

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

JEFERSON DE SOUZA DE JESUS

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE
CÉLULAS DE MANUFATURA: UM ESTUDO DE CASO**

São Leopoldo

2010

JEFERSON DE SOUZA DE JESUS

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE
CÉLULAS DE MANUFATURA: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Professor Orientador: Dr. Guilherme Luis Roehe Vaccaro

Professor Co-orientador: Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior

São Leopoldo

2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

JEFERSON DE SOUZA DE JESUS

PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS DE MANUFATURA: UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Aprovado em _____

Professor Membro
Prof. Dr. Ivan de Pellegrin

Professor Membro
Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel

Professor Membro
Prof. Dr. Miguel Sellitto

Professor Orientador
Prof. Dr. Guilherme Luis Roehe Vaccaro

Professor Co-orientador
Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior

Visto e permitida a impressão

São Leopoldo, _____

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel
Coordenador Executivo PPG em
Engenharia de Produção e Sistemas

Dedico este trabalho à minha amada esposa Adriana, minhas lindas filhas Rafaela e Julia, a minha mãe Édila e ao meu querido e eterno pai Airton Jesus.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro pela intensa orientação nesta pesquisa.

Ao professor Dr. Eng. José Antonio Valle Antunes Jr. – Junico – pelas idéias e contribuições ao longo da construção da dissertação.

A competente equipe de professores do PPGEPS Unisinos pela estruturação do programa que viabilizou as informações básicas ao início da trajetória para a elaboração deste trabalho.

A todos os profissionais das empresas em que os casos foram desenvolvidos pelas valiosas informações prestadas no decorrer do trabalho.

“Impossível, é algo que alguém ainda não fez.”

[Anônimo]

RESUMO

Este estudo apresenta uma proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção, na qual certas premissas no sistema produtivo como a eficiência global dos equipamentos, a variação de demanda, e a colocação de vários produtos na célula são considerados relevantes. A atenção para influência dessas características pode contribuir para melhorar o dimensionamento e a avaliação das capacidades reais através de uma visão baseada no processo de melhoria contínua. A metodologia de pesquisa utilizada foi o estudo de casos múltiplos. As etapas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho foram: i) apresentação de métodos utilizados para o dimensionamento de células de produção como base de compreensão à sistemática atual adotada; ii) análise do dimensionamento de células piloto baseado em um método utilizado na empresa estudada; iii) revisão das possibilidades de melhorias e possíveis adaptações no método utilizado; iv) proposta de um método de análise e dimensionamento de células com base em um contexto adequado e em requisitos necessários a aplicação como: a estrutura de apoio, a forma de análise e dimensionamento e os indicadores de desempenho; v) análise e conclusão. O embasamento conceitual utilizado para a elaboração da pesquisa envolveu os seguintes temas: células de produção, métodos de dimensionamento, eficiência global dos equipamentos (IROG). O resultado obtido foi uma proposta de método de dimensionamento de células de produção que, por meio da consideração dos fatores influentes no desempenho, possa melhorar a visão a respeito das reais capacidades de células de produção bem como as oportunidades para melhoria contínua nos sistemas produtivos analisados.

Palavras-chave: Sistemas de Produção. Sistema Toyota de Produção. Células de produção. Dimensionamento de células de produção. Eficiência global dos equipamentos.

ABSTRACT

This study proposes a method for analysis and design of production cells, in which certain assumptions in the productive system and the overall efficiency of the equipment, the change in demand, and the placement of various products in the cell are considered relevant. The attention to influence of these characteristics can help to improve the design and performance capabilities through a real vision based on the continuous improvement process. The research methodology used was a multiple case study. The steps used for the development of the work were: i) presentation of methods for the design of production cells as a basis for understanding the current adopted systematic; ii) analysis of the pilot cell design based on a method used in the company studied; iii) reviewing the scope for improvements and possible changes in the method used; iv) propose a method of analysis and design of cells based on a proper context and application requirements as the support structure, the form of analysis and design and performance indicators; v) analysis and conclusion. The conceptual foundations used for the preparation of the research involved the following topics: cell production, design methods, overall equipment efficiency (IROG). The result was a proposed method for sizing cell production, through the consideration of factors influencing the performance, can improve vision about the true capabilities of production cells as well as opportunities for continuous improvement in production systems analyzed.

Key-words: Production Systems. Toyota Production System. Production cells. Sizing production cells. Overall efficiency of the equipment.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Demonstrativo de produção realizada	23
Gráfico 2: Demanda média de produtos (peças/produto).....	108
Gráfico 3: Análise de demanda mensal (peças/mês).....	109
Gráfico 4: Comparação dos tempos de ciclo médio nos períodos da manhã e da tarde na operação de “lixar rosca”	110
Gráfico 5: Demandas mensais médias de produtos (peças/produto)	111
Gráfico 6: Análise de demandas mensais (peças/mês)	112
Gráfico 7: Verificação de capacidade teórica de equipamentos.....	118
Gráfico 8: Balanceamento operacional.....	120
Gráfico 9: Balanceamento de máquinas (broca comprimento 451mm)	121
Gráfico 10: Balanceamento de máquinas (broca comprimento 190mm)	122
Gráfico 11: Balanceamento de operadores	123
Gráfico 12: Produção e metas da célula de aço rápido (abril/2008).....	131
Gráfico 13: Eficiências do mês de março das máquinas <i>Flute grinder</i>	136
Gráfico 14: Eficiências do mês de abril das máquinas <i>Flute grinder</i>	136
Gráfico 15: Eficiências do mês de maio das máquinas <i>Flute grinder</i>	140
Gráfico 16: Comparativo de produção mensal de carabinas de pressão.....	153
Gráfico 17: Produção da célula do cilindro	158
Gráfico 18: IROG da fresadora Azerf D 800 (dezembro/2009).....	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escopo de análise e inter-relações de temas estudados	36
Figura 2: O sistema Toyota de Produção	39
Figura 3: circulo de controle PDCA	45
Figura 4: Esquema de uma Célula formato “U” (estação cruzada).....	47
Figura 5: Conjunto de células formato “U” controladas por dois operadores.....	49
Figura 6: Visão da abordagem JIT com relação à utilização dos equipamentos	54
Figura 7: Classificação dos tipos de célula.....	54
Figura 8: Exemplo de distribuição de operadores no trabalho padrão	57
Figura 9: Flexibilização do pessoal às demandas.....	70
Figura 10: Elementos para balanceamento da linha de produção.....	71
Figura 11: Esquema de desenvolvimento dos casos estudados	100
Figura 12: Exemplo de planilha de simulação utilizada para dimensionamento	143
Figura 13: Produtos fabricados pela empresa “B”.....	151
Figura 14: A estrutura de pessoal para dimensionamentos de células.....	169
Figura 15: O ciclo de melhoria contínua para a análise e dimensionamento de células de produção.....	171
Figura 16: Visão geral para aplicação do método proposto	173
Figura 17: Método proposto para a gestão de melhorias	174
Figura 18: Proposta de método de operacionalização do dimensionamento....	179
Figura 19: Fluxo completo da proposta de método para análise e dimensionamento.....	183

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Níveis de mecanização dos equipamentos	77
Quadro 2: Análise do número de operadores em células	79
Quadro 3: Análise da capacidade grosseira e a demanda de produção.....	82
Quadro 4: Características do dimensionamento de células	84
Quadro 5: Pressupostos e Cenários na abordagem ao dimensionamento de células de produção.....	97
Quadro 6: Principais questões observadas no contexto	105
Quadro 7: Dimensionamento de máquinas para célula do aço rápido.....	118
Quadro 8: Comparação entre as células de Aço Rápido e Lenox	128
Quadro 9: Médias dos fatores do IROG	137
Quadro 10: Relação de velocidades e diâmetros das retíficas de canal	138
Quadro 11: Médias dos fatores do IROG	141
Quadro 12: Análise de número de operadores com base no produto.....	146
Quadro 13: Tempos de ciclo das operações da célula do cilindro.....	155
Quadro 14: Definição dos IROG'S dos equipamentos (dezembro/2009).....	157
Quadro 15: Quadro de Atribuições	184
Quadro 16: Apresentação de indicadores para célula de produção	187
Quadro 17: Comparativo entre o método utilizado e o proposto no estudo de caso.....	190

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	18
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	21
1.4 DELIMITAÇÕES	24
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2 METODOLOGIA	27
2.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	27
2.2 MÉTODO DE TRABALHO.....	34
3 REFERENCIAL TEÓRICO	36
3.1 OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	37
3.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	37
3.3 O PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA	42
3.4 AS CÉLULAS DE PRODUÇÃO	45
3.4.1 A Concepção de Células de Produção Segundo Slack et al. (2009)....	52
3.4.2 O Dimensionamento de Células na Visão de Monden (1984).....	56
3.4.3 Análise para o Dimensionamento de Células Segundo Sekine (1990)	60
3.4.4 As Considerações sobre o Dimensionamento de Células Segundo Edwards, Edgell e Richa (1993).....	62
3.4.5 O Dimensionamento de Células de Produção Segundo Oishi (1995)..	67
3.4.6 Proposta de Dimensionamento de Rother e Harris (2002).....	74
3.4.7 Uma Abordagem Baseada na Análise da Capacidade x Demanda Segundo Antunes et al. (2008)	81
3.5 AS CARACTERÍSTICAS INFLUENTES NO DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS SEGUNDO A VISÃO DOS AUTORES PESQUISADOS.....	84
3.5.1 A Multifuncionalidade e a Operação Padrão.....	85

3.6 AS PRESSUPOSTOS SUGERIDOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS	88
3.6.1 A Eficiência Global dos Equipamentos.....	88
3.6.2 A Variação da Demanda de Produtos	92
3.6.3 A Variedade de Produtos	93
3.6.4 A Idealização das Propostas de Melhoria	93
3.6.5 Análise Comparativa de Cenários para o Dimensionamento de Células	95
4 APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO	100
4.1 A EMPRESA “A”	101
4.1.1 A Visão Temporal da Manufatura	103
4.1.1.1 Fase 1 – A Introdução das Mudanças na Manufatura (2004)	104
4.1.1.2 Fase 2 – A Estruturação para Implantação das Técnicas do <i>Lean Manufacturing</i> (2004-2007)	105
4.1.1.2.1 <i>Apresentação das Células de Produtos e dos Respective Layouts .</i>	106
4.1.1.2.2 <i>Considerações sobre a Etapa de Abordagem ao Método Utilizado para o Dimensionamento Segundo a Visão do Autor</i>	112
4.1.1.2.3 <i>O Mapeamento do Fluxo de Valor</i>	113
4.1.1.2.4 <i>Considerações sobre o Mapeamento do Fluxo de Valor na Visão do Grupo de Trabalho.....</i>	116
4.1.1.2.5 <i>O Dimensionamento das Células Baseado no Método Proposto por Rother e Harris (2002)</i>	117
4.1.1.2.6 <i>Considerações Gerais sobre a Etapa de Dimensionamento Conforme a percepção do Grupo de Trabalho.....</i>	124
4.1.1.2.7 <i>As Análises Comparativas da Natureza das Células.....</i>	125
4.1.1.3 Fase 3 – Uma Análise Crítica da Aplicação do Método Utilizado de Dimensionamento (2007-2008)	129
4.1.1.3.1 <i>A Estrutura de Apoio Existente.....</i>	129
4.1.1.3.2 <i>A Análise e o Dimensionamento das Células.....</i>	132
4.1.1.3.3 <i>Indicadores de Desempenho Propostos</i>	133

4.1.1.3.4 Adaptações Realizadas como Complemento ao Método Utilizado	135
4.1.1.3.5 Uma Visão das Alterações no Caso Estudado Baseadas nos itens de verificação	147
4.1.2 A Empresa “B” – Caracterização Geral.....	149
4.1.2.1 Apresentação da Célula do Cilindro	154
4.1.2.2 Justificativa para o Estudo de Dimensionamento de uma Célula de Produção na Empresa “B”.....	154
4.1.2.3 A Visão da Funcionalidade da Célula Existente.....	156
4.1.2.4 Análise e Discussão Crítica Baseado nas Características que Influenciam no Dimensionamento de Células.....	159
4.1.2.5 A Percepção das Entrevistas Referenciada pelos Itens de Avaliação ..	162
4.1.2.5.1 O Contexto Geral	163
4.1.2.5.2 A Estrutura de Apoio Necessária.....	163
4.1.2.5.3 A Análise e o Dimensionamento de Células na Visão dos Entrevistados	165
4.1.2.5.4 Os Indicadores de Desempenho Sugeridos.....	165
5 PROPOSTA DE MÉTODO DE ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO	167
5.1 A ESTRUTURA DE APOIO	168
5.1.1 A Estrutura de Pessoal	168
5.1.2 A Estrutura Física	169
5.2 A ANÁLISE E O DIMENSIONAMENTO DAS CÉLULAS	170
5.2.1 O Método de Análise e Dimensionamento sob o Ponto de Vista de Gestão	172
5.3 OS INDICADORES DE DESEMPENHO	185
6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E POSSIBILIDADES DE DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS FUTURAS.....	188
6.1 CONCLUSÕES	188
6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	193

6.3 DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS	194
------------------------------------------------	-----

REFERÊNCIAS	195
--------------------------	------------

APÊNDICE

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO UTILIZADO NAS ENTREVISTAS DO ESTUDO DE CASO (EMPRESA “B”).....	199
------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A – EXEMPLO DE VSM (MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR) PARA A CÉLULA DE AÇO RÁPIDO.....	201
------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ANEXO B – FOTOS ILUSTRATIVAS DA CÉLULA DO AÇO RÁPIDO (EMPRESA “A”).....	202
-------------------------------------------------------------------------	-----

ANEXO C – EXEMPLO DE PLANILHA EXCEL ELABORADA COMO ADAPTAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO (EMPRESA “A”).....	203
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ANEXO D – CÉLULA DO CILINDRO DE CARABINA (EMPRESA “B”)	204
--------------------------------------------------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção podem ser interpretados como um conjunto de conceitos e técnicas fundamentados a partir de bases empíricas relevantes, desenvolvidas em um contexto social e econômico da história. Por exemplo, os EUA, no início do século XX, tinham um significativo potencial de crescimento no mercado interno que foi aproveitado, a partir do desenvolvimento das ideias de padronização (produto/intercambiabilidade de peças, processo e do trabalho), produção em massa e de consumo em massa. Através das ideias de inovação nos métodos e gerenciamento da manufatura, foram embasados os princípios da engenharia de produção (FORD, 1927; SLOAN JR., 2001).

O mercado em plena expansão, necessitando de meios de locomoção, abriu caminhos para diferentes técnicas de produção, substituindo a fabricação de automóveis, até então artesanal, por processos em linha. No sistema de produção proposto por Henry Ford, constituído por mão de obra pouco qualificada, foi necessário estabelecer meios para tornar viável o processo produtivo como a introdução do conceito de intercambiabilidade de peças e a criação da linha de produção. Cabe ressaltar a importância da padronização como princípio fundamental, objetivando unificar as boas práticas de fabricação. Conforme Ford (1927), o verdadeiro sentido da padronização equivale à reunião das melhores vantagens do produto às melhores vantagens da produção, de forma a oferecer o melhor produto ao menor preço. É possível entender que a concepção desse modelo contemplava um mercado consumidor abrangente e pouco exigente em termos de opções de produto e mesmo aspectos relativos à qualidade, o que estabeleceu uma condição básica à produção de que o custo unitário do produto seria baixo se a produção fosse elevada. Esse cenário caracterizava o conceito de produção em massa, ou seja, geração de altos volumes, custos unitários reduzidos e saídas uniformes (SHONBERGER, 1997).

Por outro lado, uma análise do cenário do Japão remete ao desenvolvimento de conceitos alternativos: a crise pós-guerra desse país impulsionou o desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção (STP), o qual deu início a uma nova jornada de desenvolvimento com o final da segunda

guerra mundial. Direcionada pela visão de alterar as características do trabalho em grandes lotes para pequenos lotes e de se igualar à produtividade da Ford, que era aproximadamente dez vezes maior, a Toyota iniciou sua adaptação às condições da realidade existente. Neste contexto, o Sistema Toyota de Produção foi concebido para responder as necessidades do mercado japonês, que exigia a produção em alta variedade e pequenos lotes (OHNO, 1997), sendo esse um cenário oposto ao encontrado na época nos Estados Unidos (LIKER, 2005).

Complementarmente, Ohno (1997) afirma que:

Até mesmo meus próprios esforços para construir o Sistema Toyota de Produção (STP), bloco por bloco, também se baseavam na forte necessidade de descobrir um novo método de produção que eliminasse o desperdício e nos ajudasse a alcançar os Estados Unidos em três anos (OHNO, 1997, p. 34).

O STP foi sendo construído ao longo de três décadas, até assumir a forma conhecida na atualidade. A história mostra que essa necessidade relatada por Ohno (1997) tinha como causa o fato de o Japão ter sido derrotado na Segunda Guerra Mundial e precisar ser reconstruído.

Nesse contexto, a Toyota descobriu que, reduzindo o tempo de atravessamento (*lead time*¹) e exercitando a flexibilidade, seria possível obter melhor qualidade, produtividade, utilização de equipamentos e de espaço físico. O Sistema Toyota de Produção que começou a ser reconhecido, a partir de 1973, com a primeira crise internacional do petróleo (OHNO, 1997), despertou a atenção em mercados globais como um sistema gerencial capaz de elevar a competitividade de organizações, graças à robustez de sua estrutura interna e de sua eficaz conexão com as necessidades do ambiente. Desse modo, a essência do STP consiste em criar um sistema alternativo ao sistema fordista de produção como forma de adaptação ao contexto social e econômico encontrado naquele momento no Japão (OHNO, 1997).

¹ *Lead time*: é o tempo médio que determinado material percorre do início do processo até a saída do produto acabado.

Ao entender os conceitos e técnicas como sustentáculos do sucesso do STP, muitas características próprias desse sistema de gestão colocam-se como objeto de estudo e investigação. Tais princípios e técnicas de gestão podem melhorar o desempenho do sistema produtivo das empresas através de melhorias do fluxo de materiais e informações. Estabelecendo o foco de estudo do fluxo contínuo, torna-se visível que a criação de fluxo é o conceito central para atingir a manufatura enxuta, no sentido de reduzir o intervalo de tempo entre a entrada de matéria-prima e a saída de produtos e serviços acabados (OHNO, 1997). O Mecanismo da Função Produção (MFP) concebido por Shigeo Shingo, no qual os eixos de análise do processo e das operações são vistos separadamente, enfoca o processo como o fluxo de materiais e serviços ao longo do tempo e do espaço (SHINGO, 1996). Em uma análise mais profunda, talvez seja possível admitir que, processos com fluxos precisos e claros e com *lead times* baixos possam conduzir à redução de desperdícios na manufatura por meio de uma otimização dos sujeitos do trabalho (homens, máquinas e equipamentos).

É possível notar que as empresas, que objetivam reduzir custos, tendem a ter quadros de funcionários cada vez mais enxutos. A mão de obra parece assumir cada vez mais o perfil da multifuncionalidade. O nível operacional já traz a postura de operadores polivalentes em substituição ao estilo especialista do tipo um homem/um posto/uma tarefa (Taylorista/Fordista). Além de produzir, o operador deve estar atento aos aspectos relativos às variações no tipo de trabalho e a qualidade do produto e ou serviços.

Nesse contexto, o STP, baseado em princípios e técnicas de operacionalização da manufatura, pode ser visto como um modelo de referência na tentativa de estabelecer uma visão voltada para a melhoria dos processos. É possível argumentar que há necessidade de estabelecer meios de produção no sentido de reduzir perdas e atingir níveis de flexibilização para obter vantagens competitivas. Como fundamento deste trabalho cabe ressaltar a importância da visão de que as técnicas empregadas no estabelecimento de sistemas de produção, possivelmente possuem uma relação de dependência com o contexto de aplicação e como tal necessitam de adaptações.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com o STP, um princípio fundamental para o alcance da manufatura com minimização de perdas relaciona-se com a adoção do fluxo contínuo/unitário de peças (LIKER, 2005). É possível citar, como exemplo de uma visão desfavorável ao fluxo, o princípio da produção em massa, no qual diferentes passos do processo baseiam-se em grandes volumes, com interrupções que exigem o armazenamento para o uso posterior. Os grandes lotes de fabricação gerados pela superprodução carregam em si perdas decorrentes como movimentações, custos inerentes de gestão, e os custos de manutenção de estoques. A questão mais evidente é que a produção em massa sempre se caracterizou pela redução de custos, através da produção em elevadas quantidades, utilizando a adoção de máquinas com altas taxas de processamento e mecanização para substituir as pessoas. A abordagem tradicional de melhorias, nesse modelo, consiste em mudar os tempos de ciclo tornando-os menores ou automatizar os processos. Em contrapartida, a manufatura enxuta baseia-se na eliminação ou minimização de perdas ou operações do processo que não agregam valor (LIKER, 2005). No sentido da implantação da manufatura enxuta, destaca-se, como requisito desse modelo, a criação do fluxo contínuo de peças, um conceito no qual o objeto do trabalho (produtos e serviços) desloca-se no tempo e no espaço a uma razão determinada pela necessidade do cliente, com o mínimo de esperas e atrasos (ANTUNES et al., 2008).

Considerando as técnicas de abordagem para criação de fluxo contínuo é possível destacar as células de manufatura como uma estruturação física adequada para a dinâmica de movimentação dos produtos e serviços no tempo e no espaço. Na ótica de Black (1998), a formação de células de manufatura representa a construção da fundação para a manufatura enxuta, ou seja, a formação de células é o primeiro passo para a criação de fluxo contínuo. Conforme Liker (2005), células consistem em organizações de pessoas, máquinas ou estações de trabalho em uma sequência de processamento, que servirão de suporte ao estabelecimento de fluxo contínuo.

No entanto, no contexto da produção enxuta, o fluxo contínuo por si só pode não satisfazer as necessidades do sistema produtivo. Tomando como referência o STP, é possível dizer que o ambiente de desenvolvimento de fluxo requer condições controladas, como por exemplo, o nivelamento de demanda, a confiabilidade dos equipamentos, o aprimoramento contínuo do *standard work* (trabalho padrão) e controle sobre variabilidades existentes.

A questão inicial do problema tratado nesta pesquisa está ligada aos métodos de abordagem ao dimensionamento de células de produção.

A abordagem comumente utilizada parece acontecer em tentativas de reduzir lotes de fabricação, reduzir a quantidade de mão de obra e estabelecer controles horários de produção conforme a percepção da realidade empírica. Aparentemente, a consideração isolada destas características pode levar a problemas no que diz respeito à operacionalização do projeto e aos resultados esperados (por exemplo, a célula pode não atingir a capacidade projetada). De acordo com observações de aplicação de métodos de dimensionamento de células é possível lançar questionamento sobre aspectos como:

- 1) A não consideração da eficiência global dos equipamentos;
- 2) A definição de uma demanda constante ligada a um único *takt time*(velocidade de produção);
- 3) A ideia de trabalhar com um único produto, desconsiderando diferenças geométricas das peças;
- 4) A definição de trabalhar somente com o fluxo unitário de peças, ou seja, não considerar a questão da possibilidade de utilização dos pulmões;
- 5) Uma visão deficiente sobre a importância da estrutura para sustentar a dinâmica do fluxo contínuo e as melhorias necessárias, baseada em melhorias nas operações feitas de forma isolada.

A desconexão entre esses aspectos, relativos a fatores existentes na realidade empírica e os modelos teóricos de dimensionamento de células de manufatura, expõe a necessidade de uma análise mais refinada para esta abordagem.

Assim a presente pesquisa pode ser lançada com a seguinte questão:
Como incluir fatores como a eficiência global dos equipamentos, as variações de demanda e a diversidade de produtos no método de análise e dimensionamento de células de manufatura?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é propor um método de análise e dimensionamento de células de produção, que considere premissas como eficiência global dos equipamentos, variação de demanda que pode ocorrer no sistema produtivo e a diversidade de produtos que podem fazer parte de uma célula.

Os objetivos específicos que deverão ser alcançados como base de sustentação da pesquisa são:

- 1) Analisar os aspectos gerais e deficiências de métodos de dimensionamento de células encontrados na literatura, como base para análise crítica das etapas de desenvolvimento das propostas dos autores pesquisados;
- 2) Identificar as características fundamentais que fazem parte do contexto de desenvolvimento da manufatura celular com base na literatura;
- 3) Apresentar as adaptações feitas em um método de dimensionamento de células adotado em um contexto específico, através de um estudo de caso, evidenciando as premissas consideradas importantes na pesquisa;
- 4) Explorar um contexto adequado ao desenvolvimento de uma proposta de método para a análise e dimensionamento de células.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa justifica-se pela possibilidade de observação em cenários reais de casos de análise e dimensionamento de células de produção. Os resultados obtidos em células de produção podem estar ligados a fatores como, por exemplo, a atuação da manutenção, as condições de máquina, a habilidade dos operadores, as variações de demanda em curtos períodos e as diferenças físicas das peças. Dessa forma é entendido que a influência desses fatores existentes no ambiente produtivo possa descaracterizar os dimensionamentos normais adotados e baseados em visões aparentemente pontuais.

É possível dizer que, do ponto de vista das abordagens acadêmicas sobre o tema de células de produção, é necessário desenvolver estudos que possam esclarecer a importância da consideração de fatores presentes na rotina do ambiente produtivo. A simples aplicação de etapas de métodos normalmente utilizados parece simplificar demasiadamente o procedimento de dimensionamento de células, conduzindo a pensamentos determinísticos. Contudo, é possível entender que, algumas vezes, o sistema produtivo das empresas não possui a robustez para suportar esta dinâmica da forma preconizada pelo STP. Conforme Black (1998), a flexibilidade é a característica-chave de projeto para sistemas de manufatura celular. O sistema necessita reagir a mudanças na demanda dos clientes, mudanças no projeto do produto ou na variedade de produtos. Segundo esse autor, o *setup* deve ser rápido, a qualidade deve ser controlada dentro da célula e os equipamentos devem sofrer manutenção frequente pelos operadores. Uma forma mais profunda de abordagem ao dimensionamento de células em determinados contextos poderá complementar a visão conceitual existente. É possível dizer que é necessário conhecer as reais capacidades do sistema, como também identificar os pontos de implementação de melhorias.

Outro ponto de vista pode ser obtido através do conceito de *Just In Time*, como pilar do STP que visa uma redução à geração e retenção de estoques, sendo que o controle sobre esse item é colocado como uma medida industrial importante. Nesses termos, os administradores industriais são conduzidos a agir

no sentido de manter os números relativos a estoques em um nível baixo. Tal pressuposto embasa a formação de células de produção como fator de favorecimento ao fluxo e redução de estoques em processo. No entanto, enquanto a responsabilidade pelos materiais parece estar com a administração da linha, muitas causas relativas a fatores como a eficiência dos equipamentos e a gestão estão fora de seu controle, por exemplo: quebras de máquinas, absenteísmo, preparação de máquinas, habilidade do operador, programação, variações na qualidade da matéria prima, padrões de trabalho por turno e outros. Uma abordagem baseada em um método consistente e claro poderá direcionar a ações gerenciais coerentes no sentido de buscar a utilização de capacidades até então desperdiçadas. De uma forma objetiva, é necessário considerar a questão de análise e dimensionamento de células de produção por meio de características que possam integrar os conceitos teóricos com as práticas e situações encontradas na rotina das empresas, a saber:

- 1) O entendimento de eficiências menores do que 100% para todos os postos de trabalho, especialmente em gargalos;
- 2) A variação de demanda que pode ocorrer em oposição à consideração de demanda constante e única, ocasionando diferentes *takt times*;
- 3) A consideração de mais de um item produzido na célula, em complemento a produção de um item isoladamente, podendo resultar em diferentes tempos de ciclo na célula.

Levando em consideração os argumentos apresentados, torna-se clara a necessidade de promover melhorias no sistema produtivo no sentido de aumentar a capacidade disponível e racionalizar a utilização dos recursos de produção.

Do ponto de vista das empresas estudadas, conforme o Gráfico 1 é mostrado um exemplo do desempenho de uma célula de produção.

Relatório do setor de células de ferramentas de aço rápido

Período: 01/12/2008 à 20/12/2008

Capacidade instalada: 2134800 peças/mês

Produção realizada em dezembro/2008: 1687056 peças

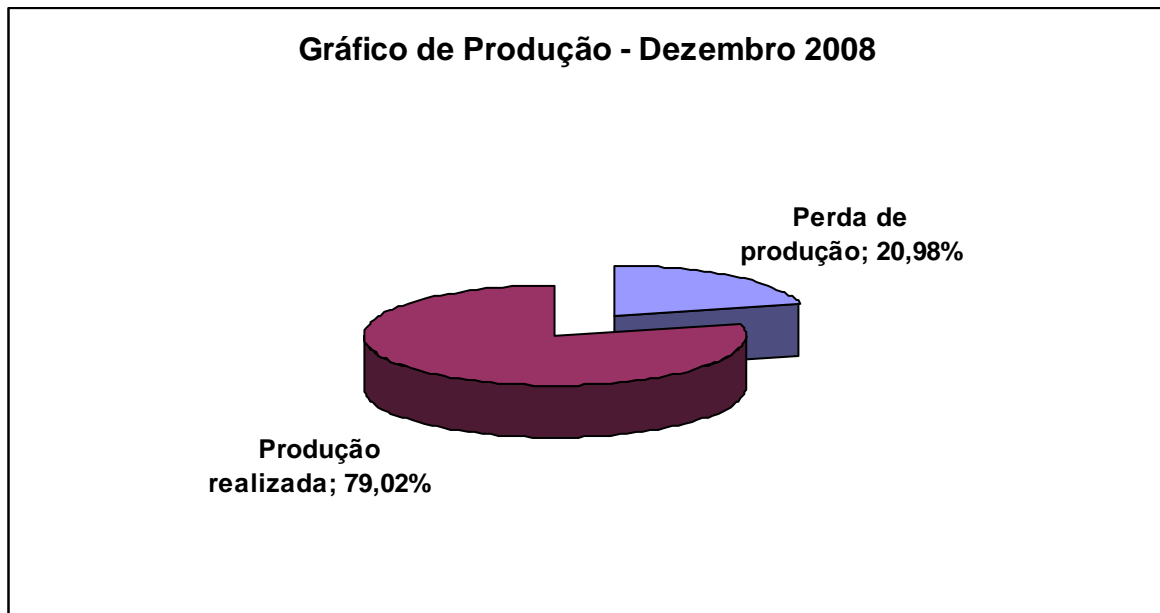


Gráfico 1: Demonstrativo de produção realizada

Fonte: Primeira empresa estudada

O gráfico de produção apresentado (Gráfico 1) é relativo ao período do mês de dezembro/2008. As perdas de produção mostradas revelam a necessidade de uma abordagem metodológica, no sentido de explorar a capacidade instalada e não aproveitada. Os motivos destacados de geração de perdas tiveram fatores ligados à gestão e ao planejamento, como, por exemplo:

- 1) *Falta de preparador de máquina*: as máquinas da célula permaneciam paradas, pois o preparador estava ocupado com a atividade de preparação em outro equipamento. Essa situação evidenciava a falta de treinamento de mais pessoas nesta função;
- 2) *Ajuste de máquinas*: após os *setups* era comum a parada para ajustar a máquina devido a dimensões da peça estar fora do especificado, estendendo o *setup* além do limite de término, dado pela primeira peça

boa obtida no lote. É caracterizada, neste aspecto, uma falta de manutenção do equipamento em suas características básicas;

3) *Programação da produção*: preparações de máquinas seguindo programações confusas e desniveladas. Apresentação de um cenário onde há uma desconexão entre o mix de itens programados e a capacidade real da manufatura.

No caso envolvendo a segunda empresa estudada, denominada de empresa “B”, a justificativa reside na possibilidade de exploração de um contexto no qual existe a necessidade de uma abordagem metodológica para análise e dimensionamento de células de produção. O estabelecimento de uma conexão da manufatura celular com o ambiente de trabalho, analisado nesta situação, favorece o desenvolvimento de um método de análise e dimensionamento de células de produção modificado.

Observando por este prisma, admite-se a necessidade de desenvolver propostas de métodos de análise e dimensionamento de células de produção, em conexão com um contexto, considerado apropriado, no sentido de necessitar de uma abordagem metodológica. Também se torna necessário a definição de requisitos relativos à viabilidade de aplicação deste método como: a estrutura de apoio, a forma de analisar e dimensionar as células e os indicadores de desempenho.

1.4 DELIMITAÇÕES

O estudo terá o foco na discussão relativa ao tema de manufatura enxuta, no que envolve conceitos relativos à organização de fatores de produção como *layout* celular, fluxo unitário de peças e melhoria contínua. O trabalho consiste em elaborar uma proposta de integração dos fatores que contribuem para o dimensionamento e desempenho de células de produção e uma base de sustentação para o exercício da melhoria contínua.

Neste sentido, foram explorados os modelos atuais de dimensionamento de células de produção encontrados na literatura disponível, segundo conceitos praticados em contextos de manufatura celular.

O trabalho não tem o objetivo de tratar de métodos que explicam a formação das células de produção como a questão relacionada à tecnologia de grupo. Também não terá base de comparação entre os tipos de *layout* existentes e o *layout* celular e, além disso, não serão consideradas abordagens profundas quanto às fontes de variabilidade como os *setups*, as paradas de máquinas por problemas de manutenção e as habilidades individuais dos operadores. A pesquisa não tem a intenção de apresentar as ferramentas de abordagem a problemas específicos de perda de desempenho, nem relatar contrastes culturais e comportamentais em relação à implantação de células de manufatura.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa apresenta a seguinte estrutura de trabalho:

- *Capítulo 1*: introdução ao trabalho envolvendo as considerações iniciais, definição do problema, objetivos, justificativas e delimitação do trabalho;
- *Capítulo 2*: apresentação e análise do método utilizado para execução do trabalho;
- *Capítulo 3*: apresentação do referencial teórico adotado para a elaboração da dissertação;
- *Capítulo 4*: este capítulo descreve o Estudo de Caso sobre a abordagem a um método de dimensionamento de células de produção dentro de um contexto (empresa “A”) e relata as adaptações feitas ao método utilizado. Na sequência é analisado um segundo contexto (empresa “B”), no qual é visualizada a possibilidade de

desenvolvimento e aplicação da proposta de um método de dimensionamento de células modificado;

- *Capítulo 5*: elaboração de uma proposta de método de dimensionamento de células de produção;
- *Capítulo 6*: apresenta as conclusões, limitações do método proposto e as possibilidades de desenvolvimento de novas pesquisas.

2 METODOLOGIA

Apresenta-se, na sequência, o método de pesquisa que embasa o trabalho. Primeiramente, é considerada uma referência conceitual de método e pesquisa, em seguida, é definido o método de trabalho a ser empregado. Finalmente é feita uma justificativa para a aplicação do método.

2.1 MÉTODO DE PESQUISA

A ciência como um processo de construção pode ser entendida como algo dinâmico, que busca continuamente a renovação e a reavaliação. Nesse sentido, não é possível considerá-la como obra pronta ou definitiva (CERVO; BERVIAN, 1983). É possível aceitar uma definição concisa de ciência como sendo uma das formas de se ter acesso ao conhecimento (VERGARA, 2007). O conhecimento científico, como forma de expressão, necessita ser diferenciado dos outros tipos de conhecimento existentes. Evidencia-se, primeiramente, a diferença entre o conhecimento científico e o conhecimento vulgar ou popular.

O conhecimento vulgar ou popular é geralmente transmitido de geração para geração por meio da educação informal e baseado em imitação e experiência pessoal. Já, o conhecimento científico, é transmitido pelo treinamento apropriado, sendo um conhecimento obtido de modo racional. Visa explicar “por que” e “como” os fenômenos ocorrem com uma visão mais globalizante do que a relacionada com um simples fato (MARCONI; LAKATOS, 2005-2008).

Torna-se importante salientar, neste estudo, que o conhecimento vulgar ou popular, conhecido como “senso comum”, não se distingue do conhecimento científico nem pela veracidade, nem pela natureza do objeto conhecido. Ou seja, a ciência não é o único caminho de acesso à verdade e, um mesmo objeto ou fenômeno pode ser matéria de observação, tanto para um cientista como para o homem comum. O que diferencia um do outro é a forma ou o método do conhecer. Verifica-se, também, que ambos (o conhecimento popular e a ciência)

almejam ser racionais e objetivos. Contudo, a racionalidade objetivada é obtida muito mais por teorias, que constituem o núcleo da ciência, do que pelo conhecimento comum, entendido como acumulação de partes de informação conectadas de forma frágil. Observando o ideal de objetividade que diz respeito a imagens da realidade (verdadeiras e impessoais) este não pode ser alcançado pelo conhecimento vulgar se não ultrapassar os limites da vida cotidiana, assim como, da experiência particular (CERVO; BERVIAN, 1983).

Entende-se que seja necessário formular hipóteses acerca da existência de objetos e fenômenos, além dos próprios sentidos e submetê-los à verificação planejada e interpretada com o auxílio de teorias (MARCONI; LAKATOS, 2005-2008). Além disso, é possível verificar que o conhecimento científico, diferencia-se dos outros tipos de conhecimento (popular, filosófico, religioso) muito mais no que é relativo ao contexto metodológico do que propriamente ao conteúdo.

Ao entender o método como o elemento diferenciador entre os tipos de conhecimento, faz-se necessário ter uma base conceitual desse método para entender sua importância no contexto da pesquisa. Método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que visam alcançar um determinado objetivo com maior segurança e economia, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando a decisão do cientista utilizando-se de caminhos válidos e verdadeiros (MARCONI; LAKATOS, 2005-2008). Segundo esses autores, o método não é de uso exclusivo da ciência, mas não há ciência sem emprego do método científico.

De acordo com Cervo e Bervian (1983), método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um dado fim ou um resultado desejado. Para esses autores, o método é apenas um conjunto ordenado de procedimentos que se mostram eficientes ao longo da história na busca do saber. O método não substitui o talento nem a inteligência, não é um modelo nem fórmula que leva a resultados. É, pois, um instrumento de trabalho em que o resultado depende de seu usuário.

Através de uma base conceitual de método, é possível caracterizar a pesquisa científica. Conforme Cervo e Bervian (1983), a pesquisa é uma

atividade destinada à busca de solução de problemas teóricos ou práticos, baseado no emprego de processos científicos. Sua origem é uma dúvida ou um problema que, com o uso do método científico, busca uma solução. Na ótica de Gil (2002-2007), é possível definir pesquisa como sendo o procedimento racional sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. O autor considera que a pesquisa torna-se necessária quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema ou quando a informação disponível encontra-se em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema. As questões relacionadas aos motivos pelos quais se faz pesquisa podem ser classificadas em dois grupos: razões de ordem intelectual, quando se deseja conhecer pela simples satisfação de conhecer; e razões de ordem prática, que decorrem do desejo de conhecer com o objetivo de fazer algo de forma mais eficiente ou eficaz (GIL, 2002-2007).

A caracterização de pesquisas pode ocorrer baseada em certos critérios, a saber:

- 1) Quanto aos objetivos;
- 2) Quanto aos procedimentos de coleta;
- 3) Quanto às fontes de informação.

Segundo os objetivos, a pesquisa pode classificar-se como exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa exploratória pode ser vista como a primeira aproximação de um determinado assunto, visando criar maior familiaridade com um fato ou fenômeno, suas formas de abordagem podem ser por meio de levantamento bibliográfico, entrevistas com profissionais da área, visitas a *web sites*. A pesquisa descritiva busca descrever um fato ou fenômeno já aproximado por intermédio da pesquisa exploratória, baseia-se em levantamento das características conhecidas do fato, fenômeno ou problema, suas formas de abordagem são levantamentos e observações sistemáticas (SANTOS, 1999). A pesquisa explicativa cria uma teoria aceitável a respeito de fatos e fenômenos. Existe uma preocupação com as causas, ou seja, com a identificação de fatores que contribuem ou determinam a ocorrência ou a forma de ocorrer dos fatos e fenômenos, sendo que uma característica importante deste critério é o

aprofundamento do conhecimento da realidade para além das aparências dos fenômenos (SANTOS, 1999).

O critério de procedimento de coleta pode ser desmembrado em experimentos, levantamentos, estudo de caso, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa-ação, pesquisa participante, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa. O critério das fontes de informação classifica-se em: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório e pesquisa bibliográfica (SANTOS, 1999).

Com base nas diferentes maneiras de se fazer pesquisa em engenharia, e citando exemplos como: estudo de caso, experimentos, levantamento de dados, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos, é possível destacar que cada uma dessas estratégias representa uma maneira diferente de se coletar e analisar dados empíricos (YIN, 2001). As estratégias apresentam vantagens e desvantagens dependendo de três condições básicas:

- 1) O tipo de questão de pesquisa;
- 2) O controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos;
- 3) O foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos.

O método de pesquisa baseado em Estudo de Caso responde a questões do tipo “como” e “por que”, essas questões são explanatórias e submetem à condição de ligações operacionais que necessitam ser desenvolvidas ao longo do tempo. Esse método também é adequado quando o pesquisador não pode manipular comportamentos relevantes apesar de serem contemporâneos. Em uma comparação, é possível observar que entre os métodos de Pesquisa Histórica e Estudo de Caso, existe uma possibilidade de sobreposição entre as duas estratégias (YIN, 2001).

A sobreposição entre esses dois métodos, embora possível, é diferenciada em termos de técnicas pela adição ao Estudo de Caso de duas fontes de evidência que não são normalmente usadas por um historiador, que

são a observação direta e a série sistemática de entrevistas. Com uma visão mais ampla, poder-se-á constatar que o poder diferenciador do Estudo de Caso é sua capacidade de lidar com uma variedade de evidências como: documentos, artefatos, entrevistas e observações, podendo ocorrer manipulação informal (YIN, 2001).

O Estudo de Caso pode ser entendido como uma investigação empírica, já que estuda um fenômeno contemporâneo dentro do contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (YIN, 2001). Esse método permite a utilização de várias técnicas, sendo possível destacar a observação direta dos acontecimentos que estão sendo estudados e as entrevistas de pessoas envolvidas. O Estudo de Caso pode lidar com uma variedade de evidências e podem ser exploratórios, descritivos e explanatórios.

Para Roesch (1999), um Estudo de Caso pode contribuir para uma teoria de cinco modos:

- 1) Disponibilizar, para estudos posteriores, uma descrição profunda e específica de uma situação, sem levar diretamente a interpretações teóricas;
- 2) Descrever e interpretar comportamentos regulares observados na situação estudada como evidência de postulados teóricos ainda não enunciados;
- 3) Criar uma situação específica dentro de um contexto para testar uma ideia ainda não refinada;
- 4) Avaliar uma teoria já proposta e aplicada dentro de um contexto;
- 5) O caso crucial, que apoia ou refuta a teoria avaliada pelo quarto passo.

O Estudo de Caso como método de pesquisa tem sido largamente usado em pesquisa acadêmica e, embora sua avaliação possa dar origem a restrições, parece não haver um consenso sobre a natureza dessa estratégia de pesquisa.

Alguns Autores definem o Método de Estudo de Caso não exatamente como um Método de Pesquisa, mas sim em relação ao objeto de estudo (ROESCH, 1999). Roesch (1999) explica que a realidade organizacional do pesquisador consiste em problemas, processos e soluções quase universais relevantes à maioria das organizações. Conforme sua definição, esse é o tipo específico de Estudo de Caso em que o pesquisador tende a estar menos preocupado em criticar a realidade e, algumas vezes, está comprometido com a organização como participante ou consultor.

Em complemento a essa visão, Yin (2001) defende a contribuição do Estudo de Caso como forma de pesquisa para a compreensão de um dado conjunto de fenômenos, que vão desde individuais até os organizacionais, sociais e políticos.

O Estudo de Caso, de acordo com Roesch (1996), é uma estratégia de pesquisa que busca examinar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto. Sua diferença em relação aos delineamentos experimentais é que estes deliberadamente separam o fenômeno em estudo do seu contexto. Da mesma forma, o método de Estudo de Caso diferencia-se do método histórico, por se referir ao presente e não ao passado. Ainda segundo esse autor, existe uma confusão entre Estudo de Caso com o método qualitativo. O esclarecimento da questão está no fato de que o Estudo de Caso pode trabalhar com evidência qualitativa ou quantitativa. Conforme o mesmo autor, o Estudo de Caso não requer necessariamente um modo único de coleta de dados. Ainda quanto a recomendações evidenciadas pelo autor está a necessidade de atenção do pesquisador quanto à falta de direcionamento para conduzir a análise dos resultados, problema que decorre da falta de um esquema conceitual rígido que, por sua vez, indica maior flexibilidade na análise dos resultados, sendo essa uma característica do método de estudo de caso. Outra falha comum encontrada na análise de Estudos de Caso é a tendência de o pesquisador elaborar longos textos narrativos para certos elementos de estudo, como entrevistas individuais, reuniões, relatórios enquanto o melhor seria que a análise fosse guiada por algumas proposições, questões ou atividades. Ainda como recomendação do autor, à medida que a análise progride, os tópicos podem ser reorganizados e os

dados qualitativos e quantitativos que se referem ao mesmo tópico devem ser combinados.

No entender de Roesch (1996), o Estudo de Caso como uma estratégia de pesquisa pode ser utilizado de forma exploratória, ou seja, visando levantar questões e hipóteses para futuros estudos através de dados qualitativos. Pode ser também utilizado como pesquisa descritiva buscando associações entre variáveis normalmente com evidência de caráter quantitativo e, por fim, pode ter caráter explanatório evidenciando-se por:

- 1) Tradução precisa dos fatos do caso;
- 2) Consideração de explicações alternativas desses fatos;
- 3) Uma conclusão baseada na explicação que tem a maior identificação com os fatos.

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, na medida em que procura aproximar-se das causas que contribuem para o fenômeno em questão: existe um interesse no aprofundamento do conhecimento dessas causas com vista a melhorar as formas de gestão do sistema. Pode ser classificada como uma pesquisa quantitativa, visto que se torna de relevante importância a coleta e análise quantificada dos dados para a interpretação dos resultados. É uma pesquisa de campo, pois será baseada em observações e dados coletados diretamente no objeto de interesse, também, é possível, evidenciá-la como um estudo de caso, já que se pretende estudar as associações do problema em questão com fatores que dão origem a esse problema.

Como justificativa para a aplicação do método de Estudo de Caso, nesta pesquisa, é possível destacar os seguintes motivos:

- 1) A pesquisa pretende apresentar em detalhes a aplicação de um método usual de dimensionamento de células de produção, dentro de um contexto claramente definido;

2) O tema estudado é importante para o desenvolvimento dos sistemas enxutos de produção nas empresas estudadas. A exploração de pontos ainda passíveis de serem melhorados; torna-se factível de ser visualizado, através de casos específicos;

3) Facilidade de acesso do pesquisador às empresas estudadas envolvendo:

- a) Documentos;
- b) Entrevistas;
- c) Relatórios;
- d) Fotografias.

Em linha geral, o estudo pode ser entendido como uma investigação empírica, onde é buscado o entendimento de uma abordagem dentro do contexto da vida real. Também é possível destacar que o estudo pode explorar de maneira específica uma situação que pode servir de base para estudos posteriores. Desta forma é entendido que o Estudo de Caso se aplica adequadamente para os propósitos do estudo.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

Para a presente pesquisa adotou-se o seguinte método de trabalho:

1) Construção, a partir de livros, artigos nacionais e internacionais, trabalhos acadêmicos disponíveis em sites acadêmicos e no portal de periódicos da CAPES, além de notas de aula do PPGEPS-UNISINOS (2008-2009), de um referencial teórico sobre o tema estudado, explorando a visão de autores na área;

2) Análise empírica do tema estudado através de estudo de caso múltiplo, considerando duas células de produção de naturezas diferenciadas, em um contexto específico, denominado de empresa "A".

