

Perdas de produtividade devido à produção de peças defeituosas: um estudo de caso no setor de montagem em uma indústria fabricante de máquinas têxteis

Losses of productivity due the production of defective parts: a study of case in the sector of assembly in an industry manufacturer of textil machines

Mário Vieira Jacques Neto ^(a)

(a) Administrador e técnico em mecânica, mestre em Engenharia de produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). mario.jacques@truetzschler.com.br

Resumo

O presente artigo trata de uma análise das perdas da produtividade durante o processo de um conjunto de operações em uma indústria de máquinas de têxteis. Esta análise está relacionada com os conceitos da produção magra, em particular as perdas devido à produção de produtos com defeitos. Por meio da identificação dos defeitos, foi medido o tempo desperdiçado para a correção das peças, esta, uma vez desperdiçada, indica o valor para determinar as perdas da produtividade. Quando os defeitos foram identificados e as perdas foram determinadas, os defeitos tornaram-se repetitivos e relacionavam-se aos processos, o que tornou possível encontrar as causas da raiz dos defeitos. Uma planta da intervenção foi traçada aos processos críticos, a partir do que se obteve uma redução significativa dos defeitos e das perdas além de uma melhoria nos processos.

Palavras-chave: Perdas. Produtividade. Melhoria do Processo. Produção Magra.

Introdução

As empresas hoje estão inseridas em um ambiente de alta competitividade em que a velocidade das mudanças tecnológicas e organizacionais ocorrem com muita rapidez, e para sobreviver às mudanças é

necessário focar-se na qualidade visando basicamente a satisfação dos clientes e racionalização dos processos produtivos, que geram, conseqüentemente, aumento da produtividade.

O Sistema de Produção Enxuta também chamado de Sistema Toyota de Produção (STP), constitui-se em uma importante ferramenta para o desenvolvimento da Competitividade Empresarial. Seu objetivo principal é aumentar o lucro através da constante redução de custos. Para que esse objetivo seja alcançado, é necessário identificar e eliminar as atividades que não agregam valor ao produto, que são identificadas como perdas (Ghinato, 1996).

A análise das perdas, visando eliminá-las, está intimamente ligada à questão da qualidade. Com a redução das perdas, a empresa poderá gerar recursos que servirão para alavancar seu sistema de qualidade, transformando essa redução de custos em investimentos em qualidade que trarão benefícios capazes de suplantar, no futuro, os gastos iniciais na implantação das melhorias (Robles, 1994).

A base do STP é a eliminação completa do desperdício. Além delas, outros dois pilares sustentam o STP, sendo essenciais para o seu funcionamento: i) o *Just-in-time* (JIT) e ii) a Autonomia ou automação com um toque humano. Além dos dois pilares, três princípios básicos de construção são importantes para o seu eficaz funcionamento: i) mecanismo da função produção (MFP); ii) princípio do não custo e iii) análise das perdas nos sistemas produtivos (Ghinato, 1996; Falcão, 2001).

A seguir é apresentada a conceituação das sete perdas, definidas pelo STP, com enfoque nas perdas devido à fabricação de produtos defeituosos.

As sete perdas nos sistemas produtivos

Na análise das perdas deve-se ter em mente a eliminação total dos desperdícios. Essa análise somente fará sentido à medida que haja uma redução de custos, de modo que se produza apenas o que se necessita, usando

o mínimo de recursos. Shingo classificou as perdas em sete grupos dentro do Sistema Toyota de Produção (Ohno, 1997; Shingo, 1996):

Perda por superprodução

As perdas por superprodução podem ser de dois tipos, quantitativa e por antecipação. (i) Quantitativa, quando se produz além da quantidade necessária, o que resulta na sobra de produto e (ii) por antecipação, quando se produz antecipadamente, incorrendo em produtos parados no estoque que requerem maior espaço de armazenamento, aumento de controles, maior utilização de mão-de-obra e maior refugo ou retrabalhos.

Essas perdas podem ser eliminadas otimizando-se o sistema de trocas de setup, sincronização da produção, flexibilização do fluxo de fabricação de peças unitárias e pequenos lotes.

Perda por transporte

As atividades de transporte não agregam valor ao produto sendo que através de melhorias no *layout* elas podem ser eliminadas.

Perda por processamento em si

Consiste em processamentos desnecessários para que o produto ou serviço adquira suas características de qualidade. Deve-se procurar eliminar as etapas do processo que são dispensáveis para que se atinjam as características básicas do produto ou serviço. Essa perda pode ser eliminada usando-se: engenharia de valor, que tem como premissa questionar porque determinado produto ou serviço deve ser produzido; análise de valor, que questiona os métodos a serem utilizados na produção de produtos ou serviços.

Perda por fabricação de produtos defeituosos

A produção de peças, subcomponentes e produtos acabados fora dos limites das especificações de projeto resultam em refugo ou retrabalhos. Os retrabalhos geram custos adicionais tais como: inspeção; reprocessamento e

até perdas no valor de venda. No caso de refugo, a empresa além de perder matéria-prima perde também em processamento, custos diretos e indiretos. Se produtos não-conformes não forem detectados e chegarem ao cliente, essa perda terá proporções bem maiores como o comprometimento da imagem da empresa (Deon, 2001, p.25).

As perdas geradas pela produção de produtos defeituosos estão relacionadas a todos os subsistemas de gestão da produção. Para o STP esses subsistemas são divididos em: Quebra-Zero pelo do uso do MPT (Manutenção Produtiva Total); Defeito-Zero pelo do uso do CQZD (Controle de Qualidade Zero Defeitos) e Automação; TRF (Troca Rápida de Ferramenta); Operação Padrão; *Layout* celular e produção em fluxo unitário; Sincronização e Melhorias Contínuas. Isso comprova a relação entre as melhorias de qualidade com os aspectos ligados à produtividade (Antunes Júnior; Klippel, 2002)

Para a eliminação dos defeitos que geram refugos ou retrabalhos deve-se realizar inspeções com objetivo de prevenir a reincidência dos defeitos e não somente identificá-los. A fim de agir de forma eficaz sobre as perdas de produtos defeituosos não basta somente proceder a identificação dos produtos, o fundamental é reconhecer as causas e agir corretivamente sobre elas como forma de prevenção (Antunes Júnior ; Klippel, 2002).

Para o STP, a eliminação desse tipo de perda é feita pelas inspeções 100%, que são mais efetivas do que as inspeções por amostragem. Nesse caso, o controle na fonte e auto-inspeção são muito eficazes (Shingo, 1996). Já para Ribeiro (2001) as inspeções 100% tomam muito tempo e recursos e não promovem melhoria de processo, além de subordinar o desempenho dos operadores e do processo às inspeções.

Segundo Ribeiro (2001), deve-se optar pelo controle estatístico do processo a inspeção 100% pelas seguintes vantagens: (i) o monitoramento é feito pelos próprios operadores; (ii) distinção clara entre causas especiais e comuns; (iii) visão clara do processo, que possibilita melhor alocação de recursos; (iv) alta qualidade, baixo custo unitário, estabilidade e previsibilidade.

Perda por movimentação

São as perdas geradas por movimentos improdutivos nas atividades de produção. Para diminuir a incidência dessa perda deve-se analisar os postos de trabalho visando à melhoria dos movimentos, uma vez que a automação tem papel muito importante em sua simplificação.

