

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA METODOLOGIA PARA ADAPTAÇÃO E MELHORIA DE  
PRODUTOS A PARTIR DA ENGENHARIA REVERSA**

**Luiz Gilberto Monclaro Mury**

**Porto Alegre, Agosto de 2000**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA METODOLOGIA PARA ADAPTAÇÃO E MELHORIA DE  
PRODUTOS A PARTIR DA ENGENHARIA REVERSA**

**Luiz Gilberto Monclaro Mury**

**Orientador: Professor Dr. Flávio Sanson Fogliatto**

**Banca Examinadora:**

**Carla Schwengber ten Caten, Dra.  
PPGEP / UFRGS**

**Lia Buarque de Macedo Guimarães, P.h.D.  
Instituto Nacional de Tecnologia**

**Vilson João Batista, Dr. Eng.  
PROMECA / UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Área de concentração: Qualidade**

**Porto Alegre, Agosto de 2000.**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.**

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto; Ph. D.**

Dr. Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

---

**Prof. Luís Antônio Lindau, Ph. D.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

**Carla Schwengber ten Caten, Dra.**

Prof. PPGEP / UFRGS

**Lia Buarque de Macedo Guimarães, Ph.D.**

Prof. PPGEP / UFRGS

**Vilson João Batista, Dr. Eng.**

Prof. Depto. Engenharia Mecânica / UFRGS

## *Agradecimentos*

No momento em que se aproxima a conclusão desta dissertação, expresso o reconhecimento e gratidão aos que, de um jeito ou de outro, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço ao Professor Flávio Fogliatto, orientador desta dissertação, pelo profissionalismo, comprometimento e disponibilidade.

Agradeço aos professores da banca examinadora pelos pertinentes comentários e sugestões de melhoria.

Agradeço ao Professor e amigo Carlos Bergmann pelo incentivo para o meu ingresso no Curso de Mestrado desta faculdade.

Agradeço aos meus colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo complemento de minha formação acadêmica e amadurecimento intelectual.

Finalmente, agradeço aos meus amigos e familiares, em especial aos meus pais, pela compreensão e apoio recebidos.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE EXPRESSÕES.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS .....	1
1.2 O TEMA E A SUA IMPORTÂNCIA.....	4
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.4 MÉTODO DE TRABALHO.....	6
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	7
1.6 LIMITAÇÕES .....	8
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 ENGENHARIA REVERSA .....	10
<b>2.1.1 Computer Aided Design (CAD).....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2 Scanners Tridimensionais (3D) .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3 Prototipagem Rápida .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.4 Análise dos Materiais .....</b>	<b>18</b>
2.2 A ENGENHARIA REVERSA E O MÉTODO TRADICIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	21
2.3 PRINCIPAIS ABORDAGENS PARA UTILIZAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.....	22
<b>2.3.1 Técnica de Engenharia Reversa apresentada por INGLE (1994) .....</b>	<b>23</b>
2.3.1.1 Pré-avaliação .....	24
2.3.1.2 Avaliação do design e verificação dos dados existentes.....	25
2.3.1.3 Geração dos dados técnicos .....	26
2.3.1.4 Construção do modelo (verificação do design) .....	27
2.3.1.5 Implementação do design .....	27
<b>2.3.2 Metodologia de Redesign proposta por OTTO &amp; WOOD (1998).....</b>	<b>28</b>
2.3.2.1 ER - Investigação, Prognóstico e Hipóteses .....	28
2.3.2.2 ER – Desmontagem do Produto e Experimentação .....	29
2.3.2.3 ER – Análise Funcional .....	30
2.3.2.4 ER – Análise Morfológica.....	30
2.3.2.5 ER – Formação de Especificações Técnicas.....	31
2.3.2.6 Modelagem e Análise – Desenvolvimento de Modelos.....	31
2.3.2.7 Modelagem e Análise – Estratégias de Análises .....	32
2.3.2.8 Redesign – Paramétricos ou Adaptativos .....	32
2.4 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD).....	33
<b>2.4.1 Matriz da Qualidade .....</b>	<b>35</b>

2.4.2	<b>Matriz do Produto</b> .....	37
2.4.3	<b>Matriz dos Processos</b> .....	39
2.4.4	<b>Matriz dos Defeitos</b> .....	40
2.5	<b>FERRAMENTAS PARA MELHORIA DE PROCESSOS</b> .....	42
2.5.1	<b>Cartas de Processo</b> .....	43
2.5.2	<b>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</b> .....	45
2.6	<b>TÉCNICAS COMPLEMENTARES DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS</b> .....	47
2.6.1	<b>Engenharia de Valor</b> .....	47
2.6.2	<b>Engenharia Simultânea</b> .....	49
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>51</b>
3.1	COLETA DE DADOS .....	51
3.2	ENGENHARIA REVERSA .....	52
3.3	QFD .....	53
3.4	VIABILIDADE FINANCEIRA .....	53
3.5	PROTOTIPAGEM .....	53
3.6	QUALIDADE .....	54
3.7	IMPLEMENTAÇÃO .....	55
3.8	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	55
<b>4</b>	<b>CASO PRÁTICO: ADAPTAÇÃO DE UM PINCEL NACIONAL A UM DISTRIBUIDOR DE FERRAMENTAS ALEMÃO</b> .....	<b>57</b>
1ª	ETAPA: COLETA DE DADOS .....	59
2ª	ETAPA: ENGENHARIA REVERSA .....	61
3ª	ETAPA: QFD .....	68
4ª	ETAPA: VIABILIDADE FINANCEIRA .....	73
5ª	ETAPA: PROTOTIPAGEM .....	76
6ª	ETAPA: QUALIDADE .....	78
7ª	ETAPA: IMPLANTAÇÃO .....	83
8ª	ETAPA: ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	84
<b>5</b>	<b>COMENTÁRIOS FINAIS</b> .....	<b>85</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	85
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	86
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>87</b>

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Seqüência de atividades que caracterizam o desenvolvimento de produtos conforme o processo tradicional e sob a ótica da Engenharia Reversa. ....	22
QUADRO 2 – Exemplo da planilha utilizada em estudos de FMEA de Processo .....	46
QUADRO 3 – Itens de Qualidade Demandada e seus respectivos pesos .....	60
QUADRO 4 - Lista de componentes dos pincéis ATLAS e LUX. ....	61
QUADRO 5 – Análise Microscópica das virolas dos pincéis ATLAS e LUX .....	63
QUADRO 6 – Tabela comparativa entre os pincéis ATLAS e LUX.....	66
QUADRO 7 – Componentes a serem modificados no pincel ATLAS .....	67
QUADRO 8 - Custos de transporte e internação para o pincel ATLAS .....	74
QUADRO 9 – Partes a serem modificadas .....	74
QUADRO 10 - Processos a serem modificados.....	75
QUADRO 11 – Setores da Fábrica envolvidos com as alterações no produto .....	83

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Fatores Determinantes da Competitividade da Indústria (Fonte: Coutinho <i>et alli</i> , 1994) .....	2
FIGURA 2 – Variáveis que afetam os materiais (Fonte: Adaptado de Callister, 1997).....	18
FIGURA 3 – Seqüência para pré-avaliação da ER em um produto. (Fonte: Adaptado de Ingle, 1994).....	25
FIGURA 4 – Seqüência de passos para obtenção e tratamento de dados técnicos no estudo de ER.(Fonte: Adaptado de Ingle, 1994).....	26
FIGURA 5 – Relacionamento das Matrizes do QFD (Fonte: Adaptado de Ribeiro, 1999) .....	35
FIGURA 6 – Matriz genérica da Qualidade (Fonte: Ribeiro et alli, 1999).....	36
FIGURA 7 – Matriz genérica do Produto (Fonte: Ribeiro et alli, 1999).....	38
FIGURA 8- – Matriz genérica dos Processos (Fonte: Ribeiro et alli, 1999) .....	39
FIGURA 9 – Exemplo genérico de folha de inspeção de defeitos .....	41
FIGURA 10 - Matriz genérica dos Defeitos (Fonte: Adaptado de Ribeiro et alli, 1999) .....	41
FIGURA 11 – Exemplo genérico de carta de processo. ....	44
FIGURA 12 – Base de pensamento para a Engenharia de Valor .....	48
FIGURA 13 – Esquema genérico do Modelo de Desenvolvimento de Produtos proposto. ....	56
FIGURA 14 – Componentes de um pincel.....	58
FIGURA 15 – Especificações técnicas do produto em estudo .....	59
FIGURA 16 – Dados financeiros e logísticos do produto .....	59
FIGURA 17 – Pincel LUX.....	64
FIGURA 18 – Pincel ATLAS linha dupla.....	65
FIGURA 19 – Matriz da Qualidade .....	69
FIGURA 20 – Gráfico de Pareto para itens de Qualidade Demandada e Características da Qualidade.....	69
FIGURA 21 – Matriz do Produto e priorização das partes.....	71
FIGURA 22 – Representação esquemática dos processos de fabricação do pincel .....	72
FIGURA 23 – Matriz dos Processos .....	72
FIGURA 24 – Gráfico de Pareto para priorização dos processos .....	73
FIGURA 25 – Pincel ATLAS após adaptações.....	77
FIGURA 26 – Folha de inspeção de defeitos .....	78
FIGURA 27 – Matriz dos Defeitos.....	79
FIGURA 28 – Priorização de defeitos e de processos.....	80
FIGURA 29 – Carta de processo para colagem das bases e montagem do pincel.....	81
FIGURA 30 – Tabela do FMEA para a Célula de Colagem .....	82

## LISTA DE EXPRESSÕES

$ID_b^* = ID_b \times \sqrt{E_b}$	(1).....37
$IQ_a = \sum_{b=1}^n ID_b^* \times QD_{ab}$	(2).....37
$IQ_a^* = IQ_a \times \sqrt{B_a} \times \sqrt{D_a}$	(3).....37
$IP_d = \sum_{c=1}^n PQ_{cd} \times IQ_a^*$	(4).....38
$IP_d^* = IP_d \times \sqrt{D_d} \times \sqrt{T_d}$	(5).....39
$IPR_f = \sum_{e=1}^n PRQ_{ef} \times IQ_a^*$	(6).....40
$IPR_f^* = IPR_f \times \sqrt{D_f} \times \sqrt{T_f}$	(7).....40
$IPDE_h = \sum_{g=1}^n PDE_{gh} \times IDE_g^*$	(8).....42
$IDE_g^* = IDE_g \times \sqrt{D_g} \times \sqrt{T_g}$	(9).....42
RPN = Severidade $\times$ Ocorrência $\times$ Detecção	(10).....45

## RESUMO

O tema desta dissertação de mestrado é o estudo da Engenharia Reversa como ferramenta de suporte à melhoria e adaptação de produtos. A partir de conceitos teóricos sobre desenvolvimento de produtos e melhoria de processos, propõe-se uma metodologia para adaptação de produtos destinados à exportação. A metodologia proposta consiste de oito passos, contemplando etapas de identificação e priorização das demandas de adaptação de produtos e elencando ferramentas auxiliares no atingimento dos objetivos desejados. A etapa inicial deste trabalho consiste de uma revisão bibliográfica dividida em duas partes: (i) adaptação de produtos através da utilização da Engenharia Reversa e seus habilitadores, e (ii) ferramentas para melhoria de processos. Os tópicos contemplados em (ii) incluem ferramentas para o mapeamento de processos de manufatura e para a sua melhoria. Destaque especial é dado ao Desdobramento da Função Qualidade – QFD (*Quality Function Deployment*), a Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*) e às Cartas de Processos. Na seqüência, apresentam-se os passos da metodologia proposta para a adaptação de produtos às demandas de mercado utilizando a Engenharia Reversa e seus habilitadores. Finalmente, os passos metodológicos são aplicados a um caso prático, cujo objetivo é a adaptação de um pincel, produzido por uma empresa gaúcha, às demandas de um distribuidor alemão de ferramentas manuais.

## ABSTRACT

The subject of this work is the study of Reverse Engineering as a supporting tool for the improvement and adaptation of products. Here we propose a methodology for adapting manufactured products to foreign markets; adaptation is guided by customers' quality demands and is grounded on theoretical concepts of Reverse Engineering and product development and improvement. The methodology we propose is implemented in eight steps, which cover the early stages of products development, such as data gathering and analysis, as well as analytical tools that support product and process improvement. This thesis starts with a literature survey divided in two parts: *(i)* the use of Reverse Engineering and its enablers in product adaptation, and *(ii)* tools for process improvement. Topics covered in *(ii)* include techniques for product and process mapping and improvement. We focus on three techniques: QFD – Quality Function Deployment, a decision analysis technique used to guide product development; FMEA – Failure Mode and Effect Analysis, a technique for qualitative reliability analysis of products and processes; and Process Charts. Next, the methodology steps are detailed and applied in a case study. The case deals with the adaptation of a Brazilian paintbrush to the demands of a German distributor of manual tools.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

A exportação de produtos industrializados exige elevada competência em todos os aspectos empresariais. O maior problema das empresas exportadoras consiste, inicialmente, na necessidade de reconhecer as exigências dos mercados externos – bastante diferenciadas do mercado interno – e transformá-las em estratégias empresariais (Messner, 1994). Na ordem econômica atualmente vigente, o cliente pode-se encontrar em qualquer localidade dentro ou fora do país. Assim, os mercados consumidores não são mapeados por países ou clientes, mas por necessidades e oportunidades de negócios (Carnier, 1994). Diante deste cenário mundial cada vez mais globalizado, a competição pelos mercados consumidores se dá não somente entre empresas geograficamente próximas, mas entre fabricantes em nível mundial. Assim, é essencial que empresas brasileiras exportadoras estejam atentas a técnicas que possibilitem o rápido desenvolvimento ou adaptação dos produtos por elas comercializados às demandas de seus mercados-alvo.

Avanços tecnológicos relacionados ao tratamento de informações, materiais e processos têm apresentado impacto crescente sobre os métodos tradicionais de desenvolvimento de produtos, reduzindo seu ciclo de vida e gerando uma maior variedade de produtos à disposição do consumidor (Chandru & Manohar, 1997). Como consequência, a necessidade de diminuição do tempo de desenvolvimento de novos produtos tornou-se crítica para a manutenção da competitividade das empresas no mercado internacional (Lee & Hoo, 1998).

Entre as abordagens conhecidas para o tema Competitividade, destaca-se o estudo sobre Competitividade da Indústria Brasileira conduzido por Coutinho *et alli* (1994). Neste estudo, os autores identificam duas correntes teóricas sobre o tema competitividade empresarial: Na primeira, define-se o grau de competitividade de uma empresa em função de seu desempenho no mercado; neste caso os indicadores são o *market-share* (participação de mercado) e o volume de exportações. A segunda corrente avalia a eficiência técnica dos processos produtivos adotados pela empresa; neste caso os indicadores que expressam a competitividade de uma empresa são coeficientes técnicos da ordem *insumo/produto*,

comparados as *best-practices* verificadas na indústria. Segundo Coutinho *et alli* (1994), ambos enfoques abordam o tema de modo estático, enquanto deveriam analisar a competitividade de modo dinâmico. Para tanto, propõe uma nova definição para o tema, expressa a seguir:

“Competitividade é a capacidade da empresa de formular e implementar estratégias concorrenciais que lhe permitam conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado.” (Coutinho *et alli*, 1994).

A empresa, entretanto, está inserida em um contexto onde atuam diversos agentes econômicos que influenciam seu desempenho. Neste contexto, os seguintes fatores determinam a sua competitividade:

- Fatores internos à empresa – tais fatores estão sob a esfera de decisão da própria empresa;
- Fatores estruturais – encontram-se parcialmente sob a área de influência da firma e caracterizam o ambiente competitivo em que ela se insere diretamente, como características do mercado consumidor, da indústria em que a empresa atua e da concorrência;
- Fatores sistêmicos - são fatores não-controláveis pela empresa, tais como a taxa de câmbio e juros, e a política tributária vigente no país.

A relação entre os fatores apresentados acima se encontra esquematizada na Fig. 1, a seguir.

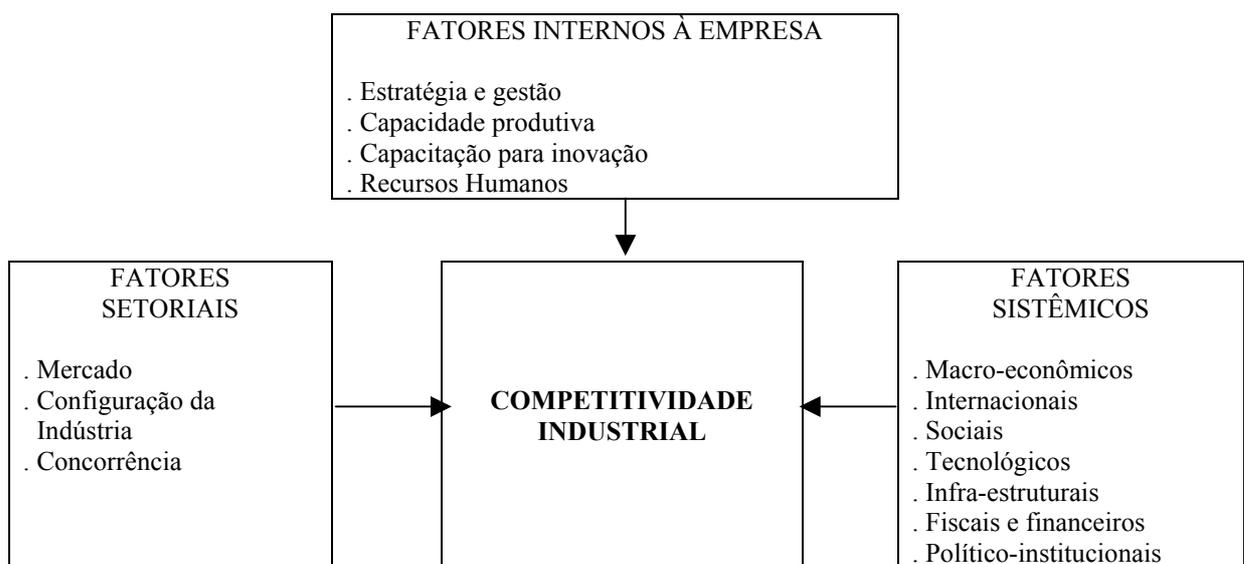


FIGURA 1 - Fatores Determinantes da Competitividade da Indústria (Fonte: Coutinho *et alli*, 1994)

Os estudos que tratam do tema competitividade enfatizam a importância das inovações tecnológicas como motor do desenvolvimento econômico. Estes estudos não incluem, entretanto, a imitação, fator importante na difusão de novas tecnologias e elemento de pressão para o descobrimento de técnicas mais modernas.

Entre as principais técnicas existentes para o desenvolvimento ou adaptação de produtos encontra-se a Engenharia Reversa (ER), um tema pouco abordado e difundido nos países geradores de tecnologia por ser frequentemente confundido com simples cópia de produtos. Esta técnica, no entanto, quando inserida em uma metodologia para implementação de melhorias em produtos, toma como ponto de partida as especificações técnicas de um produto já lançado no mercado, objetivando o aperfeiçoamento e não a simples cópia do produto já existente. No que tange ao desenvolvimento ou adaptação de um produto, o ponto crítico para a ER é a formulação de especificações do novo produto, sendo para tanto, necessário atividades de pesquisa e desenvolvimento. A elaboração do projeto do processo produtivo também apresenta uma complexidade que demanda conhecimentos técnicos. Assim, parece claro que o procedimento que caracteriza a ER demanda *expertise* técnica por parte de seus executores, transcendendo o processo de simples cópia de um produto (Dias, 1998).

A principal aplicação da ER é na reprodução e aperfeiçoamento de peças já existentes, onde sejam desejadas melhorias, tais como redução de custo ou mesmo inclusão de novas características ao produto. Além disso, um projeto de ER permite, através da construção de peças de reposição, fora de linha ou de difícil acesso, manter equipamentos obsoletos em funcionamento.

O escopo deste trabalho inclui a divulgação da ER e também sua aplicação dentro do processo de adaptação de produtos para exportação. Para tanto, propõe-se uma nova metodologia para o desenvolvimento de produtos, baseada em princípios de ER e em ferramentas de mapeamento e melhoria de produtos e processos produtivos. A metodologia aqui apresentada é motivada através de um caso prático, realizado em uma empresa de ferramentas localizada no Estado do Rio Grande do Sul. O produto abordado no estudo de caso é uma ferramenta manual e o objetivo é promover sua adequação aos parâmetros desejados por um cliente estrangeiro. A partir da análise do produto atualmente comercializado pelo cliente e dos parâmetros de qualidade indicados e ponderados por seu comprador técnico, foi desenvolvido/adaptado o novo produto que agrega os pontos fortes da ferramenta nacional e da concorrente. Deste modo, o resultado do trabalho de adaptação da

ferramenta não se resumiu à simples reprodução do produto atualmente comercializado pelo cliente importador, mas sim à confecção de um produto superior.

O ponto de partida no processo de desenvolvimento foi a Engenharia Reversa; posteriormente, utilizaram-se ferramentas como o QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da Função Qualidade; ver Cohen, 1995) e as cartas de processo (ver Krajewski & Ritzman, 1999) para auxiliar o estudo dos processos de manufatura e elencar possíveis melhorias.

## 1.2 O TEMA E A SUA IMPORTÂNCIA

Quando uma empresa efetua a análise de compra via *Global Sourcing* (Abastecimento em Nível Mundial; ver Minervini, 1997), o preço baixo é somente um dos atrativos que um produto pode apresentar. Faz-se necessário também, que o fornecedor atenda os parâmetros de qualidade e tecnicidade demandados, razão pela qual a empresa fabricante deve estar familiarizada com as normas técnicas e com as peculiaridades do mercado em si antes de iniciar negociações com algum cliente neste país.

Na etapa de desenvolvimento de um produto, pode-se lançar mão de diversas técnicas, como Engenharia de Valor (ver Csillag, 1995) ou Engenharia Simultânea (ver Ingle, 1994). A aplicação da ER, contudo, apresenta-se como a técnica mais adequada quando o objetivo é partir dos parâmetros de qualidade de um produto já existente e melhorá-los, à luz dos itens de qualidade que o próprio cliente determina. Desta forma, obtém-se um resultado final suficientemente próximo do produto já conhecido no mercado, mas suficientemente diferente, tendo em vista eventuais melhoramentos, adequações ou otimizações; utilizar um produto consolidado no mercado como ponto de partida, como feito na ER, diminui o risco de falhas nos projetos.

Apesar de ser um conceito pouco difundido na linguagem técnica formal (por ser confundido com pirataria, isto é, cópia ilegal a partir da qual não são revertidos *royalties* às empresas ou indivíduos originalmente responsáveis pelo desenvolvimento do produto copiado), a ER possui grande importância no desenvolvimento tecnológico de países em desenvolvimento, principalmente naqueles que já dispõem de razoável grau de maturidade e desenvolvimento tecnológico em seu parque produtivo (Dias, 1998). Por ser uma técnica que permite efetuar adaptações em produtos de maneira rápida e de acordo com os desejos dos

clientes, a utilização da ER nesses países abre espaço para adequações em produtos destinados a mercados específicos, habilitando, deste modo, as empresas exportadoras a oferecer o que cada mercado necessita.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver uma metodologia para adaptação de produtos às necessidades de clientes específicos, utilizando-se para tanto a ER e outras ferramentas mais difundidas, como o QFD, FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* – Análise de Modos e Efeitos de Falhas; ver Hoyland & Rausand, 1994) e as Cartas de Processos. Na literatura existente sobre desenvolvimento de produtos que aborda o tema ER, podem ser encontradas duas abordagens principais. A primeira, de âmbito restrito, foi proposta em 1994 por Ingle e focaliza basicamente a reprodução de peças, sem considerar modificações nas mesmas. A segunda, uma metodologia de *redesign* onde a Engenharia Reversa está inserida, foi proposta por Otto & Wood em 1998. Esta metodologia parte da obtenção dos desejos subjetivos dos consumidores para implementação de melhorias em um produto, porém não visa sua adaptação a um cliente específico. Neste trabalho, será apresentada uma metodologia alternativa para a adaptação de produtos, também apoiada na Engenharia Reversa, porém mais enxuta e voltada à customização atualmente demandada nos mercados globais.

Não pertence aos objetivos desta dissertação a divulgação da Engenharia Reversa como técnica a ser utilizada para simples cópia de produtos. Além da questão ética, o Brasil pertence aos países signatários da Convenção da União de Paris para a proteção da propriedade industrial, e atos de pirataria são passíveis de condenação tanto para o mercado interno quanto externo.

Os objetivos secundários deste trabalho são apresentar uma revisão bibliográfica sobre a Engenharia Reversa, o QFD e ferramentas para melhoria de processo. Apesar do QFD ser uma ferramenta bastante difundida, sua aplicação como técnica de priorização para processos e defeitos constitui-se em contribuição original desta dissertação. O tema Engenharia Reversa, por sua vez, é pouco difundido nos meios acadêmicos, o que justifica sua abordagem no grau de profundidade apresentado neste trabalho. Tais técnicas, em conjunto com a Tecnologia de Protótipos Rápidos, Análise de Materiais, Cartas de Processo e FMEA, permitem uma

considerável redução no tempo necessário para a execução do trabalho de adaptação de um produto a mercados distintos (Lee & Woo, 1998), aumentando deste modo a competitividade de empresas exportadoras. Por fim, a aplicação da metodologia proposta em um caso prático, onde o processo de adaptação de um produto é apresentado a partir de etapas pré-definidas, evidencia a aplicabilidade e relevância prática do tema selecionado para este trabalho.

#### 1.4 MÉTODO DE TRABALHO

Para a condução do caso prático aqui apresentado, foi necessária uma intensa interação com a empresa cliente alemã, potencial importadora do produto analisado, com vistas à obtenção de informações sobre os parâmetros de qualidade por ela demandados. De maneira análoga, o repasse e acompanhamento das informações obtidas junto à empresa cliente ao exportador nacional demandou uma constante interação entre o pesquisador e o objeto de pesquisa. Considerando-se que a metodologia de estudo de caso é aplicada em circunstâncias onde há um conjunto de eventos sobre os quais o investigador possui pouco ou nenhum controle sobre o processo (Yin, citado por Andrade, 1998), o método de trabalho adotado nesta dissertação enquadra-se nos pressupostos da Pesquisa-ação.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa com base empírica, concebida com o intuito de resolver um problema coletivo, no qual os pesquisadores e os participantes/entrevistados estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Nela, o pesquisador desempenha um papel ativo no equacionamento dos problemas encontrados, no acompanhamento e na avaliação das ações encadeadas para resolução de problemas (Thiollent, 1992). A condução de uma pesquisa-ação pressupõe a existência das seguintes etapas: (i) Etapa Exploratória, que consiste na coleta de dados preliminares, (ii) Etapa Principal, de interação entre o pesquisador e a empresa, (iii) Etapa de Ação, de implementação das modificações necessárias apontadas na etapa anterior, e (iv) Etapa de Avaliação, de análise do resultado obtido como base para outros trabalhos similares.

Para a condução do caso prático nesta dissertação as etapas *Principal* e *de Ação* foram desdobradas, resultando em um total de oito etapas, das quais parte é conduzida simultaneamente devido à necessidade de rapidez no processo de desenvolvimento.