Os dados coletados para a construção do trabalho foram obtidos através de observações e pesquisa documental na aplicação de um método de dimensionamento de células adotado, visando verificar aspectos do método e as deficiências encontradas;

3) Apresentação de idéias complementares ao método adotado considerando premissas, entendidas como importantes no dimensionamento de células. Nesta etapa é pretendido ressaltar as adaptações feitas ao método adotado como forma de considerar tais premissas;

4) Exploração de um contexto produtivo apropriado ao desenvolvimento de um método de análise e dimensionamento de células por meio de observação direta e entrevista². Este contexto é denominado de empresa “B” e possui uma terceira célula analisada. O objetivo desta etapa consiste em determinar um ambiente adequado a uma abordagem metodológica;

5) Desenvolvimento de uma proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção considerando as premissas referenciadas no desenvolvimento do trabalho, o contexto e as condições necessárias à aplicação do método;

6) Elaboração do texto final e conclusão do trabalho.

Através destas etapas é pretendido desenvolver o estudo de caso múltiplo, com o objetivo de considerar a agregação de idéias através de uma proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção em um ambiente apropriado.

² As questões abordadas na entrevista são apresentadas no apêndice “A”.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos alguns conceitos relativos ao sistema produtivo e à exploração de técnicas utilizadas na manufatura celular como base para o desenvolvimento da pesquisa. As referências bibliográficas e a contextualização dentro do STP serão feitas por meio das interpretações críticas das obras estudadas. A Figura 1 apresenta um posicionamento teórico dos assuntos pesquisados e sua inter-relação dentro do contexto geral. Também, são evidenciadas as premissas sugeridas na pesquisa. E através da percepção do autor, são estabelecidas as questões relativas às condições necessárias para viabilizar a análise e o dimensionamento de células de produção, denominadas de itens de avaliação.

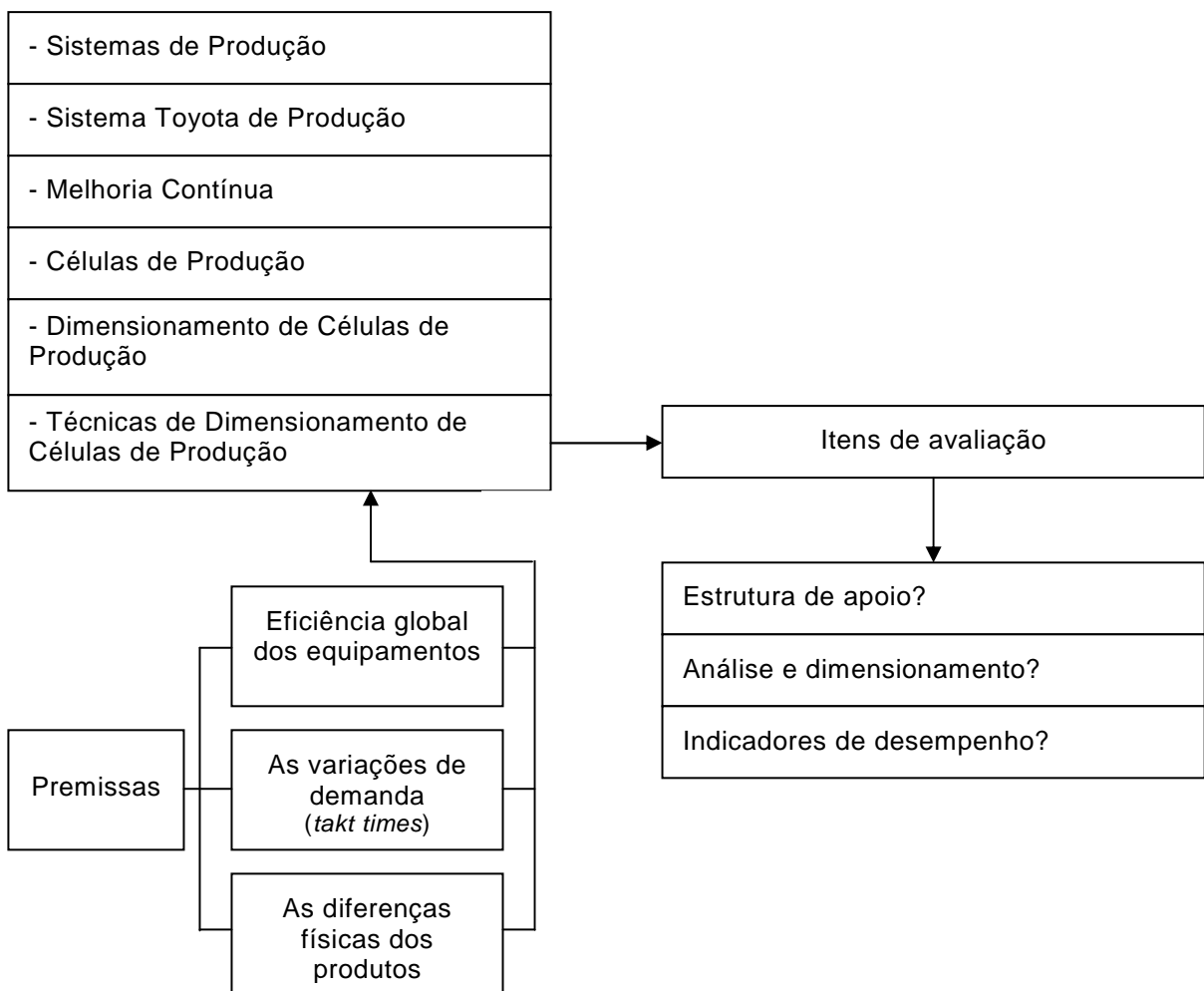


Figura 1: Escopo de análise dos temas estudados

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Krajewski e Ritzman (1999) ponderam que um sistema de produção consiste de entradas, processos, saídas e de fluxos de informação que fazem a conexão com os clientes e com o ambiente externo. As entradas do sistema de produção incluem recursos humanos (operários e gerentes), capital (equipamentos e instalações), materiais e serviços comprados, terreno e energia.

Conforme Black (1998) existe uma diferença entre “sistemas de produção” e “sistemas de manufatura”. Em linhas gerais o sistema de manufatura recebe entradas e produz saídas como produtos, informação, serviço ao cliente (BLACK, 1998). O **sistema de produção** inclui o sistema de manufatura e contempla as suas necessidades. Segundo Black (1998), o sistema produtivo diz respeito a toda a empresa e inclui os sistemas fabris.

Alguns dos parâmetros mais comuns que se pode medir em um sistema de manufatura são: tempo de atravessamento, taxa de produção, estoque em processo, percentual de defeitos, percentual de entregas dentro do prazo, volumes de produção diários /semanais/ mensais (BLACK, 1998).

3.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção (STP) surgiu no Japão em um momento de escassez de recursos e de demandas por produtos em pequenas quantidades e grande variedade: o Sistema Toyota de Produção evoluiu da necessidade (OHNO, 1997). O STP expressou-se pela mensagem de que nem sempre a produção em grandes lotes era a maneira mais rentável de produzir; havia uma dependência com o tipo de demanda. Os criadores do STP perceberam que a produção em massa havia apresentado, até então, resultados satisfatórios para demandas grandes, especialmente de poucas variedades de produtos.

No entanto, a prática mostrou que produzir em massa era inviável economicamente quando a demanda alterava-se para pequenas quantidades de variedades de produtos. Essa condição exigente e restritiva da demanda no

Japão levou ao desenvolvimento de um sistema de produção mais flexível e mais rápido em suas respostas ao mercado.

Desde a criação do STP até a atualidade, os movimentos da economia mundial vivenciaram momentos de maior e menor demanda. Independente disso, a competição, acirrada pela difusão da informação e pela facilidade do transporte, fez com que se tornasse de grande importância responder com agilidade aos clientes. Para responder aos clientes de forma ágil, sem manter estoques onerosos, é preciso ser capaz de produzir muitas variedades em pequenas quantidades.

Conforme Ghinato (1996), o STP constitui-se em uma importante referência no contexto do desenvolvimento da concorrência intercapitalista. Conforme o autor é possível considerar que o STP revolucionou a teoria e prática da administração da produção, a qual estava fortemente ligada aos princípios da administração científica e produção em massa fordista. Segundo Ghinato (1996), é percebido que o STP partindo de uma forma de organização da produção dirigida para o atendimento à demanda em alta escala de produtos padronizados foi capaz de estruturar seu sistema de produção de forma a atender as características do mercado interno japonês. Desta forma, originou-se uma organização da produção diferenciada da que foi observada no ocidente.

O STP está baseado em dois pilares: o *Just-In-Time (JIT)* e a Autonomia (Figura 2).

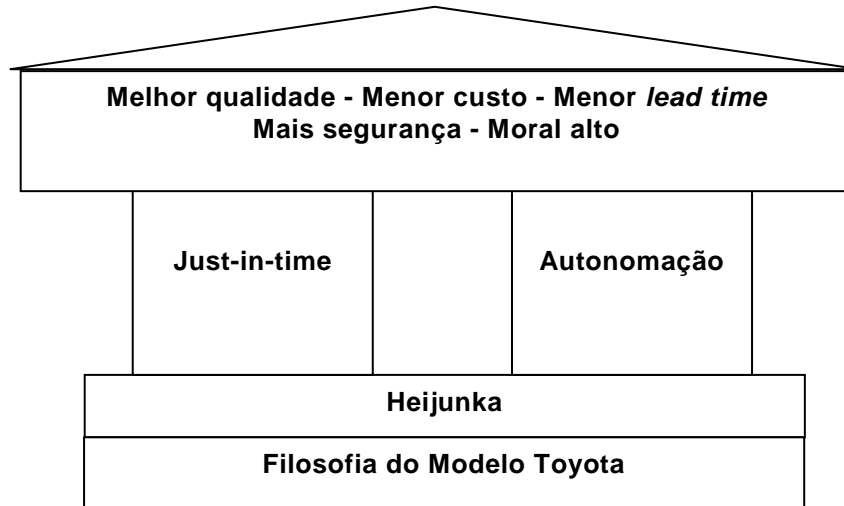


Figura 2: O sistema Toyota de Produção

Fonte: Adaptado de Liker (2005)

O *Just-in-time* (JIT) foi criado pela *Toyota Motor Company*, por meio de observações da lógica de funcionamento de supermercados nos Estados Unidos. No supermercado o comprador escolhia o que e quanto comprar obedecendo a suas prioridades. Em complemento os estoques eram repostos nas prateleiras suprindo o material retirado.

O objetivo principal do JIT é que um processo de fluxo gere apenas as peças necessárias, no momento, em quantidades necessárias e na qualidade certa. Consiste basicamente em reconstituir o estoque de itens consumidos, evitando a produção de itens além da demanda solicitada pelo cliente. Uma característica importante desse conceito é a maneira como os componentes são entregues ao usuário, ou seja, entregues diretamente para a linha de montagem várias vezes ao dia sem qualquer inspeção das peças que entram. Tais conceitos são aplicados aos produtos no sentido de atender à demanda do mercado, com uma geração minimizada de estoque (WOMACK; JONES; ROSS, 1992).

De acordo com Sekine (1990), os três princípios essenciais ao *just-in-time* no que se refere à manufatura são: a produção puxada, o fluxo unitário de peças e células de produção.

Através da conexão desses princípios desenvolvidos de forma empírica, foi possível expor uma nova abordagem gerencial como alternativa à produção

em grandes lotes, que carrega em si as perdas caracterizadas como superprodução, estoques, transportes, movimentações exageradas, produtos não conformes e esperas.

A Autonomia ou *Jidoka*, essencialmente significa não permitir que um defeito passe para a próxima etapa do processo, gerando peças não conformes. O conceito está fundamentado na possibilidade de separação entre o homem e a máquina, o que permite uma utilização econômica e racional da mão de obra. De acordo com Liker (2005), entre as características próprias da Autonomia, existem as paradas automáticas de equipamentos, associadas à detecção de problemas, o controle de qualidade na fonte, a busca da solução na origem dos problemas (cinco porquês) e os dispositivos a prova de erro (*poka yoke*).

Outro conceito de fundamental importância é o nivelamento da produção (*heijunka*) como elemento básico à sustentação desses pilares (Figura 2). O conceito de *heijunka* pode ser entendido como um verdadeiro fluxo de trabalho enxuto equilibrado (LIKER, 2005). Segundo esse autor, eliminar perdas visíveis (*muda*) não é o suficiente, já que as variações de demanda trazem instabilidades (variabilidades) ao sistema, alternando sobrecarga de trabalho e ociosidade. O desnivelamento da produção pode ser entendido como uma perda (*mura*), uma vez que exigirá recursos para atender os níveis mais altos de produção, mesmo que os níveis normais sejam muito menores. O nivelamento da produção referencia-se pelo total de pedidos em um período e os nivela para que sejam produzidos, a cada dia, produtos em uma quantidade e combinação uniformes. Na visão de Black (1998), nivelamento consiste em planejar e executar uma programação de produção parelha. Em uma situação ideal, uma fábrica produziria uma distribuição igual de produtos a cada hora a cada dia, ou seja, os itens seriam fabricados todos os dias e da mesma maneira. O princípio do nivelamento é simplesmente regular a taxa de produção e a montagem final de maneira a minimizar picos de demanda, evitando sobrecargas e ociosidades.

Conforme Antunes et al. (2008), o STP possui como principais componentes:

- Os Princípios básicos de construção, que definem o conteúdo das mudanças propostas nos sistemas produtivos:
 - a) O Mecanismo da Função Produção (MFP);
 - b) O princípio do não custo;
 - c) As perdas nos sistemas produtivos;
- O conjunto de subsistemas e técnicas que apoiam o STP, sendo possível citar:
 - a) Subsistema de defeito zero (autonomação/controle de qualidade zero defeito-CQZD/ *poka yoke*);
 - b) Subsistema de quebra zero (Manutenção produtiva total-MPT);
 - c) Subsistema de pré-requisitos básicos de Engenharia de Produção (troca rápida de ferramentas, *layout* celular, operação padrão); subsistema de estoque zero (*kanban*);
- A lógica de melhorias no STP, que define o processo de mudança e os aspectos envolvidos:
 - a) A lógica do *kanban* amplo (subsistemas de sincronização de melhorias);
 - b) Utilização conjunta de todos os Subsistemas e Técnicas apresentadas no item anterior.

O STP considera o *layout* celular, assim como a Troca Rápida de Ferramentas e a operação padrão, como fazendo parte do subsistema de pré-requisitos básicos de engenharia de produção. Estabelecendo o foco de atenção no *layout* celular, é possível entender a necessidade de adoção de *layouts* que permitam linearizar o fluxo produtivo e atender com flexibilidade a mudança de *mix* e os volumes de produção. Assim, Schonberger (1998) ensina que uma grande vantagem das células é evitar os agrupamentos de postos de trabalho com características operacionais semelhantes, fazendo com que os produtos

sigam linhas de fluxo dedicadas segundo as características de semelhança de uma família de produtos.

Observando as células de produção como elementos para a obtenção de fluxo contínuo de peças, é possível afirmar que são arranjos físicos destinados a tornar o sistema produtivo mais flexível às demandas não previstas e às variações nas demandas existentes.

A interpretação do STP como uma filosofia de produção permite perceber que este sistema foi desenvolvido para adequar-se a ambientes com elevada variabilidade e, neste sentido, é possível observar a sua robustez.

Nesta mesma linha de pensamento é possível entender que a manufatura celular, enquanto uma técnica desenvolvida no STP poderá exigir que o contexto apresente características de proteção a variabilidades, como: as variações de demanda (*heijunka*), variações funcionais dos equipamentos (manutenção produtiva total), variações no número de operadores necessários para determinado nível de demanda (multifuncionalidade) e variações dos tipos de produto que entram na célula (*setup* rápido).

3.3 O PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA

O foco de atenção na ideia de melhoria contínua dos processos permite visualizar que há uma ligação com questões táticas e operacionais. Esses problemas podem estar conectados com especificações de qualidade, engenharia industrial, planejamento e programação da produção (PCP).

Para que essas questões possam ser resolvidas faz-se necessária uma abordagem consistente de identificação de problemas do sistema produtivo. Essa abordagem deve ser capaz de apontar as soluções mais robustas para cada caso, objetivando obter resultados satisfatórios.

Nesta pesquisa, o processo de melhoria contínua foi trazido à luz do problema de análise e dimensionamento de células como forma de entendimento que os níveis de análise de problemas não estão separados. É possível perceber

que os problemas operacionais relacionam-se com questões de nível gerencial ou mesmo de direção geral da organização. A partir dessa observação é possível concluir que um adequado meio para a análise e dimensionamento dinâmico de células de produção, não pode estar apartado de uma estrutura de apoio para a solução de problemas e avanços técnicos baseado nas melhorias.

Existem vários métodos para a análise e solução de problemas. Como foco desta pesquisa será apresentado o método de análise e solução de problemas (PDCA) com base no TQC, visto que é um método amplamente conhecido e através do qual será feita a conexão com o estudo de caso proposto.

O método baseado no TQC (*Total Quality Control*) é a abordagem para a identificação, Análise e Solução de Problemas mais conhecida no meio industrial, sendo utilizada no tratamento de problemas operacionais ou técnicos (ALVAREZ, 1996).

O TQC ao estilo japonês pode ser considerado como uma aproximação representativa de uma diferenciada forma de pensamento sobre gerenciamento (ISHIKAWA, 1985). A solução de problemas é um dos pontos centrais da abordagem do TQC.

Edward Deming apresentou no ano de 1950, o ciclo PDCA, conhecido como ciclo Deming. O PDCA constitui-se, ao longo do tempo, como o modelo gerencial básico das atividades do TQC (CAMPOS, 1992).

Ghinato (1994) coloca que o ciclo PDCA é essencial para o desenvolvimento da abordagem do TQC, uma vez que é o PDCA que viabiliza as funções de manutenção e melhoria da qualidade. Campos (1992) argumenta que o PDCA pode ser utilizado tanto para manter o desempenho desejado como para aprimorar o nível de desempenho. De forma resumida é possível dizer que o ciclo PDCA inclui o planejamento das atividades de análise e solução de problemas, sua execução, a verificação dos resultados obtidos e a padronização para o próximo estudo.

Um ponto relevante na concepção do TQC é o estabelecimento e utilização de padrões. Associado a essa idéia, o PDCA tem como objetivo final a elaboração ou alteração dos padrões. A utilização de padrões é essencial para garantir a previsibilidade de resultados. Portanto, é importante para evitar o reaparecimento do problema. Em uma análise da conexão desta abordagem utilizando o PDCA com o objeto de estudo da pesquisa é possível perceber que essa característica de estabelecer os padrões é de importância fundamental para a fixação dos avanços alcançados ao longo do tempo.

O ciclo PDCA pode ser entendido como um conjunto de etapas conectadas em sequência para análise e solução de problemas. A designação do ciclo PDCA tem o seguinte significado: "*Plan-Do-Check-Action*". Através da subdivisão das etapas nos quadrantes do círculo(Figura 3), são descritos os passos conforme segue:

- *PLAN*:
 - 1- Determinar metas
 - 2- Determinar métodos para atingir as metas;
- *DO*:
 - 3- Educar e treinar o grupo
 - 4- Implementar o trabalho;
- *CHECK*:
 - 5- Checar os efeitos da implementação;
- *ACTION*:
 - 6- Tomar a ação apropriada.

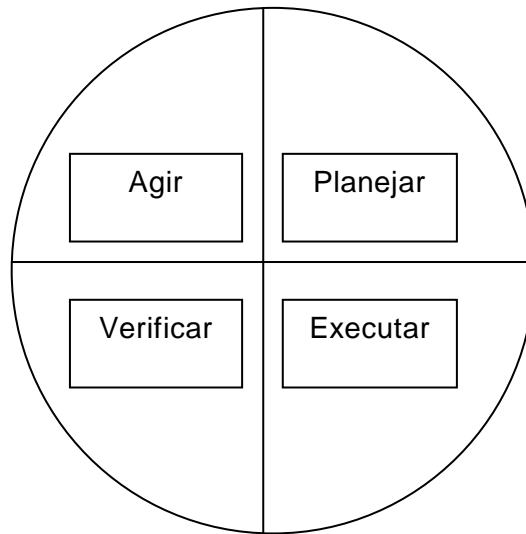


Figura 3: círculo de controle PDCA

Fonte: Adaptado de Ishikawa (1985, p. 59)

3.4 AS CÉLULAS DE PRODUÇÃO

O tema relativo às células de produção é apresentado como assunto subsequente ao PDCA devido à interrelação entre a abordagem à melhoria contínua e o desenvolvimento da análise e dimensionamento de células no escopo desta pesquisa.

A seguir são apresentados aspectos básicos relacionados no contexto da manufatura celular, como forma de embasar a discussão relativa ao tema da presente pesquisa.

Segundo Shingo (1996) em sua contribuição relativa ao mecanismo da função produção (MFP) os processos e as operações devem ser vistos em diferentes eixos dentro da rede de produção (SHINGO, 1996). Essa abordagem é de relevante importância para a melhoria do sistema. Os processos são o fluxo de materiais ou serviços se deslocando no tempo e no espaço, os quais podem ser vistos como objetos do trabalho. As operações são vistas como as ações dos sujeitos do trabalho (homens, máquinas e equipamentos) sobre esses objetos. Segundo Shingo (1996), as melhorias fundamentais devem ser priorizadas nos processos como forma de melhorar a eficiência do sistema produtivo. Essa abordagem permite perceber a importância do fluxo de materiais e serviços no

contexto de uma organização e tal conceito substitui de forma consistente a visão tradicional proposta pelo taylorismo/fordismo, na qual os processos e operações eram comuns ao mesmo eixo de análise. Utilizando-se do foco em melhorias nos processos, é possível evidenciar certos métodos e técnicas criados, como por exemplo, o *Kanban*, a Autonomia, a Troca Rápida de Ferramentas (TRF), o *poka-yoke* e a manufatura celular entre outros.

Por meio do emprego dessas técnicas, a maior parte originalmente criada e desenvolvida no contexto do STP, foi possível verificar grandes movimentos recorrentes aos conceitos básicos desenvolvidos, por parte de empresas interessadas em reprojeter o sistema de manufatura até então existente. Black (1998) coloca que a formação de células de produção é o primeiro passo para projetar sistemas produtivos em que controle de produção, inventário e qualidade são partes integrantes do contexto. Uma célula de produção e montagem pode ser definida como um grupo de processos projetado para fabricar certa família de produtos de uma forma flexível (BLACK, 1998).

É possível afirmar que células de produção possuem uma forte relação com a criação de fluxo contínuo, o que remete ao entendimento de sua associação ao eixo da função processo. São percebidas características como uma movimentação de peças em lotes unitários ou lotes de pequenas quantidades (quando tratar-se de peças de pequeno porte). Há uma forte tendência à multifuncionalidade, de modo que os operadores possam realizar várias e diferentes operações. O fluxo é contínuo e irreversível, são usadas máquinas específicas e de custo relativamente baixo. Normalmente são projetadas no formato em “U” devido a vantagens percebidas, por exemplo, melhor comunicação entre os trabalhadores, favorecimento a supervisão e a operadores multifuncionais. De acordo com Cheng, Miltenburg e Motwani (2000), é possível afirmar que uma célula em formato de “U” pode ser menos suscetível a problemas de qualidade do que uma linha de produção em forma reta. Miltenburg (2001) considera três tipos de estações de trabalho em células com formato em “U”: as estações regulares, as estações cruzadas e as estações multilinha. As estações regulares são aquelas que são organizadas em uma sequência contínua compreendendo um determinado grupo de operações, todas as estações em uma linha tradicional são regulares, já que não há distância de

atravessamento e a distância de retorno é igual à soma das distâncias entre operações.

Para esse autor, o número de estações regulares deve ser limitado em uma célula, como meio de evitar dificuldades de comunicação entre os operadores. Dessa forma, estações regulares devem ser limitadas em não mais do que cinco ou seis operações. Estações cruzadas incluem dois grupos de operações em diferentes lados de uma célula em forma de “U”. O operador percorre a distância de atravessamento e uma distância de retorno para se mover entre os grupos de operações (Figura 4). Uma estação multilinha inclui operações de duas células adjacentes, nas quais o operador desloca-se em uma determinada sequência (Figura 5). Nesse tipo de arranjo, além da distância de retorno, existe a distância de deslocamento entre células, podendo existir uma distância de atravessamento em função do arranjo entre as operações.

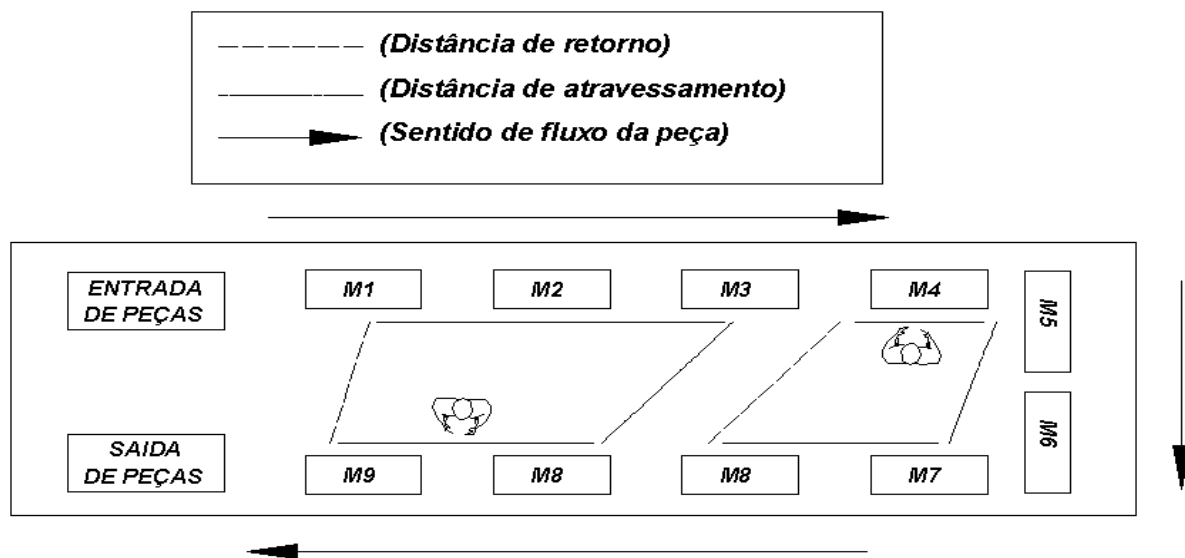


Figura 4: Esquema de uma Célula formato “U” (estação cruzada)

Fonte: Adaptado de Miltenburg (2001, p. 4)

De acordo com Cheng, Miltenburg e Motwani (2000), cinco elementos atuando em conjunto fazem do fluxo unitário de peças um sistema de produção distinto: o fluxo de fabricação em linhas com formato em “U” (Figura 5), o *takt time*, a operação padrão, o controle de produção puxada e o Jidoka. Para os autores, o fluxo unitário de peças requer um *layout* apropriado ao fluxo, sendo esse arranjo de postos de trabalho em formato de “U”. Nessa configuração, os

operadores trabalham no lado interno do formato “U”, o operador supervisiona a entrada e saída de materiais dentro da linha. Quanto à movimentação de materiais e do operador, esta poderá ser horária ou anti-horária. Quanto aos estoques em processo, há no máximo uma unidade de estoque em processo em cada estação de trabalho na linha (CHENG; MILTENBURG; MOTWANI, 2000).

A afirmação desses autores quanto ao aspecto do fluxo unitário de peças pode ser revista e questionada através de uma condição de trabalho considerando os “desacopladores” que consiste basicamente em reter peças em pontos específicos do processo. Segundo Black (1998), os desacopladores separam os processos de maneira que não sejam dependentes entre si. Conforme o autor, essa técnica elimina a necessidade de balanceamentos precisos e são capazes de contornar o problema da variabilidade temporal do processo.

Com relação ao ritmo de trabalho a ser adotado é possível referenciar o *takt time*, como sendo marcador da velocidade necessária ao atendimento à demanda. O *takt time* é um dos fatores básicos que compõem o projeto da célula, sendo o intervalo de tempo dentro do qual um produto deve estar disponível no final da linha. É calculado através da razão entre a oferta de tempo para a produção (subtraindo-se as paradas programadas) e a demanda de produtos ditada pelo cliente.

No projeto da célula, após o cálculo do *takt time*, é feita uma análise comparativa entre esse valor e o tempo de ciclo das operações que compõem a célula. De acordo com Antunes et al. (2008), o tempo de ciclo restritivo de uma célula ou linha é o tempo de execução da operação na máquina ou posto de trabalho mais lento, que compõe a célula. Segundo Miltenburg (2001), a meta do projeto de produção em fluxo unitário de peças é que o tempo de ciclo de uma célula seja no mínimo equivalente ao *takt time*.

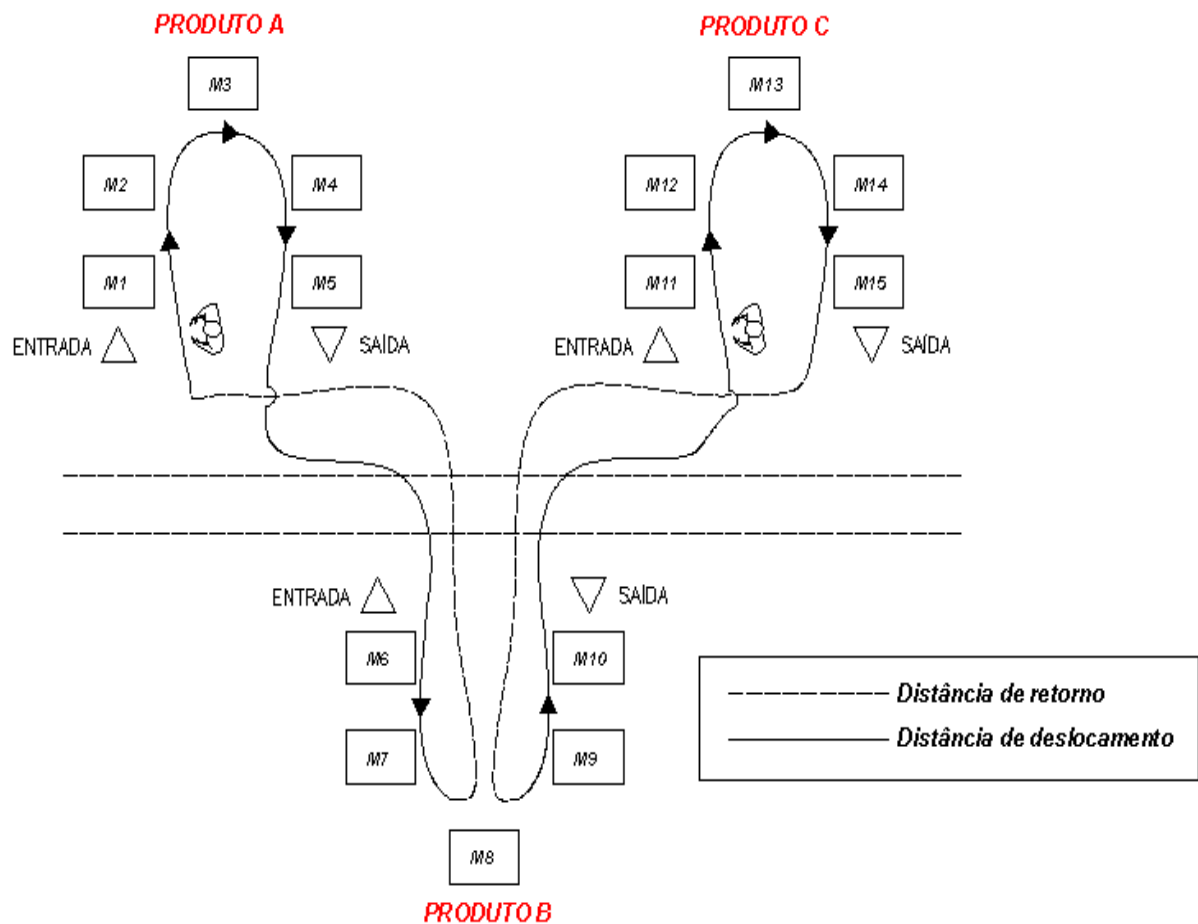


Figura 5: Conjunto de células formato “U” controladas por dois operadores

Fonte: Adaptado de Miltenburg (2001, p. 309)

Conforme Alvarez e Antunes Jr. (2001), existe a necessidade de esclarecimento da diferença entre os conceitos de *takt time* e tempo de ciclo. *Takt time* é o ritmo da produção necessário para atender a um determinado nível considerado de demanda, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001). Matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas. O conceito de *takt time* está diretamente relacionado à Função Processo (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001), na medida em que trata do fluxo dos materiais ao longo do tempo e espaço. Em uma linha de produção, a cada intervalo definido pelo *takt time*, uma unidade deve ser terminada.

Em contraste com o conceito de *takt time*, faz-se necessário evidenciar o conceito de tempo de ciclo, sendo esse definido como o período transcorrido entre a repetição de um mesmo elemento de trabalho que caracteriza o início ou

fim desse ciclo (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001). Sob a ótica do MFP, o tempo de ciclo está associado à Função Operação, pode ser visto como uma característica de cada operação, da rede de processos e operações e está associado ao tempo de processamento de cada atividade no posto de trabalho. Cada máquina ou equipamento tem um tempo de ciclo característico para cada produto em uma dada operação, o que pode ser identificado com relativa facilidade tomando-se uma referência como base de observação, por exemplo, em uma máquina automática a abertura ou fechamento de porta ou a saída de uma ferramenta do magazine. Quando analisado isoladamente, o tempo de ciclo é igual ao tempo padrão que consta nos roteiros de fabricação mostrado nos sistemas de engenharia. Quando a análise é feita considerando-se um sistema como células ou linhas, a análise do tempo de ciclo toma outra perspectiva, ou seja, deixa de ter uma única máquina, a partir da qual se pode definir o tempo de ciclo. Nessa circunstância, existem várias máquinas que compõem a célula ou linha, contudo o tempo de ciclo da célula ou linha somente pode ser expresso por um único tempo de ciclo. Esse tempo referencia-se pela execução da operação na máquina ou posto de trabalho mais lento, ou seja, é o ritmo máximo possível de ser atingido mantidas as condições originais de trabalho (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001).

Outra característica implícita na manufatura celular é a operação padrão (*Standard Operation*) que orienta a interação entre o operador e os postos de trabalho para produzir um produto. Conforme Miltenburg (2001), esse documento viabiliza o estudo de melhorias a partir de um referencial adotado. O princípio do trabalho padronizado auxilia o princípio de Autonomia que permite separar o trabalho do homem do trabalho da máquina, uma vez que as máquinas possam trabalhar independentemente. Segundo o autor, o trabalho do homem é mais importante que o trabalho da máquina, o que significa que a alta utilização do homem é mais importante do que a alta utilização das máquinas (MILTENBURG, 2001). Logicamente essa é uma visão ligada ao contexto no qual o custo da mão de obra é elevado e os equipamentos já estão depreciados e como tal não se aplica de forma geral a todos os mercados. Conforme Antunes et al. (2008) o custo relativo dos equipamentos de produção no Brasil torna-se relevante,

principalmente devido ao fato de que existe uma dependência da importação total ou parcial de equipamentos.

O controle de estoques é feito via produção “puxada” por pedidos, que sinalizam a necessidade de produtos de estações de trabalho posteriores à célula. A sinalização normalmente é feita por cartões, quadros *kanban*, contenedores reutilizáveis e *kanban* eletrônico. Esses controles têm a finalidade de integrar subsistemas, evitando perdas por superprodução e, também, promovendo melhorias no sistema.

O quinto fator, conforme Miltenburg (2001) é o *Jidoka/Autonomia*. Essa característica já foi anteriormente discutida. No caso das células, o principal motivo é que a Autonomia permite obter a multifuncionalidade.

Uma abordagem ao conceito de células de produção introduzida por Drolet, Abdounour e Rheault (1996), apresenta a visão dos Autores sobre o conceito de célula de produção de acordo com a organização proposta por sistemas, a saber: 1) Sistema clássico de células de produção; 2) Sistema virtual de células de produção; e 3) Sistema dinâmico de células de produção. O sistema clássico de células será descrito em detalhes, a seguir:

1) *Sistema clássico de células de produção*: este sistema é o resultado da aplicação da Tecnologia de Grupo (TG), que consiste em um método de definição de um conjunto de peças que por similaridade de operações deverão visitar os equipamentos definidos para formar as células. Esse conceito começou a ser utilizado nos Estados Unidos no início da década de setenta. O sistema clássico de células de produção, conforme os autores, não é apropriado se a sequência de operações estão sujeitas a mudanças frequentes, pois, desta forma, os desvios de fluxos podem comprometer a organização. Drolet, Abdounour e Rheault (1996), colocam que o sistema de manufatura celular tem muitas vantagens dentro do ambiente de manufatura, como por exemplo, melhorias em: manuseio de materiais, *setup*, ferramental, estoques em processo, tempo de atravessamento (*lead time*), habilidades do operador, relações humanas. Como desvantagens são citadas a redução da flexibilidade e da utilização de máquinas.

Uma consideração importante, conforme Drolet, Abdounour e Rhealt (1996), refere-se ao número de peças que visitam a célula quando há uma mudança de *mix*. Nesta situação a célula tende a ser menos eficiente, pois problemas de balanceamento podem implicar a necessidade de redimensionar a célula. Também é colocado pelos autores que é raro uma célula clássica ser completamente independente, pois muitos tipos de peças devem visitar a célula uma vez que duplicar máquinas somente para manter uma célula independente pode ser uma alternativa que exige altos investimentos. Essa afirmação reforça a visão para o dimensionamento baseado em peças com diferentes características físicas e pode originar diferentes tempos de ciclo da célula.

O sistema virtual e o sistema dinâmico de células de manufatura não serão apresentados por estarem fora do escopo da pesquisa.

3.4.1 A Concepção de Células de Produção Segundo Slack et al. (2009)

Segundo Slack et al. (2009), células como formas de arranjo físico representam um compromisso entre a flexibilidade do arranjo por processo, no qual processos similares são localizados juntos um do outro e a simplicidade do arranjo físico por produto, onde os recursos são dispostos conforme a necessidade de processamento. Slack et al. (2009) definem os princípios de arranjo físico que o JIT recomenda, a partir dos seguintes aspectos:

- 1) Situar os postos de trabalho próximos uns dos outros de forma que não seja necessária a geração de estoques;
- 2) Situar os postos de trabalho de modo que todos que fabricam determinado componente estejam visíveis uns aos outros tornando o fluxo transparente para todas as partes da linha;
- 3) Usar linhas em forma de “U”, de forma que os funcionários possam movimentar-se entre postos de trabalho para balancear a capacidade;
- 4) Adotar arranjo físico celular.

Conforme o autor é dado que o arranjo físico celular possui as características necessárias para adaptar-se aos princípios do JIT. Isto porque esta forma de arranjo físico tende a controlar a geração de desperdícios gerados pela superprodução, como também parece envolver todos os operadores, tanto no aspecto físico como no motivacional, possibilitando, de forma geral, um ambiente voltado à melhoria contínua. Com relação à utilização dos equipamentos Slack et al. (2009) apresentam conforme Figura 6, uma visão voltada para uma utilização limitada dos equipamentos com o objetivo de não gerar estoques. Em uma análise mais profunda ao conceito de Slack et al. (2009) é possível perceber uma ligação ao conceito tradicional de células. A definição sobre a utilização da capacidade fica sujeita à condição de somente produzir “quando houver necessidade”. É possível argumentar que os altos custos de investimento em equipamentos, aliados à variação de tipos de produtos que normalmente compõem uma célula, exigirão desempenho e utilização de capacidade e, portanto, o conceito de Slack et al. (2009), parece se apresentar dissociado da realidade em que é necessário medir e aproveitar a capacidade disponível nos equipamentos.

Conforme Slack et al. (2009), a natureza das células pode ser descrita através da análise da quantidade de recursos diretos e indiretos alocados dentro da célula. Recursos diretos são os que transformam material, informação ou serviços a clientes diretamente. Os recursos indiretos existem para apoiar os recursos diretos em suas atividades de transformação.

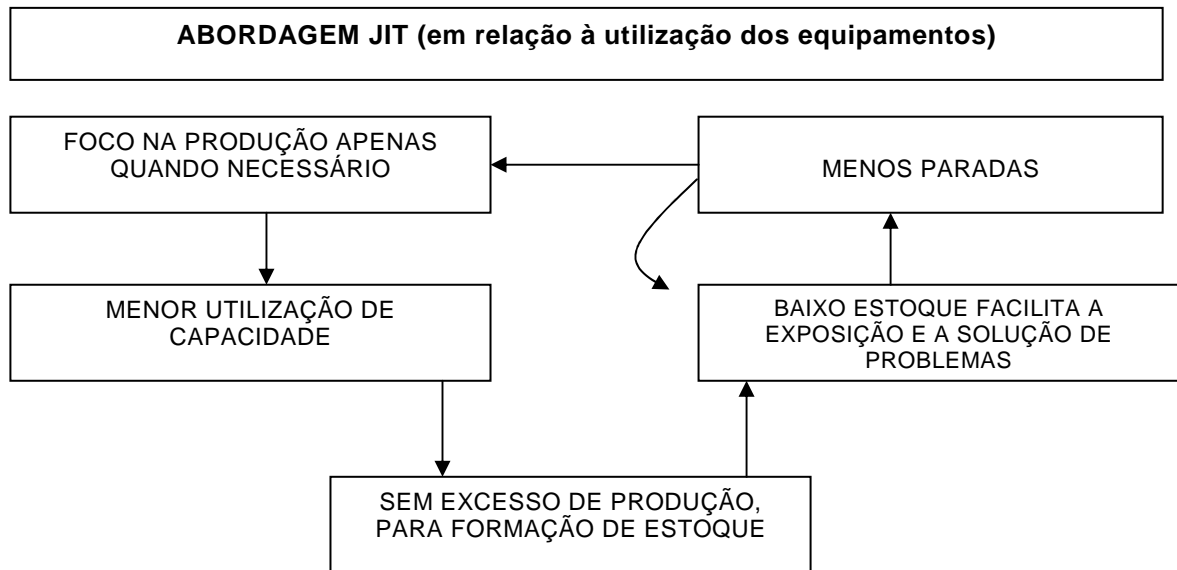


Figura 6: Visão da abordagem JIT com relação à utilização dos equipamentos

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009, p. 485)

É possível, segundo o Autor, fazer uma classificação de células baseada na quantidade de recursos diretos e indiretos incluídos na célula (Figura 7).

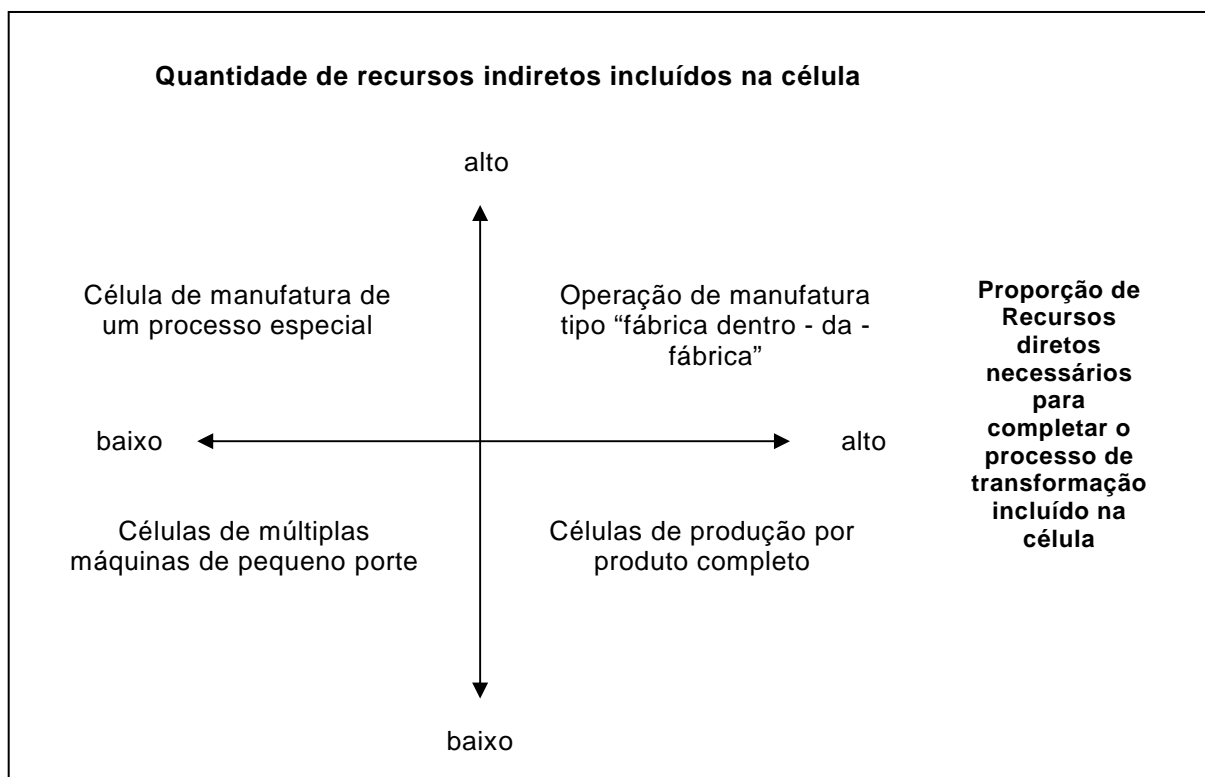


Figura 7: Classificação dos tipos de célula

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009, p. 226)

Conforme apresentado na Figura 7 é possível definir cada quadrante segundo o tipo de célula:

1) *Quadrante inferior direito*: são as chamadas “células puras”, onde suas atividades são focalizadas em completar toda a transformação, neste caso, todos os recursos para tal fim estão localizados na célula. Nessa abordagem o dimensionamento de operadores, máquinas, supervisão e corpo técnico tornam-se necessários;

2) *Quadrante superior direito*: representa a extensão lógica do conceito de célula, incluindo todos os recursos indiretos de apoio e administrativos necessários para que a célula seja “auto-suficiente”. Este tipo de célula requer como característica adicional o dimensionamento de supervisão e corpo técnico destinado à operação;

3) *Quadrante inferior esquerdo*: neste tipo de célula os recursos são colocados juntos porque são necessários na mesma parte do processo geral de transformação. Por exemplo, dois recursos que são sempre usados, um logo após o outro, podem ser localizados juntos, o dimensionamento de máquinas, equipamentos e operadores é uma característica básica para a operação;

4) *Quadrante superior esquerdo*: representa o tipo de célula em que há questionamentos sobre a própria conceituação de célula. Este tipo de agrupamento possui recursos diretos suficientes para serem aplicados sobre parte do processo total, de forma que representa mínima diferença de um setor convencional de um arranjo físico por processo. Esse tipo de célula possui todos os recursos indiretos que são necessários. Conceitualmente elas poderiam ser capazes de ser autossuficientes em relação ao restante da operação.

