

**Universidade Federal de Santa Catarina**

**Centro Tecnológico**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial**

**Labmetro – Laboratório de Metrologia e Automação**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA  
SUPORTE AO PLANEJAMENTO DO  
PROCESSO DE FABRICAÇÃO E GARANTIA DA  
QUALIDADE DE EMPRESAS DO RAMO METAL-  
MECÂNICO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção  
do título de Mestre em METROLOGIA

Fernando Augusto Pereira

Florianópolis, 31 de agosto de 2004.

# **DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA SUPORTE AO PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E GARANTIA DA QUALIDADE DE EMPRESAS DO RAMO METAL- MECÂNICO**

**Fernando Augusto Pereira**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

**Mestre em METROLOGIA**

E aprovada na sua forma final pelo

Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial

---

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr.

Orientador

---

Prof. Marco Antônio Martins Cavaco, Ph.D.

## **Banca Examinadora:**

---

Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.

---

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.

---

Prof. Armando Albertazzi G. Júnior, Dr. Eng.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente a este trabalho e principalmente aos amigos que, nas horas difíceis, souberam repassar suas experiências e suas sabedorias.

## SUMÁRIO

Lista de figuras.....	i
Lista de siglas internacionais .....	iv
Resumo .....	v
<b>1 A RELEVÂNCIA DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO E DA GARANTIA DA QUALIDADE NAS EMPRESAS DO RAMO METAL-MECÂNICO .....</b>	<b>6</b>
1.1 O DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE ATRAVÉS DOS TEMPOS .....	6
1.2 FATORES DE COMPETITIVIDADE NO MERCADO GLOBAL .....	11
1.2.1 O Custo e o Tempo .....	13
1.2.2 A Qualidade.....	16
1.2.3 A influência da Gestão da Qualidade nas variáveis <i>Custo e Tempo</i> .....	20
1.3 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA DA QUALIDADE E OS MÉTODOS APLICADOS NA LINHA DE PRODUÇÃO .....	21
1.4 O CENÁRIO DAS MED&PEQ DO RAMO METAL-MECÂNICO .....	23
1.5 OS OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	26
<b>2 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA E CONTROLE DA QUALIDADE .....</b>	<b>28</b>
2.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: ETAPAS BÁSICAS .....	28
2.2 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA DA QUALIDADE NAS MED&PEQ DO RAMO METAL-MECÂNICO .....	31
2.2.1 QFD (Desdobramento da Função Qualidade).....	32
2.2.2 FMEA (Análise de Efeitos e Modos de Falhas) .....	36
2.2.3 FTA (Análise de Árvore de Falhas) .....	40
2.2.4 DFM (Projeto Para Fabricação).....	43

2.2.5	DOE (Projeto de Experimentos) .....	46
2.3	OS MÉTODOS DE CONTROLE DA QUALIDADE NA LINHA DE PRODUÇÃO .....	49
2.3.1	Classificação por tipo de dados .....	49
2.3.2	Classificação pela frequência de inspeção .....	50
2.3.3	Classificação segundo a aplicação dos resultados .....	51
2.4	A CARACTERIZAÇÃO E A COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE GARANTIA E CONTROLE DA QUALIDADE NA LINHA DE PRODUÇÃO NAS MED&PEQ .....	58
2.4.1	Termos e definições acerca dos métodos e ferramentas de qualidade .....	58
2.4.2	A importância de um método que oriente o planejamento do processo nas MED&PEQ .....	59
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA AUXILIAR O PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E GARANTIA DA QUALIDADE DAS MED&amp;PEQ .....</b>	<b>60</b>
3.1	CONCEITOS BÁSICOS PARA ENTENDIMENTO E APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSO E GARANTIA DA QUALIDADE .....	60
3.1.1	Capacidade do processo .....	61
3.1.2	A visualização das peças por meio de “Features” .....	62
3.2	O MÉTODO PREVENTIVO DE GARANTIA DA QUALIDADE NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	64
3.3	CONCEPÇÃO DO MÉTODO .....	65
3.4	O PLANEJAMENTO DO PROCESSO: AS ETAPAS DE EXECUÇÃO .....	74
3.5	A METROLOGIA COMO SUPORTE ÀS MEDIÇÕES CONFIÁVEIS .....	82
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO EM UMA PEÇA DE FABRICAÇÃO SERIADA .....</b>	<b>86</b>
4.1	ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE SUCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA DE SÉRIE .....	86

4.1.1	Os resultados da aplicação do método em uma peça de produção seriada ..	93
<b>5</b>	<b>ASPECTOS CONCLUSIVOS DO NOVO MÉTODO DE PLANEJAMENTO DO PROJETO DO PROCESSO E GARANTIA DA QUALIDADE .....</b>	<b>95</b>
5.1	QUANTO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO .....	95
5.2	QUANTO AOS ASPECTOS INÉDITOS DO MÉTODO .....	96
5.3	QUANTO AOS DESAFIOS E DEFICIÊNCIAS DO MÉTODO .....	97
5.4	A METROLOGIA NA INTERFACE DE APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	98
5.5	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS NA TEMÁTICA DO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS .....	99
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O desenvolvimento das normas de Qualidade e as Normas da Série ISO 9000 através dos tempos. ....	9
Figura 2 – Década de 80, 90 e 00 – criação das normas da Série ISO 9000, VDA, QS e ISO/TS 16949. ....	10
Figura 3 – O cenário mundial das empresas diante da globalização. ....	12
Figura 4 – Os três fatores que proporcionam competitividade aos produtos. ....	13
Figura 5 – O cenário da Vantagem Competitiva dos produtos no mercado. ....	15
Figura 6 – Atingindo uma cadeia de suprimentos integrada (Adaptado de).....	16
Figura 7– Características das empresas que concentram suas ações para resolver problemas cotidianos e não conseguem planejar as etapas de desenvolvimento de seus produtos. (Adaptado de ). ....	18
Figura 8 – Custos de correção das falhas no desenvolvimento, na fabricação e no cliente (Adaptado de ). ....	18
Figura 9– A influência da maturidade da Gestão da Qualidade, sob o aspecto mercadológico (Adaptado de ). ....	20
Figura 10 – A influência da maturidade da Gestão da Qualidade, sob o aspecto da redução dos custos da fabricação e serviço (Adaptado de ). ....	21
Figura 11 – Métodos Preventivos de Controle de Qualidade e Métodos aplicados na Linha de Produção, sob a ótica de Engenharia Simultânea (Adaptada de ). ....	23
Figura 12 – Estratégias utilizadas em empresas de sucesso, na descoberta da oportunidade, desenvolvimento, lançamento, produção e declínio do produto..	29
Figura 13 – Representação do ciclo de fluxo de caixa no desenvolvimento de um único produto. ....	30
Figura 14 - Etapas realizadas no desenvolvimento de um produto, sob o ponto de vista operacional (Adaptada de ). ....	31
Figura 15 – Representação gráfica matriz da 1ª dimensão do QFD, chamada de “Casa da Qualidade” (Adaptada de ). ....	33
Figura 16 – Desdobramento da Função Qualidade, das necessidades do cliente até a manufatura (Adaptado de ). ....	34
Figura 17 – Os tipos de FMEA existentes e sua aplicação (Adaptado de ). ....	37

Figura 18 – Fluxograma simplificado de desenvolvimento do DFM (Adaptado de [1]).	44
Figura 19 – Modelo geral simplificado do modelo de um processo ou sistema (Adaptado de ).	47
Figura 20 – Estágios de melhoria de processos utilizando o conceito de CEP (Adaptado de ).	52
Figura 21 – Representação dos quatros estados possíveis que uma empresa pode estar inserida (Adaptada de ).	54
Figura 22 – Representação gráfica de um processo com distribuição normal, com média e desvios padrão conhecidos e seus limites de especificação.	61
Figura 23 – Features básicas e sua definição vetorial.	63
Figura 24 – Exemplo de aplicação das features básicas no projeto de peças mecânicas.	64
Figura 25 – Contextualização do método analítico de planejamento do processo, perante o desenvolvimento de produtos.	65
Figura 26 – Representação de uma peça hipotética, fabricada por processos distintos, com capacidades distintas.	66
Figura 27 – Utilização do simulador para cálculo dos custos na fabricação da peça exemplo, com a variação da seqüência do processo de fabricação.	68
Figura 28 – Diferença de valores entre os dois resultados de custo da peça, considerando que o processo “A” é 50% mais caro em relação ao processo “B”. .....	69
Figura 29 – Representação da condição real e condição teórica das referências de uma peça. ....	70
Figura 30 – Exemplo de uma peça hipotética com suas referências. ....	71
Figura 31 – Operação de obtenção do recorte, utilizando como elemento de referência, um dos vértices do plano da peça. ....	72
Figura 32 – Usinagem do furo definido pela Fabricação A, onde o elemento de referência é o recorte. ....	72
Figura 33 – Usinagem do furo definido pela seqüência de Fabricação B, onde o planejador adotou o mesmo elemento de referência utilizado para fazer o recorte. ....	73
Figura 34 – Representação do fluxograma detalhado do método de desenvolvimento do projeto do processo. ....	76
Figura 35 – Mapeamento de features em uma peça hipotética. ....	78



Figura 36 – Organograma de valor criado a partir de uma peça hipotética.....	78
Figura 37 – Coleta de dados referentes as capacidades dos processos para fabricar cada feature. ....	80
Figura 38 – A metrologia e sua influência nos processos de desenvolvimento de produtos (Adaptado de ). ....	83
Figura 39 – O efeito das componentes pseudo-aleatórias do erro de medição na estimativa da capacidade de processo usando $C_p$ . ....	84
Figura 40 – Mapeamento das features da peça escolhida, conforme a definição das features básicas. ....	87
Figura 41 – Representação das superfícies de referência da peça, de acordo com suas features.....	88
Figura 42 – Representação gráfica do organograma de valor teórico.....	88
Figura 43 – Sistema de referências utilizadas na fabricação. ....	89
Figura 44– Representação do organograma de valor real, a partir das condições atuais de fabricação. ....	90
Figura 45 – Organograma de valor real representando somente as características críticas/significativas. ....	91
Figura 46 – Levantamento da probabilidade de cada uma as operações, considerando os índices de capacidade de cada uma as features. ....	91
Figura 47 – Desdobramento do organograma de valor em partes para cálculo de probabilidade de sucesso de fabricação de peças boas.....	92
Figura 48 – Simulação da probabilidade de sucesso de fabricação da peça analisada.....	93

## LISTA DE SIGLAS INTERNACIONAIS

RPN	Risk Priority Number
TQC	Total Quality Control
FTA	Fault Tree Analysis
OEM	Original Equipment Manufacturer
MTBF	Mean Time between Failures
QFD	Quality Function Deployment
QSA	Quality System Assessment
CEP	Controle Estatístico do Processo
MED&PEQ	Médias e Pequenas Empresas

## RESUMO

É cada vez mais usual que as empresas tenham que diversificar seus produtos e aumentar seu portfólio. Essa prática vem sendo aplicada não só nas grandes empresas, mas também nas médias e pequenas. O mercado está ampliando suas exigências e fazendo com que as margens de lucros sejam diminuídas. Somente as empresas que têm domínio sobre seus processos estão sobrevivendo neste ambiente. Os custos das operações de retrabalho e as altas taxas refugo inviabilizam a produção e não são mais tolerados.

As grandes empresas estão resolvendo estes problemas com investimentos em métodos preventivos de garantia da qualidade, que já são praticados durante algum tempo no setor automotivo. As Médias e Pequenas Empresas por outro lado, pela sua falta de recursos, tem que escolher entre investir em mais uma máquina, um instrumento de medição ou contratar mais pessoas para garantir a qualidade de seus produtos. Geralmente elas investem em máquinas. Prova disso são os problemas encontrados no seu dia-a-dia e sua falta de competitividade.

Diante desse quadro, a proposta de um método que auxilie as empresas a planejarem seus processos de fabricação e da garantia da qualidade conforme os conceitos e as boas práticas relacionadas ao processo produtivo e quanto ao uso adequado da metrologia no chão de fábrica para a garantia da qualidade do produto, faz sentido e tem ampla aplicação no ramo metal-mecânico.

Com aplicação deste método, as Médias e Pequenas Empresas poderão antecipar a descoberta de problemas que podem vir a ocorrer na fase de produção, permitindo que os processos sejam planejados de forma sistemática, possibilitando a identificação de pontos críticos do processo, a realização de análise de probabilidade de sucesso na fabricação de uma peça, fazer a otimização dos recursos utilizados para o controle dos processos e realizar a definição de pontos de controle e inspeção.

# **1 A RELEVÂNCIA DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO E DA GARANTIA DA QUALIDADE NAS EMPRESAS DO RAMO METAL-MECÂNICO**

A competição cada vez mais acirrada no mercado faz com que as empresas tenham que cortar custos. Além da concorrência local, ainda existe a concorrência com as empresas asiáticas, cada vez mais presentes no mundo ocidental. O “Custo Brasil” de produção é penalizado devido seu antigo modelo de tributação e as dificuldades logísticas encontradas nos seus canais de distribuição.

Diante deste quadro, o país precisa encontrar seu diferencial competitivo. O investimento na melhoria da qualidade dos produtos brasileiros pode ser uma das maneiras para conquista deste diferencial. Essa melhoria da qualidade irá viabilizar o aumento da competitividade das empresas nacionais, permitindo que se mantenham no mercado e venham a pensar na exportação.

Para conquista deste diferencial, é necessário que essas empresas tenham amplo domínio de seus processos produtivos e tenham uma boa sistemática de garantia da qualidade. Apresenta-se neste capítulo, o cenário das empresas nas atividades relacionadas à garantia da qualidade e ao projeto do processo.

## **1.1 O DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE ATRAVÉS DOS TEMPOS**

O conceito da qualidade é dinâmico. Mudam os conceitos, mudam as práticas, as responsabilidades e as prioridades. Observando seu histórico, encontramos algumas similaridades entre a evolução do conceito da qualidade e as mudanças nas organizações. Essas mudanças acompanharam a história do desenvolvimento humano.

A preocupação com a qualidade vem acontecendo desde a Antigüidade. A perfeição das pirâmides, com seu rigor matemático e a qualidade dos seus materiais é prova disso. A consistência do modelo arquitetônico grego e romano destaca-se pela notável qualidade da alvenaria e a engenharia de suas estruturas.

Na Idade Média, a Europa acompanhou a formação das associações de artesãos. Elas contribuíram para a regulamentação da economia, com a organização do comércio e a pré-fixação dos preços. Essas associações fixavam padrões, estipulavam condições de trabalho, regulavam algumas fases específicas do processo produtivo e controlavam a matéria-prima.

A partir da idade moderna, nasceram as primeiras formas do homem de transformar energia. Este advento foi marcado pelo nascimento da necessidade de padronização e intercambiabilidade, fatores que contribuíram para um melhor controle dos processos e, conseqüentemente, da qualidade.

Foi no início do século 20 que houve a disseminação da industrialização e o início das divisões de especialização do trabalho. Neste mesmo período surgiu o *Journal of the American Statistical Society*<sup>1</sup>, que existe até hoje e faz publicações importantes na área da estatística e da produção. Este período é marcado também pelo surgimento dos inspetores de Controle da Qualidade na conformação de peças mecânicas.

Foi nos primeiros 30 anos deste século, que a ênfase nos procedimentos da qualidade de produtos e serviços tiveram seu surgimento. Nesta época foram utilizados os primeiros gráficos de controle desenvolvidos por W. Shewhart<sup>2</sup>, que defendia que o processo produtivo é a fonte de qualidade para o produto. Nas décadas de 30 e 40 a estruturação da qualidade sofreu grande evolução. A utilização dos gráficos de controle e a aceitação por amostragem foram popularizadas. Mais tarde, foram criados os planos de amostragem por variáveis.

Na década de 50, houve a disseminação das famosas tabelas que formulam planos de amostragem simples, dupla e múltipla para avaliação da qualidade por atributos e variáveis e os planos para produção contínua. Houve grandes avanços no Controle Estatístico da Qualidade, como por exemplo, a criação dos gráficos

---

<sup>1</sup> Journal of the American Statistical Society – Revista especializada na divulgação de assuntos voltados para estatística.

<sup>2</sup> Walter Shewhart é considerado o criador dos gráficos de controle. Esses gráficos são utilizados ainda hoje no controle de processos.

CUSUM<sup>3</sup> e os planos de amostragem para lotes, em inspeção contínua ou alternada. As normas de qualidade das indústrias militares foram amplamente desenvolvidas nessa época.

O Japão nesta mesma década revolucionou o conceito da qualidade. Os trabalhos de Deming, Juran e Ishikawa<sup>[1]</sup> popularizaram a essência conceitual do controle da qualidade. Os operadores da produção participaram, absorveram e passaram a utilizar seus conhecimentos no dia-a-dia. Foi neste período que o Japão passou a aplicar de forma mais ampla os princípios da “gestão da qualidade total”, desenvolvidos originalmente pelos americanos<sup>[2]</sup>.

As décadas de 60, 70 e 80 caracterizaram a consolidação do conceito de qualidade. Neste período houve uma extensão bastante abrangente do conceito inicial, com o surgimento de novos métodos e estratégias para viabilizar a produção de bens e serviços. Foi na década de 60 que surgiu o conceito de Controle da Qualidade Total (TQC)<sup>[3]</sup>, criado por Armand Feigebaum. Nesta época foi estruturado o programa *Zero Defeito*<sup>4</sup> e houve o aparecimento dos *Círculos da Qualidade*<sup>5</sup> no Japão. Nesta mesma época, surgiram importantes veículos de divulgação do tema qualidade, como a revista *Quality*<sup>6</sup>, o *Journal of Quality Technology*<sup>7</sup> e a revista *Quality Progress*<sup>8</sup>.

Na década de 70, Feigebaum fez com que o controle da qualidade fosse difundido por toda uma organização, além dos limites do processo produtivo. Esta fase é amplamente marcada pelo envolvimento dos trabalhadores da empresa no esforço pela melhoria da qualidade. Os estudos para valorar os custos com a qualidade são desenvolvidos neste período. Os programas de credenciamento

---

<sup>3</sup> CUSUM – Gráficos de controle de produção com resolução diferenciada dos tradicionais gráficos de controle. CUSUM significa: Cumulative Some.

<sup>4</sup> Zero Defeito – Conceito criado e difundido na década de 60, que pregava o controle da qualidade através do domínio dos processos e que tinha como meta o índice de defeitos igual a zero.

<sup>5</sup> Círculos da Qualidade – Programas implantados nas fábricas que visava o desenvolvimento de estudo e resolução de problemas pelos próprios funcionários.

<sup>6</sup> Quality – Revista especializada em qualidade lançada em 1962.

<sup>7</sup> Journal of Quality Technology – Publicação periódica lançada sobre qualidade lançada em 1965.

<sup>8</sup> Quality Progress - Revista especializada em qualidade lançada em 1967.

laboratorial sofreram grande expansão e surgiram como importante meio de padronização, rastreabilidade e conformidade.

A abordagem sistêmica dos problemas de qualidade no processo produtivo, criada por Ishikawa na década de 50, foi ampliada e surgiram os métodos de Taguchi<sup>[4]</sup> para análise de problemas que tem variáveis mutuamente dependentes. O advento do computador, lançado nesta mesma época, ampliou e facilitou o uso das técnicas estatísticas.

Quase no final da década de 80 até meados da década de 90, nasceram às normas da série ISO 9000. Essas normas surgiram como maneira sistematizar a implantação de programas de gestão da qualidade no processo produtivo, onde a empresa tem seu sistema da qualidade auditada freqüentemente por órgãos reconhecidos internacionalmente entre países, através de acordos internacionais.

A Figura 1, apresenta um resumo da evolução da qualidade até o último ano do século passado, com as normas da série ISO 9000.

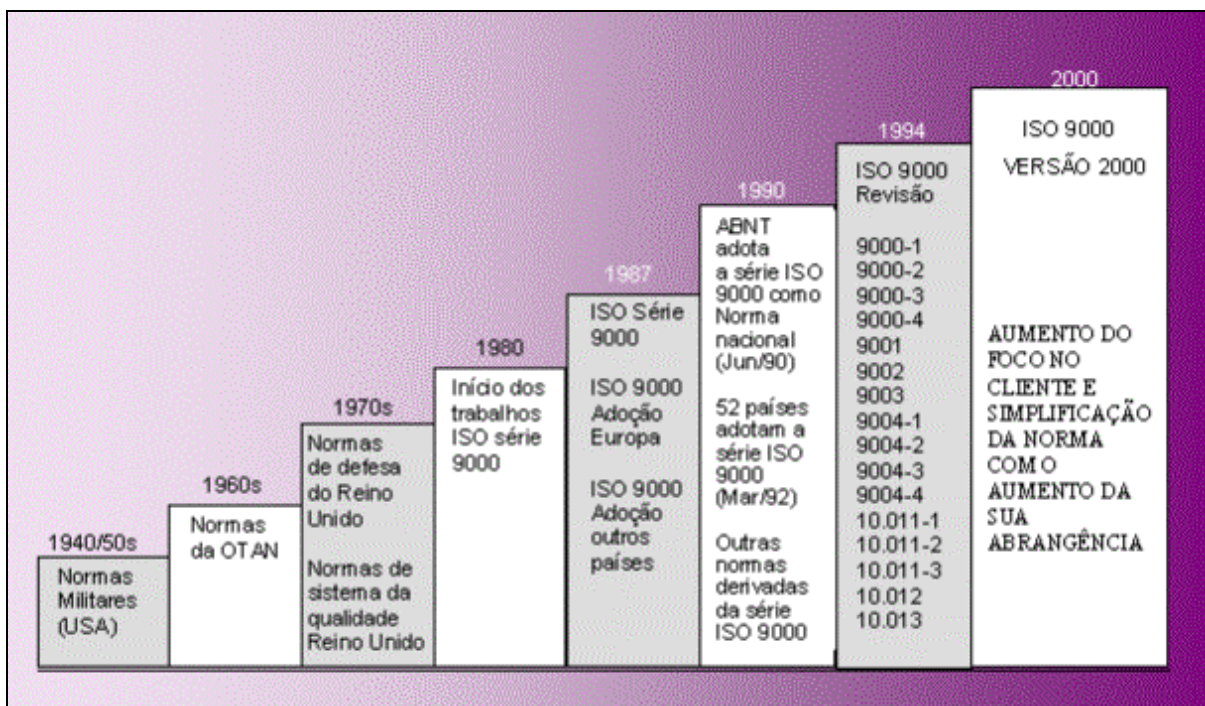


Figura 1 – O desenvolvimento das normas de Qualidade e as Normas da Série ISO 9000 através dos tempos<sup>[5]</sup>.

No final dos anos 90, as empresas automobilísticas mostraram para todo o mundo a eficiência dos seus programas de qualidade. Elas desenvolveram seus

próprios métodos de controle da qualidade. A Figura 2, apresenta a cronologia do desenvolvimento de normas para a qualidade nas empresas automobilísticas. Elas são uma evolução das normas da série ISO 9000.

Com o surgimento de fornecedores mundiais de autopeças, a quantidade de normas que um fornecedor tinha que ser certificado era muito grande. As associações de classe da França, a Alemanha, a Inglaterra, a Itália e os EUA, além de algumas montadoras importantes tinham suas próprias normas. Foi então que, no ano de 1999, houve a criação de um comitê formado por associações de classe e pelas montadoras. A criação deste comitê foi importante, por que apresentou uma evolução do que até então eram utilizados, unificando em apenas uma norma, denominada ISO TS 16949.

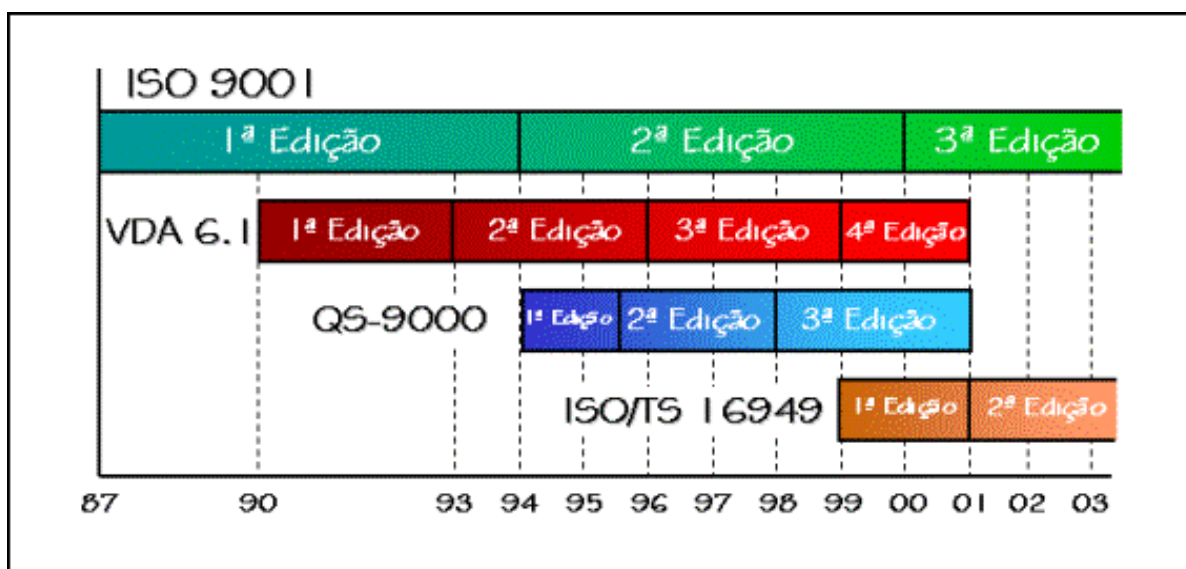


Figura 2 – Década de 80, 90 e 00 – criação das normas da Série ISO 9000, VDA, QS e ISO/TS 16949<sup>[5]</sup>.

O desenvolvimento da qualidade nas empresas montadoras de veículos são bastante completos. Surgem desde a identificação das necessidades do Cliente, desenvolvimentos de Projetos por métodos computacionais avançados, as



modernas técnicas de *GD&T*<sup>9</sup>, os amplos recursos de manufatura, os canais de suprimentos, através de *Supply Chain*<sup>10</sup>, a metrologia, com seus equipamentos, suas técnicas avançadas e seus métodos de controle de qualidade na manufatura.

## 1.2 FATORES DE COMPETITIVIDADE NO MERCADO GLOBAL

Segundo Ferraz et al.<sup>[6]</sup>, embora freqüentes, os estudos sobre competitividade ressentem-se da ausência de consenso quanto à definição do conceito. De fato, embora manejem um elenco variado de indicadores, percebe-se que existe a convivência de duas famílias de conceitos acerca de competitividade.

Na primeira, a competitividade é vista como **desempenho** – a competitividade que aparece no mercado. A competitividade é, de alguma forma, expressa pela participação no mercado (*market-share*) alcançada por uma empresa em um certo momento do tempo.

Na segunda, a competitividade é vista como **eficiência** – a competitividade potencial. Busca-se de alguma forma de traduzir a competitividade através da relação insumo-produto praticada pela empresa, isto é, da capacidade da empresa converter insumos em produtos com o máximo de rendimento.

Conclui-se então que, a competitividade é, função da adequação das estratégias da empresa ao padrão de concorrência vigente no mercado específico. Em cada mercado vigoraria um dado padrão de concorrência definido a partir da interação entre estrutura e condutas dominantes no setor. Seriam competitivas as empresas e/ou cadeias produtivas que a cada instante adotassem estratégias competitivas mais adequadas ao padrão de concorrência setorial. Portanto, o padrão de concorrência é a variável determinante e a competitividade a variável

---

<sup>9</sup> GD&T – Geometric Dimensioning & Tolerancing. É uma linguagem de Engenharia Normalizada Internacionalmente, empregada em desenhos mecânicos para descrever dimensões, formas, orientações e posições de elementos de peças mecânicas. Pode ser definido como um método analítico e preventivo de Engenharia da Qualidade, que utiliza um conjunto de definições matemáticas exatas para dimensionamento e especificação de tolerâncias.

<sup>10</sup> *Supply Chain* – Rede avançada de suprimentos de materiais, composta pela cadeia de fornecedores e seus canais de distribuição.

determinada ou de resultado.

O conceito de mercado global vem crescendo e está apresentando uma nova realidade para as empresas. Estão surgindo novas regras, onde a competitividade apresenta-se com duas faces. Uma delas é boa, pois oferece a oportunidade de ampliação dos negócios. A outra, bastante perigosa, pode favorecer a atuação da concorrência e fazer com as empresas pouco competitivas tenham que ser fechadas. A Figura 3, mostra este ambiente turbulento, de muitas exigências e mudanças, onde as empresas mais preparadas para atuarem neste cenário estão sobrevivendo.

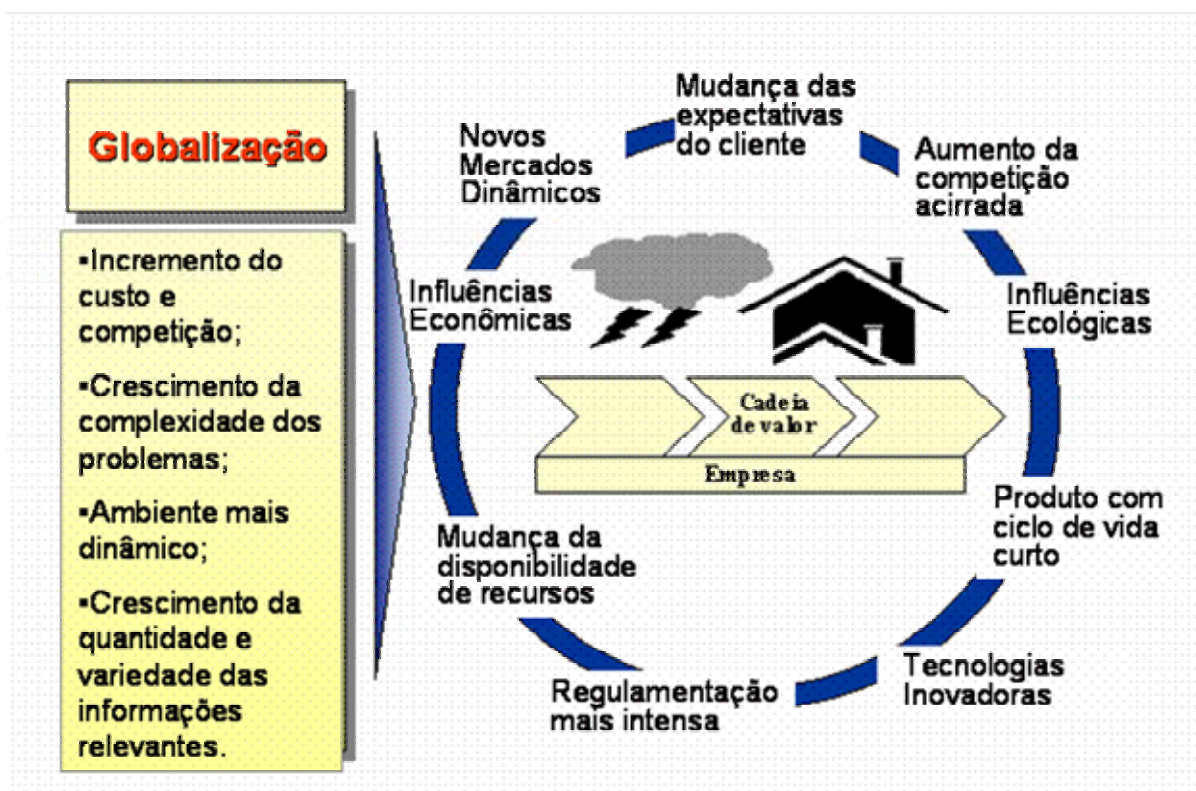


Figura 3 – O cenário mundial das empresas diante da globalização<sup>[7]</sup>.

As empresas, diante deste cenário, têm que estar em processo constante de aprendizagem e devem investir incansavelmente em melhoria contínua para poderem se manter em funcionamento.

Segundo Porter<sup>[8]</sup>, existem alguns fatores para a vantagem competitiva global: vantagem comparativa, economias de escala na produção, experiência global, economias logísticas de escala, economias de escala no marketing,

economia de escala de compras, diferenciação do produto, tecnologia patenteada do produto e mobilidade da produção.

A “vantagem comparativa” é um dos fatores determinantes clássicos da concorrência global. Quando uma empresa possui vantagens significativas quanto a custos e a qualidade, automaticamente ela se torna uma empresa potencialmente exportadora para o mercado externo. Uma análise simplificada dos aspectos que tornam um produto competitivo sob o ponto de vista do padrão da concorrência, mostra que existem três fatores decisivos para que um produto satisfaça plenamente suas necessidades: *custo*, *tempo* e *qualidade* <sup>[2]</sup>.

