deve preencher o descritivo de equipamentos, como exposto no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5: Formulário da relação de postos de trabalho com observações e alterações necessárias (exemplo).

Postos de trabalho - Observações / Alterações						
Tempo ciclo alvo (máx.)		30 segundos				
Tempo troca de modelo alvo		30 segundos				
Posto de trabalho	Observações sobre tempo ciclo	Tempo ciclo estimado (s)	Observações sobre tempo de troca de modelo	Tempo troca de modelo estim. (s)	Observações sobre qualidade na fonte	Observações sobre segurança e ergonomia
Pré-Montagem do Pistão	Usar adesivo UV e estufa UV para agilizar a cura do adesivo	9	Sistema de fixação rápida para as ferramentas. Ajuste automático de altura do pino (batente mecânico na ferramenta).	20	Tomar cuidado com os parâmetros: - Força de inserção fora do especificado (Cota L fora do especificado) - Sinal de choque e trincas - Posição e quantidade de adesivo fora do especificado (Olhal menor trancado) - Sem cura no adesivo	Colocar barreira ótica na prensa de inserção do pino

Fonte: dados de pesquisa do autor.

3.3.3 Simulação e Trabalho Padronizado

Após todos os postos definidos, pode-se então partir para o levantamento dos elementos de trabalho e dos tempos para cada elemento de trabalho, utilizando a folha de observação de tempos (Quadro 6), com o objetivo de montar o Gráfico de Balanceamento Operacional – GBO – utilizando diferentes números de operadores, de forma a absorver as variações de tempo *takt* que foram determinadas anteriormente, seguindo as orientações do capítulo 2, item 2.3.7. Nesse

momento, a simulação das atividades é fundamental para ajustar a célula de modo a melhorar o trabalho padronizado.

Inicia-se preenchendo a descrição de todos os elementos de trabalho. É recomendável revisar a lista com os operadores para certificar que nada foi esquecido.

Quadro 6: Folha de observação de tempos

FOLHA DE OBSERVAÇÃO DE TEMPOS											
Processo:		Observador:					Data:		Página:		
Etapa	Elemento de Trabalho	Tempo observado							Menor Repetido	Máquina: Tempo de Ciclo	Observações:

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Após esta etapa deve ser realizado o ajuste fino dos postos de trabalho e o levantamento dos tempos de cada um dos elementos de trabalho. Para isso, deve-se simular repetidamente a atividade no posto de trabalho. A primeira orientação é que a simulação da operação seja realizada dois ou três operadores experientes e estes devem ser orientados para operar em uma velocidade normal (geralmente o operador tende a operar de forma acelerada), pois desta forma há uma maior similaridade da simulação com a realidade na operação do dia a dia.

Além disso, a operação deve ser repetida de forma que se obtenha sugestões de melhoria para o posto de trabalho. Os tempos dos elementos de trabalho devem ser obtidos após a realização de simulações para aperfeiçoar o trabalho padronizado nas estações de trabalho da célula, pois desta forma os desperdícios mais evidentes, que são os pontos onde não se tem agregação de valor, já foram eliminados ou reduzidos no processo.

Para finalizar o trabalho padronizado, a equipe precisa preencher a folha de balanceamento de tempos, assim poderá ter uma ideia de como ficará a distribuição das atividades de acordo com o número de operadores. Depois de selecionados os cenários de números de

operadores, são necessários refinar os tempos e incluir na folha de balanceamento os tempos as caminhadas de retorno de cada operador ao seu posto inicial.

3.4 AVALIAÇÃO DE RESULTADOS E ANÁLISE DE DESEMPENHO

A avaliação dos resultados e análise de desempenho consiste em fazer uma avaliação dos resultados esperados para cada indicador proposto, na fase de diagnóstico da situação atual, visando obter uma expectativa o mais confiável possível. Com base nestes dados podem ser utilizadas ferramentas para analisar o desempenho da nova célula, que auxiliem a tomada de decisão para a continuidade do projeto.

Como ainda não existe um processo implantado, onde os resultados reais possam ser avaliados, a avaliação dos resultados, neste caso, é uma análise aprofundada das novas características do processo e qual será o impacto delas nos resultados do processo futuro. Por ser uma avaliação subjetiva, esta dependerá da qualificação técnica dos avaliadores, por isso é importante que ela seja realizada por profissionais experientes.

Quadro 7: Avaliação das melhorias por indicador e o detalhamento dos impactos nos resultados do indicador.

Avaliação das melhorias por indicador			
Indicador (unidade)	Situação atual	Impacto	Expectativa
Índice de rejeição no cliente (PPM)	54	-34	20
Detalhamento dos impactos no indicador			
Característica alterada	Impacto	Observação	
Implantação de pokayoke na operação de nivelamento	-2	O pokayoke elimina rejeito por ruído de contato	
Implantação de pokayoke na altura de inserção do pino do pistão	-1	O pokayoke elimina o rejeito por desgaste do cilindro	
Outras 37 características alteradas	-31	Apenas duas foram exibidas a título de exemplo	

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Para que essa avaliação seja mais bem estruturada e possa ser rastreada futuramente, é importante que seja realizado o registro das características que forem alteradas e sua influência no resultado futuro. O uso do Quadro 7 é indicado para esta atividade.

Após a avaliação de todos os indicadores, estes valores devem ser transferidos para o Quadro 8, que resume os resultados esperados para cada um dos indicadores. Note que ele mostra os mesmos indicadores apresentados no quadro da fase de diagnóstico da situação atual, então, da mesma forma, a equipe deve decidir quais indicadores avaliar.

Quadro 8: Resumo dos resultados esperados com o novo processo

Objetivos, indicadores e metas do processo				
Objetivo	Indicador (unidade)	Atual	Expect.	% melhor
Qualidade	Índice de rejeição no cliente (PPM)			
	Índice de rejeição interno (PPM)			
	Índice de retrabalho (%)			
Rapidez	Lead time de processo (min)			
	Produção por hora (pçs/h)			
	WIP - Estoque em processo (pçs)			
Pontualidade	Disponibilidade (%)			
	OTIF - On Time In Full (%)			
Flexibilidade	Tempo de troca entre modelos (min)			
	No. De variações para volume			
Custo	Produtividade operacional (pçs/operador)			
	Área ocupada (m2)			
	Investimento (\$)			

Fonte: dados de pesquisa do autor.

3.5 COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A FERRAMENTA

O Capítulo 3 teve por objetivo apresentar uma proposta de utilização da ferramenta *mockup* para auxiliar no projeto de células de manufatura enxuta, visando obter uma avaliação prévia sobre o desempenho da futura célula. Para isso, o capítulo foi estruturado em quatro fases principais: análise do problema, planejamento e preparação, construção do *mockup* e avaliação dos resultados e análise de desempenho.

A análise do problema serve como forma de diagnóstico sobre a aplicabilidade da ferramenta *mockup*, que versa sobre as condições adequadas e a real necessidade de utilizar a ferramenta e também um

diagnóstico da situação atual, visando conhecer melhor a realidade do processo atual e estabelecer indicadores para conduzir o processo.

A fase de planejamento e preparação primeiramente delimita o problema e define as metas a serem alcançadas, depois visa planejar e preparar os recursos para a fase de construção do *mockup*, sejam eles materiais, equipamentos ou pessoas. A fase de planejamento e preparação é separada da fase de construção com o objetivo de antecipar toda a preparação dos recursos e garantir que os recursos estejam disponíveis e preparados para a execução.

Na construção do *mockup* são estabelecidas as características da célula em termos de tempo *takt*, variação de demanda, composição do produto, sequência de montagem e nível de automação da célula. Além disso, é realizada construção dos postos de trabalho, realizada em etapas, para que o nível de detalhamento seja refinado ao nível adequado, finalizando com a simulação da operação na célula e estabelecimento do trabalho padronizado, que não envolve apenas a definição da atividade em si, mas também como distribuí-la entre os operadores para diferentes níveis de demanda. Isso garante a flexibilidade necessária para os ajustes de acordo com a flutuação do mercado.

Por fim, é realizada a avaliação dos resultados, que tem como base a estimativa feita por profissionais experientes e a análise de desempenho, que precisa ser adequada para atender a cada condição de projeto e que não deve ser utilizada como única fonte para o processo decisório, mas como uma ferramenta auxiliar.

As células de manufatura geralmente são processos produtivos econômicos e simples, onde os produtos são fabricados com qualidade na fonte e as condições de trabalho são ergonomicamente melhores que os processos tradicionais. A ferramenta *mockup* é uma forma de estudar, simular, melhorar e avaliar o resultado do novo processo sem que a célula tenha que ser implantada e, dessa forma, é uma opção de baixo custo para auxiliar o processo decisório de investir.