3.4.2 O Dimensionamento de Células na Visão de Monden (1984)

Segundo Monden (1984), a padronização das operações é a meta na produção visando utilizar uma quantidade mínima de operadores. Para Monden (1984) a padronização tem três objetivos, a saber:

- 1) Obtenção de alta produtividade através de trabalho dedicado, ou seja, propiciar aos operários trabalharem eficientemente sem qualquer movimento perdido. Uma sequência padronizada de várias operações a serem executadas por cada operador pode facilitar a obtenção deste objetivo (MONDEN, 1984);
- 2) Fazer o balanceamento da linha entre todos os processos em termos de tempo de produção. Nesta situação o conceito do tempo de ciclo deve ser montado em operações padronizadas (MONDEN, 1984);
- 3) Permitir somente uma quantidade mínima de material em processo, considerada como “*quantidade - padrão de material em processo*” como o número mínimo de unidades necessárias para as operações padronizadas a ser manipulado pelos operadores. Essa quantidade padrão contribui para a eliminação dos inventários excessivos em processo (MONDEN, 1984).

A partir desses objetivos é possível perceber uma visão voltada para a sincronização e controle do fluxo de materiais, que deverá envolver os aspectos de dimensionamento da célula. Para Monden (1984), a lógica da operação padrão é constituída de três elementos:

- 1) Tempo de ciclo;
- 2) Rotinas de operação-padrão;
- 3) Quantidade padrão de material em processo.

É percebido que a operação-padrão citada por Monden (1984) tem uma abrangência maior do que os documentos que possuem as sequências de operação e o tempo padrão. A revisão periódica dos três elementos citados

consiste em uma possibilidade consistente de análise gerencial no sentido de analisar e dimensionar a célula para promover melhorias.

Conforme mostrado na Figura 8 é possível determinar que:

A sequência orientada pelas operações e tempos padrão corresponde a:

– (A-B-C-D-E-F-G-H-I-J).

A sequência orientada pelo trabalho padrão corresponde à:

– (1-2-3); (4-5-6-7); (8-9-10).

Entrada

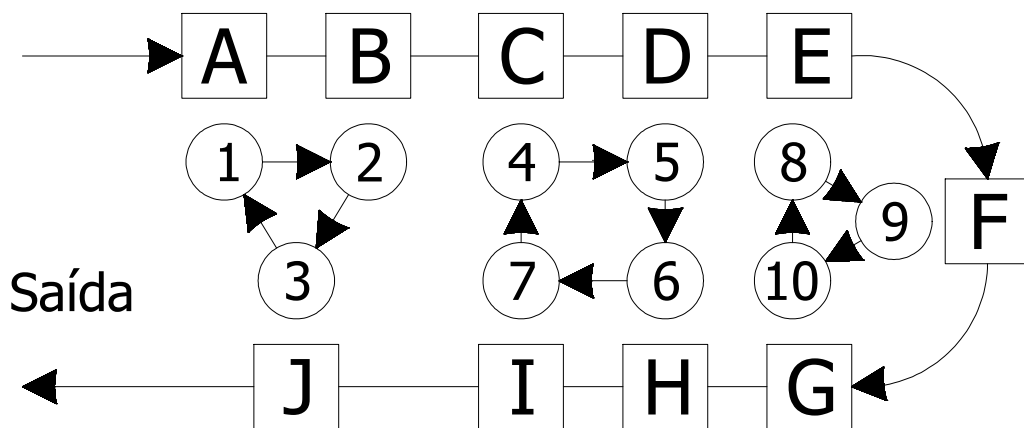


Figura 8: Exemplo de distribuição de operadores no trabalho padrão

Fonte : Adaptado de Monden (1984, p. 53)

Cabe ressaltar uma visão crítica a respeito da possibilidade de existir um equívoco na tradução de Monden (1984). Uma definição conceitual pode ser esclarecida sobre o “tempo de ciclo” como elemento da operação padrão, pois na realidade esse faz referência ao ritmo necessário à produção (*takt time*). É necessário considerar que há diferença entre o *takt time* (tempo no qual uma unidade do produto deve ser produzida) e o tempo de ciclo que consta nos roteiros de produção (tempo padrão). O termo “tempo de ciclo”, que Monden (1984) expressa como elemento constituinte da operação padrão é na verdade o conceito de ritmo necessário à produção, expresso pelo *takt time*.

A seguir é apresentado o método de dimensionamento da célula baseado nas operações padronizadas:

a) Determinar o tempo de ciclo, segundo Monden (1984)

A determinação desse tempo é dada pela razão entre o tempo efetivo de operação diária e a quantidade diária de produção. Como mostra a equação (1):

$$\text{tempo de ciclo} = \frac{\text{tempo efetivo de operação}}{\text{quantidade diária necessária de produção}} \quad (1)$$

Para Monden (1984), o tempo efetivo diário não deve ser reduzido devido a qualquer anomalia como: quebra de máquinas, tempo perdido aguardando materiais, fadiga ou descanso. Ainda a quantidade necessária de saída de produção não deve ser aumentada, pois poderá gerar peças defeituosas.

b) Determinar o tempo para completar uma unidade:

O tempo para completar uma unidade tem que ser determinado em cada processo e para cada peça (MONDEN, 1984). O tempo de operação manual e o de processamento da máquina automática são também medidos por cronometragem (MONDEN, 1984). É considerado tempo para completar uma unidade o tempo necessário para o processamento de uma única unidade (MONDEN, 1984).

Uma análise mais profunda, na afirmação de Monden (1984) sobre o tempo para completar uma unidade em que deve ser “*determinado o tempo em cada processo e para cada peça*”, não deixa claro sobre como será tratada a questão do ritmo (*takt time*) se houver peças com diferenças de tempo de ciclo que entram na mesma célula, pois sendo o *takt time* um valor determinado e pontual será mantido o mesmo ao longo de certo período de tempo.

c) Determinar as rotinas de operações padronizadas:

A determinação do tempo de ciclo e o de operação manual por unidade para cada operação é básico para o cálculo das diferentes operações em que cada operador é responsável (MONDEN, 1984). A rotina de operações

padronizadas é a sequência de ações que cada operador deve executar dentro de um dado tempo de ciclo (MONDEN, 1984). A rotina de operações padronizadas tem dois propósitos, a saber:

- 1) Fornecer ao operador a ordem de sequência ou rotina para apanhar a peça, colocá-la na máquina e retirá-la após o processamento;
- 2) Fornecer a sequência de operações que um operário multifuncional tem que executar em diversas máquinas dentro de um ciclo de tempo.

É possível entender basicamente que a determinação das rotinas de operações padronizadas considera o conteúdo de trabalho manual em uma comparação com o tempo de ciclo para poder distribuir adequadamente as tarefas aos operadores dentro de um ciclo de tempo para os equipamentos. Desta forma, é possível minimizar a quantidade de operários e não gerar estoques excedentes.

d) Determinar a quantidade padronizada de material em processo:

A quantidade padronizada de material em processo é a quantidade mínima necessária dentro da linha de produção (MONDEN, 1984). Consiste da disposição do material e do espaço entre máquinas, além do material agregado à máquina.

Sem a quantidade de material em processo, o ritmo das operações pré-determinadas de várias máquinas não pode ser alcançado (MONDEN, 1984). A quantidade de reserva varia de acordo com diferenças nos *layouts* de máquinas e rotinas de operações:

- 1) Se a rotina de operações está de acordo com a sequência do fluxo do processo, somente o material agregado a cada máquina é necessário. Não é necessário manter o trabalho entre máquinas;
- 2) Se a rotina de operações padrão está em direção oposta à sequência de processamento é preciso manter ao menos uma peça em trabalho entre máquinas.

A quantidade padronizada mantida deve ser tão pequena quanto possível. Além de reduzir os custos para mantê-la, um controle visual para verificar a qualidade do produto, a detecção dos defeitos e a melhoria do processo são feitos facilmente (MONDEN, 1984).

e) Preparar a folha de operações padronizadas:

A folha de operações padronizadas é, segundo Monden (1984), o item final necessário para a padronização de operações. Essa folha deve conter os seguintes itens:

- 1) Tempo de ciclo;
- 2) Rotina de operações;
- 3) Quantidade padronizada de material em processo;
- 4) Tempo líquido de operação;
- 5) Posições para verificar a qualidade do produto.

É possível perceber que a rotina de trabalho padronizado apresentada por Monden (1984), é um fator determinante no dimensionamento da célula, minimizando operários e materiais em processo. Como observação crítica, é possível considerar a ausência de análise das capacidades reais dos equipamentos como base de sustentação ao ritmo necessário expresso pelo *takt time*.

Cabe ressaltar, para a possibilidade de um equívoco na abordagem de Monden (1984), que pode ocorrer ao considerar somente as operações manuais como referência à sustentação do fluxo necessário para atendimento à demanda.

3.4.3 Análise para o Dimensionamento de Células Segundo Sekine (1990)

Conforme Sekine (1990), a formação e o dimensionamento de células devem ser voltados ao atendimento dos requisitos da produção com fluxo unitário de peças e segue alguns critérios explicitados a seguir:

a) Basear o takt time nas necessidades do mercado

Esta aproximação faz uma conexão entre o tempo destinado à produção e as necessidades dos clientes, ou seja, o número de produtos a ser produzido corresponde ao número de produtos solicitados pelos clientes. Esta visão mostra que o tempo de ciclo de venda (*takt time*), conforme definição do autor deve ser no mínimo, igual ao tempo de ciclo para a manufatura (SEKINE, 1990). Pois, se este valor for inferior, pode significar falta de capacidade da célula.

b) Utilizar a capacidade do equipamento baseado no tempo de ciclo das vendas (takt time)

Os fatores da qualidade, custo, entrega e segurança devem ser baseados na produção em fluxo unitário de peças (SEKINE, 1990). Outra consideração, segundo o autor, é que os equipamentos que formarão a célula não sejam projetados para fabricação em grandes lotes, pois esses equipamentos serão de difícil adaptação ao fluxo unitário de peças.

c) Centrar a produção em processos de montagem

A ênfase tradicional da produção centrada no planejamento dos diversos postos de trabalho deve ser alterada para que as últimas informações do mercado sejam passadas exclusivamente para o setor de montagem dos componentes, que receberá um plano semanal de produção com estas informações (SEKINE, 1990). Essas informações não são passadas para outro processo anterior. Ao contrário disso, os processos anteriores à montagem recebem ordens para repor as peças que foram usadas nesse setor. Nestas condições é definido que a fábrica segue o princípio da produção puxada (SEKINE, 1990).

d) O layout da fábrica deve ser adaptado para a produção em fluxo unitário de peças

O *layout* da fábrica deve incluir células em formato de “U”, com operadores que estejam habilitados a operar mais de uma máquina.

As características básicas do *layout* conforme Sekine (1990) são:

- Fazer o *layout* adaptado para o fluxo de produção;
- A fábrica deve ter trajetos claros de produtos;
- A linha de produção deve distinguir claramente entre a entrada e saída de materiais;
- Incluir inspeção ao longo dos processos;
- Minimizar estoques em processos.

e) *Os produtos devem ser adaptáveis à produção em fluxo unitário de peças:*

Peças muito pequenas não são adequadas ao fluxo unitário de peças devido às perdas envolvidas em *set up*, posicionamento e remoção dessas peças nos equipamentos. Segundo Sekine (1990), se o transporte entre máquinas puder ser automatizado e o tempo de ciclo não for muito longo, se tornará possível mobilizar tentativas de dimensionamento da célula.

Uma análise da abordagem proposta por Sekine (1990) permite dizer que o autor não aborda de maneira explícita as questões relativas ao dimensionamento de células de manufatura. O método proposto é genérico deixando aspectos a serem esclarecidos quanto ao aproveitamento dos sujeitos do trabalho (homens e equipamentos). Sekine (1990) menciona de forma explícita a importância da redução do tempo de *setup* como forma de assegurar a flexibilidade, adicionalmente evidencia a inspeção da qualidade no posto de trabalho através do processo de fabricação, e o *layout* em forma de “U”.

3.4.4 As Considerações sobre o Dimensionamento de Células Segundo Edwards, Edgell e Richa (1993)

A análise e o dimensionamento da célula estão ligados ao estabelecimento da Operação Padrão (EDWARDS; EDGELL; RICHA, 1993). Quando as demandas do produto mudam, a produção é ajustada pela variação

do número de operadores. A Operação Padrão é um meio de planejamento utilizado para determinar o número de trabalhadores e para definir a sequência de trabalho de cada um desses trabalhadores. Conforme Edwards, Edgell e Richa (1993) a Operação Padrão pode ainda ter a finalidade de ser um elemento de análise para a melhoria contínua que poderá otimizar ainda mais o aproveitamento da mão de obra.

A Operação Padrão tem como objetivo o dimensionamento de células considerando os seguintes itens (EDWARDS, EDGELL E RICHA, 1993):

- 1) Identificação de um balanceamento de linha na fabricação de um produto;
- 2) Estabelecimento de uma sequência de trabalho padrão;
- 3) Controle do inventário tendo uma quantidade mínima para executar a sequência de trabalho.

Um método proposto por Edwards, Edgell e Richa (1993) visando o dimensionamento de células é descrito a seguir:

a) Definir o takt time

A definição do ritmo mostra o intervalo de tempo dentro do qual uma unidade deve ser produzida para atender a demanda do cliente. O *takt time* foi criado para diferenciar o intervalo de tempo que é referente ao ritmo necessário ditado pelo cliente e o tempo de ciclo da máquina ou célula, que é independente da demanda. Um ponto de vista considerado por Edwards, Edgell e Richa (1993) é a possibilidade de subtração da parcela de tempo referente a paradas de máquina por problemas de manutenção no cálculo do *takt time*. Esta visão parece expressar a importância do controle da eficiência dos equipamentos como suporte ao desempenho da célula.

b) Implementar a folha de capacidade de produção

As informações de cada máquina devem ser consideradas observando a seguinte sequência conforme Edwards, Edgell e Richa (1993):

1) *O tempo manual de operações*: este é o tempo requerido para um operador descarregar e carregar a máquina ou dispositivo de fixação, posicionar a peça, fazer montagens ou inspeção e ligar a máquina. Este tempo é cronometrado e não devem ser incluídas as caminhadas entre máquinas;

2) *O tempo de processamento de máquina*: corresponde ao tempo interno de máquina para completar uma peça sem assistência do operador. O tempo interno de máquina é medido do instante em que a máquina inicia o ciclo até que a máquina pare;

3) *O tempo completo do ciclo*: é determinado pela soma do tempo de operação manual e o tempo de processamento de máquina. Esse é o intervalo de tempo requerido para que uma peça seja processada no posto de trabalho;

4) *A capacidade de produção*: é a razão entre o tempo de operação diário e o tempo completo de ciclo por unidade. Essa é a máxima capacidade diária para cada estação de trabalho ou máquina. Uma possibilidade de questionamento é observada nesse item, pois através da visão de Edwards, Edgell e Richa (1993) a capacidade é considerada como dependente apenas do tempo de ciclo de uma peça, o que pode incidir em equívocos, pois nessas condições é estabelecida uma eficiência global de 100%, que na prática pode não se confirmar.

c) Determinar o número de operadores e os trajetos de trabalho

A determinação do número aproximado de operadores requeridos para operar a célula é básica para o dimensionamento. É necessário considerar o tempo total manual de operação. Este tempo total manual deve ser dividido pelo *takt time*. Após ter este valor fracionário é necessário convertê-lo para um valor inteiro.

A folha de capacidade de produção é estudada para determinar a combinação de máquinas que pode ser operada por cada um dos operadores

dentro do período de tempo especificado pelo *takt time*. O tempo total manual deve ser inferior ao *takt time* para permitir caminhada entre as máquinas.

O tempo de processamento de máquina não é considerado, desde que o operador possa caminhar entre as máquinas e desenvolver as atividades.

d) Definir a sequência de etapas a serem seguidas na Operação Padrão

A sequência de etapas de movimentação desempenhadas pelo operador deve estar descrita. As atividades correspondentes ao conteúdo de trabalho deverão estar contidas dentro do tempo *takt*. A sequência de trabalho deve ser definida pelo operador e estar graficamente demonstrada dentro da célula através de documento próprio.

e) Determinar a folha de Operação Padrão

A folha de Operação Padrão mostra o *layout* de máquinas, a sequência pré-determinada de trabalho e os trajetos, o *takt time*, o tempo de ciclo e a quantidade de estoque em processo (inventário) para cada operador.

Edwards, Edgell e Richa (1993) ainda consideram que o principal objetivo do estudo do dimensionamento de pessoas é adequar a produção ao ritmo do *takt time*. Para assegurar que a célula não fará superprodução (produção além da necessária) é desejável que no mínimo um operador da célula trabalhe dentro do ritmo do *takt time*. Segundo Edwards, Edgell e Richa (1993), esse operador será como um controlador de toda a célula se houver dificuldade de balanceamento dos outros operadores no sentido de trabalhar dentro do ritmo ditado pelo *takt time*.

Edwards, Edgell e Richa (1993) descreveram as condições necessárias para estabelecer o dimensionamento baseado no método da Operação Padrão, conforme segue:

- 1) *Centrar o foco no trabalho humano*: o centro de atenção é o trabalho dos operadores e não das máquinas. Visa basicamente ajustar o trabalho humano tornando efetivo e fácil.

Em uma análise crítica é possível questionar essa afirmação, pois não é citada no método proposto por Edwards, Edgell e Richa (1993) uma possível análise das eficiências dos equipamentos da célula;

2) *Ter segurança de emprego*: é admitido por Edwards, Edgell e Richa (1993) que dificilmente será implantado um dimensionamento adequado e eficiente se não houver um comprometimento da empresa no sentido de garantir aproveitamento dos trabalhadores cujas atividades foram repassadas a outros operadores em vista de melhorias no processo;

3) *Ter sequência repetitiva de operações*: o dimensionamento baseado na Operação Padrão somente poderá ser aplicado em ambientes onde os movimentos do operador são consistentes de ciclo para ciclo;

4) *Manter as máquinas em boas condições de trabalho*: a Operação Padrão não pode ser aplicada onde os problemas de manutenção e os problemas de qualidade ocorrem com frequência. Esse requisito pressupõe que deve existir uma manutenção adequada que reduza as falhas e recoloca os equipamentos rapidamente em funcionamento devido ao baixo nível de estoque contido na célula. Também é considerado o controle da qualidade como um aspecto importante, pois a geração de produtos não conforme pode subtrair capacidades produtivas.

Como complemento de análise desse requisito parece ser necessário ter um indicador que mostre como estão as condições gerais do equipamento em termos de paradas e geração de produtos defeituosos.

5) *Nivelar a escala de produção*: o dimensionamento baseado na Operação Padrão deve ser ajustado para se adequar às mudanças na demanda de mercado. Revisar o número de operadores e a sequência de trabalho diariamente pode não ser viável do ponto de vista de operacionalização da célula. Portanto, conforme Edwards, Edgell e Richa (1993), a programação da produção deve ser nivelada por um determinado período. Edwards, Edgell e Richa (1993), explica que um período considerado adequado seria um congelamento por sete semanas dos produtos de maior demanda e duas semanas para os outros

produtos de menor demanda. Também é colocado por Edwards, Edgell e Richa (1993) que uma variação semanal de volume e mix é limitada em 10%.

Cabe ressaltar outra característica trazida por Edwards, Edgell e Richa (1993), a respeito do *takt time*. Devido às atividades desempenhadas pelo operador dentro de um intervalo do tempo *takt*, como operar múltiplas máquinas, caminhar, transportar peças é possível entender que à medida que o *takt time* é reduzido torna-se difícil para o operador atender ao ritmo necessário. É colocado por Edwards, Edgell e Richa (1993) que é desejável trabalhar com um *takt time* no mínimo igual a 30 segundos. É explicado pelos autores que o *takt time* inferior a 30 segundos pode trazer dificuldade no balanceamento da célula e, portanto, se isso ocorrer a melhor opção seria montar uma segunda célula para atender a demanda. Em uma análise crítica é possível admitir que em determinados contextos não sejam viáveis investimentos para criação de células adicionais, e, como tal, células com *takt times* reduzidos são possíveis de serem encontradas .

Uma análise comparativa de cenários pode ser feita às considerações dos autores como, por exemplo, produtos em mercados em que a demanda varia em grandes percentuais de semana para semana ou mesmo de dia para dia. Em circunstâncias onde não seja possível congelar a demanda por períodos relativamente longos, parece ser necessário criar mecanismos de dimensionamento rápido ao alcance do supervisor da linha.

3.4.5 O Dimensionamento de Células de Produção Segundo Oishi (1995)

Segundo Oishi (1995), à medida que a empresa tenta atender a vários pedidos de produtos de vários clientes é necessário encarar os problemas de demandas variáveis tanto no tipo quanto na quantidade de produtos a produzir ou serviços a prestar. Em vista dessa realidade, a empresa deve estar condicionada às flutuações do nível de volume dos produtos, permitindo variar o número de funcionários de um ou vários locais de trabalho, de modo equilibrado para atendimento às demandas variáveis (OISHI, 1995). Na visão de Oishi

(1995), essa flexibilidade da quantidade de pessoal é a base fundamental para a manutenção ou aumento da produtividade ao atender às flutuações de demanda do mercado e ao volume de produção. Para que essa flexibilidade seja alcançada, devem ser observadas três condições básicas (OISHI, 1995):

- 1) Projeto de *layout* bem adequado;
- 2) Formação dos funcionários com habilidades ou funções múltiplas (operadores multifuncionais);
- 3) Avaliações constantes de padrões operacionais e revisões periódicas.

As considerações sobre as três condições básicas apontadas por Oishi (1995) fazem referência ao *layout* em forma de “U”. Nesta situação o autor coloca que este formato de *layout* pode facilitar o aumento ou redução da amplitude de trabalho de cada um dos operários escalados na produção. Conforme a afirmação de Oishi (1995) é possível entender que há uma relação entre o formato em “U” e o dimensionamento da célula, sendo que esse pode variar em função da demanda. Oishi (1995) também considera que nessas condições de variação de demanda é necessário ter operadores com múltiplas funções, fator este que será obtido com:

- 1) Treinamento em diversos postos de trabalho;
- 2) Adequado planejamento da rotação;
- 3) Melhoria contínua de combinações de trabalhos manuais e das máquinas.

Conforme Oishi (1995), existem relações entre as três condições básicas para a flexibilização da produção. Conforme apresentado nas delimitações dos itens a, b, c, mostrados na Figura 9.

- 1) Projeto de *layout* bem adequado;
- 2) Formação de funcionários com funções múltiplas;
- 3) Avaliações constantes de padrões operacionais e revisões periódicas.

Nesses termos, Oishi (1995) explica que o *layout* celular em forma de “U” tem vantagens em relação ao balanceamento dinâmico de operadores para a variação do nível da produção como:

- 1) Possibilidade de aumentar ou diminuir o número de operadores em função da variação da demanda;
- 2) Acompanhamento visual desde a entrada do material até a saída do produto acabado, permitindo a produção de uma unidade por ciclo ou um conjunto de unidades por ciclo, não gerando estoques no decorrer do processo;
- 3) A detecção dos problemas é imediata e é tomada a devida providência para ajuste da linha;
- 4) É possível o acompanhamento do estado de entrada do material e da saída do produto acabado pelo mesmo operador, facilitando a percepção do que estaria acontecendo na célula, quando fosse detectada alguma anormalidade;
- 5) É possível o contínuo balanceamento da linha com relação à distribuição de carga de trabalho entre os operadores.

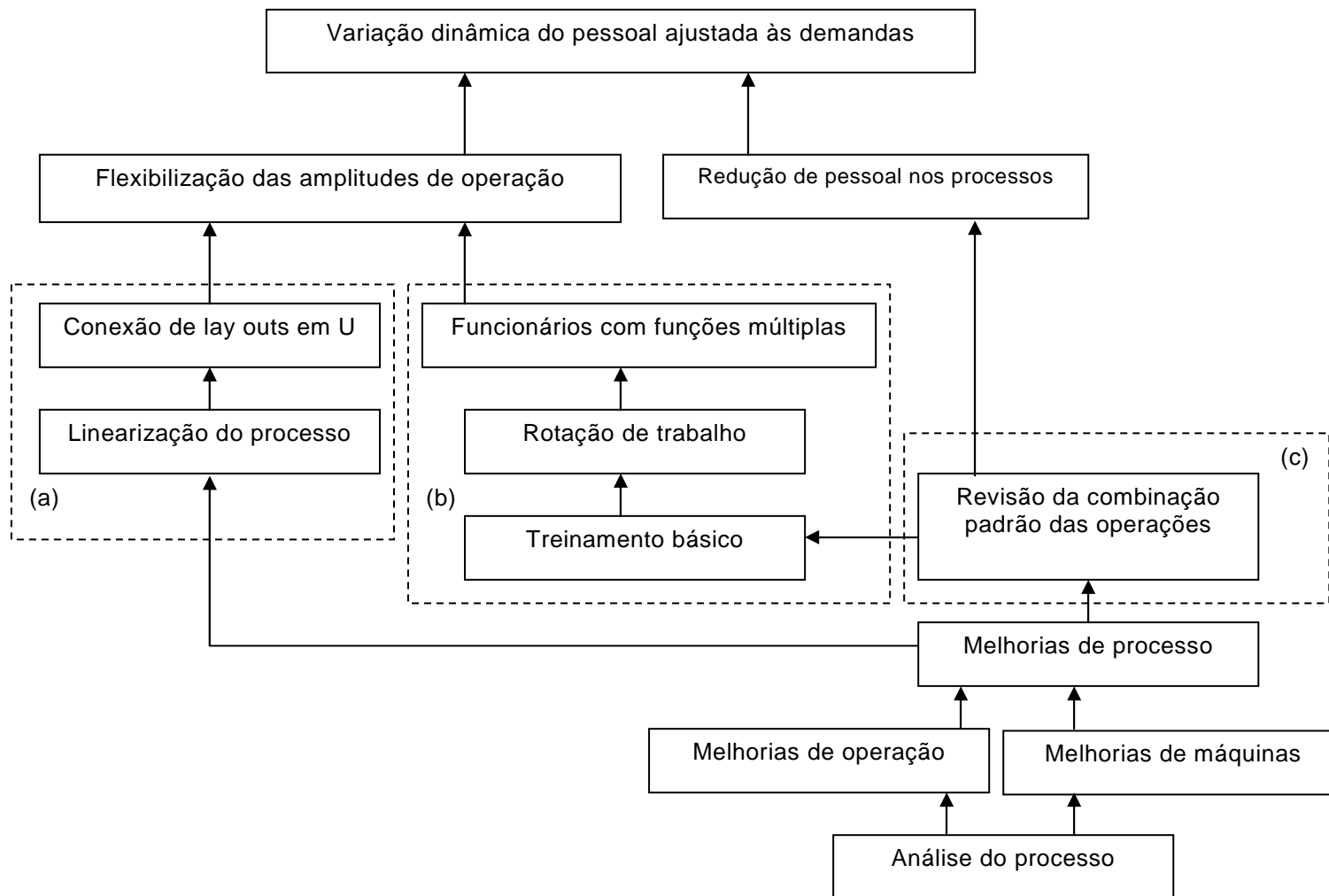


Figura 9: Flexibilização do pessoal às demandas

Fonte: Adaptado de Oishi (1995, p. 182)

Através das vantagens enunciadas por Oishi (1995) com relação ao *layout* em “U” é possível concluir alguns aspectos ligados ao dimensionamento de células:

- 1) O dimensionamento inadequado pode interferir na produtividade da célula;
- 2) As condições de manutenção das máquinas e o desempenho dos operadores pode influir no dimensionamento da célula e por consequência na produtividade;
- 3) A revisão constante dos métodos de trabalho auxilia o desempenho dos operadores e suporta o dimensionamento da célula.

Oishi (1995) afirma que é possível a minimização de pessoal e estoques intermediários através do balanceamento da linha. O balanceamento da linha é alcançado através da distribuição de equipamentos e de pessoal, resultante do estabelecimento da operação padrão, que está baseada em três elementos (OISHI, 1995), mostrados na Figura 10.

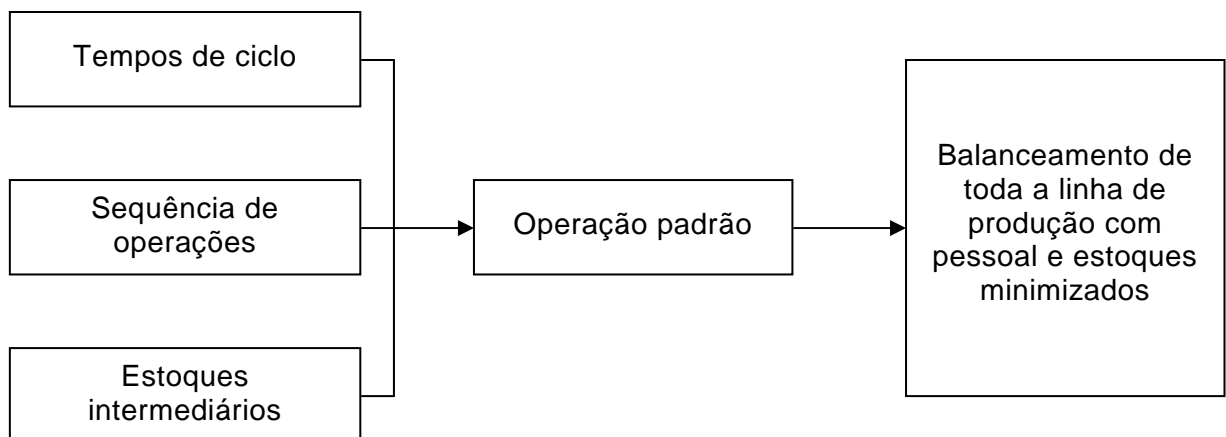


Figura 10: Elementos para balanceamento da linha de produção

Fonte: Oishi (1995, p. 188)

É possível entender, na visão de Oishi (1995), que a operação padrão deve ser construída baseada em informações importantes como tempo de ciclo, a sequência de operações e a quantidade de peças em estoque para o balanceamento da linha, pois a distribuição de tarefas irá minimizar a quantidade de pessoas e materiais para suportar a demanda necessária.

Oishi (1995) também esclarece a importância da linearização do processo em conjunto com a operação padrão no sentido de estruturar o balanceamento da linha.

Conforme o autor, a linearização é feita colocando-se os equipamentos em ordem sequencial de processamento de produtos, sem que haja necessidade que a peça retorne ao local onde já passou, ou seja, sem reversão de fluxo. Segundo Oishi (1995), a linearização tem por objetivo tornar todos os processos equilibrados sem geração de estoques excedentes, nem falta de material em nenhuma parte do processo. A linearização também equilibra os tempos necessários de operação para todos os operadores (OISHI, 1995).

As condições básicas a linearização, são apresentadas a seguir:

- 1) Não poderá faltar material quando necessário;
- 2) Não gerar defeituosos e retrabalhos;
- 3) Rapidez nos preparos de máquina;
- 4) Padronizar as operações;
- 5) Viabilizar o trabalho com a execução de processos múltiplos.

Uma análise nas condições básicas enunciadas por Oishi (1995) parece mostrar a visão do Autor para a questão das fontes de variabilidade existente e que podem comprometer a produtividade da célula.

Quanto ao dimensionamento, Oishi (1995) coloca que é necessário definir o "tempo de ciclo" (*takt time*) e o "tempo de produção unitária" (tempo de ciclo da operação), para alocar as pessoas a um modo balanceado de carga de trabalho.

A equação (2) define o número de operadores (OISHI, 1995):

$$N_c = \frac{\sum t_i}{T_c} \quad (2)$$

onde:

N_c - Número teórico calculado de operadores.

t_i - Tempo consumido (tempo manual) por uma operação i ($i=1,2,3,\dots,K$).

T_c - Tempo de ciclo - ritmo necessário ao atendimento à demanda Oishi (1995).

O número teórico de operadores (N_c) é definido através da razão entre o somatório dos tempos consumidos pelas operações (t_i) e o tempo de ciclo (T_c).

Oishi (1995) destaca que o número teórico de operadores calculado, pode necessitar de ajuste para um número maior, devido a não ser possível uniformizar os tempos para todos os operadores. Devido a essa possibilidade, Oishi (1995) afirma que é necessário verificar a taxa de ocupação dos operários através da razão entre o número teórico de operadores e o número real de operadores utilizado na célula, conforme apresentado na equação (3):

$$E_b = \frac{N_c}{n} \quad (3)$$

onde:

E_b - eficiência de balanceamento

N_c - número teórico de operadores calculado

n - número real de operadores

A utilização da mão de obra é expressa na eficiência de balanceamento (E_b), este valor pode expressar a ociosidade de tempo dos operários, o que confirma uma mensuração apurada da força de trabalho humano. Em seu ponto de vista, Oishi (1995, p. 207) afirma que: “aumentar a taxa de ocupação do homem é mais importante que a taxa de ocupação de máquinas. Essa

concepção pode ser questionada em contextos onde o investimento em equipamentos, tem valores elevados.

Em uma análise crítica, considerando que o desempenho depende da atuação de homens e máquina é percebida a necessidade de estabelecer critérios para avaliar a utilização dos equipamentos, no sentido de explorar capacidades disponíveis.

3.4.6 Proposta de Dimensionamento de Rother e Harris (2002)

Rother e Harris (2002) propõem os seguintes passos para criação de fluxo contínuo através da implementação e dimensionamento de células de produção, conforme segue:

a) A definição dos produtos adequados à formação da célula

Conforme Rother e Harris (2002), algumas orientações são importantes para a definição de produtos em uma célula, a saber:

- 1) *A flexibilidade*: se a demanda girar entre diferentes produtos e for possível manter o tempo de troca curto, poderá ser mais conveniente compartilhar os modelos de produtos entre as células, do que ter células dedicadas a um único produto. Isso se deve ao fato de que haverá mais habilidade de cada processo em acomodar as mudanças de demanda dos produtos;
- 2) *A variação no conteúdo do trabalho*: a quantidade de trabalho total, que corresponde ao tempo necessário para o operador produzir uma peça do início ao fim não deve variar mais do que em torno de 30% entre os diferentes produtos finais processados na célula. Uma variação elevada do conteúdo de trabalho entre produtos na célula pode dificultar o fluxo e a produtividade;
- 3) *A similaridade das etapas do processo e dos equipamentos*: quando as sequências de trabalho para manufaturar diferentes produtos na célula

variam muito, os operadores terão de mudar a forma de trabalho toda vez que houver uma troca de produto na célula;

4) *O ritmo da produção*: a definição de um ritmo de trabalho muito elevado como, por exemplo, tempos abaixo de 10 segundos por peça, pode levar os operadores a atividades repetitivas e estressantes, ao passo que, ritmos muito lentos com tempos superiores a 120 segundos por peça, torna-se difícil a padronização do trabalho devido ao elevado número de elementos que compõem a operação.

b) A definição do ritmo de trabalho (takt time)

O ritmo de produção é um número de referência utilizado para sincronizar a taxa de produção ao ritmo das vendas. Uma vez conhecida a demanda, é necessário identificar o tempo de trabalho efetivo que é definido como o tempo de início ao fim da jornada de trabalho, menos as paradas do operador de linha por certos motivos como refeições, ginástica e limpeza entre outros. Não deve ser subtraído o tempo de paradas não planejadas nas máquinas, trocas de ferramentas ou outros problemas internos. O conhecimento do ritmo de produção é essencial para o dimensionamento de equipamentos e recursos humanos.

c) A descrição dos elementos de trabalho necessários para fazer um item

Ao coletar os elementos de trabalho em cada posto, é obtido o conteúdo de trabalho total do operador na célula. A definição precisa de cada elemento de trabalho é essencial para o dimensionamento. É possível definir um elemento de trabalho como o menor incremento de trabalho que possa ser transferido entre operadores. Através da abordagem de uma clara definição dos elementos que compõem um ciclo de operação é possível eliminar ou reduzir desperdícios. Também a carga de trabalho poderá ser redistribuída à medida que o ritmo da produção (*takt time*) possa variar em um intervalo de tempo. Os elementos devem estar claramente descritos para compor a operação padrão (documento que define atividades e rotas do operador na célula).

d) A definição do tempo real para cada elemento de trabalho (conteúdo do trabalho)

A determinação do tempo necessário, à execução de cada elemento de trabalho deverá ocorrer no local onde está situado o posto de trabalho, feito através de observações repetidas. Os tempos de cada elemento deverão ser cronometrados através de observações a um operador qualificado que desempenhe o trabalho com uma velocidade mediana. O tempo do elemento tomado é referente somente ao tempo do operador, não sendo considerado o tempo de ciclo da máquina quando esta trabalha independentemente.

O somatório dos tempos dos elementos de trabalho, individualmente resultará no tempo total do conteúdo de trabalho, que envolve o operador em cada posto de trabalho.

e) Conhecer a capacidade de processamento de cada equipamento baseado no takt time

O conhecimento do tempo de processamento de cada equipamento permite uma análise comparativa entre o tempo de ciclo efetivo da máquina e o ritmo de trabalho necessário (*takt time*). Considerando que cada equipamento deve ser capaz de completar seu ciclo para cada peça dentro do intervalo de tempo definido pelo ritmo de trabalho (*takt time*), é possível admitir que o tempo de ciclo efetivo do equipamento deve ser consideravelmente menor que o *takt time*, de forma a poder atingir o fluxo contínuo. Em situações em que os equipamentos não conseguem cumprir o *takt time* são sugeridas ações de acordo com o método proposto por Rother e Harris (2002), a saber:

- 1) Fazer melhorias no processo de carga e descarga do equipamento;
- 2) Eliminar o desperdício no próprio ciclo da máquina para reduzir os tempos de processamento;
- 3) Distribuir as tarefas da máquina gargalo para outros postos de trabalho;
- 4) Instalar mais de uma máquina no posto de operação gargalo.

É possível observar que esse passo, na visão dos autores, descreve a necessidade de deixar uma margem de capacidade entre o ritmo necessário e o tempo de processamento com a finalidade de abrigar um aumento de demanda. Uma crítica possível a essa visão é que os autores consideram o gargalo como a operação mais lenta, o que de fato, poderá não estar acontecendo se a eficiência global dos equipamentos não for conhecida.

f) Determinar o nível de mecanização dos equipamentos

Conforme Rother e Harris (2002), a mecanização pode ser usada para tornar o fluxo contínuo mais eficiente. Para permitir que os operadores se movam e agreguem valor enquanto uma máquina trabalha é necessário determinado grau de mecanização (Quadro 1).

Nível	Carga da máquina	Ciclo da máquina	Descarga da máquina	Transferência de peças
1	Manual	Manual	Manual	Manual
2	Manual	Automático	Manual	Manual
3	Manual	Automático	Automático	Manual
4	Automático	Automático	Automático	Manual
5	Automático	Automático	Automático	Automático

Quadro 1: Níveis de mecanização dos equipamentos

Fonte: Rother e Harris (2002, p. 38)

Segundo Rother e Harris (2002), uma célula necessitará estar no mínimo no nível dois (2) de mecanização para permitir a movimentação de operadores. Essa característica dos equipamentos permitirá aos operadores trabalhar com processos múltiplos dentro do *takt time*, ou seja, enquanto o equipamento completa o ciclo o operador se move para uma diferente etapa do processo.

A utilização de um nível de mecanização superior a 3 pode incorrer em elevados custos de implementação e complexidade técnica envolvida.

Em paralelo a essa consideração, segundo os Autores, é entendido que equipamentos de alta tecnologia estarão vinculados a altas taxas de depreciações.

g) Organizar o processo físico para operar a célula de maneira mais eficiente

A organização do processo físico pode ser feita pela técnica de utilização de somente um operador na operação da célula. Consiste em fazer somente um operador passar por todas as etapas do processo, seguida da análise dos elementos de trabalho contidos em cada posto de trabalho. Essa lógica permite:

- 1) Evitar o aparecimento de ações isoladas em estações de trabalho;
- 2) Minimizar o acúmulo de estoque entre processos;
- 3) Eliminar caminhadas excessivas;
- 4) Remover obstáculos existentes no caminho;
- 5) Aproximar as etapas de criação de valor.

Essa técnica de utilização de somente um operador na execução de todas as atividades da célula resume-se ao processo de análise adequada ao funcionamento da célula, sem considerar o número real de operadores necessários. Essa é a estratégia para determinar a operação padrão (ROTHER; HARRIS, 2002).

h) Definir o número de operadores necessários ao atendimento do ritmo (takt time)

O número de operadores necessários ao atendimento do ritmo de trabalho deverá ser o resultado de uma análise entre o conteúdo total de trabalho (somatório de todos os tempos dos elementos de trabalho de todos os postos de trabalho) e o ritmo necessário ao atendimento à demanda (*takt time*). Desta forma, é possível calcular o número total de trabalhadores necessários, como sendo o quociente da razão entre o conteúdo total de trabalho e o *takt time* conforme mostra a equação (4):

$$\frac{\text{Conteúdo total de trabalho (min.h)/pc}}{\text{Takt Time (min/pc)}} = \text{Número de Operadores} \quad (4)$$

Através do resultado na equação (4) obtém-se a quantidade de operadores necessários ao funcionamento da célula. Contudo, conforme orientação dos Autores cabe analisar a parte não inteira do resultado do cálculo, ou seja:

Operadores	Orientação/Meta
< 0.3	Não adicionar um operador extra. Aproveitar para reduzir o desperdício.
0.3 a 0.5	Não adicionar um operador extra. Após um período de operação da célula, observar que desperdícios e trabalhos não importantes ainda podem ser eliminados.
> 0.5	Adicionar um operador extra. Manter a redução dos desperdícios e trabalhos não importantes para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Quadro 2: Análise do número de operadores em células

Fonte: Rother e Harris (2002, p. 52)

i) Distribuir o trabalho entre os operadores: a alocação do trabalho na célula pode ser feita segundo métodos de trabalho.

Conforme a análise dos autores é possível estabelecer determinadas condições, a saber:

- 1) *Dividir o trabalho*: essa divisão consiste em distribuir o trabalho entre os operadores fazendo que cada um realize uma fração do conteúdo total de trabalho necessário, movendo-se entre determinadas máquinas;
- 2) *O circuito*: nessa condição um operador executa todos os elementos de trabalho fazendo o circuito completo de uma célula no sentido do fluxo do material. Um segundo operador, segue algumas estações atrás, executando o mesmo conteúdo de trabalho;

3) *Fluxo reverso*: os operadores fazem o circuito no sentido reverso do fluxo do material;

4) *Combinações*: é possível combinar operadores trabalhando em estações específicas e circuito ou fluxo reverso, admite-se que um par de operadores que inclui tanto os elementos de entrada da célula, quanto aos do final de trabalho, seja um mecanismo de sincronização para toda a célula;

5) *Um operador por estação*: em células onde o trabalho é essencialmente manual com equipamentos não automáticos, cada operador realiza todos os seus elementos de trabalho em sua única estação e passa a peça para a próxima estação. Nessa situação o número de estações de trabalho poderá ser o mesmo que o número de operadores. Segundo os autores a atribuição dos elementos de trabalho é fácil, mas é possível que seja mais difícil balancear igualmente o trabalho e utilizar plenamente os operadores, devido a limitada habilidade de estabelecer combinações flexíveis de trabalho;

6) *O corte*: neste método de trabalho cada operador trabalha em duas estações de trabalho e se move para frente e para trás entre as estações, a cada incremento do *takt time*. Exceto para as estações de entrada e saída, dois operadores trabalharão em cada estação um após o outro. Quando os operadores se movem para a estação seguinte, eles carregam a peça trabalhada. O movimento de retorno é feito com as mãos vazias. Deste modo o trabalho é cortado e passado para frente a partir de cada ciclo do operador.

Os métodos de arranjo da célula descritos pelos autores servem de complemento ao dimensionamento, e caracteriza a multifuncionalidade como característica que pode ser explorada sob diversas condições.

Como crítica a esse passo é possível considerar a falta de esclarecimento sobre as questões do *setup* da célula, quando houver a mudança de produto. Não é descrito a postura dos operadores para execução do *set up*.

Também não são discutidas possíveis estratégias de redução do impacto das perdas de tempo por paradas para *setup*.

3.4.7 Uma Abordagem Baseada na Análise da Capacidade x Demanda Segundo Antunes et al. (2008)

Conforme Antunes et al. (2008), uma questão de relevante importância dentro dos sistemas produtivos consiste em se determinar a capacidade de produção com a máxima precisão possível. É considerado, segundo os autores, que as lógicas adotadas para a determinação da capacidade nas empresas e, por conseguinte, do dimensionamento dos recursos, carecem de rigor científico por não considerarem as reais eficiências dos equipamentos. Dentro desse contexto é entendido que é necessário ir além das visões comuns adotadas acerca de limitações do sistema como, por exemplo, determinar as restrições baseadas em: a operação com maior dificuldade, a operação mais lenta e a operação com maior estoque em espera.

Conforme esta visão torna-se necessário considerar a análise de capacidade e demanda em sistemas produtivos, a fim de investigar as eficiências dos equipamentos como fatores de determinação das capacidades reais em processos produtivos. Essa abordagem inclui uma alternativa de dimensionamento de células de produção, baseada nas eficiências globais dos equipamentos. Essas eficiências deverão servir de referência para o aprimoramento da Gestão do Posto de Trabalho (GPT). Conforme Antunes et al. (2008), o monitoramento constante da eficiência produtiva dos recursos, levará ao conhecimento das reais eficiências do sistema de produção, com o objetivo de elaborar planos de ação e soluções para aumentar a eficácia da utilização dos ativos industriais.

O conceito ilustrado no Quadro 3 permite identificar recursos que não poderão atender às demandas previstas através das diferenças temporais entre capacidade e demanda, sendo considerada a análise das eficiências globais dos equipamentos³ (IROG).

³ IROG: Índice de rendimento operacional global - indicador de eficiência dos postos de trabalho.

		Tempo de Ciclo por Equipamento				Demanda Mensal por Equipamento			
Produtos	Programação mensal	Equipamento 1	Equipamento 2	Equipamento 3	Equipamento 4	Equipamento 1	Equipamento 2	Equipamento 3	Equipamento 4
A	PMA	T1A	T2A	T3A	T4A	T1A x PMA	T2A x PMA	T3A x PMA	T4A x PMA
B	PMB	T1B	T2B	T3B	T4B	T1B x PMB	T2B x PMB	T3B x PMC	T4B x PMD
C	PMC	T1C	T2C	T3C	T4C	T1C x PMC	T2C x PMC	T3C x PMC	T4C x PMC
D	PMD	T1D	T2D	T3D	T4D	T1D x PMD	T2D x PMD	T3D x PMD	T4D x PMD
Demanda total por equipamento (D) =						D11	D21	D31	D41
Índice de rendimento operacional global (IROG) =						$\mu g1$	$\mu g2$	$\mu g3$	$\mu g4$
Capacidade nominal do equipamento (C) =						C1	C2	C3	C4
Capacidade real do equipamento (C x IROG) =						$C1 \times \mu g1$	$C2 \times \mu g2$	$C3 \times \mu g3$	$C4 \times \mu g4$
Diferença temporal em unidade de tempo (C x IROG) – (D) =						$(C1 \times \mu g1) - D11$	$(C2 \times \mu g2) - D21$	$(C3 \times \mu g3) - D31$	$(C4 \times \mu g4) - D41$

Quadro 3: Análise da capacidade grosseira e a demanda de produção

Fonte: Adaptado de Antunes et al. (2008, p. 168)

A diferença temporal entre a capacidade real e a demanda imposta ao recurso informará se existe ou não uma restrição no sistema.

É possível concluir, segundo a visão dos autores, que esse método de definição da restrição do sistema expressa uma acuracidade relevante diante dos métodos utilizados na determinação de restrições, pois se baseia na capacidade mais próxima da real disponível no sistema de manufatura.

