

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUÍS FELIPE RIBEIRO ROMANO

**ANÁLISE PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM UM PROCESSO  
MECÂNICO DE FABRICAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015

LUÍS FELIPE RIBEIRO ROMANO

**ANÁLISE PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM UM PROCESSO  
MECÂNICO DE FABRICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como quesito para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Mecânica da  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná.  
Orientador: Jefferson Luis Cesar  
Salles

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015

Dedico aos meus pais, que me ensinaram a ser crítico além de sempre apoiarem minhas escolhas e à minha irmã, que me inspira com seus esforços e conquistas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à toda minha família e aos esforços necessários para me apoiarem durante todo o curso, por suas preocupações, conversas e conselhos.

Aos bons amigos que conheci percorrendo esse caminho, sempre presentes independente da distância e do tempo.

Agradeço também a todas as pessoas que fizeram parte da minha vida nas mais diversas situações e experiências, pois sem as tais eu não haveria chegado onde estou e não seria quem sou.

Aos professores da UTFPR-CP por todo o companheirismo e dedicação, muitas vezes auxiliando mesmo fora dos horários de aula e dias letivos.

“A melhor maneira de nos prepararmos para o futuro é concentrar toda a imaginação e entusiasmo na execução perfeita do trabalho de hoje.”  
(Dale Carnegie)

## RESUMO

ROMANO, Luís Felipe Ribeiro. **Análise para otimização da produção em um processo mecânico de fabricação**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

Com base nos requisitos rigorosos e as necessidades do mercado atual, cabe às empresas se adaptarem para sobreviver, buscando sempre uma vantagem competitiva que as deixem a frente das concorrentes. Os métodos gerenciais de qualidade total e Seis Sigma aliados à ferramenta de sistematização PDCA (ou DMAIC, para casos mais específicos) e diagramas de Ishikawa e Pareto são de extrema importância para a reestruturação de um projeto ou processo dentro de uma empresa que busque ser altamente competitiva em um mercado globalizado rigoroso. Este trabalho busca alinhar teoricamente as ferramentas gerenciais citadas de modo a direcionar o foco de estudos voltados para a otimização de processos mecânicos de fabricação, principalmente no que diz respeito ao posicionamento de equipamentos, ferramentas e matéria-prima, fluxo de pessoas e materiais, e fatores ergonômicos que possam afetar o bem-estar e a produtividade dos operadores. Áreas estas que são comumente deixadas de lado pelo planejamento arcaico de empresas que cresceram excessivamente, mas que hoje buscam se atualizar reestruturando processos em operação, reduzindo custos e trazendo melhorias para a produtividade em suas linhas, melhorando conseqüentemente o bem-estar do operador, a qualidade de seus produtos e processos além de elevar seu nível global de competitividade.

**Palavras-chave:** Gestão da produção; *Layout*; Ergonomia; Sistematização de análises; Otimização; Competitividade.

## ABSTRACT

ROMANO, Luís Felipe Ribeiro. **Production optimization analysis of a mechanical production process**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

Based on the stringent requirements and the needs of the current market, it behooves the companies to adapt in order to survive, always looking for a competitive advantage that brings them ahead the competitors. The management methods of Total Quality and Six Sigma combined with the PDCA systematization tool (or DMAIC, for more specific cases) and Ishikawa's and Pareto's diagrams are extremely important for the restructuration of a project or process within a company that seeks to be highly competitive in a tight global market. This work aims to align theoretically the aforementioned management tools in order to direct the focus of studies into the optimization of mechanical manufacturing processes, especially with regard to the positioning of equipment, tools and raw materials, flow of people and materials, and ergonomic factors that could affect the well-being and productivity of operators. Areas that are commonly set aside in the archaic planning methods of companies that had an excessive growth, which are only now looking forward to upgrade by restructuring processes in operation, reducing costs and bringing improvements to productivity in their lines, thus improving the welfare of the operator, the quality of their products and processes in addition to increasing its overall level of competitiveness.

**Keywords:** Production Management; Layout; Ergonomics; Analysis Systematization; Optimization; Competitiveness.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuições normais do Três Sigma e do Seis Sigma.....	16
Figura 2 - Modelo de diagrama de causa e efeito.....	21
Figura 3 - Exemplo de diagrama de Pareto. ....	23
Figura 4 - Interfaces entre produção e marketing: setor atuante da logística.....	31



## LISTA DE SIGLAS

AM	Multiplicador Angular
CC	Constante de Carga
CM	Multiplicador de Acoplamento
DM	Multiplicador de Frequência
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i> – Definir, medir, analisar, melhorar, controlar
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> – Análise de modo de falha e efeito
GUT	Gravidade Urgência e Tendência
HM	Multiplicador Horizontal
IL	Índice de Levantamento
LPR	Limite de Peso Recomendado
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> - Instituto nacional de segurança e saúde ocupacional
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> - Planejar, fazer, verificar, agir
PPM	Partes (Pecas) Por Milhão
RPN	<i>Risk Priority Number</i> – Número de prioridade de risco
TQM	<i>Total Quality Management</i> - Gerenciamento da qualidade total
VM	Multiplicador Vertical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	12
1.2	OBJETIVO GERAL	14
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1	GERENCIAMENTO DA QUALIDADE TOTAL	15
2.1.1	SEIS SIGMA	15
2.1.1.1	QUALIDADE DENTRO DO SEIS SIGMA	17
2.1.2	CICLO PDCA E METODOLOGIA DMAIC	18
2.1.2.1	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	20
2.1.2.2	DIAGRAMA DE PARETO	22
2.2	LAYOUT	23
2.3	ERGONOMIA	26
2.4	ADMINISTRAÇÃO INTERNA DE MATERIAIS E MOVIMENTAÇÃO	30
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
4.1	ANÁLISE INICIAL DO PROCESSO	34
4.1.1	ESCOPO E INTERFACES	34
4.1.2	LAYOUT E ERGONOMIA ASSOCIADO À MOVIMENTAÇÃO INTERNA E ESTOCAGEM <i>IN LOCO</i>	35
4.1.3	FERRAMENTAS VISUAIS	36
4.1.4	INDICADORES DE DESEMPENHO	36
4.1.5	EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO	37
4.2	PROJETO DE OTIMIZAÇÃO, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO	38
4.3	MELHORIA CONTÍNUA	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>40</b>
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXOS	43

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Originada no início do século XIX, o que hoje se conhece por Gestão da produção ou gestão de operações é a função administrativa responsável pelo controle da produção de bens e serviços. Sendo a produção a função central das organizações, de acordo com Slack (2002) é aquela que vai se incumbir de alcançar o objetivo principal da empresa, sua razão de existir, torna-se indiscutivelmente necessário sua análise, compreensão e otimização. É uma atividade que atinge a todos os ramos de organizações, como indústria, comércio e serviços, e se encontra em todos os setores das mesmas. A sua dinâmica de operacionalização ocorre através da utilização das funções básicas da gestão (Planejar, Organizar, Comandar, Controlar e Coordenar) juntamente com algumas ferramentas com o objetivo de promover com êxito as atividades inerentes à empresa. Como exemplo das ferramentas que serão utilizadas nesse estudo, podemos citar o PDCA e o DMAIC, associadas comumente ao sistema de Gerenciamento de Qualidade Total (TQM) e a aplicação do método Seis Sigma, que buscam reduzir os custos totais com base na implementação de melhorias no processo produtivo a partir da parametrização e esquematização do trabalho executado pelos operadores, treinamentos e principalmente a redução do retrabalho e dos custos de qualidade. Estas ferramentas serão aqui utilizadas para auxiliar o desenvolvimento de uma estrutura sistematizada facilitando a reestruturação de um processo produtivo, considerando as áreas de *layout*, ergonomia e a administração interna de materiais, principalmente no que se refere a estocagem e a movimentação de materiais, seja ela de matéria-prima, produto acabado ou retalhos.

Segundo Toledo Junior (1999) o planejamento de um *layout* é recomendável a qualquer empresa, grande ou pequena. Os resultados alcançados na redução de custos de operação e aumento de eficiência e produtividade podem ser surpreendentes. Ainda pode-se citar que o planejamento de *layout* é fundamental principalmente em casos de mudanças no processo de produção, da fabricação de novos produtos, da necessidade

de redução de custos ou da expansão de uma seção, todos os exemplos considerando o caso de empresas já montadas e operantes.