Perda por estoque

Há dois tipos de estoques que geram perdas segundo o STP, estoque de produtos em processo, e estoque de produtos acabados. Quando se mantêm altos estoques de produtos em processo ou acabados isso pode ocasionar um prejuízo financeiro, perda de mercado por manter altos estoques de um determinado produto e necessidade de produzir outro, além de ser uma forma de se esconder os problemas.

Eliminar essas perdas significa reduzir os estoques ao mínimo possível, à medida que os estoques diminuem, mais confiáveis deverão ser os controles, o que, conseqüentemente, melhora todo o processo. A introdução de métodos de trabalho como JIT (*Just-in-time*) foi um dos grandes responsáveis pela redução dos estoques e contribui também para a redução de custos, flexibilidade, transparência nos processos, tornado os problemas mais visíveis (Nakagawa *apud* Deon, 2001, p. 26).

Perda por espera

No passado, era útil manter estoques, pois as trocas de setup demandavam muito tempo. Desde o desenvolvimento do sistema de troca rápida de ferramenta não há mais motivo de se manter estoques que significam desperdícios. Assim, longos tempos destinados à preparação de máquinas geram perda por espera, além de outras causas como: quebra de máquina; falta de matéria-prima; falta de sincronismo; paradas para inspeção, etc.

A equalização e sincronização entre processos podem eliminar as esperas, enquanto que as operações de fluxo de peças unitárias acabam com

as esperas de lote. Essas medidas demandam uma melhoria de *layout*, pois aumenta a frequência de transporte.

A Figura 1 mostra de forma sucinta um modelo de como as perdas estão alocadas na produção e como influenciam nas operações e processos, indicando, pela visão do STP, as medidas a serem tomadas para sua eliminação.

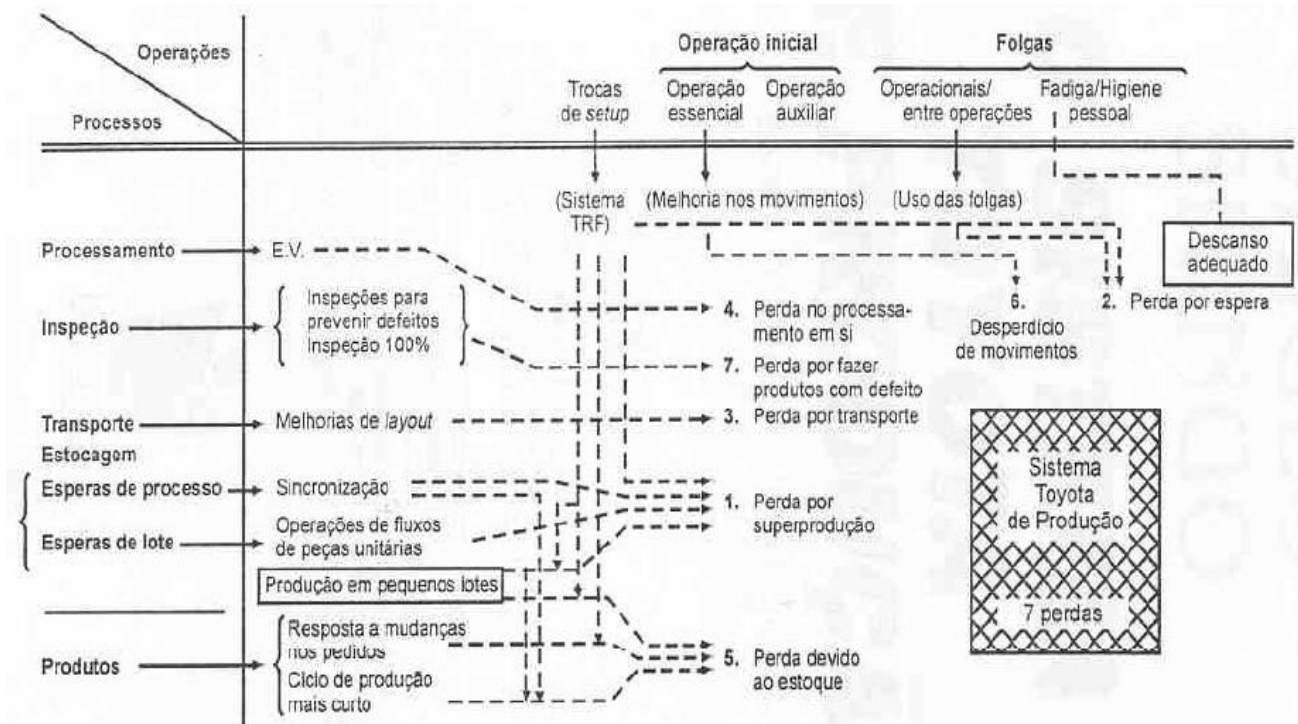


Figura 1 : O Sistema Toyota de Produção e os sete tipos de perdas (Fonte: Shingo, 1996, p. 227)

Tema e objetivos do estudo de caso

As informações para realização do estudo foram levantadas a partir da observação direta das operações de montagem de máquinas no setor, dentro de um prazo estabelecido para a coleta dos dados, com o objetivo de aprofundar os aspectos característicos do estudo proposto.

Delimitação de caso

A delimitação de caso deste trabalho trata das perdas de produtividade do setor de montagem de uma empresa fabricante de máquinas têxteis. A abordagem será fundamentada no conceito das perdas geradas pela produção de produtos defeituosos.

Objetivo principal

O objetivo principal é estudar a redução da incidência de defeitos que geram retrabalhos e refugos na montagem de máquinas da empresa, de modo a analisar as perdas por produção de peças defeituosas, a fim de oferecer subsídios para a redução dos defeitos e identificando os processos que os originaram, assim como propor medidas de melhoria que previnam a reincidência dos defeitos.

Objetivos específicos:

- Identificar e mensurar os defeitos que geram retrabalhos e refugos na montagem;
- Verificar o tempo despendido na montagem para correção dos defeitos;
- Mensurar a perda na produtividade do setor de montagem ocasionada pela correção das peças defeituosas;
- Relacionar os defeitos com os processos internos responsáveis por sua ocorrência;
- Viabilizar a redução dos defeitos na montagem de forma sistemática;
- Propor melhorias nos processos internos para prevenir a reincidência dos defeitos.

O Estudo de caso

O processo estudado neste trabalho foi a montagem final de máquinas dentro da empresa, antes de sua montagem na presença do cliente. Os procedimentos para realização do estudo estão representados em linhas gerais da seguinte forma: (i) descrição do processo de montagem; (ii) identificação dos defeitos e coleta de dados; (iii) média de defeitos por máquina produzida; (iv) mensuração das perdas de produtividade advindas das correções dos defeitos; (v) estabelecimento de meta para redução dos custos gerados pelos defeitos; (vi) priorização das ações; (vii) planejamento das ações; (viii) avaliação dos resultados após a intervenção.

Descrição do processo de montagem

O processo de montagem é a última etapa a ser cumprida dentro do processo produtivo relacionada à fabricação do produto. Trata-se da etapa para onde converge maior parte das peças fabricadas e compradas pela empresa, assim como também a maioria dos defeitos não detectados nos processos anteriores.

Dentro da estrutura de produção da empresa existem vários processos, anteriores à montagem, que atuam como fornecedores de forma indireta e direta, sendo adequada uma breve explanação sobre os principais, a fim de melhor entendimento sobre o cenário abordado pelo estudo.

Planejamento da Produção

O planejamento da produção inicia-se quando um projeto é aprovado pelo departamento de vendas da empresa. É enviado à matriz, na Alemanha, um *layout* provisório de instalação das máquinas, proposto de acordo com as necessidades do cliente, e que engloba as máquinas que deverão ser produzidas. O *layout* definitivo da instalação será determinado pelo setor de projetos da matriz, após análise do projeto provisório.