Outra consideração dos autores a respeito de células e linhas de produção consiste na análise do número de operadores que constituirão o grupo necessário. Segundo Antunes et al. (2008), em uma análise preliminar, é possível considerar que o tempo de ciclo de uma célula ou linha é, a princípio, baseado no tempo de ciclo do recurso mais lento, por ser esse o ritmo máximo de ser atingido mantido as condições iniciais de análise. Desta forma, Antunes et al. (2008) explicam que o tempo de ciclo é dependente do número de operadores que compõem a célula. É possível entender que, se houver um operador para cada posto de trabalho em uma célula de produção, o tempo de ciclo corresponderá ao tempo de ciclo da operação mais lenta. Em outra alternativa, se o número de operadores for reduzido, então o tempo de ciclo deverá se alterar adequando-se a nova distribuição do trabalho. Essa análise possibilita uma interpretação sobre a importância da separação entre os tempos de processamento manual e os tempos de máquina. Antunes et al. (2008) consideram que, através das variações do tempo de ciclo como forma de satisfazer ao ritmo necessário da produção (*takt time*), deverá ocorrer a realocação de pessoal na fábrica, sendo essa possibilidade usada para absorver as variações de demanda. Consideram ainda os Autores que, em momentos de elevada demanda, a contratação de funcionários ou a realocação de pessoas na fábrica podem ser necessárias. Contudo, essa solução atinge seu limite quando são alocadas pessoas em todos os postos de trabalho de uma célula ou linha.

3.5 AS CARACTERÍSTICAS INFLUENTES NO DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS SEGUNDO A VISÃO DOS AUTORES PESQUISADOS

É apresentado no Quadro 4, como entendimento do estudo, uma análise de características que podem influenciar no dimensionamento das células de produção segundo a visão dos autores pesquisados:

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS INFLUENTES NO DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS			
Característica	Modo de aplicação	Resultado esperado	Autores
Balanceamento de linha	Operação padrão →	Número adequado de operadores	Monden (1984);
Definição de rotas de operação		Multifuncionalidade	Edwards, Edgell e Richa (1993);
Minimização de estoques em processo		Controle dos materiais	
Sequência repetitiva de operações		Consistência de movimentos	Oishi (1995);
Nivelamento da produção		Baixa variação de demanda	Rother e Harris (2002)
Melhoria dos processos		Redução de pessoas na célula	
Fluxo unitário de peças	Lay out em forma de "U" →	Baixos inventários Fácil detecção de defeitos	Sekine (1990);
Variação dinâmica do número de operadores		Flexibilidade em função da demanda	Oishi (1995);
Boa comunicação		Integração no trabalho para melhor desempenho	Rother e Harris (2002)
Segurança no emprego	Sem referência →	Comprometimento com as metas da empresa	Edwards, Edgell e Richa (1993)
Treinamento de múltiplas funções	Rotação no trabalho →	Multifuncionalidade	Oishi (1995); Rother e Harris (2002)
Atuação preventiva da manutenção	Sem referência	Funcionamento adequado dos equipamentos	Oishi (1995)
Linearização dos processos	Sequência lógica dos equipamentos →	Processos equilibrados sem geração de estoques	Oishi (1995) Slack et al. (2009)
Análise de capacidade x demanda	Diferenças temporais →	Conhecimento das restrições	Antunes et al. (2008)
Diferentes ritmos de trabalho (<i>takt time</i>)	Definição do <i>takt time</i> efetivo →	Trabalhar no ritmo adequado ou possível de ser atingido	Antunes et al. (2008)

Quadro 4: Características do dimensionamento de células

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que a operação padrão e o *layout* em forma de “U” possuem uma relevante importância na visão dos autores pesquisados, devido à abrangência de aspectos considerados no dimensionamento da célula (Quadro 4).

Outras características trazidas à discussão também parecem contribuir de forma positiva para a questão do dimensionamento como:

- a) *Segurança no emprego*: no sentido de não permitir que as melhorias implementadas retirem as pessoas da empresa;
- b) *A atuação preventiva e constante da manutenção*: para evitar a parada total dos equipamentos e garantir a capacidade dimensional do processo;
- c) *A linearização do processo*: como meio de garantir uma sequência de fluxo com sentido único, sem retrocessos e o equilíbrio das operações;
- d) *A análise de capacidade x demanda*: essa característica apresentada traz em seu conceito a visão da capacidade real disponível considerando o desempenho dos equipamentos, o que pode representar uma adequada inserção no contexto da manufatura enxuta.

Entre os resultados esperados, é possível destacar a multifuncionalidade como um aspecto relevante dentro do contexto da manufatura celular, pois permite variar o número de operadores em função da demanda, objetivando atingir metas de produção através de um adequado número de operadores, tendo a operação padrão, como meio de aplicação das características que levam ao exercício da multifuncionalidade.

3.5.1 A Multifuncionalidade e a Operação Padrão

Entre as características percebidas na descrição dos Autores pesquisados é possível destacar a multifuncionalidade como um aspecto de relevante importância no processo de dimensionamento. Shingo (1996) coloca que a modificação progressiva entre o homem e a máquina foi uma característica

importante no STP. Conforme Shingo (1996), o trabalhador e a máquina foram separados para aumentar a eficiência de produção, assim como para promover o uso mais efetivo e significativo dos recursos humanos. Segundo Shingo (1996), o processo de separação entre o homem e a máquina envolve seis estágios, a saber:

- *Estágio 1 - trabalho manual*: os trabalhadores dão forma e acabamento aos artigos manualmente, sem auxílio de máquinas;
- *Estágio 2 - alimentação manual com usinagem automatizada*: os trabalhadores fixam e removem os produtos das máquinas e trocam as ferramentas manualmente. Somente a usinagem é feita pelas máquinas;
- *Estágio 3 - alimentação e usinagem automáticos*: os trabalhadores fixam e removem os produtos e dão partida nas máquinas. As máquinas executam a alimentação de ferramentas e usinagem, neste estágio os trabalhadores detectam as condições anormais e corrigem os problemas;
- *Estágio 4 - semi-automático*: fixação e remoção de produtos são automatizadas; alimentação e usinagem automáticas. O único trabalho executado pelos operadores é o de detecção e correção de condições anormais;
- *Estágio 5 - pré-automação*: todas as funções, inclusive a detecção de defeitos, são executadas pela máquina; os trabalhadores simplesmente corrigem os defeitos;
- *Estágio 6 - automação*: o processamento, detecção e correção de problemas são feitos inteiramente de forma automática.

O estudo de células dentro do escopo desta pesquisa será referenciado pelos estágios 2 e 3 devido às características dos equipamentos envolvidos na célula.

As características relativas às pessoas na célula são percebidas como relevante importância no aspecto da multifuncionalidade. Conforme Olorunniwo e Udo (2002), a seleção de pessoas para trabalhar na célula é um fator sociotécnico que pode impactar nos resultados esperados. Segundo os autores as pessoas normalmente chegam a trabalhar em células das seguintes formas:

- 1) Escolhidas pela gerência (através de entrevistas);
- 2) Escolhidas através do envolvimento do sindicato;
- 3) Operadores voluntários;
- 4) Operadores convidados através de uma proposta;
- 5) Operadores que já trabalham na área.

Normalmente uma combinação de algumas das cinco possibilidades é utilizada pelas empresas. Segundo os autores, é sugerido que os operadores devam ser selecionados baseados na sua capacidade de treinamento e flexibilidade, ao invés de sua especialização funcional. A capacidade de treinamento é determinada sobre o quanto um indivíduo pode adquirir habilidades, conhecimento e comportamento para executar um trabalho satisfatoriamente. Capacidade de absorver treinamento é também uma combinação de habilidade individual, motivação e interesse no trabalho. Transfield e Smith (2002) consideram que o suporte mútuo gerado pelo trabalho em equipe, facilita uma organização de trabalho que contribui para a motivação individual e o comprometimento com a produtividade, qualidade, flexibilidade e inovação. Para selecionar um operador para fazer parte da célula, a gerência necessita de informações sobre o potencial para trabalhar no ambiente multifuncional.

Em contrapartida, o operador necessita de todas as informações pertinentes ao trabalho como, por exemplo, a descrição dos elementos de trabalho em cada posto, o ritmo a ser adotado na produção (*takt time*), as máquinas a serem atendidas e o trajeto a ser percorrido por cada operador, a quantidade mínima de material em estoque que pode estar presente em cada recurso. Neste sentido a operação padrão é uma fonte de informações

importante dentro do contexto (MONDEN, 1984). Conforme Fazakerley (1976), enquanto um forte sentimento de grupo é importante, e mesmo vital, é possível que este sentimento assuma uma influencia negativa em relação as metas da empresa. Fazakerley (1976) considera que quanto mais intenso o sentimento de grupo, maior é a resistência a entrada de outros membros no grupo e a transferência de operadores mesmo por um curto período de tempo. Segundo Fazakerley (1976), uma vez que esta força interna do grupo seja alcançada é importante que seja canalizada para atender os objetivos da companhia. Isto pode ser obtido por meio de três variáveis:

- a) Objetivos claros;
- b) Delegação de responsabilidade;
- c) Relacionamento com a gerência.

3.6 OS PRESSUPOSTOS SUGERIDOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS

Este tópico traz uma introdução aos pressupostos sugeridos no estudo como referência a proposta de método. Estes pressupostos embasaram a análise crítica dos métodos estudados, no sentido de verificar a possibilidade de geração de uma proposta de método modificada para o dimensionamento de células de produção.

3.6.1 A Eficiência Global dos Equipamentos

Em um processo produtivo, a eficiência é representada pela relação entre as saídas e as entradas específicas. A saída é o resultado mensurável ou conversível num valor mensurável que se obtém do processo, o qual é um objetivo ou meta. A entrada compreende os recursos necessários para obtenção de determinados resultados através de um processo (OISHI, 1995). O que medir

e como medir pode variar de acordo com as características do resultado e da estrutura do sistema produtivo.

A implantação de células de manufatura está ligada à Função Processo, uma vez que viabiliza prioritariamente o fluxo de materiais, sendo caracterizada pelo arranjo do *layout* de forma a agrupar os fatores de produção em uma sequência lógica. Nesse contexto, admite-se que a consideração da eficiência dos equipamentos poderá informar a capacidade próxima da real do sistema produtivo. Antunes et al. (2008) ressaltam que é percebida uma falta de clareza por parte dos gestores em relação à eficiência de utilização dos equipamentos. A falta de conhecimento das capacidades realmente existentes no sistema pode levar ao planejamento de metas não compatíveis com a realidade empírica observada na manufatura.

Na literatura, de uma forma geral, é considerado o ritmo de trabalho baseado no *takt time* para a satisfação da demanda necessária, sendo esse ritmo um número determinado e fixo. O indicador de ritmo é expresso em unidade de tempo consumida para obter um produto ou peça pronta no final da linha (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001). Entende-se que seja possível desenvolver estudos no sentido de intensificar a utilização da eficiência global dos equipamentos como referencial para a gestão dos postos de trabalho e implantação de melhorias.

Conforme Antunes et al. (2008), a capacidade de um posto de trabalho é determinada pela equação (5):

$$C = T_t \cdot \mu_g \quad (5)$$

Sendo:

C = capacidade do equipamento (unidade de tempo)

T_t = tempo total disponível para a produção (unidade de tempo)

μ_g = índice de rendimento operacional global do equipamento (adimensional)

O Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) auxilia a visualizar o desempenho da área de manufatura e a identificar qual é a máxima eficiência possível de ser atingida (ANTUNES et al., 2008). O IROG é expresso pela equação (6):

$$\mu_g^{maq} = \frac{\sum_{i=1}^N Tp_i \cdot q_i}{T_t} \quad (6)$$

onde:

Tp_i = tempo de ciclo do item “i” no equipamento (unidade de tempo por unidade de produção)

q_i = quantidade produzida do item “i” no equipamento (unidade de produção)

Tt = tempo total disponível para a produção (unidade de tempo)

É possível desdobrar a equação anterior em índices parciais para um aprofundamento de análise do conceito, conforme a equação (7):

$$\mu_{global} = \mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3 \quad (7)$$

onde:

μ_1 = índice de tempo operacional (ITO)

μ_2 = índice de performance operacional (IPO)

μ_3 = índice de produtos aprovados (IPA)

Cada um desses termos pode ser compreendido da seguinte forma (ANTUNES et al., 2008):

- *ITO* (μ_1): corresponde ao tempo em que o equipamento ficou disponível, excluindo-se as paradas não programadas. Está relacionado à parada total do equipamento quando a velocidade é reduzida a zero. Um baixo valor de ITO indica que o equipamento sofreu muitas paradas não programadas;
- *IPO* (μ_2): expressa o desempenho do recurso, sendo definido em função do tempo total disponível, de reduções de velocidade de produção, de operações em vazio e de paradas momentâneas. Está relacionado à queda de velocidade do recurso, sendo essa velocidade diferente da nominal e diferente de zero. A mensuração desse índice é geralmente de difícil operacionalização;
- *IPA* (μ_3): está relacionado à qualidade das peças produzidas é definido em função do tempo de operação real e do tempo gasto com refugo e/ou retrabalho. O IPA está relacionado à qualidade das operações do recurso e de fácil visualização.

É possível entender que o IROG como um indicador de eficiência permita integrar as diferentes áreas envolvidas na Gestão do Posto de Trabalho. Conforme (ANTUNES et al., 2008), a essência da tarefa gerencial consiste em aumentar sistematicamente o índice de Eficiência Global dos Equipamentos ao longo do tempo.

Conforme Slack et al. (2009), a análise do OEE⁴ é uma técnica de julgar a eficácia de equipamentos de operações produtivas. Esse método é baseado em três aspectos de desempenho. É possível relacionar os aspectos citados por Slack et al. (2009) com os índices que compõem os fatores do índice de rendimento operacional global (IROG), a saber:

⁴ OEE: overall equipment Efficiency(indicador de eficiência de recursos produtivos).

- 1) Tempo que está disponível para operar (μ_1);
- 2) Velocidade ou taxa de processamento do equipamento (μ_2);
- 3) Qualidade do produto ou serviço que produz (μ_3).

Conforme os autores, para o equipamento operar de forma eficaz é necessário alcançar altos níveis de desempenho nas três dimensões citadas. Vistas isoladamente, essas métricas são indicadores importantes do desempenho da operação, mas não fornecem uma visão completa da eficácia geral da máquina. Isso pode ser entendido através da observação do efeito combinado das três medidas, sendo o produto calculado ao multiplicar as três métricas individuais.

3.6.2 A Variação da Demanda de Produtos

Conforme Slack et al. (2009), a sazonalidade da demanda ocorre normalmente em um período de um ano. Todavia variações previsíveis similares podem ocorrer para certos produtos e serviços em um ciclo mais curto. O grau em que uma operação terá que lidar com flutuações de demanda de prazo muito curto é determinado parcialmente pelo tempo que seus clientes estão dispostos a esperar por seus produtos ou serviços (SLACK et al., 2009). Uma operação cujos clientes são incapazes ou não querem esperar deve ser planejada para absorver flutuações de demanda de prazo muito curto.

A questão mais evidente pode estar relacionada à como variar o ritmo de produção de forma coerente e sincronizada com os sujeitos do trabalho, de forma a utilizar operadores e máquinas, na forma de trabalhar mais adequada considerando as restrições do sistema.

3.6.3 A Variedade de Produtos

Ao estudar o funcionamento da produção em massa, é possível perceber que essa se sustenta sobre grandes volumes de produtos com pouca variedade. Remetendo a análise ao contexto do Japão no período pós-guerra, é sabido que este país precisava de um sistema capaz de gerar pequenos volumes e muitas variedades de produtos. Tornava-se necessário criar uma função que relacionasse a demanda variada de quantidades pequenas com a programação da produção. Essa função deveria conter em si uma forma de operacionalização do conceito *Just-In-Time* (WOMACK; JONES, 1998).

Observando-se os fatos à luz da visão do *Just-In-Time* e entendendo a manufatura celular como uma de suas técnicas principais, fica exposto que a alocação de vários tipos de produtos em uma célula vem a ser um pressuposto relevante para o sistema e que precisa ser considerado dentro do aspecto de dimensionamento necessário. É possível admitir que em um contexto onde o investimento em equipamentos e máquinas é elevado, os custos restringem a aquisição. Torna-se necessária a exploração da capacidade produtiva e utilização satisfatória dos recursos existentes, o que pode solicitar a utilização de uma mesma célula para diferentes tipos de produto.

3.6.4 A Idealização das Propostas de Melhoria

1) *A eficiência global dos equipamentos*: São consideradas as perdas inerentes ao sistema produtivo. Cita-se as paradas de máquina, as perdas de velocidade e as perdas relativas à elaboração de produtos não-conforme. Esta premissa pode constituir-se em uma vantagem para o dimensionamento de células de produção. O cálculo das capacidades nos modelos usuais de dimensionamento de células parece considerar as eficiências dos equipamentos em valores estimados e adotados podendo conduzir a distorções;

2) *A variação de demanda*: Um benefício desta abordagem poderá ser um dimensionamento mais apurado da mão de obra baseado em demandas variáveis. O método usual de dimensionamento parece se referenciar por um *takt time* fixo. Cabe trazer à discussão a existência de vínculos teóricos entre o *takt time* e o tempo de ciclo de uma célula. Segundo Antunes et al. (2008), é necessário entender a limitação de capacidade de uma célula de produção, ou seja, é possível conceber o conceito relativo à “*takt time* calculado”⁵ e “*takt time* efetivo”⁶. Antunes et al. (2008) explicam que se o tempo de ciclo de uma célula ou linha representa o ritmo máximo possível, mantidas as condições de análise, então é possível concluir que o tempo de ciclo é um limitante do *takt time*, ou seja, da velocidade do fluxo. Conforme Antunes et al. (2008), a velocidade do fluxo sempre é limitada, sendo essa limitação dada pela capacidade (tempo de ciclo teórico) ou pela demanda (*takt time*). Desta forma, é possível considerar a existência de dois ritmos possíveis em uma célula de produção, para um mesmo produto, em função da demanda apresentada. Antunes et al. (2008), definem o “*takt time* efetivo” como sendo o ritmo adotado conforme a demanda, ou seja, esse poderá assumir duas possibilidades. O *takt time* efetivo será igualado ao *takt time* calculado se a demanda for menor que a capacidade da célula, de outra forma será igualada ao tempo de ciclo da célula ou linha caso a demanda for maior que a capacidade.

3) *A variação de produtos*: A vantagem de observar essa premissa pode estar ligada a um melhor aproveitamento da mão de obra. O método analisado de dimensionamento considera o funcionamento da célula baseado na produção de uma única família de peça com características físicas semelhantes. Uma característica observada na prática é a utilização da célula para produzir peças com diferenças dimensionais que podem definir diferentes tempos de ciclo, dado que é possível entender o

⁵ *Takt time calculado*: refere-se ao ritmo de produção dado pela formulação apresentada relativa ao conceito, ou seja, é a razão entre o tempo disponível para a produção e a demanda expressa em número de peças.

⁶ *Takt time efetivo*: termo adotado para expressar a possibilidade da célula assumir ritmos de trabalho específicos em função do *takt time* calculado e do tempo de ciclo teórico.

tempo de ciclo da célula como o tempo de ciclo relativo ao recurso mais lento, em uma primeira análise;

4) *As variabilidades existentes*: a consideração das variabilidades pode ampliar o campo de estudo na Gestão do Posto de Trabalho. Hoop e Spearman (2000) consideram variabilidades como a desuniformidade dos entes ou resultados pertencentes a um grupo sobre o qual é feito algum tipo de análise. As fontes de variabilidades estão presentes no ambiente produtivo e podem ser elementos de estudo como, por exemplo, os tempos de ciclo, os tempos de *setup*, as paradas de máquinas por manutenção, a habilidade dos operadores e outros fatores que podem subtrair capacidades produtivas. É possível assumir que em uma célula de produção o domínio sobre as possíveis fontes de variabilidades necessita de especial atenção com vista ao suporte ao fluxo contínuo.

3.6.5 Análise Comparativa de Cenários para o Dimensionamento de Células

As abordagens ao método de análise e dimensionamento de células são passíveis de serem comparadas, no sentido de perceber as diferenças que podem existir e influenciar o desempenho das células de produção. Cabe fazer uma comparação, a partir de cenários criados, conforme as visões dos Autores citados no referencial teórico apresentado no Quadro 5.

As características que influenciam no dimensionamento das células de produção, apresentadas anteriormente como resumo do referencial bibliográfico, conduziram a percepção de ideias ainda não exploradas integralmente como:

- 1) A influência da eficiência global dos equipamentos sobre a capacidade teórica da célula;
- 2) A possibilidade de adoção de ritmos de trabalho diferentes (takt time) em função da demanda;

3) O impacto de características físicas distintas nos produtos que são processados na célula.

A interpretação a essas ideias, na visão dos Autores pesquisados, originou a criação de cenários representativos com relação à abordagem ou não a essas ideias em suas respectivas publicações.

Conforme mostrado no Quadro 5 será apresentado o cenário 1 (ROTHER; HARRIS, 2002), como base de análise relativa ao estudo de caso apresentado e o cenário 8 (pesquisa) que corresponde ao campo de interesse em estudar os impactos das ideias inicialmente citadas. Os demais cenários são relativos à interpretação do autor do presente trabalho sobre a profundidade de discussão apresentada pelos autores consultados para a realização da presente pesquisa, em cada campo de interesse.

AUTORES E CENÁRIOS PROPOSTOS																		
IROG/OEE	NÃO								SIM									
VARIAÇÃO DE DEMANDA	NÃO				SIM				NÃO				SIM					
VARIAÇÃO DE PRODUTOS	NÃO		SIM		NÃO		SIM		NÃO		SIM		NÃO		SIM			
VARIABILIDADE	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM		
CENÁRIOS	1				2		3		4		5		6		7		8	
AUTOR	Rother e Harris (2002)				Monden (1984)		Sekine (1990)		Oishi (1995)		Edwards, Edgell e Richa (1993)		Slack et al.(2009)		Antunes et al. (2008)		PESQUISA	

Quadro 5: Pressupostos e Cenários na abordagem ao dimensionamento de células de produção
 Fonte: Elaborado pelo autor

O Método proposto por Rother e Harris (2002) é a base referencial do estudo de caso desta pesquisa por ter sido adotado na situação estudada. Comparativamente a estes autores será feita uma análise crítica a respeito das possibilidades de introdução de ideias que possam compor uma proposta de método modificado de dimensionamento e sua relação ao contexto analisado.

O método proposto por Rother e Harris (2002), considera um dimensionamento baseado no conteúdo de trabalho e o ritmo necessário para o atendimento à demanda. As considerações a respeito do método de dimensionamento não são relacionadas com aspectos de eficiência global dos equipamentos. A variação de demanda está vinculada a um ritmo fixo (*takt time*).

Não é percebida uma referência com relação à variedade de produtos. Também não foram discutidas as formas de tratar os tempos de *setup* e tempos de paradas de máquina, conforme a descrição do método.

Uma discussão sobre os cenários é apresentada a seguir:

a) *Definição dos cenários conforme a visão geral dos autores:*

- *Monden (1984)/cenário 2:* baseia o dimensionamento da célula no *Standard Operation*, como instrumento de definição do conteúdo de trabalho, da quantidade mínima de operadores, das rotas a serem seguidas e da quantidade padrão de material em processo;
- *Sekine (1990)/cenário 3:* afirma que a determinação de quantidade de operadores e equipamentos deve ser baseada nas demandas do cliente sendo esses canalizados através dos pedidos solicitados pela montagem. Sekine (1990) destaca a redução dos tempos de *setup*, a inspeção na fonte e a multifuncionalidade. É possível entender que o autor considera a importância da influência da variação de demanda e das variabilidades existentes;
- *Oishi (1995)/cenário 4:* é considerada por este autor a variação de produtos que pode ocorrer dentro do ambiente de produção. É salientada a variação da demanda que implicará na variação da quantidade de pessoas, baseado no enfoque da análise do processo e na conexão de *layout* em forma de “U”;
- *Edwards, Edgell e Richa (1993)/cenário 5:* faz menção sobre o dimensionamento baseado no *Standard Operation*, ponderando sobre as possíveis formas de evitar as interferências que podem desestruturar o sistema. É citado o planejamento nivelado de demanda, a consistência dos tempos de ciclo entre produtos e os cuidados com os equipamentos e máquinas;
- *Slack et al. (2009)/cenário 6:* segundo essa visão as células de produção devem satisfazer aos pré-requisitos para a adoção de *layout*

e o dimensionamento está condicionado ao tipo de célula, que será baseado na quantidade de recursos diretos e indiretos incluídos. Slack et al. (2009), em uma análise crítica faz referência à possibilidade de proteção com estoques de postos de trabalho com capacidade restrita. É possível interpretar que os autores reconhecem a influência de variabilidades existentes que podem influenciar o resultado;

- *Antunes et al. (2008)/cenário 7*: através da abordagem baseada na análise de capacidade e demanda dos recursos produtivos é percebido uma consideração das eficiências globais dos equipamentos, em que a capacidade real é definida como produto entre a capacidade nominal dos equipamentos e o índice de rendimento operacional global (IROG). Desta forma, a definição da restrição adquire um caráter mais amplo considerando as diferenças temporais entre capacidades e demandas. Antunes et al. (2008) consideram a variação de demanda que poderá ocorrer dentro da célula relativo a um mesmo produto, podendo remeter a diferentes *takt times* dentro de um determinado período de tempo.

b) A pesquisa/cenário 8

Esse cenário caracteriza propriamente a pesquisa, no qual os contextos de desenvolvimento dos casos foram analisados e interpretados para permitir a compreensão de possibilidades de desenvolvimento de uma proposta de método de dimensionamento. A proposta de método desenvolvida sugere a possibilidade de consideração de pressupostos anteriormente citados como parte integrante do processo de dimensionamento de pessoas e equipamentos. Desta forma é analisado o contexto adequado para o desenvolvimento de condições de sustentar o processo de dimensionamento de células através da melhoria contínua.

4 APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Este capítulo traz informações sobre os ambientes onde as possibilidades de desenvolvimento da pesquisa foram percebidas, tendo como base de fundamentação o referencial teórico. A Figura 11 apresenta esquematicamente os focos de desenvolvimento e os cenários dos casos estudados.

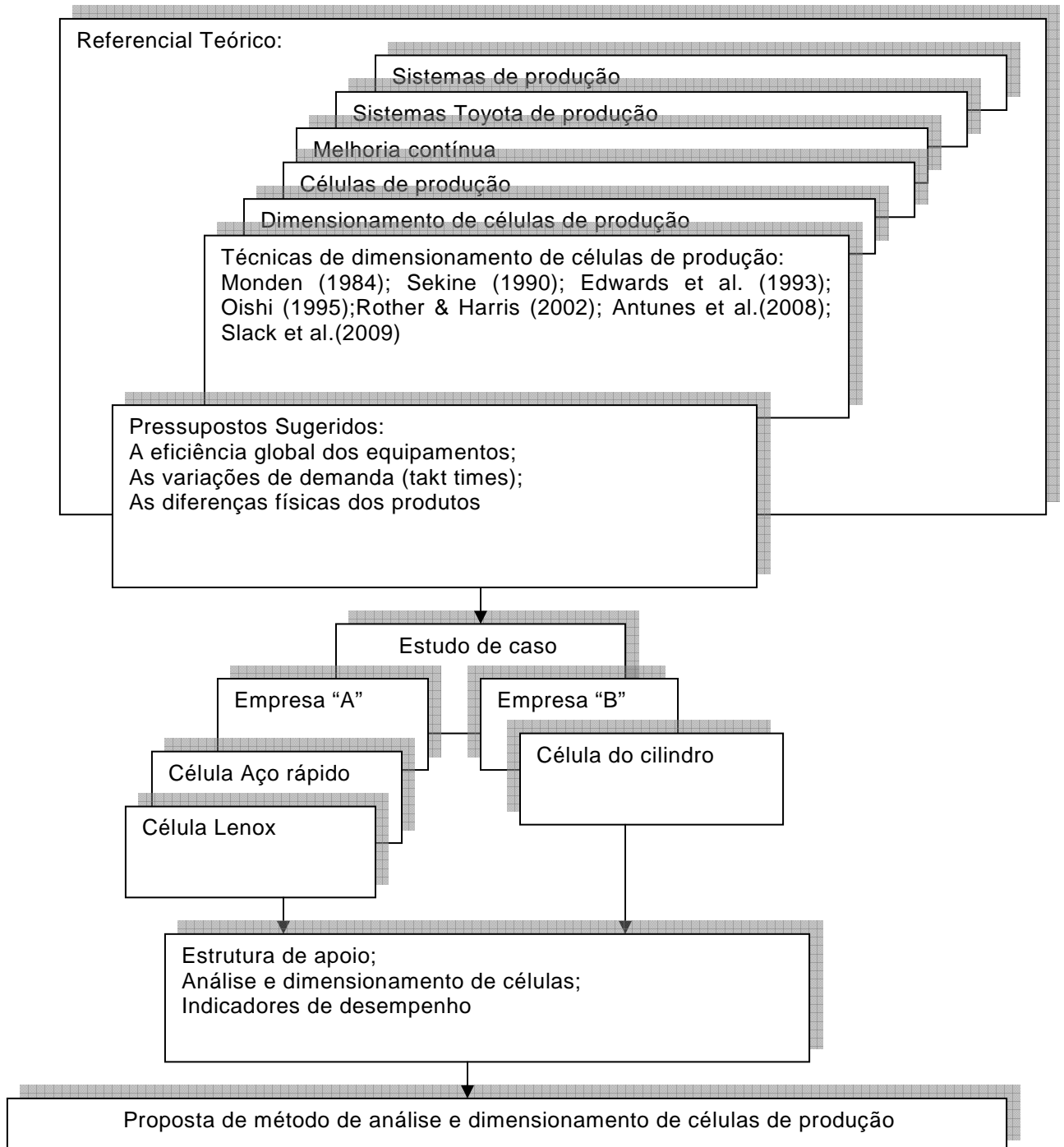


Figura 11: Esquema de desenvolvimento dos casos estudados

Fonte: Elaborado pelo autor

No cenário da empresa “A” as etapas de aplicação do método baseado em uma proposta de Rother e Harris (2002) para o dimensionamento de células de produção foram seguidas e analisadas criticamente. Serão estudadas duas células da empresa “A” que possuem naturezas operacionais diferenciadas para que seja considerada a aplicação do método de Rother e Harris (2002) em situações distintas. É trazida como contribuição a exposição de ideias ligadas ao contexto e a análise para o dimensionamento em uma célula localizada em outra empresa, (empresa “B”) como base de interpretação de características consideradas relevantes para compor o método a ser proposto no estudo.

As células das divisões de brocas localizadas na empresa “A” serviram de base para verificar a possibilidade de explicitar as deficiências no método de dimensionamento de células aplicado neste contexto. A célula da fábrica de componentes de carabina de pressão inserida no contexto da empresa “B” será o objeto de estudo e avaliação para viabilizar ideias de dimensionamento com referência nos itens de avaliação considerados.

4.1 A EMPRESA “A”

A empresa “A” é uma multinacional fabricante de ferramentas para o ramo metal mecânico, que abrange o ramo industrial e doméstico para furar metais, representado por brocas de aço rápido. Cita-se também o ramo de serviços com madeira que inclui puas e trados manuais e o ramo da construção civil que emprega brocas para furar concreto e cortadores de piso manuais.

A empresa “A” atua há 45 anos, no Brasil, e localiza-se na cidade de Carlos Barbosa, a 100 km de Porto Alegre - RS. Atualmente, conta com 450 funcionários e faturamento anual médio de noventa milhões de reais. Iniciou suas atividades como uma pequena metalúrgica. Uma empresa fundada por visionários da cidade, fabricando puas e trados para a estrada de ferro na década dos anos sessenta. No decorrer do tempo foram desenvolvidos outros

produtos como brocas chatas para madeira, utilizada na indústria moveleira, e, brocas para concreto, de uso intenso na construção civil.

No ano de 1982, a metalúrgica C.B. Ltda. foi adquirida pelo grupo americano “The Iw Company”, passando a fabricar brocas de aço rápido com a marca Iw.

Em 1993, uma nova aquisição ocorreu, fazendo com que a empresa Iw passasse a integrar uma companhia americana chamada *American Tool Companies*, uma das três maiores fabricantes de ferramentas manuais do mundo.

Em 1998, o grupo American Tool adquiriu a indústria e comércio Twill, uma fabricante de brocas de aço rápido de origem francesa, situada em São Paulo, tornando-se líder do mercado de brocas no Brasil.

Uma nova aquisição aconteceu no ano de 2002, quando o grupo norte americano Newell Rubbermaid adquiriu globalmente as empresas American Tool Companies. Em decorrência, as empresas Iw, em Carlos Barbosa, e Twill, em São Paulo, passam a ser propriedade do grupo Rubbermaid e a estar ao lado de empresas de expressão como: Panex, Euroflex, Paper-mate, Parker entre outras. A partir dessa aquisição a Newell Rubbermaid começou a ampliar seus investimentos no Brasil transferindo para as fábricas de São Paulo e Carlos Barbosa, toda a produção de brocas de aço rápido de outras fábricas, cita-se, como exemplo, o fechamento das fábricas da cidade de Cumberland, no estado de Wisconsin, e da fábrica de brocas da cidade de Wilmington, estado de Ohio, EUA. Desta forma, passa a ser o Brasil, através de suas fábricas de São Paulo e Carlos Barbosa o centro de excelência mundial da Newell Rubbermaid para a fabricação dos seguintes produtos:

- 1) Brocas de aço rápido para a indústria metal mecânica e para a linha de uso informal, para a furação de metais, incluindo a linha de brocas especiais;
- 2) Brocas para furar concreto e cortadores de piso manuais para uso na construção civil;

3) Ferramentas para a furação de madeira como puas, trados manuais e brocas específicas para madeira para uso em furadeiras elétricas denominadas “Brocas Rápidas”.

Em 2006, com o intuito de aumentar a produtividade e ampliar os planos de exportação, a Newell Rubbermaid transferiu a manufatura da fábrica de São Paulo para a planta de Carlos Barbosa, adaptando as instalações de São Paulo para ser um centro de distribuição para o mercado interno, América Latina e Estados Unidos. Com base nessa estratégia da direção do grupo a planta de Carlos Barbosa, passou a ser o centro de manufatura para a fabricação de brocas para o mercado nacional, da América Latina e Estados Unidos.

4.1.1 A Visão Temporal da Manufatura

O período anterior a 2004, quando efetivamente iniciaram as preparações para uma mudança na estratégia da manufatura, havia uma situação do tipo *product out*, porém devido ao acirramento da concorrência e principalmente da entrada de produtos importados de baixo custo, houve uma maior preocupação com a racionalização da produção e eliminação de desperdícios.

Através de uma análise de mudanças ocorridas na manufatura em função do tempo, é proposta pelo autor a divisão em fases, para uma adequada localização dos fatos.

- *Fase 1*: a introdução das mudanças na manufatura (2004);
- *Fase 2*: a estruturação para implantação das técnicas do *lean manufacturing* (2004-2007), em particular o conceito de células de produção;
- *Fase 3*: uma análise crítica da aplicação do método de dimensionamento de células de produção empregado no estudo (2007-2009).

4.1.1.1 Fase 1 – A Introdução das Mudanças na Manufatura (2004)

A aquisição da empresa pelo grupo Rubbermaid, no ano de 2002, trouxe através da nova administração corporativa um fomento às técnicas de aplicação do *lean manufacturing* através de um programa denominado “OPEX” entendido pela organização como “excelência operacional”.

A meta principal era aproximar tanto quanto possível as divisões da planta de Carlos Barbosa das empresas de classe mundial. Houve, nesse período, como início das atividades formais, a contratação de um profissional denominado de “gerente *lean manufacturing*” como facilitador das atividades integrantes de implantação das técnicas da manufatura enxuta.

Os setores como Recursos Humanos, Engenharia industrial, Produção, Planejamento e Controle da Produção foram mobilizados, envolvidos no programa e conduzidos pela coordenação do novo departamento criado e denominado “*Lean Manufacturing*”. Este setor possuía autonomia e recursos de investimento próprio. O gerente responsável não possuía subordinados diretos, mas tinha poder para convocar funcionários de qualquer setor para compor os grupos que deveriam receber os treinamentos específicos e disseminar as técnicas por toda a empresa.

A situação encontrada na empresa, no período anterior a 2004, era caracterizada por agrupamentos de máquinas constituídas a partir da similaridade de operações (*layout funcional*). Algumas características adicionais encontradas no contexto foram: i) a produção era realizada em grandes lotes com máquinas dedicadas; ii) os tempos de *setup* eram elevados, dado que eram peças fisicamente pequenas, buscava-se a maior produção possível antes da mudança do item a ser fabricado; iii) os operadores desconheciam conceitos de multifuncionalidade, redução de estoques e trabalho padronizado.

A empresa “A” iniciou o processo de implantação de técnicas da manufatura enxuta desde o ano de 2004, através dos programas de 5S's, kanban e criação de células de produção em suas unidades, com vistas a uma

adequação da manufatura aos programas corporativos de melhoria da produtividade, como parte integrante do programa OPEX.

O Quadro 6 apresenta algumas características alteradas na empresa devido à aquisição pelo grupo Rubbermaid no ano de 2002.

Característica	Anterior a 2002	A partir de 2002
Abrangência	Nacional	Mundial
Organização da manufatura	Lotes grandes e agrupamento de máquinas	Visão voltada para os fluxos de processos e redução de desperdícios
Estratégia corporativa	Utilização dos recursos existentes	Investimentos para aumentar o volume de produção

Quadro 6: Principais questões observadas no contexto

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.2 Fase 2 – A Estruturação para Implantação das Técnicas do *Lean Manufacturing* (2004-2007)

A formalização da estrutura ocorreu após uma série de treinamentos ministrados por entidades externas à empresa e que traziam os princípios básicos e técnicas de aplicação do pensamento enxuto. Os conceitos transmitidos nos treinamentos teóricos foram seguidos de projetos piloto que possibilitaram a aplicação das técnicas, como forma de compreensão e disseminação geral dos benefícios adquiridos. Com esse objetivo foram criados os grupos de: Celularização, *setup*, kanban, 5S, e as sequências de ⁷Kaizen conforme uma programação.

O grupo focado de criação de células iniciou os projetos piloto na fábrica de brocas de aço rápido - linha standard (fábrica três) e brocas rápidas para furação de madeira (fábrica dois). O motivo mais evidente para esta decisão é que as duas fábricas apresentavam características de máquinas e operações diferenciadas, ou seja, a fábrica de brocas de aço rápido trabalhava com

⁷ *Kaizen*: trabalho em grupo com objetivo de fazer melhorias.

máquinas automáticas em que o operador apenas necessitava carregar o ⁸magazine com certo número de peças, em seguida, medir as peças segundo determinada frequência e transportá-las para a operação seguinte quando a usinagem estivesse completa.

As máquinas da fábrica de produtos para madeira são manuais, impedindo o afastamento do operador da máquina devido ao envolvimento de detalhes que somente um especialista na função poderia fazer de forma manual.

O grupo focado envolvido na tarefa de desenvolver o projeto das células era formado por componentes da Engenharia de Processos, da Manutenção, Produção, Programação e Controle da Produção, sob a orientação do gerente de *Lean Manufacturing*. Duas semanas de treinamento diário foram conduzidos por instrutores do Lean Institute Brasil e baseados nos manuais de Rother e Shook (1999) em “*Aprendendo a Enxergar*” e Rother e Harris (*apud* 2002) em “*Criando fluxo contínuo*”. Para uma delimitação mais precisa do estudo e melhor compreensão, esta fase da pesquisa está subdividida nas seguintes etapas:

- a) Apresentação das células de produtos e dos respectivos *layouts*;
- b) Criação dos mapas de fluxo de valor;
- c) Dimensionamento das células baseado no método proposto por Rother e Harris (2002) do manual “*criando fluxo contínuo*”.

4.1.1.2.1 Apresentação das Células de Produtos e dos Respective Layouts

A seguir, é apresentada uma descrição das células, analisadas individualmente, para referenciar o início dos trabalhos. A determinação dessas células foi objetivada visando servir como base de aplicação do método proposto por Rother e Harris (2002), de implantação e dimensionamento abordados no treinamento. Essas aplicações práticas deveriam servir como referência à geração de outras células de produção em outras seções da planta.

⁸ *Magazine*: compartimento da máquina destinado a receber peças para alimentação da usinagem.

(A) A Célula de Brocas de Aço Rápido

As brocas de aço rápido também conhecidas como brocas HSS (*High Speed Steel*) são ferramentas destinadas a furar metais em geral. A matéria-prima utilizada são barras de aço rápido M2 de comprimento de seis metros. Essas barras são cortadas em pedaços chamados “*blanks*”, que são temperados para obter dureza e revenidos para homogeneizar a estrutura. O processo de usinagem, basicamente consiste em retificação. Inicia pela qualificação do diâmetro externo em retífica *centerless*. Na sequência são abertos os canais em retíficas Fluter F-500, e depois é feita a operação de retificar relevo e afiar a ponta. Após essas etapas as brocas são marcadas, oleadas e embaladas.

As peças são fabricadas em máquinas automáticas dependentes apenas de carregamento do magazine da máquina. A grande quantidade de diâmetros de brocas fabricados pela empresa compreende uma faixa desde o diâmetro 1,5 milímetros até o diâmetro 12,54 milímetros ($\frac{1}{2}$ ” polegada). No Gráfico 2 é mostrado a composição da célula com as demandas mensais médias de cada produto.

A identificação da demanda dos seis meses anteriores ao início dos trabalhos foi um parâmetro de definição do ritmo de produção mais provável de ocorrer e base para o dimensionamento de máquinas e pessoas necessárias. Nestas condições foi admitido que o somatório das demandas mensais individuais dos produtos definiria a demanda mensal total da célula. As demandas mensais dos produtos referentes a seis meses anteriores à análise foram obtidas no departamento de programação da produção sobre as quantidades produzidas em um determinado mês. Contudo é relevante observar que nesse tipo de produto o comportamento poderá ter variações semanais e mesmo diárias. A demanda mensal referente à célula do aço rápido é apresentada no Gráfico 3, e é referente à soma das demandas individuais de cada produto que participa da célula. A média aritmética obtida dos últimos seis meses foi um parâmetro para o subsequente cálculo do ritmo de trabalho.

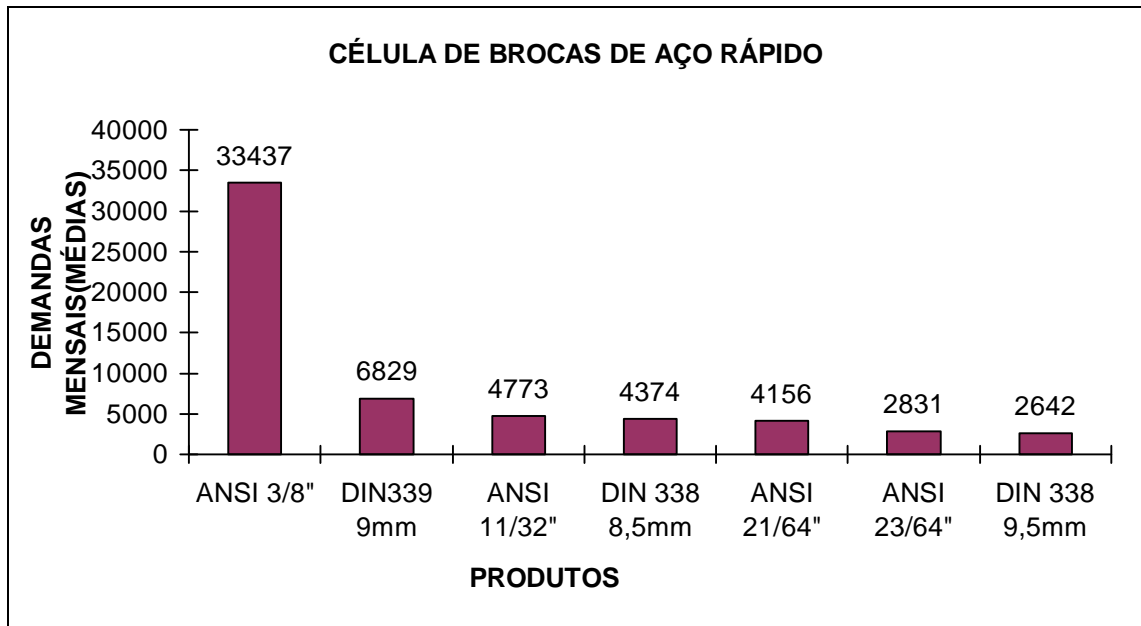


Gráfico 2: Demanda média de produtos (peças/produto)

Fonte: Histórico de vendas da empresa "A" estudada

O *layout* correspondente a essa célula, é representativo do formato em "U" como forma de minimizar a movimentação de operadores no atendimento a várias máquinas. A medição das características dimensionais da peça era feita pelo operador. A questão que conduziu ao estudo deste tipo de célula com equipamentos totalmente automáticos foi a quantidade de operadores necessários para operar as cinco máquinas existentes, com vistas ao aproveitamento da capacidade produtiva das máquinas, dado que outras células com a mesma característica deveriam ser formadas a partir desta. A função do operador seria basicamente de: alimentar o magazine com peças, medir as peças e transportar para a máquina seguinte.

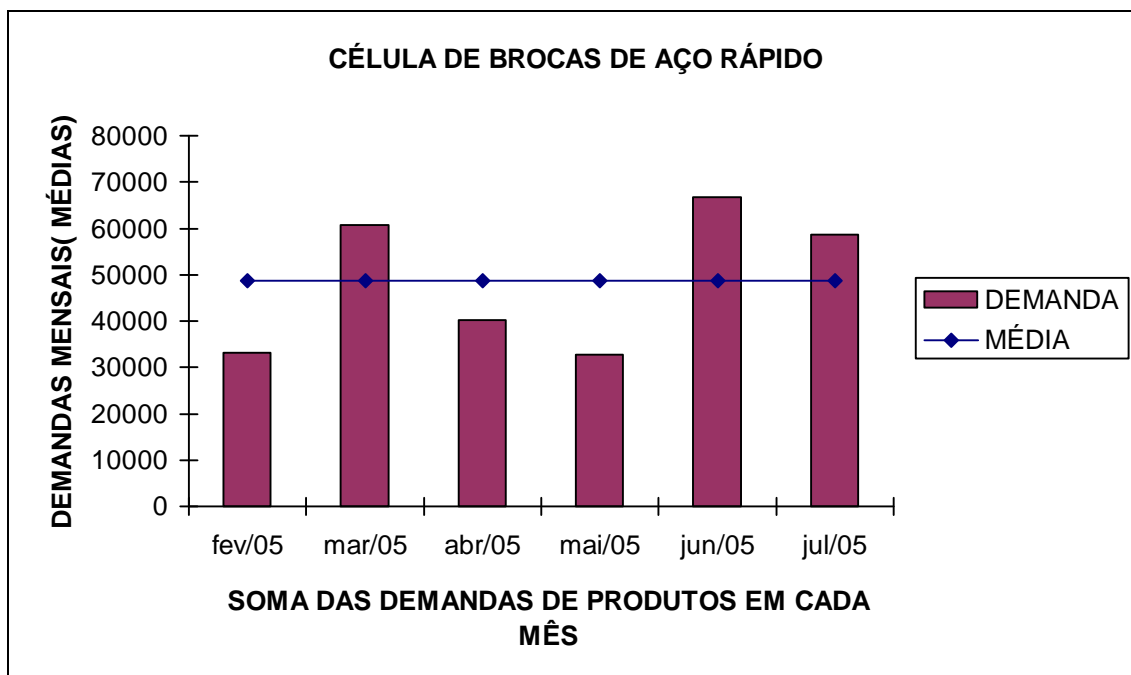


Gráfico 3: Análise de demanda mensal (peças/mês)

Fonte: Histórico de vendas da empresa "A" estudada

As máquinas foram importadas de fabricantes especializados, pois se tratavam de equipamentos dedicados à operação e de características complexas do ponto de vista mecânico e de manutenção.