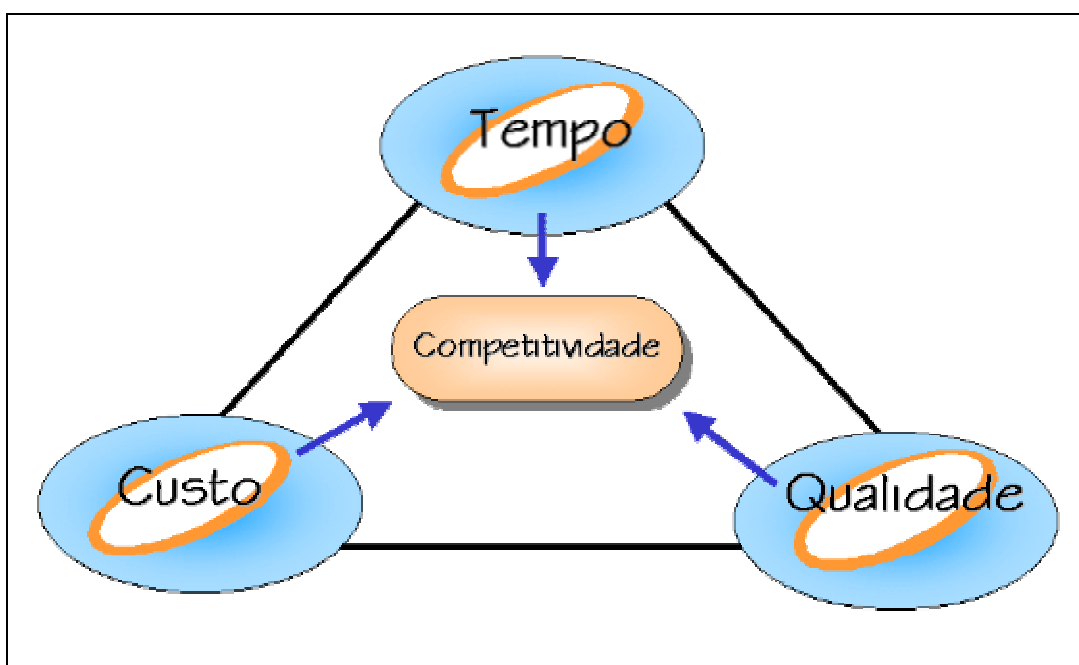


Figura 4 – Os três fatores que proporcionam competitividade aos produtos <sup>[2]</sup>.

O estado ideal destes três fatores nunca pode ser atingido, pois na grande maioria das vezes são paradoxais. O que as empresas de sucesso tem feito, é praticar um equilíbrio entres esses três fatores, de forma a atender as expectativas de seus clientes.

### 1.2.1 O Custo e o Tempo

As características de *custos* e *tempos* podem ser avaliadas sob um aspecto bastante simples. O da Vantagem Competitiva <sup>[8]</sup>.

A Figura 5, demonstra os principais aspectos da vantagem competitiva. Os produtos do quadrante 1 são produtos que tem tecnologias recém-lançadas no mercado e possuem custos competitivos. Esses produtos apresentam extrema vantagem, pois ainda não possuem concorrentes declarados. Com o passar do tempo, a entrada de concorrentes no mercado irá forçar sua queda para o quadrante 4 e a sobrevivência deverá ser definida através dos custos. Os produtos serão transformados em *commodity*<sup>11</sup>.

Os produtos do quadrante 2 estão em uma situação complicada. São necessários esforços para tentar trazer estes produtos para o quadrante 1, caso contrário à concorrência poderá desbancar sua característica inovadora e automaticamente forçar este produto a entrar no quadrante 3.

Os produtos do quadrante 3 estão fadados a desaparecer do mercado em pouco tempo. A única saída neste caso é reduzir custos e pular para o quadrante 4, transformando-os em *commodities*.

Os produtos do quadrante 4 possuem preços competitivos e tecnologias dominadas pelo mercado. Mesmo estando no limiar da curva de saturação<sup>12</sup>, ainda podem ter vida útil durante algum tempo. A tendência natural dos produtos localizados neste quadrante é enfrentar a concorrência e competir com produtos com preços mais baixos, e automaticamente, saltar para o quadrante 3.

---

<sup>11</sup> *Commodity* – Significa “Mercadoria” em inglês. Termo utilizado para produtos que já existem a vários anos no mercado e sua tecnologia é de domínio público.

<sup>12</sup> Curva de saturação é a vida de um produto do ponto de vista mercadológico. Esse desenho é uma representação gráfica criada para demonstrar toda a vida de um produto, desde a sua criação até o ponto onde o consumidor perde o interesse em adquiri-lo, caracterizando a sua “morte” no mercado.

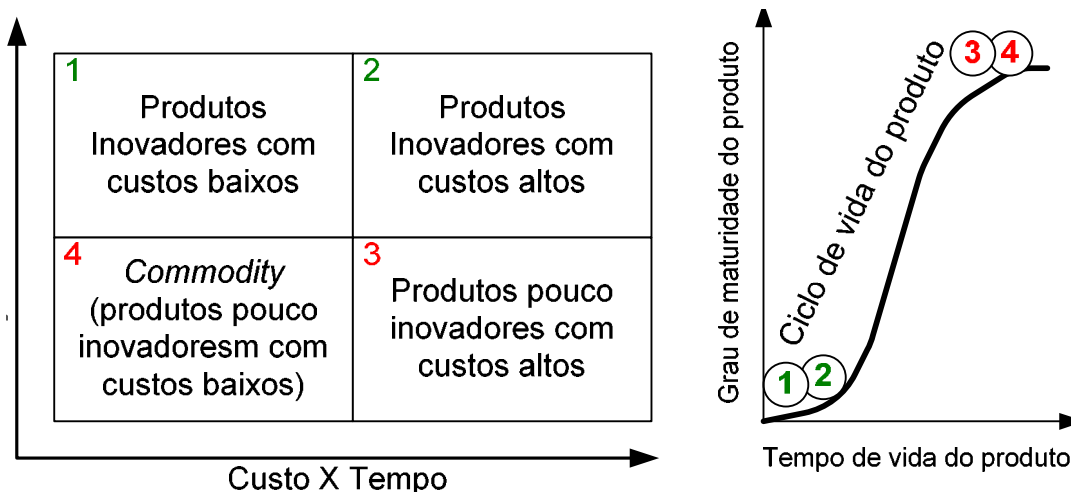


Figura 5 – O cenário da Vantagem Competitiva dos produtos no mercado.

As empresas brasileiras, em sua maioria, estão com seus produtos situados nos quadrantes 3 e 4. Esse quadro é demonstrado pela falta de investimentos em tecnologia. No Brasil, o investimento em tecnologia é de apenas 0,7% das vendas de produtos, enquanto que em outros países esse patamar pode chegar a mais de 2,5%<sup>[9]</sup>. Isto quer dizer que a qualquer momento, um concorrente poderá entrar com um produto com um preço melhor e tomar sua posição no mercado. Para que isso não aconteça, as empresas têm que estar constantemente fazendo melhorias, visando à redução de custos e tornando seus produtos amplamente disponíveis a qualquer momento para os consumidores.

Há muito tempo, vinha-se praticando a filosofia do Gerenciamento Logístico, onde a empresa se preocupava apenas em otimizar o fluxo de material dentro do seu processo produtivo. Estudos recentes demonstraram que este tipo de abordagem isolada, que reconhece somente a integração interna, não é suficiente. As organizações estão investindo em novas técnicas, batizadas de Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos Integrada<sup>[10]</sup>, para melhorarem seus índices de *Custos* e *Tempo*.

A Figura 6, mostra a evolução da cadeia de suprimentos nas empresas. No Estágio 1, as empresas enxergam a existência de departamentos internos, onde existem barreiras geradas pela necessidade da divisão imposta principalmente, pela presença de administrações adjacentes e pela divisão de centros de custos.

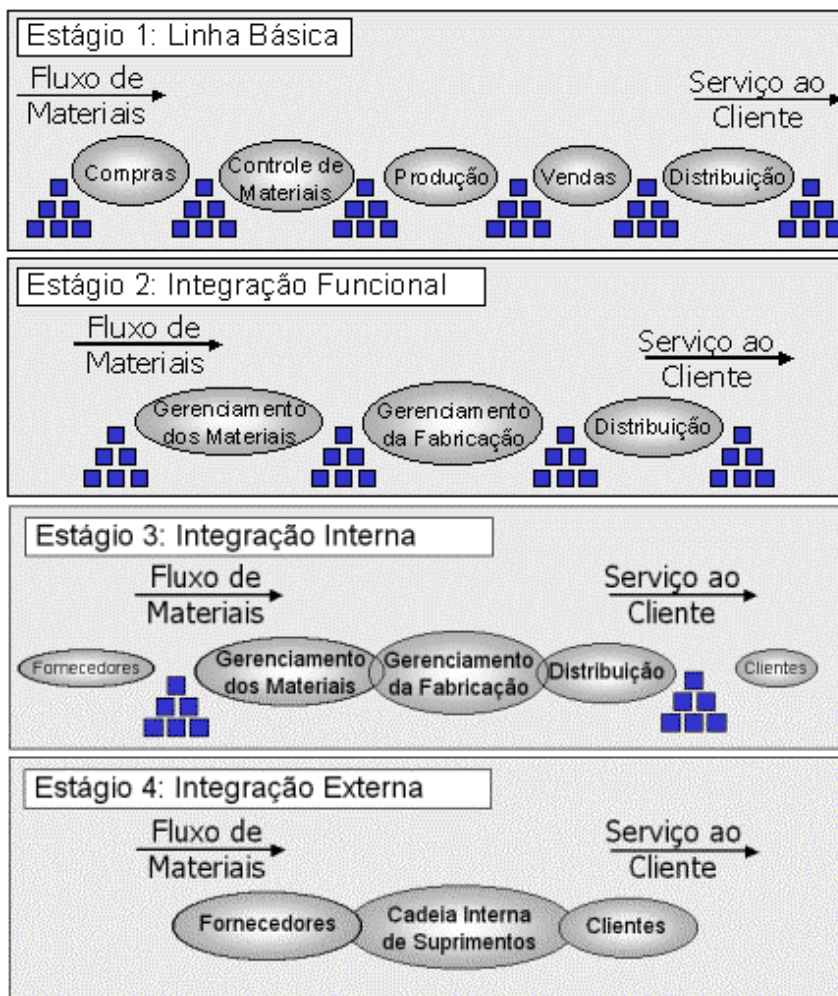


Figura 6 – Atingindo uma cadeia de suprimentos integrada (Adaptado de<sup>[10]</sup>).

No Estágio 2, as empresas unem os departamentos, de forma a criar uma visão integrada de todo o processo. No Estágio 3, as empresas derrubam os muros impostos pela necessidade de divisão interna, gerada pelo rateio de custos e pelas administrações paralelas. Finalmente, no Estágio 4, as organizações percebem que o cliente final é a importância da sua existência e procuram centralizar esforços para diminuir o espaço entre fornecedores e clientes, fazendo com que a empresa seja mais competitiva em *Custos e Tempos*.

### 1.2.2 A Qualidade

Segundo PFEIFER, T.<sup>[2]</sup>, pode-se definir qualidade “como um conjunto de propriedades de um produto, processo ou serviço que lhe conferem aptidão para satisfazer as necessidades declaradas ou implícitas de um cliente”. Logo, um

produto, além de ter o preço competitivo e estar disponível, precisa ter um conjunto mínimo de propriedades que satisfaçam as necessidades de seus clientes. Para que isso aconteça, a gestão da qualidade deve ser praticada desde o planejamento do produto, seu desdobramento em peças, processos, manufatura até o consumidor final.

A gestão inovadora de Garantia da Qualidade desenvolvida no Japão é dividida em duas categorias: técnicas preventivas de garantia da qualidade e técnicas de controle de qualidade. A Figura 7 apresenta uma comparação realizada entre duas empresas de mesmas características, sendo uma delas japonesa e a outra norte-americana. A empresa norte-americana não utilizava o conceito de ferramentas preventivas de garantia da qualidade, enquanto que o modelo japonês, preconizava a sua utilização desde o início do desenvolvimento do produto.

Observando a figura, constata-se que a aplicação do modelo inovador de gestão da qualidade em relação aos métodos tradicionais de desenvolvimento de produtos, induz uma mudança significativa no foco das ações ao longo do seu desenvolvimento, aumentando as ações antes do lançamento do produto e diminuindo significativamente a carga de trabalho depois que o produto entra na linha de produção.

A Figura 8 demonstra a eficiência da aplicação de métodos preventivos de controle de qualidade, que permite a descoberta antecipada de falhas e possibilita tomadas de ação mais rápidas sobre os problemas, fazendo sua correção o quanto antes, com custos menores. Quanto mais tempo as empresas levam para descobrir os defeitos e tomar ações de correção/prevenção, maior é o custo associado.

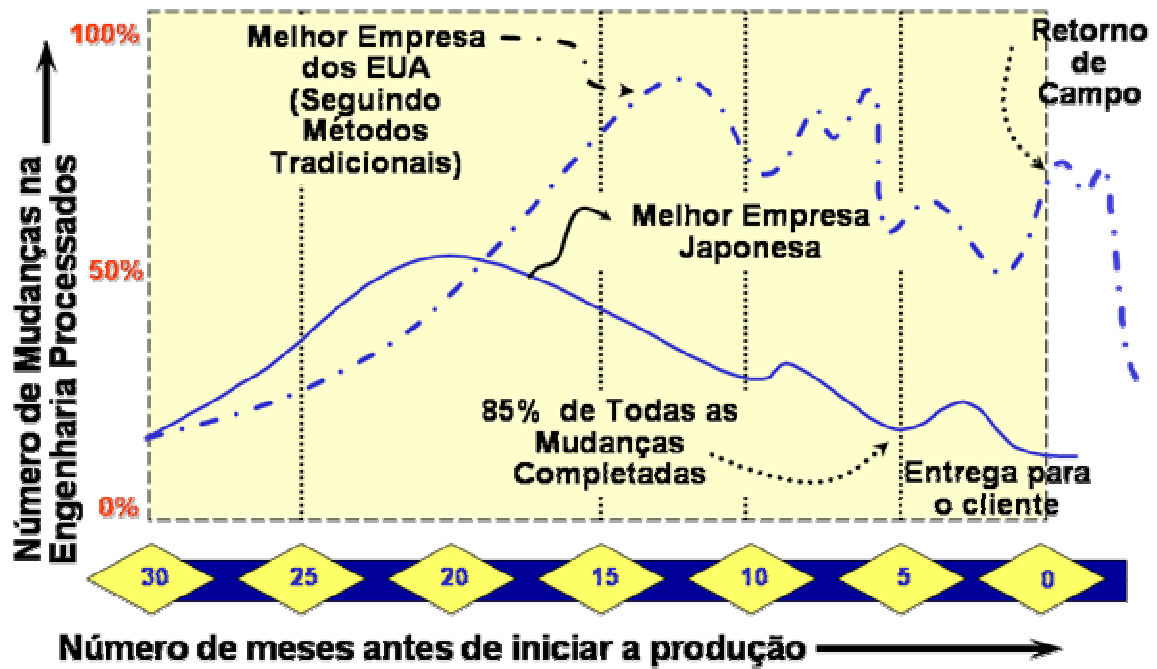


Figura 7– Características das empresas que concentram suas ações para resolver problemas cotidianos e não conseguem planejar as etapas de desenvolvimento de seus produtos. (Adaptado de [7]).

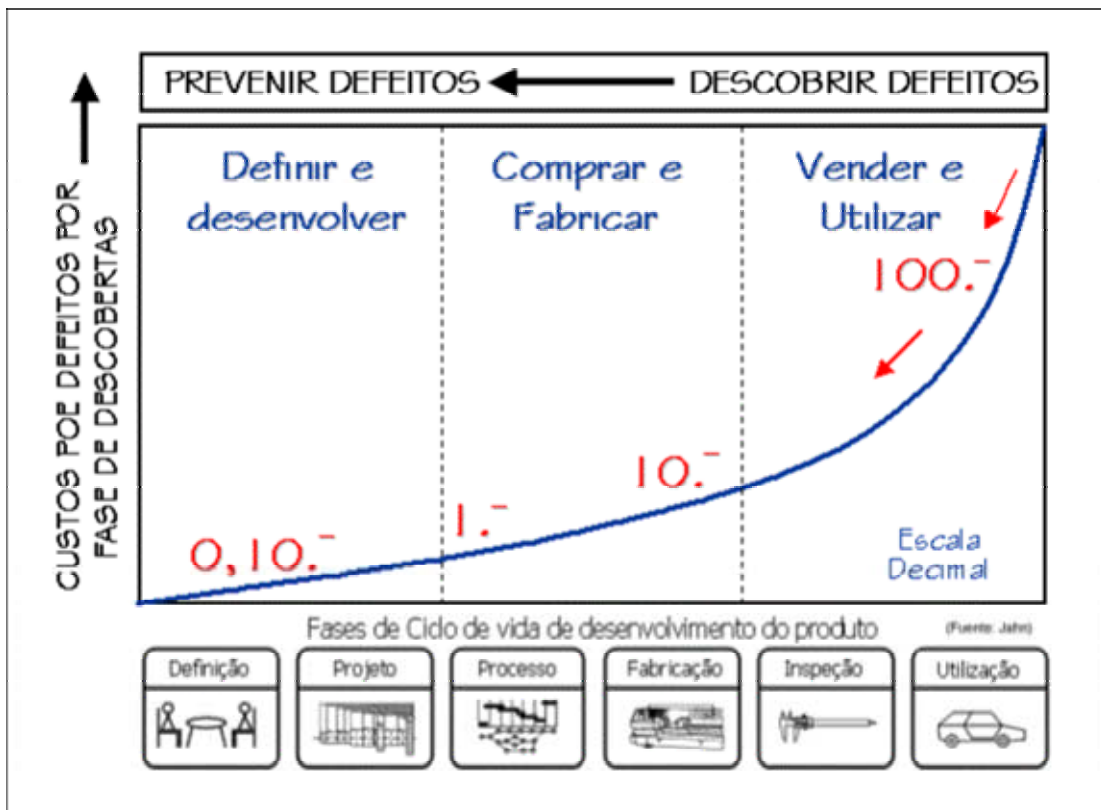


Figura 8 – Custos de correção das falhas no desenvolvimento, na fabricação e no cliente (Adaptado de [2]).



Nos parágrafos acima, mostrou-se a importância de realizar exaustivamente as etapas de planejamento de produto e processo, identificando desvios da qualidade desejada tão cedo quanto possível, para minimizar os custos associados à correção destes desvios.

Segundo PFEIFER, após uma investigação realizada pela empresa Roland Berger & Partner, constatou-se que somente cerca de 15% das empresas têm idéia dos seus custos com qualidade, enquanto que as outras 85% não têm idéia do montante gasto com inspeções inadequadas, re-trabalhos e refugos advindos de problemas no processo. As empresas que concentram suas ações para resolver problemas originados por maus planejamentos estão no grupo das que não tem controle de seus gastos com qualidade.

Percebe-se que os custos associados à má qualidade podem ser agrupados em categorias, como segue:

- Custos de Prevenção, para tomada de ações preventivas antes que o produto entre na linha de produção e na manutenção dessas ações;
- Custos de Avaliação, para detectar defeitos no produto;
- Custos de Falhas Internas, detectados antes da entrega no cliente;
- Custos de Falhas Externas, detectados depois que o produto saiu da fábrica.

A BSI<sup>13</sup>, em sua norma 6142, Parte 2, e a DGQ<sup>14</sup>, especificam que “os custos da qualidade são custos produzidos, sobre tudo, em consequência das exigências da qualidade”, a EOQC<sup>15</sup> define que “são os gastos gerados por atividades de prevenção e identificação das perdas devido a defeitos internos e externos” e a norma ISO 8402 inclui também as perdas condicionadas pela qualidade, que surgem pela incorreta realização de processos e atividades. No suplemento 1, as perdas são qualificadas como “difícilmente calculadas (...), porém muito significativas”.

---

<sup>13</sup> BSI – British Standards Institution.

<sup>14</sup> DGQ - Deutsche Gesellschaft für Qualität.

<sup>15</sup> EOQC – European Organization for Quality control.

### 1.2.3 A influência da Gestão da Qualidade nas variáveis *Custo e Tempo*

A maturidade da Gestão da Qualidade na empresa, gera melhorias comportamentais nas pessoas e permite produzir produtos que apresentam um comportamento e um conjunto de características alinhadas com os anseios dos clientes, além de mais confiáveis – através de uma cadeia de causa-conseqüência, detalhada na Figura 9.

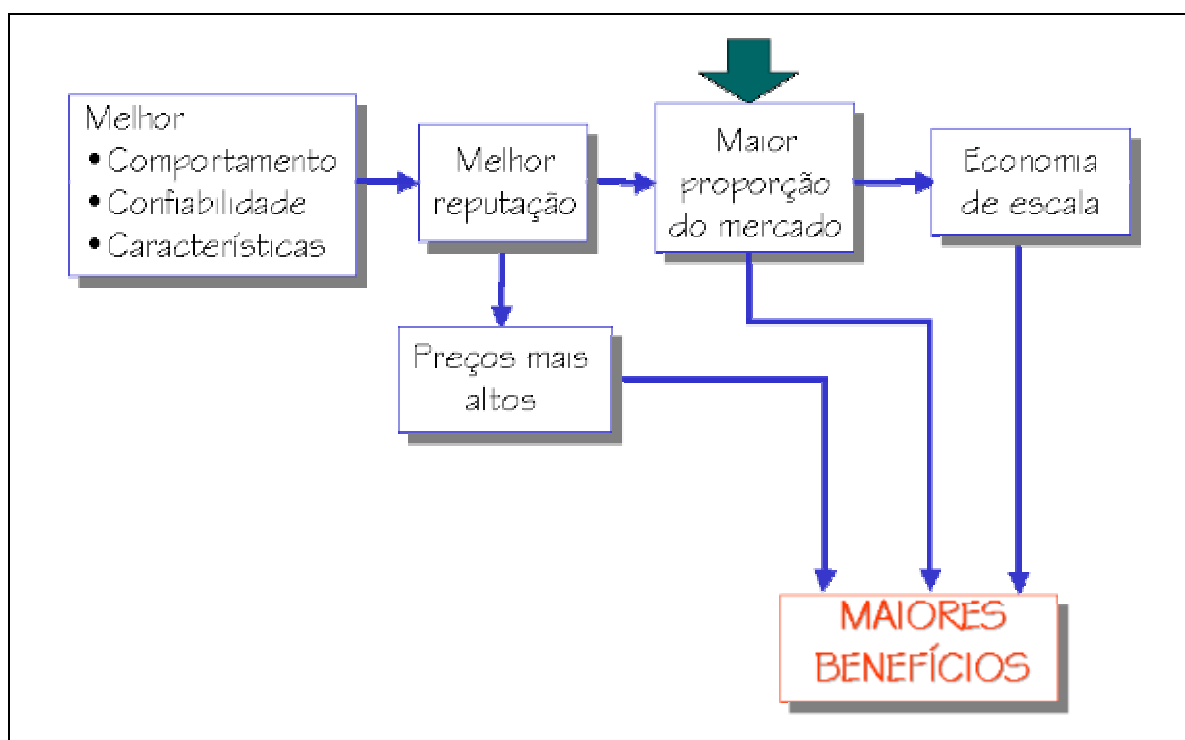


Figura 9– A influência da maturidade da Gestão da Qualidade, sob o aspecto mercadológico (Adaptado de <sup>[11]</sup>).

A Figura 10, representa o aumento da maturidade da Gestão da Qualidade na empresa, que proporciona aumento da confiabilidade e conformidade do seu processo, melhorando os índices de eficiência e a produtividade da empresa, tendo como conseqüência, a diminuição dos custos com re-trabalho e desperdícios, o que leva a empresa a reduzir seus custos com a fabricação.

Além disso, o aumento da confiabilidade e conformidade, leva a empresa a diminuir seus gastos com os custos associados à qualidade, proporcionando a redução dos custos de serviço. A redução dos custos de fabricação e serviços proporciona a diminuição global dos custos de produção da empresa.

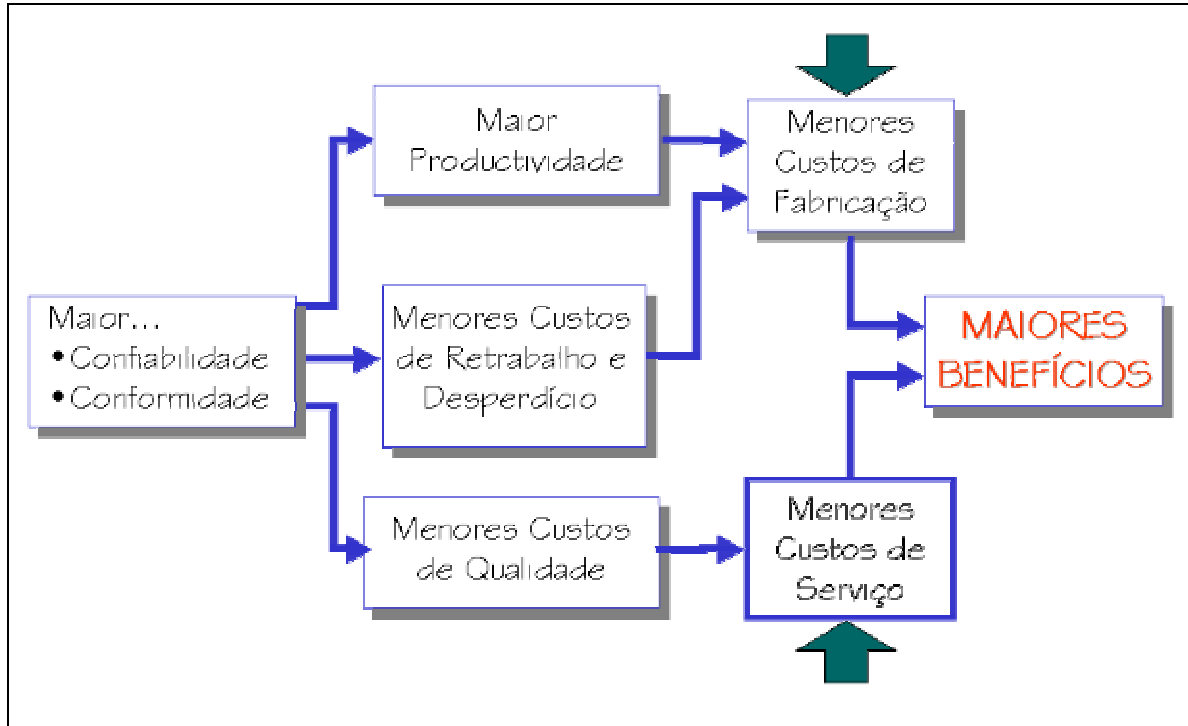


Figura 10 – A influência da maturidade da Gestão da Qualidade, sob o aspecto da redução dos custos da fabricação e serviço (Adaptado de <sup>[11]</sup>).

Essa cadeia de causa-consequência, onde as empresas buscam se manter no mercado, além de maiores benefícios, se dá por investimentos em Gestão da Qualidade. Esses investimentos podem ser realizados focando em ações preventivas ou corretivas.

### 1.3 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA DA QUALIDADE E OS MÉTODOS APLICADOS NA LINHA DE PRODUÇÃO

Os sistemas modernos de Garantia da Qualidade apontam para duas direções: eliminar as falhas durante o processo de desenvolvimento dos produtos ou durante a fabricação dos produtos.

Freqüentes análises apontam que as empresas que conseguem resolver seus problemas durante a fase de desenvolvimento do produto, que compreende as fases de Definição do Produto, Projeto e Processo têm maiores resultados do que as empresas que fazem controle da qualidade nas fases de produção, que compreendem as etapas de fabricação, inspeção e distribuição.

As técnicas preventivas de controle da qualidade mais conhecidas e

utilizadas são as seguintes:

- QFD (Quality Function Deployment);
- FMEA (Failure Mode and Effects Analysis);
- DFM (Design for Manufacturing);
- FTA (Fault Tree Analysis);
- DOE (Design Of Experiments).

As técnicas de controle da qualidade na linha de produção mais conhecidas são as seguintes:

- CEP (Controle Estatístico de Processo);
- Inspeção 100%;
- Inspeção por amostragem<sup>16</sup>;

Essas técnicas preventivas de controle da qualidade realizadas na linha de produção devem ser aplicadas com visão de Engenharia Simultânea, caso contrário, a sua eficiência é comprometida. A Figura 11, demonstra a utilização de várias das ferramentas de garantia da qualidade, em vários estágios de evolução do desenvolvimento de um produto, sob a ótica de engenharia simultânea.

---

<sup>16</sup> A inspeção por amostragem está sendo gradativamente deixada de lado, por se tratar de um risco para o fornecedor e risco para o cliente, uma vez que esta modalidade de inspeção é passiva e não garante que os defeitos sejam detectados antes do uso efetivo da peça.

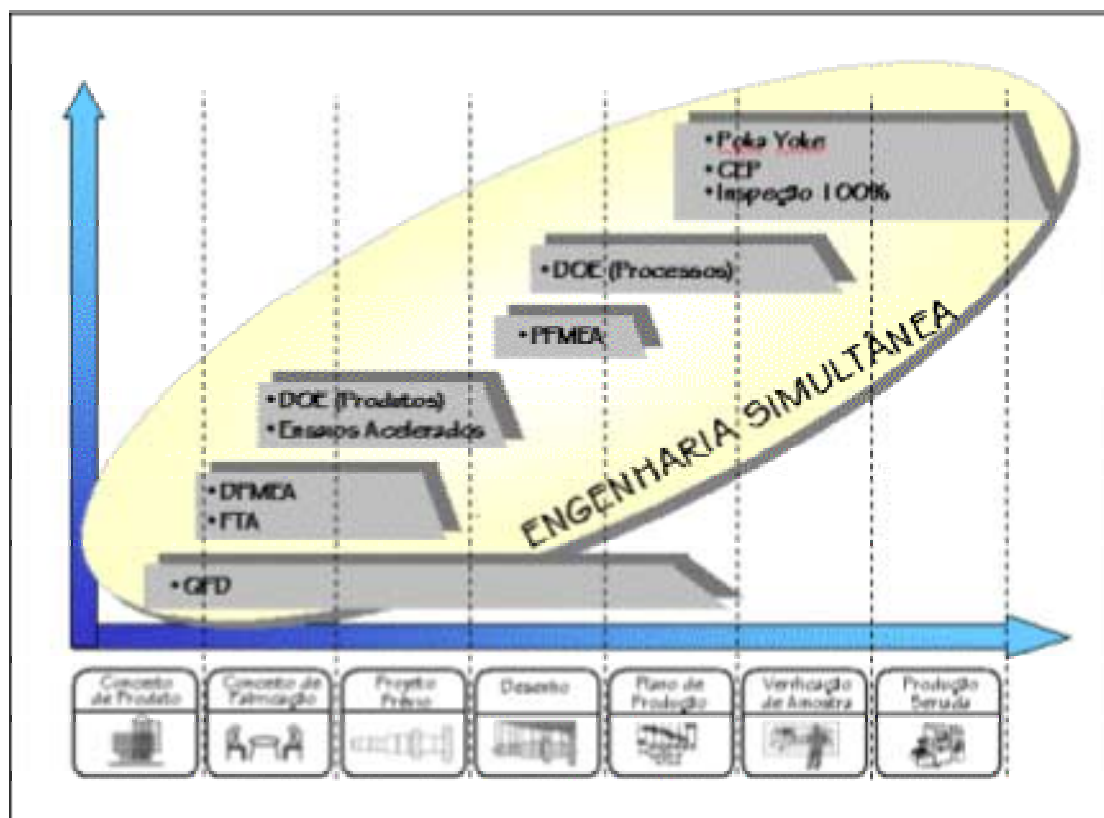


Figura 11 – Métodos Preventivos de Controle de Qualidade e Métodos aplicados na Linha de Produção, sob a ótica de Engenharia Simultânea (Adaptada de <sup>[2]</sup>).

No capítulo 2, todos esses métodos de controle de qualidade vão ser objeto de atenção mais detalhada.

#### 1.4 O CENÁRIO DAS MED&PEQ DO RAMO METAL-MECÂNICO

As MED&PEQ do ramo metal-mecânico no Brasil, estão passando por diversas dificuldades. Seus clientes estão mais exigentes. Os clientes de seus clientes estão escolhendo de forma mais apurada suas aquisições. No final do ano de 2001, a FIESC<sup>17</sup> em conjunto com o IEL<sup>18</sup>, encomendou um estudo<sup>[6]</sup> para a Fundação CERTI, sobre a “Prospecção de Demandas para as Cadeias Produtivas de Santa Catarina (Identificação de Gargalos de Competitividade)”. Neste trabalho, foram estudadas várias cadeias produtivas, entre elas, a cadeia do setor metal-

<sup>17</sup> FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina.