A função básica de um bom *layout* industrial é possibilitar o melhor arranjo possível de máquinas, equipamentos, pessoas e materiais dentro do espaço físico disponível de modo que a produção seja fluida, tornando o fluxo de material o melhor possível e que o número movimentações reduza-se ao mínimo necessário.

A ergonomia também possui um papel fundamental dentro das empresas, onde a busca de resultados é constante. Ela é responsável por fornecer os elementos para que os postos de trabalho, máquinas, ferramentas, equipamentos e ambiente sejam adequados ao elemento humano. Entre suas funções podemos citar como importantes as que buscam reduzir ou eliminar uma série de fatores relacionados com fadiga e desconfortos físicos e mentais dos trabalhadores, provenientes da interação dos mesmos com o ambiente de trabalho. Como resultado de uma boa adequação, pode-se citar uma diminuição do número de acidentes, incidentes, doenças ocupacionais e conseqüentemente os custos de produção, além de influenciar positivamente na qualidade técnica dos trabalhadores, na qualidade de vida no trabalho, na eficácia do sistema de produção e, portanto, na produtividade como um todo. Abrantes (2004) frisa que embora seja difícil quantificar os ganhos gerados pela aplicação da ergonomia, um trabalhador quando exposto a situações desconfortáveis e constrangedoras, condições agressivas que o afetem física ou psicologicamente tem seu rendimento, motivação e moral afetados, cujo resultado final é o comprometimento dos resultados esperados. Portanto ainda que seja difícil de quantificar os custos gerados pela má ergonomia do ambiente de trabalho, é importante levar em consideração sua aplicação principalmente devido ao impacto no rendimento e na redução da qualidade de vida dos operários.

O conceito de administração de materiais, ou o princípio da área de logística propriamente dita, é um ramo da gestão que vem cada vez mais ganhando campo por prover um considerável aumento na vantagem competitiva da empresa, e que busca otimizar a movimentação de materiais desde a entrada de matéria-prima, através dos fornecedores, até a sua distribuição para o consumidor final, como diz Arnold (1999), bem como prover recursos, equipamentos e também informações necessárias para a execução de todas as atividades de uma empresa. A análise da cadeia de suprimentos

como um todo torna-se importante para melhores resultados, afetando o valor agregado do produto positivamente e reduzindo os custos provenientes da má comunicação nas interfaces da empresa. No presente estudo a análise e interfaces consideradas foram locais - denominando-se assim administração interna de materiais, abrangendo apenas a movimentação e estocagem de matéria-prima e peças acabadas dentro da empresa.

Tomando como base os conceitos de gestão citados, aliado as ferramentas de gestão de qualidade, pode-se desenvolver métodos teóricos para a otimização de processos mecânicos de fabricação, avaliando-se a estocagem e o fluxo de material, o posicionamento dos equipamentos e o manuseio de materiais, ferramentas e equipamentos pelos operários envolvidos em tais processos.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

Propor uma estrutura sistematizada para análise de um processo de fabricação mecânico qualquer considerando os fatores de posicionamento, fluxo de material, movimentação de trabalhadores e fatores ergonômicos envolvidos no trabalho desenvolvido por eles. Partindo de fatores amplos à fatores mais específicos - que devem ser analisados antes de se iniciar um projeto de otimização – busca-se compreender o processo e se aproximar dos resultados propostos pelo gerenciamento da qualidade total na bibliografia.

## **1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Definir os pontos principais para a análise dentro de cada parte da estrutura proposta, buscando guiar o desenvolvimento de um projeto para otimização de um processo mecânico de fabricação qualquer, apresentando onde podem ser utilizadas as ferramentas analíticas citadas na bibliografia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GERENCIAMENTO DA QUALIDADE TOTAL

A busca para atingir seus objetivos e metas, além de melhorar seu desempenho em um mercado altamente competitivo, requer das empresas uma certa flexibilidade e adaptabilidade frente as várias mudanças do mercado em que atua, o que exige também mudanças de abordagem em seu sistema de gestão. Para que isso possa ocorrer de forma fluída e constante, deve-se primeiro entender como cada processo funciona, seus defeitos e falhas devem ser analisados e projetos de melhoria continua devem ser implementados.

Chase (2006) define o gerenciamento da qualidade total (TQM, do inglês *Total Quality Management*) como “gestão de toda a organização para que esta se sobressaia em todas as dimensões de produtos e serviços que são importantes para o cliente” e esta deve seguir dois objetivos operacionais fundamentais: o projeto cuidadoso do produto ou serviço e a garantia de que os sistemas organizacionais podem produzir, consistentemente, tal projeto.

Fonseca (2006) cita um dos procedimentos mais bem conhecidos na TQM, o uso do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) ou congêneres como o DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) como ferramentas fundamentais para projetos de melhorias segundo abordagens do método Seis Sigma, adotado por diversas empresas atualmente e responsável por consideráveis efeitos positivos.

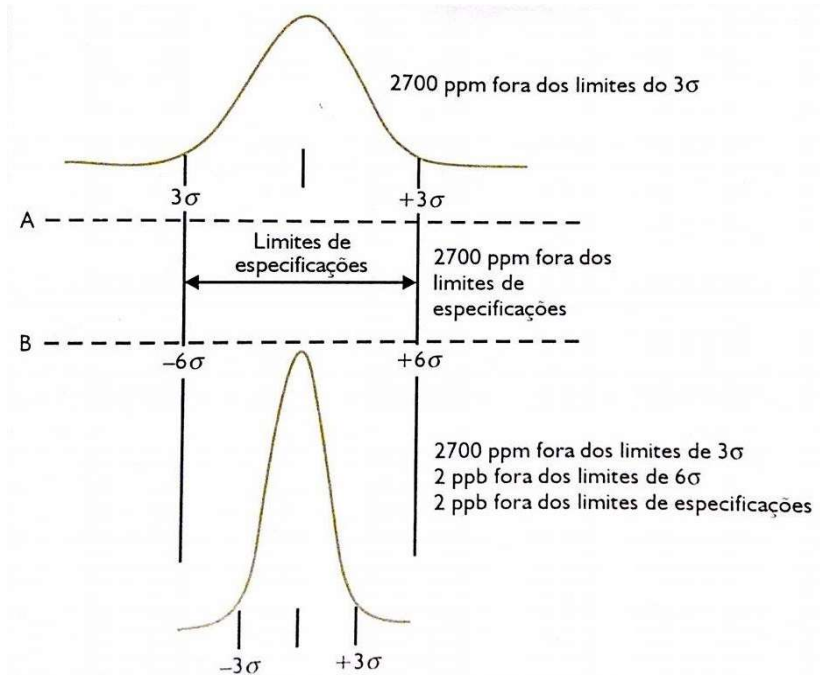
#### 2.1.1 SEIS SIGMA

Desenvolvida inicialmente na Motorola por Bill Smith (em meados de 1987) e reaplicada na General Electrics por Jack Welch (em 1995), refere-se a filosofia e aos métodos que as empresas atualmente usam para eliminar os defeitos nos seus produtos

e processos. Cada atividade dentro da empresa apresenta uma variedade de falhas e defeitos que possam ocorrer, sabendo disso o programa dos Seis Sigma busca reduzir a variabilidade dessas atividades, conseqüentemente reduzindo o número de defeitos. Uma empresa que tem a metodologia Seis Sigma perfeitamente implantada não produzirá mais do que dois defeitos a cada bilhão de unidades, como diz Chase (2006).

O termo Seis Sigma provém da distribuição normal em estatística. Chase (2006) exemplifica com a distribuição normal representando a saída de um processo, e apresentando  $\sigma$  (sigma) como o desvio padrão. Por definição estatística, dentro de uma faixa de  $\pm 3\sigma$ , 99,73% das saídas estariam dentro da média, conseqüentemente 0,27% estariam fora da mesma. Pode-se então esperar 2700 unidades defeituosas em um milhão de produzidas, ou simplesmente diz-se 2700 peças por milhão (ppm). Dessa definição estatística, supõe-se que o processo possa ser melhorado de tal forma que os intervalos de variação natural ( $\pm 3\sigma$ ) sejam metade do intervalo dos limites de especificações, representando uma curva em  $\pm 6\sigma$ , conseqüentemente a chance de produzir peças fora da área especificada é muito menor, chegando ao valor previamente mencionado de duas partes por bilhão, exemplificado na figura 1.