A metodologia proposta é implementada em oito etapas: *Coleta de Dados, Engenharia Reversa, QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Viabilidade Financeira, Prototipagem, Qualidade, Implementação e Análise dos Resultados*.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, com conteúdos apresentados a seguir.

No primeiro capítulo, é apresentado o tema estudado e a sua relevância, os objetivos a serem alcançados com base na pesquisa, o método utilizado para alcançar estes objetivos e as limitações do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre Engenharia Reversa e as ferramentas que possibilitam a sua execução, aqui denominadas como habilitadores: CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Auxiliado por Computador; ver Grabowski & Geiger, 1998), Scanner Tri-Dimensional (3D), Prototipagem Rápida e Análise de Materiais. Também é apresentada uma comparação entre a ER e o método tradicional de desenvolvimento de produtos. Na seqüência são apresentadas duas abordagens para utilização da ER: a técnica apresentada por Ingle (1994), de aplicação restrita, e a ER inserida na metodologia proposta por Otto & Wood (1998), mais abrangente e voltada ao mercado. A seguir, são abordadas algumas ferramentas utilizadas no estudo de processos de fabricação: o QFD, as Cartas de Processo e o FMEA. Por fim, são apresentadas duas técnicas para desenvolvimento de produtos: a Engenharia de Valor e a Engenharia Simultânea; a interação destas técnicas com a Engenharia Reversa é ressaltada.

No terceiro capítulo, é desenvolvida uma metodologia de adaptação de produtos voltada para clientes e mercados específicos, baseada na Engenharia Reversa e utilizando o QFD como principal habilitador.

No quarto capítulo, é abordado um caso prático realizado junto a um fabricante de ferramentas manuais, localizado no Estado do Rio Grande do Sul. O estudo parte das características de qualidade exigidas por um comprador técnico do maior distribuidor alemão de ferramentas manuais e, com base na metodologia proposta no capítulo terceiro, procura adaptar um produto de linha a estas características.

O quinto e último capítulo da dissertação é reservado às conclusões. Naquele capítulo também são apontados alguns tópicos de interesse para pesquisas futuras.

## 1.6 LIMITAÇÕES

O presente trabalho objetiva analisar o desenvolvimento de produtos baseando-se na técnica de Engenharia Reversa. As limitações do trabalho, tendo em vista a abordagem de desenvolvimento de produtos selecionada, são listadas a seguir.

Não será abordada com profundidade uma das principais aplicações da Engenharia Reversa, a saber: a reprodução simples de uma peça para reparo ou manutenção de equipamentos desprovidos de documentação técnica. Maiores detalhamentos sobre este tema podem ser encontrados em Ingle (1994).

Outras técnicas de desenvolvimento de produtos, como Engenharia Simultânea ou Engenharia de Valor são tratadas como ferramentas auxiliares, e não como técnicas em si, razão pela qual não são analisadas em profundidade.

Projetos de ER podem estar sujeitos à proteção legal, dependendo da legislação do país ao qual a mercadoria se destina. Apesar de relevante, o enfoque jurídico relativo à área de patentes e propriedade industrial não será abordado. Informações sobre as Convenções e Tratados relativos à propriedade intelectual podem ser obtidas na *home-page* da OMPI – Organização Mundial da Propriedade Intelectual (<http://www.wipo.org>).

O estudo de caso envolve uma empresa estrangeira que determina os parâmetros de qualidade de um produto por ela avaliados. Tais parâmetros não podem ser generalizados para outros mercados consumidores.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é feita primeiramente uma apresentação sobre a Engenharia Reversa e o Desdobramento da Função Qualidade (QFD). A ER é aqui enfocada em sua concepção original, ou seja, como uma técnica utilizada na reprodução de uma peça já existente. O QFD, entretanto, apesar de ser uma ferramenta praticamente completa quando utilizada no desenvolvimento de produtos, será empregada, neste trabalho, como ferramenta para priorização das partes e processos a serem enfocados no atendimento dos itens de qualidade demandados pelo cliente. Deste modo, a ER será empregada para adaptação do produto e o QFD, como suporte para análise dos processos de fabricação.

A apresentação da técnica de ER é complementada com uma introdução aos seus habilitadores: o CAD, o Scanner 3D, a Prototipagem Rápida e a Análise de Materiais. Também é apresentado um comparativo entre o processo tradicional de desenvolvimento de produtos e a ER. Por fim, são apresentados dois enfoques para utilização da ER: a técnica apresentada por Ingle (1994) e a utilização da ER inserida na metodologia proposta por Otto & Wood (1998).

Tendo em vista que o QFD não será empregado em sua versão completa, a ferramenta é apresentada somente em sua abordagem mais conhecida, formada pelo desdobramento das matrizes de Qualidade, Partes e Processos, além de uma adaptação do modelo original denominada matriz dos Defeitos (ver Akao, 1996). Na seqüência, são apresentadas duas ferramentas de melhoria de processo: Cartas de Controle e FMEA.

Na última seção desta revisão bibliográfica, são apresentadas outras técnicas para desenvolvimento de produtos e sua relação com a ER.

## 2.1 ENGENHARIA REVERSA

Engenharia Reversa (ER) é o termo que designa o processo de confecção de um produto a partir de um similar já existente. A origem do termo, também definido como Reconstrução, é desconhecida e sua aplicação restrita, devido à dificuldade em se obter dados a partir de uma peça já manufaturada (Lee & Woo, 1998). Dois fatores, entretanto, têm auxiliado na divulgação desta técnica a partir dos anos 90: a diminuição crescente do ciclo de vida dos produtos, o que obriga as empresas a desenvolver novos produtos com maior frequência e rapidez, o uso de novas ferramentas de computação gráfica, como o *scanner* digital, e a maior precisão dos sistemas CAD.

Existe, na literatura, mais de uma definição para o termo Engenharia Reversa. Chandru & Manohar (1997) e Lee & Woo (1998) propõem uma definição simplificada para o termo. De acordo com esses autores, ER consiste no processo de construção de um modelo em CAD a partir de uma parte física; ou seja, trata-se basicamente de um processo de *design*, auxiliado através da utilização de computação gráfica. Geiger & Huber (1998) também conceituam ER como uma aplicação da ferramenta CAD, agregando, porém, a necessidade de se obter informações sobre a geometria da peça, material empregado na confecção, tolerâncias, etc. Ingle (1994), por sua vez, define Engenharia Reversa como o processo de desmontagem de um produto, com o objetivo de determinar como o produto foi desenvolvido ou desenhado, desde seus componentes até o produto final. A autora vê a ER como uma metodologia dividida em várias etapas a serem seguidas para se obter o novo produto. Em uma abordagem mais abrangente e atual, Otto & Wood (1998) propõem uma ER que se inicia ouvindo a voz do cliente, objetivando adaptações e melhorias no produto já existente antes de reconstruí-lo.

No período anterior e posterior à Segunda Guerra Mundial, a ER desempenhou um importante papel no crescimento industrial japonês (Siscú A., *et alli*, citado por Dias, 1998)<sup>1</sup>. Naquela época, o processo de reconstrução de um produto era basicamente artesanal, com geração de dados e medidas do produto feita através de medições manuais, e confecção de modelos e protótipos em tecnologias de baixa complexidade, tais como argila, cera perdida e

---

<sup>1</sup> SISCÚ, A. *et alli*, Política científica e tecnológica no Japão, **Política Científica e Tecnológica no Japão, Coréia do Sul e Israel**, Rio de Janeiro: CETEM / CNPq, 1989.

madeira. Com o progresso da informática, surgiram novas tecnologias de suporte ao desenvolvimento de produtos, entre elas o *scanner* digital e o CAD. Em 1989 foi desenvolvido para a Marinha Norte-americana o primeiro equipamento que gerava um arquivo de dados em 3D, partindo do *escaneamento* de uma peça. Considerando-se que dados técnicos de componentes para uso militar normalmente não estão disponíveis ou são mantidos em segredo pelos fabricantes, a Marinha Norte-Americana foi a primeira interessada em reduzir o tempo necessário para substituição ou reparo de peças, partindo daquelas já existentes. A utilização da ER pela Marinha Norte-Americana tinha por objetivo, neste contexto, diminuir sua dependência por informações oriundas de fabricantes e fornecedores. Com o natural avanço tecnológico chega-se, em 1996, ao desenvolvimento de *scanners* a laser, com sensores que determinam automaticamente as coordenadas do braço-leitor mecânico, permitindo o repasse de dados para a tela de um computador mediante a movimentação aleatória do *scanner*, sem necessidade de tocar na peça (Anon, 1996).

Apesar da tecnologia de *escaneamento* laser ter tornado-se prática em termos de velocidade e precisão, a manipulação do grande volume de dados resultante do *escaneamento* pode limitar sua utilização como habilitador da ER (Lee & Woo, 1998). Por esta razão, diversos autores buscam formas de tratamento de dados que reduzam, via desenvolvimento de algoritmos, a quantidade de dados a serem processados. Um exemplo de pesquisa neste campo está apresentado em Fischer & Park (1999). Os autores sugerem ampliar a exatidão dos modelos multi-níveis gerados através da utilização de CAD e reduzir a quantidade de dados a ser processados, através da eliminação de dados entre dois pontos onde não ocorram alterações na forma na peça.

### **2.1.1 Computer Aided Design (CAD)**

O CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Auxiliado por Computador) abrange um grande número de programas computacionais (*softwares*) utilizados como ferramenta de apoio à representação gráfica. Na área específica de desenvolvimento de produtos experimentou-se uma grande evolução neste tipo de *software* nos últimos anos. De programas que permitiam a obtenção simplificada de desenhos por computador, os *softwares* CAD passaram a dar suporte a todas as etapas do desenvolvimento de produtos, inclusive como ferramenta auxiliar na simulação virtual de propriedades físicas. Dada a grande

funcionalidade dos *softwares* de CAD atualmente disponíveis no mercado, uma melhor designação para esta ferramenta pode ser dada por *Computer Aided Product Modelling System*, ou Sistema de Modelagem de Produto Assistido por Computador (Grabowski *et alli*, 1998).

Na área industrial, as principais aplicações para os *softwares* de CAD incluem a geração de desenho técnico a partir do protótipo de um produto final modelado à mão, modificações em produtos originalmente projetados em CAD, confecção de desenhos técnicos para componentes gastos ou quebrados e que necessitam ser repostos, implementação de um banco de dados digital para os produtos produzidos por uma empresa e simulação das propriedades de uma peça a partir de um arquivo gerado em CAD (Boulanger, 1998).

Os sistemas CAD na área de Engenharia Reversa classificam-se em dois grupos (Geiger & Huber, 1994):

- Sistema Fechado – especialmente desenhado para apoiar a reconstrução de superfícies; para tanto, oferecem uma grande variedade de recursos neste segmento. Tais sistemas podem ser conectados a outros tipos de sistemas CAD para intercâmbio de dados, desde que ambos possuam uma interface em comum para troca de dados.
- Sistema integrado CAD para componentes – desenvolvidos a partir de 1992, tais sistemas foram acrescidos de ferramentas específicas de apoio à ER de componentes. Nesses sistemas, a troca de dados visando uma reconstrução interativa da superfície e modelagem de volumes ocorre de modo direto e sem perda de informação.

Novas técnicas que privilegiam o trabalho em equipe, como a Engenharia Simultânea ou a TQM (*Total Quality Management* – Gerenciamento pela Qualidade Total; ver Campos, 1992), demandam um fluxo constante de informações entre os diversos departamentos de uma empresa durante o desenvolvimento de produtos. Para atingir esta sincronia, é necessário que os sistemas de informática de apoio estejam integrados e que não ocorram perdas de informação ou degradação dos dados durante os processos de conversão de arquivos. Tal problema vem sendo resolvido através do desenvolvimento de *softwares* CAD que incorporam os recursos de um sistema fechado e, durante a transferência de informações, não permitem a perda de dados.

Atualmente, com a necessidade de redução do ciclo de desenvolvimento de um produto, cada vez mais a Engenharia Reversa integra-se aos *softwares* CAD comerciais, o que têm demandado destes *softwares* recursos para trabalhar com imagens adquiridas diretamente de uma peça já existente, e não somente recursos para o desenho em si. Entre os recursos

demandados estão a filtragem e reestruturação dos dados, redução dos dados, extração de propriedades da peça e análise de tolerâncias.

A maioria dos *softwares* comerciais CAD atualmente existentes não dispõe destes recursos de forma automatizada e requer várias e demoradas etapas para a criação de um modelo (Boulanger, 1998). As pesquisas neste campo visam corrigir estas deficiências, de modo a alcançar uma conseqüente redução ainda maior no tempo necessário para geração do modelo virtual de uma peça já existente.

### 2.1.2 Scanners Tridimensionais (3D)

*Scanners* tridimensionais (3D) são equipamentos compostos, basicamente, por sensores de alta definição que têm como função a captação, ponto a ponto, do formato de uma peça e sua transferência para uma estação CAD. Os sensores utilizados em *scanners* tridimensionais podem ser de diversos tipos: apalpadores, sensores a laser e sensores óticos por luz branca ou sensores por ondas magnéticas (Guerreiro, 1999).

Os sensores apalpadores representam a tecnologia mais econômica e utilizada, entretanto possuem limitação para captar áreas de difícil acesso. Os sensores por luz branca e a laser são equipamentos mais rápidos, porém mais caros e também possuem limitações, como impossibilidade de ler peças transparentes ou que reflitam a luz no caso do sensor a laser ou peças pretas no caso do sensor por luz branca (D'Íssy, 1999).

A tecnologia de *escaneamento* tridimensional surgiu no final da década de 80, financiada pela Marinha Norte-Americana através do projeto RAMP (*Rapid Acquisition of Manufactured Parts* – Aquisição Rápida de Peças Manufaturadas). O objetivo do RAMP era reduzir o tempo e o custo para reprodução de peças utilizadas pela Marinha Norte-Americana. O *scanner* 3D representou um avanço sobre seu antecessor, o CMM (*Coordinate Measuring Machine* – Equipamento de medição de coordenadas). Enquanto o CMM era capaz de coletar cerca de dois pontos de coordenada por segundo, o *scanner* 3D alcançava até 15.000 pontos no mesmo espaço de tempo (Anon, 1989).

A aplicação mais conhecida dos *scanners* 3D ainda é no controle de qualidade de peças manufaturadas. Nesta aplicação, um produto é *escaneado* a fim de comparar digitalmente suas medidas com a de um modelo ou contra-amostra (D'Íssy, 1999). Com a

maior divulgação da ER, a utilização de scanners na digitalização de réplicas de um modelo físico, com o intuito de gerar seus desenhos técnicos em estações CAD, vem crescendo em importância.

A tecnologia de *escaneamento* mais difundida atualmente é aquela que utiliza sensores apalpadores. Tais sensores garantem precisão na coleta de um número limitado de pontos, oferecendo máxima precisão em geometria plana, embora demandem um longo tempo para realizar a leitura das formas. Como consequência, esta tecnologia torna-se bastante limitada em sua habilidade de descrição de formas geométricas não planas, ou partes de difícil acesso (Soares, 1999).

Tecnologias de *escaneamento* mais rápido, como os sistemas a laser, vêm se firmando gradualmente no mercado; estes equipamentos, todavia, são maiores e mais caros. Os *scanners* 3D que utilizam sensores a laser têm como vantagem a possibilidade de digitalizar materiais frágeis, como suportes e placas de microeletrônica, já que não tocam ou deformam a peça. Por outro lado, no *escaneamento* a laser, certas cores não são lidas pelo feixe, sendo necessário pintar a peça antes da leitura.

Os equipamentos que utilizam sensores por ondas magnéticas, captam as coordenadas espaciais de uma peça usando o sinal gerado por um campo magnético. Apesar de precisos, são equipamentos sensíveis às interferências de metais ou campos magnéticos próximos, como cadeiras ou outros equipamentos, o que obriga a sua utilização em locais especiais.

Com a precisão cada vez maior das medições obtidas por *scanner*, gera-se uma enorme massa de dados a ser processada pelos programas CAD. Visto que a representação gráfica de um produto pode representar arquivos com tamanho superior a 500 MB, a alternativa para evitar gargalos no processamento desta magnitude de dados utiliza a compactação algorítmica (ver Fischer & Park, 1999 e Lee & Woo, 1998).

### **2.1.3 Prototipagem Rápida**

Prototipagem é o processo, normalmente lento e artesanal, de construção do modelo de um produto em uma fase anterior à produção em série (Netto, 1999). A prototipagem tem como objetivo testar os vários aspectos do *design* de produtos antes que sejam confeccionados

seus moldes definitivos. As técnicas mais comuns de prototipagem utilizam eletro-erosão, fresagem, molde em areia ou cera perdida.

Processos de geração de protótipo através de desgaste (eletro-erosão ou fresagem) utilizam normalmente uma peça de Zamak (liga de Zinco, Alumínio, Cobre e Magnésio). Na eletro-erosão a peça é desgastada através de descargas elétricas, enquanto que na fresagem o desgaste ocorre com o auxílio de uma broca.

Os protótipos gerados através de modelos utilizam-se, por sua vez, de uma amostra da peça desejada. No processo de fundição por areia confecciona-se primeiramente uma cópia da peça desejada, que pode ser de madeira. Já no processo por cera perdida utiliza-se a própria peça desejada. A amostra é então recoberta com areia de fundição ou diversos tipos de cera, sendo depois retirada para permitir a introdução de material fundido que, depois de resfriado, gerará o protótipo (Doyle *et alli*, 1964).

A Prototipagem Rápida (PR) compreende métodos que permitem a produção rápida de modelos físicos, reduzindo o trabalho não-automatizado às operações de lixamento e limpeza das peças geradas. Existem várias técnicas de PR apropriadas a tipos distintos de desenvolvimento; todas, entretanto, partem de uma mesma base: uma imagem digital adquirida através de *escaneamento* ou desenvolvida em um programa CAD.

A PR divide-se em duas tecnologias (Netto, 1999):

(i) de construção – nesta tecnologia, o sistema CAD secciona o arquivo de dados em finas camadas, transferindo-as para o equipamento gerador de protótipos. A peça, então, é formada através da superposição de cada uma destas camadas.

(ii) de corte – tecnologia semelhante às operações de usinagem de uma peça. O protótipo é gerado a partir do desgaste de uma peça sólida, por meio de técnicas como HSM (*High Speed Milling* – Fresagem a alta velocidade), cavitação a laser ou EDM (*Electric Discharge Milling* – Usinagem por descarga elétrica; ver Netto, 1999).

A primeira técnica comercial de PR, a Estereolitografia, surgiu em 1987. Atualmente existem mais de 30 diferentes processos de PR, nem todos disponíveis comercialmente. As principais tecnologias de PR vêm listadas a seguir (Joppe, 1998).

- **Estereolitografia (STL** – do inglês *Stereolithography*). Trata-se da técnica de prototipagem rápida mais difundida. Consiste de um processo de impressão tridimensional que utiliza um feixe laser direcionado por computador sobre a superfície de uma resina fotossensível. Após o plástico solidificar-se nas áreas iluminadas pelo raio laser, uma nova

camada de líquido cobre a camada sólida, que será novamente fotosensibilizada de acordo com os dados provenientes do CAD, e assim sucessivamente. A Estereolitografia é aplicada em peças a serem utilizadas em testes funcionais, em ferramentas que podem ser utilizadas em testes de pré-produção e na confecção de modelos para a indústria médica, entre outras aplicações. As vantagens desta técnica são (i) a possibilidade de fabricação de partes que seriam impossíveis de serem produzidas convencionalmente em um processo único, (ii) sua alta resolução, (iii) a possibilidade de operação ininterrupta, sem a necessidade de supervisão humana e (iv) sua capacidade de confecção de formas ilimitadas. Entre as desvantagens da técnica, tem-se (i) a complexa seqüência de processos necessária para sua operacionalização, (ii) a precisão não-satisfatória resultante quando aplicada na manufatura de peças mecânicas, (iii) a área restrita de aplicação devido às propriedades dos materiais empregados, e (iv) a necessidade de processamento posterior da peça resultante, principalmente limpeza.

- **Sinterização por Laser Seletivo (SLS – do inglês *Selective Laser Sintering*)**. Processo de impressão tridimensional composto por um feixe de laser direcionado seletivamente por computador. A superfície do equipamento recebe camadas de pó metálico ou não-metálico, sinterizando e sobrepondo as camadas conforme as informações provenientes do computador. A SLS destina-se à representação visual de modelos, à geração de protótipos funcionais e rígidos e de peças em metal fundido (com o uso auxiliar de cera ou areia). A principal vantagem desta técnica é dada pela possibilidade de utilização de diversos tipos de material, como policarbonato, PVC, nylon e areia de fundição na produção de moldes. Na prática, qualquer material que possua baixa viscosidade quando aquecido pode ser utilizado na produção de moldes. Outra vantagem desta técnica está na rapidez do processo, que geralmente é de um dia. Como desvantagem, apresenta-se a possibilidade de ressaltos durante o processo de solidificação do modelo, deixando a peça com uma aparência áspera. Em contrapartida, a necessidade de se prover continuamente a câmara principal com nitrogênio para garantir o processo de sinterização e a geração de gases tóxicos durante o processo de fusão (especialmente PVC), configuram desvantagens à utilização desta técnica.
- **Manufatura de Objetos Laminados (LOM – do inglês *Laminated Object Manufacturing*)**. Técnica de manufatura de objetos baseada em dados geométricos tridimensionais. Como ponto de partida, usam-se dados seccionados do objeto, os quais são usados para controlar um feixe de laser que corta os contornos de um material laminado. Durante o processo, as lâminas são coladas e o modelo é criado camada por camada. O

principal campo de aplicação está na criação de conceitos de projeto, além de permitir a confecção de modelos volumosos, como padrões para fundição de areia. Entre as vantagens da LOM estão (i) as variedades de materiais orgânicos e inorgânicos que podem ser utilizados na produção de moldes (como papel, plástico, cerâmica, compostos entre outros), (ii) o custo relativamente baixo de geração de um modelo, (iii) a rapidez do processo e sua adequação para confecção de grandes peças, comparativamente com outras técnicas. Entre as desvantagens da técnica estão a instabilidade dos modelos, que dependem da firmeza da cola empregada na junção das camadas, e a impossibilidade de confecção de peças ocas, como uma garrafa.

- **Manufatura Balística de Partículas** (BPM – do inglês *Ballistic Particle Manufacturing*). Processo que usa dados de um modelo tridimensional para direcionar gotas de termoplástico em pontos determinados pelo formato do modelo. A sistemática de geração de objetos 3D pode ser comparada com o princípio de uma impressora jato de tinta, produzindo imagens bidimensionais. A principal aplicação da BPM está na criação de peças de metal ou ferramentas partindo diretamente dos modelos termoplásticos gerados. Suas vantagens são o baixo custo e bom desempenho, além de, ao contrário de outros sistemas, ser um sistema *desktop* (sobre a mesa – de dimensões reduzidas) e de utilizar materiais atóxicos. A BPM é uma tecnologia relativamente nova; a única desvantagem encontrada até o momento na sua aplicação é dada pela lentidão do processo.
- **Modelagem por Deposição Fundida** (FDM – do inglês *Fused Deposition Modeling*). É implementada em um equipamento formado basicamente por um robô controlado por computador, que possui uma cabeça extrusora em miniatura alimentada por um fio plástico. Os objetos sólidos são construídos ponto a ponto a partir da deposição controlada da fundição do fio plástico. A FDM não é uma técnica precisa, razão pela qual seu campo de aplicação restringe-se a modelagens conceituais e aplicações funcionais e de adaptação para posterior procedimento de manufatura. Suas vantagens são (i) a rapidez e baixo custo para geração de modelos, (ii) não-necessidade de exposição a materiais tóxicos, laser ou imersão em polímeros líquidos e (iii) facilidade de manuseio, pois não há necessidade de limpeza após o processo e a matéria-prima pode ser trocada facilmente. A desvantagem desta técnica está na precisão restrita devido à espessura do material utilizado para extrusar o protótipo: fio de 1,27 mm de diâmetro.
- **Model Maker** (MM – do inglês *Model Maker*). É uma técnica de criação de modelos termoplásticos baseada na tecnologia de impressoras de jato de tinta. Utiliza duas cabeças

de impressão: uma para deposição do plástico a ser solidificado e outra para deposição da cera que atua como suporte à modelagem. O principal campo de aplicação está no revestimento de moldes, pois o material empregado tem baixo coeficiente de expansão. Entre as vantagens desta técnica estão o fato de ser um sistema *desktop*, a utilização de materiais não tóxicos, a excelente tolerância dimensional e superfície de acabamento, o fato de permitir uma espessura das camadas extremamente fina e a capacidade de processamento de arquivos de diferentes extensões, como .STL , .HPGL , .DXF e .OBJ. Suas limitações estão no tamanho máximo possível de confecção de um modelo e rapidez de processamento.

#### 2.1.4 Análise dos Materiais

Os avanços das tecnologias de *Escaneamento* Tridimensional e Prototipagem Rápida influíram positivamente no desenvolvimento da ER; para certos produtos, é possível obter, em poucas horas, o protótipo físico da peça. Os modelos construídos através de PR cumprem, basicamente, uma função de *design*, já que os equipamentos utilizados na PR trabalham com materiais maleáveis. No caso de produtos de maior precisão, onde é esperado da peça um desempenho semelhante ao modelo original, deve-se também analisar a matéria-prima empregada na confecção do produto (Dias, 1998).

Os materiais podem ser classificados em vários grupos: metais, cerâmicos, polímeros, semicondutores e materiais compostos. Materiais em cada um destes grupos possuem estruturas e propriedades diferentes. Os estudos de Engenharia utilizam-se de combinações dessas propriedades para produzir componentes com forma e propriedades desejadas. O objetivo principal é obter materiais que apresentem bom desempenho com uma vida útil esperada.

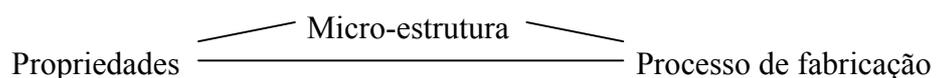


FIGURA 2 – Variáveis que afetam os materiais (Fonte: Adaptado de Callister, 1997)

A Fig. 2 apresenta a inter-relação existente entre as três principais variáveis que definem as características de materiais em geral. No desenvolvimento de produtos via ER, é

necessário determinar de maneira efetiva a natureza da inter-relação entre essas variáveis, pois sua manipulação tende a afetar, de maneira significativa, o produto final. Durante o processo produtivo, por exemplo, a modificação na forma de uma peça altera sua micro-estrutura e, conseqüentemente, suas propriedades. Nestas circunstâncias, passa a ser necessário recorrer a equipamentos de ensaio mecânico, de análises químicas e de microscopia a fim de se obter informações precisas para a correta ER do produto em estudo.

Muitos materiais, quando em uso, são submetidos a diversos tipos de solicitações. Nesta situação, é necessário saber as características do material, bem como se seu *design* está de acordo com o especificado no projeto, tal que nenhuma deformação seja excessiva e fraturas não ocorram. O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre sua resposta ou deformação e a força ou carga aplicadas (Callister, 1997). Em outras circunstâncias, a utilização de materiais pode afetar suas características físicas. Por exemplo, materiais que, quando expostos a processamento térmico intenso, têm suas propriedades de eletro-condutividade afetadas. De maneira genérica, as propriedades dos materiais, que constituem a primeira das variáveis apresentadas na Fig. 2, podem ser divididas em duas categorias: mecânicas e físicas.