As máquinas produzidas dependem dos projetos que foram definidos pela matriz, o que determina o sistema de produção por lote. No entanto,

para atender às necessidades de peças de reposição, essas são fabricadas individualmente de máquinas fora de linha, caracterizando o sistema de *jobbing*, pela alta variedade de produção e volume geralmente igual a um. As peças fornecidas a clientes em garantia ou reposição de peças de máquinas em linha são agregadas aos lotes de fabricação destinados a atender os projetos vendidos.

Atualmente, na filial de Curitiba são fabricados aproximadamente vinte tipos de máquinas. Vários projetos são executados simultaneamente para atender diferentes clientes, e, desse modo, para racionalizar a produção, as máquinas são agrupadas em séries que representam diferentes subgrupos de máquinas.

Em uma dada série é agrupado o número de máquinas de um determinado tipo para atender a vários clientes, por exemplo: é produzida uma série de dezesseis máquinas do tipo Carda para atender vários projetos diferentes, pois a máquina Carda é comum a todos eles. Dessa forma, o mesmo processo é feito para as outras máquinas, variando as quantidades por série, de acordo com a necessidade dos projetos a serem desenvolvidos, com o objetivo de racionalizar a produção.

O esquema da Figura 2 mostra de forma sucinta como se dá o planejamento da produção, que visa a melhor utilização dos recursos, produzindo a quantidade adequada no momento certo. Os prazos de entrega dos projetos são negociados de forma a atender melhor a disponibilidade dos recursos da produção e as necessidades dos clientes. Assim, as máquinas componentes de uma determinada série não têm prazos longos de entrega entre uma máquina e outra, evitando que os produtos finais não permaneçam em estoque por muito tempo.

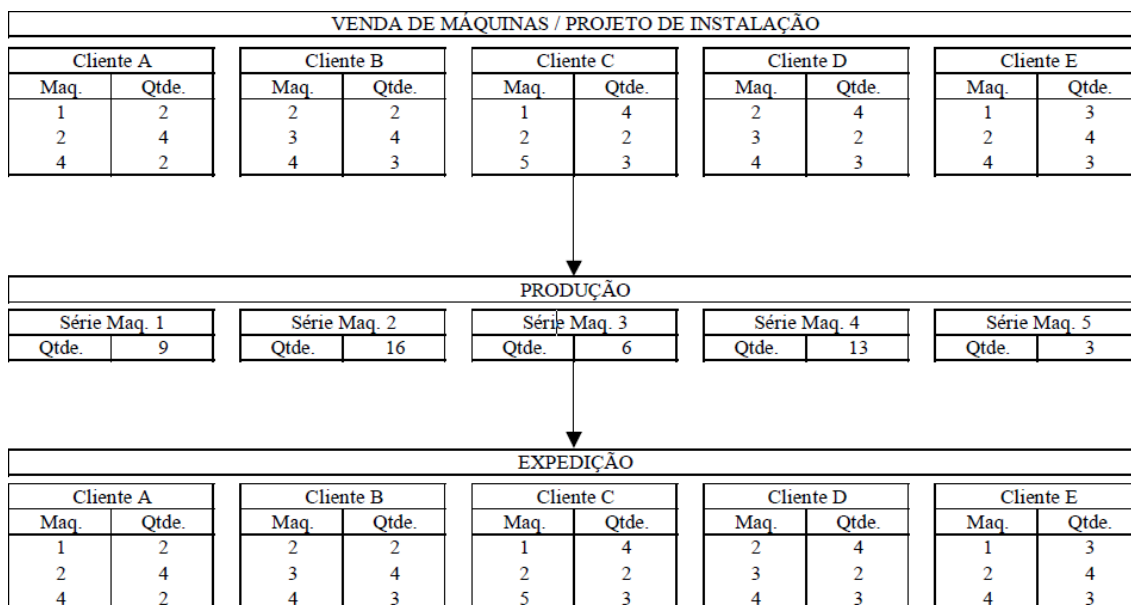


Figura 2 : Exemplo do planejamento da produção por séries

O planejamento da produção é gerenciado por um sistema informatizado central que executa diariamente o carregamento das necessidades de recursos materiais e das máquinas, estabelecendo os prazos para finalização de cada etapa do processo. Esse sistema é caracterizado como produção empurrada, em que cada centro de trabalho executa sua operação sem levar em conta a etapa do processo posterior quanto a sua disponibilidade. A maior consequência percebida na produção, nesse caso, é a grande quantidade de estoque de peças em processo.

Processos fornecedores da montagem

A montagem tem os processos internos de manufatura como principais fornecedores de peças fabricadas. O sistema de manufatura da empresa é, em sua maior parte, caracterizado pelo processo em lotes. Esse sistema de manufatura de peças tem seu arranjo na planta da fábrica, baseado no *layout* por processos, em que as peças se movem através das diversas operações até estarem prontas para serem encaminhadas à montagem. Quanto à origem dos processos ligados à produção, verificam-se os processos diretos e indiretos.

Processos diretos

São responsáveis pela manufatura de peças fabricadas internamente. Esses processos estão dispostos por setores no piso de fábrica, onde estão alocadas necessidades similares de recursos de transformação estão alocadas. Os setores de manufatura ligados diretamente à atividade produtiva dividem-se em: caldeiraria, pintura e usinagem. A Figura 3 mostra os processos subordinados a cada setor.

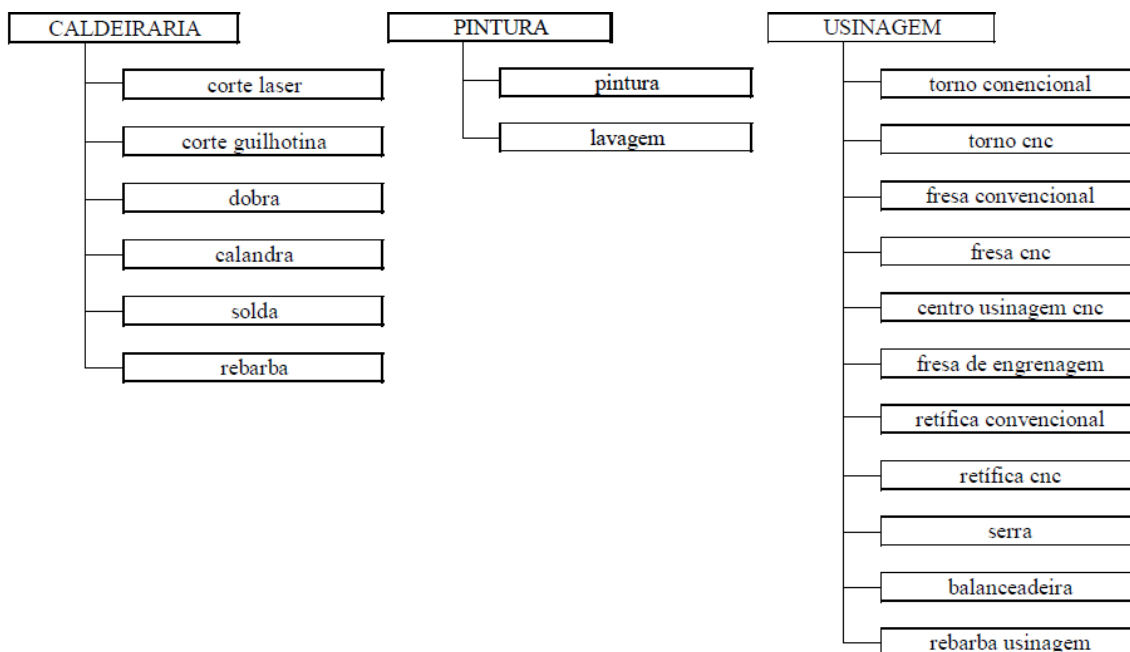


Figura 3: Setores diretos ligados à manufatura de peças

Processos indiretos

Para que todos os processos de manufatura possam realizar suas atividades, é essencial o suporte dado pelos processos indiretos, fornecedores da montagem. Através de suporte técnico e operacional em sua maioria, os processos indiretos auxiliam os processos diretos, intervindo sobre a produção no que diz respeito à programação, qualidade, logística e processos.