(B) A Célula de Brocas Rápidas para Madeira (LENOX)

As brocas para furar madeira são produtos com características geométricas específicas para este fim. A matéria-prima utilizada para a fabricação são barras de aço 1060 que são cortados em comprimentos previamente calculados, para assumir a forma final na forjaria. Na sequência são forjadas as hastes, os canais e a pré-forma da ponta para facilitar a usinagem final. Após o processo de forjamento, onde a peça adquire a pré-forma, as peças são enviadas para a seção de usinagem onde está localizada a célula estudada. As operações de usinagem são de naturezas diversas e realizadas em máquinas manuais. As máquinas são fabricadas internamente na seção de construção de máquinas, pois são equipamentos de baixa complexidade mecânica. As dimensões de diâmetro variam de 9,52 milímetros (3/8"-polegada) até 38,10 milímetros (1.1/2"- polegada). No caso das brocas Lenox existem dois comprimentos o de 190 milímetros e o de 451 milímetros. Essa variação dimensional possui uma influência significativa na operação mais lenta da célula

podendo afetar o tempo de ciclo e como consequência alterar o ritmo conforme o produto que vai ser produzido. Esse tipo de broca é destinado exclusivamente para exportação, sendo denominada “Auger Bits Lenox”.

O *layout* foi estabelecido em formato de “U” com a operação das máquinas pelo lado interno para facilitar o transporte de peças e a comunicação entre os operadores.

As características ligadas às pessoas são de relativa complexidade. Isto porque são operações manuais e requerem habilidades. Portanto é necessário treinamento do operador. Essa característica em determinadas operações requer um considerável período de tempo. Os aspectos que contribuem para a fadiga podem influir no desempenho, devido à necessidade de movimentações manuais de apanhar e colocar a peça no cavalete, associado ao fato de permanecer em pé. Estes aspectos podem alterar o ritmo de produção ao longo do tempo.

É possível verificar, a título de exemplo, o Gráfico 4, em que uma variação do tempo de ciclo é observada na operação de lixar hélice (operação manual), em diferentes horas do dia (manhã e tarde) durante cinco dias observando o comportamento de três operadores na mesma máquina.

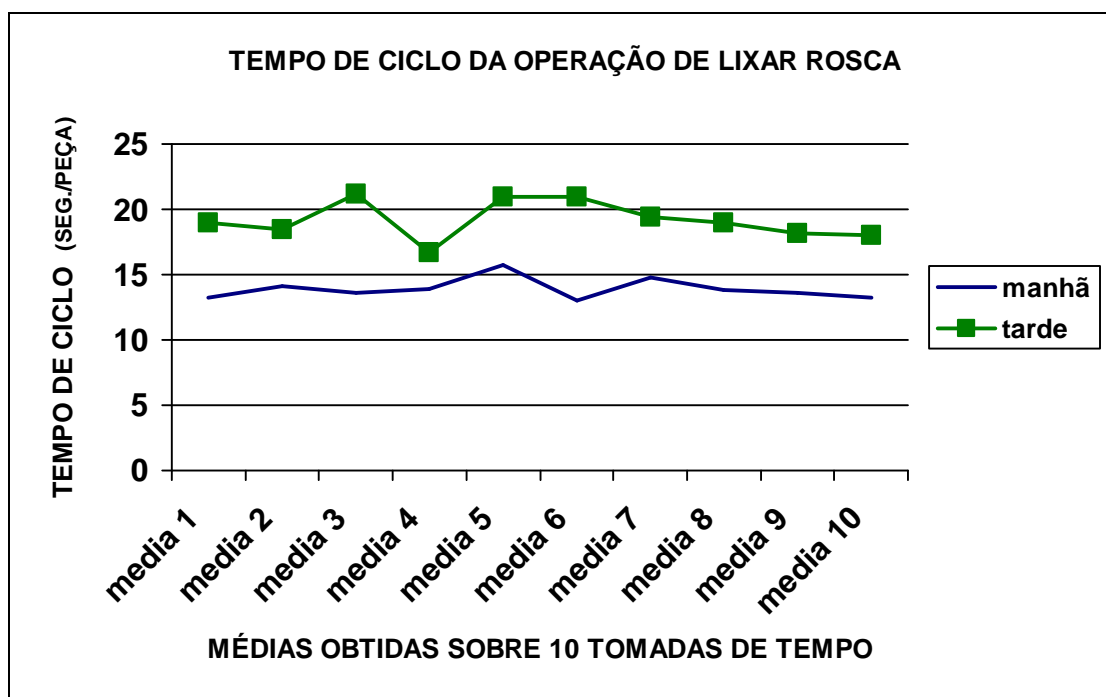


Gráfico 4: Comparação dos tempos de ciclo médio nos períodos da manhã e da tarde na operação de “lixar rosca”

Fonte: Manufatura da empresa “A” estudada

Conforme mostrado no Gráfico 4 foi possível perceber que devido às movimentações manuais o rendimento do operador poderá variar em função do tempo.

Seguindo o mesmo processo de dimensionamento adotado foram especificados os itens que são fabricados na célula Lenox e as demandas médias mensais de cada item (Gráfico 5).

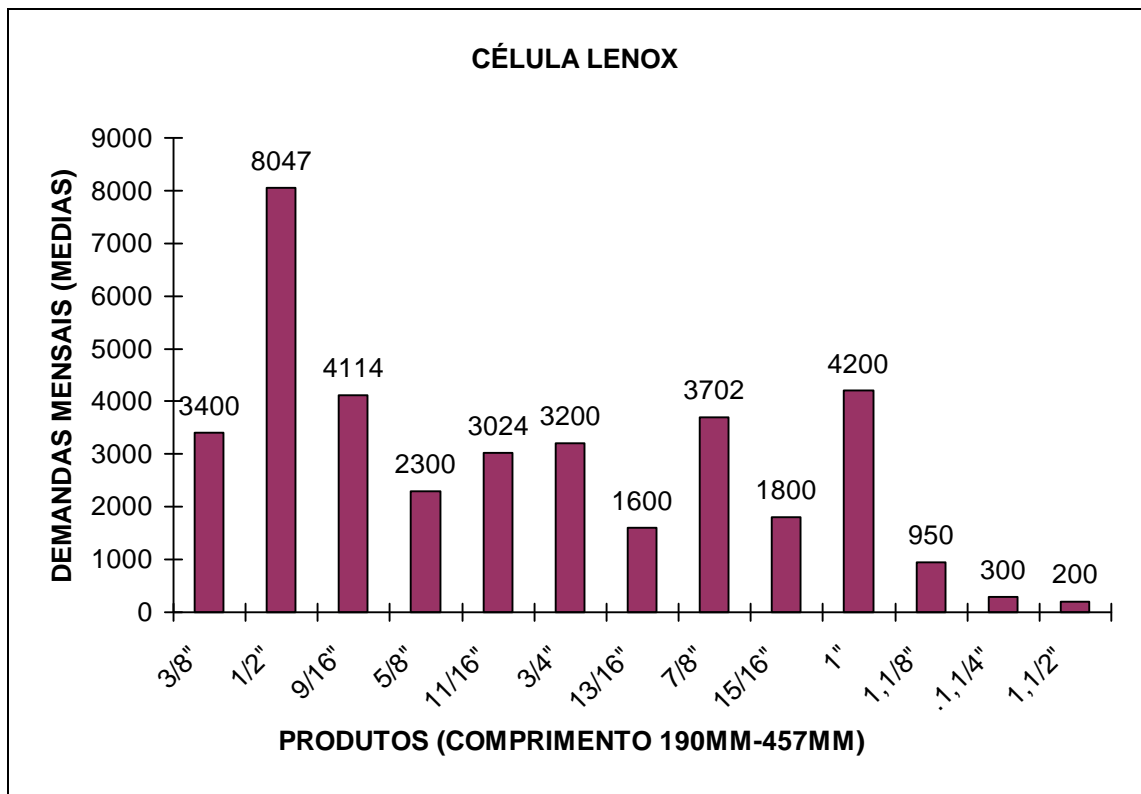


Gráfico 5: Demandas mensais médias de produtos (peças/produto)

Fonte: Histórico de vendas da empresa "A" estudada

As variações de demandas mensais para os produtos da célula da linha Lenox foram identificadas para os seis meses anteriores ao início das atividades, conforme mostrado no Gráfico 6.

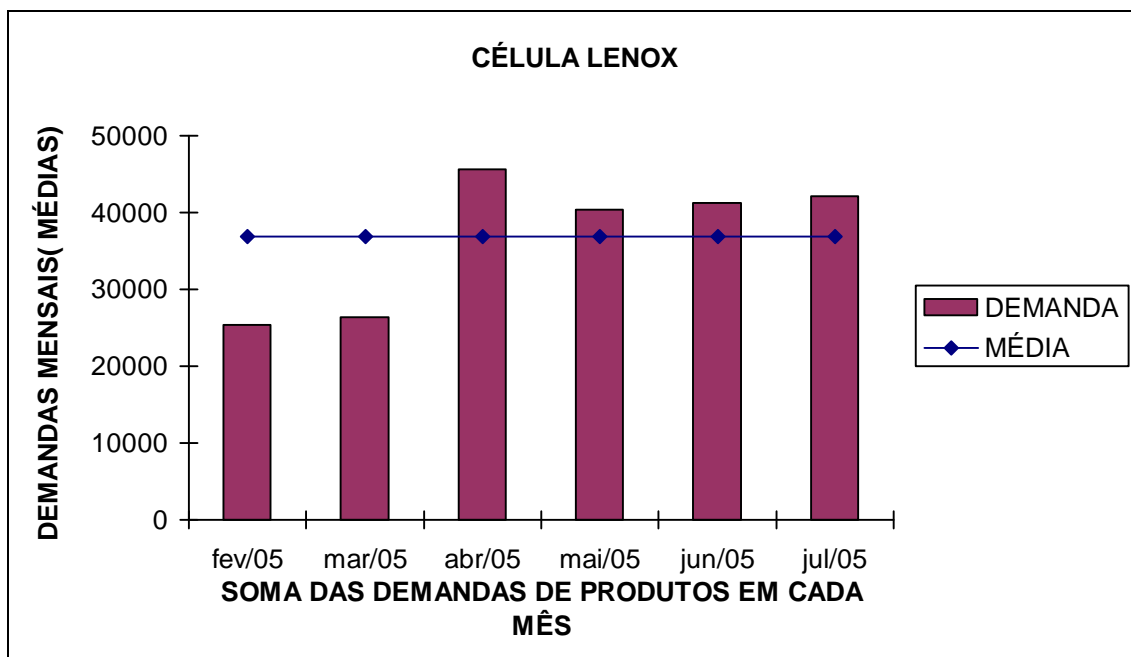


Gráfico 6: Análise de demandas mensais (peças/mês)

Fonte: Histórico de vendas da empresa "A" estudada

As questões relativas ao estudo de dimensionamento deste tipo de célula recaíram sobre a possibilidade de executar a multifuncionalidade como aproveitamento econômico da mão de obra em casos de variação de demanda em curtos períodos de tempo e possíveis variações do tempo de ciclo dado pela diferença física dos produtos da célula. Cabe ressaltar que, o balanceamento resultante do dimensionamento calculado objetivava explorar a multifuncionalidade de forma a atender a demanda sem gerar estoques em excesso na célula.

4.1.1.2.2 Considerações sobre a Etapa de Abordagem ao Método Utilizado para o Dimensionamento Segundo a Visão do Autor

Através da análise do desenvolvimento dos trabalhos nessas células cabe evidenciar as características percebidas e não respondidas no método utilizado de dimensionamento empregado, a saber:

- a) As células eram compostas por uma variedade de produtos, os tempos de *setup* não foram definidos quanto ao início e fim, ou seja, as máquinas iniciavam o *setup* individualmente. O final do *setup* que seria obtido com

a primeira peça considerada aprovada, na verdade foi seguido com vários ajustes de máquina no decorrer do processo, caracterizando interrupções significativas;

b) A demanda variava individualmente de acordo com o produto que entra na célula. É possível argumentar que, na prática, o tempo de ciclo pode variar entre os produtos, devido a características dimensionais diferenciadas, o que igualmente poderá originar uma diferença de ritmo de trabalho entre os produtos. Conforme Antunes et al. (2008), pode haver uma variação do ritmo na célula dependendo do nível de demanda. É possível entender que o ritmo poderá ser dado pelo *takt time* calculado ou pelo tempo de ciclo da célula. O *takt time* calculado será adotado quando a demanda for inferior à capacidade da célula e o tempo de ciclo deverá ser usado quando a demanda for superior à capacidade da célula. Esse tempo de ciclo poderá ser um limitador do *takt time* calculado. Nestas condições, é possível admitir que existam formas de executar melhorias, no sentido de aumentar a capacidade da célula;

c) A célula Lenox de produtos para madeira possuía o desempenho fortemente ligado ao operador, podendo dar origem a variabilidades nos tempos de ciclo e ritmos necessários. Esta dependência poderá se dar em função de: treinamento necessário para obter habilidade nas operações manuais, dificuldade em exercitar a multifuncionalidade dado que passam a ser exigidas características que requerem aprendizado e a existência de fadiga incidente ao longo da jornada de trabalho.

4.1.1.2.3 O Mapeamento do Fluxo de Valor

O mapeamento do fluxo de valor foi uma ferramenta empregada no processo de visualização do fluxo da família de peças das células, baseado no manual de Rother e Shook (1999) em “*Aprendendo a enxergar*”. Foram considerados os aspectos referentes ao processo produtivo como o fornecimento da matéria-prima, as operações de transformação do produto até a fase de

entrega na expedição para o envio ao cliente. Essa etapa considerou o desenho de todo o processo pela equipe envolvida com o objetivo de poder “ver” o processo completo.

As etapas do mapeamento foram desenvolvidas conforme segue:

- 1) Escolha da família de peças a fazer parte do estudo, conforme definido anteriormente na fase de apresentação das células de produtos dos layouts;
- 2) Definição dos pontos de início e fim do processo, considerando o início como a entrada de matéria - prima vinda dos fornecedores e o final como a entrega do produto pronto e embalado para a distribuição ao cliente;
- 3) Desenho do mapa de fluxo atual e contagem das peças em cada operação do processo;
- 4) Cronometragem de cada operação e definição do *lead time* atual da família de produtos selecionada;
- 5) Desenho do mapa futuro e determinação das fases do processo onde é possível criar fluxo contínuo e onde estabelecer supermercados;
- 6) Movimentação física para a formação da célula (máquinas, dutos de óleo de corte, dutos de exaustão, ar comprimido, centrais de filtragem de óleo).

Tipicamente, o ponto inicial de um processo é o primeiro que recebe as entradas de materiais dos fornecedores e, normalmente, o ponto final é a entrega do produto principal ao cliente do processo. No caso estudado na empresa “A” os materiais fornecidos são barras de aço M2 para fabricação de brocas de aço rápido, fornecido pela Villares S.A. e barras de aço trefilado SAE 1060 fornecido pela Belgo Siderurgia S.A. para brocas para madeira, as entregas são mensais em lotes mínimos de oito mil e três mil quilos respectivamente.

O desenho do mapa do fluxo atual permitiu ao grupo ‘enxergar’ entre as operações os trajetos imprecisos, desconectados e reversos. A contagem de

matéria-prima em estoque, e do produto em processo permitiu calcular o *lead time* e verificar que estava em torno de noventa dias⁹.

O trabalho de cronoanálise identificou e separou os tempos homem¹⁰ dos tempos máquina¹¹ através da subdivisão de atividades: Os elementos de trabalho foram descritos e conectados em sequência para servirem de referência para a folha de trabalho padronizado (Operação Padrão).

O desenho do mapa do estado futuro foi planejado pelo grupo e as operações envolvidas nas células foram definidas.

O ritmo de trabalho definido pelo *takt time* levou em consideração dois turnos de trabalho e as demandas médias dos últimos seis meses.

No caso da célula de aço rápido, as quantidades de peças contidas no magazine aguardando a alimentação automática da máquina, foram consideradas estoques de proteção para eventuais paradas, sendo esses os níveis máximos de estoques permitidos.

A célula Lenox teve os cavaletes¹² de contenção de peças entre máquinas reduzidas para 1/3 (um terço) do tamanho original, como forma de tentar reduzir os estoques em processo. Nessa situação ficou determinado que o operador parasse a operação quando preenchesse com peças o nível máximo do cavalete.

⁹ O exemplo de mapeamento do fluxo de valor é apresentado no Anexo A.

¹⁰ *Tempo homem*: parcela do tempo de ciclo para executar uma operação que corresponde às atividades executadas pelo operador como carregar a máquina, medir a peça e descarregar a máquina.

¹¹ *Tempo máquina*: tempo relativo ao processamento da máquina em que não há a participação do operador.

¹² *Cavalete*: suporte para armazenar as peças próximo ao posto de trabalho com a finalidade de limitar o estoque em processo dentro da célula.

4.1.1.2.4 Considerações sobre o Mapeamento do Fluxo de Valor na Visão do Grupo de Trabalho

Os dados relativos à elaboração do mapa foram obtidos através de observações diretas no chão de fábrica e discussões com o grupo.

As peças foram contadas em cada posto de trabalho, os operadores relataram as dificuldades encontradas para a execução do *setup* e prováveis causas de origem de produtos não conformes. Alguns operadores consideraram as perdas de tempo de operação, originadas por motivos diversos como, por exemplo: a falta de instrumento de medição no posto de trabalho, a demora no atendimento por parte da manutenção, a dificuldade de comunicação com a engenharia de processos para o esclarecimento de dúvidas sobre características operacionais como cotas de desenho, ineficiência de ferramentas e abrasivos e melhorias no equipamento. Nesse sentido o mapeamento serviu como base visual para mostrar, em detalhes, uma possível imagem dos postos de trabalho considerados no que se refere aos estoques em processos, tempos de ciclo e possibilidade de conexão entre as operações.

Certas características percebidas na tomada de dados e nas entrevistas foram evidenciadas na discussão com o grupo, tais como:

- 1) O mapeamento do fluxo de valor apresentou uma visão gráfica do processo que representou, em um determinado instante, a situação encontrada na manufatura com relação ao fluxo de peças e de informações. Essa visão pode ser tomada como uma amostra significativa da realidade existente ao longo de um período de tempo maior e, portanto, pode ser admitida como base para a tomada de decisões;
- 2) Em relatos informais foi admitido pelas pessoas envolvidas no trabalho que as situações subseqüentes não seriam “muito diferentes” da situação encontrada e, portanto, configura-se o problema e a possível abordagem de melhorias a serem realizadas;

3) O mapeamento mostrou ser uma abordagem parcial sobre o funcionamento da célula, pois considera uma família de produtos isoladamente, enquanto que os recursos de máquinas e equipamentos podem estar concorrendo com outros produtos que compartilham os mesmos postos de trabalho. Nessa concepção podem estar ocorrendo, dentro da mesma célula, diferentes tempos de ciclo com diferentes ritmos de produção. Essa possibilidade gerou dúvidas no grupo a respeito do rendimento esperado na célula;

4) O local adotado para estoques são os supermercados, fora dos quais é previsto o fluxo unitário de peças. Houve questionamentos sobre a possibilidade de proteção aos gargalos com pulmões (estoque localizado de peças), após o recurso gargalo, para evitar perdas de produção na célula por falta de peças nas máquinas subsequentes ao gargalo. Essa alternativa não foi admitida na prática, pois havia intenção de seguir a rigor os passos do método utilizado.

4.1.1.2.5 O Dimensionamento das Células Baseado no Método Proposto por Rother e Harris (2002)

Com base na demanda média de seis meses anteriores ao início dos trabalhos e do tempo disponível em dois turnos para operar cada célula foi determinado o *takt time*. Em função do *takt time* e do tempo de ciclo das operações foram dimensionados os equipamentos e operadores necessários à operação para as células do aço rápido e célula Lenox.

A seguir são apresentados separadamente os aspectos relativos a essa etapa para as duas células estudadas.

a) Célula do aço rápido

Conforme mostrado no Gráfico 7 é verificado que o tempo de ciclo da operação de “Abrir canal” estava abaixo do ritmo necessário, ou seja, do ritmo

proposto pelo *takt time* calculado. Essa condição determinou a consideração de uma segunda máquina de abrir canal, trabalhando em paralelo com a primeira.

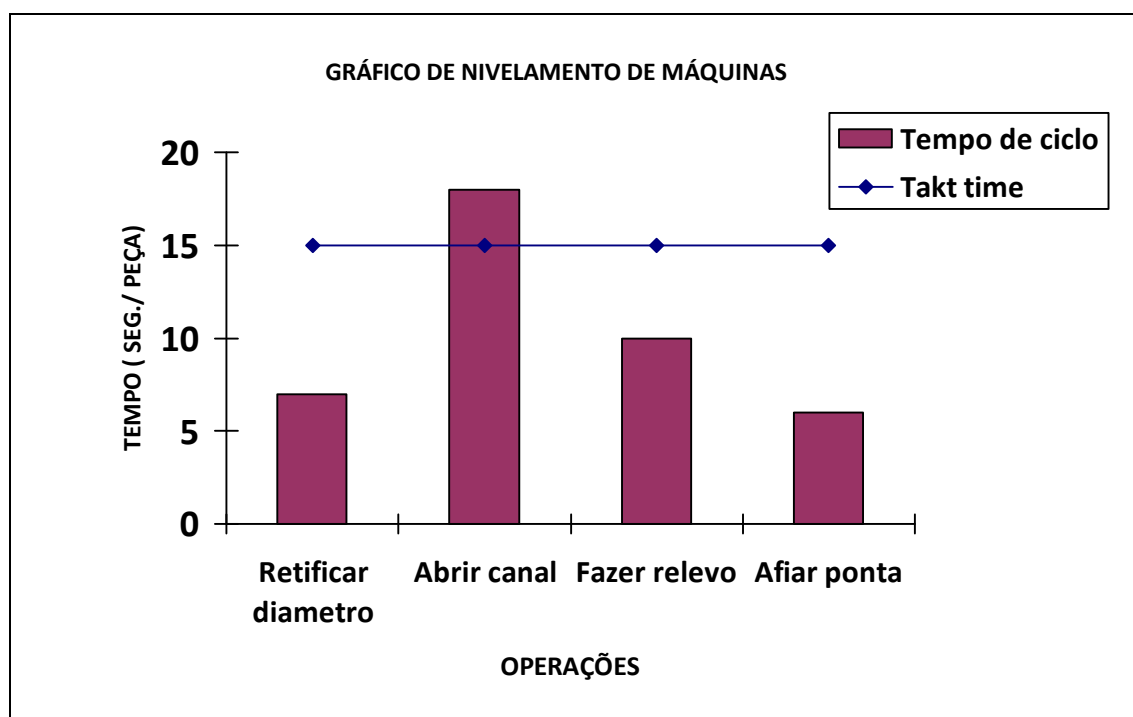


Gráfico 7: Verificação de capacidade teórica de equipamentos

Fonte: Empresa "A" estudada

O Quadro 7 mostra o número de máquinas por operação, conforme o dimensionamento adotado na célula de aço rápido.

Operação	Máquina utilizada	Quantidade
Retificar diâmetro externo	Retífica - <i>centerless Cincinatti</i>	01
Abrir canais	Retífica - <i>Flute grinder F 500</i>	02
Fazer relevo	Retífica - <i>Reliever C-50</i>	01
Afiar ponta	Retífica - <i>Pointer P-500</i>	01

Quadro 7: Dimensionamento de máquinas para célula do aço rápido

Fonte: Empresa "A" estudada

A determinação da quantidade de pessoas para operar a célula foi calculada através da razão entre o somatório dos tempos dos elementos de trabalho de cada operação da célula e o ritmo necessário ao atendimento à

demanda (*takt time*). O somatório dos tempos dos elementos de trabalho foi obtido através da cronoanálise de cada operação da célula considerando basicamente:

- 1) O tempo de carregamento do magazine;
- 2) A medição das dimensões das peças em cada posto de trabalho;
- 3) A diluição do tempo de troca do rebolo dentro do tamanho do lote de peças.

Uma questão relativa às dimensões físicas da peça foi observada no decorrer do trabalho, pois sendo as peças com diâmetro em torno de oito e meio (8,5) milímetros e comprimento de cento e cinquenta (150) milímetros, seria incompatível transportar uma peça por vez entre máquinas. A solução alcançada foi trabalhar com um lote de transferência o qual foi denominado de “punhado”, que corresponde a um valor médio da quantidade de brocas que cabem na mão do operador. Diante disso, o ritmo da célula foi conduzido através do “passo”, que vêm a ser o produto do tempo *takt* pela quantidade de peças contidas no “punhado”.

Na situação anterior a essa observação o operador usava caixas metálicas para transportar as peças entre máquinas, o que resultava em um estoque circulante elevado, pois era aguardado o preenchimento das caixas com peças para, então, transportá-las até o próximo equipamento.

O treinamento dos operadores foi executado repetidas vezes para obter o melhor trajeto de deslocamento dentro da célula, levando o “punhado” de peças em uma das mãos e executando as medições necessárias de forma que fosse possível obter melhorias e reduções de tempo nos elementos de trabalho conforme Gráfico 8.

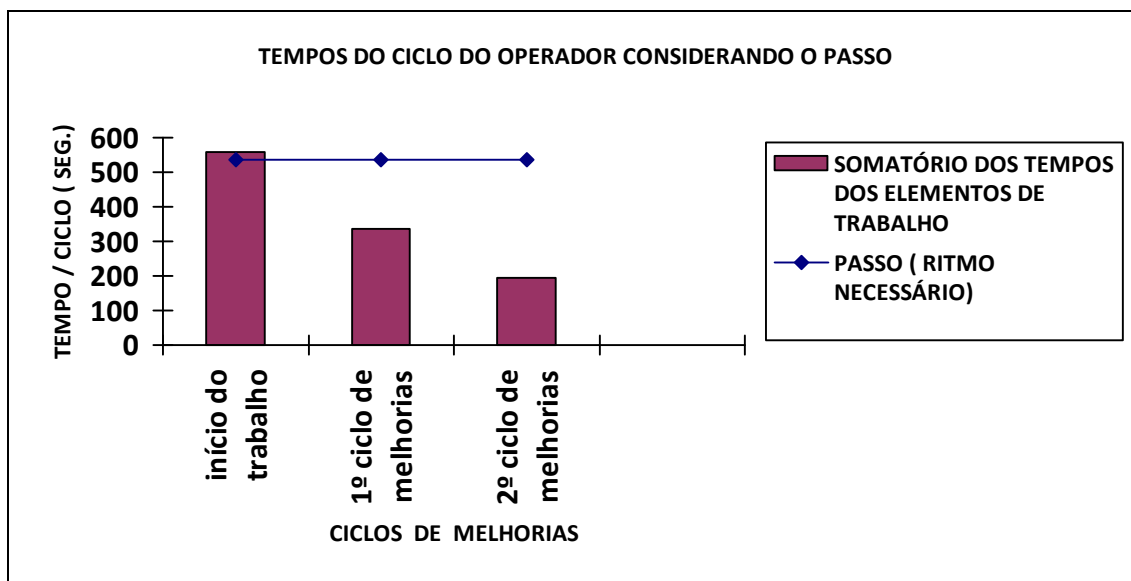


Gráfico 8: Balanceamento operacional

Fonte: Empresa "A" estudada

É possível observar que o ritmo necessário ao atendimento da demanda (Gráfico 8) é inferior ao ritmo efetivamente alcançado no segundo ciclo de melhorias, o que significou que o tempo homem necessário para o atendimento da célula seria inferior a uma pessoa por turno (os cálculos apontaram para 0,33 pessoa por célula).

As características do equipamento permitiam o deslocamento do operador para agregar valor em outro local de trabalho. Nessas circunstâncias, foi possível concluir que um operador poderia atender mais de uma célula por turno (foi estabelecido, em um primeiro momento, que um operador seria responsável por duas células. A meta era que um operador operasse três células, no estudo relativo à célula do aço rápido).

b) Célula Lenox

A célula Lenox seguiu os procedimentos de determinação de equipamentos e pessoas adotados na célula do aço rápido. O aspecto relativo às dimensões da peça como a variação do diâmetro e comprimentos diferentes (190 milímetros e 451 milímetros) fazia com que o tempo cronometrado variasse de acordo com as medidas da peça, ou seja, quanto maior o diâmetro, maior o tempo de ciclo. A broca de comprimento de 451 milímetros apresentou o maior

tempo de ciclo na operação de “esmerilhar nervo” em relação à broca de comprimento 190 milímetros, por ser esta operação dependente do comprimento. Essa diferença determinou a colocação de três máquinas nessa operação como forma de atender a demanda, Gráfico 9.

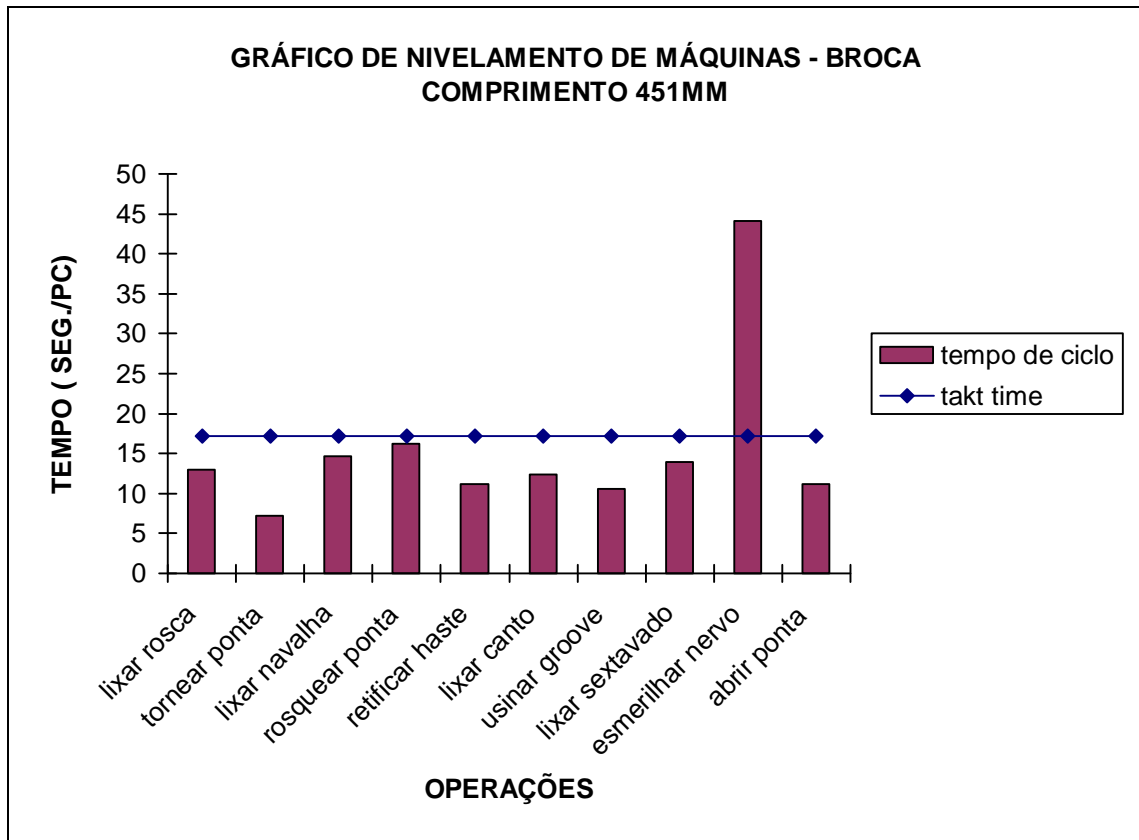


Gráfico 9: Balanceamento de máquinas (broca comprimento 451mm)

Fonte: Pesquisa documental (Empresa "A" estudada)

A análise feita para a broca de 190 mm isoladamente possibilitou o uso de duas máquinas de esmerilhar nervo. De acordo com a orientação do método utilizado, seria possível operar a célula com apenas um equipamento em cada posto de trabalho, com exceção das operações de “rosquear ponta” e “esmerilhar nervo” (Gráfico 10).

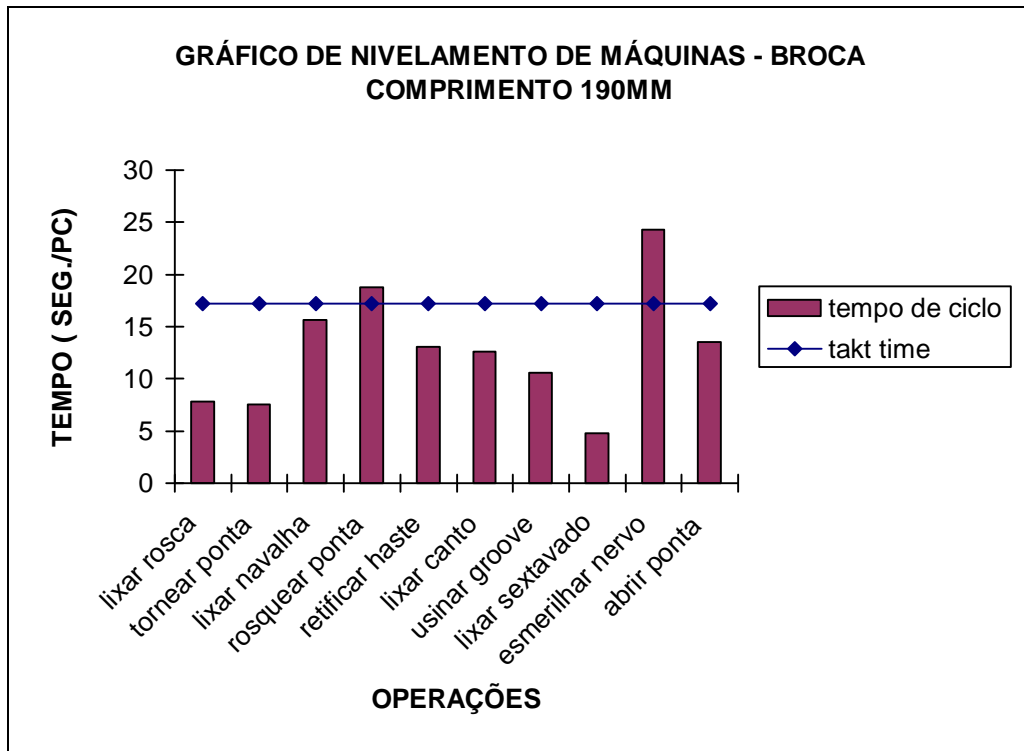


Gráfico 10: Balanceamento de máquinas (broca comprimento 190mm)

Fonte: Pesquisa documental (Empresa "A" estudada)

O cálculo da mão de obra necessária à operação da célula foi baseado na broca de diâmetro de uma (1) polegada por ser a segunda maior demanda e oferecer um manuseio adequado para análise. Foram considerados dentro do tempo do ciclo todos os elementos de trabalho contidos no tempo peça-peça, ou seja, desde o instante em que o operador apanha uma peça no cavalete de sua máquina para executar até o momento que pega a próxima peça no mesmo cavalete. Esse procedimento englobou as etapas de carga, operação e descarga.

Em cada operação a determinação da quantidade de pessoas ocorreu pela divisão entre o tempo de ciclo da operação e o *takt time* da célula. Essa situação foi alcançada após vários níveis de treinamento sobre as etapas de trabalho que cada operador deveria fazer para atingir um desempenho que fosse considerado satisfatório. Nesta condição; "satisfatório" significava não deixar faltar peça para a próxima máquina na sequência de operações e garantir que a célula como um todo atendesse ao nível de produção desejado.

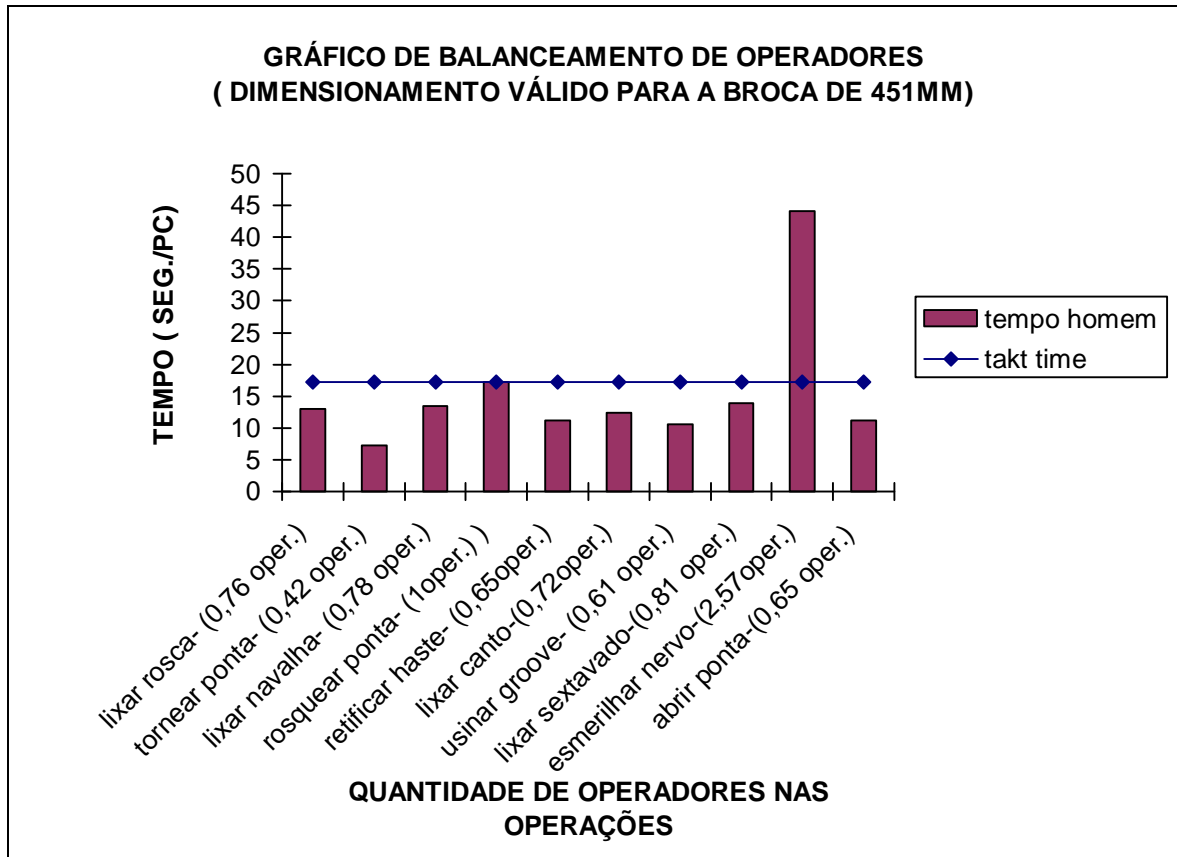


Gráfico 11: Balanceamento de operadores

Fonte: Pesquisa documental (Empresa "A" estudada)

As quantidades de pessoas assinaladas no Gráfico 11 expressam o percentual aproximado de tempo de envolvimento de uma pessoa em determinada operação em função da demanda. Na situação mostrada no Gráfico 11 a célula deveria ser operada por uma quantidade de 9 (nove operadores). Nessa fase foram elaboradas as "Operações Padrão", que foram denominados para conhecimento de todos como "trabalho padronizado". Esse documento continha as informações detalhadas de cada elemento de trabalho em cada operação incluindo fotos e desenhos de forma a registrar o que cada operador deveria fazer e a facilitar o aprendizado de um novo operador em um determinado posto de trabalho. A multifuncionalidade era o objetivo principal, pois as variações de demanda ocorriam com frequência.

A produção era feita através de um controle hora-hora de forma a comparar a quantidade de peças alcançadas com a quantidade programada.

4.1.1.2.6 Considerações Gerais sobre a Etapa de Dimensionamento Conforme a percepção do Grupo de Trabalho

Algumas constatações dos envolvidos no grupo de trabalho foram analisadas e interpretadas segundo as considerações dos autores pesquisados no âmbito do contexto produtivo, a saber:

- 1) Não foram consideradas reduções de capacidade devido a problemas existentes no sistema. Antunes et al. (2008) afirmam que as capacidades do sistema geralmente não são conhecidas e, portanto, são estimadas. A conclusão mais lógica pode estar ligada ao fato de que quanto maior o erro entre a estimativa e a capacidade real (não conhecida) maiores poderão ser as imprecisões sobre o dimensionamento de pessoas e equipamentos;
- 2) O ritmo calculado para as células, segundo a razão do *takt time*, foi o quociente entre um intervalo de tempo disponível para a produção e a demanda média, o que pressupõe um valor pontual e constante. Hopp e Spearman (2000) confirmam a existência de fontes de variabilidade que necessitam ser tratadas para uniformizar as saídas do sistema, como por exemplo, a variação dos tempos de ciclo, a redução de paradas por problemas de manutenção e a redução dos tempos de preparação (*setup*);
- 3) Não houve análise dos tempos de preparação (*setup*) de forma a caracterizar uma condição a ser melhorada. Shingo (1996) coloca que o *setup* deve ser separado em externo e interno. O *setup* interno pode ser convertido em externo, de forma a reduzir o tempo de máquina parada por ações que poderiam ser feitas sem comprometer a produção;
- 4) Existe a possibilidade de variações na utilização da mão de obra de acordo com o tipo de peça que entra na célula devido a variações expressivas das dimensões físicas da peça. Rother e Harris (2002), colocam a proposta de método baseado na análise de uma célula simples e dedicada a um tipo de produto. Na prática existe a

possibilidade de diferentes tipos de peças entrarem na célula para compartilhar recursos. Ainda é possível afirmar que o investimento em equipamentos adicionais para construir células dedicadas nem sempre é viável;

5) O apoio da manutenção a paradas de máquina é insuficiente, visto que há um intervalo considerável de tempo entre a chamada do pessoal de manutenção e o início da verificação do problema. Pode ser adicionado a essa situação o próprio tempo de correção do problema;

6) Elevado número de trocas de operadores em operações que exigem aprendizado e experiência. A saída da empresa de operadores já treinados em determinadas funções requer a contratação de mão de obra. Esse tempo consumido em treinamento pode influenciar os tempos de ciclo e na multifuncionalidade.

4.1.1.2.7 As Análises Comparativas da Natureza das Células

As características individuais das células trouxeram certos entendimentos sobre a funcionalidade e o dimensionamento em células. A análise é subdividida em itens para uma melhor compreensão, conforme segue:

a) O nível de automação

Na situação estudada na célula de aço rápido não houve a constatação de “automação”; pela qual a operação é interrompida ao ser detectada um defeito na máquina sem a presença do operador (SHINGO, 1996). No caso da célula do aço rápido foi possível chegar a um número de 0,33 operadores por célula, o que significou que um operador poderia cuidar de até três células de acordo com o método utilizado. Essa condição não se confirmou na prática devido a vários problemas não considerados no método utilizado como: a constante necessidade de ajustes feitos pelo operador e que necessitavam de sua presença em determinados equipamentos, a falta de uma preparação adequada para os *setups* e as condições de manutenção do equipamento.

Contudo, foi possível admitir que a automatização ainda pode dispensar o trabalho humano nas condições estudadas, onde foi possível fixar (1) uma pessoa para cuidar das cinco máquinas da célula.

A célula Lenox foi configurada com operações manuais em que o afastamento do operador era seguido da parada de execução da peça naquele posto de trabalho. Logicamente nessas circunstâncias o tempo homem é correspondente ao tempo máquina. No caso da célula Lenox o número de operadores pode ser diminuído e a produtividade aumentada com a elevação do nível de automação em determinadas máquinas.

b) A variação física dos produtos na célula

Na célula do aço rápido a variação física das dimensões dos itens foi insignificante dado que todos os produtos eram transportados através do “punhado” com uma variação de quantidade de peças devido ao diâmetro, mas os tempos de ciclo não se alteraram devido a essa característica.

No caso da célula Lenox a variação de comprimento de uma broca de 190 milímetros para 451 milímetros, contribuiu para uma significativa variação no tempo de ciclo da operação de esmerilhar nervo. Essa variação foi compensada com os recursos de máquina e operador, ou seja, quando entrava na célula a broca de 451 milímetros usavam-se três máquinas e um operador adicional. Cabe ressaltar que o projeto da célula nesta circunstância foi feito de forma flexível.

c) Habilidade do operador

O operador da célula de aço rápido necessitava apenas transportar e medir as peças. O operador, com o devido treino e conhecimento de instrumentos de medição, poderia rapidamente se adequar a situação. Nessas circunstâncias o redimensionamento em função de uma variação de demanda, a dispensa ou realocação de operadores é menos dificultada, pois a adaptabilidade à célula é rápida.

Os operadores da célula Lenox necessitavam treino devido aos detalhes manuais, que eram necessários para executar o produto. Para certas operações

era necessário, no mínimo, duas semanas de trabalho assistido por um operador mais experiente. Nessas condições a troca de operadores dificultava a adaptação ao trabalho.

d) A natureza das operações

A natureza da operação na célula de aço rápido era basicamente retificação (operação realizada com abrasivos) para usinar o aço. Os rebolos usados nas máquinas tinham uma vida útil relativamente longa, dressados (afiados) automaticamente sem interferência do operador. Com essa característica era possível conhecer o tempo de vida de um rebole e considerar a diluição do tempo de troca dentro do tempo de ciclo de forma a considerar no dimensionamento.

As operações da célula Lenox tinham naturezas variadas e usavam lixas na maioria das máquinas. Essas lixas eram sensíveis à pressão que o operador exercia com a peça, ou seja, o desgaste ou a ruptura eram imprevisíveis e não compatíveis com um possível cálculo para a consideração dentro do tempo de ciclo.

e) Os equipamentos

Os equipamentos da célula de aço rápido eram importados dos Estados Unidos de fabricantes altamente especializados e de custo de investimento de milhares de dólares. É possível relacionar a lógica de utilização com o custo de investimento das máquinas. Nessa situação, os custos com equipamento superam consideravelmente os custos com mão de obra.

As máquinas da célula Lenox eram de fabricação interna à empresa com um custo relativamente baixo de construção e manutenção. Em casos de aumento de demanda que fossem necessárias máquinas adicionais a construção era feita em um período de, no máximo, 45 dias.

f) O foco do dimensionamento

Na célula do aço rápido constituída de equipamentos de alto investimento a atenção principal foi quanto ao aproveitamento da capacidade disponível nas

máquinas. Basicamente foi objetivado criar um conjunto de máquinas que fosse possível de ser atendido, sem interrupções, através da dedicação parcial de operadores. Contudo, um dos objetivos perseguidos era que um operador controlasse mais de uma célula visando reduzir o custo de pessoal.

No caso da célula Lenox, o dimensionamento visava o aproveitamento de pessoas, com a visão voltada para a multifuncionalidade, objetivando basicamente atender a demanda necessária sem gerar estoques em excesso dentro da célula.