As propriedades mecânicas descrevem como um material responde a uma força aplicada. As propriedades mecânicas mais comuns são resistência, ductilidade e rigidez (módulo de elasticidade). Os estudos sobre o comportamento mecânico de materiais buscam descrever o seu comportamento quando expostos repentinamente a impactos, ciclos contínuos de forças alternadas (fadiga), exposição a altas temperaturas (fluência), ou quando submetidos a condições abrasivas (desgaste). As propriedades mecânicas determinam também a facilidade com que um material pode ser deformado para obter uma forma útil.

As propriedades físicas descrevem o comportamento de materiais como função de sua estrutura interna ou condições de processamento. Propriedades físicas importantes incluem o comportamento elétrico, magnético, óptico, térmico, elástico e químico. Pequenas modificações na composição de materiais semicondutores, por exemplo, provocam profundas modificações em sua condutividade elétrica, assim como pequenas quantidades de impurezas podem alterar a cor de um vidro ou de um polímero.

A segunda variável que afeta as características dos materiais, conforme apresentado na Fig. 2, é a sua micro-estrutura. A estrutura de um material pode ser considerada em vários níveis, todos os quais influenciam o comportamento final do produto. Informações sobre a estrutura e o arranjo espacial dos átomos componentes do material, bem como seu tipo,

tamanho, distribuição e quantidade das fases que o compõem, são formas adicionais de se conhecer e manipular as propriedades dos materiais.

A terceira variável que afeta as características dos materiais, conforme apresentado na Fig. 2, é representada pelo seu processo de fabricação. O processamento de materiais tem como objetivo dar uma forma definida a um material amorfo. Para tanto, diferentes materiais podem ser conformados através de processamentos distintos, conforme descrito a seguir.

Metais podem ser processados pelo vazamento de um líquido em um molde (fundição), pela junção de peças individuais de metal (soldagem ou junção adesiva), pela conformação de um sólido metálico em uma forma desejada através do uso da pressão (forjamento, extrusão, laminação, dobramento), pela compactação de micropartículas de pós metálicos em uma massa sólida (metalurgia do pó) ou por remoção de material excessivo (usinagem). Materiais cerâmicos, por sua vez, podem ser conformados através de processos como colagem, prensagem, extrusão ou compactação, além de tratamento térmico a altas temperaturas, com o objetivo de extrair o fluido e para promover a ligadura entre os componentes. Polímeros são produzidos pela injeção de plásticos amolecidos em moldes (num processo semelhante à fundição de metais), extrusão, trefila e conformação.

Além dos processamentos mencionados no parágrafo anterior, materiais podem ainda sofrer tratamentos térmicos complementares, utilizando temperaturas abaixo de seu ponto de fusão, com o objetivo de modificar sua estrutura. O tipo de processamento usado depende, pelo menos parcialmente, das propriedades e, por consequência, da estrutura do material. Frequentemente, a obtenção de uma peça ou componente exige o emprego de diferentes materiais durante o processamento; um exemplo é a fundição em moldes que são eliminados após a conformação (cera perdida).

As propriedades mecânicas dos materiais são averiguadas através da realização de experimentos laboratoriais que buscam replicar, da melhor maneira possível, as condições de uso previstas para os materiais. Fatores comumente considerados nesses experimentos incluem a natureza da carga aplicada aos materiais e a sua duração, bem como as condições ambientais previstas quando da sua utilização. A consistência dos ensaios laboratoriais é garantida através da normatização dos procedimentos de teste, coordenada por instituições como a ASTM (*American Society for Testing and Materials* – Associação Americana de Testes e Materiais), a DIN (*Deutsche Industrie Normen* – Normas industriais alemãs) e, no Brasil, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia).

Os procedimentos laboratoriais mais utilizados na análise de materiais são:

- Máquina universal de ensaios mecânicos – informa as propriedades físico-mecânicas dos materiais analisados através de ensaios de tração, resistência mecânica, tenacidade à fratura e deformação elástica.
- Metalografia com utilização da Microscopia óptica e eletrônica de varredura – apresenta a micro-estrutura, a composição química pontual (por micro sonda) dos materiais, e analisa a imagem (tamanho do grão) utilizando-se de *software* dedicado.
- Durômetro - mede a dureza e resistência ao escoamento em materiais.
- Difração de raios-*X* – apresenta a estrutura cristalina dos materiais.
- Espectroscopia infravermelha para polímeros de baixa e alta densidade;
- Técnicas NDA (*Non-destructive analyses* – Ensaio Não-Destrutivo), utilizando líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultra-som, e análises químicas analíticas.

## **2.2 A ENGENHARIA REVERSA E O MÉTODO TRADICIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

Apesar de possuir algumas etapas semelhantes, a ER difere do processo tradicional de desenvolvimento de produtos por utilizar como ponto de partida um produto já concebido; no método tradicional, o processo de desenvolvimento inicia-se com a concepção de uma nova idéia. A identificação e mensuração de parâmetros a partir de produtos de referência demanda ações de natureza técnica distintas das ações usualmente previstas nos processos tradicionais de desenvolvimento, constituindo-se na etapa crítica do processo de desenvolvimento tecnológico baseado na Engenharia Reversa (Dias, 1998).

No desenvolvimento de produtos tradicional o processo de *design* é iniciado após a “decisão de concepção” de um novo produto. O processo de concepção é executado, então, baseado em quatro níveis: necessidade, função, princípio e forma (Grabowski *et alli*, 1998). Os processos de produção, utilização do produto e reciclagem também tendem a influenciar substancialmente o processo de *design*.

O projeto de *design* de um novo produto pode ser considerado como um procedimento que se desenvolve do incompleto para o completo, do abstrato para o concreto, e de soluções

alternativas para soluções ótimas (Grabowski & Huber, citado por Grabowski *et alli*, 1998)<sup>2</sup>. Deve-se considerar que o processo de *design* não é contínuo, mas interativo. Assim, uma solução em qualquer nível, que não preencha as necessidades de utilização do produto, deve gerar uma análise das decisões já tomadas, as quais serão modificadas com vistas ao desenvolvimento de novas soluções. Devido a essas características, o processo tradicional de *design* de um novo produto é fruto de experimentação, já que, dependendo do grau de inovação deste produto, não existem parâmetros ou base de comparação com produtos similares ao nível de mercado.

Em um processo de ER, o ponto de partida está em produtos já existentes e não em idéias concebidas. Por esta razão, caso não seja realizada uma pesquisa para determinar como os clientes avaliam o produto em questão e o que necessita ser nele melhorado, a ER de um produto resume-se à sua reprodução. Caso sejam identificadas e atendidas as necessidades dos consumidores através da modificação do produto pré-existente, a ER torna-se uma ferramenta de apoio à implementação destas modificações. As cinco fases típicas de um processo de ER e seu paralelo no processo tradicional de desenvolvimento de produtos vêm apresentadas no Quadro 1; essas fases são descritas em detalhes na seção 2.3.

QUADRO 1 – Seqüência de atividades que caracterizam o desenvolvimento de produtos conforme o processo tradicional e sob a ótica da Engenharia Reversa.

Processo tradicional	Engenharia Reversa
Necessidade Idéia de um novo <i>design</i> Protótipo & teste Produto	Produto Desmontagem Medição & testes Recuperação do <i>design</i> Protótipo & teste Produto ER

(Fonte: Ingle, 1994)

### 2.3 PRINCIPAIS ABORDAGENS PARA UTILIZAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

A maior parte da literatura sobre ER enfoca a sua utilização na reprodução de programas computacionais. Relativamente à reprodução de *hardware*, os trabalhos

<sup>2</sup> GRABOWSKI, H. ; Huber, R., Supporting Product Development Stages with an Integrated Knowledge based on Design System: JSME/ASMIE, Workshop Frontiers in Engineering Design, Tokyo, Jun 1993.

encontrados na literatura limitam-se à descrição de métodos de aquisição de dados através de digitalização de imagens (Geiger & Huber, 1994; Boulanger, 1998; e Lee & Woo, 1998, entre outros). Aspectos importantes a serem considerados na adaptação de produtos, como o *redesign* orientado pelas necessidades e demandas identificadas junto aos potenciais consumidores do produto, ou mesmo uma sistemática para análise de viabilidade econômica de estudos de ER, não são abordados na literatura.

Duas abordagens mais abrangentes sobre o tema ER podem ser encontradas nos trabalhos de Ingle (1994) e Otto & Wood (1998), e serão detalhadas nas seções que se seguem.

A abordagem proposta por Ingle (1994), concentra-se em atividades e tecnologias que permitam a reprodução fiel de uma peça ou sistema, partindo do pressuposto que a mesma não necessita de alterações. Apesar de restringir-se somente ao processo de ER em si, aspectos como a necessidade de avaliação financeira do processo de ER são enfatizados e todas as etapas necessárias à condução deste processo são descritas.

Otto & Wood (1998), por sua vez, apresentam uma metodologia de *redesign* onde a ER é utilizada como uma ferramenta de apoio. Este modelo tem como pilares a voz do consumidor, a ER e técnicas de modelagem, objetivando desenvolver um produto mais adequado, do ponto de vista mercadológico.

### **2.3.1 Técnica de Engenharia Reversa apresentada por INGLE (1994)**

Segundo a autora, a ER é uma técnica dividida em diversas etapas necessárias à reprodução de um produto, seja ele um componente de um equipamento para o qual não existe mais suporte técnico ou então um produto de difícil reposição. Sua execução parte do pressuposto que são demandados altos investimentos financeiros e mão de obra especializada para a condução de um estudo de ER. Assim, o estudo de ER, conforme proposto pela autora, tem início com uma pré-análise do produto a ser submetido ao processo, onde o fator determinante é a taxa de retorno sobre o investimento, ROI (*Return on Investment* – Retorno sobre o Investimento). Na seqüência, avalia-se o *design* da peça, sendo gerados os dados técnicos necessários à sua compreensão. O *design* é, finalmente, verificado quanto à sua viabilidade técnica e implementado.

A decisão de condução do processo de ER em um produto-candidato leva em consideração os seguintes pontos: ausência de dados técnicos sobre o produto, necessidade de manter ou atualizar uma linha de produção, alto custo para aquisição da peça ou alta taxa de defeitos.

Após terem sido reunidas todas as informações disponíveis sobre os produtos a serem submetidos ao processo de ER, como informações técnicas (desenhos técnicos, manuais e especificações) e informações econômicas (valores e custo com logística, entre outros), determina-se o tipo de projeto a ser desenvolvido. A definição do tipo de projeto caracteriza o processo de ER a ser adotado. Três processos, com níveis distintos de detalhamento sobre o produto, podem ser adotados:

1. Verificação do produto - processo de ER simplificado, já que todos os dados técnicos sobre o produto estão disponíveis, sendo necessária apenas a confecção de um protótipo;
2. Ampliação dos dados disponíveis – processo de ER mais aprofundado, necessário quando ocorrem mudanças no *design* de uma peça que não foram documentadas ou quando nem todos os dados técnicos estão à disposição do projetista.
3. Desenvolvimento de dados – estágio mais complexo da ER, pois parte somente da peça física (ou, em certos casos, de um desenho) para a confecção de plantas, determinação de materiais, tolerâncias e especificações, etc.

O processo de ER abrange diversas áreas dentro de uma empresa. Por esta razão a etapa inicial é a formação de uma equipe com especialistas em áreas técnicas e fabris, bem como profissionais com domínio nas áreas de finanças e informática. A partir deste momento, elegem-se os itens a serem submetidos ao processo de ER. A técnica de ER apresentada por Ingle (1994) tem início com uma pré-avaliação do produto em estudo, seguida de quatro etapas posteriores: (i) avaliação do *design* e verificação dos dados existentes, (ii) geração dos dados técnicos, (iii) construção do modelo (verificação do *design*), e (iv) implementação do *design*. Estas etapas são detalhadas na seqüência.

#### 2.3.1.1 Pré-avaliação

Nesta fase, obtêm-se informações básicas sobre o produto em estudo, tais como material técnico disponível, preço unitário e preço a ser alcançado, quantidade demandada

anual, custo anual, custo do projeto, estoques a serem mantidos, vida útil remanescente, fatores logísticos, determinação do tipo de projeto, fatores impeditivos, complexidade técnica, prioridade, economia projetada e retorno projetado sobre o investimento. Caso o produto ou produtos em questão sejam aprovados, recebem uma recomendação para iniciar o processo de ER. A seqüência de passos a ser adotada na etapa de pré-avaliação encontra-se esquematizada na Fig. 3.

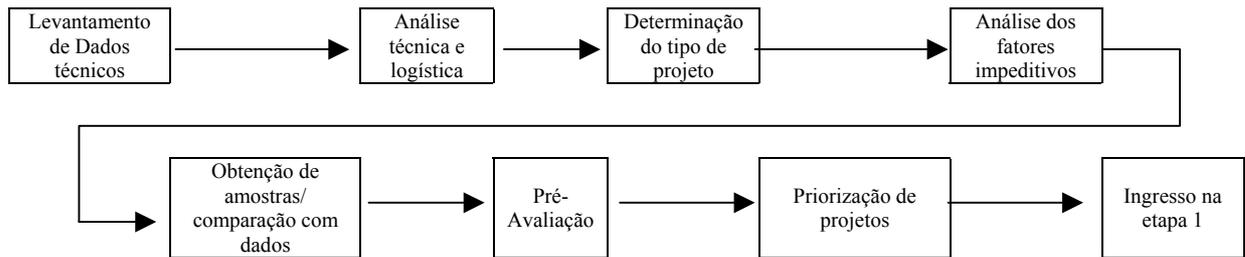


FIGURA 3 – Seqüência para pré-avaliação da ER em um produto. (Fonte: Adaptado de Ingle, 1994).

### 2.3.1.2 Avaliação do *design* e verificação dos dados existentes

Depois de recebida a aprovação na fase de pré-avaliação, o produto em estudo entra na etapa 1 da ER. Neste estágio, realiza-se a inspeção visual e dimensional do produto (com a utilização de recursos CAD), identificação dos materiais empregados, análise de discrepâncias à luz dos dados disponíveis. Além disso, buscam-se informações acerca das propriedades mecânicas e físicas do produto (tais como tensão, corrosão, peso, forma e acabamento, entre outros); para tanto, pode-se lançar mão de informações técnicas disponíveis em catálogo ou das técnicas de análise elencadas na seção 2.1.4. Concluídas as análises no estágio 1, avaliam-se os novos dados obtidos e prepara-se um relatório de análise qualitativa, onde são listadas e analisadas as discrepâncias identificadas entre os dados técnicos disponíveis sobre o produto e dados oriundos de observação prática. Este relatório constitui-se em um refinamento dos dados inicialmente coletados, resultado da obtenção de informações mais detalhadas sobre o produto.

A partir da análise das informações quantitativas coletadas nesta etapa e do relatório qualitativo obtido para o produto, pode-se tomar a decisão de abandonar o projeto ou dar continuidade, passando, então, à etapa 2.

### 2.3.1.3 Geração dos dados técnicos

O objetivo principal da etapa 2 no processo de ER é completar os dados técnicos faltantes após o levantamento técnico efetuado na etapa 1. A seqüência de passos sugerida para a obtenção e tratamento dos dados técnicos nesta etapa vem apresentada na Fig. 4. Dados técnicos a serem gerados na etapa 2 podem incluir dimensões, materiais, superfícies e acabamentos, tolerâncias e especificações do produto.

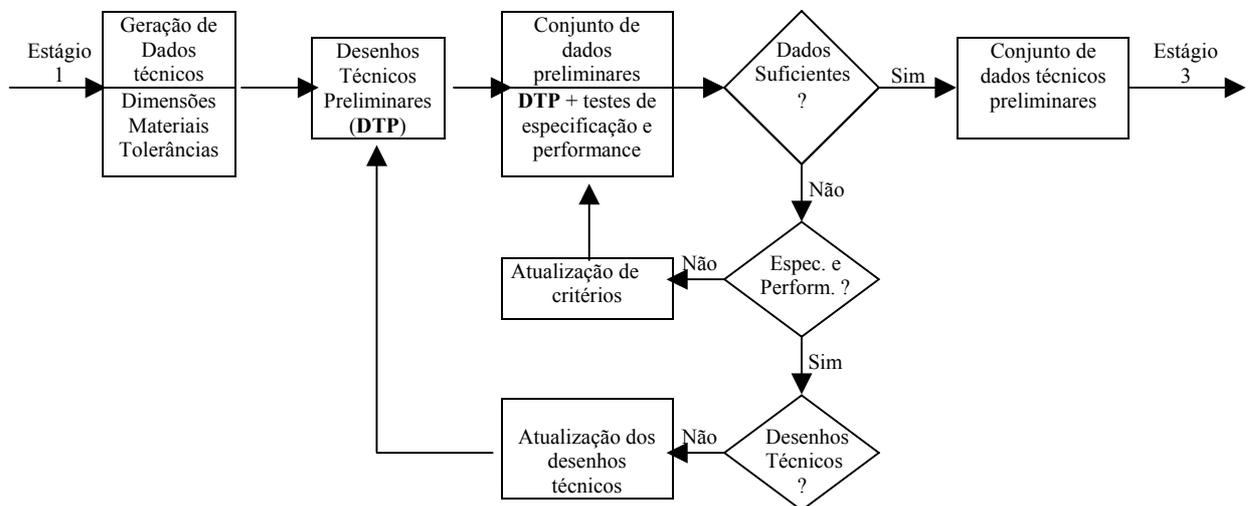


FIGURA 4 – Seqüência de passos para obtenção e tratamento de dados técnicos no estudo de ER. (Fonte: Adaptado de Ingle, 1994).

Muitas vezes, produtos analisados em estudos de ER apresentam componentes com *designs* obsoletos. Nestes casos, a substituição dos componentes por similares mais modernos pode ser a ação mais recomendada. Caso o produto em questão seja elétrico ou eletrônico, pode ser praticamente impossível submetê-lo a um processo de ER pura, em função da rápida obsolescência de suas partes componentes. Em alguns casos, a dimensão da melhoria demandada para o produto em estudo ou seus componentes pode caracterizar um estudo de Engenharia de Valor. Nestes casos, a geração de dados técnicos deve partir dos novos componentes a serem utilizados.

#### 2.3.1.4 Construção do modelo (verificação do *design*)

O método para validar os dados desenvolvidos na etapa anterior utiliza a fabricação e teste de protótipos. A determinação do número de protótipos a serem confeccionados varia conforme o grau de complexidade do produto, e da possibilidade deste ser submetido a altas temperaturas, pressões ou mesmo a altas velocidades (no caso de veículos, por exemplo). Caso a avaliação dos protótipos seja positiva, o conjunto final de dados estará finalizado, passando o projeto para a fase seguinte.

Diversas técnicas de prototipagem podem ser utilizadas na etapa de verificação do *design*. As técnicas tradicionais para construção de um protótipo utilizam-se de modelos físicos, construídos em argila, madeira ou cera perdida, entre outros. As técnicas mais recentes de desenvolvimento rápido de protótipos, entretanto, partem da construção do modelo por superposição de camadas, através da adição seletiva de materiais (ver seção 2.1.3 para uma revisão sobre métodos de prototipagem). A escolha entre uma ou outra técnica de prototipagem é definida pelo grau de acesso aos equipamentos por elas utilizados.

Além dos modelos físicos descritos acima, protótipos virtuais também podem ser utilizados nesta etapa. A prototipagem virtual consiste no processo de análise do *design*, simulação e teste de um produto em computador. O objetivo é refinar as informações disponíveis sobre o produto antes de se construir um protótipo físico (Kumar *et alli*, citado por Chandru & Manohar, 1997). Apesar dos progressos observados na área de prototipagem virtual, protótipos físicos continuam sendo indispensáveis para uma correta verificação da consistência dos dados levantados nas etapas anteriores da ER.

#### 2.3.1.5 Implementação do *design*

Nesta etapa, são definidos os critérios para produção interna do produto e seus componentes, ou para sua aquisição externa. Neste último caso, serão demandadas especificações técnicas, definição do tipo de embalagem a ser utilizada, formas apropriadas de

manuseio dos produtos e de suas partes, formas de pagamento, critérios de inspeção de qualidade, etc.

Assim, uma vez concluídas as etapas anteriores, inicia-se a implementação do projeto com a obtenção do primeiro lote de produtos na linha de produção ou com a primeira aquisição externa do produto.

### **2.3.2 Metodologia de *Redesign* proposta por OTTO & WOOD (1998)**

A metodologia proposta pelos autores insere a Engenharia Reversa em uma metodologia que objetiva não somente a reprodução direta de produtos, mas sim a introdução de melhorias ao projeto original com o auxílio de ferramentas como o QFD e o *benchmarking* (técnica que compara um produto com o melhor concorrente).

O processo de *Redesign* em Otto & Wood (1998) divide-se em três fases distintas: Engenharia Reversa, Modelagem e Análise e *Redesign*. Na primeira fase, obtêm-se as necessidades dos consumidores e também todos os dados disponíveis sobre o produto, num processo característico de ER. Na fase seguinte, são analisados os dados obtidos a partir da ER e confrontados com os dados obtidos através de consulta aos clientes. Na terceira fase, conforme o resultado obtido na fase anterior, propõem-se modificações que podem variar desde alterações de parâmetros de *design*, inclusão de novas características ao produto ou mesmo a formulação de um *design* inteiramente novo.

Em busca de um maior detalhamento, Otto & Wood (1998) desdobram as três fases acima em 8 etapas, as quais são detalhadas na seqüência.

#### **2.3.2.1 ER - Investigação, Prognóstico e Hipóteses.**

Esta etapa possui dois objetivos básicos: (i) identificar os limites do produto, obtendo junto aos consumidores suas necessidades, e (ii) tratar o produto como uma “caixa-preta”, formulando hipóteses sobre funções a serem desempenhadas e características necessárias.

Inicia-se o trabalho com um processo de *brainstorming* (técnica que consiste no lançamento de idéias sobre um determinado tema sem pré-julgamento; ver Osborn, 1963), onde o produto é tratado como se não existisse. Identificam-se as funções que o produto deve cumprir, o fluxo de materiais, os componentes que devem necessariamente estar agregados, entre outros. O objetivo de não lançar mão do produto em si nesta fase é o de evitar uma inércia criativa, pois o viés do produto já existente impediria questionamentos básicos sobre sua funcionalidade. Considere, por exemplo, uma chapa metálica para identificação de ativos fixos em uma empresa. Partindo-se da placa em si, a análise investigativa poderia apontar somente para uma mudança no modo de fixação da placa no objeto a ser patrimoniado (colar ou rebitar, ao invés de parafusar a placa). Se partirmos da análise da sua função, ou seja, identificar objetos, pode-se chegar a um sistema especial de identificação por pintura que terminaria por eliminar a utilização da placa.

O passo seguinte é ouvir a voz do consumidor. Estas técnicas incluem uso direto do produto, questionários, *focus groups* (grupos focalizados - técnica que consiste em reunir pessoas para debater sobre um determinado tema; ver Beyea & Nicoll, 2000) e entrevistas dirigidas. Usualmente, são entrevistadas nove ou mais pessoas para obter-se informações sobre produtos de consumo (Griffin & Hauser, citado por Otto & Wood, 1998)<sup>3</sup>. As informações coletadas são classificadas por ordem de importância, gerando como resultado uma lista completa das necessidades primárias e secundárias dos clientes e seus respectivos pesos de importância. Também nesta fase conduz-se um estudo de viabilidade econômica, para identificar o potencial retorno sobre investimento das alterações apontadas. Assumindo que o projeto seja viável, parte-se para a descrição das funções desejadas sob a forma de fluxos (ou seja, descreve-se cada função em seqüências de sub-funções). A função de aquecer e esfriar uma panela elétrica, por exemplo, seria descrita como: converter eletricidade em radiação, aquecer recipiente, regular temperatura, aquecer comida, isolar recipiente, e assim por diante.

### 2.3.2.2 ER – Desmontagem do Produto e Experimentação

A segunda etapa da fase de ER inicia-se com a desmontagem do produto, a fim de se compreender seu funcionamento em detalhe, gerando-se uma lista dos materiais utilizados na sua manufatura. Esta lista é originalmente denominada por Otto & Wood (1998) como BOM

---

<sup>3</sup> GRIFFIN, A. ; HAUSER, J., The Voice of the Customer, **Marketing Science**, 12(1), 1993.

– *Bill of Materials* ou lista dos materiais, seguindo a designação utilizada no *MRP – Materials Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades de Materiais, um sistema de gestão de materiais bastante utilizado pelas indústrias de manufatura (ver Vollman *et alli*, 1997, para maiores detalhes). Um desenho técnico apresentando todos os componentes também é recomendado. Por fim, constrói-se uma tabela SOP (*Subtract and Operate* – Retirar e operar), onde cada componente é retirado individualmente para analisar-se o efeito da utilização do produto na sua ausência; identificam-se, assim, os componentes desnecessários ou de baixa funcionalidade no produto.

### 2.3.2.3 ER – Análise Funcional

A desmontagem do produto permite obter informações detalhadas sobre funções dos componentes, parâmetros físicos e processos de manufatura. Estas informações devem ser comparadas com as necessidades dos clientes, identificadas na etapa 1, tal que os responsáveis pelas alterações no produto possam priorizar suas ações. Para tanto, a ferramenta a ser utilizada nesta etapa é a Análise Funcional, onde cada função desempenhada pelo produto ou desejada pelos clientes é descrita sob a forma de um fluxo de operações. No caso de uma panela elétrica, por exemplo, a função desejada “aquecer rapidamente” estaria representada pelo fluxo da corrente elétrica desde a conexão com a tomada até o aquecimento do recipiente que armazena o alimento.

### 2.3.2.4 ER – Análise Morfológica

Os dados obtidos nas duas etapas anteriores a partir da desmontagem do produto e de sua análise funcional provêm informações detalhadas para a evolução do processo de ER do produto em estudo. A etapa 4 inicia com o desenvolvimento de uma matriz formada em suas linhas por cada operação da fase 3, e nas colunas por soluções propostas - a este conceito denomina-se matriz morfológica. O objetivo desta matriz é identificar partes que porventura sejam listadas mais de uma vez, o que representaria que algum componente estaria desempenhando mais de uma função no produto. Por esta razão, modificações em uma das

operações isoladamente poderia repercutir negativamente neste componente, prejudicando o seu desempenho.

No exemplo anterior, onde uma panela elétrica é analisada, a operação “limpeza facilitada”, por exemplo, poderia ter como solução proposta a desmontagem do recipiente que recebe o alimento. Esta alteração, entretanto, afeta a transmissão de calor para o recipiente, não sendo, por esta razão, simples de ser efetuada ou mesmo recomendada.