A Tabela 1 descreve os diversos processos indiretos da produção e suas atividades de suporte a ela.

Processos	Função
Métodos e Processos	Elabora os planos padrões de trabalho e a estrutura das peças produzidas internamente, faz o seqüenciamento dos processos e atribui tempo padrão às operações. Os planos de trabalho têm como referência os planos desenvolvidos pela matriz da empresa, na Alemanha.
Planejamento	Executam o carregamento no sistema de informação da empresa das máquinas que devem ser produzidas, com seus respectivos prazos de entrega.
Projetos de Instalações	Este processo divide-se em instalações mecânicas e elétricas. A função de ambas é o desenvolvimento de um <i>layout</i> de instalação das máquinas produzidas pela empresa, mais adequado a cada cliente.
Programação CNC (usinagem)	Desenvolve os programas computacionais para a usinagem de peças em tornos automáticos, fresadoras, retíficas e centros de usinagem.
Programação CNC (corte laser)	Desenvolve os programas computacionais para as máquinas de corte a <i>laser</i> do setor de caldeiraria.
Compras	É responsável pela compra das peças que não são possíveis manufaturar internamente. Identifica os fornecedores nacionais de peças e serviços, solicita a importação de peças da matriz da empresa.
Projetos	Desenvolve o projeto e o processo de fabricação das máquinas produzidas pela empresa. Este processo está localizado na matriz da empresa.
Almoxarifado	Responsável pelo armazenamento, conservação, distribuição e controle das peças compradas no mercado nacional e das importadas, no estoque.
Qualidade	Responsável pelo sistema de qualidade da empresa. Executa as inspeções em peças fabricadas, controla as especificações nas peças fornecidas por terceiros. É responsável pela liberação das máquinas na montagem final.

Tabela 1 : Processos indiretos fornecedores e suas funções

Processo de montagem final

Última etapa do processo produtivo realizada dentro da empresa, a montagem final tem como objetivo compor o produto final definido por cada projeto, com as diversas peças fornecidas pelos processos anteriores.

Atualmente a empresa trabalha com uma variedade de cerca de 20 tipos diferentes de máquinas, o que torna o processo de montagem relativamente complexo quanto ao arranjo físico de produção, porém segue o mesmo sistema de produção dos processos fornecedores diretos, ou seja, por processo. O arranjo físico da montagem está dividido por célula de produção em um determinado tipo de máquina e arranjo posicional em outro grupo de máquinas. Além da subdivisão do processo de montagem por *layout*, ainda é subdividido por tipo de máquinas e pré-montagem.

Coleta de dados

O levantamento dos defeitos foi realizado durante os meses de abril e maio de 2002.

Para a execução sistemática da coleta de dados, foram propostas e executadas as seguintes etapas:

- a) Comunicação e conscientização da gerência sobre os objetivos do estudo.
- b) Comunicação e conscientização dos responsáveis pelo setor de montagem a respeito do estudo a ser realizado.
- c) Formação de uma equipe composta por colaboradores da montagem, métodos e processos e qualidade para auxiliar na coleta de dados.
- d) Aplicação de um relatório de defeitos, para preenchimento da equipe durante a verificação dos defeitos na montagem das máquinas. Modelo do relatório conforme apêndice A.
- e) Preenchimento da folha de verificação de cada máquina monitorada com base nas informações coletadas nos relatórios.

Das etapas citadas a mais relevante ao estudo foi o preenchimento do relatório, que apurou informações quantitativas e qualitativas a respeito dos defeitos.

As informações quantitativas são relativas ao número de defeitos e o tempo gasto para corrigi-los. Quanto às qualitativas, foram apurados os efeitos gerados pelas peças defeituosas na montagem e suas causas básicas ligadas aos processos que originaram tais defeitos. As causas básicas foram levantadas com a aplicação do diagrama de Ishikawa sobre os defeitos ocorridos.

Complementando a análise, as medidas a serem tomadas, quanto à ação corretiva sobre os processos, foram colocadas depois de realizada a análise da causa básica. As informações coletadas dos relatórios foram transferidas para a folha de verificação, feitas por tipo de máquina.

Os dados apresentados mostram que há uma concentração de aproximadamente 64% das ocorrências de defeitos em 30% das máquinas monitoradas, e 30% dos processos são responsáveis por gerarem cerca de 77% dos defeitos. De forma similar, gastam-se cerca de 73% dos tempos de retrabalhos em apenas 30% das máquinas, e 30% dos processos geram cerca de 77% do tempo perdido em retrabalho pela montagem. Esses indicadores serão importantes na determinação da priorização sobre os processos críticos.

Média de defeitos por unidade de máquina produzida

Para chegar-se a média de defeitos por unidade de máquina, foi calculado o número de defeitos por unidade de máquina de cada tipo (u) através da equação (1), em seguida, aplicando-se a equação (2), determinou-se a quantidade média de defeitos por máquina (\bar{u}), os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 2.

$$u = c/n \quad (1)$$

u é a quantidade de defeitos por subgrupo

c é o número de não-conformidades

n é o tamanho do subgrupo

Perdas de produtividade devido à produção de peças defeituosas...

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (2)$$

\bar{u} é o número médio de não-conformidades por unidade

c_i é o número de não-conformidades no subgrupo i

n_i é o tamanho da amostra i

k é o número de subgrupos

Máquina	No. de unidades (n)	No. de defeitos (c)	No. de defeitos por unidade (u)
AS/CS	10	130	13,000
MCM	3	39	13,000
HSR	10	113	11,300
CXL	4	32	8,000
LTG	4	32	8,000
DK	16	106	6,625
DFK	16	99	6,188
BDT	6	34	5,667
MFC	15	79	5,267
BOBA	6	25	4,167
FO	2	8	4,000
MS	2	8	4,000
DX	4	12	3,000
PWSE	5	15	3,000
TVK	20	40	2,000
FSK	5	5	1,000
LVSA	40	40	1,000
total	168	817	

Tabela 2 : Freqüência de defeitos por máquina

A média geral de defeitos por unidade de máquina (\bar{u}) obtida com a aplicação da equação (2) foi:

$$\bar{u} = 4,86$$

A distribuição de defeitos por unidade de máquina produzida pode ser visualizada através do gráfico de Pareto, conforme a Figura 4.