<sup>18</sup> IEL - Instituto Evaldo Lodi.

mecânica de fornecedores de autopeças.

O trabalho foi estruturado de maneira a identificar as oportunidades e ameaças existentes nesta cadeia. Este estudo, considerado recente pelo método utilizado e pela característica dos resultados, pode representar bem as MED&PEQ do ramo metal-mecânico e seus fatores para a competitividade.

Segundo o estudo, a indústria de autopeças vem respondendo a uma série de desafios para atender às montadoras, que, pressionadas mundialmente pelas condições de concorrência crescente, repassam esta pressão aos seus fornecedores. Programas internos de redução de custos, aumento de produtividade e ganhos de receita e margem são práticas comuns às grandes empresas, além da realização de “*joint ventures*” e aquisições para expansão da linha de produtos e da cobertura geográfica.

No estudo, o setor de auto-peças foi dividido em alguns segmentos: indústria metalúrgica, mecânica/conformação e fabricante de sistemas e sub-sistemas (sistemistas).

A Tabela 1 demonstra os principais gargalos das empresas fabricantes de auto-peças em Santa Catarina, segundo critérios Econômicos, Técnicos e Ambientais. A imposição de políticas próprias, realizada pelas grandes montadoras, é algo comum a todas empresas da cadeia. Os problemas destacados pela cor amarela são problemas de qualidade citados pela empresas na pesquisa.

		Gargalo	Impacto				Resultado
			Peso	ECON.	TEC	AMB	
Metalúrgica	1	Falta de produtos / Matéria-prima (sucata de aço, gusa, coque e resina)	10	6	2	2	240
	2	Resíduos de montagem / Falta de especialistas que prestem serviços na área. Lavagem dos gases gerados pelos fornos	30	2	2	6	720
	3	Escassez de energia	10	1	3	10	300
	4	Deficiência na infra-estrutura de logística e transporte	20	7	4	1	560
	5	Recursos financeiros para investimento a juros e prazos compatíveis	40	10	5	6	12000
	6	Carga tributária / fiscal	40	10	5	6	12000
Mecânica / conformação	1	Não disponibilização de laboratórios para análise das características da matéria-prima	10	5	5	1	250
	2	Falta de qualidade em serviços de terceiros (ex: tratamento térmico e galvanico)	30	8	8	3	5760
	3	Geração de resíduos da Usinagem / Efluentes do processo de tratamento de superfície - falta de conscientização para disponibilização de tecnologias para os geradores de resíduos	20	2	2	6	480
	4	Custo alto da matéria-prima	40	10	5	6	12000
	5	Desgaste excessivo das matrizes de fabricação / Ferramentas	40	5	5	1	1000
Sistemistas	1	Necessidades trabalhos c/ contrato de Fornecimento	40	10	6	5	12000
	2	Não possui metodologias p/ Desenvolver novos produtos	40	5	5	1	1000
	3	Assessoria na compra de novas tecnologias e onde buscar	20	7	4	1	560
	4	Alternativas de novos materiais	40	5	10	4	8000
	5	Fontes alternativas de fornecedores	20	7	4	1	560
	6	Fontes alternativas de processos	40	7	10	3	8400
	7	Leis trabalhistas obsoletas	20	5	5	1	500
Geral	1	Inexistência de mecanismos de cooperação entre os diversos elos da cadeia	40	6	2	2	960
	2	Atuação em mercado muito regionalizado	30	8	2	2	960
	3	Sintonia de Portfólio de produtos com o mercado	30	7	9	4	7560

Tabela 1 - Principais gargalos do setor de auto-peças<sup>[6]</sup>.

Analisando os resultados da pesquisa, observa-se que muitas MED&PEQ pesquisadas não citam problemas relacionados a dificuldades encontradas na etapa de planejamento do processo de fabricação nem problemas relacionados a falhas nos clientes. Este problema é típico de quem ainda não conseguiu estabelecer o equilíbrio entre os fatores “custo” e “tempo”, descritos no capítulo 1.2.1, e acontece devido a falta de recursos, de qualificação da mão-de-obra e a falta de utilização de ferramentas básicas para o desenvolvimento de produtos e processos.

Este é o retrato da MED&PEQ no Brasil, que ainda sofre com problemas considerados primários em relação a sua sobrevivência e às atividades de prevenção de garantia da qualidade. Nos países onde existem investimentos em tecnologia, esses problemas básicos já foram superados (ver capítulo 1.1).

A partir dos resultados deste estudo, conclui-se que o próximo gargalo encontrado pelas MED&PEQ, além do “custo” e do “tempo” citados na pesquisa, é a “qualidade”. Por este motivo, a estruturação de um método que permita às empresas um melhor planejamento do seu processo de fabricação terá grande impacto, em um momento que se mostra cada vez mais próximo.

Observou-se também, que a utilização de um número excessivo de ferramentas preventivas complexas é algo proibitivo, uma vez que as MED&PEQ ainda não apresentam domínio das ferramentas básicas.

## **1.5 OS OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**

Como mencionado nos capítulos anteriores, as empresas que têm implantada a filosofia da Gestão da Qualidade e que praticam métodos preventivos de garantia da qualidade para a prevenção de problemas na manufatura, são as empresas que conseguem se manter mais competitivas e disputar mercados mais exigentes de produtos que ocupam o quadrante 4, que são os commodities, ilustrados na Figura 5.

Viu-se que as MED&PEQ empresas do ramo metal-mecânico têm dificuldades para atuarem preventivamente nos problemas da manufatura, seja por problemas financeiros ou devido sua dificuldade no planejamento de processo e produção.

Foram citados os métodos preventivos mais utilizados para desenvolvimento de projetos de produto e processo, onde suas aplicações são complexas e existe exigência da atuação de especialistas no assunto. Além disso, os métodos não funcionam independentemente, e por isso, há necessidade de fazer uma utilização paralela desses métodos.

Tendo em vista todos esses aspectos, o desenvolvimento de um método preventivo, que englobe as fases mais importantes do desdobramento do projeto do



processo e em particular do controle de qualidade que possa ser utilizado pelas MED&PEQ do ramo metal mecânico, é plenamente justificado e possui ampla aplicação.

## **2 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA E CONTROLE DA QUALIDADE**

Apresenta-se neste capítulo a contextualização de como é iniciado o desenvolvimento de um produto, quais são as etapas envolvidas, onde os métodos podem ser aplicados, como são esses métodos, os resultados gerados, suas principais vantagens e desvantagens, bem como uma visão crítica ao uso destas técnicas nas MED&PEQ.

### **2.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: ETAPAS BÁSICAS**

Todo desenvolvimento de produto, por mais simples que seja, passa por algumas etapas básicas. Essas etapas são determinantes para o sucesso do produto e dos negócios da empresa. A Figura 12 demonstra como os produtos são desenvolvidos, desde a primeira etapa, que é a identificação da oportunidade. Esta etapa é conduzida na empresa por áreas ou pessoas estratégicas, e suas ações são denominadas de “Ação dos Generais”<sup>[7]</sup>.

A partir da identificação da oportunidade da entrada de um produto em um mercado atraente, nasce um efeito conhecido como “janela de mercado”. A janela de mercado é o tempo marcado desde a idéia de lançamento até a extinção do produto. Caso a idéia seja inovadora, existe ainda um tempo para que a concorrência perceba a janela de mercado e comece a desenvolver um produto semelhante. Neste momento começa a “Ação da Infantaria”, em conjunto com a “Ação dos Generais”. Cabe à infantaria, desenvolver a idéia e os conceitos do produto. É necessário neste período, alocar corretamente os recursos e conseguir diminuir os tempos de desenvolvimento. Os métodos preventivos de qualidade começam a serem utilizados a partir da participação da infantaria.

. Quando a etapa de desenvolvimento do produto é concluída, geralmente

até o cabeça-de-série<sup>19</sup>, o investimento de recursos financeiros é cessado e o produto começa a ser fabricado e vendido. Neste momento, a “tropa de choque e operações” entra em cena, e os recursos financeiros gerados neste período devem ser maiores, tanto quanto possível, assim como o tempo de permanência do produto no mercado até que o produto deixa de ser produzido/comprado.

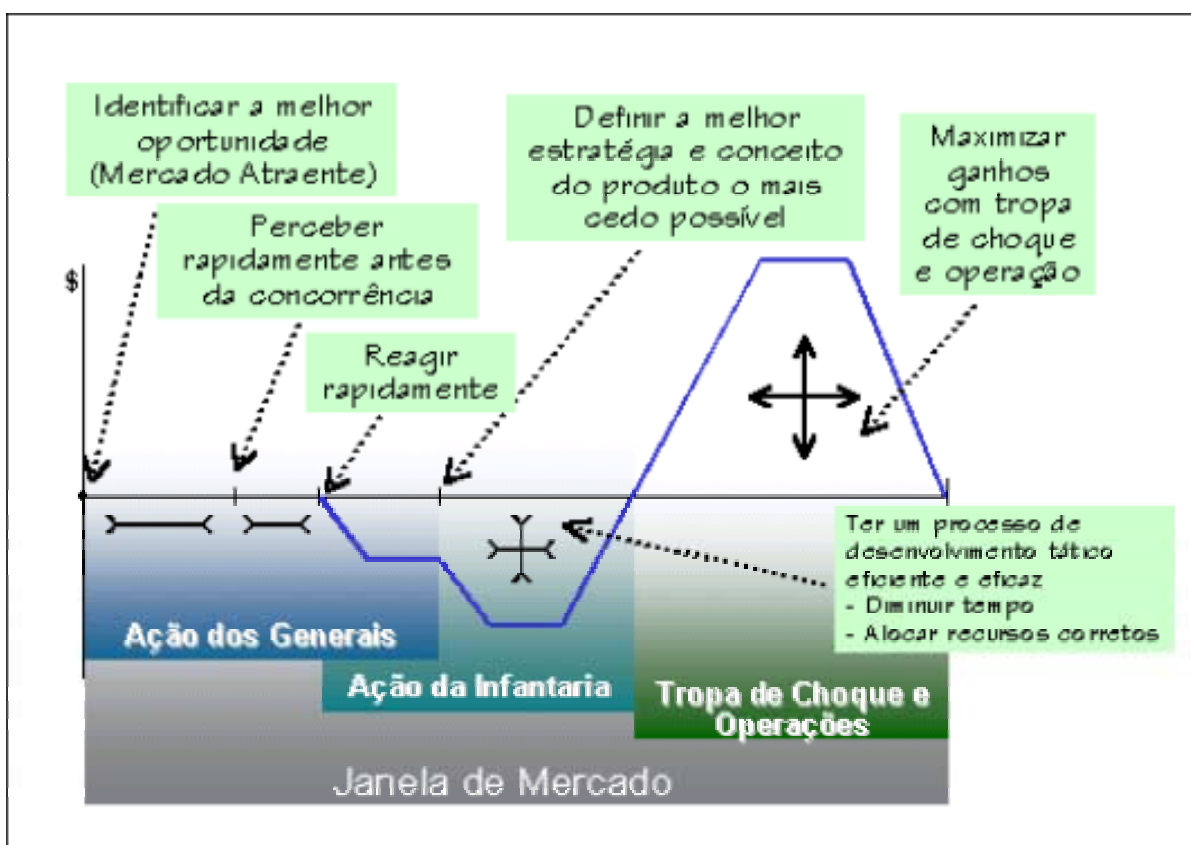


Figura 12 – Estratégias utilizadas em empresas de sucesso, na descoberta da oportunidade, desenvolvimento, lançamento, produção e declínio do produto<sup>[7]</sup>.

A Figura 13, representa o fluxo de caixa necessário para o desenvolvimento de um produto. Todo o investimento financeiro para desenvolver um produto, é caracterizado pela área A1. A área A2 é idêntica a área A1, e delimita o tempo gasto até que os investimentos feitos no desenvolvimento do produto retornem. Esse ponto é conhecido pelo termo “Pay Back”. Evidentemente, quanto mais curto seja o desenvolvimento, maior será o lucro. A área A3 caracteriza o lucro que a empresa

<sup>19</sup> Termo utilizado para denominar o primeiro lote de produção que é fabricado por processos definitivos. Nesta etapa as peças possuem moldes, ferramentas e processos testados e aprovados.

tem, com a fabricação e comercialização do produto. É interessante que este período seja prolongado o máximo possível, até que haja a extinção comercial do produto.

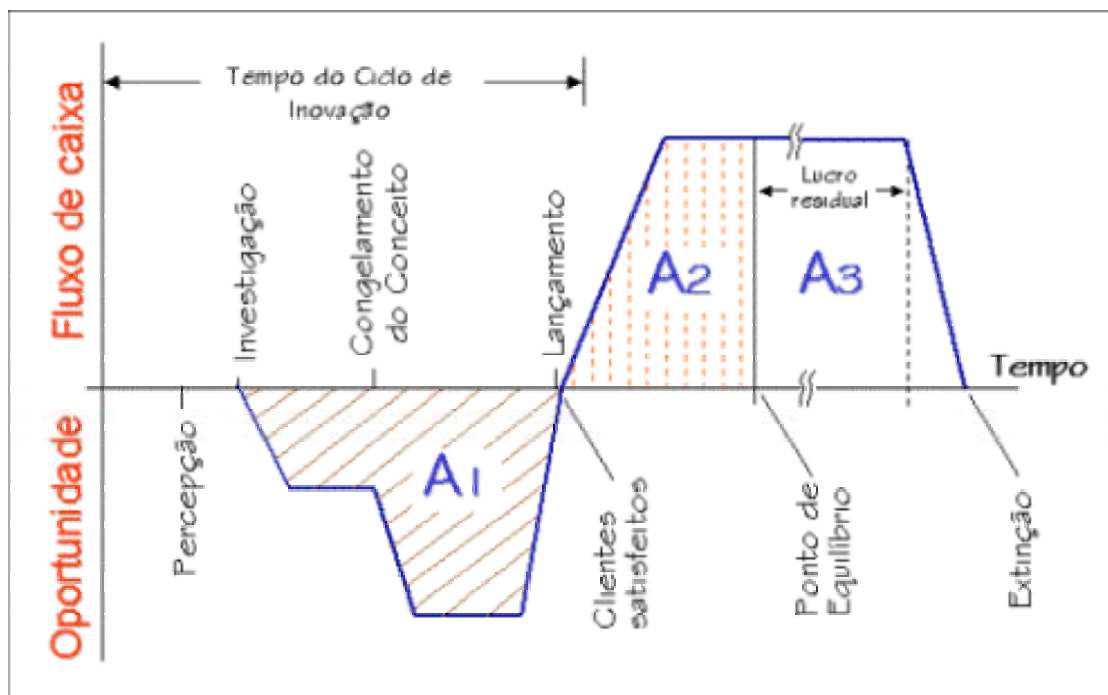


Figura 13 – Representação do ciclo de fluxo de caixa no desenvolvimento de um único produto<sup>[7]</sup>.

Analisando a “ação da infantaria” e a “ação da tropa de choque”, pode-se perceber que as suas ações acompanham-se e se organizam segundo o modelo de fases da Figura 14. Esse modelo denominado APQP (Planejamento Avançado do Produto)<sup>20</sup> foi desenvolvido pela QS-9000 (ver Figura 2) para atender o desenvolvimento de produtos.

<sup>20</sup> APQP: Termo da língua inglesa que significa: Advanced, Planejamento Quality Product

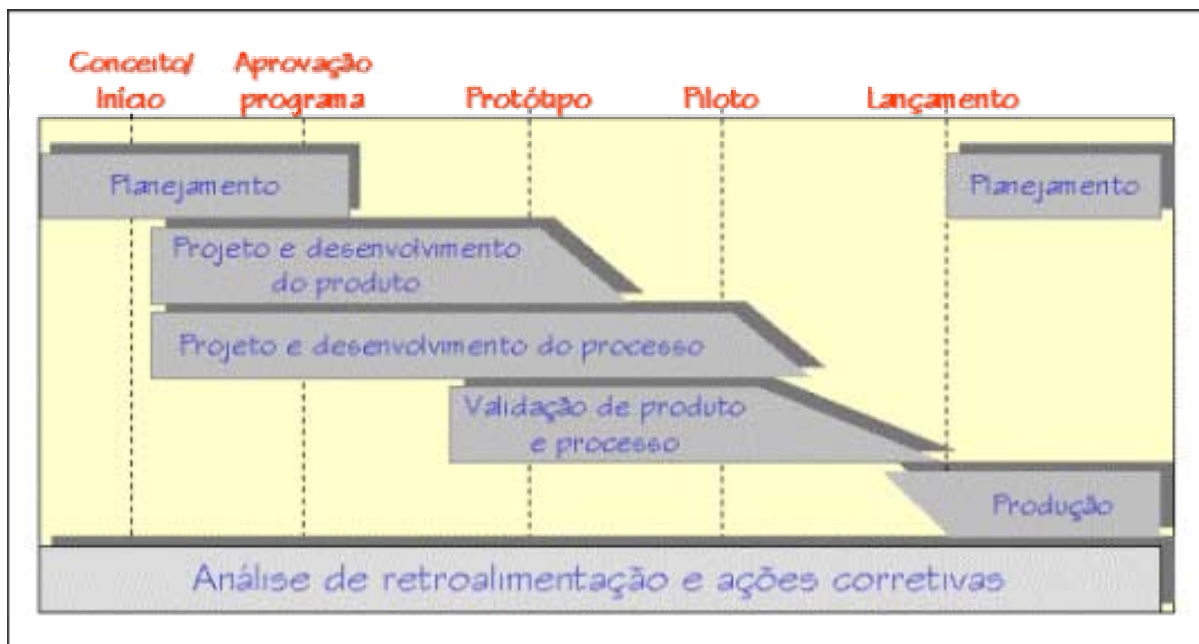


Figura 14 - Etapas realizadas no desenvolvimento de um produto, sob o ponto de vista operacional (Adaptada de <sup>[11]</sup>).

Algumas MED&PEQ do ramo metal-mecânico desenvolvem produtos desta maneira. Outras MED&PEQ, não tem a etapa de desenvolvimento de produtos, pelo fato de receberem os projetos definidos de seus clientes. Nessas empresas, os métodos preventivos de garantia da qualidade são restritos apenas às atividades relacionadas ao processo produtivo.

## 2.2 OS MÉTODOS PREVENTIVOS DE GARANTIA DA QUALIDADE NAS MED&PEQ DO RAMO METAL-MECÂNICO

Nesta seção serão apresentadas as ferramentas da garantia da qualidade que podem ser aplicadas durante o planejamento do produto e processo, para evitar falhas no atendimento às necessidades do cliente. Estas ferramentas serão brevemente descritas e, a seguir, discutidas com relação a sua aplicabilidade nas MED&PEQ. Inicialmente, pensou-se que as técnicas utilizadas em CAPP (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador)<sup>21</sup> poderiam resolver os problemas de planejamento preventivo do processo. Foram estudadas várias

<sup>21</sup> CAPP: Termo da língua inglesa que significa: Computer Aided Process Planning

publicações e bibliografias a respeito<sup>[12][13][14][15][16]</sup>, e chegou-se a conclusão que o problema das MED&PEQ está relacionado aos conceitos básicos de planejamento dos processos e a carência na utilização de ferramentas preventivas de garantia e controle de qualidade. Por esse motivo, neste capítulo o tema do CAPP não será abordado.

### **2.2.1 QFD (Desdobramento da Função Qualidade)<sup>22</sup>.**

O QFD é uma ferramenta utilizada no início da fase de desenvolvimento de produtos, portanto, um método preventivo de garantia da qualidade.

O QFD é considerado como uma ferramenta que sistematiza e organiza as características identificadas na interação com clientes, e faz seu desdobramento em requisitos técnicos e operacionais, mostrando e documentando as informações em forma de matriz, demonstrada na Figura 15.

O QFD tem a propriedade de caracterizar os itens mais importantes e proporcionar um mecanismo para atingir áreas selecionadas para realçar as vantagens competitivas que um determinado produto possa ter. Conforme apresentado na Figura 16, o QFD tem duas dimensões:

- Desdobramento da qualidade: tradução dos requisitos do cliente em requisitos de projeto do produto;
- Desdobramento de funções: tradução dos requisitos de projeto em requisitos da peça, processo e produção.

---

<sup>22</sup> QFD – Termo da língua Inglesa que significa: *Quality Function Deployment*.

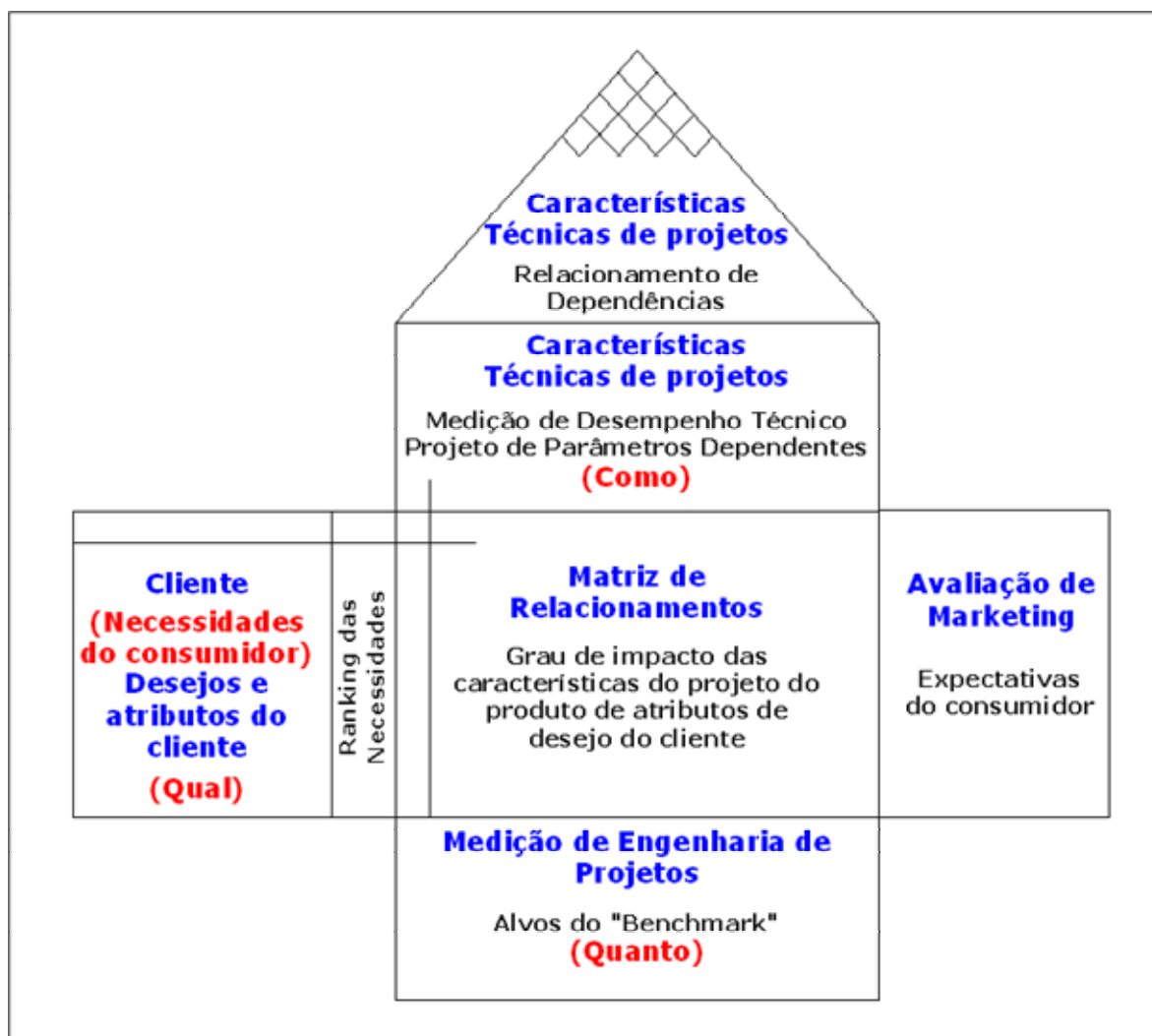


Figura 15 – Representação gráfica matriz da 1ª dimensão do QFD, chamada de “Casa da Qualidade” (Adaptada de [17]).

Segundo BLANCHARD et al<sup>[17]</sup>, a utilização do QFD, tem como objetivo principal, estabelecer requisitos necessários ao desenvolvimento das soluções técnicas de projeto. O sucesso da aplicação do QFD está relacionado com a definição bem realizada dos requisitos e necessidades do cliente. Esses requisitos são denominados “Voz do Consumidor”.

Segundo ULRICH e EPPINGER<sup>[18]</sup>, o QFD deve ser aplicado por um time, sempre com uma pessoa na liderança do processo. Este time deve ser formado por pessoas qualificadas, com experiência na área.

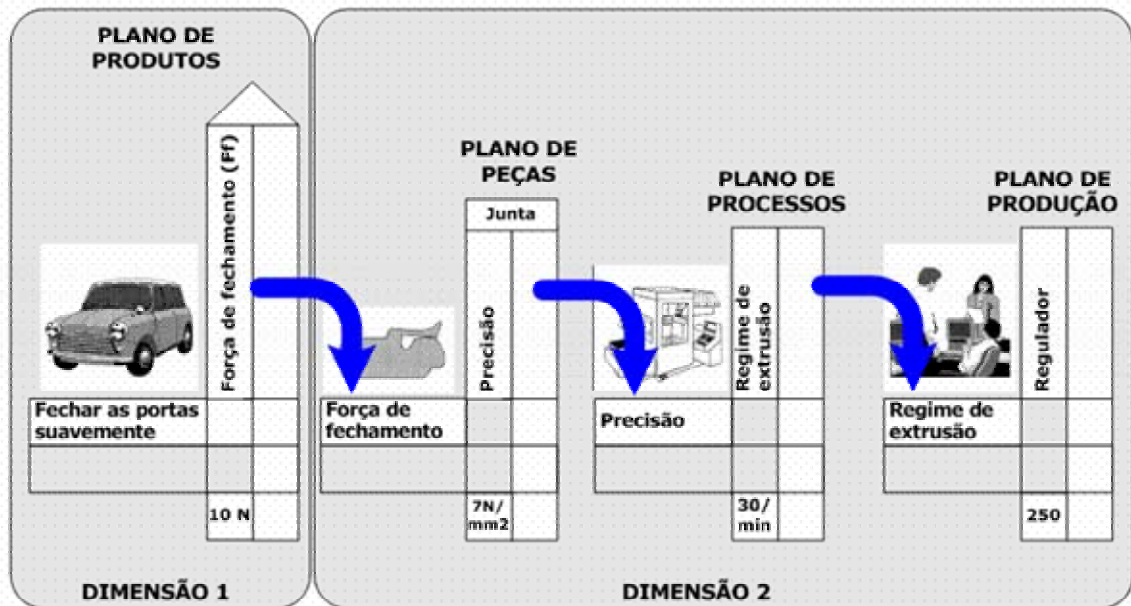


Figura 16 – Desdobramento da Função Qualidade, das necessidades do cliente até a manufatura (Adaptado de [2]).

Como informações de entrada para construção do QFD, destacam-se:

- Benchmark;
- Questionários de avaliação do consumidor;
- Avaliações de desempenho;
- Histórico de produtos.

Os benefícios da utilização do QFD são:

- Aumentar a probabilidade de satisfazer as necessidades do cliente;
- Reduzir o número de alterações de projeto durante e após a fase de desenvolvimento de produto;
- Identificar requisitos paradoxais de projeto, e permite que seja alcançada uma condição de equilíbrio entre os mesmos;
- Garantir a orientação ao cliente em toda a empresa;
- Reduzir o ciclo de desenvolvimento do produto;
- Reduzir os custos de engenharia de manufatura e assistência técnica;
- Contribuir para a melhoria do produto e dos processos.



Os resultados após a utilização do QFD são:

- Objetivos do produto, definidos;
- Diferenciais competitivos e deficiências que o produto possui em relação aos concorrentes, conhecidos;
- Metas de projetos e manufatura, determinados.

Limitações de aplicação do QFD:

A aplicação do QFD deve ser realizada por uma equipe de trabalho que tenha conhecimentos expressivos do produto, do mercado em que atua e de sua manufatura, além de conhecimentos de produtos da concorrência. Isso limita sua aplicação em empresas que não tenham domínio destes aspectos.

No capítulo 1.3.1, foi relatado que as MED&PEQ têm grande dificuldade para alocar pessoas nas atividades de prevenção. A aplicação do QFD necessita de conhecimentos amplos das ferramentas básicas de garantia da qualidade, que são praticadas não somente para resolver desafios urgentes do dia-a-dia da empresa, mas nas atividades de prevenção.

Nas bibliografias pesquisadas de autores consagrados<sup>[2][17][18][22]</sup>, verifica-se que o QFD é apresentado apenas de modo conceitual, embora haja grande reconhecimento de sua importância como método preventivo de garantia da qualidade. As outras ferramentas preventivas de garantia da qualidade descritas são mais exploradas, tanto no conceito como na forma de operacionalização.

Essa observação reafirma mais uma vez que a aplicação do QFD nas MED&PEQ pode se tratar apenas um modismo, apresentando-se como uma ferramenta perfeita do ponto de vista conceitual, mas difícil de aplicar e de se obter resultados. As MED&PEQ do ramo metal-mecânico, muitas vezes não tem acesso ao desenvolvimento do projeto do produto, neste caso, a aplicação do QFD pode se limitar a utilização de alguns dos seus conceitos.

VELOSO<sup>19</sup>, no seu trabalho de dissertação, utilizou os conceitos do QFD para desenvolver um sistema de medição automático para uma MED&PEQ do ramo metal-mecânico, aplicando o QFD de forma “simplificada”, focalizando suas ações apenas na 2ª dimensão do QFD.

### 2.2.2 FMEA (Análise de Efeitos e Modos de Falhas)<sup>23</sup>

O FMEA é uma ferramenta desenvolvida para atuar nas etapas de anteriores à manufatura, e por isso, é um método preventivo de garantia da qualidade. Embora tenha sua utilização mais concentrada nas etapas de desenvolvimento do produto, ela ainda permanece ativa no controle da qualidade “na linha”, por se tratar de uma ferramenta viva da qualidade e por fazer parte do ciclo de melhoria contínua.

Segundo o manual de referência da IQA<sup>[20]</sup>, Instituto da Qualidade Automotiva, o FMEA é um conjunto de atividades sistêmicas, que tem como objetivo, reconhecer e avaliar as falhas potenciais de um produto/processo, estudar seus efeitos, identificar suas causas, planejar ações que podem eliminar/reduzir as causas identificadas e documentar o processo de análise.

O FMEA tem a propriedade de identificar e classificar em ordem de prioridade de ações, as falhas potenciais que um produto/processo possam apresentar. Essa classificação é realizada através do cálculo do RPN (Número Prioridade de Risco)<sup>24</sup>. Este número é produto da valoração realizada para a severidade, ocorrência e detecção atribuídas a cada uma das falhas potenciais avaliadas, para uma das causas.

A implantação das técnicas de FMEA requer um trabalho de equipe. Essa equipe deverá ser formada por um time de pessoas especialistas em suas áreas de atuação, tendo um indivíduo responsável pelas atividades desenvolvidas pelo grupo.

As informações utilizadas para elaboração da FMEA são distintas. Entre as mais utilizadas, destacam-se:

- Lista de desdobramentos da função qualidade, obtida com a aplicação do QFD;
- Benchmark de produtos e processos;
- Cartas de controle;
- Análise de falhas de produtos realizadas em clientes internos e externos.

---

<sup>23</sup> FMEA – Termo da língua inglesa que significa: *Failure Mode and Effects Analysis*.

<sup>24</sup> RPN: Termo da língua inglesa que significa: *Risk Priority Number*.

Existem quatro áreas de aplicação do FMEA, classificadas de acordo com o momento da aplicação no ciclo de desenvolvimento de produto (Figura 17). Cada área de aplicação possui objetivos específicos bem definidos, porém, todas têm o foco na identificação de potenciais modos de falha, cronograma para tomadas de ação e posterior acompanhamento.