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem por objetivos caracterizar a metodologia utilizada na pesquisa, bem como apresentar a empresa onde ela foi realizada e analisar o caso estudado.

O objetivo principal deste estudo de caso é entender os resultados práticos da utilização da ferramenta *mockup* em uma aplicação real na proposição de um novo processo de produção baseado na transformação da forma tradicional, além disso, entender quais são os indicadores utilizados para auxiliar na decisão de mudança de um processo produtivo.

Para isso, foi utilizada neste estudo de caso uma empresa de manufatura de bens de consumo duráveis, com mais de 40 anos de existência e que tem sua excelência operacional como um dos pilares fundamentais para a sobrevivência competitiva.

Como forma de preservar a confidencialidade das informações cedidas pela empresa pesquisada, ela foi referenciada apenas como “*Empresa*”.

Devido ao autor desta dissertação fazer parte do quadro de funcionários da *Empresa* pesquisada e por trabalhar por vários anos na equipe de melhoria contínua dela, os materiais disponíveis para o estudo de caso datam de estudos realizados no período de 2006 a 2013, formando uma base de conteúdo evolutivo.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A *Empresa* existe há 42 anos. Sua matriz está localizada na região norte do Estado de Santa Catarina e emprega cerca de dez mil funcionários, em seis países. Ela figura globalmente como líder na produção de compressores herméticos para refrigeração, comercializando seus produtos em mais de 80 países.

O mercado de compressores herméticos atendido pela *Empresa* pode ser dividido em três segmentos. O doméstico, que atende as montadoras de refrigeradores domésticos, geralmente de larga escala, é caracterizado por solicitações de grandes lotes. Outro segmento é o comercial, que atende as montadoras de refrigeradores comerciais,

geralmente produzidos em fábricas menores, e tem por característica trabalhar com lotes intermediários. E finalmente o segmento de pós-venda ou reposição, onde os clientes são distribuidores, que revendem os produtos para as redes de assistência técnica e oficinas de manutenção de refrigeradores. Neste último segmento, os distribuidores são utilizados para, entre outros motivos, aumentar o tamanho do lote, pois se o atendimento fosse direto, o lote solicitado se aproximaria do lote unitário.

Outra característica do mercado de refrigeradores atendido pela *Empresa* é a necessidade de obter alta eficiência energética. Para atender essa necessidade, a equipe de engenharia desenvolve compressores específicos para cada sistema de refrigeração, resultando em um grande número de modelos de compressores. Para agrupar esse grande número de compressores, foram criadas as famílias de compressores, que agregam os compressores por características construtivas que, no caso da *Empresa*, determinam a linha em que será montado o produto.

4.1.1 Manufatura enxuta na *Empresa*

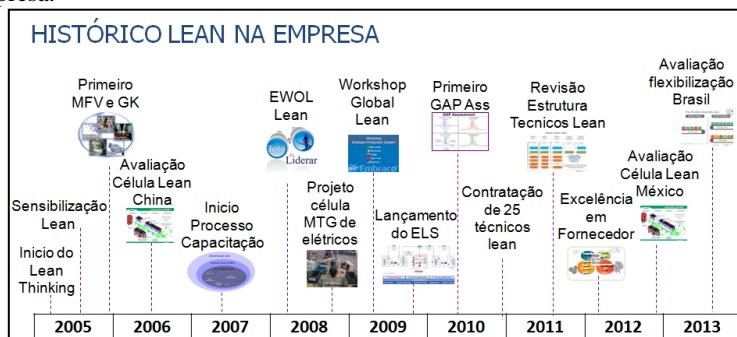
Desde a década de 90 a *Empresa* já possuía intrinsecamente a cultura de melhorar continuamente, mas no ano de 2005 resolveu organizar o processo de melhoria contínua utilizando os conceitos de manufatura enxuta, com o auxílio de consultoria externa.

Na Figura 17 é possível observar alguns marcos da implantação da manufatura enxuta na *Empresa*, ao longo desses anos. Em 2006, a *Empresa* fez sua primeira investida em avaliar a transformação de linhas em células de manufatura, com o objetivo de implantar um novo modelo de manufatura em uma nova linha a ser implantada em sua unidade chinesa, mas não somente com esse objetivo, como também treinar as equipes em uma nova forma de analisar e avaliar os processos de manufatura.

Após esta avaliação, várias outras iniciativas de transformação de linhas em células se deram em locais distintos da *Empresa*, como a de uma linha de montagem de elétricos em três células, no ano de 2009.

As experiências citadas aplicaram parcialmente o método proposto e formaram uma base sólida para a aplicação do método em sua forma completa.

Figura 17 – Marcos de evolução na implantação da manufatura enxuta na Empresa.



Fonte: dados de pesquisa do autor.

4.2 O CASO

A *Empresa* tinha em seu portfólio de projetos a transferência de uma linha de montagem de sua planta brasileira para a sua unidade mexicana. Devido ao volume de investimentos necessários para fazer a remoção da linha de montagem brasileira e reconfigurá-la em solo mexicano ser maior que a aquisição de uma nova linha, a decisão foi por manter a linha no Brasil e adequá-la para atender ao mercado de pós-venda.

O estudo de caso é uma avaliação da flexibilização da produção nas linhas de montagem da *Empresa* e visa demonstrar a aplicação do método proposto no Capítulo 3, para isso inicia analisando o problema, tratando da fase de planejamento e preparação, fundamental para a fase seguinte de construção do *mockup*. Foram avaliados os resultados e analisado o desempenho, onde foi demonstrado o real potencial do método proposto e, por fim, foram avaliados os fatores de sucesso.

4.2.1 A análise do problema

A fase de análise do problema ocorreu antes de iniciar o projeto, feito por duas pessoas. Na avaliação do diagnóstico de aplicabilidade foi utilizado um *check list*, produzido pela equipe a partir das orientações dispostas no item 3.1.1, conforme o Quadro 9, apresentado a seguir.

Quadro 9: Check list para diagnóstico de aplicabilidade

Check list diagnóstico de aplicabilidade		
Característica	Condição	Comentários
Complexidade	Sim	A linha conta com mais de 60 equipamentos e 40 postos de trabalho
Mão de obra intensiva	Parcial	Apesar de contar com mais de 40 operadores, o processo é bastante automatizado. Porém este fato é irrelevante pois o redesign do processo o tornará mais manual
Nível de automação	Parcial	Atualmente a linha conta com o nível 4 de automação, inadequado para o projeto de célula, mas o mesmo pode ser reduzido ao nível 2 e 3 eliminando a esteira transportadora
Necessidade de resposta rápida ao mercado	Sim	Atualmente o tamanho médio do lote de venda é menor que a metade do tamanho do lote de produção
Cultura de manufatura enxuta	Sim	A empresa já tem anos de experiência com a manufatura enxuta e o nível diretivo demonstra estar alinhado com as melhorias necessárias
Grau de conhecimento dos envolvidos	Parcial	A grande maioria da equipe já participou de kaizens ou treinamentos de lean, mas é importante que seja realizado treinamento específico sobre os conceitos abordados
Cultura dos 5S	Sim	A empresa mantém um programa de 5S a muito tempo, com avaliações periódicas. As pessoas mantêm o 5S, sem necessidades de preparação para a avaliação
Liderança preparada para mudanças	Sim	A empresa mantém um programa de capacitação das lideranças onde a gestão de mudanças organizacionais é abordada constantemente

Fonte: dados de pesquisa do autor.

A partir dos dados acima, a *Empresa* foi considerada como apta para aderir ao uso do método proposto.

Na sequência, foram definidos os indicadores de desempenho a serem acompanhados e levantados os valores atuais de cada indicador. O Quadro 10 apresenta esses indicadores, porém os valores foram intencionalmente excluídos por questões de confidencialidade.

Quadro 10: Indicadores utilizados no estudo de caso (valores confidenciais)

Objetivos, indicadores e metas do processo				
Objetivo	Indicador (unidade)	Atual	Referência	Meta
Segurança e Ergonomia	Dias de afastamento por acidentes (dias)			Reduzir
	% de postos ergonomicamente aprovados			Aumentar
Qualidade	Índice de rejeição no cliente (PPM)			Reduzir
	Índice de rejeição interno (PPM)			Reduzir
	% de CTQs sob controle			Aumentar
	Índice de retrabalho + falso alarme (%)			Reduzir
Rapidez	Índ. rejeição interno - fornecedores(PPM)			Reduzir
	Lead time de processo (min)			Reduzir
Pontualidade	WIP - Estoque em processo (pçs)			Reduzir
	OEE - Eficiência global do equipamento (%)			Aumentar
Flexibilidade	OTIF - On Time In Full (%)			Aumentar
	Tempo de troca entre modelos (min)			Reduzir
Custo	No. De variações para volume			Aumentar
	KOSU - Tempo de MO por peça (min/pç)			Reduzir
	Área ocupada (m ²)			Reduzir
	Investimento (\$)			Reduzir

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Os indicadores do estudo de caso são diferentes dos apresentados no método proposto, já que devem ser adaptados para a realidade de cada caso estudado.