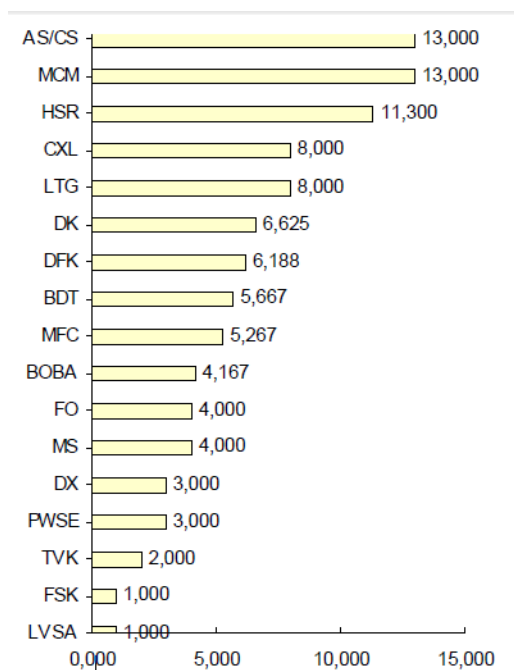


Figura 4 : Gráfico de Pareto para número de defeitos por unidade (u)

Mensuração das perdas na produtividade do setor de montagem geradas pela produção de peças defeituosas

O desperdício de tempo gasto pela montagem na execução de retrabalhos e detecção dos refugos deve ser mensurado, com o objetivo de se avaliar o impacto sobre a produtividade do setor de montagem. O tempo gasto na correção dos defeitos é uma variável que tem uma relação inversamente proporcional à taxa de produtividade do setor de montagem, afetando-a de forma negativa.

Taxa de Produtividade Real

Para se calcular a produtividade do setor de montagem, foi composta uma taxa de produtividade fundamentada na metodologia da empresa e na equação (3):

$$PRODUTIVIDADE = \frac{output}{(input + perdas)} \quad (3)$$

A partir do estudo feito sobre a produtividade definiram-se novas fórmulas relativas aos cálculos da produtividade real, produtividade presumida e a perda de produtividade. Essas novas fórmulas resultam das adaptações feitas sobre a equação (3) a fim de viabilizar sua utilização pela empresa.

Adaptando as variáveis da equação (3) ao cenário da empresa, temos:

- *Output* = horas produzidas pela montagem (*HTM*).
- *Input* = horas planejadas disponíveis de montagem + horas extras (*HDM+HEM*).
- Perdas = horas ausentes na montagem (*ABS*).

Esse método tem como objetivo principal verificar se o setor cumpriu a meta de produção mensal, através da ocupação de 100% de sua capacidade, que é baseada no total de horas disponíveis pela montagem. A equação proposta para a mensuração da produtividade do setor de montagem é apresentada conforme a equação (4).

$$P_{(m)} = \frac{HTM}{HDM + HEM + ABS} \times 100 \quad (4)$$

onde:

- P (m)* = produtividade real da montagem (mês)
- HTM* = horas produzidas pela montagem (mês)
- HDM* = horas disponíveis na montagem (mês)

HEM = horas extras na montagem (mês)

ABS = horas ausentes na montagem (mês)

Os cálculos de *HTM*, *HDM*, *ABS* estão representados pelas equações (5), (6), e (7).

$$HTM = \sum t_{padr\tilde{a}o} \quad (5)$$

$t_{padr\tilde{a}o}$ = tempo realizado na operação de montagem, através das fichas de tempo padrão (mês)

$$HDM = PPM \times HD \quad (6)$$

PPM = pessoal empregado presente na montagem (mês)

HD = total de horas disponíveis na montagem (mês)

$$ABS = \sum THA \quad (7)$$

THA = total de horas ausentes (mês)

Taxa de Produtividade Presumida

Após conhecido o índice de produtividade mensal do setor, o próximo passo para se mensurar as perdas geradas na produtividade pelos defeitos, é descobrir qual seria a produtividade que o setor alcançaria se os tempos perdidos em correção dos defeitos fossem efetivamente gastos em operações de montagem, ou seja, uma taxa de produtividade presumida $P_{(m+r)}$ através da equação (8).

$$P_{(m+r)} = \frac{HTM + HRM}{HDM + HEM + ABS} \times 100 \quad (8)$$

onde:

$P_{(m+r)}$ = produtividade presumida da montagem considerando os tempos perdidos com correção dos defeitos (mês).

HRM = horas gastas na correção dos defeitos na montagem (mês).

Na composição do cálculo da produtividade presumida, as horas perdidas com retrabalhos e detecção de refugos foram somadas às horas totais de montagem ($HTM+HRM$), em vez de serem somadas às perdas no denominador ($ABS+HRM$). Isto porque as horas totais de montagem (HTM) são o somatório dos tempos padrões realizados. Supondo que não haja horas perdidas na correção dos defeitos (HRM), conseqüentemente realizar-se-iam mais tempos padrões, portanto, a produtividade presumida seria uma produtividade ótima alcançada pela eliminação dos defeitos na montagem.

É importante salientar que diminuindo o desperdício de tempo gasto em retrabalhos e detecção de refugos, a empresa terá ganhos em sua produtividade. Porém esses ganhos não serão necessariamente iguais ao valor perdido pela correção dos defeitos, pois a taxa de produtividade é influenciada também pela variável de horas ausentes (ABS).

A Figura 5 mostra os dados coletados e os resultados das taxas de produtividade referentes aos meses de abril e maio de 2002.

Dados para cálculo da taxa de produtividade	Valores em horas referentes a abril e maio 2002
HTM	8860,59
HRM	104,45
HDM	6670,40
HEM	29,77
ABS	133,69
P(m)	129,66%
P(m+r)	131,19%

Figura 5: Resultado apurado sobre a produtividade média real e presumida referente aos meses de abril e maio de 2002

Taxa de Perda de Produtividade

A taxa de perda de produtividade devido à produção de peças defeituosas será dada pela relação entre a produtividade real ($P(m)$) e a

produtividade presumida ($P(m+r)$), que considera as horas gastas com retrabalhos, conforme indica a equação (9).

$$(\%)PP_{mont} = \left(1 - \frac{P_{(m)}}{P_{(m+r)}}\right) \times 100 \quad (9)$$

$$(\%)PP_{mont} = \left(1 - \frac{129,66}{131,19}\right) \times 100 = 1,17 \text{ ao mês}$$

Esse percentual indica a parcela do tempo total de montagem, desperdiçado com a recuperação das peças defeituosas e detecção de refugos, o que serve como um alerta para as decisões gerenciais sobre as metas da qualidade. Além disso servirá também como um parâmetro para o estabelecimento de metas futuras.

Meta para redução dos custos gerados pelos defeitos

Os custos provenientes dos defeitos são resultantes dos tempos gastos com os retrabalhos e detecção de peças refugadas no setor de montagem. Os principais fatores para determinação dos custos é o tempo médio gasto nos retrabalhos das peças defeituosas e detecção dos refugos por unidade (\bar{t}) e o custo padrão do centro de custo de montagem ($CP_{(mont)}$).

Através do levantamento do custo médio dos defeitos por unidade foi estabelecido um percentual de redução inicial de 30%. Essa meta foi decidida pela gerência industrial e fundamentada no fato de que as empresas têm atingido entre 25% a 40% de redução dos custos dos defeitos com a aplicação de métodos de análise da causa raiz ou causa básica.