A comparação entre as células considerando características individuais encontradas no contexto é identificada no Quadro 8¹³

Característica	Célula-Aço Rápido	Célula - Lenox
a) O nível de automação	(3) Automáticas	(2) Manuais
b) A variação física entre os produtos na célula	Pouco significativa	Muito significativa
c) A Habilidade do operador	Necessidade de pouco treinamento	Necessidade de muito treinamento
d) A Natureza das operações	Única	Múltipla
e) Os equipamentos	Fabricantes especializados	Fabricação interna à empresa
f) O foco do dimensionamento	Utilização das máquinas	Utilização das pessoas

Quadro 8: Comparação entre as células de Aço Rápido e Lenox

Fonte: Elaborado pelo autor

Em ambos os casos de aplicação do dimensionamento baseado no método de Rother e Harris (2002), não foi alcançada a expectativa de produzir satisfatoriamente com o número definido de operadores, devido às inconsistências relativas aos equipamentos e a falta de entendimento das pessoas sobre o método de trabalho. No entanto, era possível perceber uma situação no qual os fluxos de produtos apresentavam-se claros e bem definidos, mostrando uma melhoria da organização geral da fábrica.

¹³ O nível do grau de automação segue a classificação feita por Shingo(1996).

4.1.1.3 Fase 3 – Uma Análise Crítica da Aplicação do Método Utilizado de Dimensionamento (2007-2008)

Esta etapa aborda uma análise crítica desenvolvida pelo grupo referente a pontos de dúvida ainda presentes no andamento dos trabalhos. Os problemas encontrados na efetivação do método de dimensionamento de máquinas e pessoas em caráter prático sugeriram uma análise mais criteriosa, além das etapas seguidas no decorrer das atividades e orientadas pelo método utilizado.

Aspectos relativos a diferentes percepções necessitaram ser organizados segundo os itens de avaliação, para uma adequada verificação, conforme segue:

- Estrutura de apoio;
- Análise e o dimensionamento das células;
- Os Indicadores de desempenho a serem utilizados.

4.1.1.3.1 A Estrutura de Apoio Existente

A estrutura de suporte ao ambiente produtivo encontrada no contexto da empresa “A” apresentou fragilidades em setores de apoio como manutenção e engenharia de processos. A manutenção apresentou insuficiência de recursos humanos e materiais para atender rapidamente as ocorrências de parada de máquina por problemas mecânicos e elétricos. As interrupções constantes e a demora da chegada do responsável pelo conserto, que normalmente estava executando um serviço em outra divisão, faziam o operador desligar as demais máquinas e abandonar a célula, deixando de produzir.

Outro aspecto identificado foram problemas relativos a peças de reposição, que poderiam demorar até 30 dias para chegar devido a procedimentos de importação. Este problema gerava um desvio de fluxo fazendo com que o trajeto das peças fosse alterado; gerando lotes grandes para

transportes em *pallets*¹⁴ entre a célula e o recurso capaz de atender a operação necessária, naquele momento.

A engenharia de processos teve a atuação questionada, devido à necessidade de tratamento intensivo quanto às melhorias a serem feitas em dispositivos, ferramentas e documentação. Era necessário desenvolver sistemáticas de troca rápida de componentes de máquina e ferramentas com melhor adequação ao uso e maior vida útil. Adicionalmente era necessária a definição dos documentos de “trabalho padrão” com identificações detalhadas dos elementos de trabalho em cada posto.

O Gráfico 12 apresenta os dados de produção, dia a dia, referentes à célula de aço rápido em um período de um mês. Foram coletados os valores de produção dos dias úteis e comparados com a meta diária para a célula do aço rápido. O exemplo ilustrado corresponde ao mês de abril de 2008, a produção objetivada de 2800 peças por dia não foi alcançada, devido a problemas relativos principalmente a motivos observados como: longos tempos de *setup*, manutenção, falta de preparador e ajuste de máquina. Os pontos de produção mais baixa foram também caracterizados por falta de matéria-prima. Neste período, existiu grande dificuldade em conseguir aço devido à crise econômica, observada na época.

Em relação ao método utilizado de dimensionamento de células houve a percepção que esse partia do pressuposto de que os meios de produção são adequados e suficientes ao desempenho das atividades. O dimensionamento puro e simples, adotado na concepção do método utilizado de dimensionamento de células, não foi satisfatório para o atendimento da demanda.

Um requisito entendido pelo grupo como uma possível adequação ao funcionamento das células era a realização de alterações na estrutura de apoio com vistas a intensificar o foco de atenção sobre a dinâmica do trabalho.

¹⁴ *Pallet*: suporte de madeira utilizado para transportar volumes de materiais.

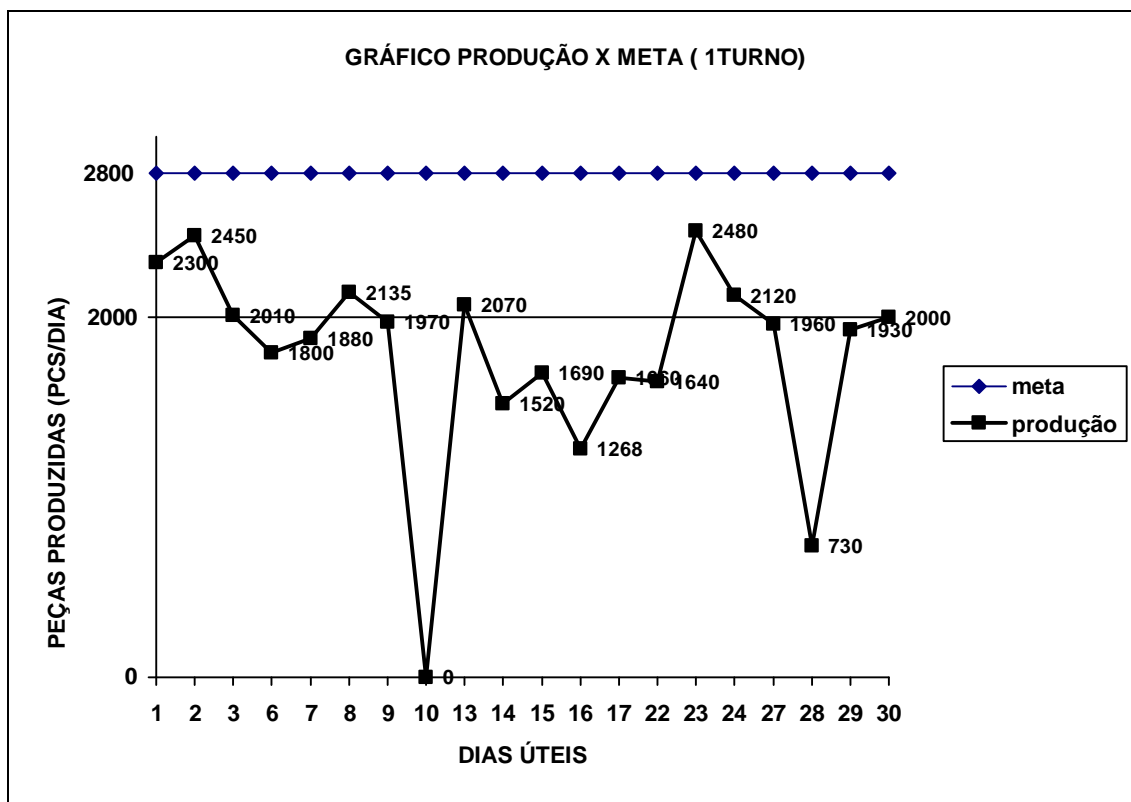


Gráfico 12: Produção e metas da célula de aço rápido (abril/2008)

Fonte: Pesquisa documental (empresa "A") estudada

Com base nessa análise crítica, foram implementadas ações para diminuir o impacto dessa aparente deficiência do método utilizado através de uma alteração física de posicionamento dos setores envolvidos. A manutenção foi desmembrada quanto ao atendimento às divisões, especificando funcionários responsáveis por áreas e com presença fixa, para o atendimento imediato à paradas. Os almoxarifados foram desmembrados e as peças relativas aos equipamentos monitoradas por quantidades de estoques mínimos. A engenharia de processos foi descentralizada. Foi colocado um analista de processo em sala específica com recursos de informática e rede de acesso ao sistema em cada divisão, de forma a atuar próximo às células e junto à supervisão da área. O objetivo era promover uma forte atuação em termos de melhoria contínua para sustentar o desempenho das células. Ainda, à medida que as capacidades dos equipamentos fossem definidas, era necessário desenvolver ações para alcançar estabilidade e, possivelmente, estimar com menor erro a capacidade disponível.

4.1.1.3.2 A Análise e o Dimensionamento das Células

Aspectos considerados como críticos foram referidos à forma de funcionamento da célula. Ou seja, foi possível elaborar questões sobre dimensionamento da célula com relação ao método utilizado de dimensionamento, como por exemplo:

- 1) A real capacidade da célula corresponde à exata capacidade da operação mais lenta?
- 2) Como a supervisão da linha poderia saber os excessos ou faltas de pessoas devido a típicas variações de demanda existente nesse tipo de produto?
- 3) Qual o ritmo de produção a obedecer: o ritmo proposto pelo *takt time* ou o ritmo do tempo de ciclo da célula?

O planejamento da célula envolveu o desenvolvimento de alternativas que fossem capazes de responder a nível gerencial as questões relacionadas à operacionalização do dimensionamento adequado. São elas:

a) A medição da capacidade da célula

Foi proposta a adoção do Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) dos equipamentos. Este indicador deveria ser aplicado em postos de trabalho considerados gargalos objetivando determinar a eficiência da célula. As eficiências determinadas deveriam estar ligadas aos planos de ação a serem executados pelo analista de processo, pessoal da manutenção e supervisores no sentido de elevar os índices, para possibilitar a análise e melhoria da capacidade da célula. A forma de levantar os dados para cálculo do IROG foi feita através de planilha de controle de paradas e peças refugadas. Cabe resaltar que as peças refugadas ou retrabalhadas em recursos após o gargalo entravam no cálculo do fator μ_3 do recurso gargalo.

b) O dimensionamento adequado para variações de demanda e tempos de ciclo da célula

Uma planilha Excel, com o objetivo de simular a produção necessária e baseada em uma análise de “tempos homem” e “tempos máquina”, foi adotada, como forma de determinar o dimensionamento adequado para variações de demanda em curtos períodos de tempo. Também era possível usar esta planilha para produtos com tempos de ciclo diferentes que compartilham a mesma célula. Essa alternativa deveria viabilizar ao supervisor da linha uma rápida visualização da quantidade de operadores e ajustar a célula, colocando ou retirando pessoas.

Foi possível entender, na visão dos envolvidos no trabalho, através da comparação entre a aplicação pura e simples do método utilizado de dimensionamento de células e as características encontradas na prática, que existia a possibilidade de adicionar ao método utilizado outras ideias, visando adequar-se à funcionalidade requerida. Dessa compreensão surgiu o desenvolvimento das alternativas que visaram enrobustecer a etapa de planejamento de células no ambiente existente e delimitado por um contexto no caso estudado, com as seguintes características:

- 1) Dificuldade em conhecer e controlar nos equipamentos as capacidades próximas das reais;
- 2) Sistemas produtivos sem nivelamento de demanda (*heijunka*) com variações em curtos períodos de tempo (inferiores a uma semana);
- 3) Contextos de dificuldade de investimento em equipamentos onde as células são compartilhadas por vários produtos podendo incidir em diferentes tempos de ciclo na célula.

4.1.1.3.3 Indicadores de Desempenho Propostos

Os indicadores de desempenho são elementos importantes para as análises e tomadas de decisões gerenciais. Olorunniwo e Udo (2002) consideram importante a forma como as células terão o desempenho medido.

Segundo esses autores, o sucesso de uma célula de manufatura pode ser medido de acordo com certas medidas de desempenho, como por exemplo: redução no tempo de saída (*throughput*), inventários, tempo de preparação (*setup*), manuseio de materiais, tamanho do lote e sucata e retrabalho.

As métricas sugeridas para a concepção de um conjunto de indicadores foram:

a) *O Índice de Rendimento Operacional Global (IROG)*: esse indicador inclui a análise sobre aspectos relativos à produção e à qualidade do produto. Sua definição é importante para determinar a capacidade mais provável existente em um posto de trabalho ou célula de produção como um fator da oferta de tempo na manufatura. Antunes et al. (2008) definem a capacidade como sendo o produto entre a oferta de tempo e a eficiência global do equipamento. Essa definição conduz à discussão sobre as visões comuns de restrições, baseadas em operações lentas ou operações complexas (ANTUNES et al., 2008);

b) *Produtividade por operador*: esse indicador permite relacionar a quantidade de peças produzidas na célula com um determinado número de operadores. É possível avaliar a adequação do dimensionamento da célula ao ritmo necessário de produção. Conforme Oishi (1995), esse indicador considera o aumento da produtividade pela melhoria no método de produção e está ligado a operação padrão adotada;

c) *Percentual de peças refugadas e retrabalhadas*: relaciona a quantidade de itens refugados com o total de itens produzidos. Esse indicador auxilia as ações de melhoria, a serem desenvolvidas considerando o tipo de defeito e o equipamento que o gerou.

Foram efetivamente adotados nas células o IROG e os índices de produto não conforme em cada posto de trabalho, como forma de avaliação do desempenho e redução de perdas. Cabe ressaltar a importância de considerar

no cálculo do IROG do gargalo as peças refugadas e retrabalhadas em postos de trabalho posteriores ao recurso considerado gargalo¹⁵.

4.1.1.3.4 Adaptações Realizadas como Complemento ao Método Utilizado

Com base nas propostas de abordagem feitas pelo grupo foram iniciadas as análises: das eficiências dos equipamentos com restrição de capacidade e simulações com planilhas em Excel, como meio de auxílio ao dimensionamento das células de produção.

a) A Eficiência Global dos Equipamentos

A medição da eficiência global dos equipamentos (IROG) ocorreu na célula do aço rápido, nas máquinas da operação de abrir canal, por ser essa operação a mais lenta da célula. Segundo Antunes et al. (2008) é possível admitir que a determinação da eficiência global das máquinas gargalo poderá também elucidar a eficiência global (IROG) da célula.

A tomada de dados das paradas de máquina, perdas de velocidade e peças refugadas foram feitas sobre as máquinas de abrir canal, denominadas de *Flute grinder F500-JBS* e *Flute grinder F500-Normac*. Os dados foram coletados em dois turnos sobre um período de 18,77 horas diárias, considerando o trabalho nos horários de refeição (almoço e janta).

Foram consideradas, para fim de registro, as seguintes características:

1) *Motivos de paradas de máquina (velocidade=0):* *setup*; manutenção; ajuste de máquina; troca de rebolo; falta de peça; dressagem; falta de operador; reunião e treinamento.

Unidade de medida considerada (tempo: minutos)

2) *Motivos de redução de velocidade (velocidade ≠ 0):* queda do ritmo por problemas de qualidade.

¹⁵ O cálculo do IROG correspondente ao fator μ_3 (fator de qualidade) ao ser calculado no posto de trabalho considerado gargalo leva em consideração as peças refugadas e retrabalhadas em postos de trabalho após o recurso gargalo, além das peças refugadas e retrabalhadas no próprio gargalo.

Unidade de medida considerada (tempo: minutos).

3) *Produto não conforme*: refugo e retrabalho.

Unidade de medida considerada (peças)

As análises do IROG foram feitas nos meses de março, abril e maio de 2009, apresentando os resultados conforme mostrado nos Gráficos 13 e 14.

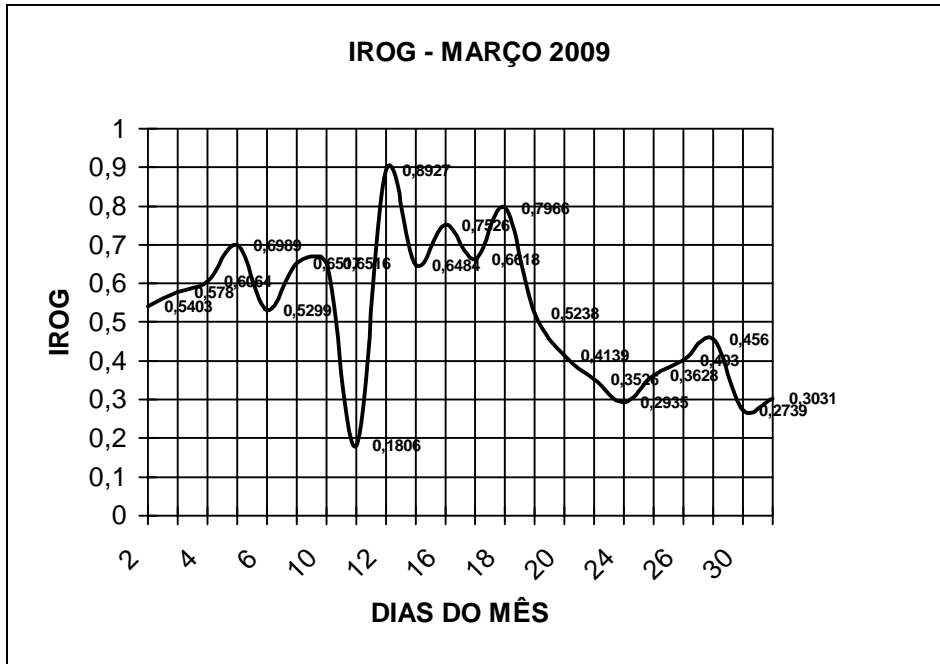


Gráfico 13: Eficiências do mês de março das máquinas *Flute grinder*

Fonte: Pesquisa documental da empresa "A"

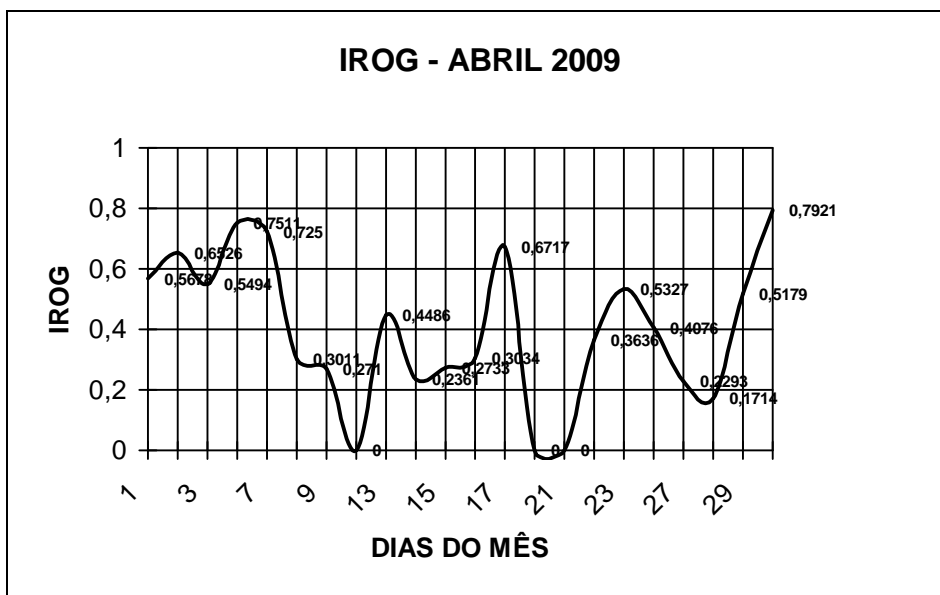


Gráfico 14: Eficiências do mês de abril das máquinas *Flute grinder*

Fonte: Pesquisa documental da empresa "A"

Na análise do mês de abril de 2009, foi possível perceber nos dias 10,20 e 21 que houve a parada total da célula devido à falta de material. Com relação a separação da análise entre março/abril-2009 e maio-2009 deve-se ao fato de que em maio-2009 foram efetivamente feitas as alterações na célula objetivando melhorar os índices do IROG.

O Quadro 9 mostra as médias dos índices do IROG mensal.

Período	Médias (registros diários)				
	μ_g	μ_1	μ_2	μ_3	Capacidade perdida (horas)
Março - 2009	0,6119	0,7425	0,8261	0,9977	160,26
Abril - 2009	0,4273	0,4699	0,9474	0,9599	182,74

Quadro 9: Médias dos fatores do IROG

Fonte: Pesquisa documental da coleta de dados (empresa "A")

Os dados referentes às paradas, velocidade da máquina e sucata foram preenchidos pelo operador de cada turno em uma tabela específica para este fim. A coleta da tabela era feita diariamente pela manhã com os dados referentes ao dia anterior, nos quais estavam considerados os dados do primeiro e segundo turnos.

Com referência nos valores encontrados de eficiência nos meses de março e abril de 2009, foi possível estimar a quantidade de horas perdidas de produção. Antunes et al. (2008) considera que a oferta de tempo disponível em um recurso é multiplicada pelo fator de eficiência (IROG), resultando na real capacidade do recurso aproveitada e, logicamente, nas perdas inerentes em unidade de tempo. Desta forma, foi possível calcular as horas perdidas de produção.

Foi percebido que as perdas com sucata foram as de menor valor encontradas. Esse fator é correspondente ao μ_3 .

O fator referente à velocidade de operação da máquina ($\mu 2$), foi afetado devido à longevidade do equipamento. As máquinas com tempo de uso superior a dez anos, não estavam garantindo o acabamento superficial requerido para o canal retificado da broca. Diante disso, foi estabelecida a redução da velocidade do equipamento como forma de garantir um acabamento superficial aceitável na peça.

O fabricante do equipamento indica uma gama de velocidades mínima e máxima Quadro 10:

	Escala de diâmetros e velocidades - Flute grinder F-500		
	\varnothing 9,5mm a 3/8"	\varnothing 11,10mm a 7/16"	\varnothing 13,0mm a 1/2"
Velocidade recomendada pelo fabricante	140 a 200 pcs/hora	120 a 190 pcs/hora	100 a 150 pcs/hora
Velocidade usada na prática	140 pcs /hora	120 pcs /hora	110 pcs/ hora
Velocidade referenciada para calculo do IROG	170 pcs /hora	160 pcs /hora	130 pcs/hora

Quadro 10: Relação de velocidades e diâmetros das retíficas de canal

Fonte: Elaborado pelo autor

Cabe explicar o motivo pelo qual a referência de velocidade de processamento das máquinas para o cálculo do IROG, não foi utilizada na prática. Nessa situação o valor de velocidade de processamento entendido como adequado para o cálculo do IROG se refere a um valor, estipulado pela engenharia, dentro da faixa de velocidades permitidas pelo fabricante.

A utilização dessa velocidade estipulada tem sua explicação no fato de não ser admissível a simples consideração da velocidade aplicada na prática. É possível entender que se o equipamento apresenta problemas, no sentido de

garantir a qualidade do produto, essa deficiência necessita ser evidenciada na forma de perda de eficiência.

O fator $\mu 1$ representou as paradas de máquina quando a velocidade de processamento caía a zero. Esse fator foi o mais significativo na influência da eficiência global do equipamento. Esse tipo de ocorrência fazendo a velocidade do equipamento cair a zero, foi determinante para a variação e redução da média da eficiência global da célula.

Com base na visualização da baixa eficiência foram definidas ações objetivando melhorar o IROG.

As definições adotadas são apresentadas a seguir:

1) Fixar um operador dedicado à célula:

Foi percebido que a colocação de um operador fixo na célula poderia detectar rapidamente as paradas de máquina por manutenção, chamando o responsável direto pelo tema¹⁶. Este operador fazia as trocas de rebolos das máquinas que necessitavam a desmontagem de parte da carenagem de proteção e a retirada de oito parafusos de fixação do rebole. Após a colocação do rebole novo era executada a operação inversa. Este procedimento demandava tempo e destreza do operador que, por vezes, estava envolvido com outra célula. Para facilitar esta etapa foi posicionado um armário com todos os rebolos usados nas máquinas e uma caixa de ferramentas específica para a célula contendo todas as ferramentas necessárias.

2) Definir preparadores de máquina para fazer o *setup*:

A antecipação do *setup* poderia agilizar a troca de itens ao passo que as máquinas fossem terminando a produção do lote em andamento. O preparador era informado da sequência de itens programados a entrar na célula diariamente. A definição dos componentes de máquina a serem trocados como: buchas guia, alimentadores e dressadores eram feitos de forma externa ao *setup* possibilitando economia de tempo.

¹⁶ Uma foto da célula do aço rápido operada por um operador é apresentada no Anexo B.

3) Colocar um mecânico de manutenção com os instrumentos e bancada próximo à célula:

A colocação da manutenção com uma pessoa dedicada à célula eliminou o tempo de chamada do responsável e reduziu o tempo das ações de correção da máquina.

O levantamento de dados relativo a maio de 2009 permitiu a visualização de alterações no comportamento da eficiência da célula como mostra o Gráfico 15.

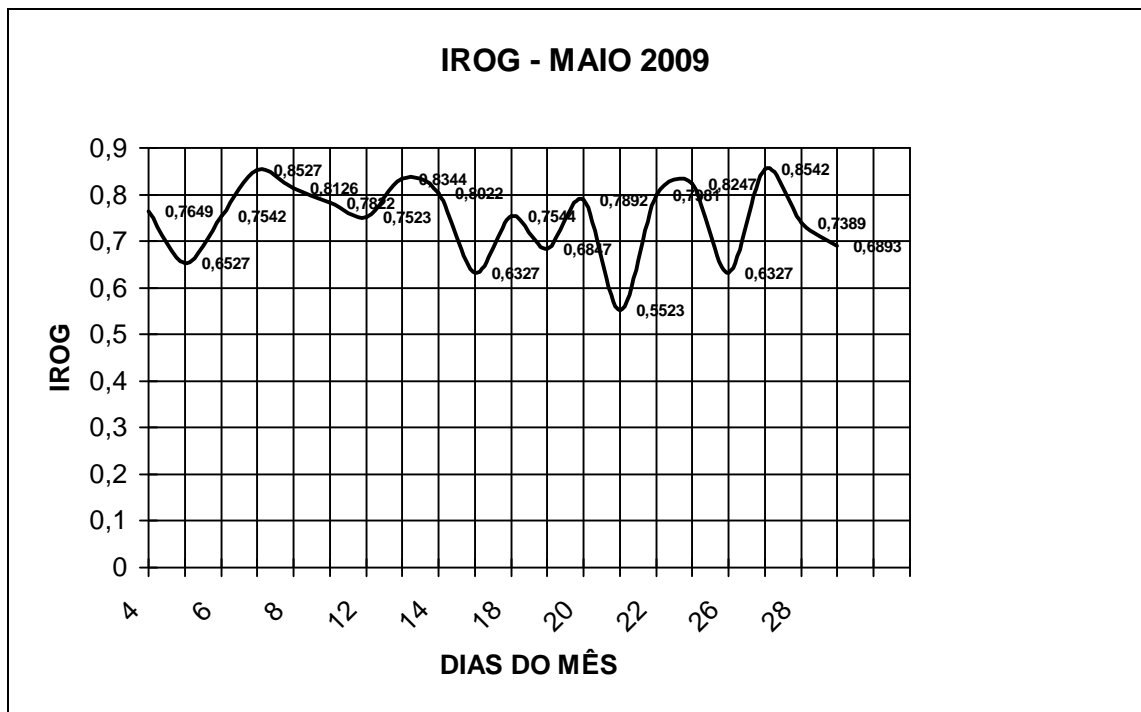


Gráfico 15: Eficiências do mês de maio das máquinas *Flute grinder*

Fonte: Pesquisa documental da empresa "A"

As tomadas de dados após as alterações feitas na forma de administrar a célula apresentaram os seguintes resultados:

Período	Médias (registros diários)				
	μg	$\mu 1$	$\mu 2$	$\mu 3$	Capacidade perdida (horas)
Maio - 2009	0,7479	0,8991	0,8322	0,9995	94,63

Quadro 11: Médias dos fatores do IROG

Fonte: Pesquisa documental da coleta de dados (empresa "A")

As ações implementadas para melhoria da eficiência basicamente reduziram o efeito das fontes de parada total das máquinas de abrir canal. Foi obtida uma melhoria de 75% na eficiência em relação a abril de 2009. O preparador auxiliava o *setup* desde o momento da preparação externa até a liberação da peça pelo operador. A presença da manutenção evitava longas esperas para correção de problemas e o operador não se afastava da célula sem que houvesse um substituto para assumir as atividades. Não houve perdas expressivas por sucata ou retrabalho e as máquinas continuaram trabalhando com velocidades abaixo da média objetivada. Durante o período de realização dos testes relatados, não houve a contratação de pessoas. Também, não houve cálculos de custos relativos a essa estrutura de atuação.

A conclusão de cunho analítico, obtida pela utilização do IROG, foi que seria necessário controlar as eficiências para poder conhecer a capacidade aproximada de uma célula. A simples utilização do tempo de ciclo como referência pode levar a distorções significativas nos resultados.

b) Desenvolvimento de Planilhas como Auxílio à Supervisão

Na célula de produção das brocas Lenox, a condição de organização configurava dez postos de trabalho com características de operação manual. O supervisor da linha era responsável pela organização da célula e alocação de pessoas aos recursos disponíveis. Em relatos ao grupo de trabalho foi detectada a necessidade de um instrumento que orientasse quanto ao número de operadores a estarem presentes na célula em um determinado instante da produção. A condição inicial proposta pelo método utilizado era de trabalhar com um número fixo de operadores.

Em função da demanda global da célula este número não atendia a todos os instantes da produção, os quais poderiam ter demandas diferentes e itens diferentes na linha, ocasionando ociosidade.

Houve o desenvolvimento de uma planilha em Excel na qual, através de dados de entrada de demanda e ritmo de trabalho (*takt time*), o supervisor da linha tinha a possibilidade de fazer a consulta ao dimensionamento adequado e, então, organizar os operadores quando necessário. O ritmo efetivo de trabalho poderia ser o *takt time* calculado ou o tempo de ciclo da célula, dado pela operação mais lenta. Após essas entradas, era possível verificar a quantidade de operadores necessários para a execução de determinada ordem de produção. Cabe ressaltar que, a eficiência global considerada para cada equipamento, foi um fator de aproximação da real capacidade do posto de trabalho. Foi possível entender que postos de trabalho com eficiências muito baixas podem se constituir em restrições para a célula, superando a visão comum de que a restrição é a operação mais lenta (tempo de ciclo mais elevado) ou a operação mais complexa.

Esta abordagem, através de simulação em planilha, justificou-se por ser uma forma de consulta individual a cada produto, baseado na demanda e nas diferenças físicas relativas a cada item como o diâmetro e o comprimento.

Observando cada produto que entra através de pedidos, seria possível adequar o número de pessoas e equipamentos ao atendimento à demanda e racionalizar a mão de obra para situações específicas, através das seguintes ações:

- 1) A retirada ou alocação de operadores que deverão trabalhar na célula;
- 2) A utilização ou não de equipamentos que constituem a célula;
- 3) O direcionamento de esforços para aumentar a eficiência dos equipamentos referenciados com IROG baixo.

Esta abordagem se constituiu em auxílio à produção, tendo como suporte a engenharia industrial, com base no entendimento de restrições baseadas na falta de capacidade do equipamento.

É apresentado a seguir, na Figura 12, um exemplo de planilha de cálculo utilizada para alocar as pessoas na célula e referenciar os trabalhos de melhoria contínua.

457MM X 3/8" (012004)					
DEMANDA: (1)		5000 PCS			
TAKT TIME CALCULADO (2)	15,00	SEG./PC			
TEMPO CICLO CÉLULA (3)	13,52	SEG./PC			
TAKT TIME EFETIVO (4)	15,00	SEG./PC			
CAPACIDADE NOMINAL (5)	266,27	PC/H			
CAPACIDADE REAL (6)	213,02	PC/H			
HORAS NECESSÁRIAS NOMINAIS (7)		18,78 HORAS			
HORAS NECESSÁRIAS REAIS (8)		23,47 HORAS			
CRONOANALISADO			Necessidade		
Irog (9)	TM (10)	TH (11)	capac. (12)	Máq. (13)	Hom. (14)
0,80	0,00	9,16	314,41	0,61	0,61
0,30	0,00	4,53	238,41	0,30	0,30
0,85	0,00	4,86	629,62	0,32	0,32
0,80	0,00	13,52	213,02	0,90	0,90
0,70	0,00	7,29	345,67	0,49	0,49
0,00				0,00	0,00
0,95	0,00	7,61	449,40	0,51	0,51
0,70	0,00	11,13	226,41	0,74	0,74
0,00				0,00	0,00
0,75	0,00	5,03	536,77	0,34	0,34
TOTAL				4,21 (15)	4,21 (16)

- (1)- Demanda especificada na ordem de produção
- (2)-Takt time calculado (razão entre tempo e demanda)
- (3)- Tempo de ciclo da célula (referenciado na operação mais lenta)
- (4)-Takt time efetivo (maior valor entre takt time calculado e tempo de ciclo da célula)
- (5)-Capacidade nominal (produção teórica)
- (6)-Capacidade real (produção considerando o irog)
- (7)-Horas necessárias nominais (considerando eficiência de 100%)
- (8)-Horas necessárias reais (considera eficiência -irog)
- (9)-IROG eficiência considerada nos equipamentos
- (10)-TM (tempo máquina)-tempo de execução da operação na máquina
- (11)-TH(tempo homem)-tempo de ocupação do operador -manual
- (12)- Capacidade da operação
- (13)-Percentual de utilização da máquina
- (14)- Percentual de mão-de-obra utilizada
- (15)- Somatório das utilizações das máquinas
- (16)-Somatório de utilização de mão-de-obra (nº de operadores)

Figura 12: Exemplo de planilha de simulação utilizada para dimensionamento

Fonte: Pesquisa documental: empresa "A"

Conforme apresentado na Figura 12, a dinâmica de trabalho proposta através da observação da planilha consistiu em:

- a) Definir as máquinas que seriam utilizadas para determinado produto;
- b) Alocar os operadores conforme os percentuais de mão de obra necessários;
- c) Implantar planos de ação para os recursos com eficiência baixa.

A seguir é apresentada uma explanação geral sobre a utilização da planilha para o dimensionamento das células:

Em função da demanda especificada (campo-1) e do *takt time* calculado (campo-2) é definido, via planilha, a utilização das máquinas (campo-13) e a utilização de operadores (campo-14).

No caso relativo ao exemplo dado é possível perceber que a utilização das máquinas tem o mesmo valor da utilização de pessoas, isso se deve ao fato de que em operações totalmente manuais, não existindo a separação entre o homem e a máquina, esses valores se equivalem.

É possível verificar que o IROG (campo-9) é um fator do cálculo da capacidade (campo-12). À medida que as eficiências dos equipamentos vão sendo conhecidas e o IROG de cada equipamento é determinado, esses valores são inseridos na tabela e tornam-se fatores do cálculo da capacidade. Nessa condição a restrição é definida como a operação com menor capacidade em função do IROG (campo-9) não sendo necessariamente a operação mais lenta. Desse modo, é possível direcionar as ações de melhoria contínua no sentido de aumentar a eficiência global dos equipamentos críticos.

A planilha opera com a entrada de dados para os itens de forma individual, permitindo que seja possível analisar o número de pessoas para cada item em função da demanda e do tipo de produto que será trabalhado na célula.

A forma de interpretar o ritmo de produção segue as delimitações do *takt time* efetivo (campo-4), ou seja, é inserido na tabela o *takt time* calculado

(campo-2), a planilha adota automaticamente o maior valor do tempo cronoanalisado, correspondente a operação mais lenta e entendida como o tempo de ciclo da célula (campo-3). O maior valor encontrado entre o *takt time* calculado (campo 2) e o tempo de ciclo (campo 3) será adotado como o *takt time* efetivo (campo-4).

Esta abordagem pode ser explicada pelo fato de que se o *takt time calculado* for inferior ao tempo de ciclo da célula, então este é um limitante para o *takt time calculado*. Analisando sob outro ponto de vista, se o *takt time* for expresso em um valor superior ao tempo de ciclo da célula, não seria indicado trabalhar no ritmo do tempo de ciclo, pois poderia haver geração de estoque em processo.

A planilha também fornece os valores de capacidade nominal (campo-5). Este valor é dado em peças/hora e seria a capacidade se a eficiência fosse 100%. A capacidade real (campo-6), é expressa em peças/hora e corresponde à capacidade decrementada pela consideração do fator do IROG, no caso considerado é a eficiência de 80%.

c) Verificação da Quantidade de Mão de Obra em Função da Variação das Características Físicas dos Produtos na Planilha Excel

Conforme apresentado no Quadro 12 é possível observar que houve uma variação no número de operadores dependendo do produto que entra na célula. A variação observada aconteceu devido à variação de diâmetros dentro do mesmo modelo de broca, como, também, aconteceu na variação do comprimento entre os modelos de broca dado por diferentes comprimentos.

A visualização da mão de obra a ser utilizada para as brocas Lenox foi consultada na planilha Excel, de acordo com a variação dimensional dos produtos, apresentando os seguintes resultados:

Broca Lenox – Modelo 1 Comprimento (457mm)			Broca Lenox – Modelo 2 Comprimento (190mm)			→
Código	Diâmetro	Número de operadores	Código	Diâmetro	Número de operador	VARIAÇÃO TOTAL
012004	3/8"	4,21 -(4)	***	***	***	***
012005	7/16"	5,35 -(5)	***	***	***	***
012006	1/2"	5,40 -(5)	***	***	***	***
012007	9/16"	7,07-(7)	***	***	***	***
012008	5/8"	7,13 -(7)	012021	5/8"	5,21-(5)	2 OPERADORES
012009	3/4"	7,38 -(7)	012022	3/4"	5,21-(5)	2 OPERADORES
012010	13/16"	7,42-(7)	012023	13/16"	6,12-(6)	1 OPERADOR
012011	7/8"	7,45-(7)	012024	7/8"	6,24-(6)	1 OPERADOR
012012	15/16"	7,50 -(7)	012025	15/16"	6,35-(6)	1 OPERADOR
012013	1"	7,62-(8)	012026	1"	6,64-(7)	1 OPERADOR
012014	1.1/16"	7,75-(8)	012027	1.1/16"	7,10-(7)	1 OPERADOR
012015	1.1/8"	7,80-(8)	012028	1.1/8"	7,25-(7)	1 OPERADOR
012016	1.1/4"	8,49-(8)	012029	1.1/4"	7,48-(7)	1 OPERADOR
012017	1.3/8"	8,56-(9)	012030	1.3/8"	7,98-(8)	1 OPERADOR
012018	1.1/2"	8,60-(9)	012031	1.1/2"	8,53-(8)	1 OPERADOR
VARIAÇÃO TOTAL ↓		5 OPERADORES	VARIAÇÃO TOTAL ↓		3 OPERADORES	

Quadro 12: Análise de número de operadores com base no produto

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.3.5 Uma Visão das Alterações no Caso Estudado Baseadas nos itens de verificação

Neste tópico será apresentada as alterações com base nos itens de avaliação, do contexto explorado.

a) A Estrutura de Apoio

Shingo (1996) argumenta que a necessidade de envolvimento da gerência é fundamental, pois é necessário ver o problema e, se for o caso, parar as máquinas. Em um sistema de produção enxuto, o qual deve operar com estoques mínimos e otimização da força de trabalho, deve existir a busca por soluções de problemas e melhorias constantemente. Fica subentendida a sugestão de que é necessário estar próximo ao local onde a produção está ocorrendo.

Com base na visão obtida no caso estudado, a engenharia de processos teve uma posição física adequada dentro do ambiente produtivo. A sala da engenharia de processos próxima à produção permitiu fácil acesso e troca de informações entre líderes de produção, operadores e analistas de processo. A proximidade dos analistas aos equipamentos das células, como dos operadores aos recursos de engenharia e documentação necessária, facilitou a análise e discussão de problemas. A atuação da engenharia de processos na condução de planos de ação que foram definidos através das deficiências de capacidade dos recursos contribuíram para o desenvolvimento de melhorias importantes para desempenho do sistema produtivo. Foi percebida a necessidade de monitoramento constante das eficiências como base para a tomada de ações coerentes. Com relação à manutenção, foi entendido que a descentralização e o posicionamento de mecânicos próximos às máquinas em cada planta, com as bancas de trabalho, instrumentos e ferramentas necessárias foram produtivos para as intervenções de correção de problemas.

b) Considerações sobre a Análise e o Dimensionamento das Células

Segundo Antunes et al. (2008), a diferença temporal entre capacidade e demanda estabelece os potenciais gargalos existentes no sistema produtivo. É indicada a realização de reuniões gerenciais mensais para analisar as eficiências dos equipamentos e elaborar planos de ação para o aumento da capacidade disponível. As ações para aumento da capacidade dos equipamentos devem estar norteadas por metas e devem ser definidas seguindo critérios como: a diferença temporal entre a capacidade e a demanda, análise dos recursos necessários para a implementação de melhorias e definição de prazos para a efetivação dos planos de ação e os investimentos necessários.

O objetivo esteve ligado à adequação de pessoas e equipamentos devido às variações de demanda, variações no tipo de produto e utilização dos equipamentos. A engenharia de processos foi responsável pela coleta dos dados referentes ao desempenho das máquinas e produtos não conformes, marcados nas planilhas dos equipamentos diariamente. Esses dados serviram para gerar um perfil de eficiência do equipamento ao longo do tempo e caracterizar a capacidade do posto de trabalho.

c) Indicadores de Desempenho Utilizados

Os indicadores adotados foram:

- a) Indicador de eficiência global dos equipamentos (IROG). Foi sugerido o controle da eficiência global (μ_g), através dos fatores que compõem este índice (μ_1 , μ_2 , μ_3). Essa sistemática foi aplicada, a princípio nas máquinas críticas, e posteriormente se estendeu a outros postos de trabalho que compõem a célula;
- b) Indicador de produção por hora homem. Foi proposto o controle da produção em termos de peças por operadores envolvidos na célula em um determinado período. Esse índice relacionou a produção atingida com a quantidade de pessoas utilizada;
- c) Indicador de sucata. O controle de sucata por equipamento na célula direcionou as ações melhorias ou substituições em máquinas com

anomalias. Também forneceu dados sobre problemas que tinham origem em ferramentas e dispositivos de fixação.

Esta seção apresentou o caso da empresa “A” na qual foram percebidas situações que possibilitaram uma análise crítica sobre a sistemática de trabalho, baseado no estudo de duas células de produção com características diferenciadas. Essa análise crítica viabilizou a exploração da sequência de aplicação de um método de dimensionamento de células e as possibilidades de alterações com vista a incluir premissas consideradas importantes do ponto de vista do caso estudado. Cabe dizer que a inclusão das ideias teve sua projeção visualizada sob os aspectos dos itens de avaliação que foram: a estrutura de apoio necessária ao desenvolvimento, o planejamento para estabelecer o dimensionamento e os indicadores de desempenho.

A próxima seção mostra o caso da empresa “B” na qual foi pretendido, explorar um contexto adequado ao desenvolvimento de uma proposta de método de análise e dimensionamento de células, destacando também os itens de avaliação como características necessárias ao desenvolvimento.

4.1.2 A Empresa “B” – Caracterização Geral

Este tópico refere-se ao caso da empresa “B”. A abordagem serviu de complemento ao caso da empresa “A” na qual o ambiente produtivo permitiu a visualização de possibilidades de alterações em aspectos do método utilizado para o dimensionamento de células de produção e à avaliação do contexto onde o método foi aplicado. A situação encontrada na empresa “B” possibilitou a proposição de um método modificado de dimensionamento de células de produção em relação ao método usual de dimensionamento. Considerando as características do ambiente e com base nos itens de avaliação.

A empresa “B” possui uma linha de produção diversificada, incluindo produtos voltados à segurança, à proteção e ao lazer. Com 83 anos de atuação, a companhia fabrica munições para armas curtas e longas de aplicação civil, militar e policial. A exportação envolve 70% da produção para mais de 40 países.

A empresa possui uma unidade em São Paulo, situada no município de Ribeirão Pires, sendo considerado o maior complexo industrial voltado à fabricação de munições do Hemisfério Sul. A unidade situada no Rio Grande do Sul encontra-se na cidade de Montenegro e produz cartuchos para caça e armas longas como espingardas, rifles e carabinas de pressão.

O surgimento da empresa aconteceu no ano de 1926, quando dois imigrantes italianos decidiram fabricar suas próprias munições de caça e tiro ao invés de importá-las. Assim surgiu a "Fábrica Nacional de Cartuchos e Munições" localizada no bairro do Brás, em São Paulo.

Em 1960, já sendo uma tradicional produtora de diversos cartuchos, a empresa começou a fabricar armas para caça e prática de tiro esportivo, com a tecnologia da *Remington Arms Company*.

Em 1970, a empresa foi nacionalizada, sendo 70% de seu controle acionário adquirido por seus diretores e 30% pela IMBEL, empresa do Exército Brasileiro, constituindo-se em uma empresa 100% nacional. Em 2000 foi inaugurada a fábrica de cartuchos e armas em Montenegro, no Rio Grande do Sul. Em 2005, a empresa iniciou a fabricação de carabinas de pressão, com o lançamento das carabinas Montenegro calibre 4,5mm.

Em 2006, a empresa completou 80 anos e houve o lançamento no mercado de carabinas de pressão calibre 5.5 mm. A empresa adquiriu a fábrica alemã MEN, com objetivo de fornecer munição para polícia e forças armadas alemãs e de estabelecer forte interação com o Mercado Europeu.

A empresa conta, atualmente, com um quadro de 1480 funcionários entre as unidades de São Paulo e Montenegro e um faturamento médio de R\$120 milhões por ano. Em São Paulo, funciona a fábrica de munições e a administração da empresa.

Os produtos oferecidos pela empresa são mostrados conforme Figura 13.

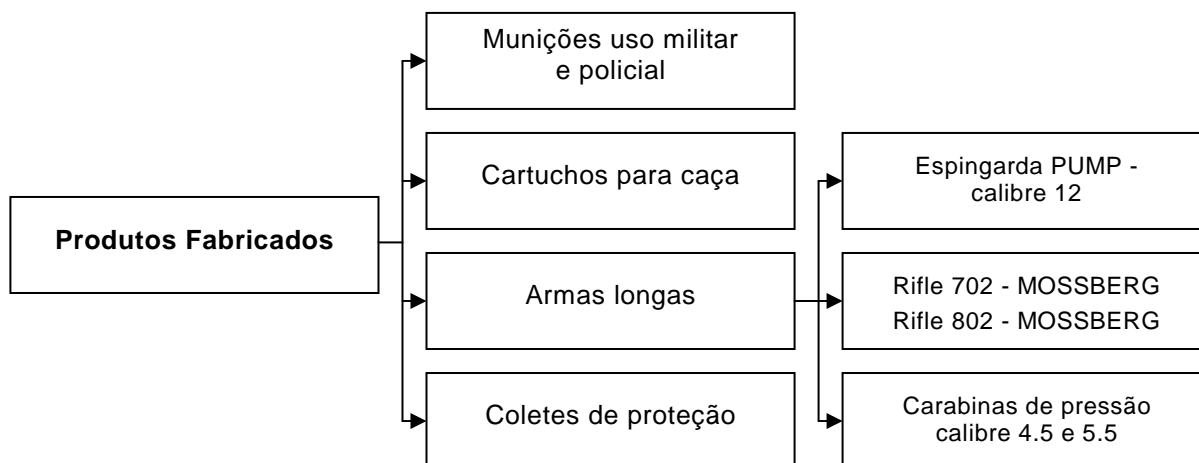


Figura 13: Produtos fabricados pela empresa “B”

Fonte: Empresa “B” (2009)

Uma das metas estratégicas da companhia consiste em capacitar a fábrica de armas para atingir uma produção mensal de 25000 unidades, entre carabinas de pressão, rifles e espingardas.