4.2.2 Planejamento e preparação

Nesta fase o responsável, destacado pela *Empresa*, e um consultor externo foram os responsáveis pelo planejamento do trabalho. A dupla preocupou-se em definir o escopo do trabalho e, para esse estudo, determinou-se usar uma das linhas da unidade brasileira como base para o estudo:

Esta proposta tem como objetivo desenhar uma Célula Conceito de Montagem de Compressores, com base no *LEAN Thinking*, utilizando como referência a Linha EM3 da Planta Brasil.

(Fonte: dados de pesquisa do autor).

E qual seria a composição de macro atividades para alcançar este objetivo:

- Desenhar uma linha de Montagem de Compressores de acordo com os princípios *LEAN*:
 - “*Low Cost Automation*” - automatizar em 1º lugar o tempo máquina e tempo descarga;
 - *Jidoka* – Autocontrole da Qualidade e *Poka-Yoke*;
 - “*One Piece Flow*”;
 - “*Border of Line*” - Frontal, Pequenos Contentores e Sincronização via *Kanban/Junjo*;
 - *SETUP* zero - flexibilidade total na mudança de referências;
 - “*Standard Work*” dos operadores - Ergonomia e Redução de Movimentos;
 - Preparação para *TPM* e Manutenção Autônoma.
 - Construir *mockup* da Linha para testar os princípios;
 - Definir os tamanhos dos Módulos de Linha de Montagem;
 - Elaborar *Guide Lines* para *LEAN Line Design* de uma linha de montagem de compressores;
 - Definir os *Gates* de Validação para desenvolvimento de Projeto de uma Linha;
 - Apresentar a solução à Diretoria.
- (Fonte: dados de pesquisa do autor).

Conforme a orientação do item 3.1.2, a equipe definiu como fronteiras de atuação, no fluxo de informações, não trabalhar na programação, apenas orientar quanto à preferência da célula por produzir lotes entre 20 e 200 peças, com capacidade de variar a produção de acordo com a disponibilidade de mão de obra. Já no fluxo de materiais, a decisão foi atuar até o bordo de linha, não atuando na forma de abastecimento dos materiais neste bordo de linha.

Então foi definida uma proposta de programa de trabalho, a ser executada em três semanas, cada semana foi chamada de módulo e a programação de trabalho pode ser vista no Quadro 11.

Quadro 11: Programa de trabalho – Workshop *Lean Line Design* da Célula Conceito.

PROGRAMA DE TRABALHO
<p>MÓDULO I</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consensar os limites dos trabalhos; • Definir o Time Permanente e os temporários do Workshop; • Preparar o quadro PDCA do Workshop; • Alinhamento nos conceitos do LEAN Line Design; • Analisar a Estrutura de Produto para as diversas plataformas (EG; EM – América e Europa; F; VCC); • Levantamento de dados e informações: <ul style="list-style-type: none"> ○ Entender a Demanda e definir o Takt Time; ○ Definir os diversos cenários: Demandas; Necessidade de Nivelamento de Volume e Mix; ○ Estrutura do Produto x Seqüência de Montagem ○ Design da nova Montagem: <ul style="list-style-type: none"> • Conceber 7 alternativas de Montagem e das Transferências de material; • Selecionar 3 alternativas que atendam os critérios LEAN; • Desenhar o Processo, usando WCS - Work Combination Sheet; • Definir os materiais para elaboração dos mock-ups necessários.
<p>MÓDULO II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analisar do tamanho de Módulos de Linhas; • Iniciar a construção dos mock-ups da Linha Conceito: <ul style="list-style-type: none"> ○ Definir seqüência de montagem; ○ Simulação – Identificação necessidades de ferramentas e equipamentos e medição dos tempos unitários; • Terminar o Desenho do Processo; • Validar os mock-ups; • Elaborar lay out's; • Iniciar o FMEA.
<p>MÓDULO III</p> <ul style="list-style-type: none"> • Finalizar FMEA; • Definir os tamanhos dos Módulos; • Terminar o WCS para todas as referências; • Elaborar Guide Lines para LEAN Line Design da Linha de Montagem de Compressors; • Definir os Gates de Validação para desenvolvimento de Projeto de uma Linha; • Preencher o PDCA; • Apresentar o resultado final à Diretoria.

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Para a execução das atividades foi planejada a participação de quinze pessoas, entre Engenheiros, Técnicos da Área de Engenharia, Manufatura, Qualidade, Materiais, Manutenção e Segurança, mas como essa atividade também foi aproveitada como treinamento do corpo técnico da área de Pesquisa e Desenvolvimento, a equipe acabou contando com vinte e dois integrantes da *Empresa*, sendo onze da equipe de pesquisa e desenvolvimento, três da engenharia de manufatura, dois da engenharia de fábrica, dois operadores de montagem, um da manutenção, um de recursos humanos, um da segurança e um da qualidade.

Antes do início das atividades foi realizada uma reunião com os membros da equipe, para que algumas informações fossem levantadas:

- Histórico mensal de produção;
- Previsão de produção para o ano seguinte;
- Listas técnicas de alguns modelos de compressores;
- Lista de componentes;
- Tempos de ciclo das atividades automáticas e manuais da linha que serviu como base;
- *Layout* das linhas de montagem;
- Histórico de produção horária real e meta das linhas de montagem.

E também que alguns materiais fossem providenciados:

- Maderit na forma de placas;
- Isopor;
- Cartolina;
- Papelão nos formatos: caixas, placas e cantoneiras;
- Paletes de madeira;
- Tubos e conexões de PVC 1/2" ; 3/4" e 1";
- Fitas adesivas, elementos de fixação e ferramentas para cortar esses materiais.

As quantidades não foram determinadas, por isso faltaram alguns materiais, outros foram substituídos ao longo do trabalho, exigindo que uma das pessoas da equipe dedicasse uma boa parte do tempo na busca destes materiais.

Ainda na fase de planejamento foi criada uma agenda de trabalho que previa quais deveriam ser as atividades realizadas e essas foram detalhadas para determinar qual ferramenta utilizar, que materiais eram necessários, pontos de verificação e observações, conforme pode ser visto no Apêndice A - Detalhamento das 3 semanas de atividades do *Lean Line Design*.

A preparação da equipe foi feita no primeiro dia de encontro, através de um treinamento teórico para alinhar os conceitos e informações. Para sedimentar este conhecimento foi realizada uma dinâmica chamada “jogo das tomadas”, onde é montada uma fábrica de tomadas, de montagem muito simples, mas onde é possível explorar os conceitos de *layout*, trabalho padronizado, distribuição e balanceamento de atividades entre os operadores.

4.2.3 Construção do *mockup*

A primeira etapa desta fase, conforme proposto em 3.3.1, de definição das características da célula foi feita durante a apresentação dos conceitos, pois os exemplos de cálculo eram feitos utilizando os números reais, coletados previamente na fase de planejamento e preparação. Esta junção foi acertada, pois a equipe teve mais facilidade em entender os conceitos, visto que já estavam familiarizados com os exemplos, e as dúvidas durante o treinamento foram esclarecidas citando situações do dia a dia dos envolvidos. Todas as informações geradas eram descritas em folhas de *flip-chart* e fixadas nas paredes, assim a informação ficou disponível para ser utilizada a qualquer momento.

A fase de execução teve aderência com o planejamento, mas para isso foi realizada a divisão da equipe em vários momentos, fazendo com que mais de uma atividade fosse realizada ao mesmo tempo. Contudo foi importante que houvesse pessoas experientes na equipe, que pudessem coordenar estes subgrupos. Tão importante quanto, foi ter um coordenador capaz de gerenciar todas estas atividades, de forma que o grande grupo se mantivesse constantemente alinhado sobre as atividades dos demais grupos e que utilizassem as mesmas definições.

Nas Figuras abaixo podem ser visualizadas as três etapas de construção do *mockup*, a Figura 18 retrata a fase inicial, onde foram montadas as bancadas que servem de base para os equipamentos e postos de trabalho fictícios.