Tempo Médio Gasto com Correção de Defeitos por Unidade (\bar{t})

Pela determinação do valor de (\bar{t}) gerou-se um valor de referência para apuração do custo médio por unidade, aplicando-se a equação (10) obteve-se o seguinte resultado:

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{\sum n} \quad (10)$$

onde:

\bar{t} = tempo médio gasto com correção de defeitos por unidade (min/ud)

n = tamanho do subgrupo de um tipo de máquina (ud)

t = tempo gasto em correção de defeitos por unidade (min/ud)

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{\sum n} = \frac{6267}{168} = 37,30 \text{ min/ud}$$

Custo Médio de Correção de Defeitos por Unidade (CTu)

A partir do cálculo de \bar{t} , aplica-se o custo padrão do processo de montagem, estabelecendo um valor médio do custo dos defeitos. O custo padrão de montagem considerando o valor referente ao período do mês de maio de 2002, onde $CP_{(mont)} = 0,99\text{R}\$/\text{min}.$, aplicando-se a equação (11) obteve-se:

$$CTu = CP_{(mont)} \times \bar{t} \quad (11)$$

onde:

CTu = custo médio de correção dos defeitos por unidade (R\$/ud)

$CP_{(mont)}$ = custo padrão da montagem (R\$/min)

$$CTu = 0,99 \times 37,30 = 36,93 \text{ R}\$/\text{ud}$$

Meta de redução de custos dos defeitos

Para atingir a meta de 30% de redução dos custos dos defeitos gerados durante o processo de montagem, verificou-se através da equação (12) que o custo médio admissível de correção dos defeitos por unidade ($CTu_{(meta)}$) não poderá superar o valor de 25,85 R\$/ud. Dessa forma, o tempo médio de correção dos defeitos por unidade \bar{t} (meta) aplicando-se a equação (13), não pode ultrapassar o valor de para 26,11 min./ud.

$$CTu_{(meta)} = CTu \times (1 - r) \quad (12)$$

onde:

$CTu_{(meta)}$ = custo médio admissível de correção dos defeitos por unidade (R\$/ud.)

r = fator de redução determinado pela gerência.

$$\bar{t}_{(meta)} = \bar{t} \times (1 - r) \quad (13)$$

$\bar{t}_{(meta)}$ = tempo médio admissível gasto na correção dos defeitos por unidade (min./ud.).

Priorização das ações corretivas

No intuito de reduzir a incidência de defeitos e visando estabelecer uma coerência sobre quais máquinas e processos em que se deve agir primeiro, a etapa de priorização estabelece dois aspectos a serem considerados: importância das máquinas ($Ipi_{(maq)}$) e importância aferida dos processos (Ipi^*).

Importância das Máquinas ($Ipi_{(maq)}$)

Através do cálculo da importância $Ipi_{(maq)}$, conforme a equação (14), considerando a relação entre o número de defeitos por unidade (u) e o tempo

gasto na correção dos defeitos (t), obteve-se a priorização das máquinas sobre as quais as ações corretivas deverão ser implantadas primeiramente, conforme mostra a Figura 6.

$$Ipi_{(maq)} = \frac{u_i \times t_i}{100} \quad (14)$$

onde:

$Ipi_{(maq)}$ = importância da máquina i

u_i = quantidade de defeitos por unidade da máquina i (ud.)

t_i = tempo gasto na correção de defeitos por unidade de máquina i (min./ud.)

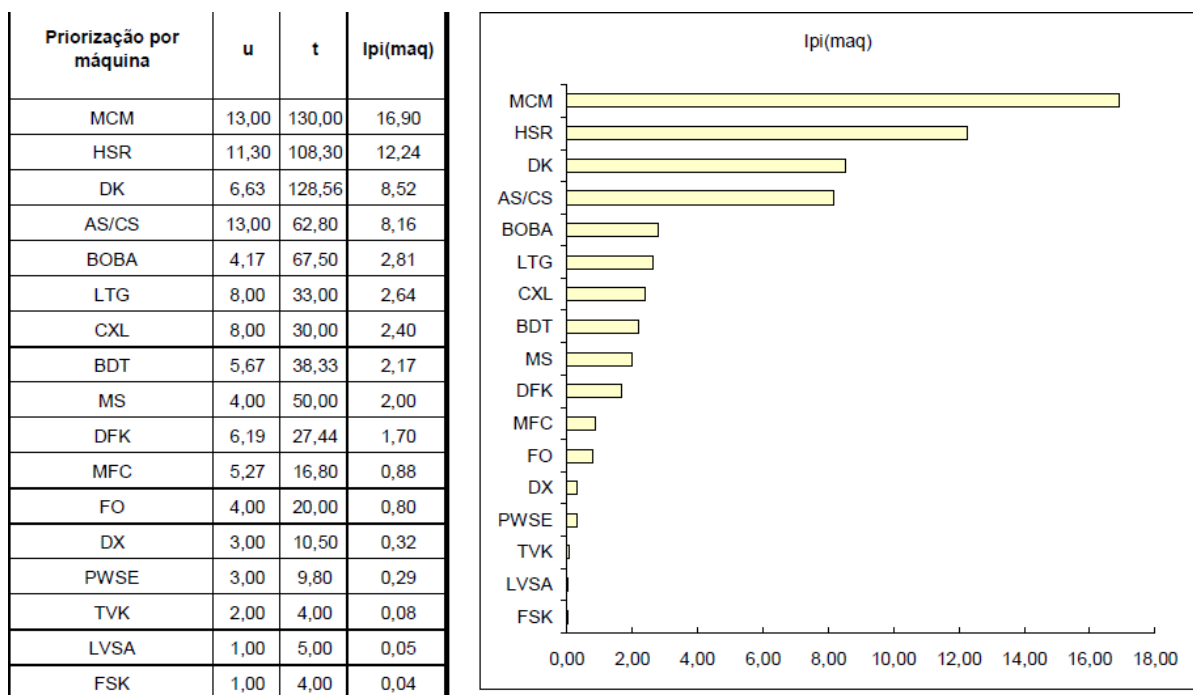


Figura 6: Importância das máquinas ($Ipi (maq)$)

Com a priorização das máquinas, podem-se verificar as máquinas críticas nas quais as ações corretivas surtirão os resultados mais expressivos em termos de redução de defeitos durante o processo de montagem.

Importância Aferida dos Processos ($Ipi_{(proc)}^*$)

As ações corretivas deverão ser tomadas quanto aos processos diretamente relacionados às causas básicas dos defeitos, agindo assim sobre a raiz do problema, e conseqüentemente, melhorando os processos. Para tanto a importância aferida dos processos ($Ipi_{(proc)}^*$), calculada conforme a equação (16), prioriza os processos sobre os seguintes aspectos: (i) quantidade de defeitos relacionada a cada processo (cp); (ii) tempo gasto pela montagem na correção de defeitos, atribuído a cada processo (tp); (iii) importância do processo ($Ipi_{(proc)}$) calculada conforme a equação (15); (iv) dificuldade de intervir sobre o processo (Fi); (v) tempo para intervir sobre o processo (Ti). A figura 7 mostra quais processos foram priorizados.

$$Ipi_{(proc)} = cp \times tp \quad (15)$$

onde:

$Ipi_{(proc)}$ = importância do processo i

cp = quantidade de defeito relacionada a cada processo (ud.)

tp = tempo gasto pela montagem na correção de defeitos atribuído a cada processo (min.)