#### 2.3.2.5 ER – Formação de Especificações Técnicas

A última etapa dentro da fase de ER compreende a formação de especificações, realização de *benchmarking* do produto e escolha dos componentes que serão aperfeiçoados no projeto. O objetivo desta etapa é definir os parâmetros numéricos a serem alcançados pelo produto nas necessidades apontadas pelos consumidores (Otto, citado por Otto & Wood, 1998)<sup>4</sup>. Desta forma, cada operação deve estar associada à pelo menos um item passível de ser mensurado. Os itens mensuráveis, por sua vez, possuem valores-alvo definidos a partir do *benchmarking* de produtos afins. Os resultados desta tabela devem ser dispostos na matriz da Casa da Qualidade do QFD, apresentada na próxima seção, criando desta forma um *ranking* de importância para as atividades correspondentes a serem desenvolvidas.

#### 2.3.2.6 Modelagem e Análise – Desenvolvimento de Modelos

A etapa 6 apresenta os passos para o desenvolvimento de modelos virtuais e físicos para o produto em estudo. Para se desenvolver um modelo virtual, inicia-se com a listagem dos componentes relacionados com as operações constantes na Casa da Qualidade. Também devem ser identificados os princípios físicos associados a cada componente. No exemplo da panela elétrica, o desejo do consumidor por “temperatura uniforme” é afetado pelos elementos aquecedor, controlador de temperatura, refletor de calor e recipiente que armazena a comida, sendo os princípios físicos a eles relacionados condução, propagação e radiação.

---

<sup>4</sup> Otto, K., Eine Methode zur Definition technischer Produktanforderungen, **Konstruktion**, n. 49, p. 19-25, 1997.

Após identificar os princípios físicos relacionados a cada desejo do consumidor, um Diagrama de Causa-e-Efeito deve ser elaborado para documentar este relacionamento. Neste diagrama, o efeito corresponde aos desejos dos consumidores, e as causas são os princípios físicos a eles associados.

O passo seguinte para confecção de modelos virtuais é a transformação do Diagrama de Causa-e-Efeito em um conjunto de equações matemáticas. No exemplo da panela elétrica, a uniformidade da temperatura foi analisada através de um conjunto de equações envolvendo a massa, o tempo de elevação da temperatura e o volume do recipiente que armazena a comida.

Em casos onde a construção de um protótipo é necessária, parte-se do princípio que as modificações no produto estão classificadas por ordem de importância; assim, mudanças devem ser efetuadas somente onde os consumidores desejarem. Usando novamente o exemplo anterior, caso o consumidor deseje uma panela elétrica com um cabo mais anatômico, não é necessário o desenvolvimento de um protótipo integral, mas somente um protótipo para o cabo da panela.

#### 2.3.2.7 Modelagem e Análise – Estratégias de Análises

Modelos virtuais ou físicos são desenvolvidos de forma a materializar cada demanda relevante identificada pelo consumidor, conforme apresentado na etapa anterior. Na etapa 7 deve-se desenvolver estratégias para que esses modelos sejam atingidos. No caso de modelos virtuais, as equações elaboradas devem ser convertidas em funções objetivas, equações simultâneas, ou equações que permitam simular a operação do produto. No caso de protótipos físicos, é necessário identificar as diferenças com relação ao produto original. Visto que freqüentemente os dados são gerados a partir de um único produto de referência, as tolerâncias devem ser inferidas a partir de analogias, bem como obtidas através de experimentação.

#### 2.3.2.8 *Redesign* – Paramétricos ou Adaptativos

Nas fases anteriores de ER e Modelagem e Análise, as demandas dos consumidores são identificadas e organizadas. Naquelas fases, funções para o produto em questão são elaboradas, hipóteses acerca de seus princípios físicos são formuladas, testadas e modeladas, e especificações técnicas são quantificadas e classificadas. A equipe responsável pelas mudanças no produto deve, na etapa 8, empregar estes dados em um bem-sucedido processo de *redesign*, que pode ser paramétrico ou adaptativo.

No *design* paramétrico, o modelo deve ser reformulado e calibrado de acordo com a solução escolhida. Técnicas de otimização e simulação são então aplicadas para se obter os novos parâmetros do produto. A validação dos dados se dá através de análise estatística de tolerâncias e, caso sejam obtidos resultados satisfatórios, inicia-se a fabricação de protótipos físicos com o fim de verificar os melhoramentos de *design* recomendados.

No *design* adaptativo, a primeira tarefa é atualizar a descrição funcional do produto de acordo com as demandas dos consumidores. A partir deste ponto, a equipe responsável pela condução do processo de *redesign* busca soluções alternativas através da modificação, retirada ou inclusão de funções ao produto.

#### 2.4 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

O QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade) é um método de desenvolvimento de novos produtos desenvolvido no Japão na década de 60. Sua implementação ocorre através do desdobramento de matrizes, para identificação de pontos críticos para a garantia da qualidade de produtos ao longo de todas as etapas do projeto e manufatura. A utilização sistemática do método iniciou na cidade de Kobe no ano de 1972. A primeira publicação sobre o tema data de 1978; desde então, vários autores têm contribuído para o seu desenvolvimento teórico (Ribeiro *et alli*, 1999). O QFD parte dos desejos e necessidades dos clientes; cada característica do produto ou de seu processo de fabricação é avaliada quanto ao seu potencial de atendimento a essas necessidades.

Mediante uma técnica de conversão das necessidades e desejos dos consumidores em especificações técnicas para o produto e seus processos de produção, pode-se ao mesmo tempo aumentar a satisfação do cliente e reduzir o tempo e os custos do projeto. O QFD, desta forma, pode ser definido como “um método que tem por fim estabelecer a qualidade do projeto, capaz de obter a satisfação do cliente e efetuar o desdobramento das metas do

referido projeto e dos pontos prioritários, em termos de garantia da qualidade, até o estágio da produção” (Akao, 1996).

Existem duas abordagens principais para utilização do QFD: o Modelo ASI, desenvolvido por Don Clausing (ver Cohen, 1995) e o modelo concebido por Akao (1996). O Modelo ASI é a abordagem mais difundida entre as empresas norte-americanas, dividindo-se em quatro fases (Eureka, citado por Ribeiro *et alli*, 1999)<sup>5</sup>:

- I. Planejamento do Produto (Matriz I);
- II. Projeto do Produto (Matriz II);
- III. Planejamento do Processo (Matriz III);
- IV. Planejamento da Produção (Matriz IV).

Neste modelo, as matrizes são sempre iguais, independentemente do produto desdobrado, o que não acontece com a abordagem de Akao que, além de mais completa, não necessariamente utiliza todas as etapas que compõem o seu modelo conceitual geral (Ribeiro *et alli*, 1999). O modelo ASI, proposto por Clausing, pressupõe o desdobramento de planilhas para planejamento e projeto de produto. Como o objeto de estudo desta dissertação é a adaptação de um produto partindo-se de outro existente, o modelo de Akao parece mais apropriado, sendo explorado em detalhes neste trabalho.

A estrutura formulada por Akao inicia com a Matriz da Qualidade e relaciona a qualidade demandada pelo consumidor com os requisitos técnicos necessários para atender a essa demanda de qualidade. As matrizes subseqüentes dependerão do modelo conceitual selecionado, do tipo de bem estudado e da profundidade da aplicação do QFD. A fim de auxiliar na exposição conceitual desta ferramenta, será apresentado a seguir um exemplo genérico de utilização do QFD para adaptação de um produto, formado pelas Matrizes da Qualidade, do Produto, dos Processos e de Defeitos. O relacionamento entre essas matrizes vem apresentado na Fig. 5. As matrizes são detalhadas nas seções que se seguem.

---

<sup>5</sup> EUREKA, W. ; RYAN, N. , **QFD: Perspectivas Gerenciais no Desdobramento da Função Qualidade**, Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

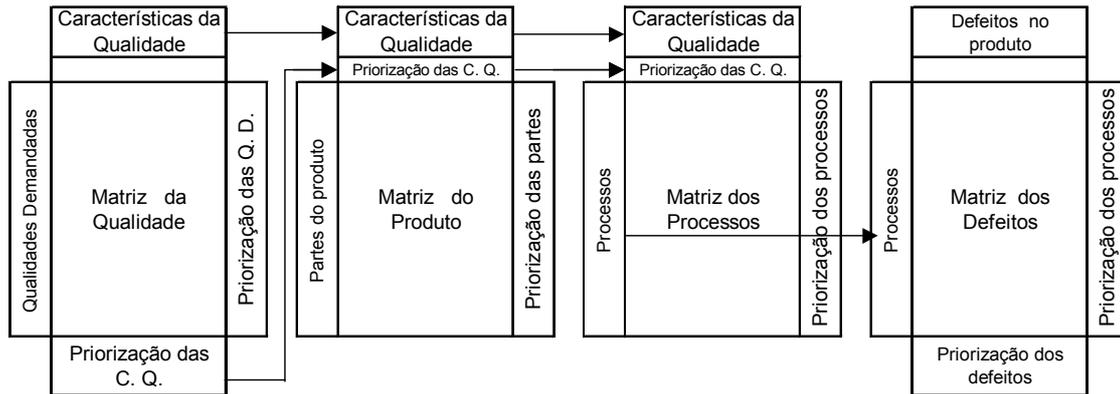


FIGURA 5 – Relacionamento das Matrizes do QFD (Fonte: Adaptado de Ribeiro, 1999)

### 2.4.1 Matriz da Qualidade

A utilização da matriz da qualidade tem início com a obtenção das características de qualidade demandadas pelos clientes. Estas informações podem ser coletadas de diversas formas, entre as quais (Akao, 1996): (i) *brainstorming*, praticado pelo setor comercial e outros setores envolvidos; (ii) pesquisa de satisfação; (iii) reuniões entre diferentes setores da empresa e clientes; (iv) pesquisa *in loco*; e (v) análise das reclamações por clientes relativamente a produtos similares.

Otto & Wood (1998) e Fogliatto & Guimarães (1999) aplicam a técnica de entrevistas na coleta de informações sobre a qualidade demandada pelos clientes. Nas entrevistas, posicionamentos espontâneos sobre o produto são gravados, sendo depois classificados por grupo e ordem de importância. Ribeiro *et alli* (1999) utilizam a técnica de questionários, com uma fase aberta, com perguntas amplas, e uma fase fechada, elaborada a partir dos dados obtidos com o questionário aberto. O resultado é cruzado com as características de qualidade correspondentes a estes itens ou, mais especificadamente, a tradução das características de qualidade demandadas em linguagem técnica.

A Fig. 6 apresenta, de forma esquemática, as variáveis que compõem a Matriz da Qualidade. As linhas da matriz apresentam os itens da qualidade demandada pelo cliente, coletado através de entrevistas ou questionários. As colunas são formadas pelas características da qualidade; indicadores técnicos utilizados para traduzir as demandas subjetivas da qualidade em requisitos mensuráveis e objetivos. Os demais elementos da Matriz da Qualidade na Fig. 6 são apresentados na seqüência.

Ouvir a voz dos clientes

	Característica de Qualidade 1	Característica de Qualidade 2	...	Característica de Qualidade n	Importância das QD $ID_b$	Análise Estratégica $E_b$	Priorização das QD $ID_b^*$
Qualidade Demandada 1	Relacionamento da Qualidade Demandada com as Características de Qualidade - $QD_{ab}$						
Qualidade Demandada 2							
....							
Qualidade Demandada n							
Especificações Atuais							
Importância das C.Q. - $IQ_a$							
Análise Competitiva - $B_a$							
Dificuldade de Atuação - $D_a$							
Priorização das C.Q. - $IQ_a^*$							

FIGURA 6 – Matriz genérica da Qualidade (Fonte: Ribeiro et alli, 1999)

- Relacionamento dos itens de qualidade demandada (QD) com as características de qualidade (CQ) do produto em estudo ( $QD_{ab}$ ) – é a medida de relacionamento entre QDs e CQs, onde  $a$  é o índice que designa as CQs e  $b$  o índice que designa as QDs. Através deste cruzamento de dados, obtêm-se, para cada QD identificada pelo cliente, a intensidade de seu relacionamento com cada CQ. A escala utilizada para medir a intensidade do relacionamento  $QD_{ab}$  utiliza os valores 9 (relacionamento forte), 3 (relacionamento baixo) e 1 (relacionamento fraco). Valores intermediários também podem ser empregados. A situação onde  $QD_{ab} = 0$  denota a ausência de relacionamento entre os elementos  $a$  e  $b$ .
- Importância da Qualidade Demandada ( $ID_b$ ) – trata-se do peso relativo de cada qualidade demandada; esta medida é determinada pelos clientes.
- Análise Estratégica dos itens de qualidade demandada ( $E_b$ ) – para cada item da qualidade demandada, determina-se a sua importância estratégica para os negócios futuros da empresa. A medição utiliza uma escala com valores variando entre 0 (nenhuma importância) e 2,0 (grande importância).
- Priorização dos itens de qualidade demandada ( $ID_b^*$ ) – nesta etapa, obtêm-se um índice corrigido que substitui o índice da qualidade demandada  $ID_b$ . O índice corrigido considera o peso de importância atribuído pelos clientes aos itens de qualidade demandada, bem como sua importância estratégica. Para o  $b^{\text{ésimo}}$  QD, o índice corrigido é dado por:

$$ID_b^* = ID_b \times \sqrt{E_b} \quad (1)$$

- Especificações Atuais – são os valores numéricos referentes às especificações atualmente empregadas pela empresa.
- Importância das Características de Qualidade ( $IQ_a$ ) – nesta etapa, determina-se a importância de cada CQ de qualidade através do relacionamento existente entre ela e cada item da qualidade demandada, ponderado por seu peso relativo. A expressão para a  $a^{\text{ésima}}$  CQ é:

$$IQ_a = \sum_{b=1}^n ID_b^* \times QD_{ab} \quad (2)$$

- Análise Competitiva das características de qualidade ( $B_a$ ) – o objetivo desta análise é realizar uma comparação com o produto a ser modificado através da ER, identificando em quais características de qualidade este se encontra acima ou abaixo do produto-alvo. A escala aqui utilizada varia entre 0,5 (acima do produto-alvo) e 2,0 (muito abaixo do produto-alvo).
- Dificuldade de Atuação sobre a característica de qualidade ( $D_a$ ) – avalia-se, nesta etapa, a dificuldade para se efetuar modificações nas CQ. A escala utilizada nesta avaliação varia entre 0,5 (muito difícil de atuar) e 2,0 (muito fácil de atuar).
- Índice de priorização das CQ ( $IQ_a^*$ ) – este valor origina-se de uma nova ponderação para o item Importância da Característica da Qualidade, considerando-se o valor atribuído na Análise Competitiva e a Dificuldade de Atuação para cada CQ. A expressão do item de priorização para a  $a^{\text{ésima}}$  CQ é:

$$IQ_a^* = IQ_a \times \sqrt{B_a} \times \sqrt{D_a} \quad (3)$$

#### 2.4.2 Matriz do Produto

A Matriz do Produto objetiva relacionar os componentes do produto com as características de qualidade identificadas na matriz da qualidade, auxiliando desta forma na identificação de partes críticas para a qualidade do produto final. A Fig. 7 apresenta as variáveis que compõem a matriz do produto; estas variáveis vêm detalhadas na seqüência.

	Característica de Qualidade 1	Característica de Qualidade 2	...	Característica de Qualidade n	Importância das partes	Dificuldade	Tempo	Priorização
	Priorização das C. Q.				$IP_d$	$D_d$	$T_d$	$IP_d^*$
Parte 1	Relacionamento das Partes/Componentes do Produto com as Características de Qualidade - $PQ_{cd}$							
Parte 2								
...								
Parte n								

FIGURA 7 – Matriz genérica do Produto (Fonte: Ribeiro et alli, 1999)

- Componentes – São desdobradas todas as partes que compõe o produto final, de modo que nenhum componente deixe de ser analisado.
- Características de Qualidade e Priorização das CQ ( $IQ_a^*$ ) – Informações provenientes da Matriz da Qualidade, na etapa anterior.
- Relacionamento das Partes/Componentes do Produto com as CQ ( $PQ_{cd}$ ) – a atribuição deste relacionamento visa identificar quais componentes estão mais relacionados com as características de qualidade e, por conseqüência, com os itens de qualidade demandados pelo cliente. A atribuição dos valores de relacionamento é similar àquela descrita para a Matriz da Qualidade, utilizando a mesma escala.
- Importância das Partes ( $IP_d$ ) – calculada considerando a intensidade do relacionamento entre cada componente do produto e a priorização das CQs, mediante a seguinte expressão:

$$IP_d = \sum_{c=1}^n PQ_{cd} \times IQ_a^* \quad (4)$$

- Dificuldade de Implantação ( $D_d$ ) – avalia-se, nesta etapa, a dificuldade para se efetuar melhorias no componente em questão. A escala utilizada na avaliação varia entre 0,5 (muito difícil de atuar) e 2,0 (fácil de atuar).
- Tempo de Implantação ( $T_d$ ) – critério de avaliação similar ao item anterior. Avalia-se, aqui, o tempo necessário para a implantação de melhorias no componente ou parte em questão. A escala utilizada varia entre 0,5 (implantação demanda muito tempo) e 2,0 (implantação demanda pouco tempo).

- Priorização das Partes ou Componentes ( $IP_d^*$ ) – nesta etapa, o valor de  $IP_d$  é corrigido em função do tempo e dificuldade para implantação de melhorias na parte ou componente em estudo; a expressão para a  $d^{ésima}$  parte ou componente é dada por:

$$IP_d^* = IP_d \times \sqrt{D_d} \times \sqrt{T_d} \quad (5)$$

### 2.4.3 Matriz dos Processos

Esta matriz objetiva identificar quais processos estão mais relacionados com as Características de Qualidade e que, portanto, devem ser analisados. A Fig. 8 apresenta as variáveis que a compõe:

	Característica de Qualidade 1	Característica de Qualidade 2	...	Característica de Qualidade n	Importância da parte	Dificuldade	Tempo	Priorização
	Priorização das C. Q.				$IPR_f$	$D_f$	$T_f$	$IPR_f^*$
Processo 1	Relacionamento dos Processos com as Características de Qualidade - $PRQ_{ef}$							
Processo 2								
....								
Processo n								

FIGURA 8- – Matriz genérica dos Processos (Fonte: Ribeiro et alli, 1999)

- Processos – É o desdobramento das etapas de fabricação do produto, organizados de modo que todos os processos de produção estejam listados.
- Características de Qualidade e Priorização das CQ ( $IQ_a^*$ ) – Informações provenientes da Matriz da Qualidade.
- Relacionamento das Partes/Componentes do Produto com as CQ ( $PRQ_{ef}$ ) – A atribuição deste relacionamento visa identificar quais processos estão mais relacionados com as características de qualidade e, por consequência, com as qualidades demandadas pelo cliente. A atribuição de valores é idêntica à da Matriz de Qualidade.

- Importância dos Processos ( $IPR_f$ ) – É calculada considerando a intensidade do relacionamento entre cada processo e a priorização das características de qualidade, mediante a expressão:

$$IPR_f = \sum_{e=1}^n PRQ_{ef} \times IQ_a^* \quad (6)$$

- Dificuldade de Implantação ( $D_f$ ) – Avalia-se nesta etapa a dificuldade para se efetuar melhorias no processo em questão. A escala varia entre 0,5 – muito difícil até 2,0 – fácil.
- Tempo de Implantação ( $T_f$ ) – Avalia-se aqui o tempo de implantação de melhorias no processo. A escala varia de 0,5 – muito tempo até 2,0 – pouco tempo.
- Priorização dos Processos ( $IPR_f^*$ ) – Obtido através da expressão abaixo, onde o item Importância dos Processos têm seu valor corrigido em função do tempo e dificuldade para implantação de melhorias.

$$IPR_f^* = IPR_f \times \sqrt{D_f} \times \sqrt{T_f} \quad (7)$$

#### 2.4.4 Matriz dos Defeitos

Esta matriz é uma adaptação da Matriz dos Processos, e visa a estratificação dos defeitos tomando-se como base não somente a frequência dos defeitos, mas também o tempo e a dificuldade para corrigi-los. Também se obtêm uma estratificação dos processos baseada no grau de relacionamento entre os processos e os defeitos, o que permite identificar processos que, apesar de não relevantes para a qualidade demandada pelo cliente, possuem problemas de qualidade.

A primeira etapa para confecção desta matriz está na obtenção dos defeitos existentes nos produtos atualmente fabricados. Coletando-se um número pré-determinado de amostras da linha de produção, submete-se as mesmas a critérios de inspeção determinados pelo departamento técnico da empresa, conforme exemplo genérico a seguir:

### AVALIAÇÃO DO PRODUTO: X

AVALIADOR:

DATA:

REFERENCIA:

Amostras

ITEM	CRITÉRIO DE INSPEÇÃO	MÉTODO	1	2	3	4	5	6

FIGURA 9 – Exemplo genérico de folha de inspeção de defeitos

O passo seguinte é montar a Matriz de acordo à Fig. 10:

	Defeito 1	Defeito 2	...	Defeito n	Importância do Processo
					$IPDE_h$
Processo 1	Relacionamento dos processos com os defeitos - $PDE_{gh}$				
Processo 2					
....					
Processo n					
Importância dos Defeitos - $IDE_g$					
Dificuldade - $D_g$					
Tempo - $T_g$					
Priorização dos Defeitos - $IDE_g^*$					

FIGURA 10 - Matriz genérica dos Defeitos (Fonte: Adaptado de Ribeiro et alli, 1999)

- Defeitos – Originado da confecção de uma tabela diária/semanal aonde são listados os defeitos encontrados no produto final.
- Processos – É o desdobramento das etapas de fabricação do produto, organizados de modo que todos os processos de produção estejam listados. Provém da Matriz de Processos.
- Relacionamento dos Processos com os Defeitos ( $PDE_{gh}$ ) – A atribuição deste relacionamento visa identificar quais processos estão mais relacionados com os defeitos encontrados no produto final. A atribuição de valores é idêntica à da Matriz de Qualidade.

- Importância dos Processos ( $IPDE_h$ ) – É calculada considerando a intensidade do relacionamento entre cada processo e os defeitos listados e a priorização destes últimos, mediante a seguinte expressão:

$$IPDE_h = \sum_{g=1}^n PDE_{gh} \times IDE_g^* \quad (8)$$

- Importância do Defeito ( $IDE_g$ ) – Provém da frequência semanal dos defeitos aferida pela folha de inspeção mencionada.
- Dificuldade de Implantação ( $D_g$ ) – Avalia-se, nesta etapa, a dificuldade para se corrigir o defeito em questão. A escala varia entre 0,5 – muito difícil até 2,0 – fácil.
- Tempo de Implantação ( $T_g$ ) – Critério de avaliação idêntico ao item anterior. Avalia-se aqui o tempo para correção do defeito conforme uma escala que varia de 0,5 – muito tempo até 2,0 – pouco tempo.
- Priorização dos Defeitos ( $IDE_g^*$ ) – Obtido através da expressão abaixo, onde o item Importância do Defeito tem seu valor corrigido em função do tempo e dificuldade para implantação de melhorias, como segue:

$$IDE_g^* = IDE_g \times \sqrt{D_g} \times \sqrt{T_g} \quad (9)$$

## 2.5 FERRAMENTAS PARA MELHORIA DE PROCESSOS

Com o apoio do QFD, é possível identificar os processos de fabricação que mais afetam a qualidade demandada pelo cliente. Com base nestas informações, faz-se necessário uma avaliação destes processos objetivando melhorar o seu desempenho e procedimentos que possibilitam o seu controle.

Existem duas técnicas básicas para análise de processos: os diagramas de processo e as cartas de processo (Krajewski & Ritzman, 1999). Ambas as técnicas podem ser aplicadas para desenvolver novos processos ou readequar processos já existentes. O diagrama de processo é um fluxograma que detalha, com o auxílio de gráficos, a seqüência de operações que caracteriza um processo. A carta de processo é uma tabela onde as operações do processo são listadas e classificadas quanto a sua natureza (operação *per se*, transporte, inspeção, espera,

armazenamento ou preparação). Diagramas e Cartas de Processo são obtidos a partir do mesmo conjunto básico de informações: as operações que constituem os processos. As cartas de processo, todavia, são mais facilmente operacionalizáveis no mapeamento de processos, razão pela qual serão enfocadas neste trabalho.

O objetivo da Carta de processo é mapear processos visando sua análise e melhoria. Todavia, essas cartas não possibilitam avaliar as falhas conhecidas ou passíveis de ocorrência nas diferentes operações do processo. Quando tal avaliação é desejada, uma outra técnica pode ser empregada: o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* - Análise dos Modos e Efeitos de Falha). O FMEA é empregado para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais em um sistema, projeto, processo ou serviço antes que o produto seja utilizado pelos consumidores.

As cartas de processo e o FMEA, utilizados como técnicas de análise e melhoria de processos, serão abordados nas seções que se seguem.

### **2.5.1 Cartas de Processo**

A utilização de cartas de processo em ambiente de manufatura oferece um método sistemático de desdobramento de processos em todas as operações ou atividades desempenhadas por uma pessoa ou estação de trabalho em relação aos seus *inputs*. A carta de processo é composta por uma tabela onde cada operação desempenhada é classificada segundo diversas categorias. As categorias mais comumente utilizadas na classificação de operações são: Operação, Transporte, Inspeção, Espera, Armazenamento ou Preparação (*Setup*) (Krajewski & Ritzman, 1999). Dentre estas categorias de classificação, a única que agrega valor ao produto é a de operação, razão pela qual busca-se reduzir ou eliminar as demais categorias nos processos analisados.

O objetivo principal das cartas de processo é promover a melhoria contínua dos processos. Durante a montagem das cartas, o analista deve questionar a necessidade de cada operação, bem como a possibilidade de combinação ou rearranjo de operações. Na análise a partir das cartas de processo, deve-se sempre partir do princípio de que existem maneiras mais fáceis de executar as operações e que essas devem ser descobertas.

Uma vez montada uma carta de processo, ela torna-se o ponto de partida para uma análise do processo através de *brainstormings* ou de simples sugestões de melhorias.

A Fig. 11 traz um exemplo genérico de carta de processo. A sistemática de operacionalização é a seguinte. Listam-se as atividades ou operações que compõem o processo nas linhas da tabela, na seqüência em que ocorrem no processo. Coletam-se informações acerca do tempo médio de execução das operações e o deslocamento demandado em sua execução, quando este for o caso. A seguir, classificam-se as atividades ou operações conforme sua natureza, marcando na coluna correspondente ao tipo de atividade (os símbolos utilizados nos cabeçalhos das colunas vêm descritos na seção inferior da tabela). Finalmente, para facilitar a visualização do processo, elabora-se um sumário das atividades e operações, conforme sua classificação (porção inferior da Fig. 11). No exemplo apresentado, pode-se observar que, das 10 atividades listadas, somente duas são classificadas como operações; neste contexto, as demais atividades seriam consideradas como objetos de análise em busca de melhorias no processo.

Processo: **Montagem do componente X**

Passo #	Descrição	Tempo (min)	Distância (m)	O	T	I	E	A	S
1	Operação 1	1	5		X				
2	Operação 2	1		X					
3	Operação 3	0,5				X			
4		1					X		
5		3	6		X				
6		3							X
7		2							X
8		2		X					
9		1							X
10	Operação n	0,5	5			X			

Atividade		passos	tempo	dist.
Operação	O	2	3	
Transporte	T	2	4	16
Inspeção	I	2	1	
Espera	E	1	1	
Armazenamento	A			
Set-up	S	3	6	

FIGURA 11 – Exemplo genérico de carta de processo.