Figura 18: Foto da construção de um *mockup* na fase inicial



Fonte: dados de pesquisa do autor.

Para esta fase inicial a equipe utilizou paletes e chapas de madeira, pois esses materiais estavam disponíveis. É necessário ter cuidado nessa fase, pois essa estrutura precisa resistir ao peso dos materiais que serão utilizados para construir os protótipos dos equipamentos e postos de trabalho.

Figura 19: Foto da construção de um *mockup* na fase de detalhamento dos postos de trabalho.



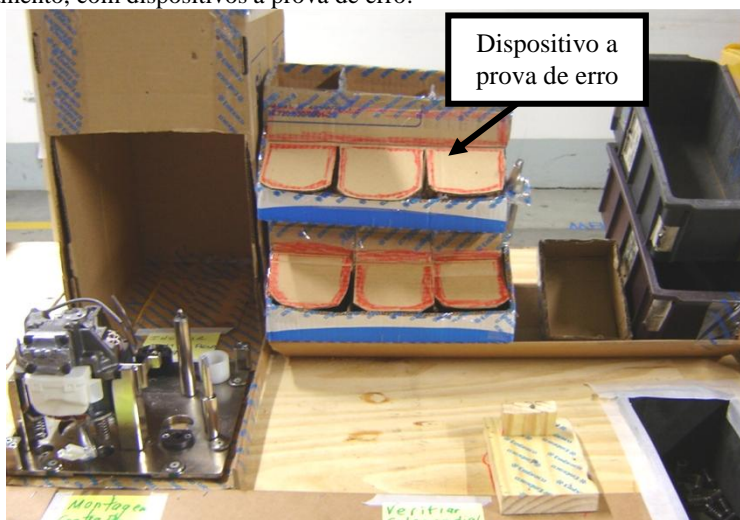
Fonte: dados de pesquisa do autor.

A Figura 19 mostra, durante a segunda etapa de construção do *mockup*, um exemplo de um posto de trabalho.

Note que o posto de trabalho não precisa ser detalhado, apenas deve conter as suas dimensões externas, o maior nível de detalhe está nos pontos de alimentação de componentes, pois o bordo de linha é fundamental para simular a operação do posto.

A Figura 20 mostra, durante a terceira etapa de construção do *mockup*, um exemplo de dispositivo a prova de erro, neste caso, fechar a parte frontal de acesso ao componente e, no momento da montagem, abrir somente a porta referente ao componente correto.

Figura 20: Foto da construção de um *mockup* na terceira etapa de detalhamento, com dispositivos a prova de erro.



Fonte: dados de pesquisa do autor.

Após a terceira etapa, o protótipo de processo, ou *mockup*, está pronto para iniciar o ajuste fino, realizado com o auxílio da simulação. A Figura 21, abaixo, mostra o *mockup* pronto para a fase de simulações.

Figura 21: Foto do *mockup* pronto para realizar as simulações.



Fonte: dados de pesquisa do autor.

Após a construção do *mockup*, a equipe passou à fase de simulações. Essa certamente é a fase mais importante e a que traz os maiores benefícios no uso do método, então, conforme orientado no item 3.3.3, a equipe simulou exaustivamente todos os postos de trabalho durante três dias, com o acompanhamento de um especialista em ergonomia, onde foram avaliadas as formas de pega das peças, a orientação e distância das peças no bordo de linha, de forma a pegar a peça já na posição correta de uso e qual o nível de repetibilidade dos movimentos, buscando postos de trabalho sem riscos ergonômicos.

As simulações foram realizadas por três operadores diferentes. O objetivo do uso de três operadores foi obter diversidade de opiniões, detectar possíveis variações na forma de trabalho e montar postos de trabalho adequados a operadores diferentes.

Durante a fase de simulações foi possível alterar a posição de algumas atividades, como submontagens, que interrompiam o fluxo do produto, e posicioná-las no outro lado do U, permitindo que o operador continue a operação sem deslocamentos contrários ao fluxo. Além disso, foi possível observar alguns equipamentos muito grandes, que faziam o operador caminhar longas distâncias até a próxima atividade. Eles foram deslocados para trás, deixando na célula apenas um ponto de entrada

bem próximo a um ponto de saída de peças, para evitar o deslocamento excessivo do operador e assim não prejudicar o trabalho padronizado.

A partir das simulações realizadas, todas as atividades foram bem definidas, então pôde ser feita a descrição do trabalho padronizado em elementos de trabalho e levantados os tempos de cada elemento.

Quadro 12: Balanceamento de tempos.

Balanceamento de tempos														
Ref.	Operações	Tempo Máquina (s)	Tempo Homem (s)	Nº operadores										
				2	3	4	5	6	7	8				
1	Pre - Montagem do componente 1		12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0				
2	Parafusamento do componente 1	16,0	11,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0				
3	Montagem do componente 2		2,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0				
4	Posicionamento do componente 3		6,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0				
5	Posicionamento do componente 3 + kit		8,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0				
6	Inserimento do componente 4	12,0	0,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0				
7	Controle 1		5,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0				
8	Montagem do componente 5 + Grampo		12,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	14,3				
9	Medição1	10,0	0,0	56,0	56,0	56,0	56,0	0,4	8,4	14,3				
10	Pré montagem 1		32,0	88,0	88,0	88,0	88,0	32,4	40,4	46,3				
11	Montagem do kit 1		10,0	98,0	98,0	14,6	31,3	42,4	50,4	14,6				
12	Montagem do componente 6		8,0	106,0	106,0	22,6	39,3	50,4	10,7	22,6				
13	Parafusamento do kit		20,0	126,0	126,0	42,6	59,3	70,4	30,7	42,6				
14	Montagem do componente 7		6,5	132,5	21,3	49,1	65,8	21,3	37,2	7,4				
15	Montagem dos Componentes 8 e 9		8,0	140,5	29,3	57,1	73,8	29,3	45,2	15,4				
16	Posicionamento componente 10		7,0	147,5	36,3	64,1	14,1	36,3	52,2	22,4				
17	Inserção final dos componentes 8, 9 e 10	5,0	0,0	147,5	36,3	64,1	14,1	36,3	4,6	22,4				
18	Montagem do Componente 11		8,0	152,5	41,3	69,1	19,1	41,3	9,6	27,4				
19	Pré montagem batentes 2	4,0	6,0	158,5	47,3	75,1	25,1	47,3	15,6	33,4				
20	Montagem Kit x Corpo		20,0	178,5	67,3	95,1	45,1	67,3	35,6	53,4				
21	Colocação do Anel de Brasagem / Fluxo		7,5	19,3	74,8	19,3	52,6	19,3	43,1	19,3				
22	Brasagem	15,0	0,0	19,3	74,8	19,3	52,6	19,3	43,1	19,3				
23	Nivelamento do Kit		8,0	27,3	82,8	27,3	60,6	27,3	51,1	27,3				
24	Testes	13,0	6,0	33,3	88,8	33,3	66,6	33,3	9,4	33,3				
25	Montagem do componente 12		4,0	37,3	92,8	37,3	70,6	37,3	13,4	37,3				
26	Solda componentes 7 e 12	36,0	0,0	37,3	92,8	37,3	3,9	37,3	13,4	37,3				
27	Dobra		15,0	52,3	107,8	52,3	18,9	52,3	28,4	52,3				
28	Conectar Alicates e Pressurização	4,0	9,0	61,3	116,8	61,3	27,9	61,3	37,4	19,6				
29	Colocação do Compressor no Tanque		6,0	67,3	11,7	67,3	33,9	11,7	43,4	25,6				
30	Teste		5,0	72,3	16,7	72,3	38,9	16,7	48,4	30,6				
31	Secagem do Compressor	10,0	0,0	72,3	16,7	72,3	38,9	16,7	0,8	30,6				
32	Retirar do Tanque / Despressurização		6,5	78,8	23,2	78,8	45,4	23,2	7,3	37,1				
33	Retirar Alicates e Colocação de Capas		10,0	88,8	33,2	88,8	55,4	33,2	17,3	47,1				
34	Pintura			88,8	33,2	5,4	55,4	33,2	17,3	5,4				
35	Desumidificação			88,8	33,2	5,4	55,4	33,2	17,3	5,4				
36	Preparar e identificar para injetar Óleo	4,0	20,0	108,8	53,2	25,4	75,4	53,2	37,3	25,4				
37	Preparar para teste		12,0	120,8	65,2	37,4	20,7	65,2	49,3	37,4				
38	Teste	14,0	0,0	120,8	65,2	37,4	20,7	9,6	1,6	37,4				
39	Remover do teste e inserir tampões		25,0	145,8	90,2	62,4	45,7	34,6	26,6	62,4				
40	Injetar atm inerte	6,0	0,0	145,8	90,2	62,4	45,7	34,6	26,6	20,7				
41	Montagem componentes 13		15,0	160,8	105,2	77,4	60,7	49,6	41,6	35,7				
42	Paletização		6,0	166,8	111,2	83,4	66,7	55,6	47,6	41,7				
			Tempo Homem Total	333,5										
			Tempo de Ciclo		166,8	111,2	83,4	66,7	55,6	47,6	41,7			

Fonte: dados de pesquisa do autor.