Pyzdek (2003) diz que qualidade, definida tradicionalmente em conformidade



com

**Figura 1: Distribuições normais do Três Sigma e do Seis Sigma. Fonte: Chase (2006).**

os requisitos internos do método tem pouco, ou quase nada, a ver com o Seis Sigma. A ideia é ajudar a organização ganhar mais dinheiro pelo aumento do valor do consumidor e a eficiência geral da empresa, ou em outras palavras aumentar a satisfação do cliente através de uma redução dos defeitos nos processos e um ótimo desempenho da empresa, produzindo produtos de qualidade sem muitas alterações na linha e assim aumentando sua lucratividade.

### **2.1.1.1 QUALIDADE DENTRO DO SEIS SIGMA**

Pyzdek (2003) dá uma nova definição para qualidade de acordo com o método Seis Sigma, citando-a como o valor agregado através do empenho produtivo. Acrescenta ainda que qualidade vêm em dois variantes:

- Potencial: representa o valor agregado máximo conhecido que pode ser obtido por unidade introduzida no processo;
- Real: representa o valor real de tal qualidade dentro do sistema produtivo atualmente em funcionamento.

Portanto a diferença entre as qualidades potencial e real podem ser categorizadas como desperdício, e é justamente reduzindo tal desperdício que o Seis Sigma ajuda às organizações a produzir melhores produtos e serviços, mais rapidamente e de forma mais barata.

Taguchi et al. (1990) define qualidade como as perdas impostas à sociedade a partir do momento em que o produto é liberado para a venda, significando que a partir do instante em que o produto está à disposição do consumidor, qualquer alteração nas suas características funcionais ou físicas afetarão conseqüentemente sua qualidade, trazendo prejuízo para a empresa.

Independente da definição escolhida, a má qualidade de um produto ou de um processo gerará conseqüentemente custos, conhecido pelos gestores como custos de qualidade. Atualmente as análises de custo de qualidade são comuns na indústria e constituem uma das funções primárias dos departamentos de controle de qualidade,



onde a prevenção de defeitos elimina possíveis custos futuros. Chase (2006) afirma que o custo de qualidade foi estimado em pesquisas como sendo entre 15 a 20% de todo valor de vendas em dólar (quando deveria estar abaixo de 2,5% com uma boa administração), considerando-se custos de retrabalho, sucateamento, serviços repetidos, inspeções, testes, garantias e outros itens que possam ser relacionados à qualidade de um produto ou processo.

### 2.1.2 CICLO PDCA E METODOLOGIA DMAIC

Na implementação do TQM, faz-se uso de ferramentas gerenciais de análise, que simplificam e sistematizam tal processo de avaliação, de modo que seja efetuado da mesma maneira mesmo que aplicados por pessoas diferentes.

A utilização do ciclo PDCA como ferramenta de sistematização de análise e projeto busca atingir a melhoria em um determinado processo através do planejamento, execução, verificação e atuação. Chase (2006) considera o DMAIC como uma versão mais detalhada do comumente utilizado ciclo PDCA, e cita como uma importante ferramenta para a obtenção da melhoria contínua, também conhecida como *kaizen*, que funciona de modo a aumentar gradativamente o rendimento da empresa.

A metodologia DMAIC busca, de acordo com Chase (2006):

**- Definir:**

- Clientes e suas prioridades.
- Um projeto apropriado aplicado na metodologia Seis Sigma, baseado em objetivos comerciais assim como nas necessidades do cliente.
- Características que o cliente considera como mais impactantes na qualidade de um produto ou serviço.

**- Medir:**

- O processo e seu desempenho.

- Os defeitos atualmente gerados em relação aos principais processos internos que influenciam as características críticas para qualidade.

**- Analisar:**

- Causas mais prováveis dos defeitos.
- A razão da existência dos defeitos mediante identificação das mais prováveis variáveis-chave que geram variações no processo.

**- Melhorar:**

- Buscar meios para a remoção das causas dos defeitos.
- Confirmar as variáveis-chave e quantificar seus efeitos sobre as características críticas de qualidade de processo.
- Definir máximos e mínimos de aceitação para as variáveis-chave e um sistema para se medir seus desvios-padrão.
- Modificar o processo até que atinja um nível aceitável.

**- Controlar:**

- Determinar ações para manter as melhorias.

Chase (2006) também apresenta algumas ferramentas analíticas mais comuns, usadas em conjunto com as anteriores, sendo:

- **Fluxogramas** – representam a relação de uma parte de um processo com outra.
- **Diagramas de Ishikawa, causa-e-efeito ou espinha de peixe** – apresentam relacionamento hipotéticos entre as causas potenciais e o problema em estudo. Após sua construção, a análise continua a fim de encontrar quais causas potenciais estavam realmente contribuindo para o problema.
- **Diagramas de dispersão** – retratam tendências em dados durante um certo período de tempo e, portanto, facilitam a compreensão da magnitude de um problema no determinado estágio analisado.
- **Diagramas de Pareto** – auxiliam na divisão de um problema na contribuição relativa de seus componentes. É baseado em constatações empíricas comuns de que

uma grande porcentagem dos problemas se dá por causa de uma pequena quantidade de causas, normalmente representados por 80% e 20%, respectivamente.

- **Listas de Verificação** – ajudam a padronizar a coleta de dados e são usadas para criar histogramas como os mostrados nos diagramas de Pareto.

- **Diagrama do fluxo da oportunidade** – usado para separar etapas que adicionam valor daquelas que não adicionam em um processo.

- **Análise do modo e efeito de falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*)** – trata-se de uma abordagem estruturada a fim de identificar, estimar, priorizar e avaliar o risco de possíveis falhas em cada estágio de um processo, partindo da identificação de cada elemento, montagem ou peça do processo e a listagem dos modos de falha potenciais, das causas potenciais e os efeitos de cada falha. Um valor de prioridade de risco (RPN – *Risk Priority Number*) é calculado para cada modo de falha e é usado para medir a classe de importância dos itens listados no diagrama FMEA, exemplo em anexo.

### 2.1.2.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Desenvolvido por Kooru Ishikawa em 1943 no Japão, também conhecido como diagrama de causa e efeito, trata-se de um diagrama esquemático que permite a visualização do efeito estudado e suas principais causas. É utilizado, muitas vezes em conjunto com o *brainstorming* para mapear as possíveis causas de um problema em foco ou mesmo fatores que possam afetar negativamente um resultado. Um exemplo do diagrama pode ser observado na figura 2, onde o foco do estudo representado a direita é desmembrado em possíveis áreas relacionadas, essas que também são desmembradas em possíveis causas.

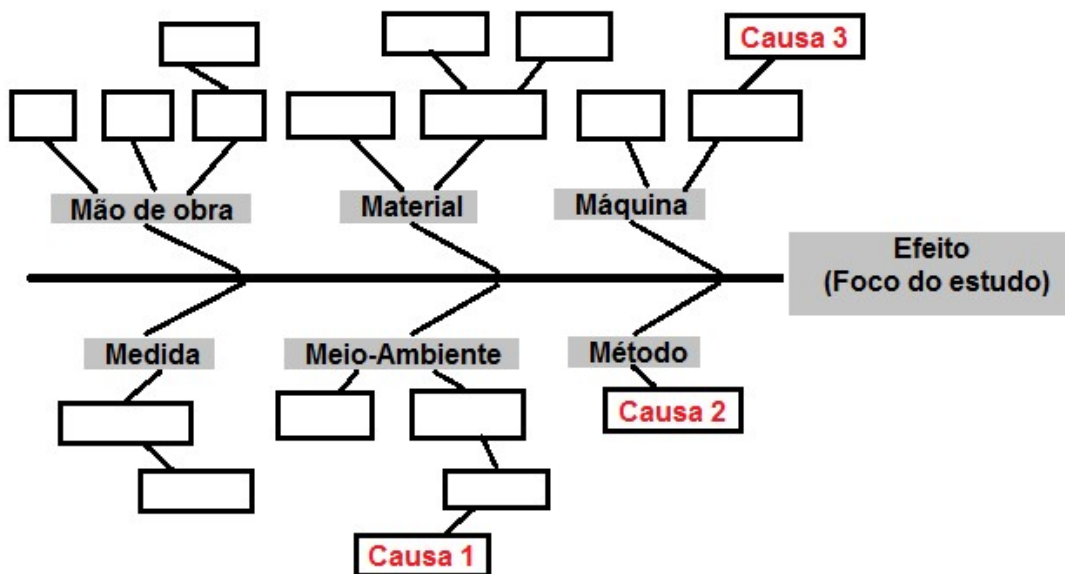


Figura 2: Modelo de diagrama de causa e efeito.  
Adaptado de: Scartezini (2009).