### 2.5.2 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

A Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*) é uma ferramenta utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais em um sistema, projeto, processo ou serviço antes que o produto seja utilizado pelo consumidor (Omdahl, citado por Stamatis, 1995). O FMEA foi desenvolvido por engenheiros de Confiabilidade no final da década de 50, como ferramenta auxiliar no estudo de problemas que poderiam surgir devido a falhas de funcionamento em sistemas militares (Hoyland & Rausand, 1994).

Para descrever o FMEA, alguns conceitos básicos devem ser introduzidos, a saber (Stamatis, 1995):

- Função – representa a tarefa que um sistema, projeto, processo, componente ou serviço deve desempenhar.
- Falha – inabilidade do sistema em desempenhar suas funções esperadas.
- Modo de falha – descrição física da falha.
- Ocorrência – frequência de incidência da falha.
- Severidade – gravidade (em termos de efeito sobre o usuário do sistema) da falha.
- Detecção – capacidade de detectar a falha antes que ela chegue ao usuário.
- RPN (*Risk Potential Number*, Grau de Risco Potencial) – índice utilizado na priorização das ações corretivas a serem realizadas sobre o sistema, determinado através da seguinte expressão:

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \quad (10)$$

Existem quatro tipos de FMEAs: (i) de sistema, usado na análise de sistemas ainda no estágio de concepção do produto; (ii) de *design*, aplicado em produtos antes de seu envio à produção; (iii) de processo, utilizado na análise de processos de fabricação e montagem de produtos; e (iv) de serviço, utilizado na análise de serviços, ainda em sua fase de projeto (Stamatis, 1995). Nesta dissertação, propõe-se a utilização do FMEA como uma ferramenta

auxiliar na análise de processos. Assim, somente o FMEA de processo será abordado nesta revisão.

A condução do FMEA de processo permite identificar deficiências nos processos e planejar ações corretivas que evitem sua reincidência. O FMEA de processo também oferece meios para o estabelecimento de uma priorização das ações corretivas elencadas para o processo em estudo. No Quadro 1, apresenta-se a planilha tipicamente utilizada em uma análise de FMEA de Processo; os elementos componentes da planilha vêm apresentados na seqüência, seguindo a numeração apresentada no Quadro 2 .

#### QUADRO 2 – Exemplo da planilha utilizada em estudos de FMEA de Processo

Nome do Processo: (1)

Função do Processo	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Método Detecção	Detecção	RPN	Ação recomendada
(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)

Fonte: (Adaptado de Hoyland & Rausand, 1994)

1. Nome do processo, para fins de controle e arquivo.
2. Função que o processo desempenha no produto em estudo.
3. Descrição física da falha.
4. Modo de percepção da falha pelo usuário. Ruído, instabilidade e trepidação são exemplos de efeitos.
5. A severidade é avaliada utilizando uma escala selecionada pela equipe responsável pelo projeto. A escala mais comumente utilizada, apresenta valores que variam entre 1 (nenhuma severidade) e 10 (falha catastrófica). Exemplos de escalas para avaliação da severidade podem ser encontrados em Stamatis (1995).
6. Descrição da raiz do problema. Identifica-se aqui a causa principal de ocorrência da falha.
7. A ocorrência da falha é avaliada utilizando-se uma escala similar àquela utilizada na avaliação de sua severidade. A escala mais comumente utilizada, apresenta valores entre 1 (ocorrência inexistente) e 10 (ocorrência quase certa da falha). Outros exemplos de escalas podem ser encontrados em Stamatis (1995).

8. Neste campo, descreve-se como é feita a verificação e prevenção da falha em questão. Caso ainda não exista nenhum método planejado para detectar o modo de falha, o novo método deve ser listado no campo de Ações Recomendadas (11).
9. O potencial de detecção da falha é determinada de maneira similar à sua ocorrência e a severidade; isto é, através da utilização de uma escala numérica com descrições qualitativas. A escala mais comumente utilizada nesta avaliação, apresenta valores entre 1 (detecção quase certa) e 10 (detecção quase impossível).
10. Corresponde ao valor obtido através da equação (10). O RPN auxilia a priorizar as falhas listadas no FMEA para posterior análise. Por exemplo, caso o analista deseje atuar sobre 95% das falhas apontadas no FMEA, todas as falhas que obtiverem um  $RPN > 50$  deverão ser analisadas, já que o valor máximo de RPN a ser observado para uma falha qualquer é dado por  $(10 \times 10 \times 10) = 1000$ .

## 2.6 TÉCNICAS COMPLEMENTARES DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Durante o processo de Engenharia Reversa de um produto, podem surgir situações onde a utilização de outras técnicas de desenvolvimento de produtos sejam necessárias, tanto para agilizar o processo de desenvolvimento ou devido a sua maior adequabilidade ao produto em estudo. Existem diversas metodologias para o desenvolvimento de novos produtos, porém as mais aplicáveis em conjunto com a ER são a Engenharia de Valor (EV) e a Engenharia Simultânea (ES). A seguir, apresenta-se uma breve conceituação das técnicas de EV e ES, ressaltando características que habilitam sua utilização em estudos de Engenharia Reversa.

### 2.6.1 Engenharia de Valor

A Engenharia de Valor (EV), também conhecida como Análise de Valor, foi desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial com o propósito de auxiliar na busca por novos materiais de baixo custo e grande disponibilidade, que pudessem substituir materiais de custo mais elevado na produção de armamentos, durante os anos de conflito (Csillag, 1995). Sua sistematização em nível comercial, através de técnicas que visavam analisar produtos a

partir de suas funções, teve início com as pesquisas de Lawrence D. Miles, a partir de 1947. A técnica foi inicialmente denominada Análise de Valor, quando aplicada no estudo de produtos já existentes, e Engenharia de Valor, quando aplicada no estudo de produtos novos. Com o decorrer dos anos, os dois termos passaram-se a ser utilizados indistintamente.

Em sua definição clássica, a EV consiste na aplicação sistemática de um conjunto de técnicas que identificam as funções necessárias em um produto, estimam seu valor e desenvolvem alternativas para desempenhar tais funções a um mínimo custo (Heller citado por Csillag, 1995)<sup>6</sup>. Ao analisarem-se as funções desempenhadas por um produto, compara-se o que está sendo oferecido com as necessidades do mercado. Assim, é possível identificar onde termina o desempenho satisfatório do produto e onde começa o seu “excesso de desempenho”, que implica em valor extra, pelo qual o usuário não está disposto a pagar. Segundo a EV, o valor real de um produto pelo cliente pode ser expresso pela sua função de uso, dada pela razão *Benefícios Percebidos/Preço*. Assim, o valor real de um produto pode ser aumentado mediante alterações que promovam uma redução de preço ou pela incorporação de novas funções, ampliando os benefícios percebidos pelo cliente.

O ponto chave para aplicação da EV consiste na determinação correta das funções de uso de cada componente. Para tanto, é necessário o uso de técnicas que permitam a utilização do raciocínio criativo, desvinculado da observação lógica usualmente aplicada sobre o produto.

Tomando-se como exemplo o tratamento térmico aplicado à um componente automotivo. Se a função é tratar termicamente uma peça, a descrição do processo é clara, porém não permite abstrações. Partindo-se de outro enfoque, via questionamentos básicos, o caminho a ser percorrido alterna-se substancialmente. Deste modo, a colocação das seguintes perguntas: (i) Qual o objetivo? (ii) Por que? (iii) Como fazê-lo? permite novos questionamentos a partir das respostas obtidas, que auxiliarão na análise do problema de forma mais aprofundada.

Qual o objetivo?	Aumentar a resistência
Por que?	Para evitar quebras
Como fazê-lo?	Controlando o processo de resfriamento

FIGURA 12 – Base de pensamento para a Engenharia de Valor

<sup>6</sup> HELLER, E., **Value Management**: Value Engineering and Cost reduction, Massachusetts: Addison-Wesley, 1971.

A utilização conjunta da EV em um processo de Engenharia Reversa tende a ampliar seus horizontes, pois a abordagem não mais se restringiria à reprodução fiel da peça original, mas focalizaria no desenvolvimento de um melhor produto. A utilização da análise funcional, conforme proposto pela EV, no processo de desmontagem do produto, permite identificar problemas nos seus componentes, como alto custo ou excesso de desempenho em comparação ao produto final. Este seria o caso, por exemplo, ao analisar-se um motor com vida média de 8 anos utilizado em um produto com vida útil estimada em 5 anos. A análise funcional em conjunto com a ER também fornece subsídios para o questionamento da necessidade dos componentes na aplicação à qual o produto final se destina.

### 2.6.2 Engenharia Simultânea

Atualmente, com o aumento da demanda por novos produtos desenvolvidos em intervalos mais curtos de tempo, o tempo total de desenvolvimento de um produto tornou-se um fator decisivo para a sobrevivência de muitas empresas (Chandru & Manohar, 1997). Por outro lado, a evolução tecnológica obriga a uma especialização cada vez maior, o que amplia a divisão de tarefas e o número de pessoas envolvidas neste processo. Uma das técnicas utilizadas na solução deste paradoxo é a Engenharia Simultânea (ES). A ES pode ser conceituada como uma técnica para integrar o desenvolvimento de produtos enfatizando a cooperação de trabalhos em equipe. Na ES, tomadas de decisão devem ser precedidas por grandes intervalos sincronizados de trabalho em paralelo (através dos diversos departamentos envolvidos no desenvolvimento de produtos). O objetivo é promover uma constante troca de informações entre as partes envolvidas no projeto dos produtos, de modo a produzir consenso. (Cleetus, citado por Ingle 1994)<sup>7</sup>.

A aplicação da ES permite que as diversas etapas de desenvolvimento do produto sejam conduzidas de forma paralela, reduzindo assim o tempo total necessário para completar o desenvolvimento. A utilização de equipes multifuncionais formadas por representantes dos diversos setores da empresa onde ocorram cruzamentos de funções por consequência da participação em mais de uma etapa do processo de desenvolvimento do produto (principalmente *design* e manufatura), contribui de forma sinérgica para reduzir o tempo total

---

<sup>7</sup> CLEETUS, K., CERC-TR-RN-92-003, Concurrent Engineering Research Center, West Virginia University, Morgantown, West Virginia.

de duração do projeto e também para otimizar o processo de produção. Por meio de uma adequada coordenação, o projeto flui de um departamento para o outro, sendo as responsabilidades pelo resultado final repartidas entre si. Atualmente, com a consolidação mundial da Internet e das telecomunicações, equipes de trabalho geograficamente distantes podem trabalhar simultaneamente formando a equipe de projeto, permitindo o emprego de *experts*, especialmente em projetos mais complexos.

Uma aplicação de Engenharia Reversa faz uso de diversos profissionais dentro da empresa. Por exemplo, profissionais do *Marketing* definem os requisitos do cliente, os da Engenharia definem o produto e suas características técnicas, os da Manufatura definem os processos de produção do produto, os de Compras determinam o custo dos componentes e matérias-primas, e assim por diante. Frente às demandas operacionais da ER, faz-se necessária a consolidação do trabalho em equipe que, de forma coordenada e sistemática, configura-se em um processo de Engenharia Simultânea.

### 3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo, propõe-se uma metodologia para adaptação de produtos manufaturados a mercados consumidores diferentes daqueles para os quais os produtos foram originalmente concebidos. Esta metodologia é voltada para mercados estratégicos e relevantes em termos de volume de produtos comercializados, nos quais a introdução de um produto demanda adaptações em pelo menos dois níveis. Num primeiro nível estão as peculiaridades do mercado, caracterizadas por conceitos como costume e tradição; num segundo nível, estão as próprias especificações do cliente importador, que deseja produtos diferenciados em seu portfólio. A metodologia utiliza a técnica descrita na revisão bibliográfica (Engenharia Reversa, tendo como ferramentas auxiliares o QFD, as cartas de processo e os estudos de FMEA) e baseia-se nos princípios da pesquisa-ação (ver seção 1.4). Na metodologia proposta, as etapas *Principal* e *de Ação* foram desdobradas, resultando em um total de oito etapas, das quais parte é conduzida simultaneamente devido à necessidade de rapidez no processo de desenvolvimento.

A metodologia proposta, descrita nas seções que se seguem, é implementada em oito etapas: *Coleta de Dados, Engenharia Reversa, QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Viabilidade Financeira, Prototipagem, Qualidade, Implementação e Análise dos Resultados.*

#### 3.1 COLETA DE DADOS

Esta etapa inicial, diferentemente da metodologia proposta por Otto & Wood (1998), não busca junto aos consumidores as características demandadas no produto em adaptação; as informações de demanda por adaptações devem ser obtidas junto aos clientes importadores, responsáveis pela inserção do produto nos novos mercados. Ou seja, as informações de demanda por adaptações no produto são obtidas junto aos indivíduos que detêm o *know-how* do mercado, reduzindo significativamente os custos relacionados a pesquisas de mercado.

Entre os dados a serem repassados pelos clientes importadores, estão as especificações técnicas do produto, o *target-price* (preço-alvo), custos de frete e impostos para cálculo do

preço DDP do produto (*Delivered Duty Paid* – Preço posto no estabelecimento do cliente com os custos de importação incluídos). Também são identificadas os itens de qualidade demandados pelo cliente importador, com seus respectivos pesos de importância. Além destas informações, com o objetivo de facilitar o processo de adaptação do produto em estudo, é necessário obter amostras de produtos concorrentes que apresentem um ou mais dos itens de qualidade demandados pelo cliente importador.

Já que o cliente é um comprador técnico, com forte conhecimento do produto e dos fabricantes concorrentes, a obtenção dos itens de qualidade demandada, bem como a atribuição de pesos à estas qualidades, pode se realizar tanto através de questionário quanto de entrevista.

### 3.2 ENGENHARIA REVERSA

Dentro do processo atual de globalização de mercados, basear-se exclusivamente na obtenção de um preço-alvo como fator competitivo para introdução de um produto em novos mercados é uma estratégia de curto prazo. Tendo em vista que o objetivo desta metodologia não se limita a simples reprodução de uma peça, mas abrange a customização de produtos, utiliza-se a ER e seus habilitadores como apoio à identificação das diferenças entre o produto atual e o produto a ser desenvolvido. Dependendo do tipo de produto, pode-se lançar mão do uso dos *Scanners 3D* para agilizar a confecção dos desenhos técnicos, trabalhando-se posteriormente os dados obtidos utilizando-se ferramentas CAD. Caso não haja modificações no *design* do produto, parte-se diretamente para uma análise que identifique os pontos fracos no produto atual que, uma vez solucionados, podem transformar-se em argumentos de convencimento para a substituição do produto atualmente comercializado pelo cliente importador.

### 3.3 QFD

Tomando-se como base os Itens de Qualidade Demandada priorizados pelo cliente importador na primeira etapa da metodologia, e as Características de Qualidade apontadas pelo fabricante do produto, inicia-se a montagem da Matriz da Qualidade. Após o desdobramento das Matrizes do Produto e dos Processos, determinam-se quais processos na fábrica devem ser focalizados para garantir a qualidade do produto final. Um roteiro de utilização das matrizes do QFD pode ser encontrado na seção 2.4. Os processos prioritários identificados nesta etapa serão trabalhados, em busca de um melhor monitoramento de seu desempenho, na etapa da qualidade, apresentada na seção 3.6.

### 3.4 VIABILIDADE FINANCEIRA

Toda modificação em um processo produtivo representa um custo a ser absorvido. Neste caso, deve-se conduzir uma análise financeira baseada nos volumes de comercialização previstos, na taxa de lucro estimada e no custo de financiamento das alterações previstas. A análise financeira, isoladamente, pode apontar a inviabilidade do projeto dado o grau de competitividade praticado nos principais mercados internacionais. Fatores de ordem estratégica e de *marketing*, como ampliação da base de mercados e clientes ou o fato da empresa exportadora estar cadastrada como *global supplier* (fornecedor em nível global) de uma empresa de renome mundial podem, entretanto, justificar a condução do projeto.

### 3.5 PROTOTIPAGEM

Nesta etapa, são preparadas amostras para análise por parte do cliente importador. Caso existam alterações no *design* do produto, aconselha-se o uso de alguma das técnicas de prototipagem rápida mencionadas na seção 2.1.3 da revisão bibliográfica, pois deste modo agiliza-se o processo de desenvolvimento. Caso as alterações sejam de caráter técnico, entretanto, pode-se fazer necessária a confecção de protótipos em nível artesanal, já que nem

todas as modificações apontadas nas etapas anteriores poderão estar concluídas. Os protótipos obtidos, todavia, devem-se aproximar o máximo possível da realidade, pois serão usados pelo cliente como contra-amostra para inspeção quando da chegada efetiva dos primeiros lotes do produto adaptado. Assim, o objetivo aqui não é apresentar amostras perfeitas, mas peças que possam ser comparadas com aquelas obtidas no processo normal de produção, sem discrepâncias significativas.

### 3.6 QUALIDADE

Caso o produto adaptado tenha sido aceito, é necessária uma análise do produto e do processo de manufatura, com o intuito de garantir a manutenção da qualidade apresentada nos protótipos aprovados pelo cliente importador.

Na análise de qualidade do produto, deve-se sistematizar a coleta e análise de amostras conforme proposto na Folha de Inspeção de Defeitos (ver Fig. 9). A seguir, monta-se a Matriz de Defeitos do Produto, conforme proposto na seção 2.4.4 da Revisão Bibliográfica. Conforme explicado anteriormente, essa matriz classifica os potenciais defeitos do produto conforme sua frequência de ocorrência, dificuldade de intervenção e tempo demandado para melhorias, além de classificar os processos de acordo com o grau de relacionamento com estes defeitos.

A análise da qualidade do processo de manufatura utiliza a priorização dos processos obtida a partir da Matriz de Defeitos e da Matriz de Processos (ver Fig. 8) do QFD. A análise dos processos prioritários tem início com a elaboração das cartas de processo (ver seção 2.5.1), objetivando identificar operações desnecessárias ou que possam ser aprimoradas. Esses mesmos processos devem ser submetidos ao FMEA de Processo (ver seção 2.5.2), para identificação das principais falhas potenciais e existentes no processo, e determinação de ações corretivas a elas relacionadas.

A aplicação das ferramentas FMEA e Carta de Processo também deve ocorrer nos processos priorizados na Matriz dos Defeitos. Estes processos, apesar de não serem prioritários sob o ponto de vista do cliente, geram defeitos que afetam a qualidade do produto final, razão pela qual devem ser submetidos à análise visando melhorias.

### 3.7 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta fase, efetuam-se as modificações no produto apontadas durante o processo de ER. As principais dificuldades normalmente encontradas nesta fase são decorrentes de (i) pouca flexibilidade dos equipamentos existentes, o que resulta em excessivos tempos de *set-up* (tempo necessário para preparação de uma máquina), (ii) da necessidade de critérios mais apurados de inspeção/seleção de produtos (maior percentual de peças rejeitadas) ou (iii) da necessidade de implantação de algum processo manual de produção, por ser este processo aplicado somente a um produto específico, não justificando sua automatização.

Estas modificações no processo produtivo tendem a comprometer a produtividade geral da fábrica e são vistas com desaprovação pelos responsáveis diretos, razão pela qual um trabalho de esclarecimento da importância do projeto faz-se necessário.

### 3.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A etapa final é dedicada à análise das dificuldades enfrentadas e o resultado obtido como base para outros trabalhos similares, sendo dividida em duas fases. Na primeira fase, efetua-se uma avaliação crítica dos obstáculos encontrados durante o processo de adaptação, de modo a determinar se a empresa é flexível relativamente à sua mão de obra, processo produtivo ou maquinário.

Na fase seguinte, acompanha-se o posicionamento do cliente durante as várias etapas da negociação a fim de se extrair informações sobre seu comportamento. Este *feedback* (realimentação de informações) permite compreender melhor as necessidades e expectativas que o cliente deposita no início da negociação, uma vez que atuar em mercados internacionais representa, também, o relacionamento com culturas diferenciadas e realidades completamente distintas às da empresa.

A Fig. 13 apresenta o esquema genérico do modelo de desenvolvimento de produtos proposto.

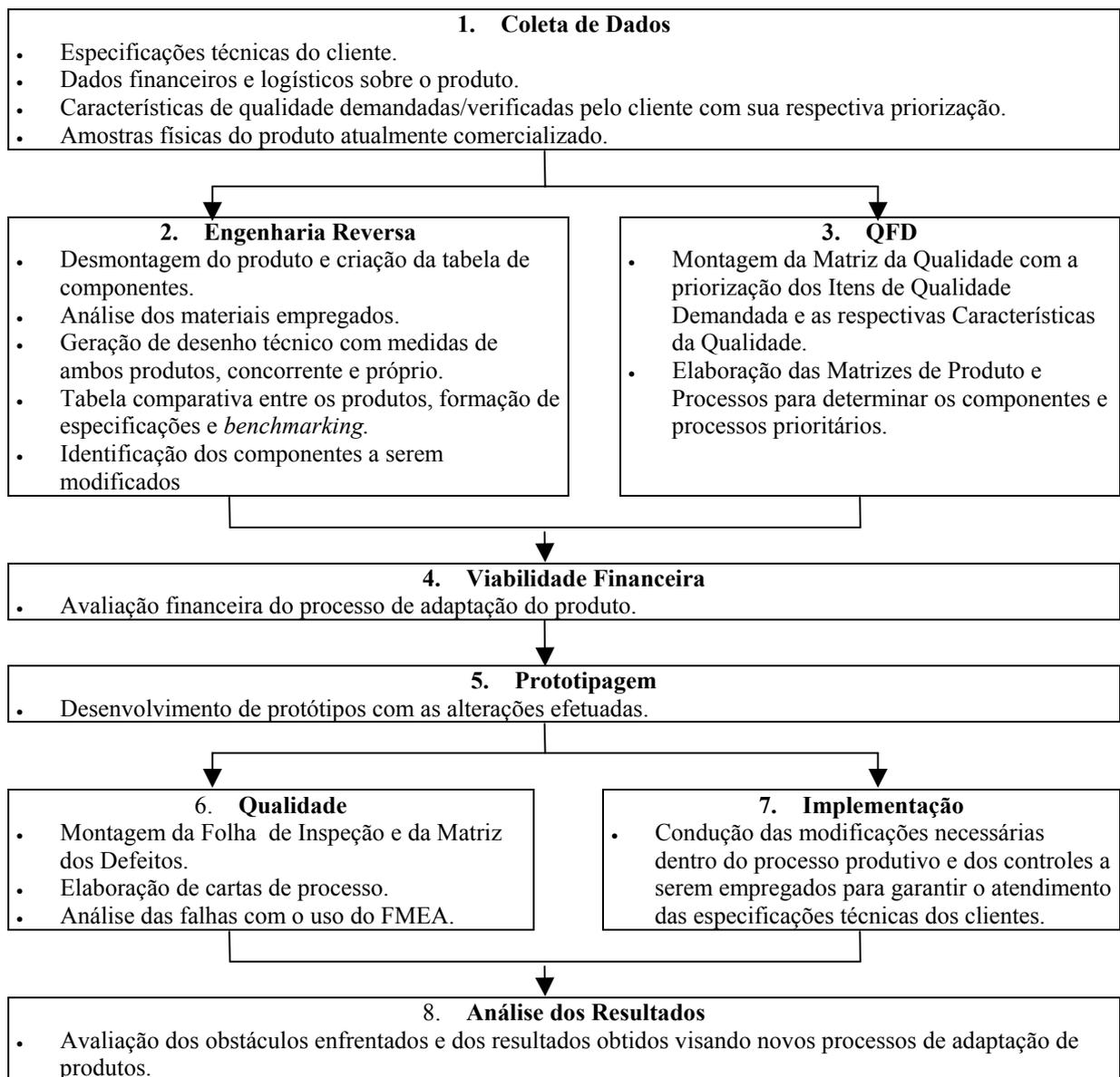


FIGURA 13 – Esquema genérico do Modelo de Desenvolvimento de Produtos proposto.

#### **4 CASO PRÁTICO: ADAPTAÇÃO DE UM PINCEL NACIONAL A UM DISTRIBUIDOR DE FERRAMENTAS ALEMÃO.**

O mercado alemão de ferramentas manuais é atualmente abastecido por fabricantes locais e também por importações provenientes da União Européia, China, Índia, Indonésia e Turquia, entre outros países. O Brasil não participa deste mercado, ainda que várias empresas nacionais do segmento de ferramentas tenham participação em outros mercados internacionais. O caso prático apresentado a seguir descreve o emprego da metodologia proposta nesta dissertação na adaptação de um pincel, produzido por um fabricante brasileiro de ferramentas manuais, às características demandadas por um distribuidor de ferramentas alemão. Melhorias no produto e em seu processo de fabricação, resultantes da aplicação da metodologia, são também apresentadas.

O resultado do trabalho de adaptação da ferramenta não se resumirá à simples reprodução do produto atualmente comercializado pelo cliente importador, pois neste caso a troca de fornecedor seria exclusivamente motivada pela quotização de um preço inferior para o produto. A partir da implementação de melhorias no pincel atualmente comercializado, pode-se diferenciar a ferramenta brasileira do produto da concorrência. Caso o processo de adaptação da ferramenta seja bem sucedido, ele deverá contribuir de maneira decisiva para a aceitação do produto brasileiro, conforme informado pelo próprio cliente importador.

A indústria nacional analisada, Pincéis ATLAS S/A, localizada em Esteio-RS, é um dos maiores fabricantes de materiais para pintura da América Latina. O cliente importador alemão, Emil-LUX GmbH, é o maior distribuidor de ferramentas manuais de seu país, com atuação inclusive em diversos países da União Européia. Além de conhecer os principais pólos de produção de ferramentas, a Emil-LUX possui agentes de compra em Hong-Kong, Itália, Polônia e Brasil, o que lhe permite comparar produtos em nível mundial.

O escopo do estudo é a adaptação de uma linha de pincéis de cabo plástico, comercializado pelo distribuidor alemão em 430 pontos de venda (*home centers*). Os pincéis têm medidas que variam de  $\frac{3}{4}$ " a 3", possuem marca própria LUX, com cerda natural branca e embalagem auto-serviço. A empresa atualmente importa a linha de pincéis de um fabricante localizado na Turquia; esporadicamente, a Emil-LUX efetua compras de um fabricante alemão, que produz parte do produto na Indonésia.

Tendo em vista a natureza acadêmica deste estudo, e considerando-se que as diferenças entre os diversos tamanhos de pincéis comercializados pela empresa importadora é pequena, somente a bitola de 2” será analisada neste trabalho.

Para melhor compreensão do produto em estudo e de suas partes componentes, apresenta-se, na Fig. 14, uma visão explodida do produto, onde estão listados todos os seus componentes. A função das cunhas no pincel é permitir um espaçamento entre as cerdas, de modo que a tinta permaneça retida neste reservatório. No pincel monobloco, a virola possui uma função basicamente estética, já que a base do pincel é colada diretamente no cabo. Na ilustração da Fig. 14, as cunhas aparecem separadas da base da cola apenas para fins didáticos, já que as mesmas são montadas entre as cerdas antes do processo de colagem.