Estas informações foram dispostas de forma ordenada no Quadro 12, onde, de maneira muito simples, foi realizada a distribuição das atividades e balanceamento de tempos entre os operadores. Note que, matematicamente foi realizado o balanceamento de tempos para 2 a 8 operadores, permitindo que a célula opere com sete níveis diferentes de tempo *takt*.

No Quadro 12, a primeira parte mostra a descrição dos elementos e os tempos de máquina e homem, e na segunda parte mostra a distribuição de atividades conforme o número de operadores operando na célula. A planilha mostra células com o fundo cinza, onde são somados os tempos de operação e, ao atingir o tempo limite, a célula é mostrada com o fundo branco, indicando a última atividade do operador e a primeira do próximo operador, ou seja, o elemento de “entre-ajuda”. Alguns nomes de operação foram alterados intencionalmente em relação ao processo real por questões de confidencialidade.

4.2.4 Avaliação dos resultados e análise de desempenho

A partir do *mockup* pronto, as simulações foram uma importante fonte de informações para a avaliação dos resultados. A partir dela foi possível fazer uma estimativa de todos os resultados e prever o desempenho do futuro processo produtivo, que apresentou melhora em todos os indicadores analisados, conforme o Quadro 13. Os dados contidos nas colunas “Atual” e “Estimado” foram intencionalmente alterados por conter informações confidenciais.

Ao final do trabalho foi realizada uma apresentação dos resultados. A apresentação abordou os conceitos utilizados para planejar o novo modo de manufatura. Mostrou o resultado final do *mockup* onde foram realizadas as avaliações, os resultados de uma avaliação qualitativa de pontos positivos e a melhora na operação, manutenção, flexibilidade, qualidade, desenvolvimento de pessoas e cenários de resultados financeiros, comparando investimentos, utilização de MO e custo de operação. A apresentação encerrou com as conclusões do estudo e determinação dos próximos passos a serem seguidos.

Quadro 13: Resultados esperados para a futura célula, estimados com base no protótipo de processo.

Resultados esperados estimados				
Objetivo	Indicador (unidade)	Atual	Estimado	% melhoria
Segurança e Ergonomia	Dias de afastamento por acidentes (dias)	1,00	0,00	-100%
	% de postos ergonomicamente aprovados	1,00	1,05	5%
Qualidade	Índice de rejeição no cliente (PPM)	1,00	0,37	-63%
	Índice de rejeição interno (PPM)	1,00	0,20	-80%
	% de CTQs sob controle	1,00	1,15	15%
	Índice de retrabalho + falso alarme (%)	1,00	0,10	-90%
Rapidez	Índ. rejeição interno - fornecedores(PPM)	1,00	0,33	-67%
	Lead time de processo (min)	1,00	0,08	-93%
Pontualidade	WIP - Estoque em processo (pçs)	1,00	0,25	-75%
	OEE - Eficiência global do equipamento (%)	1,00	1,16	16%
Flexibilidade	OTIF - On Time In Full (%)	1,00	1,15	15%
	Tempo de troca entre modelos (min)	1,00	0,16	-84%
Custo	No. De variações para volume	1,00	7,00	600%
	KOSU - Tempo de MO por peça (min/pç)	1,00	0,89	-11%
	Área ocupada (m2)	1,00	0,65	-35%
	Investimento (\$)	1,00	0,74	-26%

Fonte: dados de pesquisa do autor.

4.3 COMENTÁRIOS SOBRE UM PROCESSO IMPLANTADO

A *Empresa* implantou uma célula projetada utilizando protótipo de processo (*mockup*) em sua planta chinesa, onde o relato do coordenador de implantação menciona resultados positivos e alguns pontos que não foram de acordo com o planejado, conforme trecho a seguir transcrito de um relatório de análise crítica sobre os resultados do uso do *mockup* como ferramenta para o projeto de células.

Os resultados positivos obtidos com o uso de *mockup* na implantação de células de montagem na planta da China foram:

- Modularização do investimento: em lugar do investimento em um módulo com capacidade para 2 milhões de produtos por ano, foram instalados três módulos, cada um com capacidade de 700 mil produtos por ano, que foram distribuídos no tempo de acordo com o aumento da demanda;
- Menor tempo entre o start-up do projeto e o início de produção: o modelo permite que o processo construtivo seja mais assertivo;

- Ramp-up e curva de aprendizado mais rápidos: devido a menor complexidade dos processos e operações;
- Gestão da área facilitada: processos mais agrupados e layout otimizado;
- Redução da área e menores recursos de facilidades: processo mais simples e máquinas menos complexas;
- Absorção de novas plataformas de produtos de forma mais rápida e mais barata: o uso de máquinas simples e flexíveis e operações manuais facilitam ao implantar novos produtos. Este é considerado o principal benefício capturado pelo projeto.

E os pontos que não foram de acordo com o planejado:

- Mão de obra: a redução prevista, de 47 para 33 operadores, não foi atingida, as células operam com 43 operadores, porém com uma taxa de produção maior que a planejada inicialmente. Isso ocorreu devido a vários projetos de aumento de produtividade que inviabilizaram a distribuição de atividades em vários postos. Porém a capacidade de produção foi ampliada proporcionalmente, mantendo o aumento de produtividade da mão de obra previsto;
- Processos de certificação pós-implantação se repetiram proporcionalmente ao número de módulos, demandando mais atividades do corpo técnico;
- Tamanho de supermercados maiores que os estabelecidos devido aos processos fornecedores não modularizados (desbalanceamento entre processo fornecedor e processo cliente).

Apesar de alguns pontos indesejados devido ao fato da célula não ter sido implantada exatamente no formato previsto no *mockup*, o benefício gerado pelo uso da ferramenta fica claro nos pontos positivos destacados pelo coordenador da implantação.

4.4 FATORES DE SUCESSO E DIFICULDADES

Um dos objetivos desta dissertação é levantar quais são os fatores críticos de sucesso na utilização do método, dentre os quais, destacam-se:

- O apoio da alta gerência garante que os recursos necessários sejam disponibilizados e as pessoas não se dispersem durante o trabalho;

- O planejamento e o acompanhamento garantem que a equipe mantenha o foco necessário e finalize o trabalho no prazo;
- A construção do *mockup* em etapas garante que o nível adequado de detalhamento seja atingido;
- A simulação realizada com diferentes operadores, de forma exaustiva e com a participação de toda a equipe garante um grande incremento de melhoria na célula estudada;
- A participação de pessoas experientes garante a avaliação adequada dos resultados esperados.

Dos principais fatores de sucesso listados, destaca-se a realização da simulação. Aquele é o momento que torna o *mockup* diferenciado de qualquer outro projeto, pois o experimento em um ambiente simulado permite visualizar fisicamente praticamente todos os aspectos da célula, facilitando a proposição de melhorias.

Além dos fatores de sucesso, algumas dificuldades foram detectadas ao longo do estudo de caso, que aqui são complementadas com contingências para reduzir ou anular o seu efeito:

- O planejamento inadequado das quantidades de materiais pode atrasar ou até mesmo inviabilizar a construção do *mockup*, por isso é aconselhável manter uma fonte de acesso fácil aos materiais durante a atividade;
- O tamanho inadequado da equipe pode gerar discussões excessivas e tirar o foco da equipe. Neste caso, para contornar esta situação é necessário um mediador experiente;
- A tendência é que as discussões, apesar de ricas em conteúdo, acabem se perdendo após o término da atividade ou se repitam por várias vezes, então é importante que as conclusões das discussões sejam registradas para uso posterior;
- Em alguns momentos foi observado que as falhas de planejamento no tempo de execução das atividades geraram atrasos que prejudicaram fases posteriores. Por isso, o acompanhamento diário faz a diferença ao direcionar recursos extras para as atividades que se mostram mais morosas que o planejado.