Scartezini (2009) cita um conjunto de categorias que servem como base para a execução do diagrama de Ishikawa, essas que são chamadas de fatores de manufatura (ou 6M) e envolvem:

- **Mão de obra** – inclui os aspectos relacionados as pessoas e a sua forma de trabalho;
- **Material** – inclui os aspectos relacionados a insumos e matérias primas;
- **Máquina** – são os aspectos relativos aos equipamentos;
- **Medida** – inclui a adequação e a confiança nas medidas como aferições, escalas, etc.;
- **Meio ambiente** – são as condições ou aspectos ambientais que possam afetar o processo;
- **Método** – referem-se os procedimentos, rotinas e técnicas utilizadas.

Para análise de todos esses fatores utilizando o método de causa e efeito, Scartezini (2009) descreve também alguns passos:

- Descrever o problema ou resultado a ser analisado;

- Escolher as raízes de análise que serão utilizadas (Mão de obra, Máquina, Método, Material, Meio Ambiente, Tempo, etc.);
- Listar as causas mais prováveis, ocasionalmente efetuada com auxílio de *brainstormings*;
  - Organizar as causas selecionadas por raiz;
  - Inter-relacionar as causas dentro da sua raiz;
  - Verificar se existe relação de causas entre as raízes;
  - Selecionar as causas mais prováveis.

### **2.1.2.2 DIAGRAMA DE PARETO**

Aplicado após a seleção de causas do diagrama de Ishikawa, o diagrama de Pareto é uma técnica de priorização das informações, organizando-as em uma ordem hierárquica de importância relacionado com a frequência em que essas informações aparecem ou acontecem. Baseia-se nos princípios de que uma grande quantidade de causas contribui muito pouco para o efeito observado e que uma pequena quantidade de causas contribui preponderantemente para o efeito observado, denominados “maiorias triviais” e “minorias essenciais”. Comumente relaciona-se os valores 80 e 20%, de modo que no grupo das maiorias triviais 80% das causas representam 20% dos problemas encontrados enquanto que nas minorias essenciais 20% das causas representam 80% dos problemas.

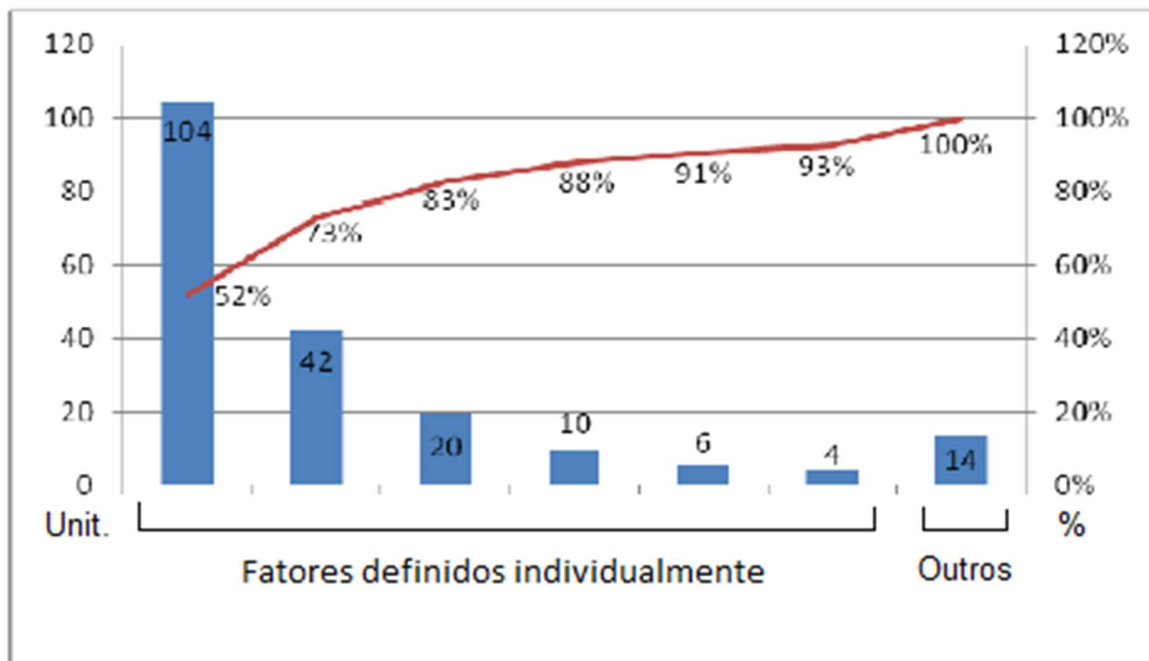


Figura 3: Exemplo de diagrama de Pareto, onde a menor parte dos defeitos (barras em azul – número de defeitos) representam uma grande parte dos defeitos totais (linha vermelha - % acumulada).

Fonte: Scartezini (2009).

## 2.2 LAYOUT

Termo proveniente do inglês, “*to lay*”: arranjar, juntamente com o complemento adverbial “*out*”: acabado, pronto, concluído, tomam o significado de “arranjo físico” ou “disposição em um determinado espaço”. Na indústria, representa a disposição de máquinas, equipamentos e homens. Como sintetiza Toledo Junior (1999) trata-se da melhor utilização do espaço disponível que resulte em um processamento mais efetivo, através de menor distância, no menor tempo possível.

Pode-se citar pelo menos sete fatores que contribuem para a construção de um *layout* ótimo, são eles:

- **Material:** relacionado ao produto. Envolve movimentação, tamanho, peso e quantidade de peças.

- **Maquinário:** Analisa-se o meio de produção utilizado, se está sendo empregado racionalmente e corretamente.

- **Humano:** Relacionado com as condições de trabalho do operário, como iluminação, ventilação, espaço e outros fatores relevantes.

- **Movimentação:** Avalia se o transporte entre os pontos de trabalho está sendo realizado da maneira mais conveniente possível.

- **Prazo:** Relaciona-se com a disponibilidade da área de armazenamento antes e depois das operações produtivas.

- **Serviços Auxiliares:** É responsável por avaliar se todas as entidades prestadoras de serviço, como por exemplo manutenção e inspeção, têm condições de desenvolver seus trabalhos corretamente.

- **Prédio e instalações:** Observa se a disposição do *layout* é racional em relação a construção do edifício, em termos de ventilação, iluminação, instalações sanitárias, portas de entrada e saída, bem como disposição das linhas de energia em relação as linhas de produção.

Tais fatores, se analisados e otimizados individualmente, podem ser bons indicadores de um bom *layout*, garantindo o fluxo eficiente de materiais na entrada e saída da produção, bem como a movimentação de operários. Os equipamentos distribuídos eficientemente dentro do espaço disponível visam aumentar também a segurança e os fatores ergonômicos do operário, além de poder fornecer espaço extra para outros equipamentos que necessitam estar mais próximos de tal processo produtivo analisado.