Os passos metodológicos propostos no capítulo 3 são agora aplicados na adaptação do produto em estudo. As oito seções que se seguem são devotadas a cada um dos passos propostos no Capítulo 3.

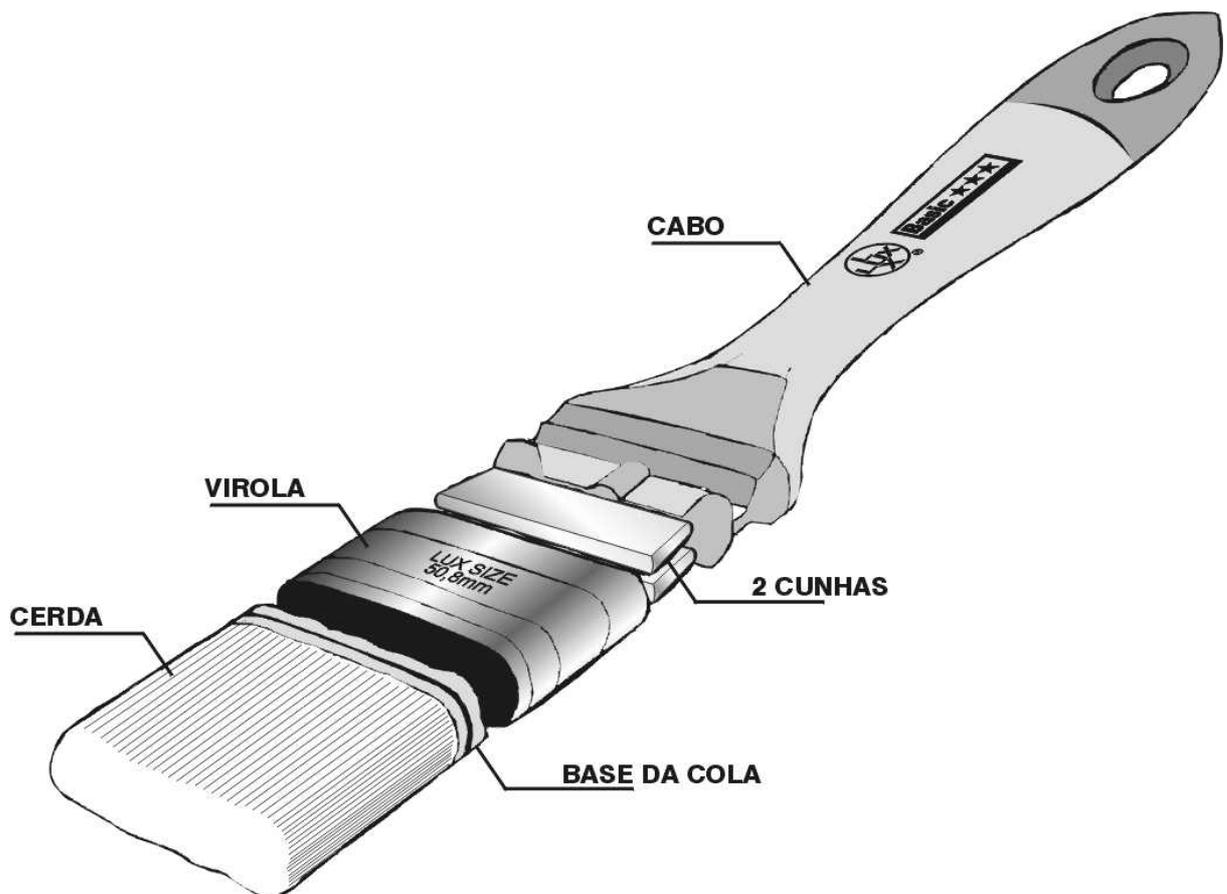


FIGURA 14 – Componentes de um pincel.

## 1ª ETAPA: COLETA DE DADOS.

O primeiro passo para implementação da metodologia de adaptação de produtos consiste na obtenção de especificações técnicas acerca do produto em estudo. No caso em questão, as especificações técnicas foram fornecidas pelo cliente importador e encontram-se apresentadas na Fig. 15.

<b>Referencia 222896 – Pincel chato 50mm X 15 mm</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cabo plástico. Espessura 15mm. Cor amarela com ponta em azul. Impresso na parte frontal com “LUX and BASIC” conforme arte-final. Diâmetro mínimo do furo do cabo: 7mm.</li> <li>• Virola fixada ao cabo com quatro grampos. Na parte traseira estampada com “REINE BORSTE” e na parte frontal com “LUX SIZE 50 MM”</li> <li>• Cerda: Branca da região chinesa de Chung king. Duplamente fervida. Top 90% (percentual de cerdas que chega à ponta do pincel). Cerdas embaladas em plástico termo retrátil. Altura visível das cerdas 55 mm.</li> <li>• Embalagem: Cartão suspenso de acordo com arte-final LUX; fixada com botão especial plástico. Unidade de embalagem: Doze peças por caixa inner. Todas as caixas devem ser marcadas com a referência LUX e a quantidade interna.</li> </ul>

FIGURA 15 – Especificações técnicas do produto em estudo

Os dados financeiros e logísticos relativos ao produto também foram fornecidos pelo cliente importador; estes dados estão apresentados na Fig. 16

<ul style="list-style-type: none"> <li>• DDP Target-Price<sup>8</sup>: DM 8,00<sup>9</sup> - (US\$ 4,28 pela taxa de câmbio de março de 2000)</li> <li>• Dúzias por caixa master: 24</li> <li>• Cubagem por caixa master: 0,069 m<sup>3</sup></li> <li>• Nr de caixas master em um pallet: 14</li> <li>• Nr de pallets em um container: 28</li> <li>• Frete de um container de 20” a Rotterdam: US\$ 1.680</li> <li>• Imposto de Importação: 2,5%</li> <li>• Despesas de internação por container: US\$ 700</li> <li>• Quantidade demandada anual: 35.000 dúzias</li> </ul>
---

FIGURA 16 – Dados financeiros e logísticos do produto

<sup>8</sup> Preço-alvo posto no cliente e com os impostos pagos.

<sup>9</sup> Preço modificado.

Os itens de qualidade demandada foram elencados e avaliados quanto a sua importância pelo cliente importador; estas informações vêm apresentadas no Quadro 3. Foram fornecidas 6 amostras do produto atualmente adquirido da concorrência. Essas amostras foram utilizadas na análise das propriedades físicas e químicas do produto.

QUADRO 3 – Itens de Qualidade Demandada e seus respectivos pesos

<b>Item</b>	<b>Peso</b>	<b>Subitens</b>	<b>Peso</b>
Cerde	30	Comprimento correto da cerde	40
		Quantidade adequada de cerde	30
		Top adequado	30
Construção	15	Fixação correta da virola ao cabo	35
		Fixação correta da cerde ao cabo	35
		Cunha adequada	30
Cabo	20	Resistência da pintura	45
		Altura correta da pintura azul	25
		Impressão correta do logotipo	30
Virola	20	Proteção da virola	40
		Espessura correta da virola	20
		Brilho atrativo da virola	40
Embalagem	15	Qualidade do filme retrátil	60
		Qualidade do cartão suporte	40

O trabalho a ser desenvolvido nas etapas seguintes depende da qualidade das informações recebidas na primeira etapa. Caso as informações obtidas estejam incompletas ou não reflitam a realidade, o dispêndio de tempo e de recursos contidos nas etapas subseqüentes, assim como as alterações efetuadas no produto, podem resultar no fracasso da negociação.

## 2ª ETAPA: ENGENHARIA REVERSA.

Esta etapa, realizada simultaneamente com a elaboração das matrizes do QFD, tem por objetivo comparar os produtos em estudo: o pincel ATLAS com características mais próximas do pincel atualmente comercializado pelo distribuidor alemão e as amostras recebidas deste produto. A análise comparativa entre os produtos permite identificar em quais pontos o produto nacional é superior ao produto da concorrência e onde são necessárias melhorias.

O trabalho inicia-se com a desmontagem e medição das amostras recebidas, o que gera a primeira tabela comparativa entre os dois produtos, apresentada no Quadro 4.

QUADRO 4 - Lista de componentes dos pincéis ATLAS e LUX.

### Pincel linha dupla ATLAS

Bitola (mm)	Largura (mm)	Furo cabo (mm)	Altura Virola (mm)	Espessura (mm)	Cerda (mm) Cor	Top	Peso cerda /Dz.	Compr. livre (mm)	Cunha
50,8 2"	14	7	34,5	0,25	64 Branca	80%	215g	59	2 X 4,5 mm

### Pincel LUX

Bitola (mm)	Largura (mm)	Furo cabo (mm)	Altura Virola (mm)	Espessura (mm)	Cerda (mm) Cor	Top	Peso cerda /Dz.	Compr. livre (mm)	Cunha
50	15	7	34,5	0,30	64 Branca	90%	230g	55	1 X 4,5 mm 1 X 2,0 mm

As diferenças encontradas estão nas dimensões do cabo, espessura da virola, cerda e espessura de cunha utilizada. Na primeira análise, verifica-se que as medidas dos cabos diferem devido a *designs* distintos, o que não afeta a aceitação do produto. Neste caso específico, a empresa cliente alemã costuma privilegiar esta diferença, pois um grande número de *designs* já está registrado no país, o que impede a sua reprodução. A variação na espessura da virola ocorre provavelmente em função do tipo de metal utilizado; este aspecto será analisado na seqüência. As variações encontradas na cabeça dos pincéis, relativas ao peso de cerda, percentual de *top* (número de cerdas que chega ao topo do pincel) e espessura das cunhas, sugere ser este o aspecto que mais diferencia os pincéis. Nas análises que se seguem,

será possível confirmar esta hipótese. Entretanto, a partir de análise visual, já é possível afirmar que a cerda do pincel LUX é de qualidade superior se comparada ao produto nacional, além de ser empregada em maior quantidade.

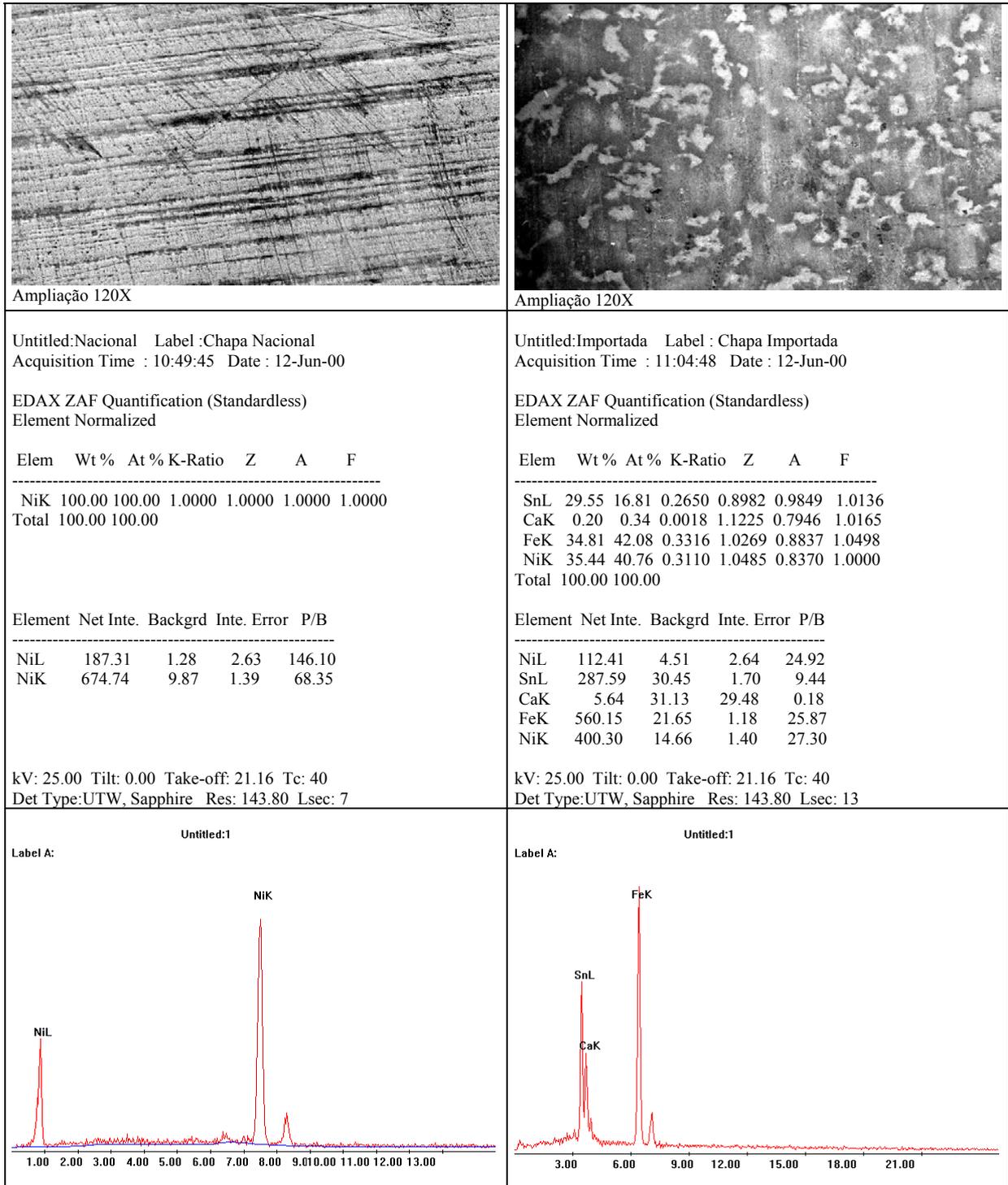
O passo seguinte na etapa de Engenharia Reversa consiste na análise dos materiais empregados. Após a inspeção visual, conclui-se que ambos os produtos analisados *(i)* utilizam cerda de porco natural, *(ii)* possuem os cabos e as cunhas em polipropileno expandido, *(iii)* utilizam virola de aço e *(iv)* cola epóxi. Através desta inspeção, o único item que necessitaria uma análise laboratorial seria a virola, pois, visualmente, os tratamentos aplicados ao aço parecem ser distintos. As informações no Quadro 5 são resultado de uma análise microestrutural por MEV (Microscopia Eletrônica por Varredura) e análise química por micro-sonda acoplada (EDF) realizadas em amostras das virolas, em ambos os produtos.

Através da análise por micro-sonda, determinou-se que a virola nacional é composta por aço niquelado e a do pincel alemão, por aço estanhado, também conhecido como folha-de-flandres. A virola em aço niquelado possui um brilho mais atraente do que a folha-de-flandres, além de ser mais resistente à oxidação. Caso o pincel LUX perca a camada protetora de estanho devido, por exemplo, a riscos superficiais, a virola facilmente se oxidará. Segundo o fabricante nacional, no seu pincel, o aço da virola recebe ainda um tratamento anti-oxidante de cobre ( $\pm 0,5$  mm), não verificado na análise laboratorial, por ser a micro-sonda um teste de superfície.

QUADRO 5 – Análise Microscópica das virolas dos pincéis ATLAS e LUX

**Virola ATLAS – 0,25mm**

**Virola LUX – 0,30mm**



A visão explodida dos produtos em estudo, nas Fig. 17 e 18, permite visualizar diferenças no sistema construtivo. Enquanto no pincel LUX a cabeça do pincel é fixada ao cabo por meio de dois grampos, o pincel nacional utiliza um sistema monobloco, mais moderno, onde as cerdas são coladas diretamente no cabo.

## PINCEL LUX

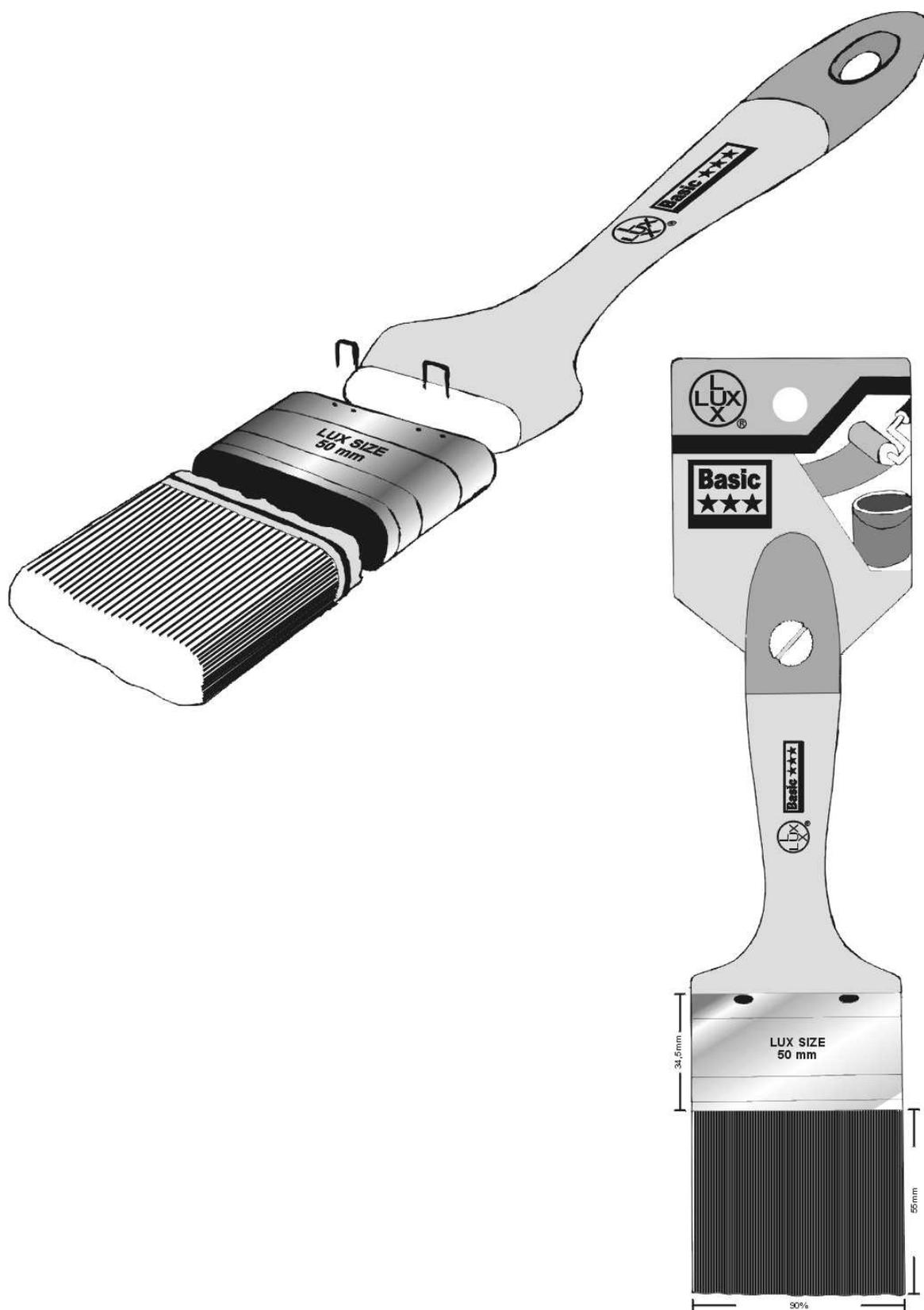


FIGURA 17 – Pincel LUX

## PINCEL ATLAS

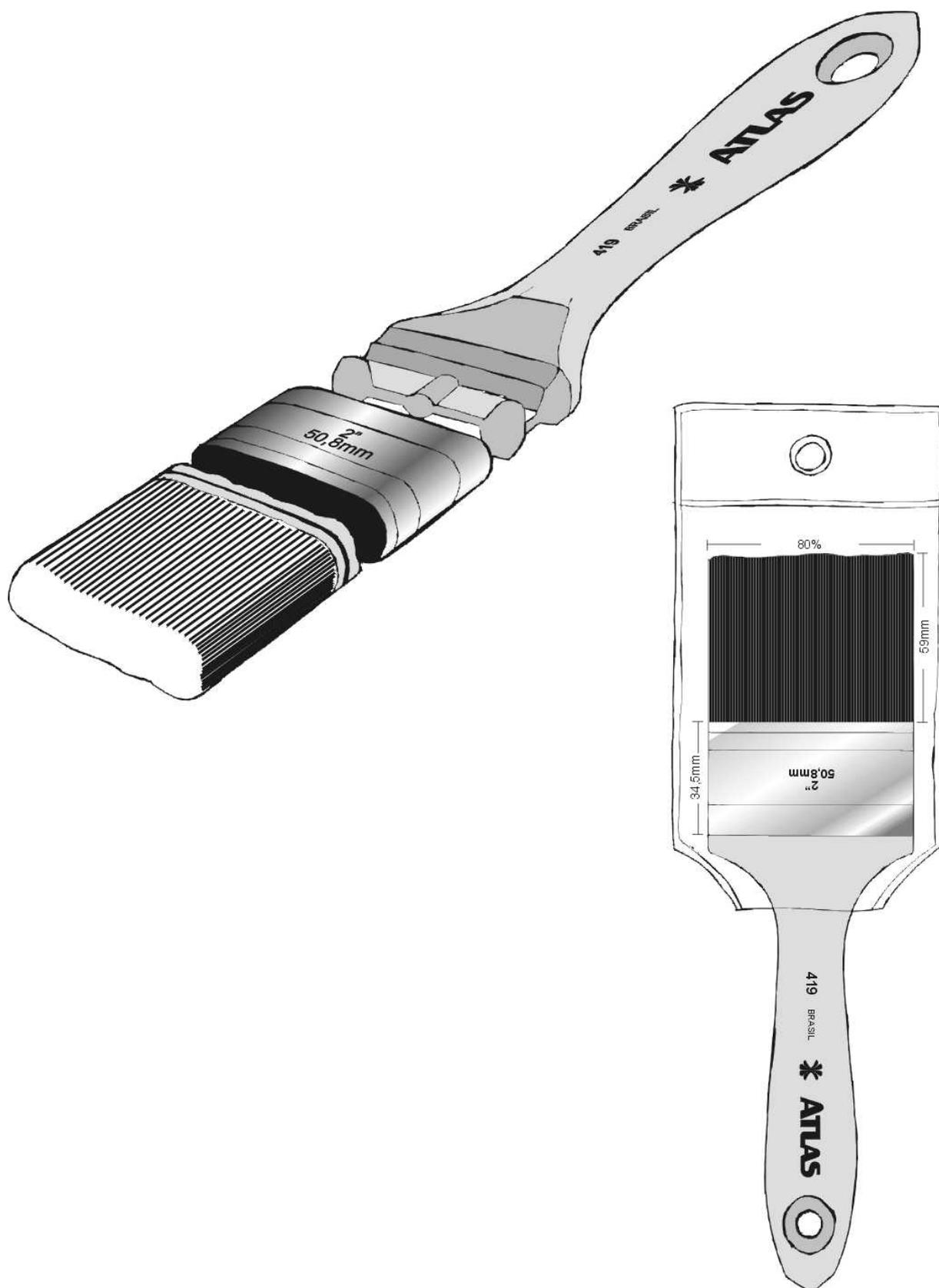


FIGURA 18 – Pincel ATLAS linha dupla

Após a geração dos desenhos técnicos (Fig. 17 e 18), monta-se uma segunda tabela comparativa dos produtos, com informações mais detalhadas. Os resultados vêm apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 – Tabela comparativa entre os pincéis ATLAS e LUX

	ATLAS	LUX
<b>Cerda</b>	Chinesa, branca, fervida uma vez. Top de 80%	Chinesa, branca, fervida duas vezes. Top 90%
<b>Construção</b>	Sistema monobloco. Cabeça do pincel colada ao cabo. Colagem por epóxi bicomponente Cunha em PP expandido 2 cunhas de 4,5mm	Sistema tradicional. Fixação da cabeça do pincel no cabo por grampos. Colagem por epóxi bicomponente Cunha de PP expandido 2 cunhas: 1 de 4,5mm e 1 de 2,0mm
<b>Cabo</b>	Cabo de PP virgem amarelo 1 demão de primer 2 demãos de selador para nivelar 1 demão de verniz	Cabo de PP virgem 1 demão de amarelo 1 demão de laca azul em 1/3 do cabo 1 demão de verniz
<b>Virola</b>	Chapa com tratamento antioxidante de Cobre (+- 0,5 mm) Camada estética de níquel 2,00 µm	Folha de flandres
<b>Embalagem</b>	Bolsa PVC	Filme termo-retrátil + cartão suporte

Através desta nova tabela comparativa (Quadro 6), é possível verificar diferenças em itens específicos do pincel, conforme descrito a seguir.

- A cerda no pincel da LUX possui uma coloração mais clara e exala menos odor, características de uma cerda que foi submetida a dois processos de fervura para limpeza e perfilação; neste item, o pincel alemão é superior ao nacional. A construção pelo sistema tradicional é mais insegura, pois os grampos podem ceder e a cabeça do pincel separar-se do cabo; neste caso, o pincel nacional é superior. O pincel nacional emprega uma quantidade menor de cerda, razão pela qual pode utilizar cunhas de maior espessura. Com a adequação à quantidade de cerdas do pincel alemão, o novo produto a ser adaptado seguirá, também, suas medidas de cunha.

- O cabo apresenta outro diferencial importante: o pincel LUX recebe a cor amarela através de pintura, enquanto a ATLAS emprega pigmento amarelo na injeção, o que elimina o processo de pintura (excetuando-se a ponta azul) e a possibilidade de trincas no ponto onde o pincel é submetido à pressão.
- O item virola já foi analisado na tabela anterior. Devido à baixa resistência à oxidação da folha-de-flandres, sua utilização no pincel nacional comprometeria a qualidade do produto, pois, durante o transporte marítimo, o *container* permanece vários dias em contato com a maresia, o que pode iniciar um processo de oxidação do metal.
- As diferenças no último item da tabela, relativas a embalagem do produto, são decorrentes de estratégias mercadológicas distintas. A Pincéis ATLAS utiliza uma bolsa de PVC que permite a reutilização da embalagem para armazenagem do pincel após sua utilização inicial. A empresa alemã aplica um filme PVC termo-retrátil nas cerdas e um cartão suporte para pendurá-lo em um *display*, sendo que ambos serão descartados na primeira utilização do pincel. A não-utilização da bolsa de PVC pela LUX deve-se às normas alemãs de embalagem, pois o material PVC recolhe um imposto sobre embalagens proporcionalmente mais alto do que o papel.

O passo seguinte dentro da metodologia proposta é a formação de especificações partindo-se de um *benchmarking* no produto atualmente comercializado. O Quadro 7 apresenta o pincel nacional e os itens que necessitam modificação:

QUADRO 7 – Componentes a serem modificados no pincel ATLAS

	<b>ATLAS</b>	<b>Produto ER</b>
<b>Cerda</b>	Chinesa, branca, fervida uma vez Top de 80% Peso da cerda/Dz.: 215g Comprimento livre da cerda: 59mm	Chinesa, branca, fervida duas vezes Top 90% Peso da cerda/Dz: 230g Comprimento livre da cerda: 55mm
<b>Construção</b>	2 cunhas de 4,5mm	2 cunhas: 1 de 4,5mm e 1 de 2,0mm
<b>Estampa do Cabo</b>	419 Brasil ATLAS	LUX Basic
<b>Estampa da Virola</b>	2” 50,8mm	LUX Size 50,8mm
<b>Cabo</b>	Acabamento em verniz	1 demão de laca azul em até 1/3 do cabo antes do acabamento em verniz
<b>Embalagem</b>	Bolsa PVC	Filme termo-retrátil + cartão suporte

Efetuada-se as modificações descritas no Quadro 7, é possível obter-se um produto semelhante ao já comercializado, tendo, porém os diferenciais da virola niquelada, o cabo já pigmentado em amarelo e a construção pelo sistema monobloco.