$$Ipi^* = Ipi_{(proc)} \times \sqrt{Fi} \times \sqrt{Ti} \quad (16)$$

Ipi^* = importância aferida do processo i

Fi = dificuldade de atuação sobre o processo i

Ti = tempo necessário para agir sobre o processo i

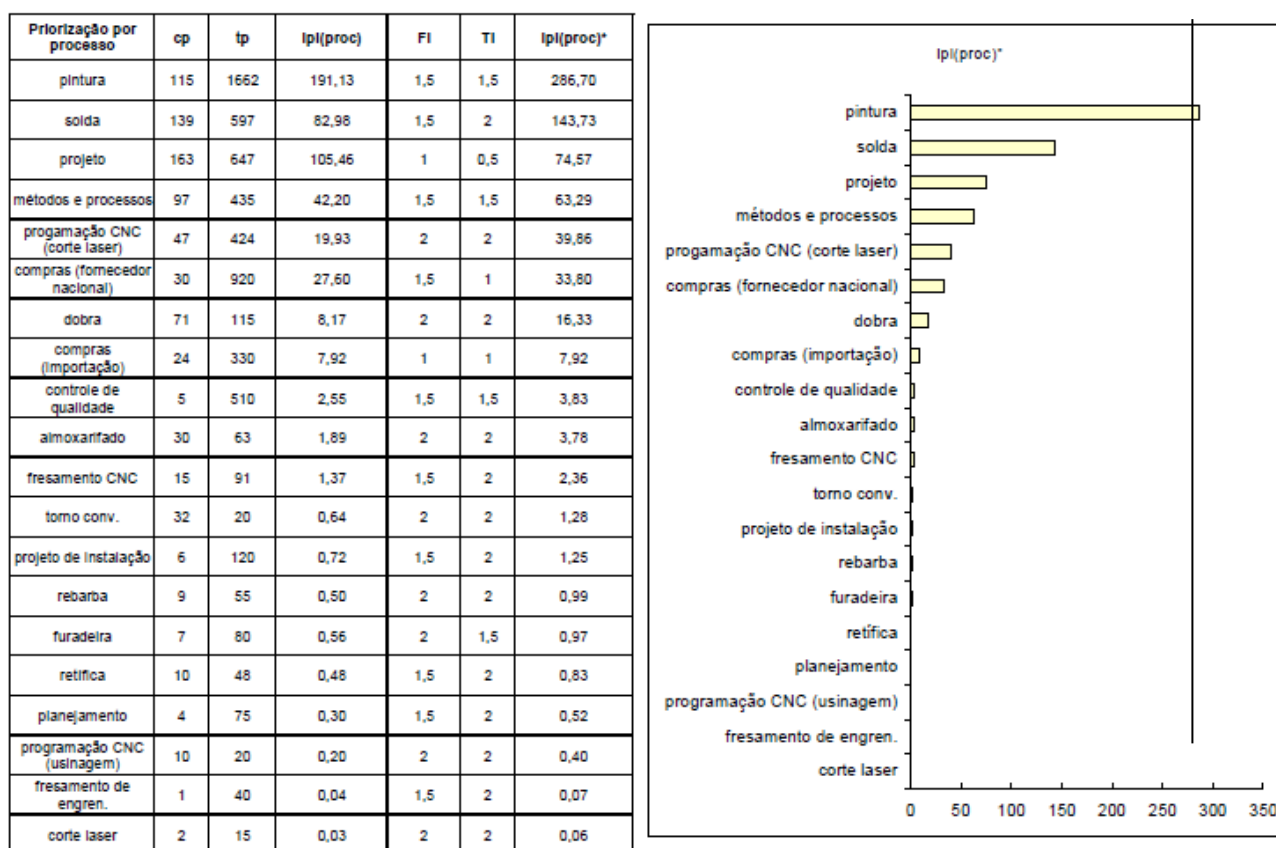


Figura 7: Importância aferida dos processos ($Ipi_{(proc)}^*$)

Priorização das Máquinas por Processos

As etapas de priorização anteriores demonstram sobre quais máquinas deve-se focar para se obterem resultados significativos na redução dos defeitos de montagem, e em relação a quais processos as ações deverão ser tomadas, considerando a quantidade, tempo de correção, facilidade de intervenção e o tempo de intervenção sobre os processos. Por meio dessa seqüência de medidas, reduções significativas no custo dos defeitos também serão percebidas, como consequência da redução dos tempos de correção dos defeitos.

O planejamento das ações corretivas na seção seguinte tem como diretriz a priorização das máquinas e processos da seguinte forma:

- As ações serão planejadas por tipo de máquina considerando a importância $Ipi_{(maq)}$.

b) As ações sobre cada tipo de máquina serão priorizadas de acordo com os processos mais críticos apontados pela importância aferida $Ipi_{(proc)}$ *.

Planejamento das ações

O procedimento para melhoria através das ações sobre os processos fornecedores da montagem está vinculado à etapa da priorização como já foi explanado. No planejamento das ações, buscou-se criar uma seqüência lógica de intervenção, tanto na abordagem das máquinas monitoradas em que a incidência dos defeitos é mais significativa, assim como na abordagem sobre o impacto dos processos mais críticos, causadores de defeitos sobre a montagem.

Plano de Ação

Para cada tipo de máquina foi elaborado um plano de ação conforme o local que os processos causadores dos defeitos foram relacionados e elencados dentro do plano de ação, obedecendo ao índice de importância $Ipi_{(proc)}$ *. Dessa forma as ações são direcionadas para a correção dos defeitos mais significativos com maior impacto sobre o aspecto decustos, facilidade e menor tempo de intervenção.

Eficácia das Ações

Após a implantação das ações corretivas deve ser verificada sua eficácia, através do monitoramento da próxima série de máquinas a serem montadas. Havendo a reincidência do defeito, é provável que não houve o bloqueio da causa básica, então deve-se partir para uma análise mais profunda do defeito; em não havendo a reincidência é provável que não tenha sido efetuado o bloqueio da causa básica, então deve-se partir para uma análise mais profunda do defeito; em não ocorrendo a reincidência é provável que houve o bloqueio da causa básica, o que torna eficaz a ação corretiva.

Avaliação dos resultados após a intervenção

A avaliação do estudo proposto tem como objetivo verificar a consolidação do método de intervenção, pela análise quantitativa dos resultados obtidos após a implantação, que foi realizada de forma experimental, através de um novo monitoramento sobre as máquinas integrantes da coleta de dados inicial.

Para validar o método, a primeira etapa foi a verificação da eficácia das ações sugeridas no plano de ação. Em seguida realizou-se uma nova coleta de dados sobre os defeitos no período de julho e agosto de 2002, monitorando-se as mesmas máquinas da primeira coleta, os principais resultados estão apresentados a seguir.

Verificação da eficácia das ações corretivas

Neste estudo verificou-se um índice de 3,18% de reincidência dos defeitos monitorados, sendo considerado um valor baixo pelo GAQ. Esse índice representa um resultado significativo da eficácia das ações corretivas sobre os processos críticos. Entretanto, após a intervenção, a segunda coleta de dados mostrou a incidência de novos defeitos em um volume menor, o que significa que o processo de melhoria é dinâmico e tem a necessidade de novas soluções constantemente.

Média de defeitos por unidade (\bar{u})

Inicialmente, para a média geral de defeitos por unidade de máquina foi encontrado o valor de 4,86 defeitos por máquina. Após a intervenção sobre os processos essa média caiu para 2,15 defeitos por unidade, representando uma redução de 55,76%. O gráfico da Figura 8 demonstra a redução dos defeitos por tipo de máquina que resultou na redução da média geral. Percebeu-se uma redução significativa dos defeitos, entretanto existe uma tendência para que essa redução seja menor no futuro, devido aos ajustes feitos nos processos críticos.