As armas longas são compostas por uma quantidade média de 45 componentes por arma, sendo que cada componente é obtido por processos específicos como, por exemplo: microfusão, estamparia, solda e usinagem. Estes processos são característicos de fornecedores desenvolvidos em terceirizações, devido à não capacidade interna de desenvolvimento desses processos. Atualmente, são fornecidos por terceiros aproximadamente 70% dos itens que compõem as armas.

A empresa entende dentro da visão de sua gestão que a internalização de alguns componentes considerados críticos, devido à importância para o funcionamento adequado da arma, é uma condição básica para estabilizar o fornecimento de peças à montagem para atingir a meta de capacidade de 25000 unidades por mês até o final de 2011.

A visão da gestão da empresa considera estabilização de fornecimento como sendo os atendimentos aos prazos em que as peças necessitam estar à disposição para a montagem final das armas. De outro lado, o aspecto da qualidade é relevante, pois a verificação dos defeitos encontrados no recebimento conduz a uma renegociação com o respectivo fornecedor, no

sentido de devolver as peças com problemas e definir um novo prazo para a colocação de peças boas.

A empresa “B” possui 97 máquinas na planta de Montenegro e conta atualmente com 340 funcionários.

O Gráfico 16 mostra a evolução da produção entre os anos de 2007 e 2008. Conforme apresentado é possível perceber que a demanda inicia baixa nos primeiros meses do ano, sofrendo um aumento crescente até o final. Essa característica sempre esteve presente. Porém, os dois últimos anos foram marcados por aumentos de demanda significativos. Devido ao sensível aumento da produção nesses anos foi iniciada, no segundo semestre do ano de 2009, uma readequação da manufatura no sentido de capacitar a estrutura existente para garantir a fabricação e o abastecimento interno de determinados itens.

Atualmente, os investimentos estão ligados ao aluguel de máquinas (centros de usinagem) e a reforma de equipamentos ociosos no sentido de evitar, em um primeiro momento, a compra de equipamentos novos. Uma tentativa de estabelecer reduções de inventários e prazos tem sido a realização da aplicação de técnicas da manufatura enxuta como kanban e células de produção. O kanban é praticado através de uma retenção de estoques na ordem de 2 a 3 dias em uma área da empresa denominada “Loja”. Neste local a montagem busca as peças necessárias ao programa diário de produção. Mas, devido a problemas de fornecimento, essa programação dificilmente é atendida dentro do *mix* de produtos desejados.

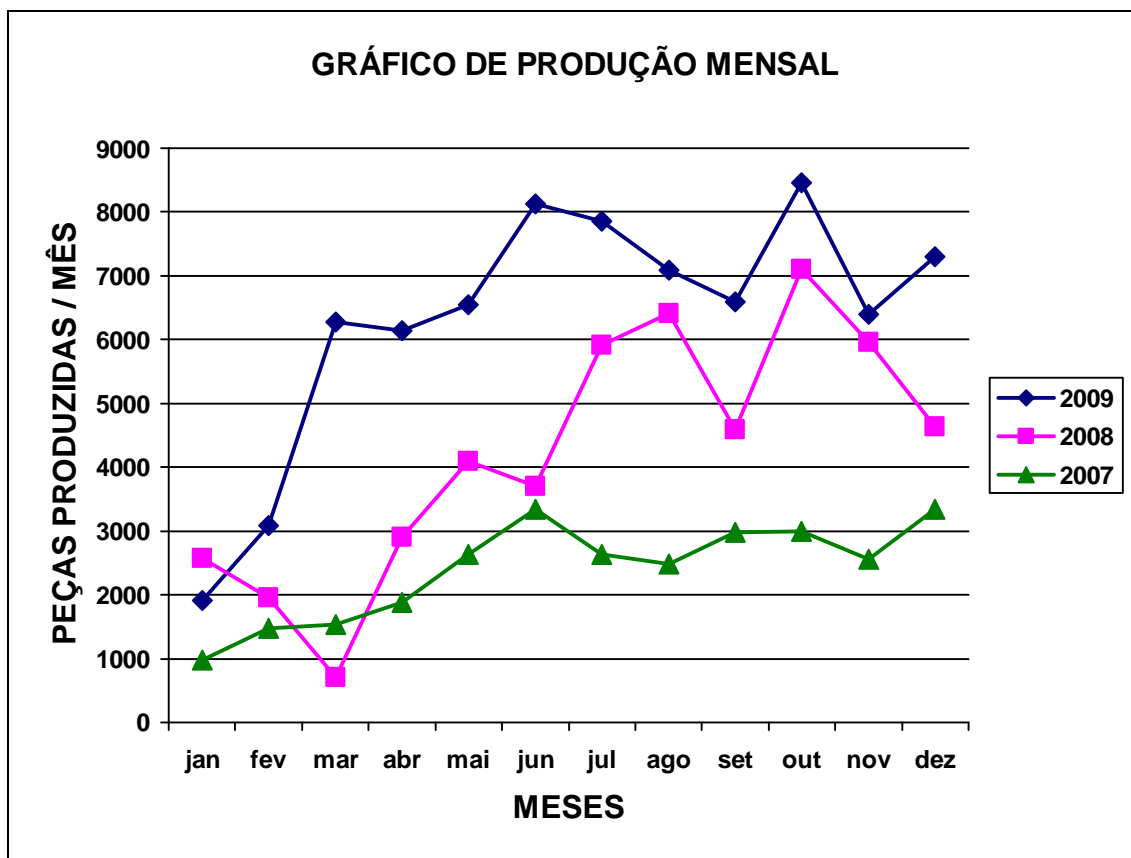


Gráfico 16: Comparativo de produção mensal de carabinas de pressão

Fonte: Relatório de vendas da empresa "B"

O *layout* está definido em forma de grupos de máquinas utilizando a área disponível, sem referência lógica ao fluxo de operações. Existe uma migração do arranjo do *layout* atual para o *layout* celular. Cita-se como caracterização dos trabalhos a montagem de células de famílias de componentes que são fabricados internamente e os componentes que serão internalizados. Baseado no entendimento dos benefícios da internalização de peças foi feita a proposta de iniciar a fabricação das peças internalizadas adotando o *layout* celular. A idéia básica era melhorar o aproveitamento das pessoas. Cabe explicar que foi criada uma célula piloto utilizada para o embasamento do estudo sendo que esta célula já está formada e em funcionamento, o que possibilitou a tomada de dados para as avaliações necessárias ¹⁷.

¹⁷ Uma foto da célula do cilindro localizada na empresa "B" é apresentada no Anexo D.

4.1.2.1 Apresentação da Célula do Cilindro

O cilindro é um item que compõe dois produtos denominados de carabinas de pressão. Na empresa “B”, os produtos são:

- Carabina GII -1000
- Carabina *adventure*

O objetivo, com relação a essa peça, foi iniciar a produção com 200 peças/dia. No futuro a idéia é fabricar 600 peças/ dia, a necessidade do número definido para o abastecimento da montagem sem fornecimento externo.

O cilindro é composto por uma peça tubular de aço denominada corpo. E uma ponteira de aço denominada de garfo do cilindro. A união dos componentes é feita através do processo de soldagem e o conjunto é submetido às usinagens orientadas pelas referências de funcionamento do produto.

4.1.2.2 Justificativa para o Estudo de Dimensionamento de uma Célula de Produção na Empresa “B”

A célula do cilindro foi dimensionada com base na cronoanálise dos tempos de ciclo de cada operação e considerando os elementos de trabalho e os possíveis movimentos de cada operador. Conforme apresentado no Quadro 13 as operações foram analisadas separadamente, segundo o critério de tempo máquina (TM) e tempo homem (TH). Os valores de tempo máquina com excessão da operação de “serrar alívio” foram definidos como “zero” dado que que não foi possível estabelecer a separação entre a máquina e o homem considerando as características manuais de cada operação. A necessidade de produzir 200 peças/dia foi tomada como referência. Neste contexto cinco pessoas foram alocadas na célula do cilindro por meio de uma estimativa de necessidade de mão de obra realizada pela supervisão da linha.

CÉLULA DO CILINDRO GII – 1000 (operações x tempo de ciclo)	TEMPO MÁQUINA (seg.)	TEMPO HOMEM (seg.)
Furar diâmetro 13 mm	0	114
Rebarbar	0	10
Serrar alívio	180	95
Tornear chanfro	0	51
Unir blank e tubo	0	52
Soldar	0	55
Tornear blank	0	153
Verificar porosidade	0	27
Fresar alívio	0	94
Furar alojamento O'ring	0	45
Furar diâmetro 3 mm	0	45
Soldar suporte - gatilho	0	137
Marcar peça	0	15

Quadro 13: Tempos de ciclo das operações da célula do cilindro

Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência são apresentados aspectos associados ao trabalho desenvolvido na célula:

- 1) Em determinadas ocasiões os operadores permaneciam parados aguardando a vinda do pessoal de manutenção e o conserto de máquina relativo ao problema o que poderia estender-se por horas;
- 2) Havia acúmulo de peças em todas as operações caracterizando trabalho individualizado;

- 3) Frequente ocorrência de deslocamento de operadores em busca de ferramentas e instrumentos de medição que eram compartilhados com outras máquinas fora da célula;
- 4) Existência de problemas técnicos nas operações, devido ao não atendimento de características dimensionais do produto;
- 5) Percepção de um ambiente de desconhecimento com relação a conceitos técnicos da manufatura celular.

O contexto foi considerado adequado para o desenvolvimento de uma proposta de método de análise e dimensionamento de células, em função dos seguintes motivos: necessidade de organização e estabelecimento de critérios explícitos de trabalho, desconhecimento do conceito ligados a funcionalidade das células de produção associada a eficiência global dos equipamentos, ausência de programação nivelada de produção caracterizando picos e ociosidades de uma forma geral e setor de manutenção pouco integrado aos programas de produtividade, atuando, com foco em ações corretivas.

4.1.2.3 A Visão da Funcionalidade da Célula Existente

A situação encontrada no período de transição onde ocorreu a internalização de peças, até então manufaturados fora da empresa, foi considerada aquém das expectativas com relação à criação de fluxo e controle dos estoques em processo. Através da colocação da planilha de registro de tempos de paradas e produtos não conformes em todos os equipamentos da célula foi possível levantar dados sobre a eficiência dos equipamentos.

A definição das eficiências foi feita individualmente para cada equipamento. No mês de dezembro de 2009, foi possível especificar os IROG`S para cada equipamento como meio de poder identificar os potenciais gargalos (Quadro 14).

Equipamento	01	02	03	04	07	08	09	10	11	14	15	16	17	18	21	22	23	Média
1) Furadeira de bancada	65%	59%	75%	57%	65%	42%	67%	85%	69%	75%	82%	78%	54%	73%	54%	47%	34%	63,58%
2) Serra franho	76%	83%	67%	86%	74%	78%	39%	86%	75%	89%	90%	68%	87%	76%	45%	87%	75%	75,35%
3) Torno mecânico	88%	46%	56%	78%	66%	36%	84%	47%	23%	86%	59%	54%	35%	89%	46%	23%	57%	57,23%
4) Prensa hidráulica	90%	78%	85%	95%	89%	88%	96%	98%	89%	90%	95%	97%	93%	89%	92%	93%	89%	90,94%
5) Solda mig	75%	69%	60%	58%	68%	58%	76%	88%	70%	76%	81%	79%	58%	74%	59%	77%	84%	71,17%
6) Torno mecânico	85%	89%	78%	94%	85%	82%	76%	85%	89%	77%	88%	87%	78%	75%	85%	86%	85%	83,76%
7) Fresadora azerf D 800	55%	86%	44%	17%	31%	35%	37%	38%	58%	9%	56%	73%	51%	42%	57%	64%	56%	47,58%
8) Furadeira de coluna	78%	80%	82%	95%	90%	84%	77%	85%	89%	78%	86%	88%	84%	78%	84%	87%	95%	84,70%
9) Furadeira de coluna	86%	83%	95%	76%	87%	75%	70%	88%	89%	85%	78%	87%	94%	83%	94%	86%	74%	84,11%

Quadro 14: Definição dos IROG'S dos equipamentos (dezembro/2009)

Fonte: Elaborado pelo autor

A eficiência baixa apresentada na fresadora Azerf D 800 foi determinante para o entendimento da origem da baixa produtividade da célula e da presença de elevados estoques em processo dentro da célula.

Cabe ressaltar o aspecto relativo à correta identificação do gargalo uma vez que a operação executada por essa máquina (fresar alívio) não era a operação mais lenta da célula. No Gráfico 17, é apresentado o desempenho da produção com base no IROG da fresadora Azerf D-800.

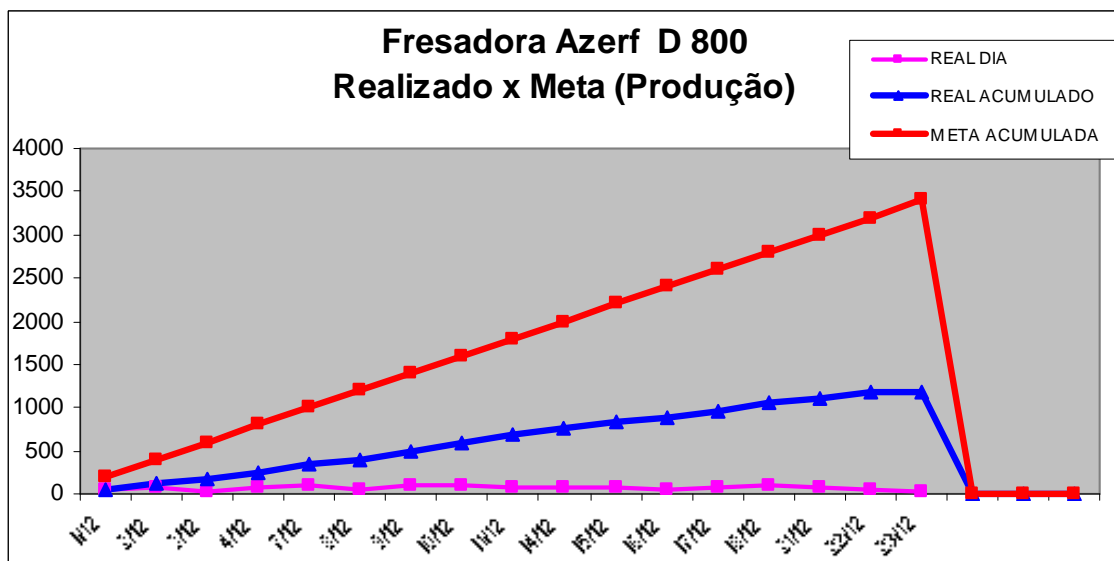


Gráfico 17: Produção da célula do cilindro

Fonte: Pesquisa documental na empresa "B"

O IROG da máquina é mostrado no Gráfico 18.

Nos dias 4, 14 e 18 de dezembro a máquina teve problemas mecânicos de movimentação da mesa o que ocasionou perdas significativas de produção devido ao tempo de manutenção. Nessa condição foi observada uma recorrência ao problema, que não foi solucionado adequadamente da primeira vez. Conforme Shingo (1996, p. 155) a idéia é paralisar as máquinas e linhas de processamento agora, assim não haverá necessidade de paralisá-las no futuro. Isto envolve a necessidade de agir preventivamente a partir de problemas possíveis de ocorrerem.

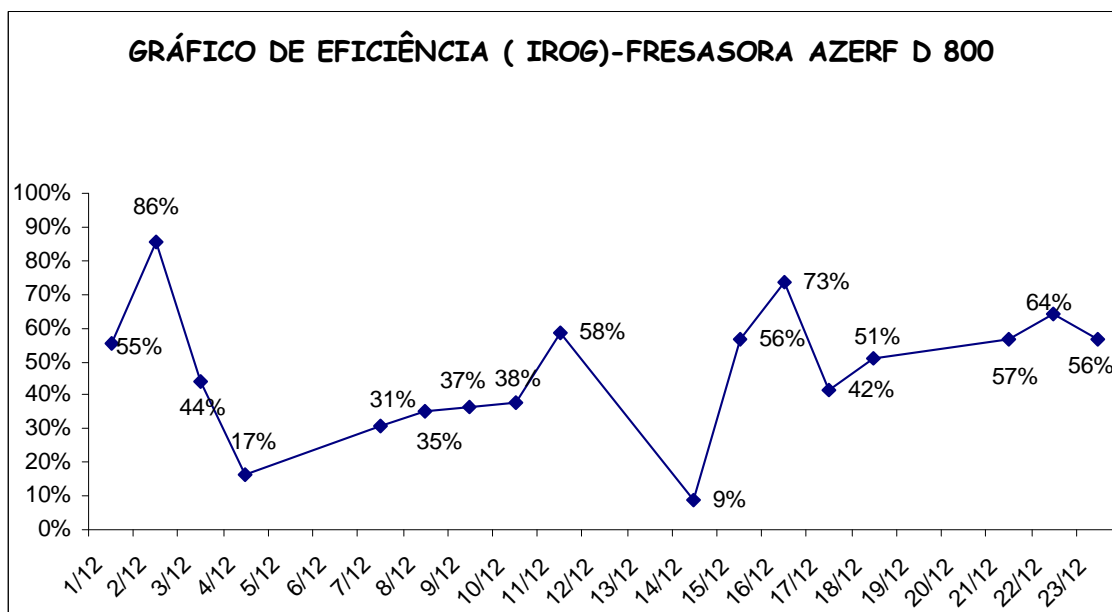


Gráfico 18: IROG da fresadora Azerf D 800 (dezembro/2009)

Fonte: Folha de registro de dados da célula do cilindro

4.1.2.4 Análise e Discussão Crítica Baseado nas Características que Influenciam no Dimensionamento de Células

A célula do cilindro analisada apresentou fragilidades nos aspectos relativos ao desempenho técnico dos equipamentos e à estimativa de pessoas para operar a célula. As máquinas que foram utilizadas para compor a célula foram 'resgatadas' do depósito de equipamentos obsoletos e foram reformadas internamente na empresa pelo setor de manutenção no intuito de evitar investimentos em equipamentos novos. Logicamente esses equipamentos apresentaram uma série de ineficiências que necessitaram ser tratadas ao longo do funcionamento.

Os problemas técnicos, que faziam a parada das máquinas, ocasionavam em algumas situações, a ociosidade de pessoas em certos postos de trabalho. Em outras posições, gerava-se acúmulo de materiais devido à continuação da atividade dos operadores trabalhando isoladamente, sem uma visão global do estoque.

As soluções técnicas necessitaram ser acompanhadas por reuniões semanais com os operadores, no sentido de explicar a produção baseada no fluxo contínuo. Foi necessária uma conscientização das pessoas, no sentido de deixar claro que os postos de trabalho deveriam gerar peças em quantidades não superiores ao estabelecido como estoque máximo em processo. Nesse caso, o equivalente a uma caixa contendo 60 (sessenta cilindros). As características ligadas à operação de mais de uma máquina por um mesmo operador (multifuncionalidade) não foram bem aceitas. Os operadores traziam uma cultura de produzir o mais rápido possível para serem considerados produtivos. Houve situações que foi necessário chamar o operador isoladamente para explicar a sistemática de trabalho a ser adotada no projeto piloto. Ainda a falta de conhecimento de determinadas operações, fazia com que operador rejeitasse certos postos de trabalho. Essas situações mostraram que estabelecer a multifuncionalidade requer tempo e treinamento. Visando capacitar os operadores na operação padrão.

Do ponto de vista de uma comparação analítica, era possível admitir que a situação encontrada na célula do cilindro seria uma referência para todas as demais situações que viessem a se desenvolver no ambiente da organização, no escopo de dimensionamento de células. Especificamente para avaliar a célula do cilindro e obter conclusões foram selecionadas características de embasamento ao dimensionamento de células de produção definidas na construção do referencial teórico conforme a visão dos Autores pesquisados, a saber:

- 1) *Balanceamento de linha*: Monden (1984); Edwards, Edgell e Richa (1993); Oishi (1995); Rother e Harris (2002);
- 2) *Melhorias nos processos*: Monden (1984); Edwards, Edgell e Richa (1993); Oishi (1995); Rother e Harris (2002);
- 3) *Fluxo unitário de peças*: Sekine (1990); Oishi (1995); Rother e Harris (2002);
- 4) *Treinamento em múltiplas funções*: Oishi (1995); Rother e Harris (2002);

5) *Atuação preventiva da manutenção*: Oishi (1995);

6) *Análise de capacidade x demanda*: Antunes et al. (2008).

De forma detalhada pode-se perceber que:

1) *Balanceamento de linha*: não houve um procedimento formal para balancear a linha de acordo com uma distribuição padronizada do conteúdo de trabalho. Foi realizado apenas, a distribuição dos operadores para realizar a produção de acordo com a capacidade dos equipamentos;

2) *Melhorias nos processos*: inexistência de uma estrutura de apoio a melhorias nos processos. Esta situação não permitia que houvesse uma sustentação das idéias no sentido de melhorar as condições de trabalho, tanto na parte relativa à produção horária quanto aos problemas envolvendo a qualidade. Ainda a falta de estudos comprobatórios da necessidade de investimentos, contribuíram para a não aplicação de recursos financeiros no sentido de melhorar os equipamentos;

3) *Fluxo unitário de peças*: o fluxo unitário de peças não foi atingido em sua plenitude devido à dificuldade em manter o fluxo contínuo. Na realidade houve tentativas de controlar o excesso de estoque definindo-se uma quantidade de estoque padrão. Mas, devido a fatores como problemas em manter o balanceamento de operações e as paradas de máquina, algumas vezes ocorriam, um acúmulo de peças em determinadas operações;

4) *Treinamento em múltiplas funções*: a multifuncionalidade era uma característica desconhecida historicamente na empresa. A tendência dos operadores era produzir na máquina em que estavam alocados, buscando produzir de acordo com a velocidade de processamento do equipamento em que estavam mais familiarizados;

5) *Atuação preventiva da manutenção*: a manutenção solucionava os problemas conforme as solicitações de conserto realizada pelos operadores da linha quando o equipamento parava de funcionar.

Nenhuma programação de manutenção preventiva ou preditiva era executada;

6) *Análise de capacidade x demanda*: esse tipo de análise não era realizado devido ao desconhecimento da real capacidade dos equipamentos. O entendimento de capacidade pelas pessoas era a quantidade de peças que uma máquina pode fazer em um determinado período de tempo, dado em pcs/hora.

Em uma análise mais profunda esta razão, de fato, corresponde ao tempo de processamento de um equipamento. Isto está dissociado do conceito de capacidade, que é obtida pelo produto do tempo disponível para operação (T), dado em unidades de tempo e um fator de eficiência (μg) (ANTUNES et al., 2008).

4.1.2.5 A Percepção das Entrevistas Referenciada pelos Itens de Avaliação

As características selecionadas e analisadas com base no funcionamento da célula do cilindro realçaram a possibilidade de desenvolver uma proposta de método para analisar e dimensionar células de produção que atendesse aos requisitos considerados importantes no contexto da manufatura celular. A partir dessa constatação, foram conduzidas entrevistas com pessoas de liderança em certas áreas da empresa, objetivando gerar uma visão global sobre a receptividade da idéia e a possibilidade de alterações na organização para o desenvolvimento da proposta de um método para análise e dimensionamento de células. Cabe ressaltar que a identificação de uma possível proposta de método de análise e dimensionamento de células e a elaboração das entrevistas foram conduzidas pelo autor da pesquisa.

Este tópico apresenta as visões dos entrevistados com base nos itens de avaliação.

4.1.2.5.1 O Contexto Geral

A questão voltada para a análise e dimensionamento de células se torna importante para a organização da manufatura, especialmente quando é abordada a possibilidade do aproveitamento das pessoas e uma possível redução dos desperdícios causados por deslocamentos, esperas, movimentações e lotes grandes. Esse foi o aspecto geral manifestado pelos entrevistados.

Com relação ao grupo entrevistado é possível citar que são pessoas novas na empresa (com menos de um ano) e em posições de nível gerencial.

De uma forma ampla é percebido através das entrevistas que todos reconhecem a importância de:

- 1) Trabalhar com lotes pequenos;
- 2) Conseguir desenvolver o aspecto relativo a multifuncionalidade;
- 3) Ter equipamentos confiáveis e capazes;
- 4) Investir em treinamento e capacitação;
- 5) Monitoramento constante das eficiências dos equipamentos.

As questões específicas respondidas trouxeram contribuições consideradas importantes, de acordo com os itens de avaliação, ou seja, a estrutura de apoio, a análise e o dimensionamento das células e os indicadores de desempenho.

4.1.2.5.2 A Estrutura de Apoio Necessária

Algumas considerações dos entrevistados em relação à estrutura de apoio foram:

1) Foi proposta a transferência da engenharia de processos para uma sala localizada em uma posição central dentro da manufatura. Essa mudança visa ter os analistas de processo e o cronometrista próximos às máquinas. Essa tendência vinha ao encontro de uma tentativa de solucionar reclamações por parte da produção quanto ao atendimento no chão de fábrica. Com relação ao caso estudado na empresa "A", essa proposta trazia o mesmo tipo de abordagem. Além disso, foi considerada a transferência de uma pessoa de outra área para ser treinada na coleta e registro dos dados para gerar os gráficos de eficiências das máquinas. Esses dados atualmente são registrados pelo operador em folhas específicas, contendo os códigos dos motivos das paradas, o tempo consumido relativo à parada, a quantidade de sucata e ao retrabalho gerado;

2) Foi feita a proposta de implantar um sistema de coleta de dados informatizado, em fase experimental, para a coleta instantânea de dados de produção e paradas de máquinas. O principal objetivo seria conhecer as eficiências de máquinas críticas e as principais causas de paradas, de uma forma mais precisa e menos trabalhosa;

3) Foi sugerido a criação de uma área de *preset* de ferramentas, localizado junto à ferramentaria. Essa área seria responsável pela manutenção e abastecimento de ferramentas nas máquinas. O objetivo principal dessa proposta está ligado ao desempenho das células e reside no fato de que muitos operadores deixam as máquinas para buscar ferramentas novas ou reafiadas, perdendo tempo em deslocamento e em filas para atendimento no almoxarifado de ferramentas;

4) Com relação às pessoas, foi entendido que é necessário estabelecer treinamentos que abordem os conceitos de manufatura enxuta, as perdas relativas ao processo produtivo e uma fundamentação da aplicação das técnicas envolvidas como o kanban, as células de produção, a Troca Rápida de Ferramentas e o controle de qualidade na fonte.

4.1.2.5.3 A Análise e o Dimensionamento de Células na Visão dos Entrevistados

Foi considerado pelas pessoas entrevistadas a necessidade de desenvolvimento de uma forma explícita de mapear os gargalos existentes na célula. Com base nos dados de dezembro de 2009 foi possível verificar a existência de restrições, com relativa precisão. As ações de melhoria deveriam ser dimensionadas para cada recurso para adequar-se ao volume de trabalho crescente ao longo do ano. Cabe ressaltar o fato que, no período inicial de cada ano, a demanda reduz drasticamente em relação ao final do ano anterior. Essa demanda sobe gradativamente no decorrer do ano. Nesse sentido, é necessário readequar a mão de obra necessária ao longo do tempo. Foi sugerido que, após o conhecimento das eficiências e reais capacidades, fosse elaborada uma programação de kaizens como efetivação dos processos de melhoria contínua.

4.1.2.5.4 Os Indicadores de Desempenho Sugeridos

As considerações dos entrevistados para a adoção de um conjunto de indicadores foram:

- a) A medição da eficiência de utilização dos equipamentos e da mão de obra. O indicador de eficiência IROG foi proposto para identificar possíveis ociosidades e aproveitamento de máquinas e pessoas, em virtude das características de baixa demanda nos meses iniciais do ano;
- b) Indicador sucata: visa contribuir para a verificação de sucata por equipamento dentro da célula. Relaciona o volume de produção pela quantidade de sucata produzida em cada posto de trabalho da célula;
- c) Indicador de tempo de *setup* na célula: foi proposta a criação de um indicador de *setup* dentro da célula de manufatura, considerando o tempo de parada da última máquina da célula, ou seja, considerando o tempo de parada desde última peça boa do lote anterior até a primeira peça boa do lote que está entrando na célula.

Neste capítulo é finalizado a descrição dos estudos de caso, que serviram para referenciar sob o ponto de vista prático as idéias envolvidas no dimensionamento de células de produção . O capítulo 5 descreverá a proposta de método elaborada, com base na interpretação dos casos estudados.

5 PROPOSTA DE MÉTODO DE ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO

Neste capítulo será proposto o método de análise e dimensionamento de células de produção, objeto desta dissertação. A proposta de método está basicamente dividida em três etapas, anteriormente citada como itens de avaliação, a saber:

- 1) A estrutura de apoio;
- 2) A análise e o dimensionamento das células;
- 3) Os indicadores de desempenho.

Esta proposta de método de análise e dimensionamento de células de produção tem por objetivo:

1) Sugerir a inclusão de premissas consideradas relevantes no dimensionamento em células de produção, visando melhorar a acuracidade de utilização dos recursos produtivos (homens e equipamentos), tendo como sustentação uma ligação com o processo de melhoria contínua. São sugeridos as seguintes idéias, a saber:

- a) Incluir a noção de eficiência global dos equipamentos;
- b) Considerar a variação de demanda;
- c) Observar a variação das características físicas dos produtos.

Assim com base na revisão de literatura, nos casos estudados, e nas percepções das entrevistas, na sequência será proposto um método de análise e dimensionamento de células de produção, em empresas em que seja possível a adoção de técnicas da manufatura enxuta com vistas à obtenção de fluxo contínuo.

5.1 A ESTRUTURA DE APOIO

A estrutura de apoio pode ser estabelecida como: uma estrutura de pessoal e uma estrutura física.

5.1.1 A Estrutura de Pessoal

Conforme apresentado no caso da empresa “A”, é possível referenciar a estrutura de pessoal necessária para conduzir as atividades. É sugerido que exista a seguinte formação:

- a) *Um coordenador geral*: este coordenador poderá ser o gerente ou supervisor da engenharia de processos, com dedicação parcial. Será responsável pelo acompanhamento dos planos de ação gerados, viabilização de investimento para as melhorias, apresentação de resultados nas reuniões gerenciais;
- b) *Um analista de processos*: é proposto um analista de processo para cada planta, com dedicação exclusiva. Cabe ao analista a função de: definir a eficiência individual dos postos de trabalho que compõem a célula, priorizar as ações de melhoria em máquinas com restrição de capacidade e adequar o número de operadores e utilização de máquinas junto à supervisão da linha para diferentes níveis de demanda e tipos de produtos;
- c) *Cronoanalista*: é sugerido que se tenha um cronoanalista com dedicação parcial, para realizar as cronoanálises, identificando os tempos máquina e os tempos homem que constituem o tempo de ciclo da operação.

É possível situar as posições dos componentes da estrutura de pessoal dentro de um organograma de organização, conforme referência no caso da empresa “A” estudada (Figura 14).

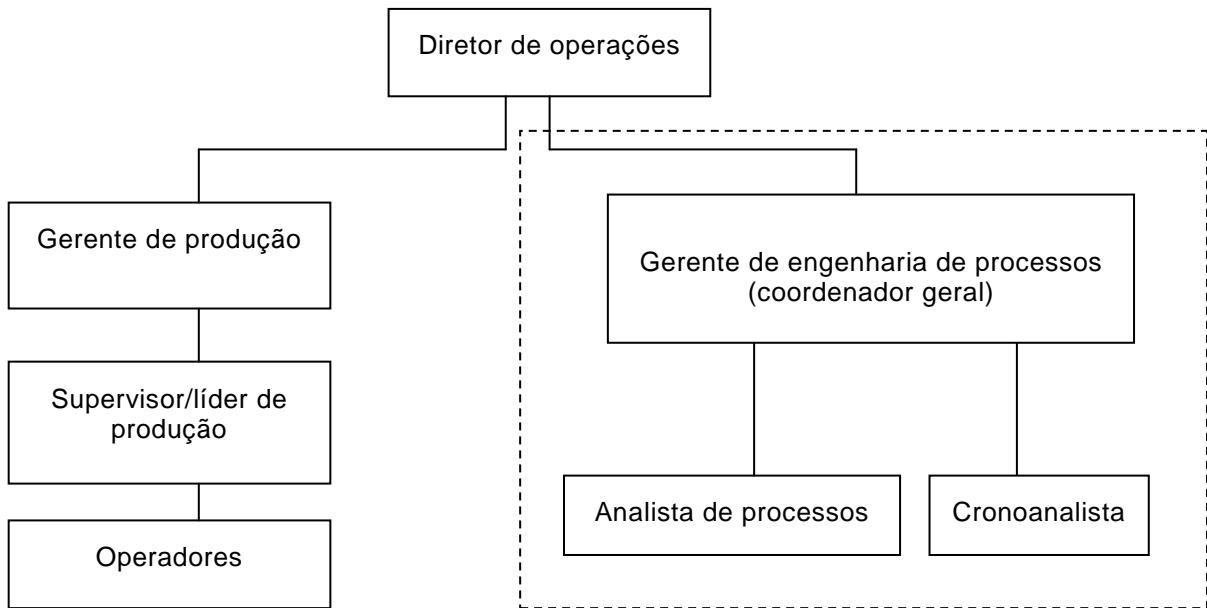


Figura 14: A estrutura de pessoal para dimensionamentos de células

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1.2 A Estrutura Física

Sala de trabalho e treinamento - é proposta uma sala específica com equipamentos de informática (computador e impressora) para a realização dos trabalhos como:

- Elaboração das planilhas de análise de capacidade;
- Identificação dos recursos críticos;
- Definição das eficiências dos equipamentos;
- Treinamento dos operadores.

Essa sala deve ser utilizada pelos profissionais que atuam na engenharia de processos devendo estar localizada próxima às células de produção, com o objetivo de permitir fácil acesso de operadores aos documentos e dados de engenharia, bem como a avaliação contínua e sistêmica de problemas. Essa disposição é sugerida no caso em que a engenharia de processos não esteja localizado no ambiente de produção. Como referenciado no caso da empresa “A” em que foi necessária uma focalização da atuação da engenharia de processos

para o atendimento às divisões. Liker (2005) coloca o significado da expressão em japonês “*genchi genbutsu*” que quer dizer “ir ao local para ver a situação e compreendê-la” (LIKER, 2005, p. 222). Essa abordagem, segundo o Autor, é o primeiro passo de resolução de qualquer problema, ou seja, a compreensão da verdadeira situação. Essa forma de pensamento terá efeito se realmente houver o entendimento da real situação com informações obtidas diretamente na fonte. Neste sentido, é possível admitir que a proximidade física entre a engenharia de processos e o ambiente de produção possa ser um fator facilitador da observação e entendimento dos problemas.

5.2 A ANÁLISE E O DIMENSIONAMENTO DAS CÉLULAS

A análise e o dimensionamento das células de produção devem estar ligados a um processo de planejamento, execução, verificação de resultados e padronização, feito pelo grupo de melhoria contínua.

O objetivo é viabilizar o projeto e sustentação de melhorias no sistema produtivo. Deve ser executado pelo grupo de melhoria contínua formado pelo coordenador geral, analista de processos e cronometrista, definidos na estrutura de pessoal. Torna-se importante a participação de representantes de outras áreas quando necessário, como: analista de PCP, analista de produto, supervisor de produção e supervisor de manutenção.

As etapas definidas são apresentadas a seguir:

1) *Análise de contexto geral de produção*: tem relação com a análise das variações de demanda e mix de produção, mudanças de processo e produto, aquisição e retirada de máquinas do processo produtivo;

2) *Definição do plano de capacidade x demanda*: é sugerida a realização de uma análise comparativa entre a capacidade existente nos equipamentos e a demanda necessária para a fabricação dos produtos em um determinado intervalo de tempo;

3) *Determinação das máquinas críticas*: os dados devem se orientar por registros em planilhas feitos pelo operador, devidamente treinado, os quais servirão para a determinação científica e precisa da eficiência dos equipamentos;

4) *Priorização das ações de melhorias*: a ordem das melhorias a serem feitas será orientada pelas máquinas com maior restrição de capacidade. Os gargalos serão definidos levando em consideração a eficiência global do equipamento (IROG).

A priorização das ações de melhoria deve ser discutida em reuniões com o grupo de melhoria contínua e com os representantes das áreas. O motivo mais evidente é que muitas ações envolvem os recursos de áreas como: a manutenção, PCP, Engenharia de Produto. Os planos de ação elaborados deverão ter origem na priorização das melhorias;

5) *Análise de investimentos*: as propostas de melhoria apresentadas devem ser seguidas de uma análise de investimento para implementação considerando o custo x benefício.

A equipe envolvida no planejamento constituída pelo coordenador geral, analista de processos, cronoanalista e por representantes das áreas, deverá ter reuniões periódicas, mensais ou quinzenais, para avaliação dos planos de ação.

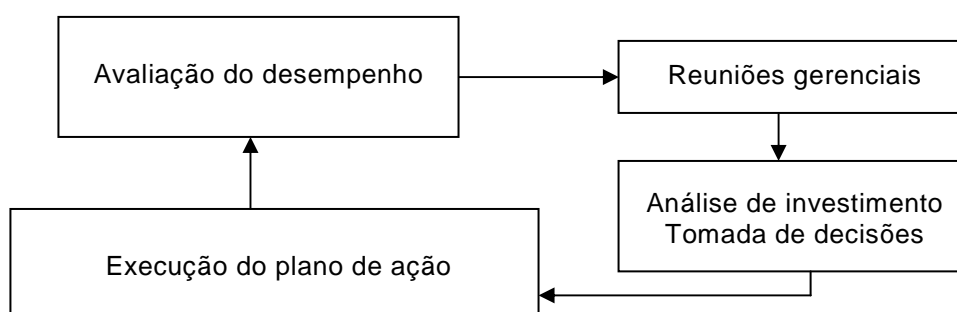


Figura 15: O ciclo de melhoria contínua para a análise e dimensionamento de células de produção

Fonte: Elaborado pelo autor

Estabelecendo a relação com o ciclo PDCA de melhorias é possível referenciar:

- *Planejamento (P)*: reuniões gerenciais (análise do problema); análise de investimento e tomada de decisões;
- *Execução (D)*: execução dos planos de ação;
- *Verificar (C)*: avaliação do desempenho;
- *Atuar (A)*: reuniões gerenciais (análise da efetivação), padronizar ou replanejar.

As etapas consistem, basicamente, em avaliar e manter atualizadas as informações importantes para a produção, das quais é possível destacar: tempos de ciclo das operações, incluindo a subdivisão precisa entre tempo homem e tempo máquina; atualização mensal de volume e *mix* dos itens que compõem a célula e, também, a inserção de novos produtos; definição das máquinas críticas; avaliação técnico-financeira das melhorias propostas; priorização das melhorias e coordenação das execuções das melhorias priorizadas e avaliação e confirmação dos resultados obtidos, padronização das alterações ou replanejamento.

5.2.1 O Método de Análise e Dimensionamento sob o Ponto de Vista de Gestão

Do ponto de vista de direcionamento do método proposto, neste estudo, para a análise e dimensionamento das células de produção é possível subdividir em duas partes:

- a) A gestão de melhorias;
- b) A gestão de utilização dos recursos.

A operacionalização do método consiste em unificar a gestão de melhorias com a dinâmica de gestão de utilização dos recursos. A interação entre essas partes pode determinar a consistência necessária para a obtenção

de resultados, por meio da utilização de um método eficaz de análise e dimensionamento. A Figura 16 mostra a relação existente entre as duas partes.

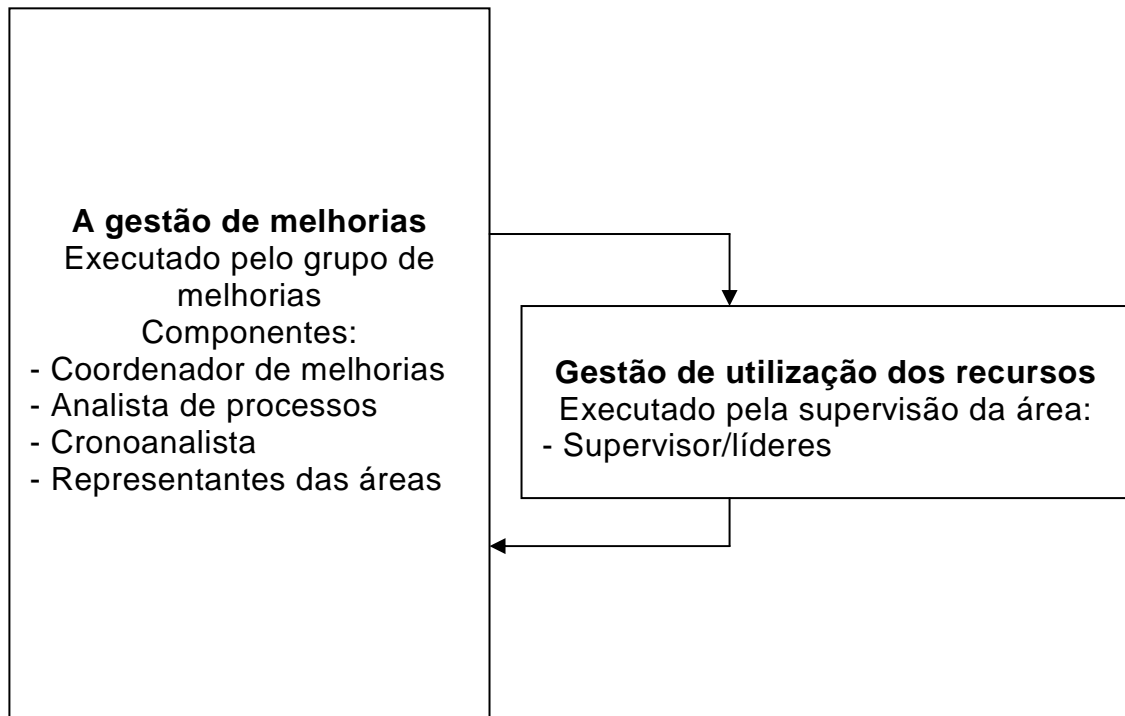


Figura 16: Visão geral para aplicação do método proposto

Fonte: Elaborado pelo autor

a) A gestão de melhorias

O método proposto para a gestão de melhorias tem o propósito de orientar as ações, que devem fazer parte do processo de suporte e avaliação contínua do dimensionamento de mão de obra e máquinas nas células de produção. O método definido compreende a participação contínua do grupo estratégico com o suporte técnico dos representantes das áreas.

Essa proposta está representada na Figura 17.

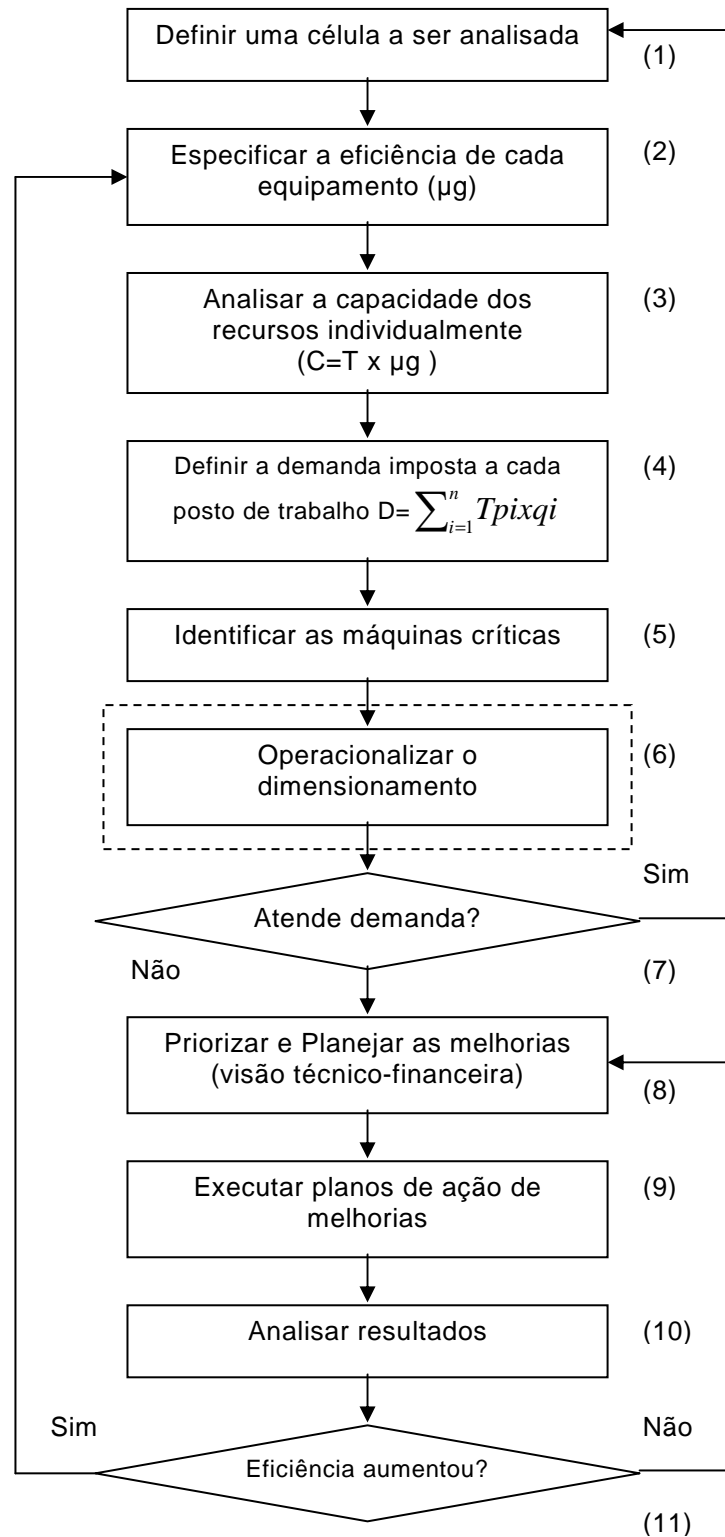


Figura 17: Método proposto para a gestão de melhorias

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir é apresentada uma descrição sobre cada passo que compõe a proposta do método de análise e dimensionamento de células com relação à gestão das melhorias:

- *Passo 1:* Definir uma célula a ser analisada

Esta célula deverá estar implantada e em funcionamento para poder fornecer os elementos de trabalho de cada posto e os dados de tempo de ciclo de cada operação. A escolha da célula pode ser devida a uma necessidade emergente, como um aumento de demanda em determinado item; a introdução de um novo produto ou simplesmente uma tentativa de melhorar a resposta do sistema.

- *Passo 2:* Especificar a eficiência global de cada equipamento

Em uma primeira análise, devido à provável inexistência de mensuração dos dados de eficiência, é possível obter uma estimativa através de pessoas com experiência nos equipamentos, de forma a poder avaliar a capacidade próxima da real. A partir do início das coletas de dados das máquinas e obtenção das eficiências, a especificação deverá se basear no IROG calculado.

- *Passo 3:* Analisar a capacidade dos recursos individualmente ($C = T \times \mu g$)

O conhecimento da eficiência global dos equipamentos que compõem a célula e da oferta total de tempo programado pode fornecer a capacidade mais próxima da real em cada equipamento, dadas as suas condições atuais e características de operação. A capacidade de cada equipamento deve ser conhecida e será dada em unidades de tempo.

- *Passo 4:* Definir a demanda imposta a cada posto de trabalho

$$(D = \sum_{i=1}^n T_{p_i} x q_i)$$

A demanda a que cada posto de trabalho será solicitado é calculada através da multiplicação do tempo de ciclo da operação e da quantidade de

peças necessárias. Será dada em unidades de tempo e deverá servir como base de comparação com a capacidade individual dos postos de trabalho.