Até este momento, as modificações no produto nacional necessárias para se chegar ao produto atualmente comercializado pela LUX somente foram apontadas. Não foram analisados, nesta etapa, os custos e a viabilidade de modificação da cerda empregada, do tipo de embalagem, do processo de pintura em azul e das novas estampas. Também não foram considerados os itens de qualidade demandadas pelo comprador técnico da empresa, tema a ser analisado na próxima etapa metodológica, com o Desdobramento da Função Qualidade.

### 3ª ETAPA: QFD

Através do processo de Engenharia Reversa, chegou-se ao protótipo virtual de um pincel que une os pontos fortes dos dois pincéis analisados na seção anterior. Nesta etapa da metodologia, serão identificados, através do QFD, quais os itens de qualidade que o comprador da empresa LUX prioriza. O QFD inicia-se com a planilha na Fig. 19, com linhas formadas pelos itens de qualidade demandada e colunas formadas pela características de qualidade do produto. A qualidade demandada foi determinada pelo comprador técnico (cliente importador), e as características de qualidade, por técnicos da Pincéis ATLAS.

A importância da Qualidade Demandada ( $ID_b$ ) resulta da ponderação dos pesos atribuídos pelo comprador da LUX na etapa de coleta de dados (Quadro 3). A Priorização da Qualidade Demandada ( $ID_b^*$ ), por sua vez, é obtida através da equação (1), com Análise Estratégica determinada pela importância que a Pincéis ATLAS atribui à cada item da qualidade demandada. Nas linhas inferiores da matriz, são listadas as especificações atuais para as características de qualidade de ambos produtos, a análise competitiva para cada característica de qualidade ( $B_a$ ) e também a dificuldade de atuação sobre cada uma destas características ( $D_a$ ). Por fim, determina-se, através de uma ponderação dos itens acima, o peso relativo para as características de qualidade ( $IQ_a^*$ ), conforme dado pela equação (3). Na sequência, são apresentados dois gráficos de Pareto (Fig. 20), contendo a priorização dos Itens de Qualidade Demandada e das Características de Qualidade.

Para facilitar a visualização do resultado dentro de uma célula, algumas expressões são divididas por 100.

### Matriz da Qualidade

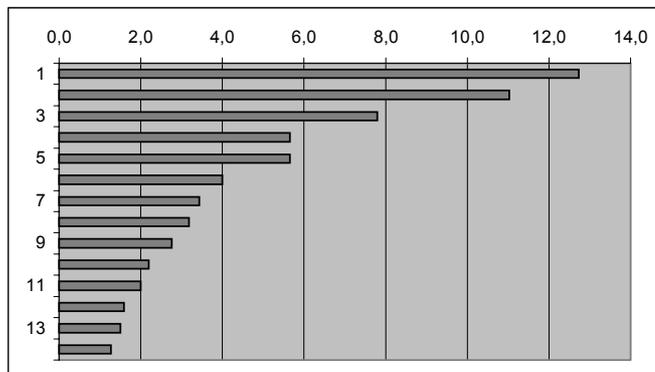
Qualidade demandada

			Comprimento livre da cerda	Peso das cerdas por pincel	Dosagem de cola epóxi	Refugio de cerdas da Politriz	% de cerdas que chega ao topo	Formulação da cola	Espessura da(s) cunha(s)	Teor de sólidos no Primer	Viscosidade do Primer	Impressão fora do registro	Espessura da chapa de virola	Espessura do tratamento da virola	Espessura do filme retrátil	Espessura do cartão suporte	Importância da Q. D.	Análise Estratégica	Priorização das Q. D.	
																ID <sub>b</sub>	E <sub>b</sub>	ID <sub>b</sub>		
Cerdeira	30	Comprimento correto da cerda	30	9													9,0	2,0	12,7	
		Quantidade adequada de cerda	26		8	3	3	6						3				7,8	1,0	7,8
		Top adequado	26	3			9											7,8	2,0	11,0
Construção	15	Fixação correta da virola ao cabo	15			9		6										2,3	0,5	1,6
		Fixação correta da cerda ao cabo	15		6	6	6	8	3					3				2,3	2,0	3,2
		Cunha adequada	12						9					3				1,8	0,5	1,3
Cabo	20	Resistência da pintura	20							9	8							4,0	2,0	5,7
		Altura correta da pintura azul	11															2,2	1,0	2,2
		Impressão correta do logotipo	14										9					2,8	1,5	3,4
Virola	20	Proteção da virola	20											3	9			4,0	1,0	4,0
		Espessura correta da virola	10											9				2,0	1,0	2,0
		Brilho atrativo da virola	20												9			4,0	2,0	5,7
Embalagem	15	Qualidade do filme retrátil	15												9			2,3	1,5	2,8
		Qualidade do cartão suporte	10														9	1,5	1,0	1,5
<b>Especificações</b>				mm	g	g	qtd.	%	%	mm	%	s	%	mm	μ	μ	g			
<b>LUX</b>				59	19,5	n.d.	n.d.	90	n.d.	6,5	-	-	n.d.	0,25	-	40	350			
<b>ATLAS</b>				55	18,0	77	3	80	10	4,5	2	10,5	90	0,30	2,5	40	-			
<b>Importância da C. Q.</b>			<i>IQ<sub>a</sub></i>	1,5	0,8	0,3	0,2	1,4	0,4	0,7	0,5	0,5	0,3	0,7	0,9	0,2	0,1			
<b>Análise competitiva</b>			<i>B<sub>a</sub></i>	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0			
<b>Dificuldade de atuação</b>			<i>D<sub>a</sub></i>	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5			
<b>Priorização das C. Q.</b>			<i>IQ<sub>a</sub></i>	22,1	12,2	3,3	2,9	21,3	4,3	10,2	3,6	3,2	2,7	4,7	6,1	3,0	1,7			

FIGURA 19 – Matriz da Qualidade

**Priorização das Q. D.**

Comprimento correto da cerda	12,7
Top adequado	11,0
Quantidade adequada de cerda	7,8
Resistência da pintura	5,7
Brilho atrativo da virola	5,7
Proteção da virola	4,0
Impressão correta do logotipo	3,4
Fixação correta da cerda ao cabo	3,2
Qualidade do filme retrátil	2,8
Altura correta da pintura azul	2,2
Espessura correta da virola	2,0
Fixação correta da virola ao cabo	1,6
Qualidade do cartão suporte	1,5
Cunha adequada	1,3
<b>Média</b>	<b>4,6</b>



**Priorização das C. Q.**

Comprimento livre da cerda	22,1
% de cerdas que chega ao topo	21,3
Peso das cerdas por pincel	12,2
Espessura da(s) cunha(s)	10,2
Espessura do tratamento da virola	6,1
Espessura da chapa de virola	4,7
Formulação da cola	4,3
Teor de sólidos no Primer	3,6
Dosagem de cola epóxi	3,3
Viscosidade do Primer	3,2
Espessura do filme retrátil	3,0
Refugio de cerdas da Politriz	2,9
Impressão fora do registro	2,7
Espessura do cartão suporte	1,7
<b>Média</b>	<b>7,2</b>

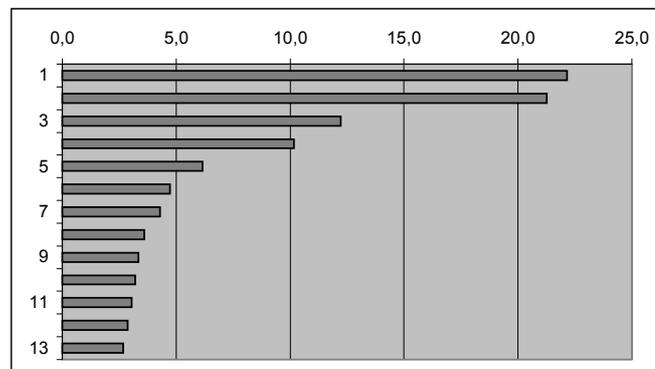


FIGURA 20 – Gráfico de Pareto para itens de Qualidade Demandada e Características da Qualidade

Analisando-se o gráfico de Pareto para os Itens de Qualidade Demandada na Fig. 20, pode-se concluir que a cerda é um item fundamental na análise que o comprador da LUX faz dos pincéis (observe que os três primeiros Itens de Qualidade Demandada referem-se à cerda). A necessidade de adequação deste item foi identificada na etapa da ER, e está diretamente vinculada à compra de uma cerda de melhor qualidade. Os dois seguintes no gráfico de Pareto, resistência da pintura e brilho atrativo da virola, são itens nos quais o pincel nacional é superior ao atualmente comercializado, não necessitando, portanto, de uma análise mais aprofundada.

No gráfico de Pareto para as Características de Qualidade na Fig. 20, também são identificados os itens técnicos relacionados com a cerda como itens prioritários. O comprimento livre da cerda desejado é inferior ao produto atualmente comercializado pela ATLAS, sendo necessário somente um corte na base para obter-se a medida correta. O *top*, ou percentual de cerdas que chega ao topo, é decorrente do uso de cerda de boa qualidade; enquanto que o peso correto das cerdas por pincel depende do uso de cunhas de menor espessura, também já identificado na etapa de ER.

- **Matriz do Produto**

Na etapa seguinte do QFD, elabora-se a Matriz de Produto, apresentada na Fig. 21. Nesta matriz, as linhas correspondem às partes do produto e as colunas, pelas características de qualidade anteriormente determinadas. Objetiva-se, desta forma, evidenciar a relação entre os componentes do pincel e estas características, o que auxilia na identificação das partes críticas para a qualidade do produto final.

Inicia-se a análise da Matriz do Produto atribuindo o grau de relacionamento entre as partes do produto e as CQs ( $PQ_{cd}$ ). Da ponderação destes valores em cada  $IQ_a^*$ , obtido na Matriz da Qualidade, obtém-se o valor de Importância do Componente ( $IP_d$ ), listada na equação (4). Ajustando-se o  $IP_d$  após considerar o grau de dificuldade e o tempo necessário para implantação de melhorias em cada componente, gera-se o índice de priorização das partes ( $IP_d^*$ ), dado na equação (5). O gráfico de Pareto, obtido a partir dos valores calculados de  $IP_d^*$ , define a participação de cada parte na composição da qualidade do produto final, conforme observado pelo cliente importador; este gráfico vem apresentado na Fig. 21

Matriz do Produto	Comprimento livre da cerda	Peso das cerdas por pincel	Dosagem de cola epóxi	Refugo de cerdas da Politriz	% de cerdas que chega ao topo	Formulação da cola	Espessura da(s) cunha(s)	Teor de sólidos no Primer	Viscosidade do Primer	Impressão fora do registro	Espessura da chapa de virola	Espessura do tratamento da virola	Espessura do filme retrátil	Importância da Parte	Dificuldade	Tempo	Priorização
	22,1	12,2	3,3	2,9	21,3	4,3	10,2	3,6	3,2	2,7	4,7	6,1	3,0	$IP_d$	$D_d$	$T_d$	$IP_d$
Cerda	9	9		9	9	9	9				6			685,0	2,0	1,5	118,6
Cunha		9					9				3			215,7	2,0	2,0	43,1
Cabo			6					9	9	6				97,3	1,0	1,0	9,7
Virola											9	9		97,8	1,5	1,5	14,7
Embalagem													9	27,3	1,5	2,0	4,7

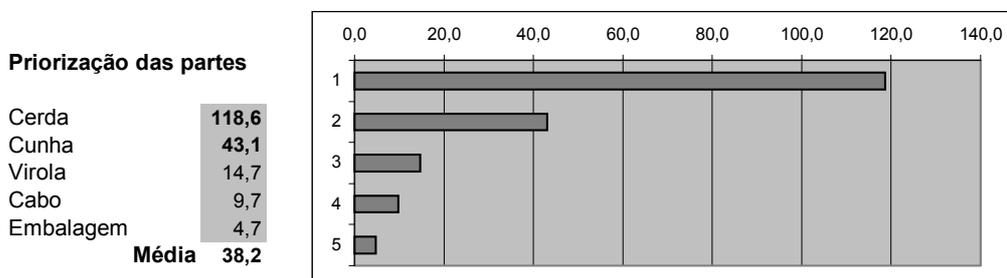


FIGURA 21 – Matriz do Produto e priorização das partes

Observando a priorização das partes, conforme apresentado na Fig. 21, conclui-se que a cerda representa o principal componente. O segundo componente na priorização é a cunha, determinante para a correta quantidade de cerda por pincel.

#### • Matriz dos Processos

Nesta etapa, determina o grau de relacionamento das Características da Qualidade com cada etapa do processo de fabricação do pincel, objetivando identificar quais processos devem ser monitorados ou otimizados para garantia da qualidade e melhoria do produto final.

Inicia-se com a identificação de todas as etapas de produção do pincel, listados pela área técnica da empresa Pincéis ATLAS e dispostos na representação esquemática na Fig. 22. Apesar do pincel linha dupla, objeto deste estudo, não utilizar filme termo retrátil nas cerdas, inclui-se este processo na Fig. 22, já que este tipo de embalagem é empregado em outras linhas de produção da empresa.

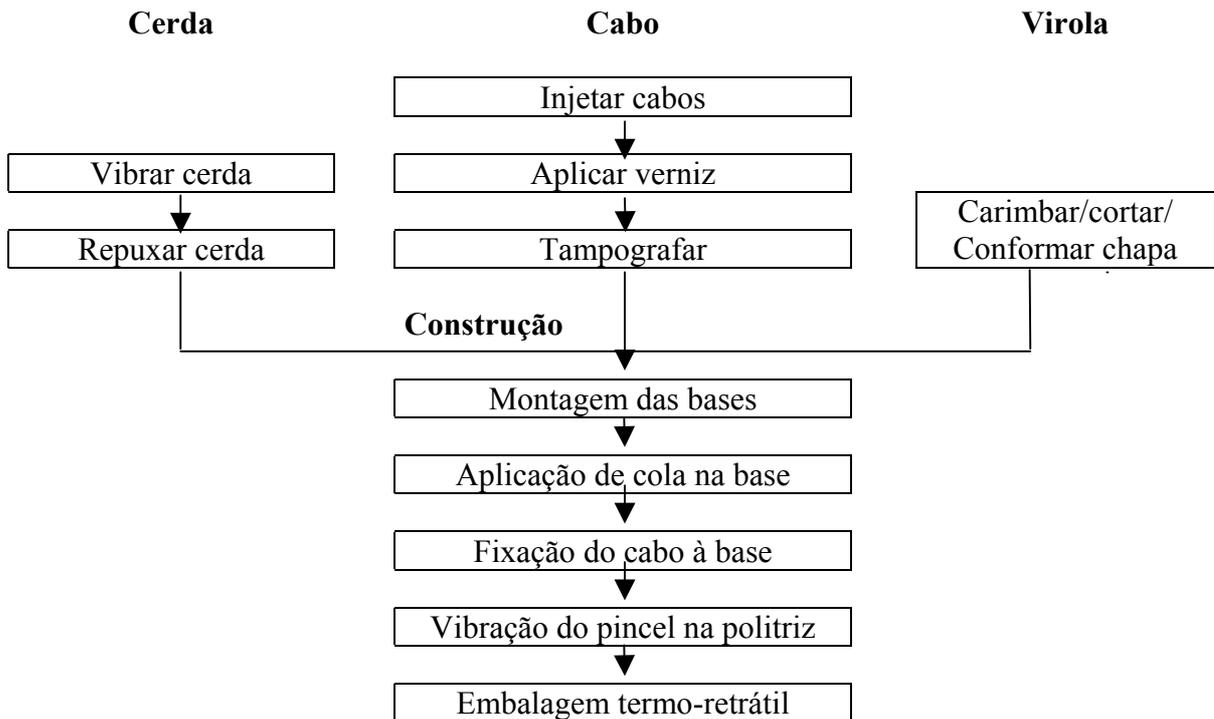


FIGURA 22 – Representação esquemática dos processos de fabricação do pincel

A Matriz dos Processos, apresentada na Fig. 23, é formada, em suas linhas, pelos processos especificados na Fig. 22 e, em suas colunas, pelas características de qualidade, oriundas da Matriz do Produto, na Fig. 21.

Matriz dos Processos	Comprimento livre da cerda	Peso das cerdas por pincel	Dosagem de cola epóxi	Refugo de cerdas da Politriz	% de cerdas que chega ao topo	Variação na formulação da cola	Espessura da(s) cunha(s)	Teor de sólidos no Primer	Viscosidade do Primer	Impressão fora do registro	Espessura da chapa de virola	Espessura do tratamento da virola	Espessura do filme retrátil	Importância do Processo	Dificuldade	Tempo	Priorização
	22,1	12,2	3,3	2,9	21,3	4,3	10,2	3,6	3,2	2,7	4,7	6,1	3,0	$IPR_f$	$D_f$	$T_f$	$IPR_f$
Vibrar cerda	6	6		9	8									402,1	2,0	1,5	696,5
Repuxar cerda	9			6										216,5	2,0	1,5	375,0
Injetar cabos														0,0	0,5	0,5	0,0
Aplicar verniz								9	9					61,2	1,5	1,5	91,8
Aplicar tinta azul								6	6					40,8	1,5	2,0	70,7
Tampografar								6	6	9				64,9	1,5	1,5	97,3
Carimbar/cortar/conformar chapa											9	6		79,4	1,0	1,0	79,4
Montagem das bases	9	9	9			6	9				9			499,1	1,0	1,0	499,1
Aplicação de cola na base		6	9	6		9					6			187,5	1,5	1,0	229,7
Fixação do cabo à base		3	9			8	3				8			169,3	1,5	1,0	207,4
Vibração do pincel na politriz		6		9										99,1	1,5	1,0	121,4
Aplicação do filme termo-retrátil													9	27,3	2,0	2,0	54,7

FIGURA 23 – Matriz dos Processos

A análise da Matriz dos Processos segue o procedimento apresentado na seção 2.4.3 deste trabalho. A partir do Índice de Priorização das Partes ( $IPR_f^*$ ), obtém-se o gráfico de Pareto apresentado na Fig. 24. A análise daquele gráfico, aponta os processos (i) vibrar cerda, (ii) montagem das bases, (iii) repuxar cerda, (iv) aplicação de cola na base, e (v) fixação do cabo à base como prioritários, pois repercutem fortemente nos itens de qualidade demandada apontados pelo comprador da empresa LUX.

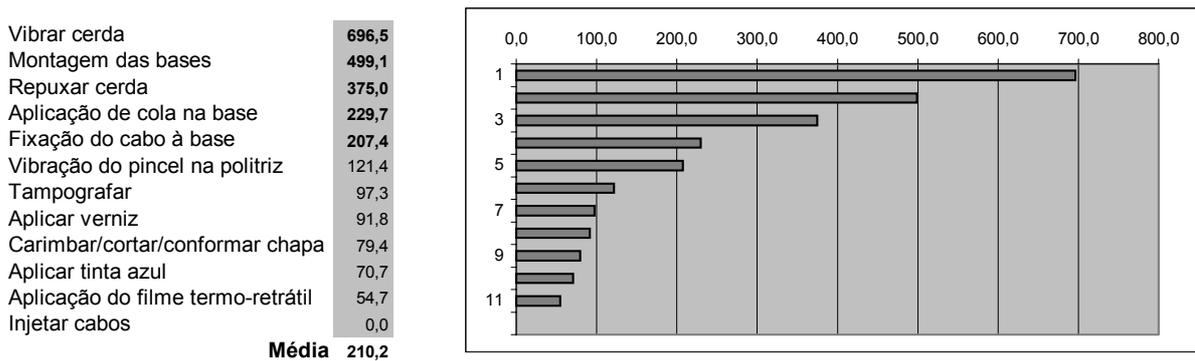


FIGURA 24 – Gráfico de Pareto para priorização dos processos

Dentro do processo produtivo da ATLAS, todas as etapas de produção apontadas como prioritárias na Fig. 24 são realizadas por duas máquinas interligadas, denominadas como célula de colagem. Por esta razão, caso o projeto de adaptação do produto seja aprovado, será necessário analisar os processos em busca não somente de sua otimização através de melhorias contínuas, mas da criação de itens de controle que permitam monitorar a qualidade dos processos.

#### 4ª ETAPA: VIABILIDADE FINANCEIRA

O objetivo desta etapa é avaliar se os custos necessários para a adaptação do produto serão cobertos pelo resultado extra com ele obtido, através das vendas para o cliente importador. Tendo em vista que os custos totais deveriam ser absorvidos por todas as bitolas de pincéis e que somente uma delas está sendo considerada na presente análise, será apresentada aqui uma adaptação da análise de viabilidade financeira do produto.

O processo de análise de viabilidade financeira tem início com o emprego das informações obtidas pelo cliente na etapa de Coleta de Dados e listadas na Fig. 16. A partir

das informações naquele quadro, é possível determinar o preço FOB (*Free On Board* – posto no navio) a ser ofertado ao cliente importador; este preço, bem como demais informações relevantes para a análise de viabilidade econômica do produto, vêm apresentadas no Quadro 8.

QUADRO 8 - Custos de transporte e internacionalização para o pincel ATLAS

	US\$ / Pallet	US\$ / Dúzia
US\$ DDP Target-Price		4,28
Despesas de internacionalização do produto:	35	0,10
Imposto de importação: 2,5%		0,11
Frete proporcional à Rotterdam:	60	0,18
Preço FOB em US\$ / dúzia		4,10
Custo do pincel ATLAS de 2”		4,01

São analisadas, agora, as modificações previstas como consequência das adaptações identificadas para o produto em estudo. As modificações nas especificações da cerda são obtidas com a compra de uma cerda de qualidade superior, com o aumento de sua quantidade, e pelo processo de encurtamento de seu comprimento livre. A diminuição da espessura de uma das cunhas, também identificada como desejável, não representa um acréscimo, e sim uma economia praticamente nula. Por último, a embalagem a ser desenvolvida é mais econômica do que a anterior, porém demanda a confecção de uma matriz para fabricação do botão plástico que prende o cartão de suporte. Um resumo das modificações previstas para as partes do produto vem dado no Quadro 9.

QUADRO 9 – Partes a serem modificadas

	Pincel ATLAS	Pincel ER	Custo extra US\$ / dúzia
<b>Cerda</b>	fervida uma vez Top de 80% Peso da cerda/Dz.: 215g Comprimento livre: 59mm	fervida duas vezes Top 90% Peso da cerda/Dz: 230g Comprimento livre: 55mm	0,11
<b>Construção</b>	2 cunhas de 4,5mm	Duas cunhas: 1 de 4,5mm e 1 de 2,0mm	
<b>Embalagem</b>	Bolsa PVC	Filme termo-retrátil + cartão suporte	0,02

Na seqüência, são analisadas as modificações previstas nos processos envolvidos na fabricação dos pincéis. As alterações, tanto na estampa do cabo quanto na estampa da virola, são obtidas mediante a confecção de um clichê simples com os dados desejados, razão pela qual o custo principal nestas operações corresponde ao seu *set-up*. Para o processo de pintura da ponta do cabo, necessita-se uma grade de fixação para cada bitola; nela, prende-se manualmente os cabos, parte dos quais é mergulhado em um tanque com tinta azul. Considerando que a ATLAS já trabalha com este tipo de processo para o envernizamento dos cabos, somente a regulagem (*set-up*) do equipamento, a aquisição da tinta azul e a inclusão de mais um processo de secagem fazem-se necessários. No processo de embalagem, os tempos estimados para as duas novas operações não são representativamente maiores que os registrados com a operação normal, razão pela qual não foram considerados como custo extra. As modificações previstas nos processos de fabricação estão resumidas no Quadro 10.

QUADRO 10 - Processos a serem modificados

	<b>Pincel ATLAS</b>	<b>Pincel ER</b>	<b>Custo extra US\$ / dúzia</b>
<b>Estampa do Cabo</b>	419 Brasil ATLAS	LUX Basic	0,02
<b>Estampa da Virola</b>	2” 50,8mm	LUX Size 50,8mm	0,02
<b>Cabo</b>	Acabamento em verniz	Acabamento em verniz e 1 demão de laca azul em até 1/3 do cabo	0,04
<b>Embalagem</b>	Bolsa PVC	Filme termo-retrátil + cartão suporte	

Somando-se todas as modificações a serem efetuadas nas partes componentes do produto e em seus processos de fabricação, chega-se a um custo extra, por dúzia de pincéis, de US\$ 0,21; este custo, agregado ao custo do produto normal (US\$ 4,01), resulta em um preço FOB de US\$ 4,22, superior ao *target-price* estabelecido (US\$ 4,10).

Neste ponto, parece evidente que uma decisão puramente financeira inviabilizaria o projeto de adaptação do produto. Todavia, fatores de ordem estratégica, como ampliação da base de mercados e clientes ou de *marketing*, e a possibilidade da ATLAS poder ser

cadastrada como *global supplier* de uma empresa de renome mundial, certamente justificam as adaptações propostas.

## 5ª ETAPA: PROTOTIPAGEM

Nesta etapa, inicia-se a fase de preparação de amostras físicas para que o cliente visualize os melhoramentos obtidos no produto adaptado, comparativamente ao produto atualmente comercializado. Não sendo necessárias modificações no *design* do cabo do pincel, parte-se diretamente para modificações no produto final, determinadas pelo Quadro 7 da Etapa de ER (seção 4.2).

Conforme pode ser identificado na Fig. 25, o cabo utilizado no pincel adaptado é o mesmo do pincel ATLAS de linha dupla, bem como o modo de construção monobloco. O processo de pintura da ponta em azul e da tampografia LUX são resultados de adaptações no pincel. A virola recebe uma estampa distinta, porém o aço empregado é o mesmo do pincel de linha. A cerda corresponde aquela demandada pelo cliente, com *top* de 90%, altura de 55mm, duplamente fervida e na quantidade correta, devido à mudança em uma das cunhas. Por fim, a embalagem foi modificada conforme as amostras recebidas, com a confecção do cartão suporte e adaptação de um botão fixador, visto que este é somente um protótipo a ser avaliado pelo cliente. Caso o cliente aprove o projeto, será necessária a confecção de uma matriz para que o botão fixador seja injetado na fábrica.