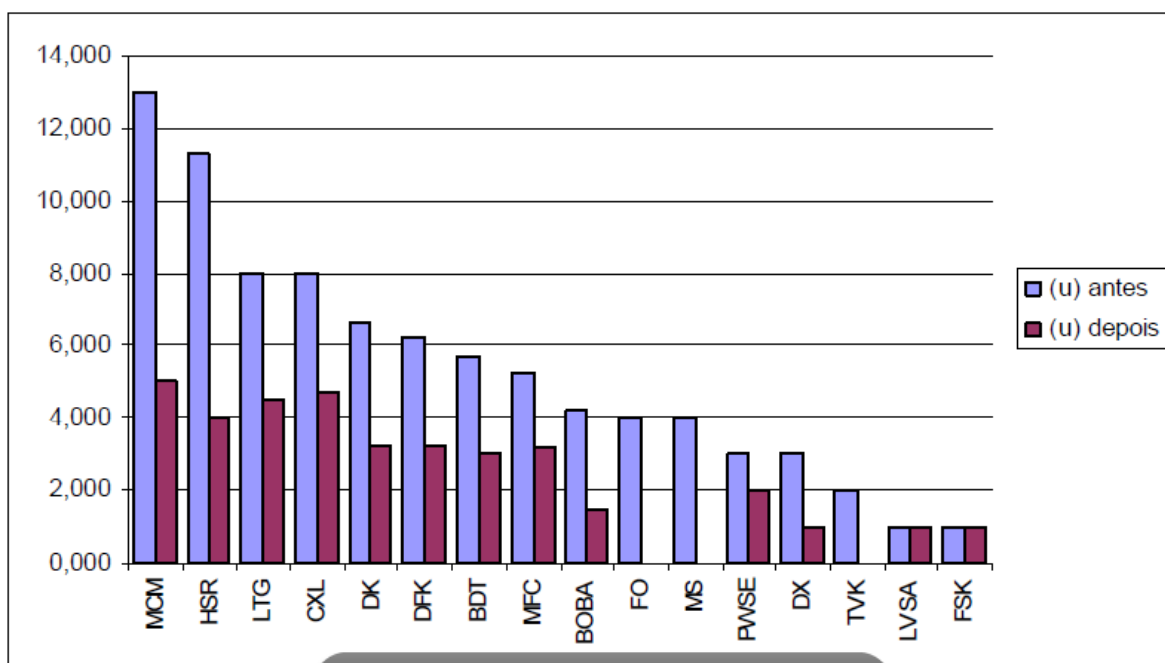


Figura 8: Gráfico comparativo do número de defeitos por unidade de cada tipo de máquina

Taxa de Perda de Produtividade (PP)

A taxa de perda calculada inicialmente foi de 1,17% ao mês em média, a taxa apurada posteriormente foi de 0,45% ao mês em média, representando uma redução de 61,54% na perda de produtividade devido às peças defeituosas fornecidas à montagem conforme mostra a Tabela 3.

Dados para cálculo da taxa de produtividade	Valores em horas referentes a abril e maio 2002	Valores em horas referentes a julho e agosto 2002
HTM	8860,59	8478,06
HRM	104,45	38,33
HDM	6670,40	6677,24
HEM	29,77	15,64
ABS	133,69	126,36
P(m)	129,66%	124,33%
P(m+r)	131,19%	124,89%
PP(mont)	1,17%	0,45%

Tabela 3: Dados comparativos da produtividade do setor de montagem

Essa redução se deu em consequência da diminuição dos tempos perdidos na correção dos defeitos. Foi constatado também que uma redução nesse tipo de perda não representa necessariamente um ganho de produtividade.

Avaliação da meta de redução dos custos gerados pelos defeitos

A redução dos custos gerados pelos defeitos pode ser verificada através do custo médio de correção de defeitos por unidade (CTu) obtendo-se um valor monetário.

Entretanto, esse valor sofre alterações mês a mês devido à variação do custo padrão, considerando-se que a variável CTu é diretamente proporcional ao tempo médio gasto com a correção dos defeitos por unidade (\bar{t}), então a redução ou aumento do CTu pode ser verificada através do cálculo de \bar{t} .

Inicialmente o tempo médio gasto com os defeitos por unidade de máquina foi de 37,30'. por máquina. Após a intervenção nos processos de fabricação, essa média caiu para 13,71'. por unidade, representando uma redução de 63,24%. Assim a meta de redução de custos de 30% foi superada sensivelmente.

Finalizando, são apresentadas no próximo capítulo as considerações finais sobre o estudo, assim como orientações para o direcionamento de novos estudos a serem realizados na empresa.

Comentários finais

O método foi aplicado sobre o processo de montagem partindo-se de uma situação em que não havia uma forma sistemática de apuração dos defeitos. Após a implantação das ações corretivas e verificação de sua eficácia, efetuou-se uma nova coleta de dados sobre uma nova série das máquinas analisadas no início do estudo. Os resultados obtidos mostraram uma redução de 55,76% sobre a incidência dos defeitos, o tempo e o custo

gerado pelos retrabalhos diminuíram em 63,24% e as perdas de produtividade caíram 61,54%.

Outra mudança percebida foi a melhoria dos processos fornecedores da montagem, que evitaram a reincidência dos defeitos nas peças fornecidas à montagem, sinalizando o bloqueio efetivo das causas básicas dos defeitos.

Para a manutenção dos resultados obtidos em novos monitoramentos o método proposto deve ser aplicado de forma cíclica e contínua, pelo fato de que novos defeitos serão percebidos resultantes da elaboração de novos projetos, atualização de máquinas, falhas operacionais e outros fatores geradores de defeitos.

A aplicabilidade desse método em empresas de outros setores é perfeitamente viável, resguardando alterações que poderão ser feitas devido a distinção dos processos e o tipo de sistema de produção. Os resultados serão certamente satisfatórios pelo fato de que esse método busca eliminar os defeitos nos processos que os geraram.

Sugestões para trabalhos futuros

O método proposto não tem sua aplicação restrita à análise de defeitos de montagem. Dessa forma, sugere-se estender sua aplicação aos outros processos de manufatura da empresa, para auxiliar a detecção prematura dos defeitos durante o processo de montagem.

No decorrer da avaliação dos processos fornecedores de peças defeituosas, percebeu-se a possibilidade da implantação que apontassem para melhoria ou deficiência nos processos. Assim, outra sugestão é o desenvolvimento de indicadores de desempenho para os setores diretos, indiretos e administrativos da empresa com a intenção da implantação de uma filosofia de melhoria que atinja a todos.

Referências

ANTUNES JÚNIOR, J. A. V.; KLIPPEL, M. Análise crítica do inter-relacionamento das perdas e dos subsistemas do sistema toyota de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. *Anais /XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, VII International Conference on Industrial Engineering and Operations Management - Curitiba: PUCPR, 2002. CD-ROM: il.*

DEON, A. M. **Medição do custo das perdas associadas ao processo produtivo de fabricação de celulose e papel.** Florianópolis, 2001. 101p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

FALCÃO, A S.G. **Diagnóstico de perdas e aplicação de ferramentas para controle de qualidade e melhoria do processo de produção em uma etapa construtiva de edificações habitacionais.** Porto Alegre, 2001. 165p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GUINATO, P. **Sistema toyota de produção; mais do que simplesmente just-in-time - autonomia e zero defeitos.** Caxias do Sul: Educus. 1996.

OHNO, T. **O sistema toyota de produção; além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

RIBEIRO, J.L. D.; CATEN, C. T. **Controle estatístico de processos.** Porto Alegre, 2001.

Apostila de curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, UFRGS.

ROBLES JÚNIOR, A. **Custos de qualidade; uma estratégia para a competição global.** São Paulo: Atlas, 1994.

SHINGO, S. **O sistema toyota de produção; do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.