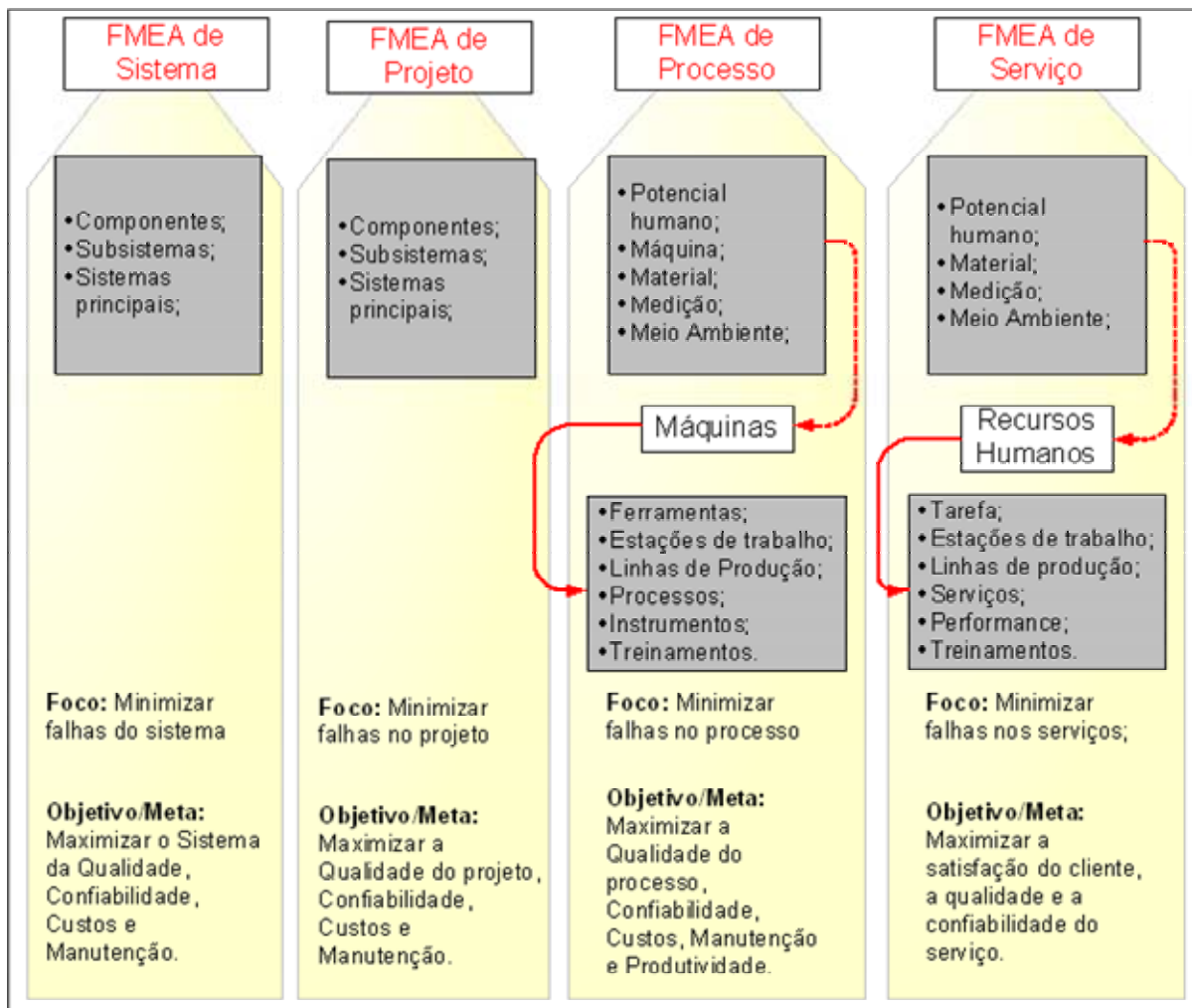


Figura 17 – Os tipos de FMEA existentes e sua aplicação (Adaptado de [21]).

FMEA de Sistema – utilizado para análise de sistemas e subsistemas no estágio conceitual e estágio evolutivo do projeto. O FMEA de Sistema focaliza seu potencial nos modos de falhas das funções causadas pelas deficiências dos sistemas. Isso inclui as interações entre os sistemas e os elementos do sistema.

Os resultados da aplicação do FMEA de Sistema são:

- A lista de potenciais modos de falha, classificada;

- A lista de potenciais sistemas de funções e seus modos de falha, detectada;
- A lista de potenciais ações de projetos para eliminar causas de falhas, questões de segurança, e a redução de sua ocorrência, elaborada.

Os benefícios do FMEA de Sistema são:

- Ajudar a selecionar a melhor alternativa de projeto;
- Ajudar a determinar as redundâncias;
- Ajudar a definir a base para elaboração de um sistema de diagnóstico;
- Aumentar a probabilidade de problemas potenciais serem considerados e avaliados;
- Identificar as falhas potenciais e suas interações entre sistemas e subsistemas;

FMEA de Projeto – Utilizado para analisar os modos de falhas dos produtos antes da sua liberação para a manufatura. O FMEA de Projeto focaliza nos modos de falhas causadas pela deficiência do processo de projeto.

Os resultados da aplicação do Design FMEA são:

- A lista de potenciais modos de falhas, classificadas por sua severidade, ocorrência e grau de detecção, elaborada;
- A lista potenciais características críticas e significativas, elaborada;
- A lista de potenciais ações de projeto, para eliminar modos de falha, questões de segurança e redução de suas ocorrências, elaborada;
- A lista de potenciais parâmetros para testes, inspeções e métodos de detecção em produtos finais, definida;
- A lista de potenciais ações de recomendação para características significativas e críticas, elaborada.

Os benefícios do FMEA de Projeto são:

- Estabelecer prioridades de ações para melhoria do projeto;
- Documentar as mudanças realizadas no projeto;
- Prover informações para ajudar na verificação do produto e nos testes;

- Ajudar a identificar as características e críticas e/ou significativas<sup>25</sup>;
- Auxiliar a evolução das alternativas conceituais de projeto;
- Ajudar na identificação de eliminação das potenciais preocupações de segurança;
- Fazer com antecedência, a identificação das falhas na fase de desenvolvimento de produtos.

FMEA de Processos – utilizado para analisar a manufatura do produto e seu processo de montagem. Um FMEA de Processo focaliza nos modos de falhas causados pelo processo de fabricação ou pela deficiência na montagem.

Os resultados de aplicação do FMEA de Processo são:

- A lista de potenciais modos de falhas, classificadas por sua severidade, ocorrência e grau de detecção, elaborada;
- A lista de características significativas e críticas, definida;
- A lista de recomendações de ações para as características significativas e críticas, elaborada;
- O estabelecimento de prioridades para a tomada de ações, estabelecido.

Os benefícios do FMEA de Processos são:

- Identificar as deficiências dos processos e propor um plano de ações corretivas;
- Identificar as características críticas e significativas para ajudar no estabelecimento de planos de controle;
- Estabelecer prioridades para tomadas de ações corretivas;
- Ajudar a análise da manufatura e no processo de montagem;
- Documentar as mudanças de processo.

Existe ainda, além dos tipos de FMEA citados anteriormente, o FMEA de Serviços, aplicado ao setor de serviços (ver Figura 17). Este tipo de FMEA não será abordado por destoar do objetivo deste trabalho.

---

<sup>25</sup> Características críticas e/ou significativas, são as características fundamentais para que o produto ou a peça funcione de forma perfeita. Esse termo foi desenvolvido no caderno do APQP da QS-9000.

Segundo STAMATIS, o FMEA é extremamente eficiente quando é aplicado para realização de análise de causas potenciais de falhas de um sistema completo. De qualquer maneira, aplicar FMEA pode ser difícil e complexo para casos de sistemas com múltiplas funções, constituídas por um número elevado de componentes. Isto ocorre por causa da quantidade de informações detalhadas que tem que ser consideradas, para que se tenha um resultado efetivo. Estas dificuldades são devidas a um número excessivo de possíveis modos de operação e considerações de manutenção da FMEA, por se tratar de um “documento vivo da qualidade”.

Nas MED&PEQ é comum a aplicação do FMEA de Processos, embora elas tenham limitações internas devido a falta de qualificação da sua mão-de-obra. A aplicação do FMEA exige conhecimentos amplos da equipe sobre seus produtos e processos, além de exigir conhecimentos de outras ferramentas básicas de garantia da qualidade, o que torna o FMEA uma ferramenta complexa no ambiente da MED&PEQ.

Para estudos mais detalhados de aplicação e operacionalização da FMEA, aconselha-se a observação da obra de STAMATIS<sup>[21]</sup>, que faz o detalhamento de planejamento e implementação da ferramenta.

### **2.2.3 FTA (Análise de Árvore de Falhas)<sup>26</sup>**

A FTA é uma técnica preventiva de garantia da qualidade, aplicada na fase de desenvolvimento do produto. Para aplicação da FTA, a equipe deve ter uma clara idéia dos sistemas, subsistemas e componentes do projeto, de forma conceitual. A FTA é uma técnica de suporte à análise de falhas. É aplicada geralmente, em sistemas dinâmicos complexos, e tem como objetivo básico, analisar projetos, fazer estudos de desempenho, analisar modos de falhas comuns, analisar requisitos de segurança e justificar mudanças de conceitos de projetos.

Segundo KECECIOGLU<sup>[22]</sup>, a FTA é um método que faz o modelamento gráfico e lógico de várias combinações possíveis de eventos que podem ocorrer

---

<sup>26</sup> FTA – Termo em inglês que significa: *Fault Tree Analysis*.

durante o funcionamento do produto, podendo ser eventos de falhas ou não, conduzindo o resultado a avaliação sistêmica de módulos, sistemas ou subsistemas. Para realizar este modelamento lógico, a FTA utiliza dados de probabilidade de falhas para cada um dos eventos. Esta ferramenta possui o foco na análise de produtos, podendo influenciar de forma drástica em uma solução de projeto. Também é possível adaptá-la para ser utilizada em processos, principalmente no cálculo de eventos que ocorrem em série.

As informações de entrada, necessárias para elaboração da FTA, são:

- Requisitos do projeto;
- Sistemas, subsistemas e componentes envolvidos;
- Lista dos modos de falhas de OEMs<sup>27</sup> de outros fabricantes que façam parte do projeto;
- Testes de confiabilidade, realizados em módulos que fazem parte do projeto;
- Resultados de avaliação de MTBF<sup>28</sup>, dos módulos considerados críticos;

Os benefícios de aplicação do FTA são:

- Ajudar na visualização das análises de possíveis falhas e seus efeitos no produto;
- Determinar a probabilidade de ocorrência do evento de topo, dos sistemas e subsistemas associados;
- Fornecer documentação para evidenciar cuidados com requisitos de segurança;
- Determinar o impacto da substituição de soluções e novas alternativas de projetos, fornecendo informações para comparação de soluções sob a ótica da probabilidade de falhas;
- Permitir que o analista focalizasse suas ações em um sistema particular de falhas, em um determinado período;
- Fornecer ao analista, compreensão dentro de um sistema com procedimentos;

---

<sup>27</sup> OEM é um termo que identifica os módulos acabados fornecidos por terceiros (Original Equipment Manufacturer).

<sup>28</sup> MTBF é um termo utilizado em testes de confiabilidade e significa a quantidade de operações que um determinado sistema ou componente pode executar até que apresente uma falha.

- Isolar falhas de segurança críticas;
- Identificar o caminho que a falha do produto pode percorrer até causar um acidente;

Os resultados da aplicação da FTA são:

- A seleção e identificação de módulos críticos para o funcionamento de um sistema ou subsistema, elaborada;
- A priorização de aplicação de testes e ensaios de confiabilidade, definida;
- A priorização de aplicação de ferramentas especializadas na análise de causas de modos de falhas, como FMEA, por exemplo (ver capítulo 2.2.2), definida.
- A probabilidade de falha de um sistema ou subsistema, definida;

Limitações da aplicação da FTA:

A FTA é uma ferramenta extremamente complexa e sua aplicação requer conhecimentos básicos sólidos e maturidade da equipe, nos aspectos relacionados às funções e aplicações do produto. A aplicação da FTA nas MED&PEQ do ramo-metal-mecânico é bastante limitada, uma vez que essas empresas desconhecem as probabilidades de falhas dos componentes, subsistemas ou sistemas que fabricam, devido ao fato de receberem projetos prontos de seus clientes ou fabricarem somente partes de sistemas. Assim como FMEA, a FTA é uma ferramenta que exige aplicação realizada por uma equipe multidisciplinar.

Para utilização da ferramenta, é aconselhável que a equipe tenha conhecimentos prévios em:

- Desdobramento da função qualidade, geralmente conquistado pela aplicação de QFD;
- Análise de causas;
- Histórico de desenvolvimento e problemas em produtos que utilizam conceitos de funcionalidade semelhantes;
- Dados de teste de ciclo de vida e confiabilidade;

As bibliografias existentes focalizam amplamente o desenvolvimento operacional do método, mas pecam na determinação e escolha de casos que justificam a aplicação da ferramenta. A falta de objetividade, domínio da ferramenta



e conhecimentos dos benefícios proporcionados, pode acarretar prejuízos para as MED&PEQ que desejam fazer sua aplicação.

Para ampliação de conhecimentos específicos na operacionalização da FTA, recomenda-se o livro *Reliability Engineering Handbook*<sup>[22]</sup>, que desenvolve os passos para sua aplicação, realiza o equacionamento estatístico de diversos arranjos de probabilidade de falhas e demonstra alguns exemplos de aplicação.

#### **2.2.4 DFM (Projeto Para Fabricação)<sup>29</sup>**

O DFM é um método preventivo de garantia de qualidade, pois é aplicado logo após a etapa de concepção do projeto, visando a re-orientação de algumas características específicas, com o objetivo de fazer a redução de custos do produto. É uma ferramenta dentro da filosofia da Engenharia Simultânea.

Como citado no capítulo 1.3, o sucesso do projeto depende da qualidade, custo e tempo. DFM é um método preventivo de garantia da qualidade que visa alcançar este objetivo. A prática efetiva de DFM tem como objetivo, alcançar um baixo custo de manufatura sem sacrificar a qualidade do produto.

Segundo ULRICH e EPPINGER<sup>[18]</sup>, o DFM é um método que tem os seguintes objetivos:

- Estimar os custos de manufatura;
- Reduzir os custos de componentes;
- Reduzir os custos com a montagem;
- Reduzir os custos com a assistência técnica;

Esta ferramenta requer uma equipe multifuncional, integrando especialistas em projeto de processo e projeto de produto. A Figura 18, resume os passos para a aplicação da técnica de DFM. O DFM integra informações de vários tipos, incluindo croquis, desenhos, especificação de produtos, alternativas de desenhos, detalhes de manufatura, processo de montagem, estimativa de custo de manufatura, volume de produção, e escalabilidade.

---

<sup>29</sup> DFM – Sigla na língua inglesa que significa: *Design For Manufacturing*.

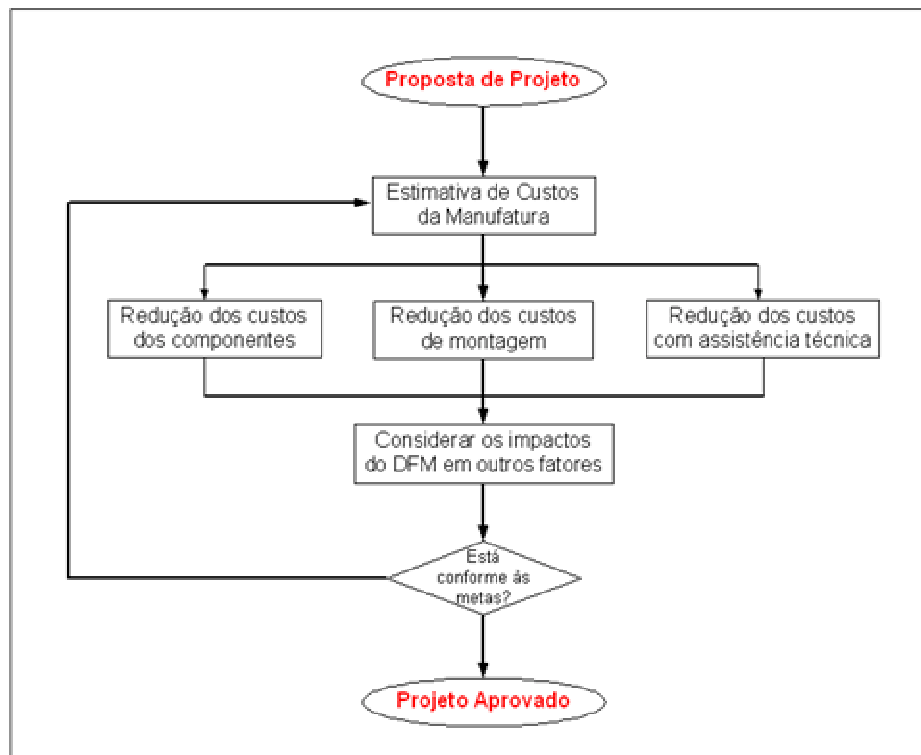


Figura 18 – Fluxograma simplificado de desenvolvimento do DFM (Adaptado de [18]).

As regras gerais de aplicação do DFM segundo HARTLEY<sup>[23]</sup>, são:

- Usar o menor número possível de peças;
- Fazer projetos modulares;
- Minimizar variações de peças;
- Quando a variedade é inevitável, fazer o projeto do produto/processo de forma que as peças únicas sejam as últimas a serem montadas;
- Projetar as peças de forma que a fabricação seja o mais fácil possível;
- Projetar para facilitar a montagem;
- Evitar componentes de material flexível;

Dessas regras gerais de aplicação, as que mais tem relação ao método desenvolvido neste trabalho são: a minimização da variação das peças, que impactam diretamente na otimização de soluções de processos de fabricação e a orientação de realizar o projeto das peças da forma que a fabricação seja mais simples possível. Porém, o método não esclarece o que significa “fazer o projeto do processo mais simples possível”. Para isto, torna-se necessário desenvolver

conhecimentos amplos por parte da equipe.

As informações de entrada para o desenvolvimento do DFM são:

- Os sistemas, subsistemas e componentes idealizados sob forma de croquis e desenhos detalhados;
- Escalabilidade do produto, definida por um planejamento estratégico;
- Volume de produção;
- Janela de mercado;
- Requisitos do produto definidos e desdobrados (pode ser pela aplicação do QFD);

Os benefícios da aplicação do DFM são:

- Reduzir os custos sem degradar a qualidade;
- Eliminar desperdícios com materiais;
- Eliminar desperdícios com processos intermediários;
- Determinar os processos em função da escala e volume de produção determinada;
- Aproveitar melhor a estrutura da fábrica, visando a redução dos Custos Fixos<sup>30</sup>;
- Possibilitar uma visão global de todas as variáveis que compõem os custos de um produto;
- Os resultados obtidos com a aplicação de DFM são:
  - Estrutura de custos do produto bem definida;
  - Potenciais de redução de custos, mapeados;
  - Projeto voltado para a manufatura, montagem e instalação, considerando a voz do cliente;

A aplicação do DFM depende muito da habilidade, experiência e conhecimento da equipe em vários aspectos associados ao projeto, manufatura e montagem do produto. Mesmo que haja um detalhamento macro da aplicação do método, o DFM trata-se mais de uma filosofia de trabalho do que uma ferramenta

---

<sup>30</sup> Custo Fixo é um termo utilizado para designar todos os custos da fábrica que não dependem do volume de produção. O aluguel do prédio de uma fábrica é exemplo de custo fixo.

sistematizada propriamente dita, dentro do conceito de Engenharia Simultânea.

Já que as MED&PEQ muitas vezes não controlam o desenvolvimento de produtos, esta ferramenta não pode ser aplicada em todos os casos. Mesmo assim, pode ser aplicada para levantamento de problemas potenciais, servindo para analisar o projeto do cliente e realizar a identificação de pontos críticos, com o objetivo de atuar em atividades de prevenção de problemas, mesmo sem ter o poder para mudar as especificações.

Para mais detalhes de aplicação e casos de sucesso, recomenda-se a leitura de Engenharia Simultânea<sup>[23]</sup>, de HARTLEY e Product Design and Development<sup>[18]</sup>, de ULRICH e EPPINGER.

### 2.2.5 DOE (Projeto de Experimentos)<sup>31</sup>

O DOE é um método preventivo de garantia de qualidade aplicado para analisar os resultados de produtos e processos, analisando a combinação e intensidade de fatores de influência em um processo de fabricação.

Tradicionalmente, as pessoas pensam que *Projeto Robusto* é um método estatístico. Isto é um conceito errôneo. *Projeto Robusto* é um método de engenharia usado para desenvolver projetos de experimentos que utiliza amplos conhecimentos estatísticos.

Atualmente, estes métodos são amplamente utilizados para melhorias de performance de produtos e processos, proporcionando uma economia resultante da redução da variação<sup>[4]</sup>.

Segundo MONTGOMERY<sup>[24]</sup>, os experimentos são realizados por investigadores em praticamente todos os campos de trabalho, de forma a descobrir características particulares em processos ou sistemas. Literalmente, um experimento é um teste. Mais formalmente, o que define um experimento, é a realização de um teste aplicado em uma série de vezes, com o objetivo de controlar e induzir valores às variáveis do processo ou do sistema, observando e identificando as reações e

---

<sup>31</sup> DOE – Termo em inglês que significa: *Design Of Experiments*.

respostas de saída. A Figura 19, representa este modelo simplificado do que acontece em um processo, e as relações de entradas e saídas de um sistema. O objetivo principal do DOE em muitos casos, é desenvolver um processo robusto, afetado o mínimo possível por forças externas variáveis.

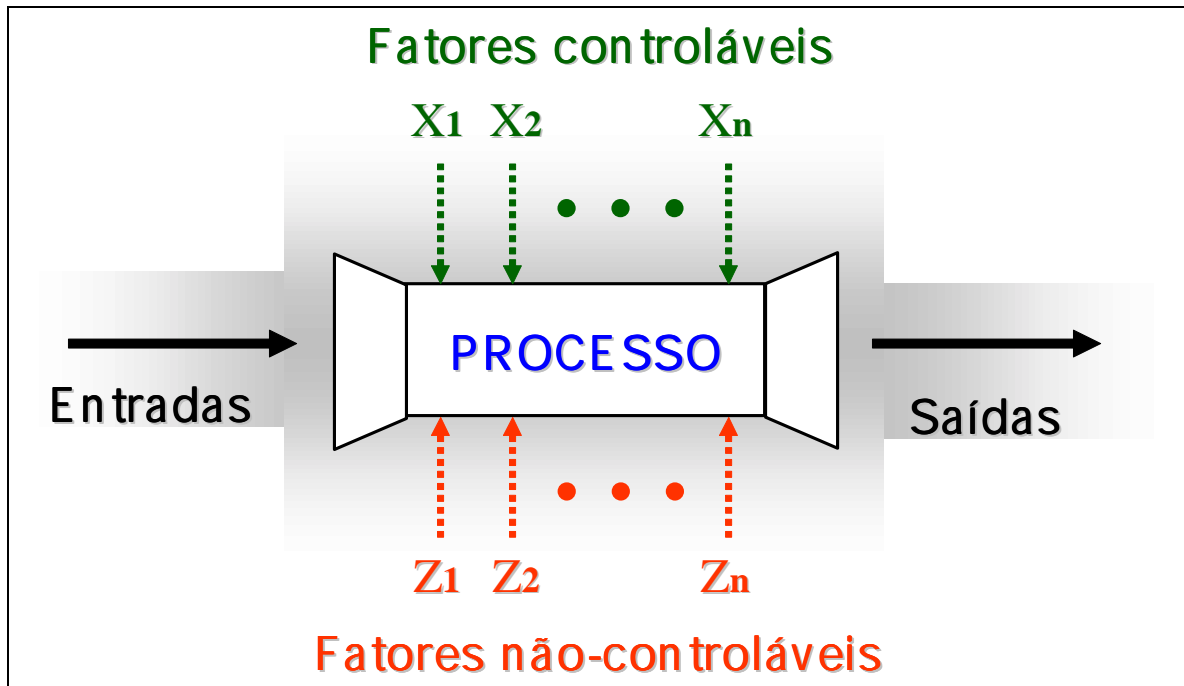


Figura 19 – Modelo geral simplificado do modelo de um processo ou sistema (Adaptado de <sup>[24]</sup>).

Para conduzir experimentos, é necessário traçar uma estratégia para experimentação. Para realização de projetos de experimentos, é recomendada a formação de uma equipe, tal qual é utilizada para desenvolver outros métodos preventivos de garantia da qualidade. Esta equipe deve ter uma coordenação técnica experiente, e os testes práticos devem ser planejados e efetuados com rigor.

As informações de entrada para desenvolvimento do DOE são:

- Definição clara do objetivo do experimento e consenso entre as áreas envolvidas;
- Fatores de influência que se quer testar;

Os benefícios da utilização do projeto de experimentos são:

- Identificação das variáveis controláveis do processo e sua influência nos resultados;
- Estabelecimento de parâmetros essenciais de um processo;

- Fixar variáveis de influência de um processo;

Os resultados da aplicação do DOE são:

- Valores de parâmetros de influência dos processos, conhecidos;
- Conhecimento das combinações dos fatores, envolvidos;

A prática deste método possui algumas limitações. Caso existam muitos fatores de influência a serem controlados, a aplicação do método é inviabilizada pelo fator tempo e custo. Existem alguns métodos para desenvolvimentos de DOE, que reduzem as combinações e diminuem sensivelmente o número de ensaios. Um dos mais conhecidos é o método de Taguchi<sup>[4]</sup>, que estipula alguns parâmetros, que quando aplicados, reduzem sensivelmente os custos da aplicação de DOE, pela aplicação de técnicas estatísticas que agrupam fatores e variáveis que podem ter influências parecidas.

O QSA<sup>[25]</sup>, documento integrante da QS-9000 que padroniza questões referentes a auditorias de sistemas da qualidade em fornecedores, no Elemento 4.9, questão 9.5, faz a seguinte pergunta: “As condições controladas incluem o monitoramento e controle de parâmetros de processos adequados e características do produto, inclusive designação e documentação de Características Especiais?”. Esta questão refere-se a compulsoriedade das empresas que operam segundo a QS-9000, na identificação de fatores de influência nos seus processos e estabelecer valores para esses parâmetros críticos para a garantia das tolerâncias especificadas nos desenhos. Isso pode requerer da utilização de DOE no planejamento dos processos de fabricação.

No entanto, considera-se que a aplicação desta ferramenta preventiva de garantia da qualidade nas MED&PEQ pode ser realizada, principalmente, no desenvolvimento de processos que possuem poucos fatores de influência, mas que tem grande efeito de influência nos resultados finais.

Para maiores informações acerca da utilização de DOE, recomenda-se a leitura de MONTGOMERY<sup>[24]</sup>, que traz aplicações práticas e desenvolvimento de modelos estatísticos recomendados para diferentes tipos de aplicação e a leitura de ROSS<sup>[4]</sup>, que desenvolve as técnicas de Taguchi aplicadas na Função Perda, Projeto de Experimento Ortogonal e Projeto por Parâmetros e por Tolerâncias.

## **2.3 OS MÉTODOS DE CONTROLE DA QUALIDADE NA LINHA DE PRODUÇÃO**

Os métodos de controle da qualidade na linha de produção são caracterizados pelo ato de inspecionar e são empregados na etapa da produção. A produção seriada inicia-se, geralmente, após a fabricação e aprovação do cabeçade-série, no desenvolvimento de produtos. Nesta etapa, entende-se que o projeto do processo está todo definido, as peças já têm ferramentas aprovadas, o planejamento metrológico e a montagem estão estruturados para funcionamento.

Embora na teoria exista o paradigma de que os processos bem estruturados, com alta capacidade, não necessitem de inspeções, mesmo que amostrais, a prática mostra que todos os processos devem ser medidos e controlados, independentemente de sua capacidade. Este monitoramento contínuo através da inspeção, será detalhado e relatado neste capítulo.

Segundo WINCHELL<sup>[26]</sup>, na manufatura a inspeção se refere a reunião de informações de resultados dos processos, e comparação do que foi produzido com o que está especificado.

Então, os métodos de controle e qualidade na manufatura estão baseados na Inspeção e classificam-se segundo: tipo de dados coletado, frequência de inspeção e Aplicação dos resultados.

### **2.3.1 Classificação por tipo de dados**

#### **a) As Inspeções por variáveis**

Nas inspeções por variáveis são realizadas usando-se instrumentos de medição. O resultado desta inspeção é um número que indica a intensidade com que a propriedade de interesse se manifesta na unidade de produto inspecionado (Ex: medição do diâmetro de um eixo com um paquímetro, medição de uma bucha com micrômetro para medidas internas). Idealmente, o resultado de uma medição deve ser acompanhado pela declaração de sua incerteza.

O resultado de medição é depois comparado com limites de especificação definidos em uma escala quantitativa, para dar um laudo sobre a conformidade ou

não conformidade da característica medida.

#### b) Inspeções por atributos

Na Inspeção por atributos as peças, os componentes e módulos são inspecionadas visualmente e comparados com padrões pré-estabelecidos ou são inspecionados com um padrão conhecido. Os resultados desta inspeção podem somente: aprovado ou reprovado. Ex: Investigação da ausência de batidas no eixo, menores que o padrão pré-aprovado;

A grande diferença entre a inspeção por variáveis em relação à inspeção por atributos, é que na inspeção por variáveis obtém-se como resultado um número, e grande vantagem deste método, é a possibilidade de realização de análise de quanto o resultado encontra-se dentro dos limites de especificação. Enquanto que na inspeção por variável, o resultado fica limitado apenas a informação de que a característica encontra-se ou não dentro dos limites de especificação. Esta informação pode ser pobre, caso seja necessária operações de re-alimentação do processo.

Algumas empresas utilizam os dois métodos ao mesmo tempo, em processos dominados, desde que o processo seja estável. Elas utilizam a inspeção por atributos e no caso da detecção de medidas não-conformes, imediatamente é utilizada a inspeção por variáveis para poder tomar ações de correção no processo de fabricação.

### 2.3.2 Classificação pela frequência de inspeção

#### a) Inspeção por amostragem

Na inspeção por amostragem, as inspeções são realizadas segundo um plano de amostragem, definido de acordo com a sua frequência. Os planos de amostragem são baseados em cálculos estatísticos e experiência da equipe que conduz o plano. Essas amostras devem representar todo o lote de produção.

Existem algumas normas para definição de planos de amostragem para inspeção, como a norma ANSI/SQC Z1.4-1993<sup>[27]</sup>, para atributos, e a norma ANSI/ASQC Z1.9-1993<sup>[28]</sup>, para variáveis. Estas normas possuem regras para



definição de planos de amostragem e são baseadas nas normas: MIL STD 105E e MIL STD 105D, normas militares americanas.

b) Inspeção 100%

Na inspeção 100% todas as peças produzidas são inspecionadas. Este tipo de inspeção será tratado de forma mais aprofundada nas seções seguintes.

### **2.3.3 Classificação segundo a aplicação dos resultados**

Quando um processo está sob controle, é estável e capaz, costuma-se utilizar o CEP (Controle Estatístico do Processo). Quando o processo não atende as metas dos limites de especificações e não é estável ao longo tempo, emprega-se a inspeção 100%. Embora este método não seja totalmente eficaz, existem cobranças excessivas para utilização deste tipo de inspeção por parte de clientes das MED&PEQ.

a) CEP (Controle Estatístico do Processo)

O CEP, também conhecido pela sigla em Inglês SPC (Statistical Process Control), é considerado um método de controle da qualidade na produção. Este método de controle realiza a monitoração dos processos e a identificação de suas variações randômicas e variações devido causas especiais.

Segundo HARTLEY<sup>[23]</sup>, a qualidade em uma fábrica começa com a consistência nos processos e o CEP é um meio de monitorar a qualidade da conformidade na fabricação. Esta ferramenta possui algumas regras baseadas em cálculos estatísticos, e facilita a análise dos dados e a interpretação dos resultados para que sejam tomadas medidas de contingências imediatas. A Figura 20, representa os vários estágios de maturidade e domínio de um dado processo produtivo. O CEP auxilia na tarefa de conhecer melhor o processo e subsidiar a tomada de ações.