De todos os princípios citados como básicos e fundamentais por Toledo Junior (1999), é interessante frisar a otimização, e redução, das vias de transporte internas, sem que interfiram na melhor movimentação, a otimização da superfície útil ocupada pelas máquinas e seções produtivas e, o mais importante de todos, prezar por boas condições de trabalho e pela segurança dos operadores que ali estão alocados. Com a elaboração de um *layout* baseados nesses simples princípios, por mais gerais que pareçam ser, consegue-se obter um arranjo físico que atenda as exigências mínimas para seu funcionamento ótimo. O arranjo físico deve ser pensado de acordo com o modelo produtivo da empresa em questão, levando em consideração quais processos

estão relacionados, qual o sentido do fluxo de materiais necessário para produção e qual a distância necessária para obter-se a matéria-prima, bem como quais equipamentos precisam ser disponibilizados para a obtenção da mesma e de que maneira estarão dispostos ao redor do processo.

Para elaboração de um bom arranjo físico, deve-se observar algumas regras básicas, tais como:

- 1- Integração:** O entrosamento entre homens, materiais e máquinas deve ser o melhor possível.
  
- 2- Mínima distância:** o melhor *layout* é aquele em que o produto se movimenta o menos possível, portanto deve-se manter apenas as movimentações indispensáveis para a produção, reduzindo-se o mínimo possível a distância entre operações subsequentes.
  
- 3- Fluxo:** O arranjo deve permitir um fluxo constante de material, se possível sem esperas ou mesmo estocagens. Os cruzamentos e retornos de materiais devem ser evitados, mantendo sempre um fluxo racional.
  
- 4- Uso do espaço cúbico:** Todas as dimensões do espaço físico devem ser utilizadas e otimizadas para funcionar da melhor maneira possível. A utilização de espaço superior aos equipamentos, se disponível, é de grande valia no transporte de uma seção, evitando cruzamentos e facilitando o fluxo de materiais.
  
- 5- Satisfação e segurança:** Absolutamente nenhum *layout* deve negligenciar o operário. Ele é o responsável pela produção e necessita de boas condições para efetuar um trabalho melhor. O ambiente deve ser pensado para que todos os fatores insalubres sejam reduzidos tanto quanto possível. Deve estar sempre limpo e arrumado, com iluminação e ventilação suficientes, facilitando a visão do que deve ser trabalhado.



**6- Flexibilidade:** O arranjo deve ser flexível para futuras modificações, caso exista variações na produção ou exista a possibilidade de futura expansão.

Após elaboração, efetua-se a análise das vantagens e desvantagens do *layout* proposto em relação ao *layout* anterior ou qualquer outra variante do mesmo, os resultados podem ser incrementados caso existam dados econômicos, como por exemplo custos produtivos e custos de implementação do novo projeto.

## 2.3 ERGONOMIA

A primeira referência ao termo data de 1857, em um artigo intitulado “Ensaio de ergonomia, ou ciência do trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência sobre a natureza”, publicada pelo professor polonês do Instituto Agrônomo de Varsóvia, W. Jastrzebowski (1799-1882). Hoje, como entendida pela comunidade internacional, trata-se do estudo sobre o relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento.

De acordo com Santos (1997), o desenvolvimento atual da ergonomia nas empresas pode ser caracterizado em quatro níveis de exigências:

- Tecnológicas – Devido ao aparecimento e desenvolvimento de novas técnicas de produção.

- Organizacionais – Devido ao sistema de gestão participativa.

- Econômicas – relativas à qualidade e aos custos de produção.

- Sociais – Relativas às melhorias das condições de trabalho

Dentro das empresas distinguem-se três tipos diferentes de ergonomia: de correção, de concepção e de conscientização. Sendo que a primeira busca melhorar as condições de trabalho já existentes, porém de forma parcial e muitas vezes de eficácia limitada, considerando sua aplicação diretamente sobre um processo já em andamento. A segunda procura diretamente na fase inicial do projeto introduzir os conhecimentos sobre o homem em todas as partes que compõem o posto de trabalho, máquinas,

ferramentas, dispositivos, sistemas de produção, etc. A terceira e última baseia-se em treinamentos e reciclagens dos trabalhadores sobre os riscos e como operar certas ferramentas ou equipamentos da maneira correta, agindo diretamente no modo como os trabalhos são realizados pelos operários.

Como toda área da gestão, a ergonomia também busca melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos de produção, tornando a empresa apta a competir e sobreviver no mercado atual. É uma ferramenta essencial, tanto para a qualidade de vida do operador quanto para a do produto, e deve ser aplicada juntamente com outras ferramentas a fim de se obter melhores resultados produtivos e econômicos. Grandes mudanças no ambiente externo à empresa também geram mudanças consideráveis dentro da mesma, exigindo uma flexibilidade e adaptação de modo a compensar a produtividade e ainda atender as necessidades dos operadores de maneira efetiva e eficiente. O operador, citado também por Abrantes (2004) como cliente interno, se torna mais e mais exigente em relação ao seu ambiente e suas condições de trabalho. A redução de atividades repetitivas e de uma série de “agressões” ocupacionais podem reduzir o stress e incentivar a produção e aumento de desempenho, melhorando consideravelmente o modo como o operador se sente em relação ao seu ambiente de trabalho, ou mesmo em relação ao trabalho em si.

O afastamento de trabalhadores devido a acidentes ou doenças ocupacionais, devido à má aplicação de ergonomia dentro do ambiente de trabalho (ou linha produtiva), é responsável pela maioria das ações trabalhistas na Justiça do Trabalho contra as empresas. Faz-se importante questionar quais os custos tais ações iriam trazer as empresas, bem como quais aspectos sociais a empresa poderia estar ignorando ao não aplicar análises ergonômicas em seus planejamentos de ambientes de trabalho.

Abrantes (2004) cita um artigo, originalmente publicado na revista LOG&MAM (ano XXIV, nº 151) indicando que entre 50 a 70% das pessoas irão apresentar problemas na coluna em alguma fase da vida, esta sendo uma das principais causas de afastamento do trabalho, devido a levantamento e manuseio manual de cargas que exigem o uso de força física. Dados do estudo citam que 33% dos acidentes anuais estão relacionados com a movimentação de materiais, e destes 46% foram relatados como problemas de coluna.

O Instituto Nacional de Segurança Ocupacional e Saúde americano (*National Institute for Occupational Safety and Health*, NIOSH) patrocinou em 1980 o desenvolvimento de um critério de avaliação para levantamento manual de cargas, revisto em 1991. Abrantes (2004) cita ainda dois indicadores para avaliação de chances de lesões na coluna por levantamento de cargas que foram propostos: Limite de Peso Recomendado (LPR) e Índice de Levantamento (IL), dados pelas fórmulas:

$$\text{LPR} = \text{CC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{FM} \times \text{AM} \times \text{CM} \quad (2.1)$$

$$\text{IL} = \text{Peso real do material a ser transportado} / \text{LPR} \quad (2.2)$$

Onde:

CC: Constante de carga estabelecida e igual a 23kg;

HM: Multiplicador Horizontal (dado pela distância do ponto onde as mãos seguram a carga até os tornozelos);

VM: Multiplicador Vertical (dado pela altura do chão até onde as mãos seguram a carga);

DM: Multiplicador de Distância (espaço percorrido pela carga ao ser transportada);

FM: Multiplicador de Frequência (repetição de elevações);

AM: Multiplicador Angular (ângulo de rotação do corpo transportando a carga);

CM: Multiplicador do acoplamento, ou qualidade da pega.

Os fatores representam a alteração do impacto da carga sobre o elemento humano, não fazendo restrição ao sexo do trabalhador, e alguns devem ser identificados em tabelas desenvolvidas pelo próprio Instituto (NIOSH). Analisando o Índice de Levantamento, valores abaixo de 1,0 representam uma chance mínima do desenvolvimento de uma lesão, valores entre 1,0 e 2,0 indicam possível risco enquanto que valores acima de 2,0 apresentam considerável risco.

Couto (1996) comenta que esse critério que trouxe benefícios para os trabalhadores, definindo um limite à carga a ser transportada de forma que não ocorram

lesões aos operadores, mas também gerou pressão para as empresas diminuírem tanto quanto possível o peso a ser transportado em suas linhas de produção. Instintivamente, notamos que uma redução no peso transportado vai indicar um aumento de custos na produção, visto que um operário passa a se locomover mais de modo a deslocar a mesma quantidade de carga, ou seja, ocorre um aumento na frequência de tais deslocamentos. Em muitos casos também não é possível adequar a produção dentro do Critério NIOSH, como em empresas que transportam bobinas de papéis ou fios, chapas de metal, componentes de máquinas ou veículos e paletes carregados, restando apenas a empresa ceder equipamentos, meios ou dispositivos que servirão de apoio para tais transportes e transferências.