– *Passo 5: Identificar as máquinas críticas*

A identificação das máquinas críticas será realizada através da comparação entre a capacidade disponível e a solicitada. A subtração entre a capacidade disponível (em unidades de tempo) e a demanda solicitada (em unidades de tempo) definirá se a capacidade disponível atende à solicitada. Essa condição define uma máquina crítica através da diferença de tempo encontrada entre a capacidade e a demanda dos equipamentos.

– *Passo 6: Operacionalizar o dimensionamento*

Esta etapa viabiliza conhecer a quantidade de pessoas e máquinas a serem utilizadas na produção conforme exemplo de dados calculados em planilha. Como parte integrante do método deverá ser adotado um instrumento que viabilize as adequações dos recursos na rotina da produção pela supervisão da linha, corresponde à fase de **gestão de utilização dos recursos**.

– *Passo 7: Verificar o atendimento à demanda*

O atendimento à demanda colocada pelo PCP (Planejamento, e Controle da Produção) ocorrerá dentro da oferta de tempo programado se a capacidade ($C = T \times \mu g$) for maior que a demanda ($D = \sum_{i=1}^n T_{pixqi}$). Também é necessário verificar a situação em que mesmo não existindo recursos críticos dentro da célula o atendimento à demanda poderá não ser atingido devido a quantidade insuficiente de pessoas que compõem a célula, ou problemas operacionais com a mão de obra.

– *Passo 8: Priorizar e planejar as melhorias (visão técnico-financeira)*

A priorização é feita considerando os postos de trabalho com menor capacidade disponível. Deverão ser gerados Planos de Ação objetivando aumentar a eficiência global dos equipamentos, como forma de aumentar a capacidade dos recursos. Nessa etapa é previsto realizar as melhorias para

possíveis reduções dos tempos de ciclo em equipamentos que possam estar restringindo o ritmo necessário (tempos de ciclo acima do *takt time*) e ações para evitar perdas de eficiência (paradas e produtos não conformes). Os aspectos técnicos deverão ser avaliados juntamente com a viabilidade de investimento, podendo-se classificar o trabalho como sendo de curto, médio e longo prazo, de acordo com critérios definidos pelo grupo.

- *Passo 9*: Executar os planos de ação de melhorias

As ações aprovadas, do ponto de vista técnico e financeiro, deverão ser implementadas cumprindo um cronograma estabelecido pelo grupo de melhorias.

- *Passo 10 e 11*: Analisar os resultados

Os resultados atingidos permitirão ao grupo verificar a efetividade das ações. O aumento da eficiência em um dado equipamento deverá ser especificado na planilha de cálculo substituindo um possível valor de eficiência estimada. As eficiências obtidas sucessivamente a cada mês deverão ser atualizadas como forma de expressar as condições atuais do equipamento.

É sugerido, ainda, que seja criada uma pasta de registro das eficiências para cada recurso, com o objetivo de poder ter registros ao longo do tempo e formar um padrão de comportamento do desempenho dos recursos. Esse padrão de comportamento deverá servir como base para justificativas de investimentos em novas máquinas e melhoria da produtividade.

b) A gestão de utilização dos recursos (operacionalização do dimensionamento)

Esta etapa objetiva definir a maneira como os dados serão interpretados, de uma forma prática, na rotina da produção. Nessa fase é fundamental que a célula esteja trabalhando e que já tenha sido elaborado um processo de cronoanálise com as tomadas de “tempo manual” e “tempo máquina”.

É objetivada, nessa etapa da proposta, que o supervisor da linha possa manipular os dados necessários ao dimensionamento, como a demanda necessária de determinado item e o *takt time* calculado.

Esses dados de entrada, em uma planilha de cálculo, podem fornecer as informações necessárias para que a supervisão tenha condições de tomar decisões como: número de operadores a alocar na célula e utilização das máquinas baseado no *takt time* efetivo, capacidade nominal da célula, capacidade real da célula e número de horas necessárias para cumprir o lote programado¹⁸.

De uma forma geral a gestão de utilização dos recursos consiste que os gestores das células atuem da seguinte forma:

- a) Verificar a quantidade total de operadores a ser utilizado em cada produto com determinada demanda e distribuir os operadores conforme as quantidades necessárias definidas em cada operação;
- b) Definir, com base na utilização dos recursos, a possibilidade de usar menos equipamentos e operadores, caso a demanda permita;
- c) Treinar os funcionários na operação padrão e fazer a rotação de postos de trabalho, para obter habilidade e sustentação para a multifuncionalidade de acordo com o produto e da respectiva demanda.

As etapas desta proposta estão descritas na Figura 18.

¹⁸ As condições físicas consideradas adequadas para a realização dessa abordagem consistem em um computador com impressora contendo as planilhas de cálculo. Esses recursos, a princípio devem se localizar na área de trabalho (mesa) do supervisor, em geral posicionada no ambiente fabril próximo às máquinas.

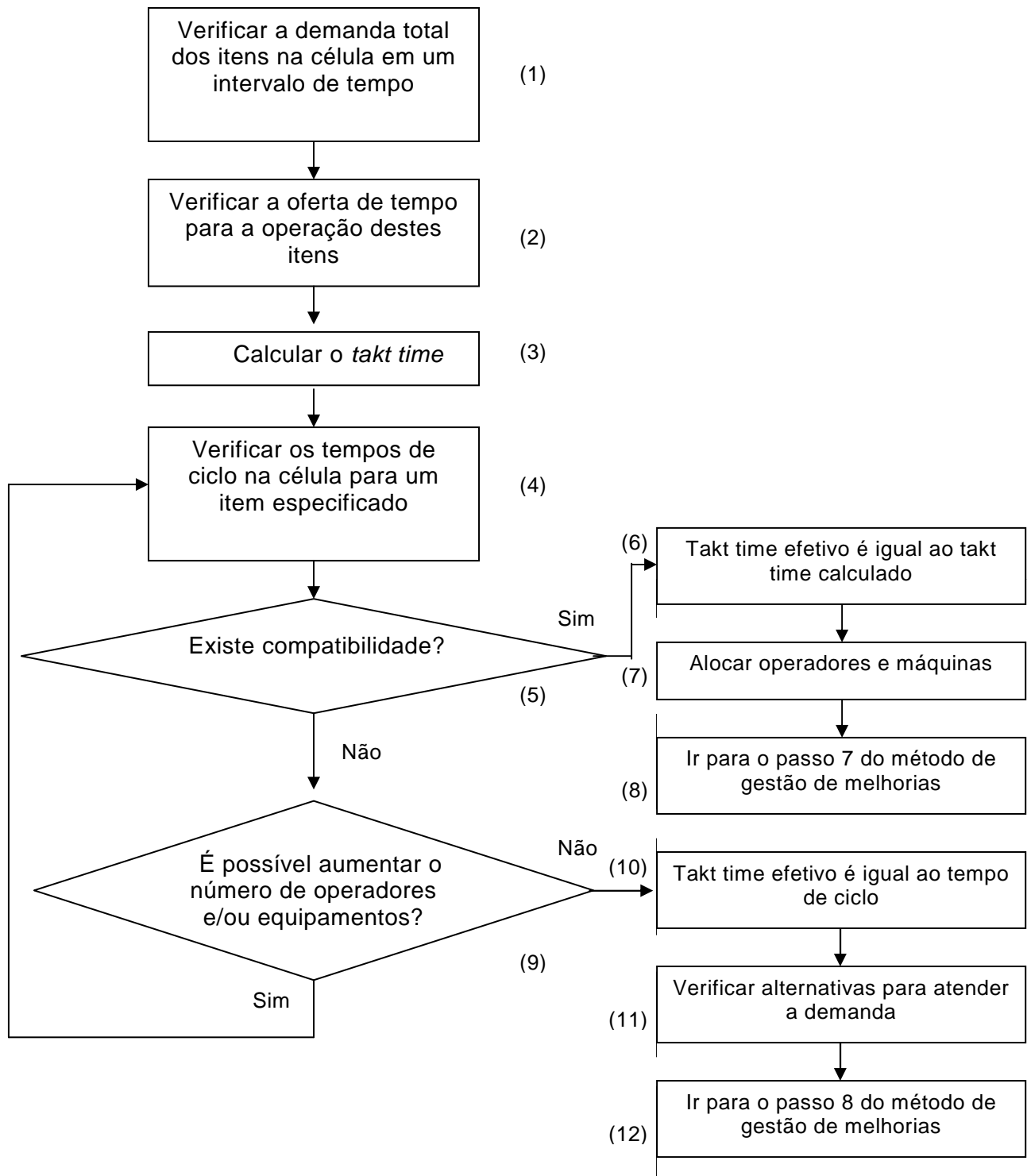


Figura 18: Proposta de método de operacionalização do dimensionamento

Fonte: Baseado em Alvarez e Antunes Jr. (2001)

A descrição de cada passo da sequência é apresentada a seguir:

- *Passo 1:* verificar a demanda total de itens na célula em um intervalo de tempo

Esta etapa é citada como referência para o cálculo do *takt time*, na verdade a demanda já deverá ser conhecida conforme apresentado no passo 4 das etapas de gestão de melhorias onde $(D = \sum_{i=1}^n T_{pixqi})$.

- *Passo 2:* Verificar a oferta de tempo para a operação dos itens que compõem a demanda

O tempo programado para a produção deve ser considerado através do tempo disponível para produzir deduzindo-se as paradas programadas.

- *Passo 3:* Calcular o *takt time*

O cálculo do *takt time* servirá como definição do ritmo para atendimento da demanda. Nessas circunstâncias deverá ser um referencial de comparação com o tempo de ciclo da célula, que poderá ser um limitante do ritmo imposto pelo *takt time*.

- *Passo 4:* Avaliar os tempos de ciclo das operações para um item especificado (tempos máquina e tempos manuais).

Consiste em verificar os tempos de ciclo (máquina e manuais) de um item em todas as operações que compõem a célula e selecionar o maior tempo de ciclo, ou seja, a operação mais lenta que compõe a célula.

- *Passo 5:* Existe compatibilidade?

Esta etapa compara o *takt time* com o tempo de ciclo da célula. A questão a ser respondida, quanto à existência de compatibilidade, pode ser entendida como a capacidade que a célula tem de absorver o ritmo definido pelo *takt time* calculado. Ou seja, se o tempo de ciclo não se torna um limitante para o ritmo esperado da produção. Se existir compatibilidade, então é admitido que o

takt time efetivo seja igual ao *takt time* calculado. Em caso de não existência de compatibilidade, é necessário verificar se existe a possibilidade de aumentar o número de operadores e/ou equipamentos reduzindo o tempo de ciclo da célula.

- *Passo 6: Takt time* efetivo é igual ao *takt time* calculado

Este passo corresponde à adoção do ritmo que será imposto na célula, o *takt time* efetivo pode ser entendido, nesta situação, como o ritmo do *takt time* calculado. Nesse caso, a característica principal é que o tempo de ciclo da célula permite alcançar um ritmo de produção acima do que é especificado como necessário, apresentando uma situação na qual a capacidade é maior que a demanda. É sugerido, então trabalhar, no ritmo do *takt time* calculado, como forma de não gerar superprodução.

- *Passo 7: Alocar operadores e máquinas*

Neste passo a célula deve estar em funcionamento e ter os operadores necessários alocados a ela. É necessário fazer um controle horário da produção para estimar o atendimento a demanda, pois mesmo no caso em que é usado o *takt time* calculado, onde supostamente a capacidade é maior que a demanda, poderão existir recursos com baixa eficiência que impedem o atingimento da demanda.

- *Passo 8: Ir para o passo 7 do método de gestão de melhorias*

Para esta etapa retorna-se ao passo 7 do método de gestão de melhorias. A informação de atendimento a demanda será determinante para a decisão a ser tomada.

- *Passo 9: É possível aumentar o número de operadores e/ou equipamentos?*

Este questionamento pode ser entendido como uma tentativa de suprir a falta de capacidade em uma situação em que o ritmo ditado pelo *takt time* calculado é maior que o ritmo possível de ser alcançado na célula, limitado pelo seu tempo de ciclo. A resposta afirmativa para essa questão remete a uma análise da possibilidade de incluir pessoas e/ou equipamentos na célula fazendo

que o tempo de ciclo da célula como um todo seja menor, objetivando tornar compatível com o *takt time* calculado, obviamente esta possibilidade se esgota ao passo que não seja mais possível incluir pessoas e equipamentos na célula.

- *Passo 10: Takt time* efetivo é igual ao tempo de ciclo

Em caso de não ser possível acrescentar operadores e/ou equipamentos na célula então é estabelecido que o *takt time* efetivo é igual ao tempo de ciclo da célula, devendo ser esse o ritmo adotado.

- *Passo 11: Verificar alternativas para atender a demanda*

Esta etapa se justifica pela incapacidade da célula de atender a demanda especificada pelo *takt time* calculado. Logo, é necessário verificar alternativas para cobrir esta deficiência como horas extras, abertura de um novo turno de trabalho e trabalho aos finais de semana e aumento do IROG.

- *Passo 12: Ir para o passo 8 do método de gestão de melhorias*

Este passo significa que a célula em questão necessita ser priorizada e ter um plano de ação ligado a ela, pois é necessário reduzir o tempo de ciclo da operação mais lenta ou melhorar a eficiência (IROG) das operações que a constituem. Devido ao fato de que a restrição pode não ser a operação mais lenta e sim uma operação com restrição de capacidade.

É sugerido, na fase de operacionalização do método, a elaboração de uma forma de monitorar as eficiências dos recursos individualmente, as variações na demanda e os diferentes produtos que podem apresentar diferentes tempos de ciclo em uma mesma célula de produção.

É apresentado na figura 19 o fluxo completo da proposta de método de análise e dimensionamento correspondentes à gestão de melhorias e a gestão de utilização dos recursos (operacionalização do método).

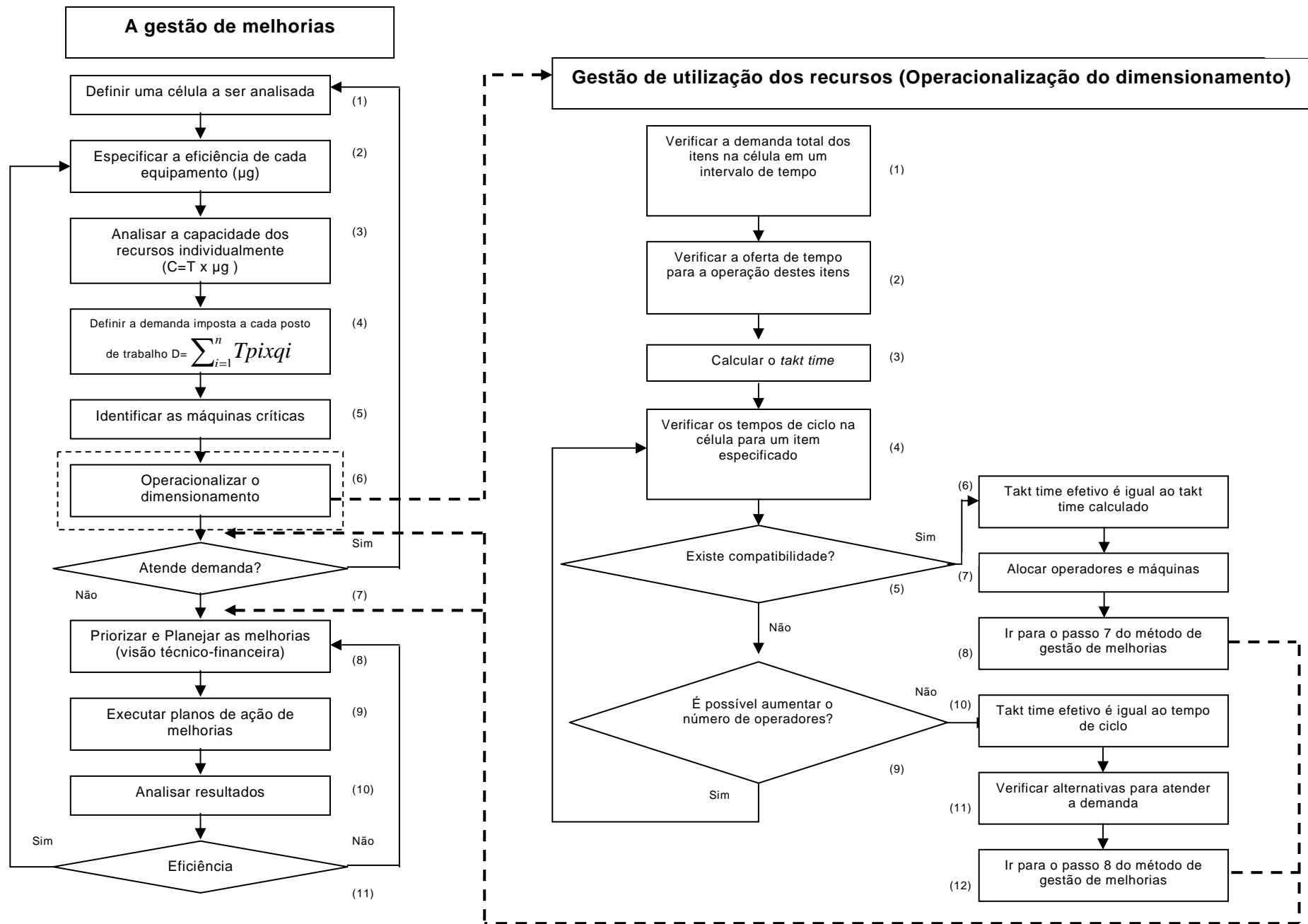


Figura 19: Fluxo completo da proposta de método de análise e dimensionamento

Fonte: elaborado pelo autor

Todos os cálculos feitos nesta pesquisa foram executados através de uma planilha em Excel¹⁹, como forma de tornar acessível para o supervisor da linha à forma de utilização.

O método de análise e dimensionamento de células de produção determina responsabilidades de acordo com as etapas estabelecidas como forma de sustentar as ações.

O Quadro 17 representa o quadro de responsabilidades envolvidas no trabalho.

1- Grupo de melhoria contínua

2- Supervisão da linha

3- Representantes das áreas

Etapa	Descrição	Atribuições
1	Definir a célula	1
2	Especificar a eficiência dos equipamentos	1
3	Analisar a capacidade dos recursos	1
4	Definir a demanda imposta a cada eqpt°	1
5	Identificar máquinas críticas	1
6	Operacionalizar o dimensionamento	2
7	Atendimento à demanda	1-2
8	Alocar pessoas e máquinas	2
9	Priorizar e planejar as melhorias	1-2-3
10	Executar planos de ação de melhorias	1-3
11/12	Analisar resultados	1-2-3

Quadro 15: Quadro de Atribuições

Fonte: Elaborado pelo autor

¹⁹ A planilha utilizada na pesquisa como base de cálculo da etapa de operacionalização esta no Anexo C.

Esta seção apresentou o método de gestão para a análise e dimensionamento de células de produção, no qual foram descritos os passos para o desenvolvimento das atividades. Cabe referenciar através dos itens de avaliação a necessidade de medir os resultados através de indicadores de desempenho conforme tratado no seguinte tópico.

5.3 OS INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho, na proposta de método, têm a função de:

- 1) Permitir uma análise crítica dos resultados;
- 2) Permitir a tomada de decisão baseada sobre os resultados obtidos.

Os principais aspectos a serem monitorados pelos indicadores de desempenho sugeridos na proposta de método são:

a) Controle e monitoramento dos índices de índice de rendimento operacional global (IROG) dos equipamentos de todos os recursos que compõem a célula em especial das máquinas críticas.

O conhecimento da eficiência de cada equipamento levará ao conhecimento das causas mais impactantes de perda de produtividade. Através da coleta dos registros dos dados, feitos pelo operador, é possível saber se determinadas máquinas possuem problemas como: falta de manutenção, *setup* demorado, geração de produtos não conformes, e falta de treinamento do operador.

O objetivo desse controle visa direcionar a implementação de melhorias e garantir a sustentação ao longo do tempo.

b) Monitoramento da produtividade da mão de obra

Através do adequado dimensionamento da célula, com operadores multifuncionais e operações padrão definidas, é possível saber se a utilização dos operadores resulta na produção esperada. É possível acrescentar ou retirar

peças de acordo com a variação de demanda e mesmo com variações do tempo de ciclo de diferentes produtos que entram na mesma célula. É considerada a eficiência de utilização da mão de obra como indicador para o monitoramento da produtividade. Esta possibilidade é referenciada com base nos tempos manuais na operacionalização do método, utilizados na planilha Excel, como forma de cálculo, usados nesta pesquisa.

É sugerido nesta proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção a mensuração da eficiência de utilização da mão-de-obra. A equação (8) define a eficiência da mão-de-obra (ANTUNES et al., 2008) :

$$\mu_g^{mobra} = \frac{\sum_{m=1}^k \left(\sum_{i=1}^n tp_{manual_{i,m}} \cdot q_{i,m} \right)}{\sum_{m=1}^k N_m \cdot J_m} \quad (8)$$

Onde:

μ_g^{mobra} - grau de utilização da mão-de-obra (adimensional)

$tp_{manual_{i,m}}$ - taxa de processamento manual do item “i” no equipamento “m” (unidade de tempo por unidade de produção).

$q_{i,m}$ - quantidade produzida do item “i” no equipamento “m” (unidade de produção)

N_m - número de operadores alocados no equipamento “m” (unidade de operadores)

J_m - jornada de trabalho dos operadores alocados ao equipamento “m” (unidade de tempo)

Antunes et al. (2008) consideram que a análise da eficiência de utilização da mão de obra é relevante para casos associados a linhas de montagem não automatizadas. Também é considerado por Antunes et al. (2008) que o resultado

da utilização da mão de obra (pessoal) faz sentido tanto para recursos individuais (máquinas) , como para espaços definidos de trabalho como células, seções, minifábricas.

c) Monitoramento da qualidade dos produtos

A geração de defeitos está ligada a erros que necessitam ser estudados individualmente no equipamento em que foram gerados. As perdas por sucateamento de peças geram a perda do material da peça, do tempo produtivo que consumiram na célula e do consumo de ferramentas e materiais auxiliares. Especialmente com relação ao cálculo do IROG do recurso gargalo é recomendado que a quantidade de itens refugados nas operações após o gargalo seja considerado no cálculo do fator $\mu 3$ (gargalo), como forma de considerar na eficiência do gargalo as peças que deixaram de ser produzidas na célula como um todo.

O Quadro 16 apresenta os indicadores sugeridos.

Indicador	Descrição	Unidade	Coleta dos dados	Frequência de análise
IROG	Eficiência global dos equipamentos	%	Diária	Semanal
Produtividade da Mão-de-obra	Eficiência de utilização da mão-de-obra	%	Diária	Semanal
Qualidade	Quantidade de itens defeituosos por equipamento	%	Diária	Semanal

Quadro 16: Apresentação de indicadores para célula de produção

Fonte: Elaborado pelo autor

O capítulo 5 apresentou a proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção. Com base no desenvolvimento da proposta é possível entender que a análise e dimensionamento de células de produção requerem a ligação a uma estrutura de suporte de melhoria contínua. Também parece possível admitir que o processo adequado de monitoramento por meio de um método de análise, pode explorar as capacidades existentes, otimizando a utilização dos recursos disponíveis na empresa.

6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E POSSIBILIDADES DE DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS FUTURAS

6.1 CONCLUSÕES

O aproveitamento dos recursos materiais e humanos se reveste de importância na medida em que as reduções de custos e dificuldades de investimento se tornam mais presentes no ambiente produtivo das empresas. O estudo apresentou uma proposta de método para análise e dimensionamento de células de produção considerando a agregação de ideias ao contexto relativo à manufatura celular. Com base nos objetivos específicos inicialmente propostos na pesquisa é possível estabelecer as conclusões de acordo com os resultados obtidos.

Os aspectos gerais dos métodos para análise e dimensionamento de células de produção foram analisados segundo a visão de autores, visando conhecer as características comuns no desenvolvimento das etapas e também as possíveis deficiências existentes. Este objetivo foi alcançado através da pesquisa bibliográfica considerando as etapas propostas por cada autor na forma de método. Foi possível verificar e comparar os diferentes focos de atenção conforme a visão dos autores pesquisados. Através da comparação das propostas dos autores foi possível identificar as características fundamentais que fazem parte do contexto da manufatura celular. Através do conhecimento das características influentes no dimensionamento de células foram referenciados os modos de aplicação e os resultados esperados de acordo com as propostas de cada método. Estes objetivos foram formaram a base para abordagem aos casos estudados e como tal foram considerados atingidos correspondendo ao primeiro e segundo objetivos específicos respectivamente nesta pesquisa.

O terceiro e quarto objetivos específicos foram lançados com vista a exploração de idéias com base nas práticas adotadas em ambientes produtivos. O estudo de casos múltiplos envolveu dois ambientes distintos, nos quais se objetivou primeiramente, conhecer as possibilidades de melhoria em um método

utilizado de dimensionamento de células (caso da empresa “A”). Na sequência foi explorado um contexto no qual foi pretendido definir o ambiente adequado ao desenvolvimento de uma proposta de método (caso da empresa “B”) sentido de necessitar de uma orientação metodológica para o estabelecimento desta prática. Esses ambientes foram pesquisados tendo como referência os itens de avaliação, onde foram verificadas: i) a estrutura de apoio necessário ao desenvolvimento e apoio ao processo de melhoria contínua; ii) a análise e o dimensionamento de células; iii) os indicadores de desempenho.

No caso do terceiro objetivo específico referenciado na empresa “A” foram estudados dois tipos de células, dimensionadas à luz de um método reconhecido no meio industrial (ROTHER; HARRIS, 2002) e adotado pela empresa. Essas células, com características operacionais diferenciadas, apresentaram pontos questionáveis como:

- 1) O tratamento adequado às ineficiências do sistema, visto que, o ambiente produtivo é complexo e sujeito a diversos tipos de variações;
- 2) As alterações de demandas que podem surgir em situações onde não há um nivelamento de produção no sentido de reduzir os impactos dos pedidos;
- 3) As situações em que diferentes produtos podem interferir no ritmo de produção por terem diferentes características dimensionais.

Frente a esses questionamentos e embasado em conceitos teóricos foi possível analisar as adaptações feitas ao método utilizado na empresa “A”. Essas adaptações foram:

- a) A introdução da análise das eficiências dos equipamentos através do IROG

Esta abordagem permitiu reconhecer alguns aspectos como:

- 1) A importância do acompanhamento diário do desempenho de máquinas e equipamentos;

2) A necessidade de desenvolver uma estrutura física e de pessoal para tratar as ineficiências e viabilizar o processo de melhoria contínua;

3) A interpretação de, forma clara, da influência que as ineficiências trazem ao sistema, permitindo estabelecer de forma robusta a necessidade de investimentos em melhorias;

4) O desenvolvimento da visão de que as restrições estão ligadas a capacidades temporais.

b) O desenvolvimento de uma forma que possibilitasse adequar o número de operadores e máquinas às variações de demanda e produtos que entram na célula. A implementação desta lógica de cálculo de dimensionamento foi realizada de forma simples, através de uma planilha em Excel, mas que teve efetividade de uso na linha pela supervisão.

As conclusões obtidas, no caso da empresa “A” foram:

1) O índice de rendimento operacional global (IROG), pode ser um indicador da eficiência da célula como um todo e portanto fornecer a capacidade mais próxima da real existente, em determinadas condições de trabalho.

2) A multifuncionalidade é um aspecto fundamental na garantia do fluxo contínuo, onde a variação da demanda poderá originar diferentes ritmos de trabalho (*takt time*) ;

3) A implantação e aprimoramento da operação padrão consiste em uma base de sustentação à multifuncionalidade;

4) Os tempos de ciclo da célula podem variar à medida que diferentes produtos possam entrar na célula, neste sentido a realocação de operadores é uma característica viável e que pode otimizar o aproveitamento do trabalho humano.

5) Comparativamente ao método inicialmente referenciado no estudo de caso da empresa, “A” proposto por Rother e Harris (2002), é possível identificar

que o método proposto para análise e dimensionamento de células neste estudo aborda questões diferenciadas Quadro 17.

Item	Método proposto por Rother e Harris (2002)	Método proposto na pesquisa	Diferencial
Abordagem a melhorias	Redução dos tempos de ciclo Relativas ao ritmo do <i>takt time</i>	Relativas ao aumento da eficiência dos equipamentos	Visão ligada a melhoria contínua e manutenção dos equipamentos
Restrição	Atenção voltada à operação mais lenta	Atenção voltada para as diferenças temporais entre capacidade e demanda	Restrição pode ter origem em pontos aparentemente capazes
Demanda	Constante por um período definido	Variação pode ocorrer em curtos períodos	Possibilidade de ter mais de um <i>takt time</i> (associação ao <i>takt time</i> efetivo)
Tempos de ciclo da célula	Único, dado pela operação mais lenta	Variados e dependentes das características físicas da peça	Possibilidade de ter mais de um tempo de ciclo

Quadro 17: Comparativo entre o método utilizado e o proposto no estudo de caso

Fonte: Elaborado pelo autor

A Empresa “B”, como parte integrante de outro estudo de caso, foi a base de referência para o quarto objetivo específico da pesquisa e forneceu as informações necessárias à formação de uma visão mais precisa dos requisitos necessários ao sistema para a consideração das premissas citadas no estudo. Para o aprimoramento desta visão a análise foi referenciada através dos itens de avaliação, que foram definidos como: a estrutura de apoio, a análise e o dimensionamento das células e os indicadores de desempenho.

As percepções referentes à empresa “B” levaram à entendimentos sobre a determinação de ambientes que necessitam ter um método de abordagem ao trabalho em células, como por exemplo:

- 1) Sistemas produtivos que necessitam de meios que permitam conhecer as capacidades realmente disponíveis nos equipamentos e postos de trabalho;

2) Ambientes em que a identificação dos gargalos é inconsistente e baseada em critérios questionáveis como por exemplo considerar a restrição principal a operação mais lenta ou uma operação muito complexa de ser feita;

3) Empresas em que existam deficiências sobre a visão da gestão de melhorias.

As conclusões obtidas no caso da empresa “B” podem ser expressas da seguinte forma:

1) É necessário uma estrutura de apoio que possibilite a constante avaliação de desempenho das células de produção , como forma de implementar as melhorias necessárias e aumentar a eficiência global dos equipamentos;

2) A consistência do método de análise e dimensionamento de células está ligada a gestão do sistema. O caso estudado na empresa “B” foi baseado na subdivisão das etapas da proposta de método:

a) *As etapas para a gestão de melhorias:* esta etapa consistiu em estabelecer um procedimento de sustentação dos trabalhos de melhoria contínua ao longo do tempo e, com isso, ser a base de sustentação para o dimensionamento das células de manufatura;

b) *As etapas para a gestão dos recursos:* por meio de dados de entrada na produção como a demanda e o *takt time*, foi possível viabilizar as informações para a supervisão da linha.

O motivo mais evidente para a subdivisão do método partiu da idéia de que não seria adequado tratar isoladamente a questão de análise e dimensionamento de células sem conectar a um processo de monitoramento do desempenho e melhoria contínua de forma estruturada.

3) Faz-se necessário a utilização de um conjunto de indicadores que possa avaliar :

- a) a eficiência de utilização dos equipamentos (IROG), o Índice de Rendimento Operacional Global poderá ser utilizado como fator de determinação de capacidade real da célula e dos equipamentos individualmente como forma de visualizar as restrições;
- b) a utilização da mão de obra envolvida em função da demanda, em função da demanda solicitada e da variação do número de operadores é possível calcular o aproveitamento da mão de obra envolvida na célula;
- c) os níveis de produto não conforme gerados na célula (por equipamento), a sucata e retrabalho gerados em cada equipamento devem ser objeto de verificação para a tomada de ações quanto à origem do problema;
- d) os tempos de set up (por equipamento), os tempos de set up de cada equipamento e da célula como um todo deve ser determinado como forma de reduzir os tempos de parada total da célula como forma de melhorar o desempenho.

6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A seguir são apresentadas as principais limitações da pesquisa:

- 1) Não foram possíveis apresentações amplas da influência da variação de dimensões físicas sobre o dimensionamento da célula, dificultando a visualização das variações dos tempos de ciclo em função do produto que entra na célula;
- 2) Não foi possível testar detalhadamente o índice de multifuncionalidade como indicador de desempenho considerado na análise da célula em função do número de operadores sugerido pelo cálculo do dimensionamento;

3) O método proposto tem característica, apenas de melhoria técnica. Não foram levadas em consideração as diretrizes de contratação de mão de obra e de disponibilidade de recursos financeiros para investimento em melhorias, que podem interferir objetivamente no processo de melhoria contínua;

6.3 DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS

O tema que envolve o contexto da manufatura celular é abrangente e, por vezes, complexo de ser tratado, pois envolve desde a disciplina na aplicação das técnicas, passando pelos requisitos de atendimento às características da qualidade do produto, metas de produção, manutenção dos equipamentos até investimentos financeiros relevantes. Algumas possibilidades de desenvolvimentos de trabalhos futuros são apresentadas a seguir:

- 1) É percebida uma necessidade de análise mais profunda da influência das variabilidades em ambientes produtivos, em especial em células de produção. O conhecimento e controle das fontes de variabilidade são fundamentais para o gerenciamento e planejamento da produção. Estudos neste sentido são essenciais para a melhoria do método proposto;
- 2) Propor novos métodos de projeto e dimensionamento de células de manufatura que levem em consideração a influência do *setup* (em quantidade e duração) e a possibilidade de trabalhar com desacopladores, como ponto de vista alternativo ao fluxo unitário de peças;
- 3) Desenvolvimento de métodos que considerem um sistema computacional específico para a simulação do adequado dimensionamento de operadores e máquinas sob as influências da eficiência global dos equipamentos (IROG) ; as variações de demanda e as variações dimensionais de produtos que compõem a célula.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES JR., José Antonio Valle. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1-18, abr. 2001.

_____. Desenvolvimento de uma Análise Comparativa de Métodos de Identificação, Análise e Solução de Problemas. Porto Alegre, UFRGS, Programa de pós-graduação em Engenharia de produção, dissertação de mestrado, 1996.

ANTUNES, J. A. V. et al. **Sistemas de Produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

BERTRAND, Yves; GUILLEMET, Patrick. **Organizações**: uma abordagem sistêmica. Lisboa: Instituto Piaget, 1988.

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

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC**: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni/Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.

CERVO, L.; BERVIAN, P. **Metodologia Científica**: para uso dos estudantes universitários. 3. ed. São Paulo: Mc Graw- Hill do Brasil, 1983.

CHENG, C.; MILTENBURG, J.; MOTWANI, J. The Effect of Straight-and U-Shaped Lines on Quality. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 3, 2000.

DROLET, J.; ABDULNOUR, G.; RHEAULT M. The Cellular Manufacturing Evolution. **Computers Ind. Engng**, v. 31, 1996.

EDWARDS, D. K.; EDGELL, R. C.; RICHA, C. E. Standard Operation: the key to continuous improvement in a Just-in-time Manufacturing System. **Production and Inventory Management Journal**, third quarter, p. 7-13, 1993.

FAZAKERLEY, G. Margaret. A Research Report on the Human Aspects of Group Technology and Cellular Manufacture. **International Journal of Production Research**, v. 14, n. 1, p. 123-134, 1976.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda Ferreira. **Dicionário Aurélio Eletrônico Século XXI**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FORD, H. **Hoje e Amanhã**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1927.

GHINATO, Paulo. **Elementos Para a Compreensão de Princípios Fundamentais do Sistema Toyota de Produção**: “Autonomação” e “Zero Defeitos”. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 1994.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de produção**: mais do que simplesmente Just-in-time. Caxias do sul: EDUCS, 1996.

GIL, Antonio Carlo. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002-2007.

ISHIKAWA, Kaoru. **What is Total Quality Control? The Japanese way**. Tokyo: prentice-Hall of Japan, 1985.

HOOP; SPEARMANN. **Factory Physics**, 2000.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. **Operations Management: strategy and Analysis**. New York: Addison-Wesley, 1999.

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

MARCONI, A.; LAKATOS, E. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005-2008.

MILTENBURG, J. One-piece flow Manufacturing on U-shaped Production Lines: a tutorial. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 33, p. 303-321, 2001.

MONDEN, Y. Balancing U-lines in a Multiple U-line Facility. **European Journal of Operational Research**, n. 109, p. 04-309, 1998.

_____. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: IMAM, 1984.

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

OISHI, M. **TIPS - Técnicas Integradas na Produção e Serviços**: teoria e prática. São Paulo: Pioneira, 1995.

OLORUNNIWO, F.; UDO, G. The Impact of Management and Employees on Cellular Manufacturing Implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 76, p. 27-38, 2002.

ROESCH, S. M. A. **Projeto de Estágio do Curso de Administração**: guia para pesquisas, projetos, estágios e trabalhos de conclusão de curso. São Paulo: Atlas, 1996.

_____. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 1999.

ROTHER e HARRIS. **Criando Fluxo Contínuo**. São Paulo: Lean institute Brasil, 2002.

SANTOS, Antônio Raimundo dos. **Metodologia Científica**: a construção do conhecimento. 2. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.

SEKINE, Kenichi. **Cell Design for Transforming the production Process**. Productivity press, 1990.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina**. São Paulo: Best Seller, 1990.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SCHONBERGER, Richard J. **Fabricação Classe Universal**. São Paulo: Pioneira, 1988.

SLOAN ,ALFRED P. **Meus anos com a General Motors**. São Paulo : Negócio editora,2001.

SHONBERGER, Richard J. **Fabricação Classe Universal: a próxima década**. São Paulo: Pioneira, 1997.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

TRANSFIELD, D.; SMITH, S. Organization Design for Teamworking. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 5, p. 471-491, 2002.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROSS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

_____. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE

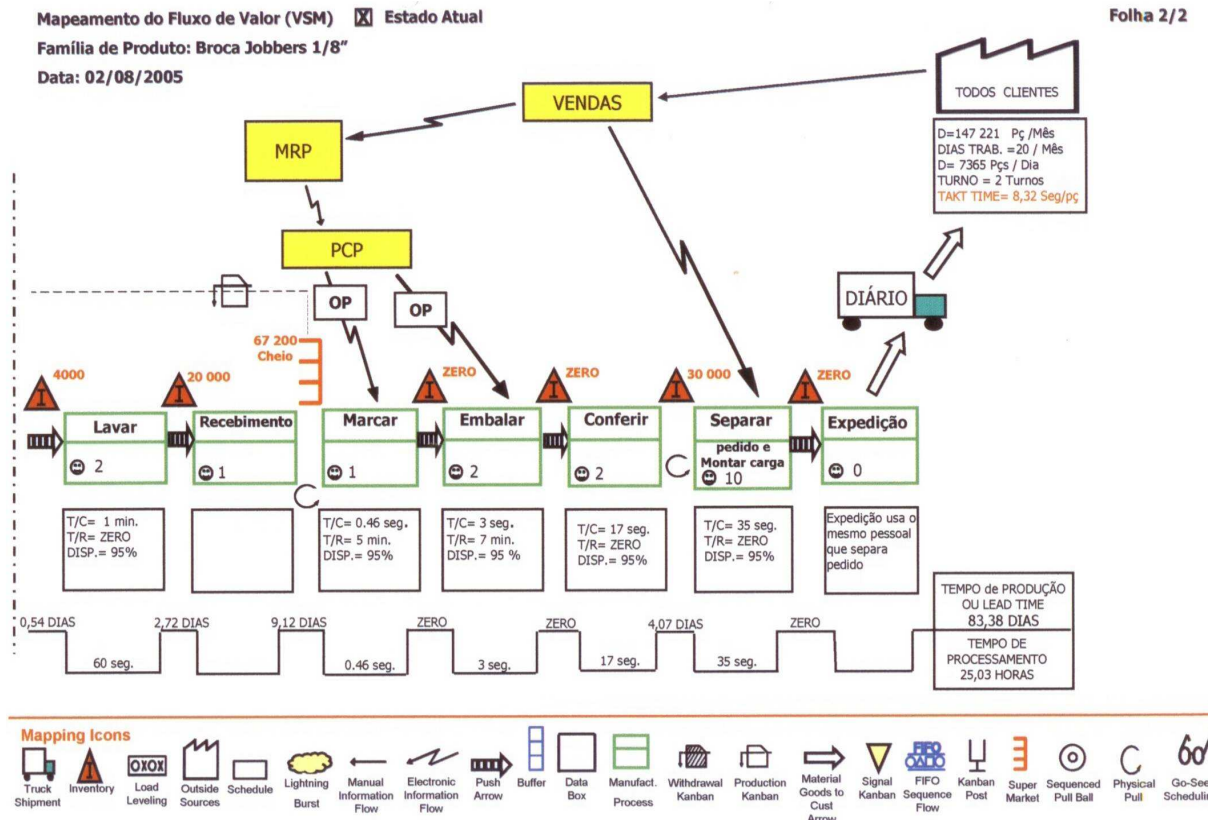
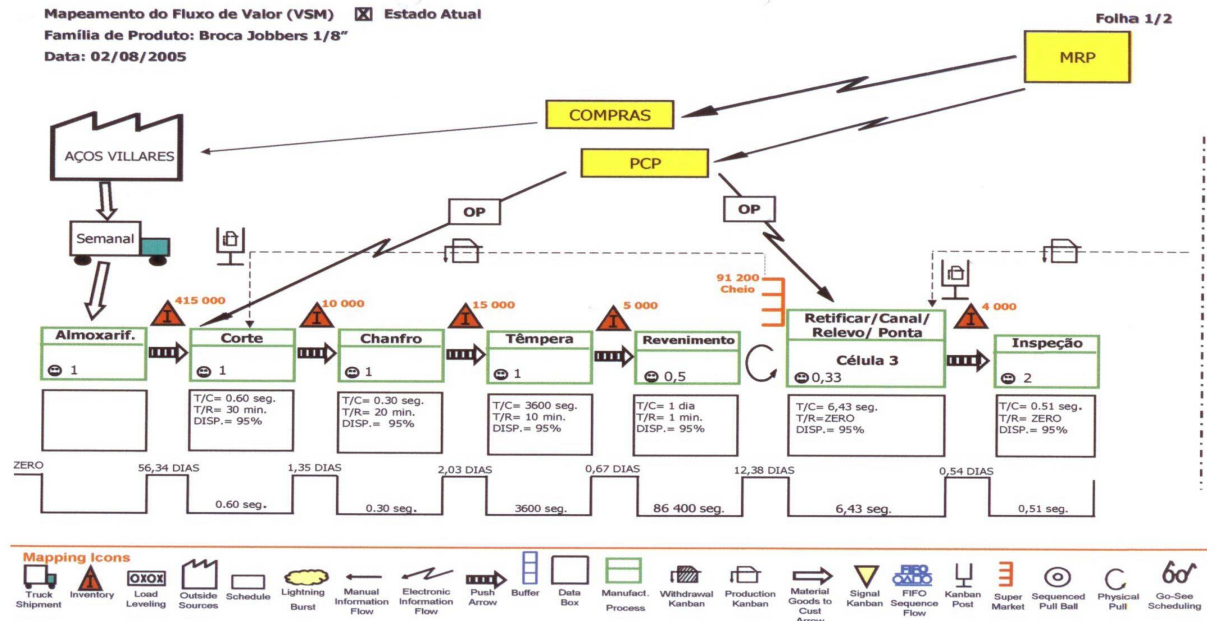
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO UTILIZADO NAS ENTREVISTAS DO ESTUDO DE CASO (EMPRESA “B”)

PERGUNTAS

1. Qual a sua visão sobre o conceito de manufatura celular e como ela se insere na organização?
2. Como você percebe a relação qualidade x fluxo contínuo de peças?
3. Como você entende que deva ser a estrutura para suportar a manufatura celular na organização?
4. Quais os indicadores que você considera para serem usados?
5. Como você percebe a influência dos equipamentos no desempenho da célula de produção?
6. Como você percebe o trabalho com lotes grandes?
7. Qual a influência que as técnicas de manufatura celular poderão ter para impulsionar mudanças na forma de trabalhar?
8. Quais os fatores que você considera relevante para o aumento da produtividade na manufatura da empresa?
9. Descreva de acordo com seu entendimento o conceito de gargalo de produção.
10. Quais os passos futuros que você considera importante no desenvolvimento das células de produção na empresa?

ANEXOS

ANEXO A – EXEMPLO DE VSM (MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR) PARA A CÉLULA DE AÇO RÁPIDO



**ANEXO B – FOTOS ILUSTRATIVAS DA CÉLULA DO AÇO RÁPIDO
(EMPRESA “A”)**



ANEXO C – EXEMPLO DE PLANILHA EXCEL ELABORADA COMO ADAPTAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO (EMPRESA “A”)

Microsoft Excel - PLANILHA DE CÁLCULO PARA O DIMENSIONAMENTO

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

U12 0

DIMENSÕES DO GRUPO				PEÇA 1				PEÇA 2				PEÇA 3				PE		
ENTRAR COM O VALOR DA DEMANDA				DEMANDA :		5000	PCS	DEMANDA :		5000	PCS	DEMANDA :		5000	PCS	DEMANDA :		
ENTRAR COM O VALOR DO TAKT TIME				TAKT TIME CALCULADO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME CALCULADO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME CALCULADO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME CALCULADO		
ENTRAR COM O TEMPO DE CICLO DA CÉLULA				TEMPO CICLO CÉLULA		15,00	SEG. / PC	TEMPO CICLO CÉLULA		15,00	SEG. / PC	TEMPO CICLO CÉLULA		15,00	SEG. / PC	TEMPO CICLO CÉLULA		
DESCRÇÃO DA FAMÍLIA DE PRODUTOS				TAKT TIME EFETIVO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME EFETIVO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME EFETIVO		15,00	SEG. / PC	TAKT TIME EFETIVO		
				CAPACIDADE NOMINAL		240,00	PC/H	CAPACIDADE NOMINAL		240,00	PC/H	CAPACIDADE NOMINAL		240,00	PC/H	CAPACIDADE NOMINAL		
				CAPACIDADE REAL		0,00	PC/H	CAPACIDADE REAL		0,00	PC/H	CAPACIDADE REAL		0,00	PC/H	CAPACIDADE REAL		
				HORAS NECESSÁRIAS NOMINAIS		20,83	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS NOMINAIS		20,83	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS NOMINAIS		20,83	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS F		
				HORAS NECESSÁRIAS REAIS		####	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS REAIS		####	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS REAIS		####	HORAS	HORAS NECESSÁRIAS F		
				CRONOANALISADO		Necessidade		CRONOANALISADO		Necessidade		CRONOANALISADO		Necessidade		CRONOANAL		
				irog	TM	TH	capac.	Máq.	Hom.	irog	TM	TH	capac.	Máq.	Hom.	irog	TM	TH
01	10	01	OPERAÇÃO 1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	20	01	OPERAÇÃO 2	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	30	01	OPERAÇÃO 3	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	40	01	OPERAÇÃO 4	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	50	01	OPERAÇÃO 5	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	60	01	OPERAÇÃO 6					0,00	0,00						0,00	0,00		
01	70	01	OPERAÇÃO 7	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	80	01	OPERAÇÃO 8	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
01	90	03	OPERAÇÃO 9					0,00	0,00						1,00	0,00	0,00	0,00
01	100	01	OPERAÇÃO 10	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
							TOTAL	0,00	0,00				TOTAL	0,00	0,00			

PROCESSOS EM CÉLULA

EXEMPLO DE PLANILHA DE CÁLCULO /

Desenhar AutoFormas

Pronto

MAIÚ

ANEXO D – CÉLULA DO CILINDRO DE CARABINA (EMPRESA “B”)

Foto ilustrativa mostrando os equipamentos da célula do cilindro de carabina