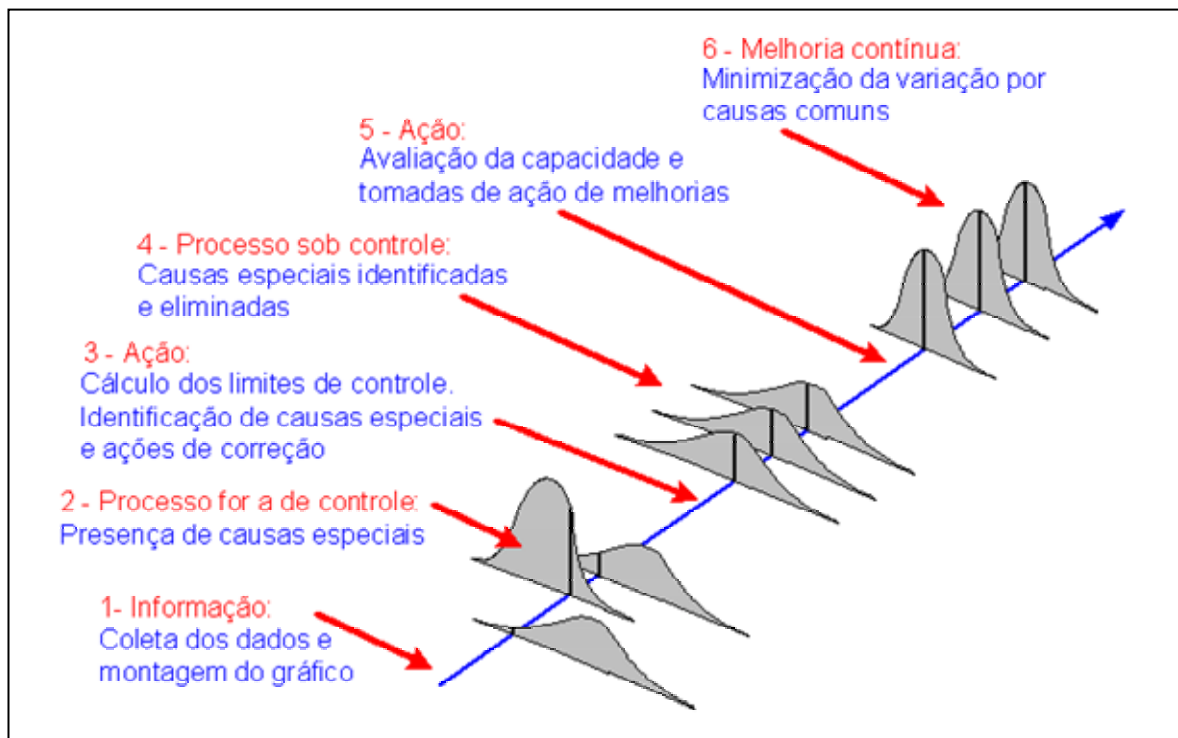


Figura 20 – Estágios de melhoria de processos utilizando o conceito de CEP (Adaptado de <sup>[29]</sup>).

O CEP utiliza a medição da tendência central e a medição da dispersão para monitorar o processo, em vez de inspecionar os resultados depois que o processo produz o produto<sup>[30]</sup>.

WHEELER<sup>[31]</sup>, afirma que as especificações existem para caracterizar o produto. Os administradores do processo de produção têm tradicionalmente caracterizado o produto por fração conforme e não-conforme, sendo que o “ideal” é 100% de produtos conformes. Por outro lado, deve-se a Shewhart uma classificação dos processos pelo seu estado de controle ou previsibilidade. Combinando-se as duas classificações obtêm-se os quatro estados possíveis dos processos produtivos:

- Conformidade e previsibilidade;
- Não-conformidade e previsibilidade;
- Conformidade e não-previsibilidade;
- Não-conformidade e não-previsibilidade;

A Figura 21, representa os estados em que as empresas operam seus processos.

O primeiro estado, é denominado “Estado Ideal”. O processo neste caso é previsível e produz 100% de produtos conformes. A conformidade é consequência natural da relação entre o limite do processo e os limites de especificação. Neste caso, a carta de controle é utilizada com uma frequência menor do que normalmente seria quando ainda não se conhece devidamente o processo e serve para comprovar sua estabilidade.

O segundo estado é chamado de “Estado Limite”. O processo é previsível, mas produz produtos não-conformes. Os produtos não-conformes são resultados de variações naturais do processo, e apresentam-se fora dos limites de especificação. Para que o processo passe deste estado para o “Estado Ideal”, é necessária a redução da variação por causas comuns.

O terceiro estado é o “Limite do Caos”. Os processos são imprevisíveis, porém produzem produtos 100% conformes. De uma hora para outra podem produzir produtos não-conformes, devido a variações desconhecidas. Neste caso é necessário realizar a investigação e a eliminação de causas primárias para posteriormente fazer a aplicação dos gráficos de controle.

O último estado é o “Estado do Caos”. Neste estado, os processos são imprevisíveis e produzem produtos não-conformes. A falta de controle estatístico significa que o produto é confrontado com um nível elevado de não-conformidades na inspeção final. Este estado requer o estudo e a eliminação das causas especiais, para depois realizar a utilização de gráficos de controle no processo.

As MED&PEQ do ramo metal-mecânico, segundo estudos demonstrados no capítulo 1.4, operam processos entre o “Estado do Caos” e o “Limite do Caos”, e seus problemas estão bastante relacionados a variação devido à causas comuns. Para compreensão e aplicação do método proposto, o entendimento do CEP se faz necessário, uma vez que o método se apóia nas suas premissas e compartilha seus conceitos.

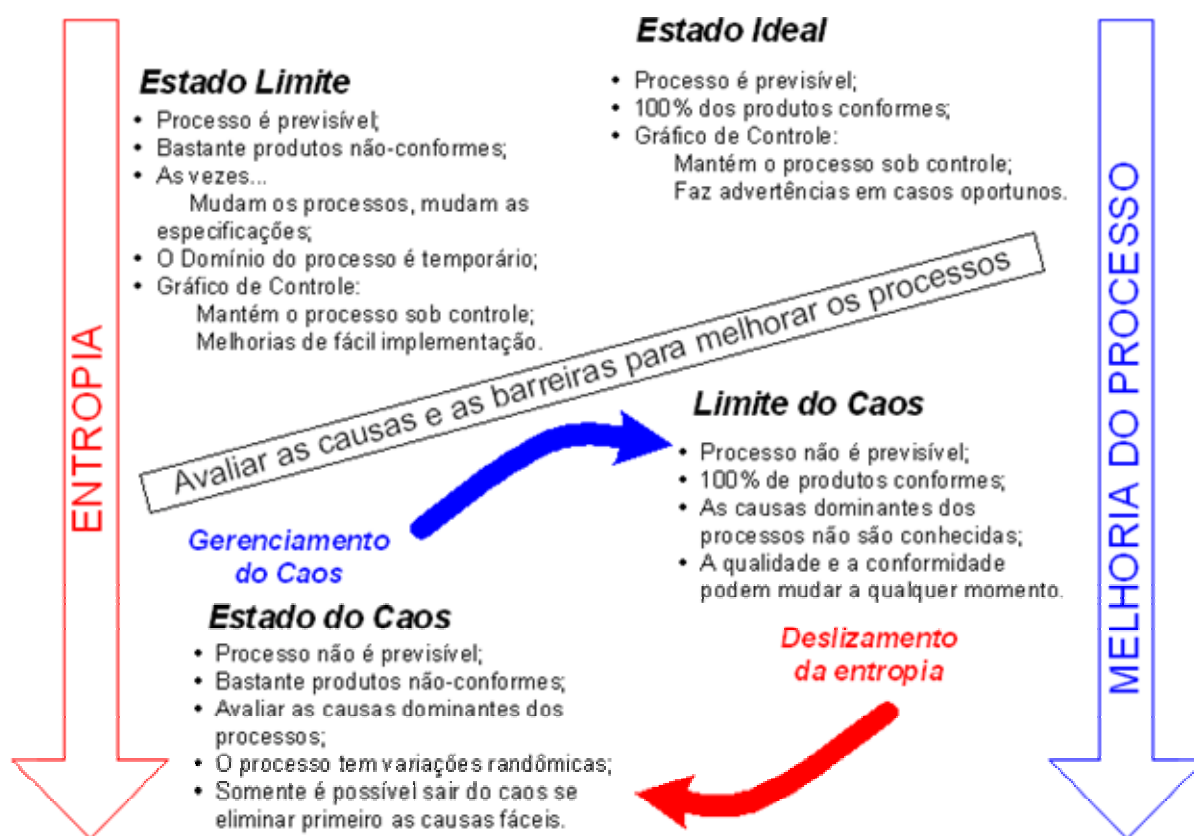


Figura 21 – Representação dos quatros estados possíveis que uma empresa pode estar inserida (Adaptada de [26]).

Segundo OAKLAND<sup>[29]</sup>, a implantação do CEP necessita do seguinte: um bom sistema de gerenciamento da qualidade, uma ferramenta de CEP e a formação de um time de trabalho.

Tipos de gráficos de controle mais utilizados:

- Gráfico de Média e Range<sup>32</sup> móvel;
- Gráfico para indivíduos ou gráfico de corrida;
- Gráfico de média móvel e range móvel;
- Gráfico de Soma Cumulativa (CUSUM);

Os benefícios da utilização do CEP para controle dos processos são:

<sup>32</sup> Range é um termo utilizado para designar a amplitude dos resultados da medição.

- Exercer controle sobre o processo, a partir das informações obtidas com a aplicação do gráfico de controle;
- Conhecer as variações naturais dos processos;
- Detectar variações devido a causas especiais;
- Subsidiar a melhoria contínua, através da coleta de dados do processo;

Os resultados da aplicação do CEP são:

- Variações randômicas dos processos, conhecidas;
- Informações para poder alterar parâmetros de ajustes dos processos, conhecidas;
- Informações para diversas ferramentas conhecidas de garantia da qualidade e de melhoria contínua<sup>[32]</sup>, como FMEA, FTA, DOE, Diagrama de Ishikawa<sup>33</sup>, entre outras;
- Conhecimento do processo e das suas variações de longo prazo, como às variações ocorridas devido à mudança de temperatura devido a mudança da estação do ano e as mudanças devido a evolução do desgaste de longo prazo das máquinas.

O CEP, apesar de muito eficiente e bastante utilizado na produção, possui algumas restrições para aplicação devido a exigência de alguns requisitos para aplicação. Como requisitos para utilização do CEP, destacam-se:

O *Sistema de Medição* envolvido deve ser apropriado para a coleta de dados no processo. O sistema de medição deve ser melhor que o processo, ou seja, a incerteza de medição deve ser menor que a variação natural do processo. No capítulo 3.5, tratar-se-á medição como fonte de informações para o sucesso das ferramentas preventivas de garantia da qualidade e ferramentas de controle de qualidade na linha de produção.

A utilização do CEP deve ser focada em monitorar as características críticas e significativas do processo. Essas características críticas e significativas são resultantes do desdobramento dos requisitos do cliente traduzidos em projeto, através de tolerâncias geométricas e dimensionais e que são importantes para que

---

<sup>33</sup> Diagrama de Ishikawa também conhecido como Diagrama Espinha-de-Peixe, é uma ferramenta que sistematiza a análise de problemas.

garantam a qualidade da peça. Caso contrário, a utilização do CEP fica inviabilizada economicamente pelo excesso de características a controlar e os gráficos de controle vão mostrar dados que refletem as características dos processos, mas que não são fundamentais para o cumprimento das suas funções.

Os dados demonstrados nos gráficos de controle devem ser utilizados para *Re-alimentação dos Processos*, que é um dos seus maiores benefícios. Gráficos de controle utilizados apenas para coletar dados que não são utilizados para melhorar os processos, representam um desperdício. Além do gráfico de controle, a equipe deve planejar ações que visam alterar os parâmetros do processo para sua melhoria.

O gráfico de controle é construído com os dados obtidos da medição de peças que já foram fabricadas. Isso significa que enquanto uma peça está sendo medida, outras estão sendo fabricadas. O CEP deve prever a logística das peças que estarão sendo fabricadas após a peça que está sendo medida, para que em caso de reprovações continuadas segundo suas regras de decisão<sup>[30]</sup>, essas peças sejam segregadas para avaliações posteriores. Essa característica chama-se de *Capacidade de Reação do Processo*.

No capítulo 3.1.1, fala-se do conceito de “Capacidade do Processo”. Para cálculo da capacidade do processo, é necessário que o processo apresente estabilidade, caso contrário, não se consegue fazer uma previsão do quanto o processo é capaz. A aplicação do CEP torna-se fundamental para análise de capacidade dos processos, uma vez que a sua utilização permite uma análise mais aprofundada de quanto o processo apresenta-se estável.

Para o detalhamento da utilização do CEP, recomenda-se a leitura nos livros dos autores WHEELER<sup>[31]</sup>, HUTCHINS<sup>[30]</sup> e OAKLAND<sup>[29]</sup>. Nesses livros, os conceitos do CEP são discutidos, são demonstrados vários tipos de gráficos de controle e a sua operacionalização demonstrada.

#### b) Inspeção 100%

O método de Inspeção 100% não tem capacidade de análise dos processos e faz apenas a separação de peças conformes das peças não-conformes, através de inspeções por variáveis ou por atributos. Também não depende de planos de amostragem, uma vez que todas as peças são inspecionadas. A implantação deste

método requer apenas uma pessoa que faça a inspeção de 100% das peças produzidas, classificando-as como boas ou ruins. Após a classificação, as peças ruins podem ser retrabalhadas<sup>34</sup> ou refugadas e as boas seguem o fluxo de processo habitual pré-estabelecido.

Precisa também dos limites de especificação e eventualmente dos limites de aceitação, tal qual descritos na norma ISO 14253-1 – Regras de Conformidade. Destacam-se como benefícios de sua utilização a separação de lotes de peças 100% conformes, desde que não haja erros por parte do operador.

A única informação de saída proporcionada por este método, é a informação de quantas peças foram fabricadas dentro dos limites de tolerância e quantas peças foram fabricadas fora dos limites de tolerância.

Como limitação deste método, destacam-se:

- O método não fornece informações para re-alimentar o processo de manufatura, pois trata-se apenas de avaliação de conformidade;
- Nas operações manuais, os resultados estão diretamente relacionados com o desempenho do operador, portanto não são 100% confiáveis<sup>[32]</sup>. Os processos autônomos, também não são 100% confiáveis, devido a sua parcela de incerteza e podem apresentar desgaste com o tempo;
- Os instrumentos são submetidos a utilização intensa, portanto sofrem desgaste acentuado e podem aprovar peças não-conformes;
- Os custos da qualidade relacionados a este método estão diretamente relacionados com as falhas internas (ver capítulo 1.2) e o custo de avaliação;

Para entendimento mais detalhado do método de inspeção 100%, aconselha-se a observação nas obras de DEMING, CROSBY<sup>[1]</sup> (ver artigo “Os mestres da qualidade”), GRYNA<sup>[32]</sup>, SHINGO<sup>[33]</sup> e PFEIFER<sup>[2]</sup>.

---

<sup>34</sup> Retrabalho, segundo a QS-9000, é a ação tomada sobre produtos não-conforme de maneira que atendam aos requisitos especificados.

## 2.4 A CARACTERIZAÇÃO E A COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE GARANTIA E CONTROLE DA QUALIDADE NA LINHA DE PRODUÇÃO NAS MED&PEQ

### 2.4.1 Termos e definições acerca dos métodos e ferramentas de qualidade

Na seção 2.2 e 2.3, foram abordados os vários métodos preventivos de garantia da qualidade e controle da qualidade na linha de produção, onde se aplicam, onde estão inseridos, seus objetivos e limitações.

Neste capítulo, os métodos foram classificados segundo as grandes filosofias do mundo da qualidade e suas aplicações nas MED&PEQ do ramo metal-mecânico.

Segundo FERREIRA<sup>[34]</sup>, filosofia significa: “Conjunto de estudos e considerações que tendem a reunir uma ordem determinada de conhecimentos, (que expressamente limita seu campo de pesquisa, p. ex., à natureza, ou à sociedade, ou à história, ou à relações numéricas, etc) em um número reduzido de princípios que lhe servem de fundamento e lhe restringem o alcance” ou “Brasil popular: modo ou maneira de pensar”.

Logo, ao longo dos tempos, vários “modos de pensar” foram criados para abordar o tema qualidade. Entre os mais conhecidos, destacam-se:

- TQC (Total Quality Control), criado por Armand Feigebaum;
- Zero Defeito, criada por Philip Crosby;
- Kaizen, criada por Masaaki Imai;
- 6  $\sigma$  (Seis Sigma), criada pela Motorola e General Electric;
- Círculos da Qualidade, criada por Kaoru Ishikawa;
- Melhoria Contínua criada por James Harrington;
- Engenharia Simultânea, criador desconhecido;

Essas filosofias de trabalho agregam vários métodos e ferramentas descritas nos capítulos anteriores. Segundo FERREIRA<sup>[34]</sup>, método significa: “Do grego *méthodos*. Caminho para se chegar a um fim”. Ainda: “Caminho pelo qual se atinge a um objetivo”, ou: “Programa de regula previamente uma série de operações que se



devem realizar, apontando erros evitáveis, em vista de um resultado determinado”, ou: “Processo ou técnica de ensino”.

Para FERREIRA, ferramenta tem o mesmo significado de instrumento: “Recurso empregado para se alcançar um objetivo, conseguir um resultado, um meio”.

Percebe-se que as ferramentas e métodos preventivos de garantia e controle da qualidade têm limitações para tratar do tema da qualidade no desenvolvimento dos processos produtivos nas empresas devido ao fato de serem generalistas, e de não cobrirem todo o tema do desenvolvimento de processos.

#### **2.4.2 A importância de um método que oriente o planejamento do processo nas MED&PEQ**

SHINGO<sup>[33]</sup>, em seu livro, diz o seguinte:

“... as melhorias mais profundas nas organizações ocorrem, quando os processos são bem concebidos”.

As MED&PEQ do ramo metal-mecânico, na atual condição (ver capítulo 1.4), não conseguem investir em muitas ferramentas para desenvolver o tema do desenvolvimento de seus processos, tão importante para a competitividade e sobrevivência no mundo globalizado (ver capítulo 1.2), sendo que na maioria das vezes, elegem uma dessas ferramentas, investem em treinamento das pessoas e na sua implantação e não têm os resultados esperados.

Em vista disso, a criação de um método sistematizado, que faça o desdobramento dos requisitos de projeto de forma consistente e transforme esses requisitos em um projeto do processo, com a identificação de pontos críticos e a identificação da possibilidade de falhas e critérios para controle da qualidade, possui forte apelo no âmbito das MED&PEQ do ramo metal-mecânico.

### **3 DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA AUXILIAR O PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E GARANTIA DA QUALIDADE DAS MED&PEQ**

No capítulo 2, foram vistos os vários métodos e ferramentas existentes utilizadas na fase de desenvolvimento de produtos, classificadas como ferramentas preventivas de garantia da qualidade e ferramentas de controle de qualidade na linha de produção. Observou-se que a aplicação individual dessas ferramentas não é suficiente para garantir o desenvolvimento de processos produtivos consistentes. Para alcançar este objetivo, é necessário que se faça uso de ferramentas que se complementem, além de aplicá-las juntas dentro de uma filosofia de engenharia simultânea. Viu-se na seção 1.4, que as MED&PEQ do ramo metal-mecânico, possuem deficiências que as impedem de utilizar essas ferramentas devido sua complexidade. Neste capítulo, vai ser proposto um método de suporte, onde de uma forma sistemática, torna-se possível fazer o planejamento do processo, com a identificação de pontos críticos e o cálculo da probabilidade de fabricação de peças boas, de acordo com a seqüência de fabricação prevista e os índices de capacidade das operações.

O grande desafio deste trabalho é desenvolver um método que seja simples, que não exija conhecimentos especializados de outras ferramentas e métodos preventivos de garantia e de controle da qualidade e que as MED&PEQ possam operá-lo sem a necessidade de inúmeras horas de capacitação do pessoal.

O objetivo final da aplicação do método é obter, de uma maneira eficiente e rápida, uma análise de qual seqüência de processo é mais rentável economicamente, sob a ótica de fazer bem feito da primeira vez.

#### **3.1 CONCEITOS BÁSICOS PARA ENTENDIMENTO E APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSO E GARANTIA DA QUALIDADE**

Para entendimento e aplicação do novo método de planejamento do

processo produtivo, é necessária a fixação de alguns conceitos básicos. Esses conceitos básicos estarão sendo apresentados na seqüência.

### 3.1.1 Capacidade do processo

Um processo de fabricação, de fato, pode ser representado pela sua distribuição estatística. Em geral na teoria, assume-se que os processos de fabricação possuem distribuição normal. Embora essa afirmação seja válida, processos reais reagem de forma particular, podendo apresentar variações em torno do modelo teórico. No escopo deste trabalho, devido a simplicidade do modelo empregado para análise de processos nas MED&PEQ, adotar-se-á a hipótese que os processos analisados atendam o modelo teórico da distribuição normal. Na Figura 22 pode-se observar a função densidade de um processo genérico, posicionado em relação a especificação correspondente.

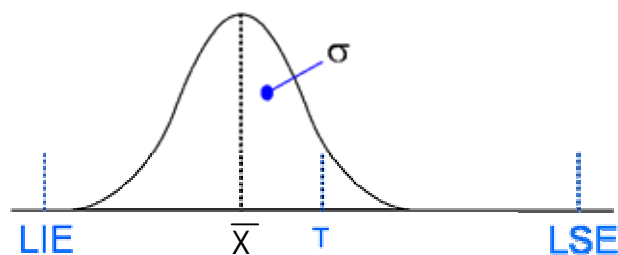


Figura 22 – Representação gráfica de um processo com distribuição normal, com média e desvios padrão conhecidos e seus limites de especificação.

A capacidade dos processos pode ser analisada por diversos distintos índices, entre eles, o mais usado é o Cpk:

$$Cpk = \text{Min} (CPU; CPL)$$

$$CPU = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \qquad CPL = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

Onde:

CPU → Índice de Capacidade Superior;

CPL → Índice de Capacidade Inferior;

$\bar{X}$  → Média do processo;

$\sigma$  → Desvio-padrão do processo;

LSE → Limite Superior de Especificação;

LIE → Limite Inferior de Especificação;

Quando o processo está centrado no alvo, a capacidade torna-se máxima. A fração não conforme depende, nesse caso, da dispersão do processo, relacionada com seu desvio padrão.

Para medir a capacidade potencial de um processo, usa-se o índice  $C_p$ , que representa então a máxima capacidade que pode ser alcançada por um processo no alvo.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Observa-se que quando o  $C_{pk}$  atinge seu valor máximo, é exatamente igual ao  $C_p$ . A fração não conforme de um processo pode ser obtida conhecendo-se esses dois índices.

### 3.1.2 A visualização das peças por meio de “Features”

O desenvolvimento de produtos nunca foi mais o mesmo depois que a utilização massificada de sistemas computacionais foi introduzida. Os projetos ganharam velocidade e tiveram seus tempos diminuídos. As alterações de projetos, as análises de tolerâncias, as interfaces de fabricação foram amplamente viabilizadas.

Para utilização destes recursos foi criada uma linguagem universal, denominada “Features”. Todas as peças que conhecidas, exceto as peças que têm

“formas livres<sup>35</sup>”, são formadas por apenas oito tipos de features, classificadas como features 1D, 2D e 3D<sup>[35]</sup>, conforme demonstrada na Figura 23.

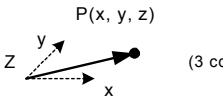
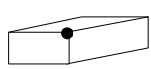
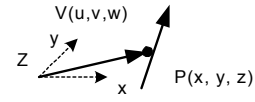
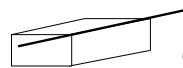
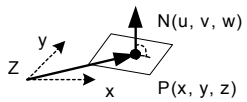
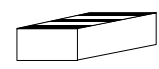
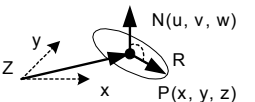

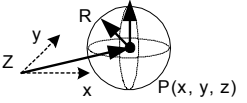
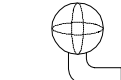
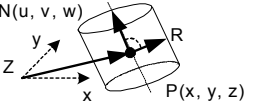
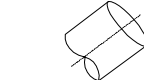
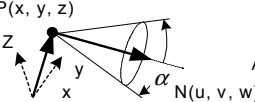
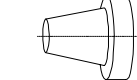
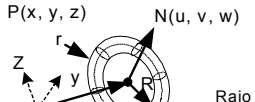

FEATURE	EXEMPLO E DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	NÚMERO DE MÍNIMOS DE PONTOS PARA DEFINIÇÃO	EXEMPLO DE PEÇA
Ponto	 Posição do vetor (3 coordenadas: x, y, z)	1	 Quina de um cubo (intersecção de três planos ortogonais)
Linha	 Ponto Direção	2	 Borda do cubo (intersecção de dois planos)
Plano	 Ponto Normal	3	 Limite do plano do cubo
Círculo	 Ponto Normal Raio	3	 Referência do circular dos furos
Esfera	 Ponto Raio	4	 Conexão de reboques
Cilindro	 Ponto Direção Raio	5	 Eixo
Cone	 Ponto Direção Raio Angulo do cone	6	 Fixador de cones p/ máquinas retificadoras
Toróide	 Ponto Direção Raio do anel Raio da coordenada	7	 Eixo com raio para encaixe na extremidade

Figura 23 – Features básicas e sua definição vetorial<sup>[35]</sup>.

As features podem se apresentar na forma de um elemento “sólido” ou como um elemento “vazio” na peça. Um furo é um exemplo de um elemento “vazio” na peça, que é formado por uma feature denominada cilindro.

Existem diversas formas de se agrupar features para obtenção de peças. A Figura 24 mostra um exemplo de aplicação das features básicas demonstradas na

<sup>35</sup> Formas livres é um termo que caracteriza as peças que não têm forma geométrica simples, ou seja, não seguem padrões definidos no espaço. Podem ter qualquer função  $f(x,y)$ .

Figura 23.

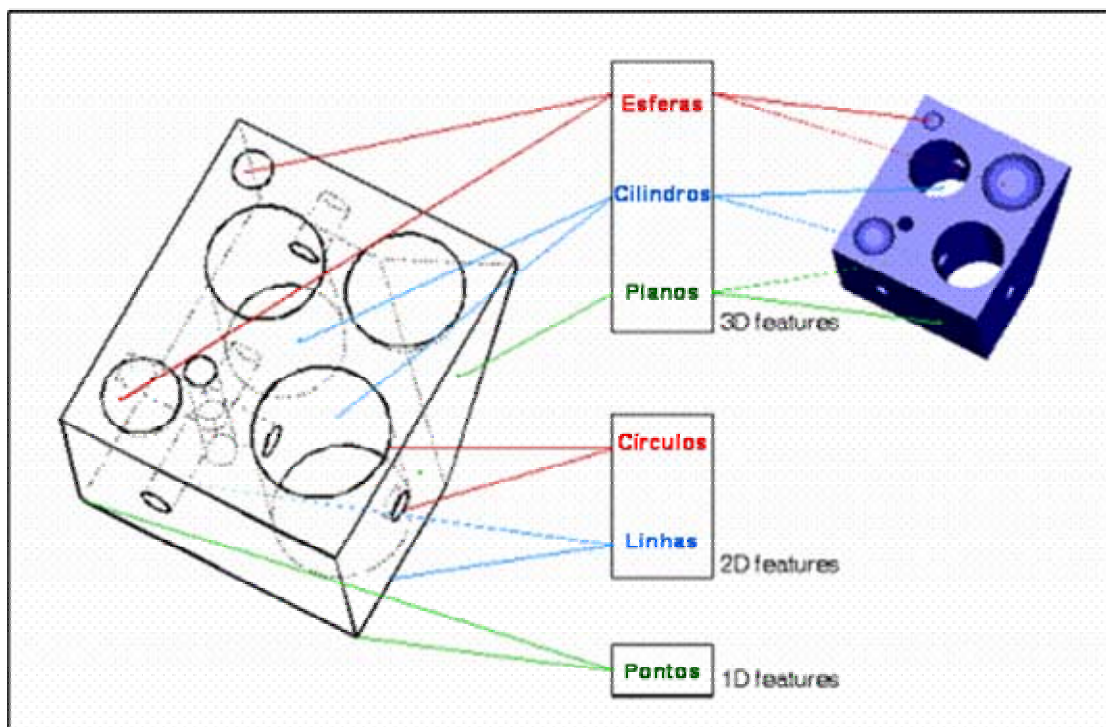


Figura 24 – Exemplo de aplicação das features básicas no projeto de peças mecânicas<sup>[35]</sup>.

### 3.2 O MÉTODO PREVENTIVO DE GARANTIA DA QUALIDADE NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Como mencionado nos capítulos anteriores, este método está posicionado como uma ferramenta preventiva de garantia da qualidade, conforme contextualizado na Figura 25. A sua utilização inicia-se durante o projeto do produto, passa por todo o planejamento do processo de fabricação e dá-se por concluído com o fornecimento de informações para a elaboração das instruções de trabalho e o planejamento das estratégias para o atendimento das metas de qualidade estabelecidas para o produto. O método pode direcionar as ações para que as metas de qualidade possa ser atendidas, seja por uma simples inspeção 100%, por uma inspeção amostral ou pela compra de equipamentos melhores para as linhas de manufatura.

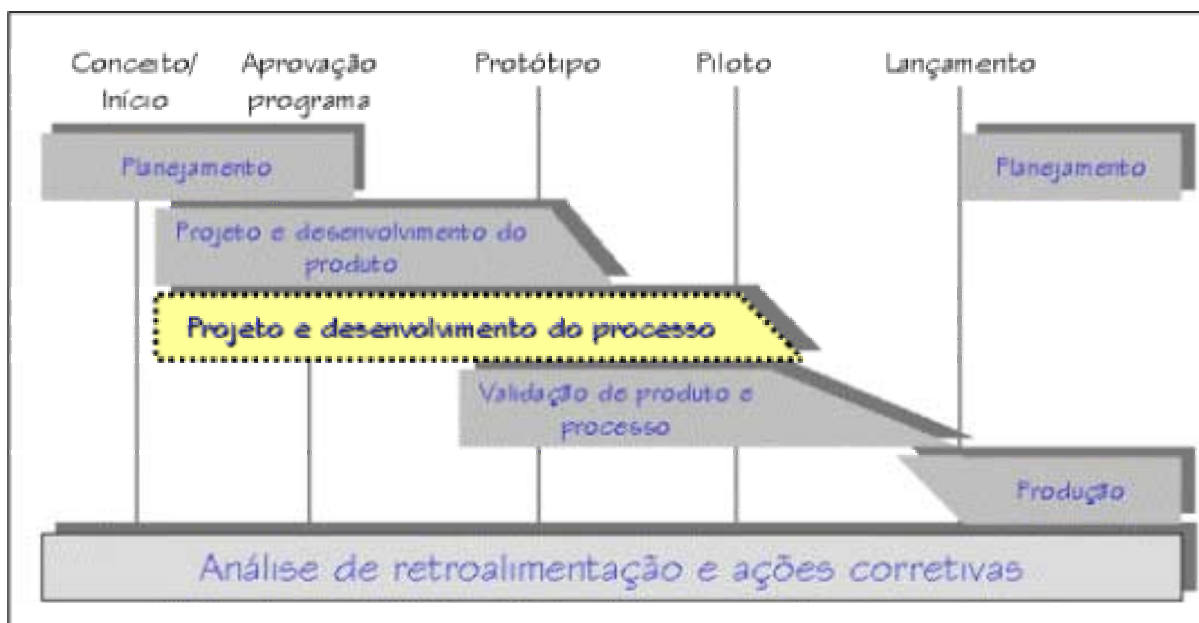


Figura 25 – Contextualização do método analítico de planejamento do processo, perante o desenvolvimento de produtos<sup>[25]</sup>.

Este método preconiza que é no planejamento do processo de fabricação é que os problemas devem ser descobertos, analisados e evitados. O método nasceu a partir de observações das dificuldades enfrentadas pelas MED&PEQ do ramo metal-mecânico com o planejamento dos seus processos produtivos (ver capítulo 1.4) e pela observação das boas práticas e estudos realizados ao longo dos anos, nas questões relacionadas ao planejamento do processo e as principais ferramentas preventivas de garantia e controle da qualidade.

“O planejamento conceitual do processo é a atividade-chave para que os projetistas possam avaliar os custos e tempos da manufatura<sup>[36]</sup>”. Essa frase foi divulgada no artigo escrito por FENG e SONG para a 5ª. Conferência de DFM (sobre DFM, ver capítulo 2.2.4). Conforme relatado no capítulo 1.2, os fatores determinantes para a competitividade são: custos, tempos e a qualidade, e a etapa de desenvolvimento conceitual do processo, segundo FENG, é a etapa responsável por cerca de 70% dos custos da produção.

### 3.3 CONCEPÇÃO DO MÉTODO

Para viabilizar a concepção do método, estruturou-se uma base de conhecimentos acerca de processos de fabricação. Essa base de conhecimentos

pode ser aplicada em qualquer planejamento de processos de fabricação, idealmente em processos que irão produzir peças em séries. Esses conhecimentos serão sintetizados nas quatro premissas a seguir.

### Premissa Nº 1:

“Caso seja possível, as operações de *menor* capacidade devem ser realizadas antes das que têm *maior* capacidade”.

A cada etapa do processo, recursos são empregados na fabricação. Estes recursos são formados, principalmente, por:

RH + Matéria-prima + Consumíveis + Outros recursos

Assim, à medida que a peça avança nas etapas de fabricação, torna-se mais caro o sucateamento de peças por problemas de não atendimento às especificações.

A Figura 26 representa uma peça hipotética. Nesta peça, existem duas features que compartilham a mesma referência para fabricação, os eixos X, Y e Z. Nesta condição, estas features são consideradas eventos independentes, sendo possível usar distintas seqüências de fabricação.