De maneira geral, as dificuldades não geraram grandes problemas durante o estudo de caso, pois foram identificadas no princípio e rapidamente tomadas ações para contê-las. Para facilitar na detecção das anomalias, sugere-se que diariamente a equipe faça uma análise crítica sobre as dificuldades encontradas.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ESTUDO DE CASO

O estudo de caso teve uma grande aderência ao método proposto, sendo válido ressaltar alguns pontos importantes observados durante a aplicação.

No diagnóstico de aplicabilidade, detectou-se que algumas das condições para aplicar a ferramenta não eram as ideais, mas isso não afetou a qualidade do trabalho. Portanto, além do diagnóstico de aplicabilidade, deve ser realizada uma análise crítica que pode decidir pela continuidade do projeto mesmo não encontrando as condições perfeitas de aplicação.

A análise da situação atual foi fundamental para formar a base de comparação, sem essa fase a avaliação de desempenho ficaria muito comprometida. Nessa fase o ponto importante a ressaltar é a adaptabilidade da definição dos indicadores a avaliar. O método proposto sugere alguns indicadores, porém as estratégias de cada empresa exigem um conjunto diferente deles. É importante que os indicadores utilizados na avaliação de desempenho sejam aderentes aos indicadores utilizados no dia a dia da organização, demonstrando o alinhamento do estudo com a estratégia da companhia.

Com relação à equipe ser maior que a planejada inicialmente, a percepção dos participantes é que isso trouxe fatores positivos, como maior integração, maior diversidade de opiniões e mais recursos para a realização das tarefas, mas também contribuiu com fatores negativos, como o prolongamento das discussões e a perda de foco, visto que não havia atividades para manter toda a equipe ocupada o tempo todo.

A preparação prévia de informações e materiais contribuiu no desenvolvimento do trabalho, porém faltaram materiais ao longo da construção do *mockup*. Como nem sempre é possível prever tudo o que será utilizado durante o trabalho, então é importante ter acesso fácil a

material e informação. Por isso a construção do *mockup* dentro das dependências da empresa, preferencialmente em local próximo de onde a linha de produção utilizada como base para o estudo está é fundamental.

O planejamento diário de atividades garante a seqüência certa de execução, porém o acompanhamento constante do andamento de cada atividade é fundamental para garantir a execução no prazo. Para isso foi utilizada principalmente a gestão visual das atividades e, todos os dias, realizada uma reunião para direcionar ajuda para as atividades atrasadas.

A apresentação final teve a presença da alta direção da *Empresa* e lideranças das fábricas. Ela foi feita por todos os integrantes da equipe, cada um falando sobre os temas que desenvolveu durante as três semanas. Apesar de tornar a apresentação um pouco mais longa devido a constante troca de apresentador, isso trouxe diversos benefícios, como a propriedade do apresentador sobre o tema, repassar o sentimento de equipe à platéia e o desenvolvimento pessoal dos integrantes do grupo, pois diversos deles jamais haviam participado de apresentação para a diretoria.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A manufatura enxuta é uma filosofia cada vez mais aplicada às empresas devido à necessidade de melhorar a estabilidade de seus processos, melhorar a qualidade de seus produtos e reduzir os custos, seja para aumentar suas margens de lucro ou para ofertar produtos com preços mais acessíveis aos consumidores e assim aumentar sua fatia de mercado e sua condição de sobrevivência.

Dentre as ferramentas utilizadas pela manufatura enxuta, o projeto de células de manufatura é uma fonte de grande redução de desperdícios, uma vez que a definição do sistema produtivo influencia diretamente em todos os processos de uma companhia. Um processo rápido, confiável, flexível, que garanta as qualidades dos produtos e com baixo custo certamente poderá oferecer um nível de serviço mais adequado aos consumidores, utilizando estoques menores e conseqüentemente empenhando menos capital para realizar a mesma operação se comparado às linhas tradicionais de produção.

Ao estudar sobre as ferramentas que auxiliam no projeto de célula, surgiu a oportunidade de melhorar a forma de projetar uma célula, estudando-a sob a forma de uma dinâmica de grupo, trazendo a opinião de todo o corpo técnico e operacional da empresa, utilizando o *mockup* como veículo de informação e transparência sobre o que está sendo projetado.

Apesar de bastante disseminado nas empresas, os protótipos de processo não tem tido uma manifestação equivalente nas produções científicas. Então o autor foi desafiado pelo orientador a propor um método para utilizar protótipos de processo para o projeto de células de montagem. O autor desenvolveu então um procedimento de quatro fases, onde foram detalhadas as atividades nas seguintes fases: análise do problema, planejamento e preparação, construção do *mockup* e avaliação dos resultados e análise de desempenho, com o objetivo de facilitar o entendimento e guiar a aplicação prática.

Na primeira fase, a análise do problema visa diagnosticar se o processo de manufatura e a empresa estão aptos a aplicar a ferramenta, levando em conta, no que tange ao processo, seu nível de complexidade, a utilização de mão de obra intensiva e seu nível de automação e, considerando a *Empresa*, as características da demanda dos produtos

para aquele processo em questão, a cultura organizacional alinhada com a cultura da melhoria contínua, o nível de conhecimento das pessoas e a preparação das lideranças, ou seja, o nível de maturidade da empresa para a aplicação dos conceitos de manufatura enxuta.

A segunda fase, chamada de planejamento e preparação, visou delimitar a amplitude de aplicação da ferramenta, definindo as fronteiras de atuação e as metas de melhoria, para permitir o planejamento e preparação dos materiais, equipamentos, equipe e detalhar a sequência de atividades para a realização do projeto.

Já a terceira fase abordou o método de uso do *mockup*. Iniciou com a definição de características, como o tempo *takt* e suas variações, analisando as características de demanda da empresa. Transitou pela análise dos produtos e da lista técnica, fundamental para determinar a posição e características de abastecimento dos materiais e tamanho de lote, sequência de montagem e nível de automação. Entrou então na questão fundamental, que é a construção do *mockup*, falando sobre como proceder e quais cuidados devem ser tomados durante essa atividade. Por fim, a terceira fase culmina com a simulação da operação nos postos de trabalho, realização do ajuste fino de cada uma das etapas de trabalho e a definição do trabalho padronizado, onde se estabelece os tempos de cada operação, o número de operadores para alguns níveis de demanda, a forma de distribuir as atividades aos operadores e finaliza com o balanceamento de tempos para diversos níveis de demanda.

A quarta fase objetivou avaliar os resultados obtidos e analisar o desempenho. É importante ressaltar que essa fase não visou estabelecer um procedimento para a tomada de decisão, visto que vários outros fatores influenciam na tomada de decisão sobre a implantação ou não de um processo. Durante a avaliação dos resultados, estabeleceu-se o registro das informações das fontes de melhoria, visto que os resultados obtidos não são frutos de medições reais, mas da expectativa de pessoas experientes, que avaliam as novas condições de produção e predizem os resultados. A análise de desempenho visou comparar os resultados do processo tradicional aos resultados obtidos durante as simulações no *mockup*.

Finalmente, o estudo de caso, realizado em uma empresa multinacional com sede no Brasil e grande experiência no ramo de desenvolvimento de processos, principalmente os de montagem, mostra

a aplicação do método proposto em uma situação real numa planta da China.

Do estudo de caso, pode-se concluir que o sistema produtivo proposto pelo método é aplicável para as linhas de montagem e apresenta benefícios em relação ao sistema produtivo anterior, que podem ser observados de diversos pontos de vista.

Do ponto de vista de qualidade:

- Trabalha com a solução dos problemas em sua origem, através do conceito de qualidade na fonte;
- Torna visual o nível de qualidade do fluxo de produção;
- Estabelece as relações entre o ponto de detecção e o ponto de origem dos defeitos;
- Permite a gestão dos defeitos diretamente no chão de fábrica;
- Os componentes são abastecidos com qualidade assegurada, evitando a necessidade de filtros de qualidade na célula;

Do ponto de vista de custos:

- Reduz o montante de investimento em ativos para obter a mesma capacidade instalada;
- Reduz a quantidade de mão de obra para a produção da mesma quantidade de produtos;
- Reduz o custo de transformação unitário em aproximadamente 20%;
- Reduz custos de energia e manutenção, com a redução do nível de automação;

Do ponto de vista de rapidez:

- Reduz lead time de fabricação através da redução dos estoques em processo;

Do ponto de vista de flexibilidade:

- Permite modularizar o investimento de acordo com a evolução da demanda;
- Permite adequar rapidamente a quantidade de mão de obra de acordo com as variações de demanda;

- Reduz o tempo de setup, permitindo a redução do tamanho de lote mínimo de produção;
- Facilita o processo de alteração na introdução de novos componentes e remoção dos obsoletos;
- Facilita a flexibilização da célula para outras plataformas de produtos;

Do ponto de vista de pontualidade:

- Aumenta a confiança na entrega, através da redução de paradas por manutenção;
- Permite a reação rápida em casos de atrasos de produção;

Do ponto de vista de segurança e ergonomia:

- Melhora a distribuição de atividades entre os operadores, evitando sobrecarga;
- Melhora a posição de pega de materiais e ferramentas, evitando posições não ergonômicas de operação;
- O aumento do tempo de ciclo de operação permite operações e movimentos mais diversos aos operadores, reduzindo a monotonia e a repetibilidade que pode gerar lesões por esforço repetitivo;
- Utiliza equipamentos mais simples e com menor risco de acidentes;

Do ponto de vista de manutenção:

- Reduz a exigência dos equipamentos, aumentando a vida útil;
- Simplifica a manutenção, visto que o nível de automação é reduzido;
- Elimina os pontos de difícil para manutenção através a participação da manutenção desde o princípio do projeto;

Do ponto de vista humano:

- Torna o trabalho mais atrativo, exigindo novas habilidades e polivalência dos operadores;
- Aumenta a comunicação entre os membros da equipe.