Analisando o funcionamento do Critério NIOSH, pode-se observar seis situações agressivas ou hostis ao elemento humano:

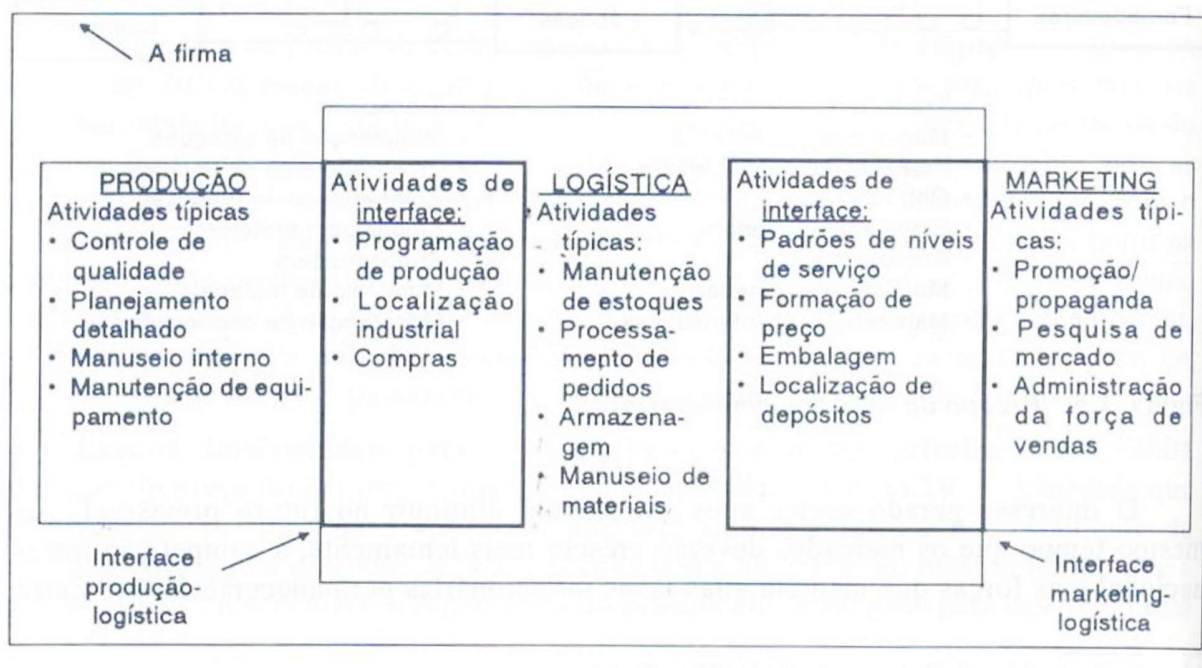
- 1- Cargas superiores a 23kg;
- 2- Frequência de levantamento da carga acima, mais de uma vez a cada cinco minutos;
- 3- Distância da carga ao corpo do trabalhador. Quanto mais distante, pior para a coluna.
- 4- Ângulo de rotação do tronco;
- 5- Pegar cargas em uma altura superior a 1,20m ou inferior a 0,75m em relação ao chão;
- 6- Não conseguir dobrar os dedos próximo de 90° quando suportando uma carga por debaixo da mesma;

O planejamento ergonômico do ambiente de trabalho deve estar vinculado desde o início ao planejamento do *layout* do setor em questão. Condições ergonômicas inadequadas podem estar diretamente relacionadas com um *layout* mal projetado, levando a desconforto, doenças, acidentes, podendo induzir ao erro e diminuir o rendimento do elemento humano, como comentado anteriormente nessa seção. Tudo novamente afetando o resultado produtivo final e por consequência o resultado econômico da empresa. Essas duas ferramentas devem interagir de modo a que se encontre uma solução que melhore tanto a produção e produtividade, quanto a interação do homem com seu ambiente enquanto executa suas atividades laborais.

## 2.4 ADMINISTRAÇÃO INTERNA DE MATERIAIS E MOVIMENTAÇÃO

Seguindo o princípio básico do gerenciamento, a ideia de otimização deve ser aplicada em todos os setores relacionados ao processo produtivo para que a mesma seja realmente efetiva e eficiente na redução de custos do produto final analisado. Isso também significa planejar a movimentação de materiais em todas as interfaces setoriais, seja ela durante a obtenção de matéria-prima, durante a movimentação em estoque ou mesmo durante o carregamento e distribuição dos produtos acabados para o cliente, levando-se em conta que na maioria dos casos as empresas e suas linhas de produção estão consideravelmente distantes de seus fornecedores e clientes, sejam eles diretos ou indiretos. A área que analisa toda a movimentação e estocagem, seja de matéria-prima ou produto acabado é comumente conhecida como logística, representada na figura 2 como responsável pelas interfaces entre os setores produtivo e de marketing. Considera-se importante nesse estudo apenas uma pequena parte de todo esse setor, tratada aqui como “administração interna de materiais”, envolvendo a estocagem paralela à linha produtiva e a movimentação de matéria-prima na entrada do processo produtivo e produto trabalhado no final do mesmo. Os princípios básicos de análises logísticas podem ser aplicados como embasamento teórico inicial.

A análise busca avaliar a situação inicial do processo e, através da administração de recursos, otimizar o fluxo de materiais através de planejamento e controle. O fluxo de materiais controla o desempenho geral do processo. Se o material correto, nas quantidades exatas, não estiver disponível no tempo preciso, o processo não poderá produzir o que deveria, resultando no mal-uso de ambos, mão-de-obra e maquinário, ameaçando a lucratividade e até mesmo a existência de tal empresa, como diz Arnold (1999). A interface operacional da logística está representada na figura 4.



**Figura 4: Interfaces entre produção e marketing: setor atuante da logística, usada como base para análise gerencial de movimentação interna.**

**Fonte: Ballou (1993).**

Ballou (1993) define como atividades primárias da logística o transporte, a manutenção de estoques e o processamento de pedidos, em seguida define seis atividades de apoio, sendo elas a armazenagem, o manuseio de materiais, a embalagem de proteção, esta responsável por acomodar o produto em estocagem ou transporte, a obtenção, a programação de produtos e a manutenção de informação. Esta última sendo a base de apoio para todas as outras atividades e para a administração de materiais em si, visto que não é possível gerenciar a produção eficientemente e efetivamente sem dados e informações importantes, como localização dos clientes, volume de vendas, padrões de entregas e níveis de estoque.

Na área de administração de estoques físicos, Arnold (1999) cita a íntima relação entre a administração física dos materiais em estoque e os depósitos onde ficam armazenados, além de comparar as funções desempenhadas pelos depósitos com a dos almoxarifados, mostrando que ambos podem ser analisados da mesma maneira.

Sendo objetivo dos depósitos minimizar custos e maximizar o atendimento aos clientes, que basicamente funcionam como “amortecedores” para a produção,

permitindo-a funcionar sem que falte matéria-prima ou sem que falte produtos para distribuição ao cliente, protegendo a empresa de possíveis incertezas. Arnold (1999) enumera também algumas atividades que devem ser desempenhadas eficientemente para otimizar o desempenho de um depósito:

**1** – Receber produtos comparando com um pedido emitido pela própria empresa, checando quantidade e possíveis danos, além de emitir um relatório sobre o recebimento.

**2** – Identificar os produtos de acordo com número de unidade de armazenamento e a quantidade recebida registrada na atividade anterior.

**3** – Despachar os produtos para armazenamento.

**4** – Guardar os produtos com proteção adequada até que sejam requisitados.

**5** – Selecionar os produtos e direcionar a uma área de preparação, após requisição.

**6** – Preparar a remessa reunindo produtos que compõem um único pedido, observando pela possível existência de erros e/ou omissões. Ao final dessa atividade, atualiza-se o registro de pedidos.