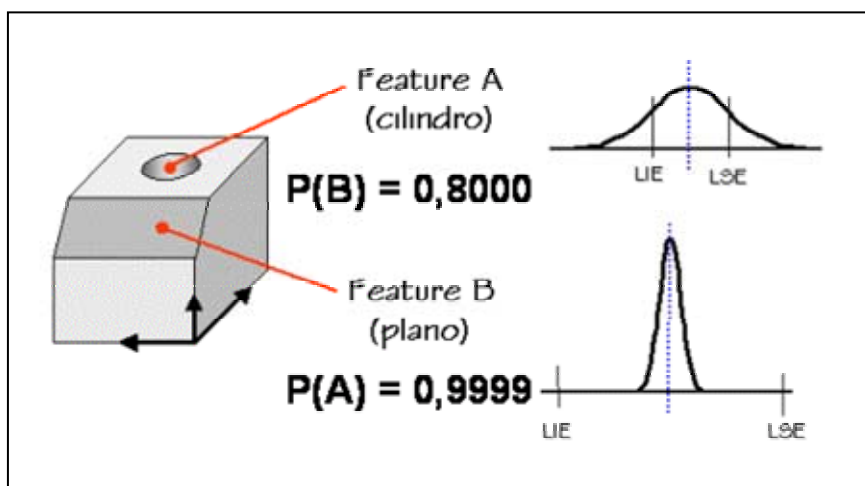


Figura 26 – Representação de uma peça hipotética, fabricada por processos distintos, com capacidades distintas.



As probabilidades de sucesso destas features são as seguintes:

Feature A:  $P(A)^{36} = 0,9999$

Feature B:  $P(B) = 0,8000$

Para atender a Premissa N<sup>o</sup>1 e operacionalizar seu conceito, foi concebida uma simulação no Excel<sup>®</sup> que demonstra o quanto pode ser vantajoso para uma empresa avaliar economicamente a seqüência do seu processo. O simulador permite comparar duas seqüências de processos de fabricação ao mesmo tempo.

Para o exemplificar a utilização da ferramenta, foram estudadas duas seqüências de processos, chamadas de “CONDIÇÃO A” e “CONDIÇÃO B”. O processo de fabricação completo é formado por quatro etapas: Operação A, Inspeção 1, Operação B e Inspeção 2, conforme demonstrado na Figura 27.

Foram utilizadas as mesmas operações e inspeções nas Condições A e B, diferenciadas apenas pela seqüência de operação. Na “Condição A” foi executada a seguinte seqüência de operações:

- 1) Operação A, com  $P(A)=0,9999$  e custo = R\$ 0,10;
- 2) Inspeção 1, com  $P(1)=1,0000$  e custo = R\$ 0,05;
- 3) Operação B, com  $P(B)=0,8000$  e Custo = R\$ 0,10;
- 4) Inspeção 2, com  $P(2)=1,0000$  e Custo = R\$ 0,02;

Na “Condição B”, simulou-se a inversão entre as operações “A” e “B”, sendo executada no início do processo a operação que tem a menor probabilidade de sucesso.

Considerando que o custo de ambas as operações é R\$ 0,10 e que não existe diferença no custo logístico de transporte interno da peça, a diferença de custo encontrada entre as duas condições foi de R\$ 0,03 por ser representando cerca de 5,5% do preço final da peça, conforme demonstrado na Figura 27. Essa diferença de R\$ 0,03 centavos já acontece mesmo com a paridade do custo da operação “A” e a operação “B”, que é de R\$ 0,10.

---

<sup>36</sup> P(A): Probabilidade de que a feature “A” seja conforme.

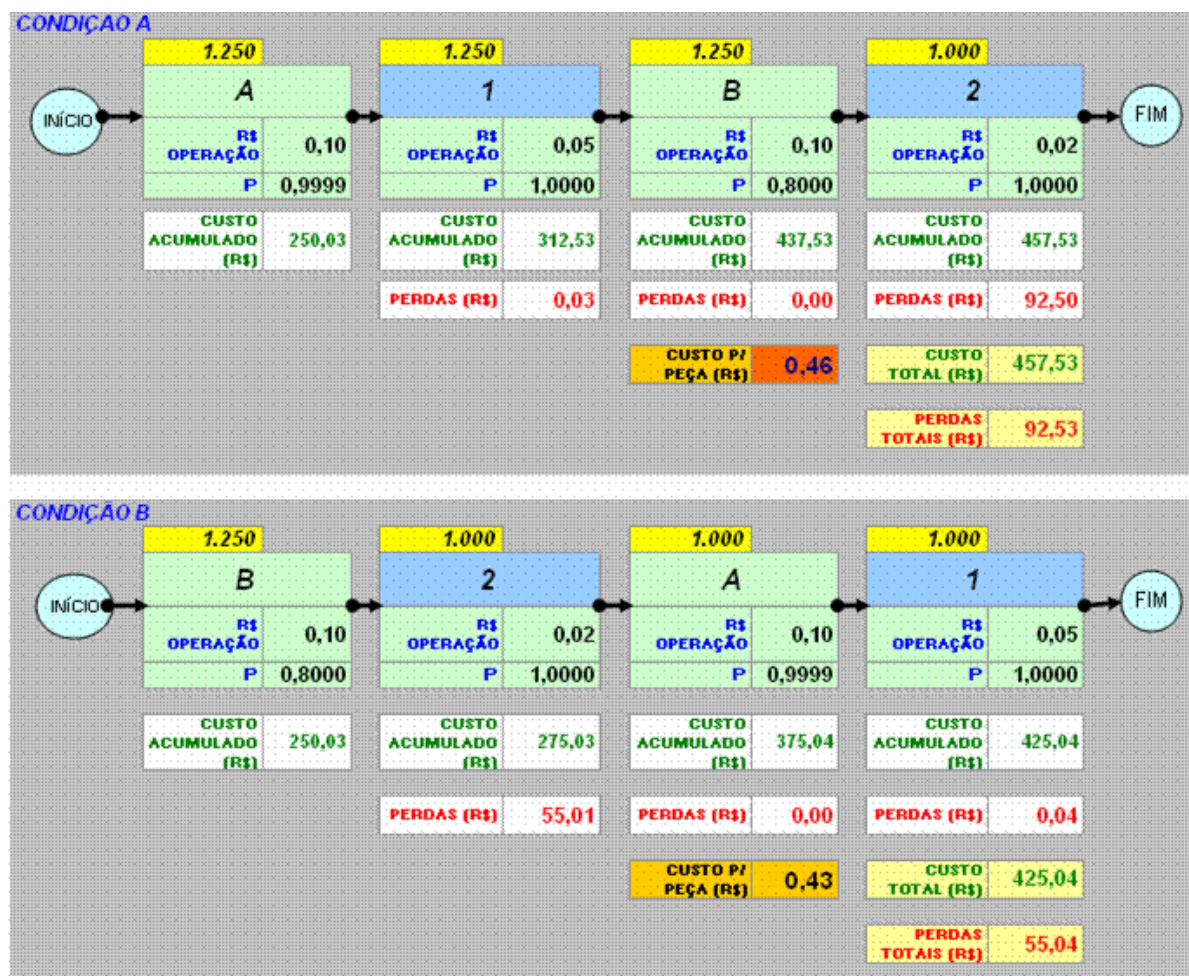


Figura 27 – Utilização do simulador para cálculo dos custos na fabricação da peça exemplo, com a variação da seqüência do processo de fabricação.

A Figura 28 mostra a simulação com a mudança de uma das variáveis. Trabalhando com a hipótese que o processo de melhor capacidade é 50% mais caro do que o processo com pior capacidade, a diferença acentua-se ainda mais, chegando a ser de R\$ 0,04, ou seja, de 7,2%.

À medida que cresce a diferença entre as probabilidades de sucesso das operações e aumenta a diferença de custo entre as operações de maior e menor capacidade, maior é a vantagem da empresa em executar a operação menos capaz primeiro.

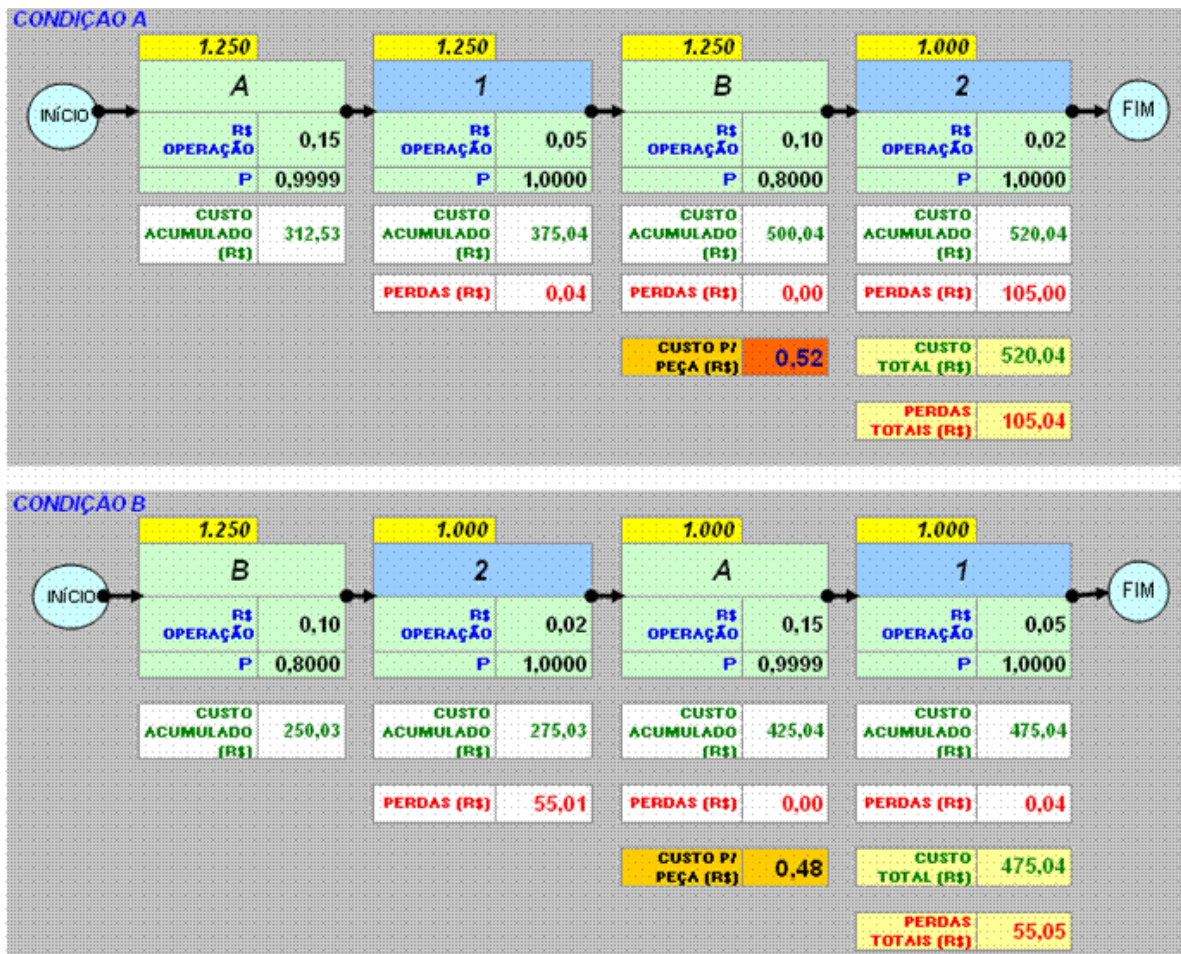


Figura 28 – Diferença de valores entre os dois resultados de custo da peça, considerando que o processo “A” é 50% mais caro em relação ao processo “B”.

## Premissa Nº 2:

”O índice de capacidade de uma operação é influenciado pelo índice de capacidade das operações anteriores, onde são fabricadas as features que serão utilizadas como elementos de referência”.

A especificação de tolerâncias tradicionalmente utilizadas para desenhos de engenharia, é baseada no modelo nominal (geometria perfeita)<sup>[37]</sup>. A Figura 29 apresenta a realidade dessas peças no chão-de-fábrica. Esse problema é encontrado em todos os processos de fabricação, revelando-se mais aparente e relevante em peças fabricadas por processos que têm problemas com o acabamento final e processos que tem problemas de garantir tolerâncias geométricas.

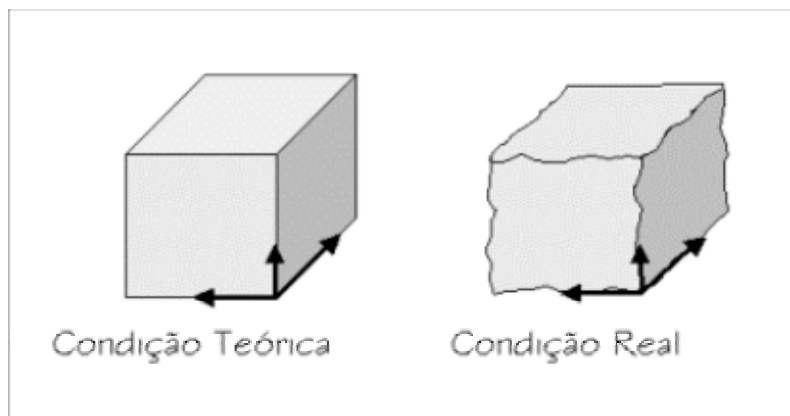


Figura 29 – Representação da condição real e condição teórica das referências de uma peça.

O método de planejamento prevê uma forma de analisar a influência de elementos de referência na seqüência de processos. Essa análise é realizada com o auxílio de uma planilha feita em Excel®, que permite a estimativa por parte do planejador do processo da perda da capacidade por causa da instabilidade dimensional do elemento de referência.

Essa tabela é utilizada em casos onde não existem dados concretos do processo, condição bastante comum das MED&PEQ, particularmente em processos que ainda não tem registros históricos de estabilidade e capacidade e em processos onde não se tem idéia da influência da variação devido a erros geométricos. Assim como no caso das ferramentas de garantia da qualidade, a tabela e pode ser re-alimentada com novas informações e a sua estimativa pode ser constantemente revisada afim de re-orientar as ações no processo.

A Tabela 2 apresenta um exemplo de estimativas hipotéticas de perdas de capacidades realizadas em operações que são influenciadas pela qualidade dos seus elementos de referência. Na primeira coluna estão colocadas as features que são os elementos de referência, na segunda coluna é colocada a feature originada pelas features de referência. A terceira coluna é a probabilidade intrínseca do processo e quarta coluna é a estimativa percentual da perda de capacidade intrínseca afetada pelo elemento de referência. A quinta coluna é a capacidade do processo para a feature avaliada, após a perda de capacidade em devido os elementos de referência.

REFERÊNCIAS ENVOLVIDAS	FEATURE	P(∞) ÍNTRINSECA DO PROCESSO	ESTIMATIVA DE PERDAS EM FUNÇÃO DA REFERÊNCIA	P(∞) ESTIMADA DEVIDO OS ELEMENTOS DE REFERÊNCIA	
Feature 2 Feature 4	Feature 1	0,998	3,0%	0,968	RAMO 1
Feature 2 Feature 4	Feature 3	0,993	1,0%	0,983	RAMO 2
Feature 2 Feature 4	Feature 5	0,997	1,0%	0,987	RAMO 3

Tabela 2 – Tabela de estimativa da influência da referência na capacidade do processo.

Na aplicação do método, essa estimativa será bastante útil e permitirá que o planejador do processo de fabricação faça a análise da probabilidade de sucesso de uma seqüência de operações.

### Premissa Nº 3:

“Operações de fabricação executadas com base em um elemento de referência diferente da referência conceitual especificada no desenho, podem acumular variações que diminuem potencialmente a probabilidade de fabricação de peças boas, baixando significativamente o índice de capacidade do processo”.

Para ilustrar esse fato, imaginemos uma peça que tem um recorte e um furo, demonstrado na Figura 30. Esta peça possui as referências A, B e C.

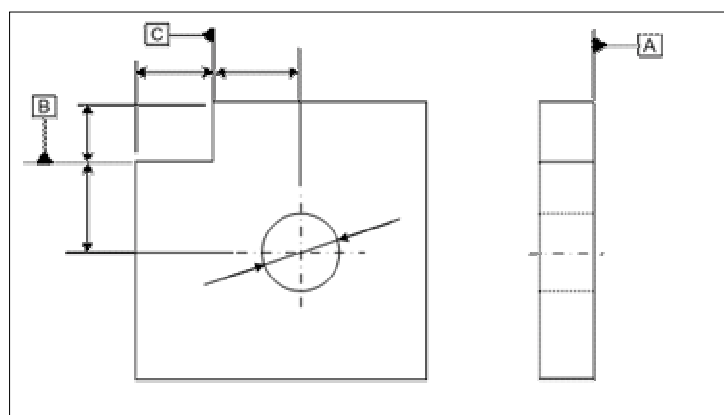


Figura 30 – Exemplo de uma peça hipotética com suas referências.

Imaginemos que este desenho foi distribuído para dois planejadores de processos distintos, e cada qual recebeu a tarefa de planejar um processo de

fabricação para esta peça, com a premissa de fazê-la em duas operações. Estes processos foram batizados de “Fabricação A” e “Fabricação B”.

Para a execução de usinagem do recorte, os dois planejadores utilizaram o mesmo elemento de referência ilustrado na Figura 31, considerando como elemento de referência inicial para fabricação um dos vértices da peça.

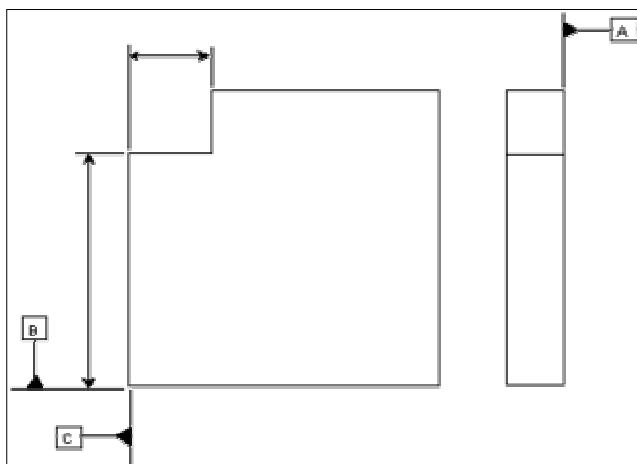


Figura 31 – Operação de obtenção do recorte, utilizando como elemento de referência, um dos vértices do plano da peça.

A diferença entre os dois processos de fabricação está no elemento de referência adotado para fazer a operação de furação da peça. Na Fabricação A, o planejador do processo definiu que o elemento de referência seria o recorte, tal qual especificado no desenho da peça e ilustrado na Figura 32.

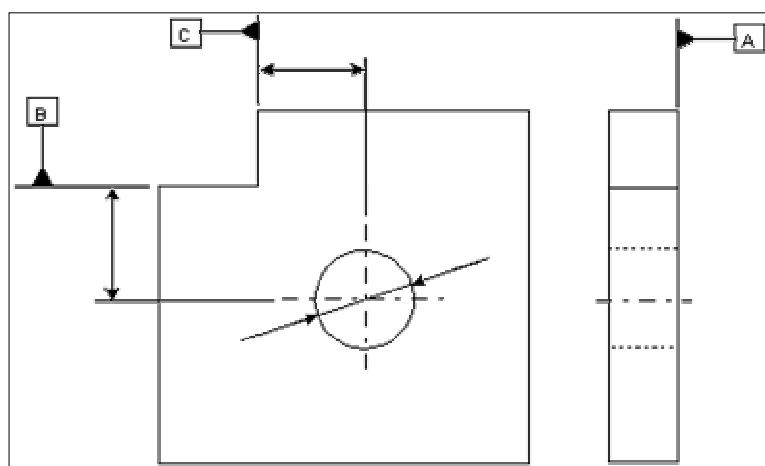


Figura 32 – Usinagem do furo definido pela Fabricação A, onde o elemento de referência é o recorte.

Na Fabricação B, na usinagem do furo, foi usado o mesmo elemento de referência da Figura 31, conforme demonstrado na Figura 33.

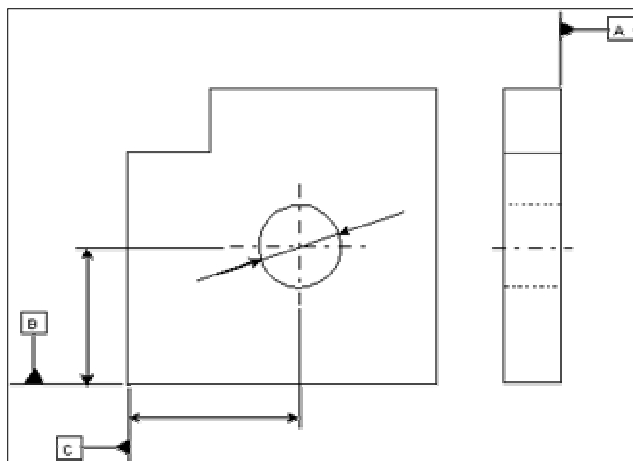


Figura 33 – Usinagem do furo definido pela seqüência de Fabricação B, onde o planejador adotou o mesmo elemento de referência utilizado para fazer o recorte.

Imaginemos que na fabricação desta peça sejam utilizados as mesmas máquinas, os mesmos operadores e o mesmo instrumento de medição. Os resultados encontrados serão distintos, pois na Fabricação B, o posicionamento do furo em relação ao recorte estará submetido à variação natural dos processos de fabricação das duas features. Este efeito, que acontece devido à utilização de elementos de referência para fabricação diferentes da referência especificada no desenho, é típico de um processo mal planejado, acentuado quando a sua capacidade é considerada baixa em relação às metas estabelecidas.

#### **Premissa No 4:**

“Existem seqüências de processos que estão ditadas por fatores externos e não podem ser mudadas”.

Por exemplo: peças brutas têm que passar por processos intermediários de desbaste até chegar aos processos de acabamento. Essa condição não pode ser quebrada sob nenhuma hipótese e planejadores de processos, mesmo que inexperientes, vão atendê-la. Essa premissa pode anular as outras premissas, dependendo do tipo de peça analisada.

Assim, os maiores erros de planejamento de processos irão acontecer nas operações que podem ser executadas em qualquer etapa de um processo de

fabricação, onde as premissas anteriores podem ser empregadas com sucesso.

### 3.4 O PLANEJAMENTO DO PROCESSO: AS ETAPAS DE EXECUÇÃO

Nesta seção, serão apresentados de forma detalhada, todos os passos necessários para definição do processo de fabricação segundo o método proposto nesta dissertação. O método possui uma interface com o desenvolvimento de produtos e o planejamento do controle da qualidade. Foram utilizados os conceitos de engenharia simultânea, os conhecimentos adquiridos com os estudos das features, capacidades do processo e CEP.

Durante o desenvolvimento do método, surgiu a necessidade de criar uma lógica para definir a seqüência de operações que formam o processo de fabricação de uma peça. Essa seqüência lógica foi construída com base nas premissas 1, 2, 3 e 4, relatadas na seção anterior, permitindo ao planejador, extrair o máximo de performance na fabricação de peças boas, sem o aporte de investimentos ou a realização de melhorias de porte adicionais.

Na seção 3.1.2, descreveu-se uma linguagem para desdobrar as características geométricas de uma peça. Essa linguagem, baseada em features, já é utilizada nos métodos computacionais para auxílio na elaboração de projetos de peças (CAD), na programação das máquinas CNC para usinagem (CAM) e nos programas utilizados em máquinas de medir por coordenadas (MMCs). A utilização do conceito de features para criação de uma linguagem universal que gera seqüências de processos de fabricação sem o auxílio do computador, a ser usada por planejadores de processos que não entendem de programação de computadores é um método pioneiro.

Para atender as premissas estabelecidas na seção 3.3, além da utilização do conceito de features, foi necessária a criação de algumas regras de valor. As regras de valor, uma vez definidas, vão estabelecer relações entre a probabilidade de sucesso na fabricação das features e a seqüência de fabricação. Inicialmente acreditou-se que os conceitos de Lean Manufacturing<sup>37</sup>, na temática da árvore de

---

<sup>37</sup> *Lean Manufacturing* é um termo da língua inglesa que significa “Manufatura Enxuta”.



valor, poderiam atender as expectativas e necessidades do método. Porém, com estudos e aplicações práticas, viu-se que o conceito não poderia ser aplicado em sua totalidade. A adaptação do conceito viabilizou a criação de uma nova maneira de avaliação da seqüência de fabricação, caracterizada pela análise econômica e pela capacidade dos processos, denominado “Organograma de Valor”.

Durante o desenvolvimento do método, pensou-se que seria possível utilizar a mesma técnica empregada na FTA (ver seção 2.2.3, FTA - Análise de Árvore de Falhas), na análise de confiabilidade de um conjunto de operações em um processo de fabricação. Em aplicações práticas de validação do método, viu-se que é impossível empregar os algoritmos da FTA no cálculo de probabilidade de sucesso de um processo de fabricação, embora a idéia original tenha surgido a partir do estudo da FTA. O organograma de valor tem aparência final que lembra uma árvore de falhas, bastante parecida com o modelamento da FTA.

A Premissa N°1 mostra que a cada operação executada, custos vão sendo agregados à peça. À medida que o processo vai evoluindo, a peça vai adquirindo mais valor até que no final do processo adquire seu custo de fabricação final. A nova técnica foi desenvolvida para representar, mapear e avaliar qual das seqüências possíveis de fabricação é a mais apropriada para uma determinada peça, de acordo com as capacidades dos processos existentes. Trata-se de uma ferramenta preventiva, uma vez que se consegue simular o resultado final antes do início da fabricação em série.

O método analítico pode ser empregado em dois momentos diferentes, dependendo da empresa:

- Pode ser aplicado desde o planejamento do processo, inclusive mudando soluções de projetos, a partir da constatação de problemas para fabricar a peça;
- Pode servir para analisar e corrigir um processo que já existe, ou para identificar pontos críticos, visando a estabelecer pontos de controle.

A Figura 34 apresenta por meio de um fluxograma detalhado, o método analítico de planejamento de processos de fabricação, com suas interfaces dentro da empresa, os fornecedores, a assistência técnica, o mercado e os clientes.

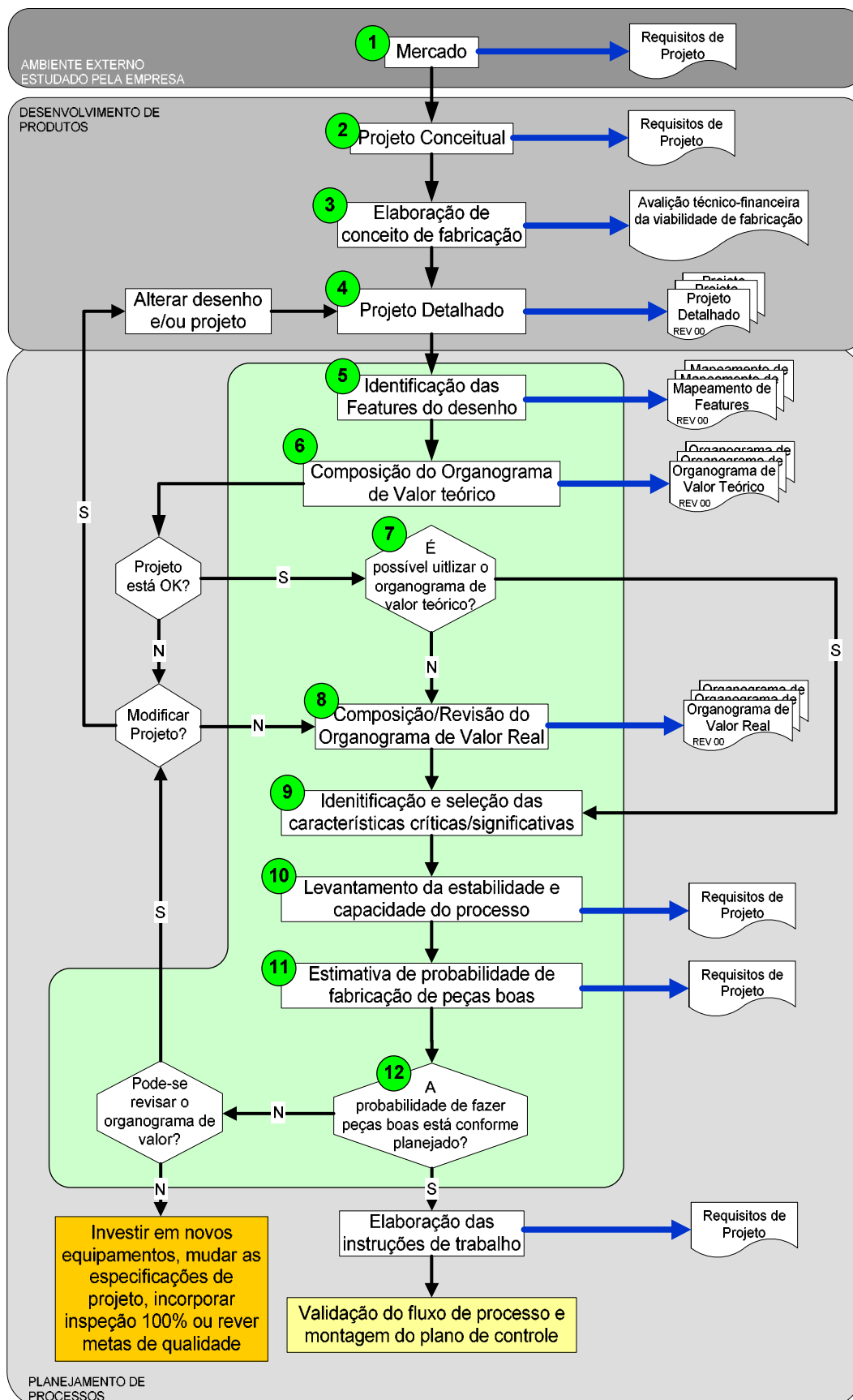


Figura 34 – Representação do fluxograma detalhado do método de desenvolvimento do projeto do processo.

Esse fluxograma é um modelo conceitual utilizado desde a prospecção de mercado, passando pelo projeto do produto, planejamento do processo e criação dos planos de controle. A sua aplicação em diferentes empresas ou sob diferentes condições pode precisar da realização de adaptações. As questões periféricas não serão abordadas com a mesma profundidade em relação aos pontos considerados “diferenciais” no método, de aplicação diretas nas MED&PEQ.

O fluxograma foi dividido em etapas para facilitar seu entendimento. A etapa 1 é o ponto de partida para desenvolvimento de um produto. Para executá-la, as empresas procuram ouvir o mercado, entender o ambiente externo e seus clientes, para poderem determinar os requisitos do projeto de um produto, conseguindo assim otimizar o tempo de desenvolvimento e elaboração do projeto conceitual (etapa 2).

Após a etapa do projeto conceitual, é necessária a concepção de um “processo de fabricação conceitual” (etapa 3). Esse conceito de processo de fabricação serve para avaliação de viabilidade econômica da produção da peça conforme o projeto conceitual. Dependendo dos resultados, essa etapa pode forçar uma mudança do projeto conceitual para poder atender os requisitos de custos mapeados na etapa de prospecção de mercado. Muitas MED&PEQ do ramo metal-mecânico, não tem domínio e não participam das etapas de desenvolvimento de produtos, portanto é possível que essas três primeiras etapas não façam parte de seu contexto.

O projeto mecânico é realizado na etapa 4, após a consolidação das etapas anteriores. E aqui que o projeto é documentado em forma de desenhos e especificações de engenharia. A aplicação do método inicia-se na etapa 5, com o desdobramento da peça em features. A Figura 35 mostra como isso pode ser feito. O planejador do processo deverá utilizar os conceitos apresentados no capítulo 3.1.2 e ilustrados na Figura 24 para executar esta atividade. É possível que o planejador do processo encontre maneiras distintas para compor uma peça através de features. Neste caso, é necessário pensar em como a peça irá funcionar depois de pronta e como as máquinas disponíveis para sua fabricação vão operar. Existem MED&PEQ que possuem máquina de medir por coordenadas (MMCs). Essa informação também pode ser considerada para definir a melhor configuração de features para a peça.

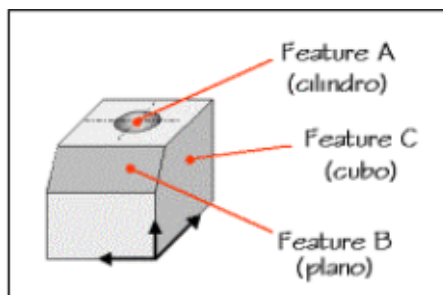


Figura 35 – Mapeamento de features em uma peça hipotética.

Na etapa 6 é elaborado o organograma de valor teórico. O organograma de valor teórico define a seqüência de processos que é consistente com a especificação. Para aplicação deste conceito, é necessário a observação das premissas estabelecidas na seção 3.3, respeitando as operações de desbaste e acabamento e as operações realizadas para viabilizar as operações finais da peça. A organização seqüencial das features tem aspecto final de um organograma, conforme demonstrado na Figura 36, onde as features consideradas elementos de referências são as que ocupam o topo do organograma. É possível que uma mesma peça tenha dois ou mais organogramas de valor. Isso acontece quando existem mais de um sistema de referências em uma mesma peça.