Pode-se considerar que houve grande aderência entre o método proposto e a sua aplicação e que o desempenho demonstrado através da

melhoria em todos os indicadores propostos ilustra o benefício de utilizar o método.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido às delimitações da pesquisa e às oportunidades observadas ao longo do estudo de caso, foram identificadas lacunas que sugerem novas pesquisas em torno do tema estudado:

- Replicar a aplicação do método na montagem de bens de consumo duráveis, com o intuito de ampliar o entendimento, avaliar a robustez e refinar ainda mais essa proposta;
- Aplicar o método em diferentes processos de manufatura, como usinagens, estamparias, etc., com o intuito de generalizar a proposta;
- Aplicar o método em diferentes segmentos industriais, como o alimentício, têxtil, etc., também com o intuito de generalizar a proposta;
- Aplicar o método para outros tipos de arranjos físicos de fabricação;
- Elaborar um estudo comparativo entre o uso de *mockup* virtual e *mockup* físico, apresentando as vantagens e desvantagens de cada abordagem.

Analisando a tendência mundial de ampliação na utilização de ferramentas da manufatura enxuta como forma de melhorar a competitividade e os esforços da academia em obter novos métodos para a obtenção de processos cada vez mais eficientes, pode-se afirmar que esta dissertação contribui tanto para o meio empresarial quanto para o meio acadêmico. A ferramenta proposta demonstra a sua importância ao impulsionar a melhoria contínua de processos e criar diferenciais competitivos para as empresas que tem em sua estratégia liderar por meio da excelência operacional de seus processos.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, Livia Barbosa. **Heurística para configuração de mix em linhas de montagem mixadas com mão de obra intensiva**. 2011. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- BAUDIN, Michel. **Lean Assembly - The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow**. New York: Productivity Press, 2002.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento pelas diretrizes (Hoshin Kanri)**. 4. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.
- CANEN, A. G.; WILLIAMSON G. H. Facility Layout Overview: towards competitive advantage. **Facilities** V. 16, Issue 7/8, pg. 198-203, 1998. Disponível em <
<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1108/02632779810221262> >. Acesso em 07 de outubro de 2013.
- COIMBRA, Euclides A. **Total management flow: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains**. Portugal: Kaizen Institute, 2009
- CORRÊA, Henrique L; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. Tradução de Rosalia Angelita Neumann Garcia. PortoAlegre: Bookman, 2008.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**, Curitiba: Positivo, 2010.
- HO, Ying-Chin; LIAO, Ta-Wei. A concurrent solution for intra-cell flow path layouts and I/O point locations of cells in a cellular manufacturing system. **Computers & industrial engineering**, V. 60,

Issue 4, 1 May 2011, Pages 614 -634. Disponível em <<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.cie.2010.12.019>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2014.

HUNTER, Steve L. Ergonomic Evaluation of Manufacturing System Designs, **Journal of Manufacturing Systems**, V. 20, Issue 6, 2001–2002, Pages 429–444. Disponível em <[http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0278-6125\(01\)80062-5](http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0278-6125(01)80062-5)>. Acesso em 15 de novembro de 2013.

JONES, Daniel; WOMACK, James. **A máquina que mudou o mundo**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

MAROPOULOS, P.G.; VICHARE, P.; MARTIN, O.; MUELANER, J.; SUMMERS, M.D.; KAYANI A. Early design verification of complex assembly variability using a Hybrid – Model Based and Physical Testing – Methodology, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, V. 60, Issue 1, 2011, pg 207–210. Disponível em <<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.cirp.2011.03.097>>. Acesso em 27 de janeiro de 2014.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (organizador). **Metodologia da pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MIYAKE, Dario. Ikuo. **Arranjo Físico de Sistemas de Produção**, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, 2005. Notas de aula. Disponível em <http://www.profosmarveras.xpg.com.br/arquivos/arranjo_fisico.pdf>. Acesso em 18 de março de 2012.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo, Pioneira Thonson Learning, 2002.

OLIVEIRA, Emanuel Raul Madureira Pinheiro Pereira de. **Aumento da Produtividade em Células de Produção numa Empresa de Componentes Eletrônicos**. 2013. 128f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2013. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/25628/1/Disserta%c>

3%a7%c3%a3o_Emanuel%20Oliveira_52920_MIEGI.pdf>. Acesso em 15 de março de 2014.

OHNO, Taiichi. **The Toyota Production System Beyond Large-Scale Production**. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.

PATTANAIAK L. N.; SHARMA B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, V. 42, June 2009, Issue 7-8, pp 772-779. Disponível em <<http://link-springer-com.ez46.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs00170-008-1629-8.pdf>>. Acesso em 12 de julho de 2010.

PEINADO, Jurandir; GRAELM, Alexandre Reis. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**, Curitiba: UnicenP, 2007.

PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENTS TEAM. **Standard Work for the Shopfloor**. New York: Productivity Press, 2002.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Criando Fluxo Contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2002.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SANDRAS JR., William A. **Just-in-time: Making it happen**. New York: John Wiley & Sons, 2010.

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

SLACK, Nigel; LEWIS, Michael. **Operations Strategy**. 2. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2008.

SONG, In-Ho; CHUNG, Sung-Chong. Synthesis of the digital mock-up system for heterogeneous CAD assembly. **Computers in Industry**, V. 60, Issue 5, June 2009, Pages 285–295. Disponível em

<<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.compind.2008.09.004>>. Acesso em 27 de janeiro de 2014.

TOMPKINS, James. A.; WHITE, John A.; BOZER, Yavuz A.; TANCHOCO, J.M.A. **Facilities planning**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2010.

ULLMAN, David G. **The mechanical design process**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

WOMACK, James; JONES, Daniel. **Enxergando o Todo**, São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

WU, Xiaodan; CHU, Chao-Hsien; WANG, Yunfeng; YAN, Weili. A genetic algorithm for cellular manufacturing design and layout. **European Journal of Operational Research**, V. 181, Issue 1, 16 August 2007, Pages 156–167. Disponível em <<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ejor.2006.05.035>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2014.

YANG, Maria C; EPSTEIN, Daniel J. A study of prototypes, design activity, and design. **Design Studies**, V. 26, Issue 6, November 2005, Pages 649–669. Disponível em <<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.destud.2005.04.005>>. Acesso em 27 de janeiro de 2014.

ZHANG, Qingyu; VONDEREMBSE, Mark A.; CAO, Mei. Product concept and prototype flexibility in manufacturing: Implications for customer satisfaction. **European Journal of Operational Research**, V. 194, Issue 1, 1 April 2009, Pages 143–154. Disponível em <<http://dx.doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ejor.2007.12.013>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2014.

APÊNCIDE A – Detalhamento das 3 semanas de Atividades do Lean Line Design

Fonte: arquivo da fase de planejamento realizado pela *Empresa* para a avaliação da célula de manufatura enxuta.