**7** – Despachar os pedidos já embalados, juntamente com documentação de embarque, acondicionando-os no veículo correto.

**8** – Operar um sistema de informações, mantendo registro para cada item em estoque, de modo que as quantidades em estoque, recebidas, liberadas e suas devidas localizações possam ser obtidas pelos setores interessados.

Os estoques ainda permitem que operações com taxas produtivas diferentes possam ser desempenhadas separadamente e de modo econômico, nivelando a produção de modo a produzir continuamente uma quantidade de produtos igual a demanda média prevista através de dados prévios. Deve-se observar também os custos de estocagem que incidem sobre os produtos, que tendem a variar devido a manutenção, frequência de pedidos e esvaziamento de estoque, por exemplo.

### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A pesquisa neste trabalho possui teor qualitativo, com foco na estruturação da análise para compreensão de um processo de fabricação mecânico qualquer. As ferramentas utilizadas auxiliam o desenvolvimento do projeto de otimização e sua implementação, calçadas em fundamentos teóricos demonstrados no capítulo anterior. Foram utilizadas referências bibliográficas com conteúdo da área gerencial e de assuntos adjacentes ao cerne deste estudo.

Partindo da premissa que o método Seis Sigma, os ciclos PDCA e DMAIC são atualmente os principais modelos e ferramentas entre os gestores da qualidade para a avaliação e otimização sistematizada de processos, o uso de tais ferramentas para análise e desenvolvimento de possíveis variantes otimizadas do processo produtivo mecânico torna-se fundamental para empresas que buscam reduzir os custos de qualidade e conseqüentemente aumentar sua vantagem competitiva dentro do mercado em que estão inseridas.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 ANÁLISE INICIAL DO PROCESSO**

Com base na bibliografia de gerenciamento e no modelo Seis Sigma, em conjunto com as áreas de *layout*, ergonomia e movimentação interna, elaborou-se uma estrutura teórica de análise com a finalidade de simplificar o desenvolvimento de um projeto de reestruturação e otimização de processo. Busca-se primeiramente compreender o processo, seu funcionamento e todas as suas interfaces, facilitando a elaboração de uma configuração que torne o processo mais eficiente e efetivo, consequentemente reduzindo os custos de fabricação e aumentando a competitividade da empresa no mercado. O mapeamento inicial deve refletir a situação real e não aquela que se imagina que seja a ideal, como lembra Scartezini (2009).

#### **4.1.1 ESCOPO E INTERFACES**

Inicialmente efetua-se uma análise de escopo, onde deve-se determinar quais áreas estão envolvidas e, consequentemente, interessadas na otimização de tal processo. Um projeto de otimização não deve focar apenas no processo analisado em si, fisicamente, mas deve envolver na análise também todas as áreas que estão na interface do processo produtivo em foco, e que possam afetar a produtividade de alguma maneira, considerando o fato de que muitas áreas são necessárias para a operação de qualquer processo mecânico de fabricação e estas também devem sua existência pela necessidade imposta pelo tipo de processo produtivo em questão. Pode-se avaliar também a importância e a real necessidade de cada área envolvida para o funcionamento do processo.

#### **4.1.2 LAYOUT E ERGONOMIA ASSOCIADO À MOVIMENTAÇÃO INTERNA E ESTOCAGEM *IN LOCO***

Em seguida, analisa-se a execução do processo em conjunto com a parte física, como estão dispostos os equipamentos, ferramentas e matéria-prima disponível *in loco*, a procura de possíveis falhas de *layout* que possam interferir na fabricação, no fluxo de materiais e pessoas e falhas que possam afetar a ergonomia e trabalho dos operários. Para a análise de um processo de fabricação mecânico, por exemplo, podemos citar como pontos chave de análise física:

- A disposição dos equipamentos no chão-de-fábrica;
- A disposição da matéria prima dentro do setor para execução do trabalho;
- O processo de fabricação desde a entrada de material até a saída do produto nessa etapa e o funcionamento dos equipamentos necessários para a produção, a fim de se observar possíveis falhas ou defeitos que possam ser evitados;
- A movimentação de pessoas na área de produção e ao redor dos equipamentos;
- A movimentação de insumos, peças, produtos e retalhos na entrada e saída do processo;
- A disponibilidade de equipamentos para manuseio de peças, matéria-prima e retalhos em concordância com os requerimentos mínimos de ergonomia;
- A disponibilidade de ferramentas para a manutenção básica *in loco* do equipamento, que deve ser efetuada por profissionais capacitados;
- A limpeza e organização do setor e com que frequência ela ocorre;
- A existência e posicionamento de caçambas para a disposição de retalhos ou cavaco decorrentes do processo produtivo em questão;
- A inexistência de obstáculos que possam dificultar ou comprometer os fluxos de pessoas e materiais no processo.

### 4.1.3 FERRAMENTAS VISUAIS

Elabora-se um fluxograma representando o funcionamento do processo, explicitando as atividades desenvolvidas no processo. O uso de ferramentas visuais facilita a compreensão do relacionamento entre as áreas analisadas e do real funcionamento do processo. O fluxograma deve representar claramente o que ocorre no processo, ser conciso, estar logicamente disposto e sem ambiguidades facilitando a avaliação e detecção de suas possíveis fraquezas, mesmo que executada por terceiros. Ele é então analisado e criticado, buscando melhorias e simplificações no processo avaliado, além da possibilidade da aplicação de novas tecnologias para atualizar o processo.

Em conjunto com o fluxograma, deve-se desenvolver também uma representação em escala do setor produtivo analisado contendo os equipamentos, materiais, ferramentas, vias de movimentação e operadores, todos em suas respectivas posições. Diretamente sobre a representação de *layout* e com auxílio do fluxograma já elaborado, representa-se o fluxo produtivo em conjunto com o fluxo de pessoas dentro do setor, a fim de avaliar e entender como o processo está funcionando atualmente e quais são suas possíveis falhas e defeitos, auxiliando no desenvolvimento posterior de novas variantes ótimas.

### 4.1.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

Em conjunto com a elaboração das ferramentas visuais, deve-se definir indicadores de desempenho do processo produtivo, estes que são uma maneira de quantificar o processo analisado de modo a avaliar se as mudanças causadas pela reengenharia e otimização geraram os resultados positivos esperados, utilizados para monitorar o funcionamento do processo. Comumente, como indica a bibliografia, os indicadores mais utilizados em projetos de otimização são os de tempo e custos de produção em relação a uma quantidade produzida predefinida, facilitando a comparação

dos resultados dos modelos pré e pós modificação. Entretanto, Scartezini (2009) define dois grupos gerais de indicadores que podem ser tomados de acordo com o objetivo do estudo: os resultantes que permitem avaliar se os objetivos foram atingidos, avaliando o passado e sendo altamente comparáveis e os direcionadores que são menos comparáveis, mas permitem analisar causas presumidas do efeito observado, antecipando o futuro. Só após a definição dos indicadores que eles são relacionados com os objetivos que refletem, como por exemplo a economicidade, a eficiência, a eficácia e a efetividade dos esforços despendidos pela organização, e então metas a serem atingidas devem ser definidas pela equipe de projeto. Para um projeto de otimização, todos devem ser maximizados tanto quanto possível.

#### **4.1.5 EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO**

O projeto de otimização é desenvolvido, a partir da análise dos dados já obtidos, por uma equipe de gestores e responsáveis dos mais diversos setores envolvidos, definidos na etapa de análise de escopo e interfaces. Faz-se uso de ferramentas como o *brainstorming* buscando definir determinada quantidade de problemas no processo em questão e os detalhes importantes a serem observados durante a preparação do projeto, com base no conhecimento específico de cada membro da equipe. Após a definição seleciona-se as ideias mais relevantes e os problemas mais graves são analisados através de ferramentas gerenciais como o diagrama de Ishikawa, onde procura-se identificar a causa de tais problemas. Em seguida utiliza-se o diagrama de Pareto com a finalidade de definir quais as causas de problemas mais relevantes para que os esforços estejam corretamente direcionados para sua resolução, gerando também uma economia de recursos para a organização no processo de otimização.