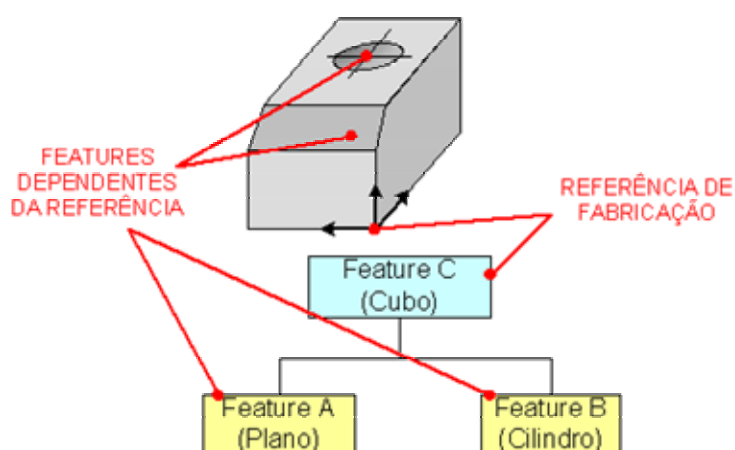


Figura 36 – Organograma de valor criado a partir de uma peça hipotética.

A elaboração do organograma de valor teórico é um primeiro estudo realizado sobre a seqüência do processo de fabricação a partir do desenho do produto. É chamado "teórico", por que é um desdobramento que não considera ainda as características do processo de fabricação, senão somente àquelas

expressas no desenho.

O organograma de valor teórico pode servir para identificar problemas com o sistema de referências do desenho e justificar ações de revisão no projeto do produto, caso isso seja possível e viável. Como mencionado antes, as MED&PEQ geralmente não possuem domínio sobre questões relativas ao projeto. Neste caso, a elaboração do organograma de valor teórico é optativa.

Posteriormente, a viabilidade de processar a peça seguindo o organograma de valor teórico precisa ser avaliada (etapa 7). É comum encontrar casos onde seja impossível fabricar a peça na seqüência prescrita pelo organograma teórico. Quando isso acontece, deve ser elaborado um outro organograma de valor, denominado "Organograma de Valor Real" (etapa 8). O organograma de valor real deve levar em consideração aspectos particulares dos processos de fabricação, como por exemplo, limitações físicas de uma máquina, de um dispositivo de fixação ou a ergonomia de uma operação.

A etapa 9 estabelece que, após a elaboração do organograma de valor real, as features que não são consideradas críticas<sup>[38]</sup> nem significativas devem ser removidas para redução de tempo e simplificação de aplicação do método. Existem casos que uma determinada característica pode vir a ser crítica devido à sua utilização como referência em passos intermédios do processo de fabricação. O método poderá revelar essa condição.

Na etapa 10, deverá ser realizada uma previsão acerca da estabilidade e capacidade do processo para àquelas features consideradas críticas ou significativas. A aplicação do CEP é importante para esta etapa, conforme visto na seção 2.3.3. Caso não seja possível fazer levantamentos de dados reais de capacidade de processos, pode-se recorrer a informações históricas. Caso isso também não exista, os valores poderão ser estimados pelo planejador do processo, bastando utilizar os conceitos desenvolvidos na Premissa N<sup>o</sup> 2. Neste caso a avaliação dependerá unicamente da habilidade do planejador do processo em estipular valores para as capacidades dos processos em cada uma das features.

Os valores de  $C_p$  deverão ser transformados na probabilidade de sucesso  $P(A)$  e deverão ser dispostos no organograma de valor, ao lado de cada uma das features, assim como demonstrado na Figura 37.

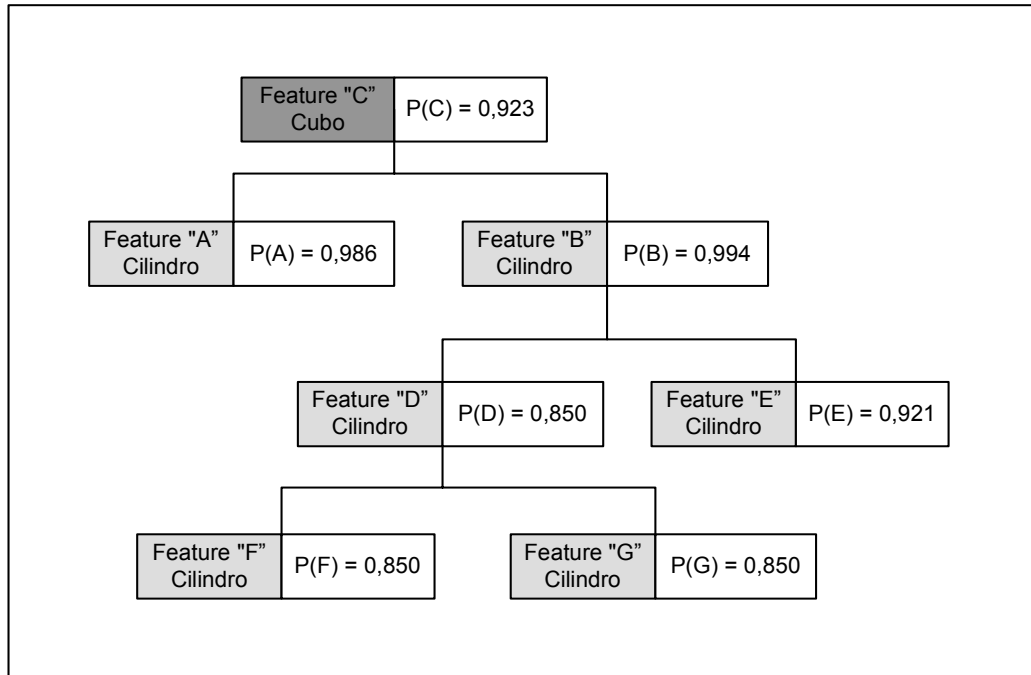


Figura 37 – Coleta de dados referentes às capacidades dos processos para fabricar cada feature.

Após a coleta de informações referentes às capacidades dos processos, torna-se possível à avaliação da probabilidade de sucesso de fabricação de uma peça, pela análise da seqüência de operações e pela capacidade do processo para cada feature, chamado de capacidade “intrínseca”.

Essa análise de capacidade do processo para cada uma das features é realizada com o auxílio da Tabela 2, demonstrada na Premissa N° 2. O planejador do processo deverá atribuir de forma estimada, valores para perda da capacidade devido a má qualidade de cada um dos elementos de referência, mudando por conseqüência as capacidades intrínsecas. Esses valores serão utilizados para cálculo da probabilidade de sucesso do processo global, caracterizado pela etapa 11. Essa tabela poderá ser revista a qualquer momento, à medida que o planejador vai comprovando e adquirindo dados reais dos processos. Essa característica de “documento vivo” da qualidade, também é observada em outros métodos preventivos, como visto nas técnicas de FMEA, apresentada na seção 2.2.2.

Embora pareça ser muito impreciso estimar a alteração da capacidade do processo em função do elemento de referência, o planejador quando levado a pensar sobre o assunto pode entender melhor o fluxo do processo de fabricação e conhecer seus pontos frágeis, mesmo que apresentem incertezas. Em aplicações

práticas do método, viu-se que essas informações podem ser muito úteis para mapear pontos que necessitem de acompanhamentos estratégicos.

Para o cálculo de probabilidade de fabricação de peças boas de cada feature, pode-se utilizar o modelamento de cálculo da distribuição normal, onde a média e o desvio padrão são conhecidos. O Gráfico 1, demonstra a quantidade de peças defeituosas em função do índice de capacidade Cpk.

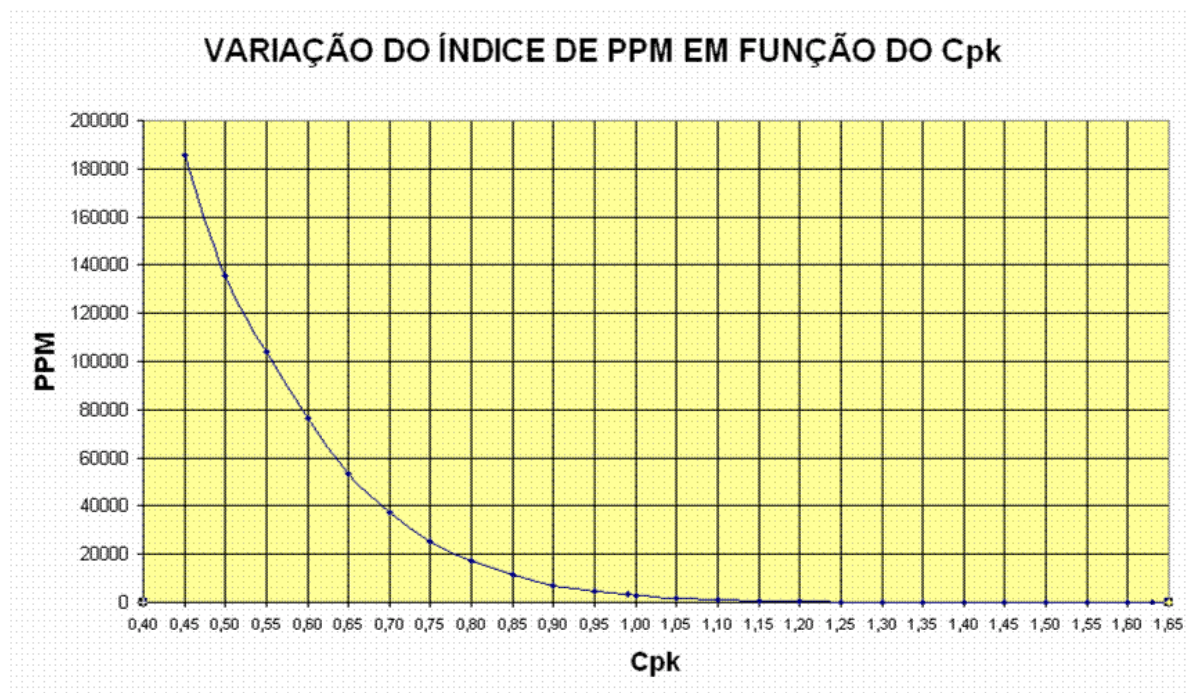


Gráfico 1 – Demonstração da variação do índice de PPM em função do Cpk, para um processo que tem distribuição normal, média e desvios padrão conhecidos.

Cada feature é tratada como evento independente. Sendo as features eventos independentes, é possível calcular a probabilidade de sucesso global do processo pelo produto das probabilidades de sucesso atribuídas às features individuais, sendo:

$$P(\text{Total}) = P(A) * P(B) * P(C) * P(D) * \dots * P(N)$$

Na etapa 12 é realizada a comparação entre os valores obtidos na estimativa de probabilidade global de fabricação de peças boas com as metas estabelecidas para a produção da peça. Em caso de não atendimento das metas, pode-se adotar as seguintes alternativas:

- Mudam-se as especificações de projeto para aumentar a capacidade dos processos (estratégia difícil de ser aplicada nas MED&PEQ).
- Volta-se ao organograma de valor e efetua-se a mudança de alguns parâmetros do processo para tentar atingir as metas de qualidade estabelecidas.
- Melhora-se a capacidade do processo, atuando naquelas operações que apresentam potencial de melhoria a um custo razoável (considerar a capacidade intrínseca e a perda de capacidade pela qualidade das referências, segundo a premissa N° 2).
- Coloca-se um ponto de inspeção 100% (ver capítulo 2.3.2 item b)) após a etapa considerada problemática no processo (nesse caso, aconselha-se utilizar a planilha de cálculo desenvolvida em Excel® para simular essa opção. Aconselha-se a observação da Premissa N° 1 onde se demonstrou a utilização do simulador.

Com essas ações, a MED&PEQ poderá prever as etapas do processo que tem maiores chances de apresentarem problemas e antecipar ações corretivas e de disposição que teriam que ser implementadas durante a fabricação. Além disso, o custeio das peças será mais próximo da realidade, diminuindo a possibilidade de erros de orçamento que possam trazer prejuízos à empresa. Depois de efetuadas essas etapas, o planejador do processo pode fazer o detalhamento das instruções de operação para liberar a peça para a produção em série.

A última etapa da atividade relacionada ao planejamento de um processo produtivo é a elaboração do plano de controle. Esta etapa já não é mais objeto de estudo do método analítico de planejamento do processo, mas utiliza as informações geradas pela aplicação do método.

### **3.5 A METROLOGIA COMO SUPORTE ÀS MEDIÇÕES CONFIÁVEIS**

Diversos autores que desenvolvem trabalhos voltados à garantia da qualidade têm dado importância especial ao uso da metrologia como fonte provedora de informações confiáveis para tomada de decisões estratégicas na empresa. PFEIFER<sup>[2]</sup>, afirma que a inspeção e a metrologia oferecem embasamento para todas as fases de desenvolvimento de produtos, desde a fase de especificações realizada na etapa de projetos, passando pelo projeto dos processos



até chegar na manufatura propriamente dita. GRYNA<sup>[32]</sup>, declara que: “Medição é a base para todos os três processos de qualidade operacionais e para estratégia de gerenciamento: para o controle de Qualidade, para operacionalização do plano de qualidade e para melhoria do processo”.

Neste trabalho aparecem mencionadas duas técnicas de garantia da qualidade cuja efetividade é afetada pelos erros presentes na medição: a inspeção 100% e a análise de capacidade dos processos. A inspeção 100% é a avaliação de conformidade aplicada a todas as unidades produzidas. A análise de capacidade é também uma avaliação de conformidade, mas voltada à confirmação de um processo de fabricação. Para isso, são usados índices de capacidade cujo valor, estimado a partir das propriedades estatísticas do processo e da tolerância correspondente, é comparado com valores limites que representam os requisitos de efetividade na produção de produto conforme.

Na Figura 38, está representado o efeito da incerteza de medição na avaliação de conformidade. Observa-se que na medida em que a incerteza de medição aumenta, a zona na qual pode-se provar a conformidade com a especificação diminui (zona 3)<sup>[39]</sup>.

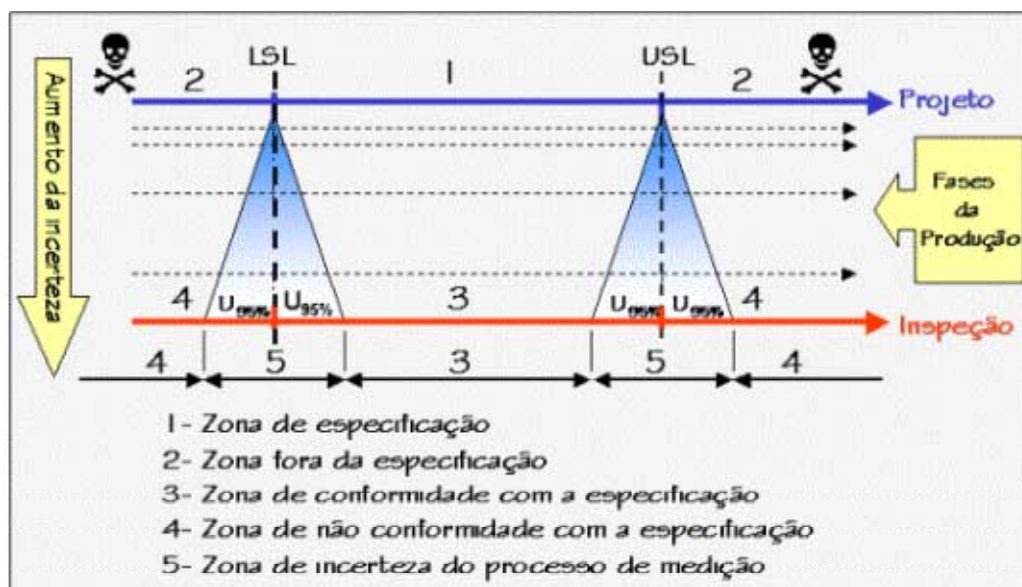


Figura 38 – A metrologia e sua influência nos processos de desenvolvimento de produtos (Adaptado de <sup>[40]</sup>).

O efeito da incerteza de medição na inspeção 100% foi estudado por

DONATELLI e SCHNEIDER<sup>[41]</sup>. Os autores demonstraram que o incremento de incerteza produz um aumento na probabilidade de aceitar unidades não conformes, mas também da probabilidade de rejeitar unidades conformes, com prejuízo da economia de fabricação. Para evitar a presença de unidades não conformes no produto enviado ao cliente, é necessário criar limites de aceitação, obtidos reduzindo o intervalo de especificação pelo valor da incerteza de medição, como indicado na Figura 38. Infelizmente, essa prática produz um aumento drástico da probabilidade de rejeitar produto conforme, ocasionando um aumento pronunciado dos custos de falha interna. Assim, o valor da incerteza de medição está intimamente ligado à qualidade do produto e à economia de fabricação, quando a inspeção 100% é utilizada.

As componentes pseudo-aleatórias do erro de medição também afetam na estimativa da capacidade do processo quando se usa o índice Cp. Na Figura 39 pode-se observar esse efeito, pela relação entre o Cp observado a partir de dados contaminados com erro de medição e o Cp efetivo do processo, que poderia ser obtido contando com um processo de medição perfeito<sup>[42]</sup>.

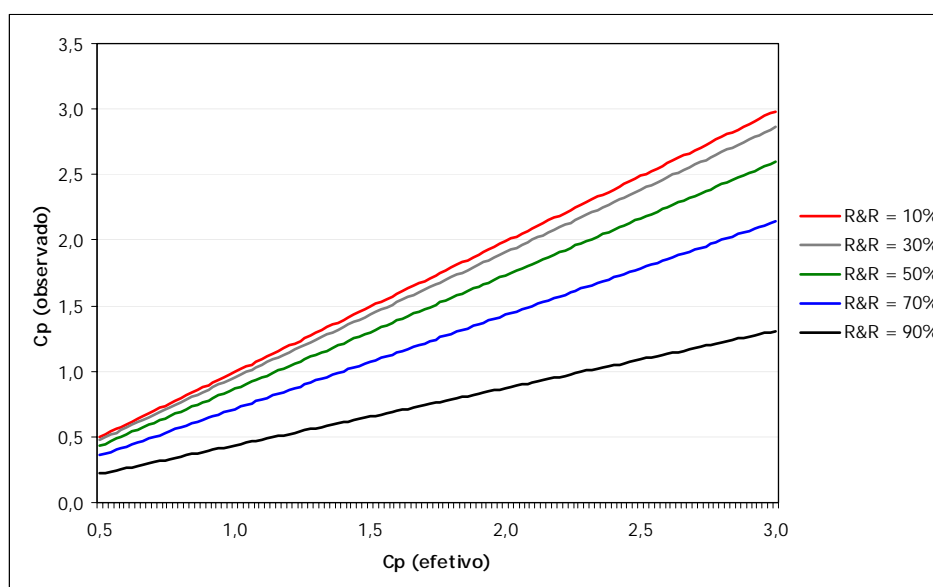


Figura 39 – O efeito das componentes pseudo-aleatórias do erro de medição na estimativa da capacidade de processo usando Cp<sup>[43]</sup>.

Cada linha no gráfico corresponde a um valor diferente do desvio padrão de repetitividade e reprodutibilidade (R&R), estimado seguindo os critérios difundidos pelo Manual de Análise dos Sistemas de Medição (MSA)<sup>[41]</sup>.

Assim, a qualidade dos dados disponíveis pode afetar as previsões realizadas com aplicação do método de planejamento dos processos proposto neste capítulo. É necessário, então, que exista um controle apurado das medições nas quais serão baseadas as estimativas de capacidade. Eventualmente, poderá ser usado o gráfico da Figura 39 para gerar estimativas não contaminadas de erros de medição. Em geral, pode-se afirmar que sistemas de medição que apresentam uma resolução menor a 5% da tolerância e uma incerteza de medição igual ou menor a 10% da tolerância não produzem perturbações relevantes na estimação da capacidade de processos. Em forma similar, a introdução de operações de inspeção pode requerer fazer previsões sobre o efeito da fração não conforme que pode passar a inspeção e ser enviada ao cliente.

## **4 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO EM UMA PEÇA DE FABRICAÇÃO SERIADA**

Geralmente, as invenções são frutos das observações, dificuldades e ansiedades do ser humano. Muitas das descobertas e soluções tecnológicas que o mundo conhece, nasceram dessa forma. Com este trabalho não foi diferente. As observações do dia-a-dia, o acompanhamento das dificuldades encontradas pelas MED&PEQ na busca pela competitividade e o desafio constante de fazer algo diferente do habitual, foram os principais motivadores deste trabalho.

Diversos foram os momentos em que a prática derrubou a teoria. Conceitos foram mudados e pensamentos questionados e este capítulo teve uma contribuição ímpar para que isso acontecesse.

Embora o capítulo 3 apresente um potencial mais amplo do que o que está apresentado na aplicação prática, já é possível visualizar os benefícios da utilização do método nas MED&PEQ e demonstrar que sua operacionalização é possível para estas empresas. Para comprovar esta condição, foi escolhida uma média empresa que produz peças usinadas para fornecedores da indústria automotiva.

### **4.1 ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE SUCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA DE SÉRIE**

Como mencionado no capítulo 3.4, existem duas vertentes onde o método pode ser aplicado. Neste caso em questão, o método será utilizado na análise de um processo já existente, estimando a probabilidade de sucesso das operações de usinagem de uma peça que tem a característica de ser de produção seriada.

A peça é forjada a frio e depois usinada<sup>[44][45]</sup>. Algumas features são originadas já no processo de forjamento e outras no processo de usinagem.

Analisando as condições do desenho da peça e seguindo a seqüência de aplicação do método descrito na seção 3.4 através da Figura 34, definiu-se que na aplicação do método serão seguidos os seguintes passos:

- a) identificação das features no desenho;
- b) composição do organograma de valor teórico;
- c) composição do organograma de valor real;
- d) identificação e seleção das características críticas/significativas;
- e) levantamento da estabilidade e capacidade do processo;
- f) estimativa de probabilidade de fabricação de peças que atendem à especificação.

O item “a” da seqüência definida para aplicação, é a mesma “etapa 5” descrita na seqüência de aplicação do método da Figura 34. A Figura 40 mostra como ficou o mapa de features após a análise detalhada. As features mostradas na Figura 40 estão representadas por cores, segundo sua classificação. As features mapeadas na cor azul são os cilindros, as features mapeadas na cor vermelha são os planos, as features mapeadas na cor rosa são os cones e as mapeadas em verde são as toróides.

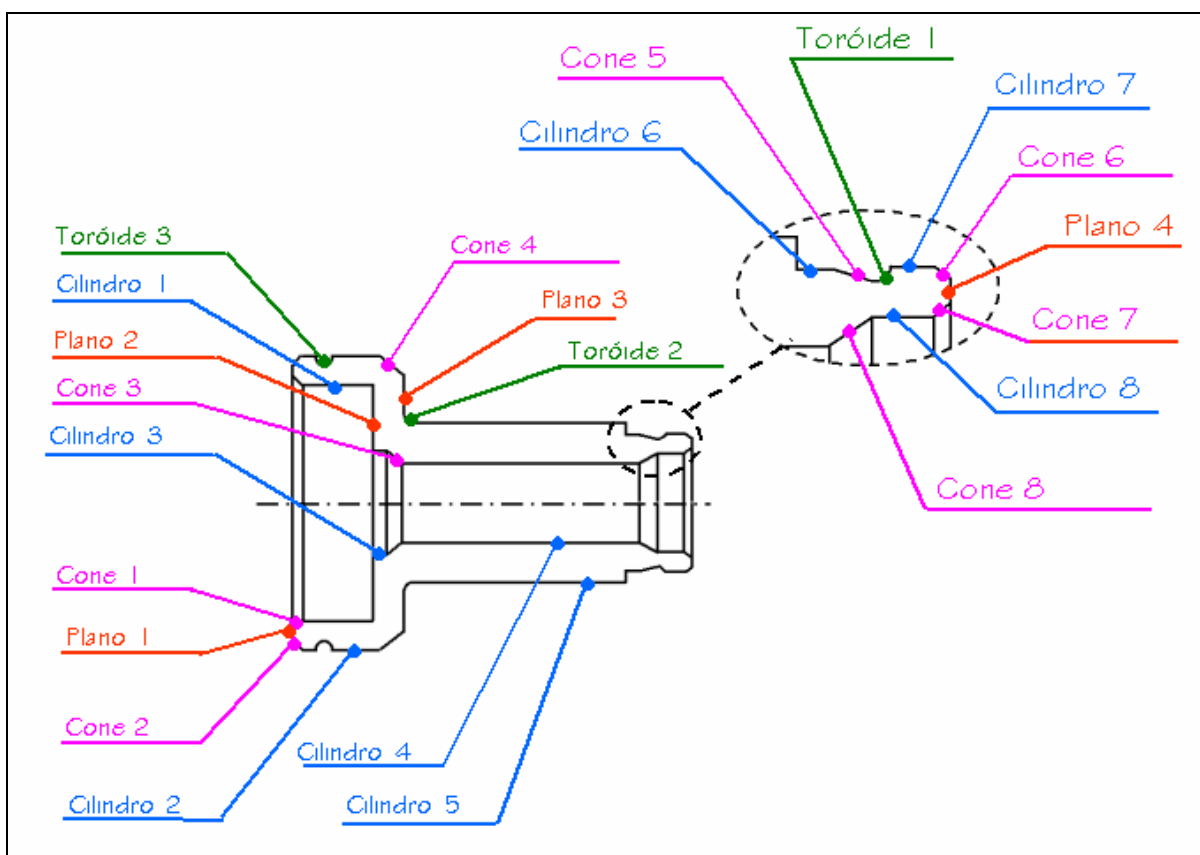


Figura 40 – Mapeamento das features da peça escolhida, conforme a definição das features básicas.

A Figura 41 mostra a referência especificada pelo desenho, utilizada no topo do organograma de valor teórico (Figura 42).

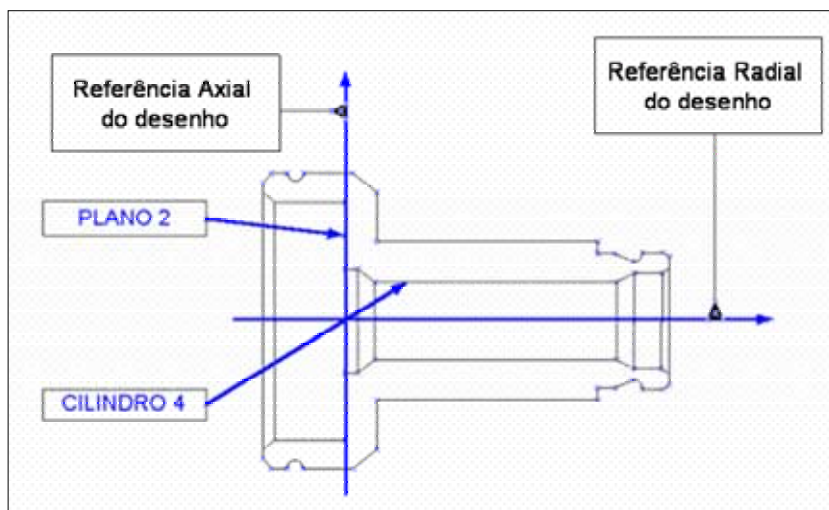


Figura 41 – Representação das superfícies de referência da peça, de acordo com suas features.

O organograma de valor teórico foi construído com base na análise das referências estabelecidas no desenho e nas características do processo de usinagem.

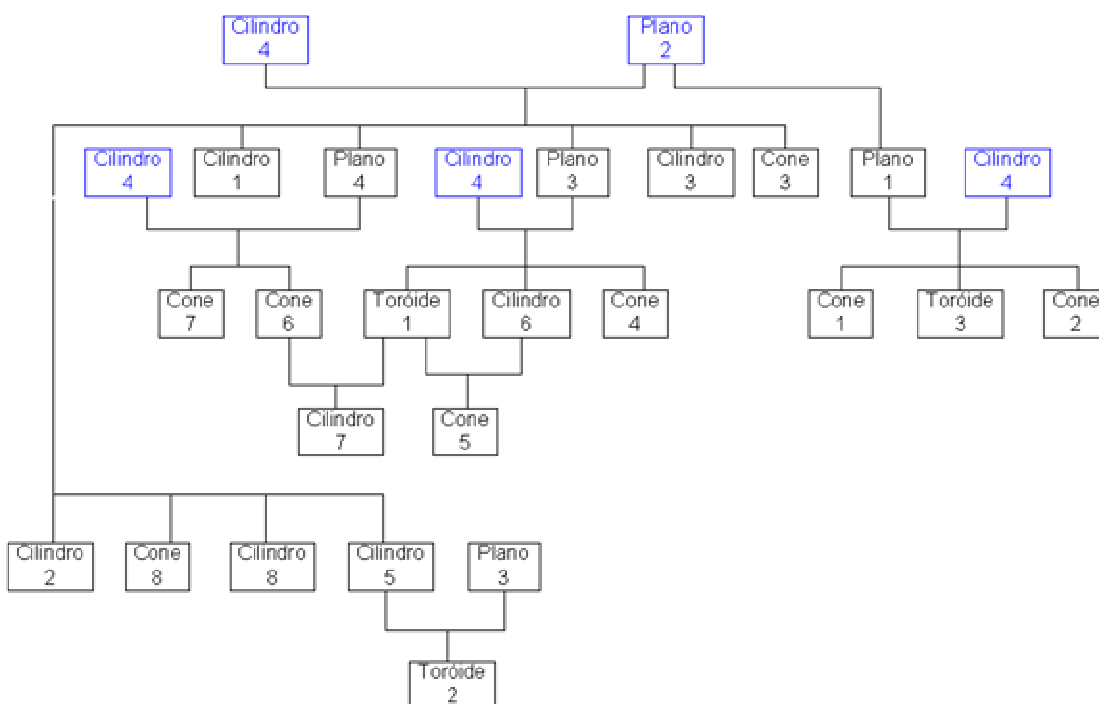


Figura 42 – Representação gráfica do organograma de valor teórico.

Cabe destacar que o organograma teórico mostra potencial de melhoria na forma de especificar a peça. No entanto, esse potencial não foi explorado, por ser inviável modificar as especificações propriedade do cliente.

Infelizmente, o cilindro 4 carece das propriedades necessárias para se constituir numa referência física efetiva para o processo de torneamento dos demais features. O seu diâmetro é pequeno e não fornece suficiente rigidez para fixação da peça, acarretando problemas de vibração na usinagem. Por esse motivo, a empresa opera uma seqüência de usinagem diferente, baseada na utilização de outros features como referência (Figura 43). Assim, tornou-se necessária a elaboração do organograma de valor real, o qual apresenta dois momentos distintos, onde são utilizados dois sistemas de referências.

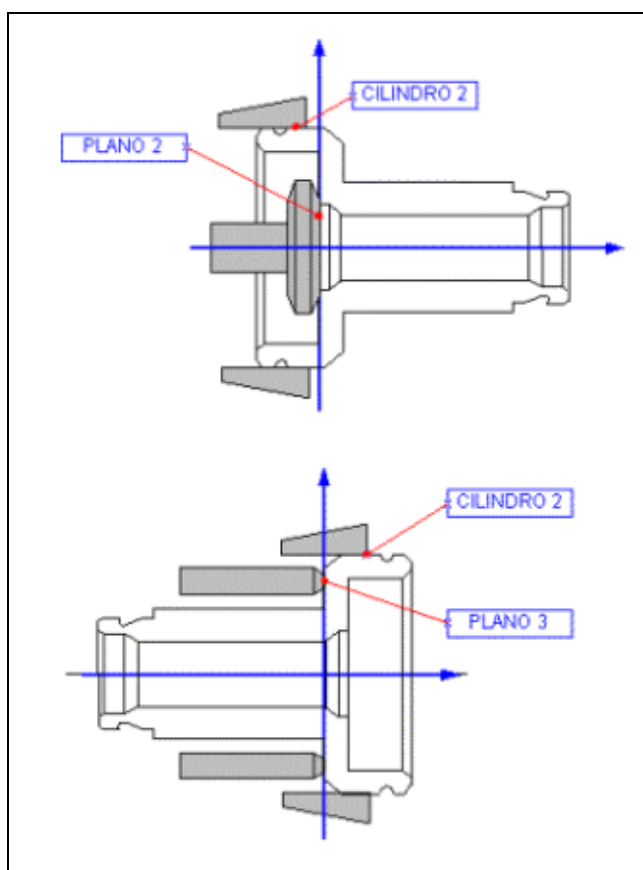


Figura 43 – Sistema de referências utilizadas na fabricação.

A Figura 44 representa o organograma de valor real, construído a partir da seqüência de processos e das referências que a empresa utiliza para produzir a peça.