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
1	Treinamento teórico Lean		Material treinamento		
	Dinâmica das tomadas		Material da dinâmica	Fixação do conceito Lean	
2	Videos com exemplos de estação de trabalho e bordo de linha no conceito. Trabalho set up x estoque (4triangulos/4círculos/ 4quadrados)		Videos com exemplo de estação de trabalho e bordo de linha Planilha com simulação do trabalho set up x estoque	Fixação do conceito Lean	
	Definir objetivos, agenda e produtos do trabalho	Brainstorm para levantar expectativas	Flip chart que deverá ficar visível durante todo o trabalho	Em todos os fechamentos verificar desvios	Fará parte do painel de atividades
	Definir como e onde colocar as informações geradas (painel de atividades)	Painel de atividades	Quadro ou parede		Itens : presença diária das pessoas-avaliação diária das atividades-Definir responsável pela organização e atualização
	Treinamento teórico de MP Design		Material treinamento		
	Vídeo do Paradigma				Discutir quais os paradigmas da linha atual que devemos repensar
	Levantamento dos tópicos do conceito MP design que deverão ser observados nos equipamentos e instalações	Brainstorm para levantar tópicos que deverão ser observados nas especificações dos equipamentos		Flip chart que deverá ficar visível durante todo o trabalho	

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
2	Desenho do fluxo de processo atual da linha		Post it e todos os componentes do produto (variante mais complexa ou de maior volume do produto)	Conhecimento detalhado do processo e seus mudas	Fazer no chão do local onde se fará a maquete (procurar área fora da movimentação constante de pessoas)
	Implantar plano de ações	Plano de ações	Utilizar flip chart com a tarefa, responsável e prazo de execução		Definir responsável pela organização e atualização
	Levantamento dos tópicos do conceito Lean que deverão ser observados nos equipamentos e instalações	Brainstorm para levantar tópicos que deverão ser observados nas especificações dos equipamentos	Flip chart que deverá ficar visível durante todo o trabalho		Fará parte do painel de atividades
	Desenho do fluxo de processo ideal da linha no conceito lean e sem os mudas	Lista de tópicos de Lean e MP Design descritos no painel de atividades	Post it e todos os componentes do produto (variante mais complexa ou de maior volume do produto)		Fazer no chão ao lado do fluxo da linha atual Definir responsável para passar o fluxo definido para folha flip chart e colocar no quadro de atividades
	Aprovação do projeto conceitual da linha	Cedac	Utilizar flip chart para levantar itens do conceito lean e MP não implementados	Conhecimento do conceito Lean	Fará parte do painel de atividades
3	Fazer esboço no papel (flip chart) das estações de trabalho e máquinas incluindo todos os dispositivos, máquinas, ferramentas, etc.	Lay out da linha com os conceitos lean e MP	Utilizar folha de flip chart		Fará parte do painel de atividades
	Levantar os componentes para cada sku produzido na linha (tipo e quantidade)	Planilha de componentes por modelo			

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
3	Especificar os containers e tipo de alimentação do bordo de linha para todos os componentes para o modelo escolhido	Utilizar planilha definida do item 14 e folha padrão de especificação do bordo de linha			Fará parte do painel de atividades
	Passar para o CAD o lay out e projeto das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha	CAD 3 D			
	Fechamento do dia com apresentação dos resultados e dificuldades de cada time/ planejamento próximo dia	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	
4	Continuar com esboço das estações de trabalho e máquinas		Utilizar folha de flip chart		Fará parte do painel de atividades
	Levantar a especificação de todas as estações de trabalho e máquinas na linha	Folha padrão de especificação de estação de trabalho e máquina			Utilizar de preferência a folha padrão existente do cliente
	Continuar especificação dos containers e tipo de alimentação do bordo de linha	Utilizar planilha definida do item 14 e folha padrão de especificação do bordo de linha			
	Levantar um esboço inicial do custo de aquisição e instalação das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha.	Utilizar contatos com fornecedor e orçamentos antigos da área de projetos e/ou suprimentos			
	Continuar lay out no CAD do lay out e projeto das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha	CAD 3 D			
	Fechamento do dia com apresentação dos resultados e dificuldades de cada time/ planejamento próximo dia	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
5	Fechar a especificação de todas as estações de trabalho e máquinas na linha	Folha padrão de especificação de estação de trabalho e máquina			
	Listar todas as operações manuais e de máquina e levantar o tempo padrão estimado de cada uma	Planilha de ciclo de tempo (mostrando o número de operadores e operações de auto ajuda)			
	Fechar especificação dos containers e tipo de alimentação do bordo de linha	Utilizar planilha definida do item 14			
	Fechar um esboço inicial do custo das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha.				
	Fechar lay out no CAD do lay out e projeto das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha	CAD 3 D			
	Aprovação formal do projeto preliminar das estações, máquinas, bordo de linha, lay out e custo inicial	Check list do projeto preliminar		Objetivos, agenda e produtos	Os times A,B,Ce D devem fazer a apresentação do trabalho e terá aprovação de todos para continuidade das atividades
	Planejamento para o projeto básico e as tarefas que devem prosseguir até o início da 2ª semana				Planejar: material para construção da maquete e finalizar ações pendentes
6	Construção da maquete com as estações de trabalho e bordo de linha	Projeto preliminar aprovado	Material planejado como pallet, cantoneiras, etc		
7	Fechamento do dia com apresentação dos resultados e dificuldades de cada time/ planejamento próximo dia	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos de verificação	Observação
8 e 9	Continuar a construção da maquete com as estações de trabalho e bordo de linha	Projeto preliminar aprovado	Material planejado como pallet, cantoneiras, etc		
	Fazer simulação para levantamento dos tempos de cada operação	Utilizar planilha do ciclo de tempo			
	Atualizar e fechar a especificação de todas as estações de trabalho e máquinas na linha	Formulário padrão			
	Continuação da construção da maquete com as estações de trabalho e bordo de linha	Projeto preliminar aprovado			
	Atualizar e fechar especificação dos containers e tipo de alimentação do bordo de linha	Formulário padrão			
	Atualiza o projeto 3 D do CAD				
	Levantar o custo mais preciso de compra e instalação utilizando as especificações das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha.				
	Fechamento do dia com apresentação dos resultados e dificuldades de cada time/ planejamento próximo dia	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	
10	Consensar as operações e bordo de linha para todos os postos de trabalho				
	Finalizar as especificações das estações de trabalho, máquinas e bordo de linha	Formulário padrão			
	Planejar as atividades da 3ª semana	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	Planejar 3ª semana: estudo de set up (buscar zero ou máximo tempo de ciclo), matriz auto-qualidade, fmea, refinar orçamento, trabalho padronizado, ergonomia, segurança, arquivo da documentação do projeto

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
11	Apresentação dos conceitos Lean para fixação da metodologia				
	Apresentam o status dos itens que foram deixados como "lição de casa" no final da 2ª semana				
	Fazer uma simulação de todas as operações para confirmar os dados das folhas de especificação e consensar com todos os detalhes de cada estação ou bordo de linha				
	Planejamento das ações da semana	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	
12	Realizar FMEA das operações	Utilizar formulário padrão			
	Realizar matriz auto-qualidade	Utilizar formulário padrão			
	Análise de set up	Utilizar formulário padrão			
	Análise de custo de compra e instalação				
	Fechamento do dia com apresentação dos resultados e dificuldades de cada time/ planejamento próximo dia	Painel de atividades		Objetivos, agenda e produtos	
13	Acerto da maquete				Fazer 5S - identificação das operações (nome, tempo e operação), percurso e operador - completar com componentes na linha-colocar dados de set up
	Finalizar FMEA das operações	Utilizar formulário padrão			
	Finalizar matriz auto-qualidade	Utilizar formulário padrão			

Dia	Atividade	Ferramenta	Material	Pontos verificação	Observação
13	Finalizar análise de set up	Utilizar formulário padrão			
	Finalizar análise de custo de compra e instalação e levantar benefícios	Utilizar ferramenta padrão da empresa para levantar benefício			
	Apresentação do trabalho dos times para consenso e Levantar os temas que farão parte da apresentação para a diretoria no 15º dia. Considerar que todos apresentem uma parte dos tópicos	Dividir em times para levantamento do material e fazer a apresentação dentro de um chart padrão			Itens para apresentação a diretoria: -absorção do conceito pelo time-Investimento (total,modulado, contra atual e prazo implementação) - Custo operacional contra atual - Benefícios (wip, área ocupada, OEE)- quantidade operadores e flexibilidade - lay out/filme - segurança e ergonomia -flexibilidade do produto - diferença conceitos (qualidade e reprocesso, pessoas(estrutura, treinamento), logística, set up,etc -próximos passos (desenvolvimento tecnológico, sistematização da ferramenta, desdobramento outras áreas, recomendações para novos projetos
	Fará a coletânea de todo o material gerado				
14	Continuarão com o levantamento dos tópicos para apresentação				
	Fará a coletânea de todo o material gerado Apresentação dos tópicos de cada um na parte da tarde para consenso do time todo	Chart padrão		Itens fechados acima	
15	Simulação da apresentação de cada um				
	Apresentação final para aprovação da diretoria e visita a maquete				