A equipe deve avaliar também a possibilidade da substituição dos equipamentos e maquinários por novas tecnologias, caso essas sejam realmente mais efetivas no serviço do que as atualmente presentes, além de considerar ganhos em sua produção e operação, avaliando as necessárias mudanças e adaptações na linha de produção, se

essa for a escolha feita. Deve-se buscar melhorias consideráveis em relação ao investimento efetuado, ou seja, considerar a questão custo-benefício da implementação de tais novidades e qual o seu impacto na produção final em quesito de qualidade, economia e produtividade, além de avaliar a necessidade de treinamento dos operadores para utilização de novos equipamentos.

#### **4.2 PROJETO DE OTIMIZAÇÃO, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO**

Com a definição do foco, das áreas adjacentes, das interfaces produtivas, a definição e obtenção de indicadores e a elaboração das ferramentas visuais a equipe está agora apta a desenvolver o projeto de otimização. Deve-se planejar e definir um cronograma de atividades e, só então, inicia-se o projeto de reestruturação do processo, com base nos dados coletados (modo de operação, interfaces, , ferramentas visuais desenvolvidas e indicadores de desempenho definidos, buscando uma variante que atenda a todos os requisitos analisados e definidos durante o *brainstorming* e posteriormente avaliados nos diagramas de Ishikawa.

O projeto da produção é então aplicado, seguindo o cronograma inicialmente proposto, e é novamente avaliado a fim de observar se as mudanças foram realmente efetivas, com base nos indicadores definidos previamente.

O *feedback* dos operadores do processo produtivo analisado também é de imensa importância para tal avaliação, devendo ocorrer antes, durante e após a execução e aplicação do projeto, iniciando preferencialmente em conjunto com a análise de escopo. Por se tratar da opinião dos indivíduos diariamente envolvidos com a produção, pode-se facilitar muito a etapa de compreensão do funcionamento do processo produtivo, descobrir falhas não observadas inicialmente pelos gestores e também auxiliar desenvolvimento de ideias para uso durante as fases iniciais de análise (*brainstorming*), conseqüentemente ampliando as possibilidades de reengenharia do processo produtivo analisado.

### 4.3 MELHORIA CONTÍNUA

Como exemplificado no capítulo 2.1.2 deste trabalho, a metodologia de ciclo PDCA costuma ser aplicada no planejamento e gerenciamento de forma a se obter uma melhoria contínua no processo. Ao ser finalizada a primeira aplicação, deve-se buscar fazer novas análises mesmo após a implementação de novas variantes ótimas do processo, garantindo uma constante avaliação e melhoria, buscando eliminar cada vez mais os defeitos encontrados no processo e também permitindo a elaboração de um banco de dados referente ao funcionamento do processo, com base nos indicadores selecionados e nas melhorias obtidas durante a aplicação dos métodos gerenciais. Scartezini (2009) diz que o ciclo é projetado de maneira a produzir uma sistematização do planejamento e execução das ações organizacionais, através do fluir contínuo do ciclo em uma espiral crescente de melhoria, no qual o processo ou padrão sempre pode ser reavaliado e um novo ou uma melhoria de processo poderá ser promovida. Sendo assim torna-se vital e altamente indicado a implementação do método de melhoria constante com o auxílio das ferramentas gerenciais comentadas, visando aproximar-se dos resultados propostos pela metodologia Seis Sigma na bibliografia, proporcionando a redução contínua dos custos de qualidade e conseqüentemente o aumento de competitividade produtiva da empresa frente ao rigoroso mercado globalizado dos dias de hoje.

## 5 CONCLUSÃO

Através do estudo da bibliografia proposta e de todos os livros e artigos referenciados neste trabalho, observa-se a real importância da busca pela redução dos custos de qualidade a partir da sistematização dos métodos de análise e avaliação pelos responsáveis do setor produtivo, auxiliando a empresa interessada a se tornar mais competitiva frente às suas concorrentes. O método Seis Sigma, aqui associado ao Gerenciamento da Qualidade Total, busca atacar diretamente a variabilidade de um processo produtivo, reduzindo conseqüentemente os custos de qualidade. Conclui-se, portanto, que qualquer mudança em um processo produtivo no intuito de se adaptar a essa metodologia vai proporcionar a redução da quantidade de peças que necessitam ser descartadas ou retrabalhadas, reduzindo os custos por unidade fabricada, aumentando a produtividade individual dos operadores e a produtividade total da planta sem que seja necessária uma ampliação.

Em paralelo, avalia-se também a importância do bem-estar do operador considerando-o como cliente interno. A aplicação de conceitos de posicionamento de equipamentos e ferramentas, controle de fluxo de pessoas e materiais e a disponibilização de equipamentos que facilitam o transporte de cargas têm grande impacto na produtividade individual, na qualidade do trabalho e na prevenção da aparição de doenças ocupacionais – estas que podem impedir a execução do trabalho pelo operador além de prejudicar imensamente o seu bem-estar como indivíduo. A adaptação do ambiente produtivo ao elemento humano é vital para a redução do afastamento precoce de operadores por doenças físicas, e possivelmente até psicológicas.

Como sugestão indica-se a preparação de uma equipe para avaliações de qualidade dentro da empresa e a aplicação dos métodos propostos buscando obter a melhoria contínua, avaliando de tempos em tempos todos setores em busca de falhas que possam ser resolvidas através das ferramentas de sistematização.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, Antonio Francisco. **Atualidades em ergonomia: logística, movimentação de materiais, engenharia industrial, escritórios**. São Paulo: IMAM, 2004. 164 p. ISBN 85-8982456-X.

ARAÚJO, Neusa da Silva. **Estudo para otimização da logística de armazenagem, movimentação e distribuição**. Cornélio Procópio, 2008. 45 fl. : TCCP (especialização em Gestão da produção) - UTFPR, Cornélio Procópio, 2008.

ARNOLD, J. R. Tony. **Administração de materiais: uma introdução** / J. R. Tony Arnold; tradução Celso Rimoli, Lenita R. Esteves – São Paulo : Atlas, 1999.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**. São Paulo : Atlas, 1993. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/read/0008400026d0ca2a2042e>>. Acesso em 22 set. 2015.

COUTO, H de A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: O manual técnico da máquina humana**. Vol. I e II. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995/1996

CHASE, Richard B. **Administração da produção para a vantagem competitiva** / Richard B. Chase, F. Roberts Jacobs, Nicholas T. Aquilano ; tradução R. Brian Taylor. – 10. Ed. – Porto Alegre : Bookman, 2006.

DAVIS, M., AQUILANO, N & Chase, R. - **Fundamentos da Administração da Produção**: Bookman, 2000.

GAITHER, Norman, **Administração da Produção e Operações**, Pioneira, 2001.

GIANESI, Irineu G. N. **Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente**. / Irineu G. N. Gianesi, Henrique Luiz Corrêa. – 1. Ed. – 16. Reimpr. – São Paulo : Atlas, 2006.



PYZDEK, Thomas. **The Six Sigma handbook revised and explained**. McGraw-Hill, 2003.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Gestão logística**. Florianópolis: UFSC; [Brasília]: CAPES, UAB, 2010. 178 p. ISBN 9788579880636.

SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa. **Análise e Melhoria de Processos** / Luís Maurício Bessa Scartezini. – Goiânia, 2009.

Silva, Edna Lúcia. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**/Edna Lúcia da Silva, Estera Muszkat Menezes. – 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. ATLAS, 2ª edição de 2002.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, A.E.; HSIANG, T.C. **Engenharia da qualidade em sistemas de produção**. São Paulo, McGraw-Hill, 1990.

TOLEDO JÚNIOR, Itys-Fides Bueno de. **Lay-out: arranjo físico**. 7. ed. Mogi das Cruzes, SP: Itys-Fides, 1999. 179 p. (Racionalização industrial)

VOLLMANN, Thomas E. **Sistemas de planejamento e controle da produção para gerenciamento da cadeia de suprimentos** / Thomas E. Vollmann ... [et al.]; tradução Sandra de Oliveira. – 5. Ed. – Porto Alegre : Bookman, 2006

## ANEXOS

ANEXO A – Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito) com base nos 6M.