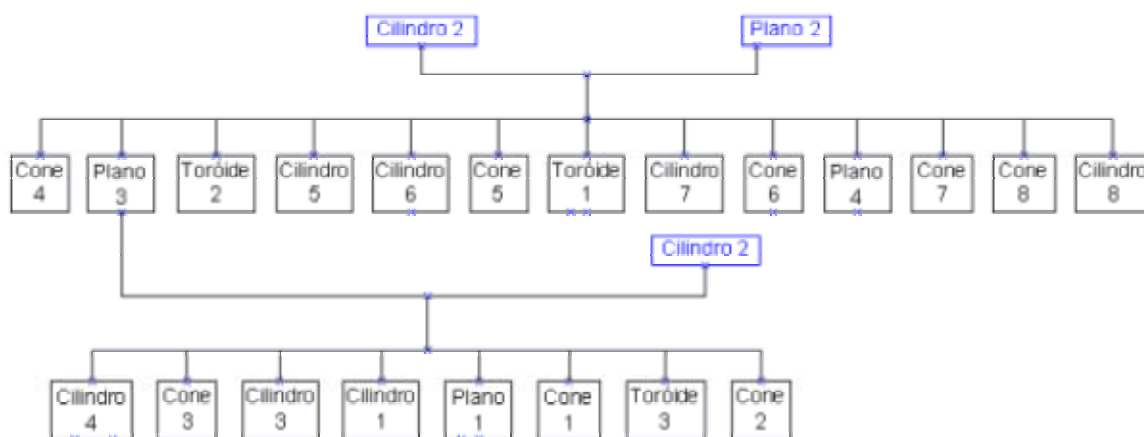


Figura 44– Representação do organograma de valor real, a partir das condições atuais de fabricação.

Observando a feature “Plano 1”, considerada uma característica significativa, vê-se que ela sofre a influência de dois sistemas de referências no organograma de valor real, enquanto que no organograma de valor teórico, esta feature está afetada apenas por um sistema de referência. Assim, a elaboração dos dois tipos de organogramas viabiliza a análise entre o ideal e o teórico, permitindo a descoberta de pontos críticos no processo e a realização de análise da degradação da probabilidade de fabricação de peças boas pela utilização de elementos de referências diferentes daqueles especificados no desenho. A aplicação desta sistemática permite ao planejador análises mais próximas da realidade, permitindo a antecipação da descoberta de problemas e a análise das causas de problemas já constatados na operação de processos em andamento.

Depois do mapeamento das features no organograma de valor real, é necessário fazer uma redução do organograma de valor, considerando apenas as features críticas e significativas. A Figura 45 ilustra como ficou o organograma de valor após a retirada das features que não são consideradas críticas nem significativas.

O próximo passo definido no método é fazer o levantamento de estabilidade e capacidade do processo. Este estudo de caso usa uma peça real existente, mas não usará os valores reais de capacidade de processo, senão valores simulados para mostrar a utilidade do método. No entanto, esses valores são realistas para os processos e tolerâncias existentes. Assim, estimaram-se os índices de capacidade e



logo a probabilidade de sucesso de cada operação.

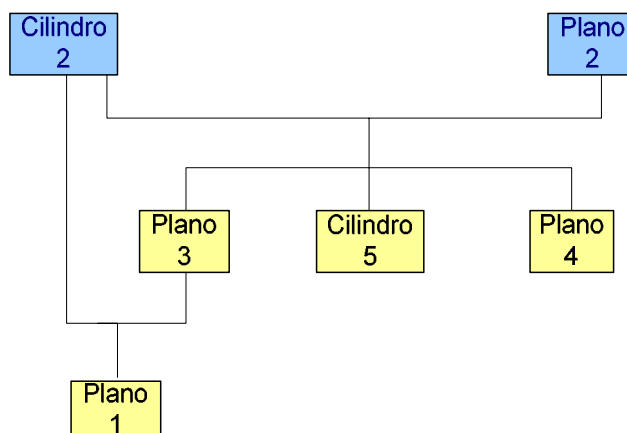


Figura 45 – Organograma de valor real representando somente as características críticas/significativas.

A Figura 46, mostra o organograma de valor real com o mapeamento dos valores de probabilidade artificiais, estimados para poder calcular a probabilidade de cada um dos “ramos” do organograma de valor real.

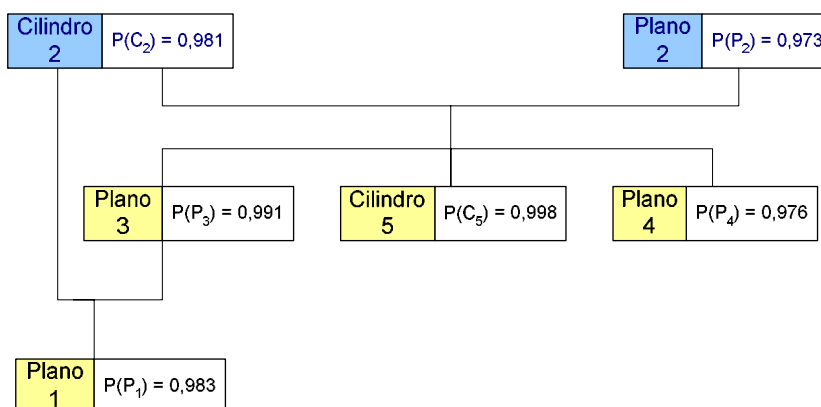


Figura 46 – Levantamento da probabilidade de cada uma as operações, considerando os índices de capacidade de cada uma as features.

Para fazer a análise de probabilidade de sucesso do processo global, é necessário isolar cada um dos “ramos” das features, conforme demonstrado na Figura 47. As features destacadas na cor amarela estão submetidas à diminuição da sua capacidade intrínseca devido à qualidade da materialização das referências. Para análise da diminuição da probabilidade de fabricação de cada uma das features, foi utilizada a Tabela 3.

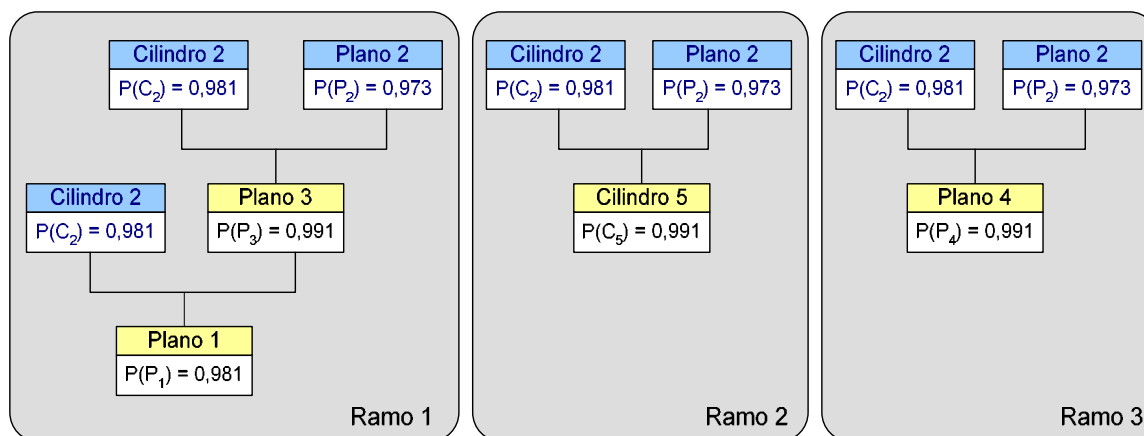


Figura 47 – Desdobramento do organograma de valor em partes para cálculo de probabilidade de sucesso de fabricação de peças boas.

REFERÊNCIAS ENVOLVIDAS	FEATURE	P(X) ÍNTRINSECA DO PROCESSO	ESTIMATIVA DE PERDAS EM FUNÇÃO DA REFERÊNCIA	P(X) ESTIMADA DEVIDO OS ELEMENTOS DE REFERÊNCIA	
Cilindro 2 Plano 2	Plano 3	0,991	1,0%	0,951	
Cilindro 2 Plano 3					
Cilindro 2 Plano 2	Plano 1	0,981	3,0%		
Cilindro 2 Plano 2	Cilindro 5	0,991	1,0%	0,981	
Cilindro 2					
Cilindro 2 Plano 2	Plano 4	0,991	1,0%		
Cilindro 2 Plano 2	Plano 4	0,991	1,0%	0,981	
Cilindro 2					
Cilindro 2 Plano 2	Plano 2	0,973	2,7%		

Tabela 3 – Estimativa da diminuição da probabilidade de fabricação de peças boas devido má qualidade da referência de fabricação.

Utilizando o software de simulação desenvolvido em Excel<sup>®</sup>, pode-se calcular rapidamente a probabilidade de sucesso na fabricação de peças boas, como demonstrado na tela de operacionalização do simulador mostrado na Figura 48. Neste caso específico, houve uma diminuição probabilidade de fabricação de peças boas devido o acúmulo de variação da referência, que afetou em forma relevante a probabilidade de sucesso na execução do “Plano 1”. Assim, a probabilidade de fabricação de peças que atendam as especificações em todos seus features ficou por volta de 91,6%. Para melhorar o desempenho do processo, pode ser necessário atuar na materialização da referência no “Plano 3” ou mudar completamente a seqüência de usinagem da peça. Observe-se que, na árvore de valor teórica, as três características significativas estão referenciadas ao mesmo par de features, o “Plano 2” e o “Cilindro 4”.

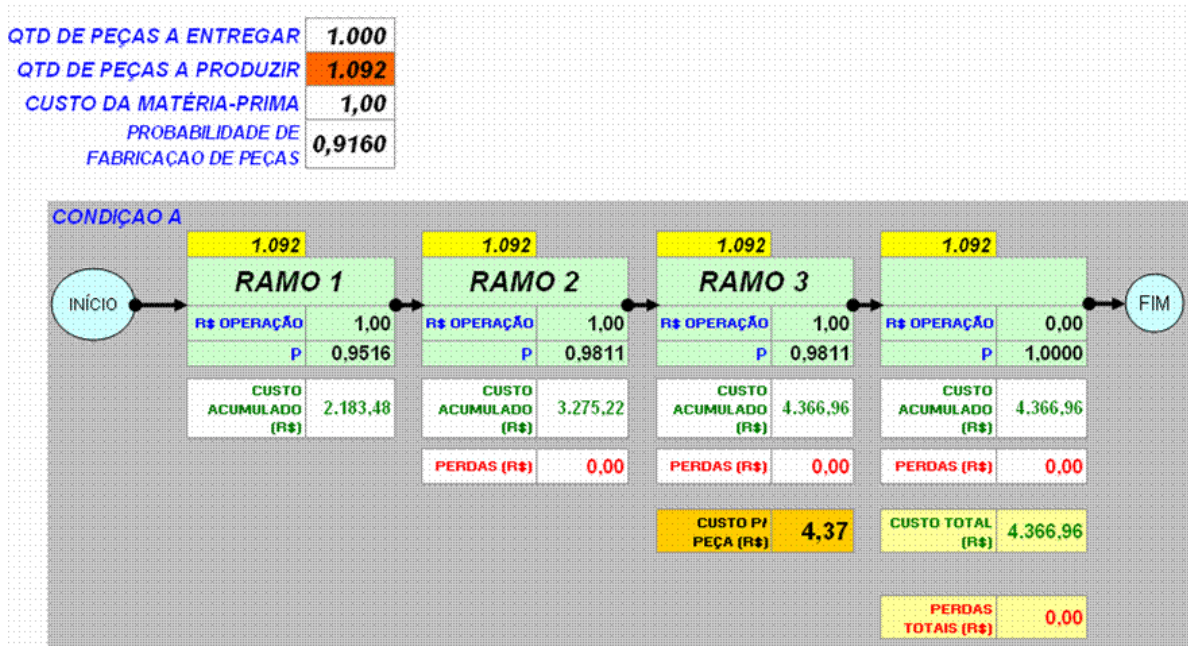


Figura 48 – Simulação da probabilidade de sucesso de fabricação da peça analisada.

#### 4.1.1 Os resultados da aplicação do método em uma peça de produção seriada

Os principais objetivos da aplicação do método analítico de planejamento do processo de fabricação eram validar os conceitos propostos no método e avaliar a viabilidade da utilização da ferramenta no escopo das empresas alvo desta dissertação.

Durante o desenvolvimento do método criaram-se vários entendimentos acerca do planejamento de processos de fabricação. Estes entendimentos foram consolidados e transformados em premissas. Essas premissas são recomendações importantes para que o planejador de processos de fabricação possa otimizar os processos que planeja, tendo como meta o “fazer certo da primeira vez”. Os conhecimentos alcançados nas etapas criativas do método foram sistematizados em forma de um fluxograma, que apresenta e detalha uma seqüência lógica para aplicação dentro do contexto da engenharia simultânea e da capacidade de operacionalização por uma MED&PEQ.

A ferramenta mostrou um grande potencial para estudo e análise das variáveis encontradas no planejamento de um processo de fabricação. Os

simuladores desenvolvidos mostraram-se simples e úteis. Eles são fáceis de operacionalizar, mesmo por pessoas que tenham apenas conhecimentos básicos em Excel<sup>®</sup>, e úteis, dada a quantidade de informações que se pode extrair para o planejamento de um processo de fabricação.

Uma das preocupações com o método, era a hipótese de que planejadores inexperientes não pudessem aplicar a ferramenta por falta de conhecimentos básicos de garantia e controle de qualidade. A validação provou o contrário. Embora a aplicação prática não explore todos os aspectos destacados no capítulo 3, a operacionalização do método mostrou-se viável para as MED&PEQ.

## **5 ASPECTOS CONCLUSIVOS DO NOVO MÉTODO DE PLANEJAMENTO DO PROJETO DO PROCESSO E GARANTIA DA QUALIDADE**

### **5.1 QUANTO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO**

Durante alguns anos de atividades relacionadas a processos de fabricação em empresas do setor metal-mecânico, observei a existência de expressivas diferenças na maneira que as empresas fazem o planejamento dos seus processos de manufatura. Também percebi que as ações executadas pelos planejadores de processos têm uma importância significativa no resultado final de um processo de fabricação, visto que não existe uma sistemática definida para desenvolvimento deste tema.

A competitividade de uma empresa depende, além da atuação em um mercado promissor com bons produtos e uma estratégia arrojada de vendas, de processos de fabricação bem planejados. Existem diferentes maneiras de se compor um processo de fabricação, e este fato proporciona um grande diferencial de oportunidades.

Outro aspecto observado é a dificuldade que as MED&PEQ do ramo metal-mecânico têm para absorver e aplicar as ferramentas preventivas de garantia e controle da qualidade. Muitas destas ferramentas são de aplicação complexa e só atendem as necessidades do planejamento de processo se aplicadas simultaneamente, tornando essa prática extremamente onerosa para a MED&PEQ. Além destes fatores, há ainda a pressão enfrentada por essas empresas, ocasionada pela concorrência internacional e pelos seus clientes, que estão cada vez mais adotando políticas contínuas de redução de custos e de “zero defeito”. Todos estes aspectos foram decisivos para direcionar as atividades de desenvolvimento de um trabalho que pudesse suprir essas deficiências.

O método foi desenvolvido a partir do estudo destas carências e da observação das oportunidades encontradas na elaboração do planejamento do processo de fabricação. Essa etapa foi a mais complexa do trabalho. Durante a

etapa inicial do trabalho, tinha-se a fantasia que a fusão entre as várias ferramentas preventivas de garantia e controle da qualidade, poderia originar novas maneiras de fazer o projeto do processo e resolver por completo a deficiência das empresas. Essa idéia foi perecendo cada vez que se tentava fazer a aplicação prática do tema, pois o grau de dificuldade para operacionalizar o método tornava-o proibitivo. O método desenvolvido não tem a pretensão de substituir métodos já consagrados de garantia e controle da qualidade, nem se coloca como método concorrente. Caso uma MED&PEQ puder aplicar algum dos métodos relatados no capítulo 2, será muito bem vindo e terá uma sinergia significativa para alcance das metas de qualidade almejadas pela empresa.

Por outro lado, a cada tentativa de aplicar e desenvolver ferramentas que auxiliem o planejamento de processos de manufatura, novas descobertas foram realizadas. Essas descobertas foram se transformando em observações, que foram ganhando força e se tornaram premissas fundamentais no planejamento de um processo de fabricação. Essas premissas foram organizadas no contexto de desenvolvimento de produtos e processos, de acordo com a temática da engenharia simultânea, transformando-se em um fluxograma detalhado que serviu para documentar a operacionalização do método.

Os conceitos estatísticos foram fundamentais para desenvolvimento do tema, cujo objetivo era prever a probabilidade de sucesso de fabricação de uma peça antes que ela entrasse em regime de produção. Muitas foram às vezes que os conceitos foram derrubados pela aplicação da estatística e tiveram que ser novamente estudados e desenvolvidos até que pudessem ser aplicados. Esse fato ocorreu quando se tentou aplicar as técnicas de FTA para conhecer o quanto um processo de fabricação estava ou não bem planejado.

## **5.2 QUANTO AOS ASPECTOS INÉDITOS DO MÉTODO**

A partir da análise dos métodos computacionais de auxílio ao desenvolvimento de projetos e processos, chegou-se ao conceito de features. Esse foi um dos resultados do desenvolvimento do método, pois é um ineditismo a aplicação deste conceito no planejamento de processos de fabricação, sem a utilização de métodos computacionais. A nova maneira de representação de um

processo de fabricação, em forma do “Organograma de Valor”, também pode ser considerado algo inédito. Esta orientação hierárquica segundo os elementos de referências permite ao planejador do processo entender e comunicar a influência de um determinado elemento de referência na qualidade final do produto. Essa nova forma de ver os processos pode apontar características que não eram críticas nem significativas para o produto, mas que acabaram se tornando, em função da seqüência de processo de manufatura adotada, passando a influenciar o resultado final de um processo. Em uma linguagem mais simples, a aplicação do método revela as características co-responsáveis pelo atendimento da especificação de uma característica de produto crítica ou significativa.

Os resultados obtidos com a análise da influência da seqüência de fabricação no custo de um produto também são interessantes. Com este novo conceito, nasce mais uma variável a ser considerada, que é variável originada pelas capacidades intrínsecas dos processos e a influência dos elementos de referência na capacidade global. Essa nova variável pode mudar o fluxo de processo criado a partir dos critérios já consagrados na engenharia de processos, que consideram o efeito das variáveis logísticas, o layout da fábrica e o tempo padrão dos processos<sup>[46]</sup>.

Assim, a aplicação do método proporciona o exercício de análise da estimativa de influência dos elementos de referência por parte dos planejadores de processos, faz com que seus interesses no entendimento acerca dos processos sejam ampliados e desenvolve massa crítica para a discussão em torno dos limites de capacidade e especificação dos processos de fabricação. O método também possibilita ao planejador do processo de fabricação a análise e o impacto da colocação de pontos de inspeção no processo, de acordo com seus custos e limitações. Com a utilização da simulação em Excel<sup>®</sup> é possível antecipar as probabilidades de sucesso de diferentes combinações de processos de fabricação e inspeção de forma rápida e eficiente.

### **5.3 QUANTO AOS DESAFIOS E DEFICIÊNCIAS DO MÉTODO**

Como todas as ferramentas e métodos preventivos de garantia da qualidade e de controle da qualidade estudados, o método também apresenta as suas

limitações. O método ainda não foi aplicado em peças altamente complexas, obtidas por diferentes tipos de processos. Essa pode vir a ser uma limitação do método, dado a complexidade de análise e exigência de capacitação por parte do operador, embora as premissas fundamentais possam ser empregadas. Pode-se afirmar que o método atende a grande maioria das MED&PEQ, mas é preferível utilizar as ferramentas computacionais de planejamento de processos, suportadas pelas técnicas preventivas convencionais de garantia e controle da qualidade, quando se trata de análises de peças com grande complexidade e com alto valor agregado.

A parte analítica do método pode induzir a erros de análise de processos, caso o planejador não conheça os equipamentos e processos que está trabalhando. Pode ser comum que na fase de implantação e adaptação da ferramenta, existam diferenças nos resultados encontrados na prática em relação aos estimados. Outro aspecto a considerar, é que as empresas nunca irão conseguir chegar a uma performance adequada do método se não conhecerem a estabilidade e a capacidade dos seus processos, e isso só é possível quando elas têm seus processos sob o controle estatístico. A aplicação do CEP e o bom uso dos conceitos metrológicos têm uma participação fundamental neste aspecto, pois o seu emprego possibilita aos planejadores de processos a realização de análises confiáveis da situação dos processos.

A aplicação prática do método serviu como validação parcial, sendo necessária uma análise do seu comportamento em outras situações e em processos diferentes. Existe uma dúvida que só poderá ser resolvida com o exercício do método em larga escala, que é sua operacionalização para planejamento das pequenas séries. No simulador desenvolvido para análise de custos em função das probabilidades de sucesso dos processos, não foi considerada a amortização dos equipamentos, a redução dos custos fixos em função das unidades produzidas e a taxa de juros do mercado. Esses fatores podem mudar a vantagem competitiva da aplicação do método para lotes reduzidos.

#### **5.4 A METROLOGIA NA INTERFACE DE APLICAÇÃO DO MÉTODO**

Existem intensas discussões acerca da aplicação do tema “metrologia” na garantia e no controle da qualidade. Procurou-se neste trabalho demonstrar a



importância do tema “metrologia” imprescindível na temática da garantia e controle da qualidade na engenharia da produção e a aplicação dos conceitos metrológicos no contexto do desenvolvimento de processos de fabricação.

A utilização da metrologia no método analítico de planejamento de processos de manufatura apresenta-se como principal meio para que um processo de fabricação seja bem planejado e executado de forma adequada. A metrologia também aparece conceitualmente, quando o método prevê a análise da necessidade e viabilidade de colocação de pontos de inspeção no processo, além da avaliação da estabilidade e capacidade dos processos.

A metrologia agindo de forma isolada, atuando somente na temática da calibração, não traz tantos benefícios para a sociedade e para o usuário final, quanto à metrologia que chega ao chão de fábrica. Por isso é tão importante quanto o tema da calibração e das incertezas. A aplicação do novo método permite a operacionalização dos conceitos metrológicos com essa finalidade. Quando planejadores de processos investigam a manufatura para poderem determinar a capacidade dos seus processos, eles são obrigados a refletirem e re-pensarem na forma com que medem suas peças e analisam os resultados da medição. À medida que a variância dos processos diminui, os instrumentos de medição precisam ser melhorados, caso contrário, a variabilidade dos resultados das medições pode contaminar a variação do processo, impossibilitando a percepção da real capacidade existente. Assim, com a consideração da influência da capacidade de fabricação no planejamento de um processo fabril, a metrologia passa a ser tão importante quanto o tema da logística ou do layout na engenharia da produção.

## **5.5 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS NA TEMÁTICA DO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS**

O universo estudado e apresentado neste trabalho, bem como os resultados gerados com o desenvolvimento do tema são extremamente vastos. Alguns temas tiveram que ser exonerados sob pena de tornar esta dissertação um trabalho interminável. Em vista disso, enriqueceram esta seção, escrita especialmente para citar oportunidades de projetos de continuidade do tema, os seguintes assuntos:

Com relação ao desenvolvimento e estudo de conceitos:

- Continuidade das ações de criação de um conceito para ser empregado na temática da engenharia de produção, com a introdução da Metrologia aplicada às técnicas de Lean Manufacturing;
- Testes, análises e desenvolvimentos das técnicas de GD&T aplicadas na temática do método analítico de planejamento do processo;
- Introdução de recursos de avaliação econômica dos processos, em função da variação de taxas de juros, depreciação de máquinas e variação do custo fixo, na simulação desenvolvida em Excel<sup>®</sup>;
- Introdução da possibilidade de avaliação da influência do número de peças em um lote de produção, com ênfase no cálculo de custo X benefício de planejar a produção de uma pequena série;

Com relação à aplicação prática do método, destacam-se:

- Seleção de processos de fabricação distintos e aplicação do método proposto, com avaliação desde o início do projeto até a fase de construção dos planos de controle;
- Re-modelamento dos processos fabris de um produto e re-avaliação dos ganhos relacionados à redução de perdas com os processos de fabricação.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- 1 CARDOSO, J. F. Os mestres da Qualidade. Disponível em: <<http://www.calidad.org/articles/jul97/2jul97.htm>> Acesso: 27 de dez. 2002.
- 2 PFEIFER, T. **Gestión Integral de la Calidad**. 1. ed. Espanha: Mira Editores, 1998.
- 3 PALADINI, E. P. **GESTÃO DA QUALIDADE NO PROCESSO – A qualidade na produção de bens e serviços**. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1995.
- 4 ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade**. 1.ed. São Paulo: Editora Makron Books, 1991.
- 5 HEINLOTH, S. Good Bye, QS-9000. Quality Magazine. Disponível em: <<http://www.qualitymag.com/articles/2000/mar00/0300f4.asp>> Acesso: 22 de dez. 2002.
- 6 Fundação CERTI/FIESC/IEL. Prospecção de Demandas para as Cadeias Produtivas de Santa Catarina (Identificação de Gargalos de Competitividade). Florianópolis: Fundação CERTI, 2001.
- 7 GUIMARÃES, M. F. Palestra de DRPT – Desenvolvimento Rápido de Produtos. In: Palestra ministrada na Fundação CERTI, 2003, Florianópolis. Anais: Florianópolis: Fundação CERTI, 2003.
- 8 PORTER, M.E. **Estratégia Competitiva – Técnicas para Análise de indústrias e da Concorrência**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1991.

- 
- 9 **TI significa lucro, Pesquisa confirma e economistas concordam que modernização tecnológica gera mais produtividade.** Disponível em: <<http://www.informationweek.com.br/empresas/artigo.asp?id=3581>> Acesso: 8 de jul. 2004.
- 10 CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Estratégias para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços.** 1. ed. São Paulo: Editora Pioneira, 1997.
- 11 DONATELLI, G. D. Evaluación de la Calidad en Producción. In: Palestra ministrada no Curso de Pós-MCI, do Dept° de Engenharia Mecânica da UFSC, 2002. Florianópolis. Anais: UFSC – Curso de Pós-MCI, 2002.
- 12 ROZENFELD, H; et al. O CAPP integrou o consórcio modular de caminhões e ônibus da VW. Disponível em: <[http://www.numa.org.br/artigos\\_visualizacao/mm98\\_3\\_CAPP\\_VW/Mm98\\_3.html](http://www.numa.org.br/artigos_visualizacao/mm98_3_CAPP_VW/Mm98_3.html)>. Acesso: 9 de set. de 2003.
- 13 ROZENFELD, H.; HORTA, L. C. CAPP (Computer Aided Process Planning). Disponível em: <[http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_pot/pag\\_conhec/cappv2.htm](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_pot/pag_conhec/cappv2.htm)>. Acesso: 9 de set. de 2003.
- 14 Volkswagen/Audi adota tecnologia para planejamento de processos. Disponível em: <http://www.t-systems.com.br/starnews/edicao28/capp.htm>. Acesso: 9 de set. de 2003
- 15 ROZENFELD, H.; RIBEIRO, C. E. S.; KERRY, H. T.; PIEBER, E. Aplicação de uma solução CAPP para peças parametrizadas: uma caso prático. Revista Máquinas e Metais, Abr/96, pág 186 a 199.

- 
- 16 SCHÜTZER, K. Detalhamento orientado para fabricação como base para integração de sistemas CAD/CAPP. Lab. Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura – UNIMEP. São Paulo, 1996.
- 17 BLANCHARD, B. S. **System Engineering and Analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall International Series In, 1998.
- 18 ULRICH, K.T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 2. ed. Massachusetts: Irwin McGraw-Hill Companies, 2000.
- 19 SILVA, Paulo Veloso Moura da. Um método sistemático adaptado ao projeto e desenvolvimento de um sistema de medição automático dedicado a inspeção geométrica. Florianópolis: UFSC, 2004.
- 20 Instituto Normalizador IQA. QS 9000 / FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial - FMEA: Manual de Referência. 1. ed. Tradução da 2. ed. Americana. São Paulo, 1995.
- 21 STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effects Analysis – FMEA from Theory to Execution**. 1. ed. Wisconsin: ASQC Quality Press, 1995.
- 22 KECECIOGLU, D. **Reliability Engineering Handbook**, 1. ed. Volume 2. New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- 23 HARTLEY, J. R. **Engenharia Simultânea – Um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1998.
- 24 MONTGOMERY, D. C. **DESING AND ANALYSIS, OF EXPERIMENTS**, 4. ed. Arizona: Printed for Phoenix Color, 1997.

- 
- 25 Instituto Normalizador IQA. **QS 9000 / QSA - Avaliação do Sistema da Qualidade – QSA: Manual de Referência**. 2. ed. Tradução da 2. ed. Americana. São Paulo, 1998.
- 26 WINCHELL, W. **Inspection and Measurement in Manufacturing – Keys to process planning and improvement**. Society of Manufacturing Engineers. 1. ed. Michigan: Prentice Hall, 1996.
- 27 AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONTROL STANDARDS COMMITTEE. **ANSI/ASQC Z1.4-1993**. Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes. Wisconsin, 1993.
- 28 AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONTROL STANDARDS COMMITTEE. **ANSI/ASQC Z1.9-1993**. Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Nonconforming. Wisconsin, 1993.
- 29 OAKLAND, J. S. **STATISTICAL PROCESS CONTROL – A Really Practical Guide**, 3. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.
- 30 HUTCHINS, G. B. **Introduction to Quality Control, Assurance, and Management**. 1. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1991.
- 31 WHEELER, Donald J. **Advanced topics in statistical process control: the power of shewhart`s charts**. Tennessee: SPC Press, 1995.
- 32 GRZYNA, F. M. **Quality Planning & Analysis – From Product Development Through Use**. 4. ed. Nova York: MacGraw-Hill, 2001.
- 33 SHINGO, S. **SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ESTOQUE ZERO: O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1996.

- 
- 34 FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio – O Dicionário da Língua Portuguesa – Século XXI**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1999.
- 35 GEUS, D.; KILLMAIER, T.; WECKENMANN, A. Geometrical Product Specifications, Course for Technical Universities. Disponível em: <<http://www.qfm.uni-erlangen.de/gps/content/content.htm>> Acesso: 24 de jan. 2004.
- 36 FENG, S. C.; SONG, E. Y. Information Modeling of Conceptual Process Planning Integrated with Conceptual Design. In: 5th Design For Manufacturing Conference, The ASME Design Engineering Technical Conferences, September 10 –13 de 2000, Maryland. Anais: ASME, 2000.
- 37 BENNICH, P. A MEDIDA DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE – Conflitos da Interface entre Projeto e Fabricação. In: Seminário apresentado na Fundação CERTI, 20 a 21 de Março, Florianópolis. Anais: Fundação CERTI, 2003.
- 38 Instituto Normalizador IQA. QS 9000 / APQP - Planejamento Avançado da Qualidade – APQP. 1. ed. brasileira. Tradução da 1. ed. Americana. São Paulo, 1997.
- 39 ALBERTAZZI, A. Apostila do Curso Pós-MCI, UFSC, METROLOGIA, Parte I – 2001.1. In: Laboratório de Metrologia e Automatização, 2001, Florianópolis. Anais: UFSC – Pós-MCI, 2001.
- 40 DONATELLI, G. D. Garantia da Qualidade no Ciclo de Desenvolvimento de Produto. In: Palestra ministrada para empresas do Pólo Industrial de Manaus, 2001, Manaus. Anais: Fundação CERTI, 2001.

- 
- 41 DONATELLI G., SCHNEIDER C.: The Effect of ISO 14253-1 Standard on the Quality and Economy of Manufacturing. Congress of the Society of Automotive Engineers: Sao Paulo 1999.
- 42 AIAG, ASQ: Measurement Systems Analysis - Reference Manual (3<sup>rd</sup> Ed.). Troy: Automotive Industries Action Group 2002
- 43 DONATELLI, G. D. Garantia da Qualidade no Ciclo de Desenvolvimento de Produto. In: Palestra ministrada para empresas do Pólo Industrial de Manaus, 2001, Manaus. Anais: Fundação CERTI, 2001.
- 44 AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. **Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica – Processos de Fabricação - Volume 1.** 21. ed. São Carlos: Apostila do Curso de Engenharia Mecânica da USP, Escola de Engenharia de São Paulo, 1986.
- 45 AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. **Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica – Processos de Fabricação - Volume 2.** 14. ed. São Carlos: Apostila do Curso de Engenharia Mecânica da USP, Escola de Engenharia de São Paulo, 1986.
- 46 RIBEIRO, L. P.; MOURA. E.B.; FERREIRA, J. C. O USO DA SIMULAÇÃO PARA ESTIMAR OS CUSTOS DE FABRICAÇÃO CONSIDERANDO PLANOS DE PROCESSOS ALTERNATIVOS. Ferramentas de Produção Enxuta. UFSC, 2002.