## PINCEL ER

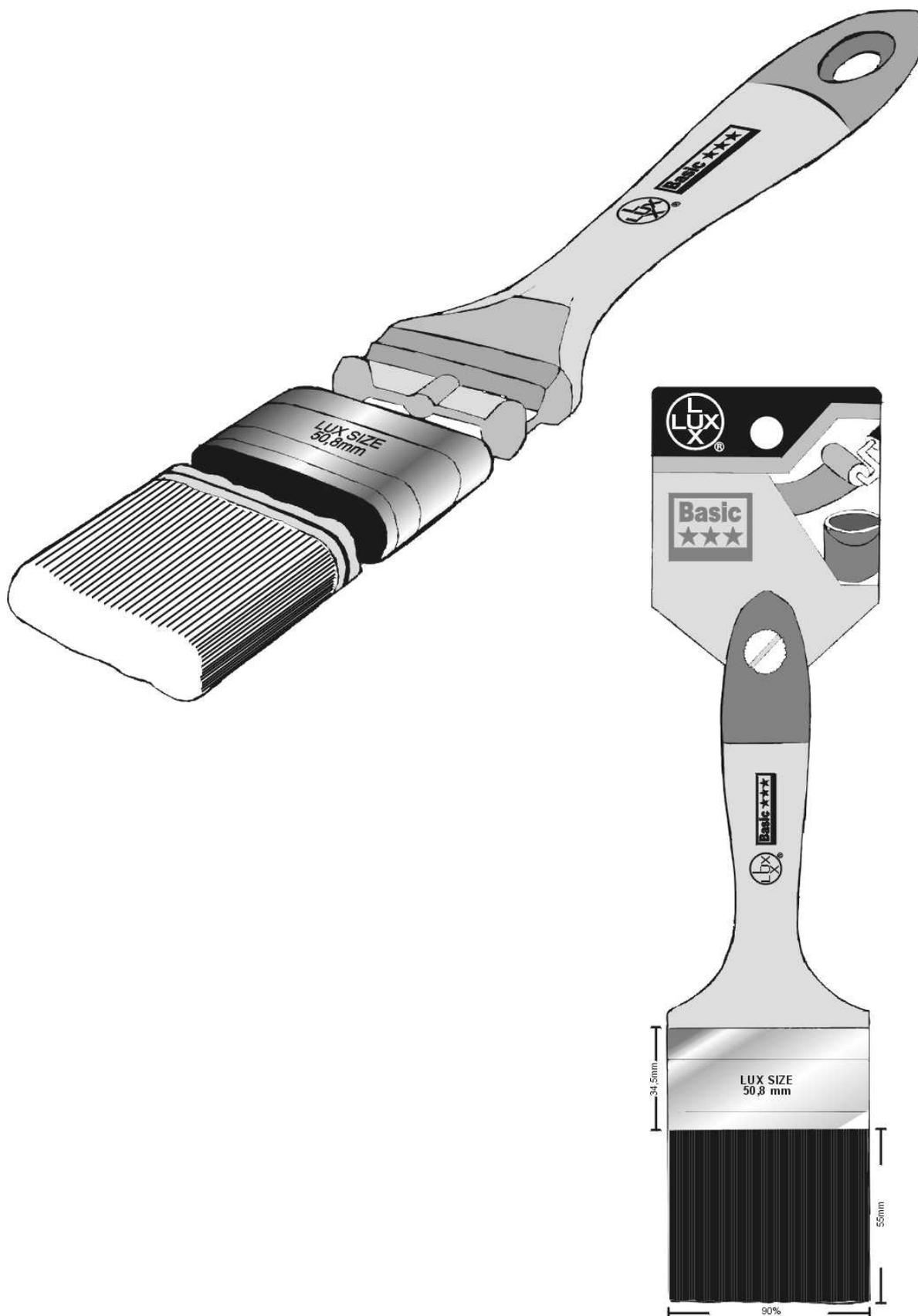


FIGURA 25 – Pincel ATLAS após adaptações

## 6ª ETAPA: QUALIDADE

Conforme estratificação realizada no QFD (seção 4.3), os processos prioritários no atendimento das demandas de qualidade do cliente importador são (i) vibrar cerda, (ii) montagem das bases, (iii) repuxar cerda, (iv) aplicação de cola na base, e (v) fixação do cabo à base, todos realizados na Célula de colagem. A etapa da qualidade inicia com a elaboração da Folha de Inspeção de Defeitos, através da sistematização para coleta regular de seis pincéis da produção normal e posterior submissão aos critérios de avaliação determinados pela área técnica da Pincéis ATLAS e apresentados na Fig. 26.

### AVALIAÇÃO DO PRODUTO: TRINCHA ESPECIAL LUX

AVALIADOR:

REFERENCIA:

DATA:

ITEM	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	MÉTODO	1	2	3	4	5	6
Embalagem individual	A- Resíduo de cerdas entre a embalagem e a virola B- Fechamento uniforme	Inspeção visual						
Queda de cerdas	Manusear a trincha individualmente 10 vezes (5 em cada sentido), podendo cair no máximo 3 fios	Teste funcional						
Cerdas	A- cerda atravessada B- torta C- excesso de cola	Inspeção visual						
Rebarbas no produto	A- rebarbas no injetado B- rebarbas na virola	Inspeção visual						
Cabo	A- Falha na injeção B- Falha na pintura	Inspeção visual						
Tampografia	A- Desalinhada B- Borrada	Inspeção visual						
Virola	A- Ferrugem B- Pingos de cola	Inspeção visual						
Posição da cunha	Nao tangente à linha da virola	Inspeção visual						
Comprimento da cerda	Conforme ficha técnica	Paquímetro						
Cerda X Virola X Cabo	Cerdas saindo pela parte inferior da virola	Inspeção visual						
Ajuste do cabo à virola	A- Sem folgas na linha do encosto B- Mal encabado	Inspeção visual						
Resistência química	Deixar a trincha imersa em solvente por doze horas. Secar e realizar o teste de queda de cerdas	Teste funcional						

FIGURA 26 – Folha de inspeção de defeitos

Os defeitos que porventura apareçam no produto, serão apontados em suas respectivas colunas, na Fig. 26; a consolidação de várias datas permitirá identificar qual a frequência de ocorrência desses defeitos. Tal frequência constitui-se em uma das entradas da Matriz de Defeitos (Importância do Defeito –  $IDE_g$ ). A seguir, monta-se a Matriz de Defeitos, composta, em suas linhas, pelos processos de fabricação oriundos da Matriz de Processos e, em suas colunas, pelos defeitos verificados na Folha de Inspeção; a matriz resultante vem apresentada na Fig. 27.

Matriz dos Defeitos	Cerda torta	Cerdas saindo pela parte inferior da virola	Excesso de cola na cerda	Mal posicionamento da cunha	Rebarbas no cabo injetado	Falhas de injeção	Falhas de pintura	Tampografia desalinhada	Tampografia borrada	Folga entre cabo e virola	Mal encabado	Fechamento do filme termo-encolhível	Pingos de cola na virola	Importância do Processo
														$IPDE_h$
Vibrar cerda	3													14,5
Repuxar cerda	6													29,1
Injetar cabos					9	9								154,3
Aplicar verniz							8							13,7
Tampografar								9	9					331,1
Carimbar/cortar/conformar chapa		8												194,4
Montagem das bases		6	6	9						8			6	373,9
Aplicação de cola na base	6		9	6						8			9	253,7
Fixação do cabo à base			6							9	9		6	123,5
Vibração do pincel na politriz														0,0
Aplicação do filme termo-retrátil												9		51,3
<b>Importância do Defeito - <math>IDE_g</math></b>	2,8	16,2	4,2	10,6	18,3	4,2	1,4	4,2	21,1	1,4	2,1	5,7	7,8	
<b>Dificuldade - <math>D_g</math></b>	2,0	1,5	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,0	
<b>Tempo - <math>T_g</math></b>	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	0,5	1,5	
<b>Priorização do Defeito - <math>IDE_g^*</math></b>	4,8	24,3	4,2	14,9	12,9	4,2	1,7	5,1	31,7	1,4	3,2	5,7	9,6	

FIGURA 27 – Matriz dos Defeitos

A análise da Matriz dos Defeitos segue o procedimento apresentado na seção 2.4.4 deste trabalho. A partir do Índice de Priorização dos Defeitos ( $IDE_g^*$ ), obtém-se os gráficos de Pareto apresentados na Fig. 28. No primeiro gráfico classificam-se os defeitos conforme sua importância; no segundo gráfico, os processos correspondentes a estes defeitos são apresentados em ordem decrescente de importância.

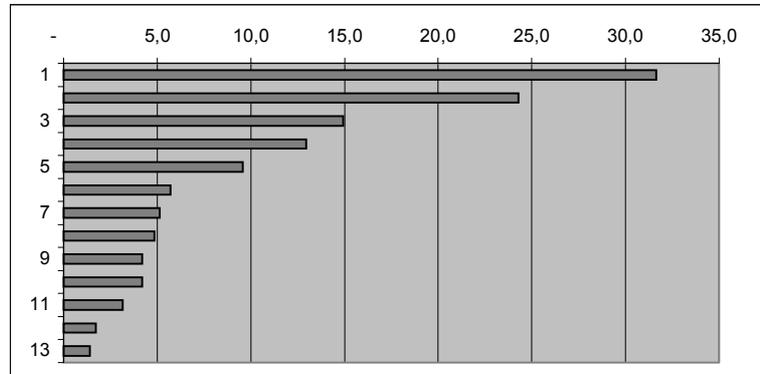
O gráfico de Pareto para defeitos indica, baseado na frequência e na facilidade de correção, quais defeitos devem ser primeiramente corrigidos. O item *Rebarbas no cabo injetado*, por exemplo, estaria classificado como o segundo na lista de prioridades; entretanto, devido à dificuldade em se corrigir o molde de injeção, perde na priorização para *Cerdas saindo pela parte inferior da virola*, por ser este um defeito de correção mais fácil, apesar de não tão frequente.

A Priorização dos processos na matriz dos Defeitos não se baseia, conforme já mencionado, nos Itens de Qualidade Demandada, mas sim na Priorização dos Defeitos atualmente encontrados nos pincéis. Por esta razão, processos como *Tampografar*, que para o cliente final não têm relevância por serem de qualidade óbvia, necessitam aqui ser priorizados

em função de problemas aferidos com a qualidade; este resultado vem apresentado no gráfico de Pareto para os processos.

#### Priorização dos defeitos

Tampografia borrada	31,7
Cerdas saindo pela parte inf. da virola	24,3
Mal posicionamento da cunha	14,9
Rebarbas no cabo injetado	12,9
Pingos de cola na virola	9,6
Fech. do filme termo-encolhível	5,7
Tampografia desalinhada	5,1
Aparação torta da cerda	4,8
Excesso de cola na cerda	4,2
Falhas de injeção	4,2
Mal encabado	3,2
Falhas de pintura	1,7
Folga entre cabo e virola	1,4
<b>Média</b>	<b>9,5</b>



#### Priorização dos Processos

Montagem das bases	373,9
Tampografar	331,1
Aplicação de cola na base	253,7
Carimbar/cortar/conformar chapa	194,4
Injetar cabos	154,3
Fixação do cabo à base	123,5
Aplicação do filme termo-retrátil	51,3
Repuxar cerda	29,1
Vibrar cerda	14,5
Aplicar verniz	13,7
Vibração do pincel na politriz	0,0
<b>Média</b>	<b>140,0</b>

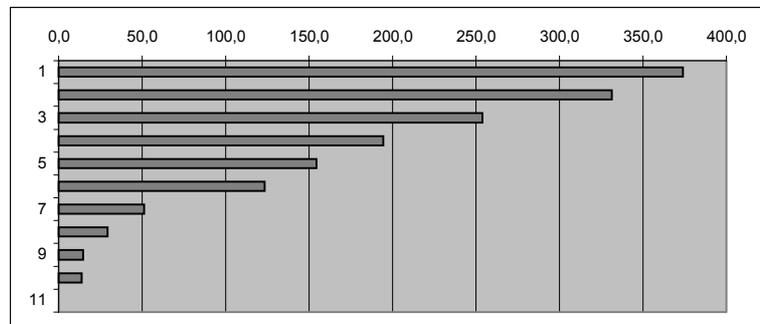


FIGURA 28 – Priorização de defeitos e de processos

O passo seguinte é a montagem da Carta de Processo, realizada no Setor Célula de Colagem da Pincéis ATLAS, por agregar diversas etapas da produção apontadas como relevantes na Matriz de Processos; esta carta vem apresentada na Fig. 29. Este mesmo estudo deve ser conduzido nos processos identificados como prioritários na Matriz dos Defeitos.

## Célula de colagem

### Processo 1: Montagem das bases

Passo #	Descrição	Tempo( min)	Distância (m)	O	T	I	E	A	S
1	Abre pacote de cerdas	0,2		X					
2	Coloca cerda na máquina vibradora	0,1		X					
3	Busca bobina de cunha na prateleira	0,5	2		X				
4	Instala bobina de cunha	1		X					
5	Busca caixa de virola na prateleira	0,5	4		X				
6	Prepara virola para colocar no magazine	0,3		X					
7	Coloca virola corretamente no magazine	0,1		X					
8	Coloca cerda no magazine	0,2		X					
9	Regula largura da cunha	5							X
10	Regula largura da virola	5							X
11	Regula garra do alimentador de cerda	3							X
12	Regula dosador de cerda	2							X
13	Regula altura da virola na máquina	3							X
14	Regula guia da virola	2							X

### Processo 2: Colagem do Pincel

Passo #	Descrição	Tempo( min)	Distância (m)	O	T	I	E	A	S
1	Posiciona cabos corretamente no magazine	0,5		X					
2	Regula posicionador da base na esteira	1							X
3	Troca gabarito de encosto	1,5							X
4	Regula altura do alimentador	1							X
5	Espera chegada das bases	3					X		
6	Regula espaçamento entre bases de pincéis	0,5							X
7	Regula largura da correia de encosto	0,5							X
8	Regula magazine do cabo	2							X
9	Regula altura da garra de alimentação	1,3							X
10	Regula conjunto de colocação de cabos	1,2							X
11	Regula cilindro de inserção do cabo à base	0,5							X
12	Regula cabeçote misturador de cola	0,2							X
13	Regula dosador de cola	0,2							X
14	Regula posicionamento do cabeçote	0,3							X
15	Regula entrada do túnel de secagem	0,2							X
16	Regula saída do túnel de secagem	0,3							X
17	Abastece magazine de cabos	0,1		X					
18	Inspecciona qualidade dos produtos	0,5				X			
19	Coloca pincéis corretamente na caixa	1	5		X				

Atividade		passos	tempo	dist.
Operação	O	8		
Transporte	T	3	2	11
Inspeção	I		0,5	
Espera	E	1	3	
Armazenamento	A			
Set-up	S	20	31	

FIGURA 29 – Carta de processo para colagem das bases e montagem do pincel

Com a consolidação dos dados na Fig. 29, pode-se identificar a atividade de *set-up* como candidata natural a estudos de melhoria. Para promover tais melhorias, sugerem-se os estudos de redução de *set-up* propostos em Shingo (1985), Claunch (1996) e Kannenberg (1994). Além do *set-up*, nota-se que somente no final da linha existe uma atividade de inspeção, na saída do processo. Sugere-se aqui a introdução de alguns dispositivos de detecção tipo *Poka-Yoke* (dispositivos autônomos para controle da qualidade; ver Shingo, 1986) após a operação de montagem das bases, como forma de impedir que estas recebam cola em condições inadequadas.

Na etapa seguinte, montam-se as tabelas do FMEA para os processos prioritários segundo a Matriz dos Processos. Como resultado, obtém-se uma classificação das falhas que podem ocorrer na linha de produção baseado no seu valor de RPN, apresentado na equação (10). A tabela do FMEA para as operações contempladas na célula de colagem, vem apresentada na Fig. 30.

Nome do Processo: **Montagem da base do pincel**

Função do Processo	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Método Detecção	Detecção	RPN	Ação recomendada
Inserir cerda e cunhas na virola	cerda mal inserida	cerda torta. comprimento livre e top incorretos.	8	má regulagem da máquina. Componentes fora de padrão cerda "vazia" - de má qualidade	3	Não sistemático Observação aleatória do operador	7	168	Instalação de uma célula fotoelétrica para aferir o alinhamento da ponta da cerda.

Nome do Processo: **Fixação do cabo à base**

Função do Processo	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Método Detecção	Detecção	RPN	Ação recomendada
Inserir base montada no cabo	base mal inserida	folga na linha de encosto base torta com relação ao cabo	6	má regulagem da máquina. Componentes fora de padrão base torta da operação anterior	3	Não sistemático Observação aleatória do operador	5	90	Instalação de um gabarito para emparelhar o cabo e base antes que a cola epóxi cure

FIGURA 30 – Tabela do FMEA para a Célula de Colagem

Paralelamente ao mapeamento dos processos priorizados pela Matriz da Qualidade, deve-se conduzir o mesmo estudo para os processos priorizados pela Matriz de Defeitos, pois apesar de não relevantes para o cliente, apontam problemas que afetam o produto final.

À medida que os processos vão sendo mapeados através do FMEA e as ações recomendadas implantadas, obtém-se um maior controle sobre a qualidade dos produtos manufaturados e sobre o processo produtivo em si.

## 7ª ETAPA: IMPLANTAÇÃO

Caso o novo produto seja aprovado pelo cliente deve-se, nesta etapa, conduzir as modificações necessárias na linha de produção do pincel em estudo. Partindo-se do Quadro 7 da etapa de Engenharia Reversa, onde estão apontadas as partes a serem modificadas no produto, faz-se o cruzamento das partes com os setores afetados na fábrica, gerando os resultados no Quadro 11.

QUADRO 11 – Setores da Fábrica envolvidos com as alterações no produto

<b>Componente \ Setor</b>	<b>Compras</b>	<b>Ferramentaria</b>	<b>Produção</b>
<b>Cerda</b>	Aquisição de cerda com as características descritas		Corte da cerda pela base para atingir o comprimento livre correto.
<b>Cunha</b>	Aquisição de cunha na espessura de 2 mm		Substituição de uma cunha de 4,5 mm por 2 mm
<b>Estampa do Cabo</b>		Confecção de molde com os dados da LUX	Inclusão de set-up para tampografia nova
<b>Estampa da Virola</b>		Confecção de clichê com os dados da LUX	Inclusão de set-up para estampagem nova
<b>Cabo</b>	Aquisição de tinta azul no padrão LUX		Inclusão da operação pintura da ponta do cabo
<b>Embalagem</b>	Aquisição de cartão suporte com lay-out LUX	Confecção de matriz para botão de fixação do cartão suporte	Adaptação da linha para novo tipo de embalagem.

Com a conclusão desta etapa e início da produção do primeiro lote, encerra-se o processo de adaptação do produto. Todavia, vale ressaltar que o trabalho de acompanhamento e análise das etapas produtivas é uma atividade permanente, buscando-se sempre o aprimoramento do produto e dos processos.

## 8ª ETAPA: ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a conclusão da etapa de implantação, inicia-se a análise dos resultados obtidos. Durante a condução do caso prático, o qual ainda não está concluído, foi possível verificar que a Pincéis ATLAS é, de modo geral, uma empresa flexível e voltada à customização de produtos. Entretanto, não aplicando uma metodologia para a condução sistemática de processos de adaptação de produtos, emprega mais tempo do que necessitaria para desenvolvê-los. Identificou-se também que existem alguns processos com problemas de flexibilização, como tampografia ou estampagem (neste último, por exemplo, não se previa uma marcação distinta da existente na linha regular de pincéis, o que resulta em baixa flexibilidade). Por último, pode-se notar que dentro do quadro funcional da empresa existem pessoas menos dispostas à alterações da rotina de trabalho, o que demanda um trabalho de conscientização e treinamento, visando projetos futuros.

A empresa alemã Emil-Lux, por sua vez, é pressionada por fatores como qualidade e preço, uma vez que trabalha em um mercado com alto nível de exigência e competitividade. Por ser uma empresa especializada, têm-se aprofundado em detalhes que normalmente não fazem parte da negociação do produto, mas que, todavia, tornam o processo de adaptação do pincel mais consistente e, conseqüentemente, mais adequado às suas necessidades.

A taxa de câmbio, um fator de ordem sistêmica, está prejudicando a negociação entre as duas empresas, uma vez que o Marco alemão desvalorizou-se em mais de 10% desde o início do projeto até o presente momento. Como esta situação é vista como transitória, somente com a conclusão do processo de adaptação do produto será possível avaliar se o produto ofertado atingiu ou não as expectativas.

## 5 COMENTÁRIOS FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

A realização deste estudo permitiu a formulação de algumas conclusões a respeito do uso da Engenharia Reversa como ferramenta de suporte à adaptação de produtos. Através da revisão bibliográfica, pode-se constatar que a literatura sobre Engenharia Reversa, uma ferramenta para desenvolvimento e adaptação de produtos extremamente útil em países em desenvolvimento, é escassa e, em sua maioria, não disponível em português. Isso se deve, em parte, ao fato do tema ser identificado como simples imitação ou cópia de produtos, sendo desconsiderados os aspectos positivos de uma análise para adaptação/melhoria em produtos já existentes.

Além do tema Engenharia Reversa, abordou-se na revisão bibliográfica as ferramentas auxiliares para análise e melhoria dos processos de produção; a saber: o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), as Cartas de Processo e a Análise de Modo e Efeitos de Falhas (FMEA). A utilização destas ferramentas em conjunto com o processo de Engenharia Reversa, permitem a manutenção dos níveis de qualidade desejados nos processos de fabricação do produto adaptado, além de sistematizarem a implantação de melhorias no produto em estudo e em seu processo de fabricação.

Com o auxílio da pesquisa-ação, foi desenvolvida uma metodologia para adaptação de produtos tendo como base as ferramentas descritas na revisão bibliográfica. A metodologia proposta é implementada em oito etapas: *Coleta de Dados, Engenharia Reversa, QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Viabilidade Financeira, Prototipagem, Qualidade, Implementação e Análise dos Resultados.*

Tendo como base a metodologia proposta, iniciou-se o processo de adaptação de um pincel nacional aos parâmetros de qualidade demandados por um distribuidor alemão. Parte das etapas propostas na metodologia já foram implementadas no estudo de caso, tendo como resultado a geração dos primeiros protótipos conforme as características demandadas pelo cliente.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O tema adaptação de produtos para exportação pode ser explorado além dos limites desta dissertação de mestrado. Considerando-se a quantidade e a complexidade de variáveis envolvidas durante todo o processo de desenvolvimento de produtos, são listadas a seguir algumas sugestões para maior aprofundamento nos temas abordados nesta dissertação, bem como sugestões para trabalhos futuros:

- Durante o processo de Adaptação do pincel ATLAS, a etapa de análise dos materiais poderia ser mais aprofundada, com a inclusão de um estudo comparativo entre os dois tipos de cola epóxi;
- Visto que variáveis financeiras como margem de lucro, custo, etc., são consideradas sigilosas, o tema viabilidade financeira não foi abordado, nesta dissertação, com a necessária profundidade;
- O caso prático foi conduzido em um produto de baixa complexidade e valor agregado, não tendo contemplado estudos de modificação de *design*. A aplicação da metodologia proposta em outros tipos de produto permitiria verificar a validade da proposta, bem como apresentar sugestões de aperfeiçoamento para a metodologia.
- A divulgação e adaptação desta metodologia junto a empresas exportadoras é outra sugestão para trabalhos futuros, já que muitas empresas nacionais possuem um parque industrial adequado, necessitando apenas maiores conhecimentos sobre as peculiaridades de cada mercado estrangeiro, e de como adaptá-las à sua capacidade produtiva.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKAO, Y. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**, Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1996, 187p.
2. ANDRADE, A.L. **Aprendizagem e Desenvolvimento Organizacional**; uma Experiência com o Modelo da Quinta Disciplina. Porto Alegre, 1998, 319p, Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
3. ANON. Flexible Reverse Engineering, **Manufacturing Engineering**, v.117, p.51- 52, 1996.
4. ANON. Pards System Expedites Reverse Engineering, **Manufacturing Engineering** v.103, p.34-35, 1989.
5. ASKELAND, D. **The Science and Engineering of Materials**, 2.ed. London: Chapman and Hall, 1991.
6. BEYEA, S.; NICOLL, L. Methods to conduct focus group and the moderator's rule. **Association of Operating Room Nurses Journal**, Denver, v.71, n.5, p.1067-1068, maio 2000.
7. BOULANGER, P. **NRC/VIT Reverse Engineering Project**. [on line] Disponível na Internet via www. URL: <http://www.vit.iit.nrc.ca/pierre/RERP1.html>. Arquivo capturado em 19.02.2000.
8. CALLISTER, W. **Materials Science and Engineering – An Introduction**. 4.ed. New York: John Wiley, 1997.
9. CAMPOS, V. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japones)**. Belo Horizonte: Bloch, 1992, 220p.
10. CARNIER, L. R. **A Internacionalização como Fator de Competitividade**. São Paulo, 1994, 92p (Caderno Técnico da Fundação Getúlio Vargas – FGV-SP).
11. CHANDRU V.; MONOHAR S. **Volume Modelling for Emerging Manufacturing Technologies**. Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences. Bangalore v.22, p.199-216, 1997.
12. CLAUNCH, J.W. **Set-up time reduction**. New York: Irwin Professional, 1996.

13. COHEN, L. **Quality Function Deployment: how to make QFD work for you**, Massachusetts: Addison-Wesley, 1995, 348p.
14. COUTINHO, L. *et alli*. Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira. Papirus, 1994.
15. CSILLAG, J. M. **Análise do Valor**, 4.ed. São Paulo: Atlas, 1995, 370p.
16. D'ISSY, M. Equipamentos mais baratos dão impulso à tecnologia, *CADesign*, São Paulo, n.52. p. 16-22, ago. 1999.
17. DIAS, A.B. Engenharia Reversa: uma porta ainda aberta, **Produto & Produção**, Porto Alegre. v.2. n.1, p 1-7, fev. 1998.
18. DOYLE, L. *et alli*. **Manufacturing Processes and Materials for Engineers**. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1962, 797p.
19. FISCHER, A.; PARK, S. Reverse Engineering: Multilevel-of-Detail Models for *Design and Manufacturing*, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 15, p. 566-572, 1999.
20. FOGLIATTO, F.; GUIMARÃES, L. Design Macroergonômico de Postos de Trabalho, **Produto & Produção**, Porto Alegre, v.3, n.3, p.1-15, out. 1999.
21. GEIGER, K.; HUBER, R. **Reverse Engineering**, Institute for Computer Applications in Planning and Design, Karlsruhe: Faculty of Mechanical Engineering – University of Karlsruhe, 1994.
22. GRABOWSKI, H.; ERB, J.; GEIGER, K. **Choosing the Right Rapid Prototyping Technology for each Phase of Product Development**, Institute for Computer Applications in Planning and Design, Karlsruhe: Faculty of Mechanical Engineering – University of Karlsruhe, 1998.
23. GRABOWSKI, H. ; ERB, J. ; GEIGER, K. ; STAUDINGER, A. **Support Visual Inspection with CAD – Realizing a Link at the End of the Computer Aided Process Chain for Product Development**, Institute for Computer Applications in Planning and Design, Karlsruhe: Faculty of Mechanical Engineering – University of Karlsruhe, 1998.
24. GUERREIRO, V. Digitalizadores/medidores 3D agilizam projetos, *CADesign*, São Paulo. n.53, p.33-35, set.1999.
25. HOYLAND, A. ; RAUSAND, M. **System reliability theory: models and statistical Methods**, New York: John Wiley, 1994.
26. INGLE, K. A. **Reverse Engineering**, Lexington: McGraw-Hill, 1994, 240p.
27. JOPPE, M. **Introduction to Rapid Prototyping Technology**. Bremen: Bremer Institut für Betriebstechnik und Angewandte Arbeitswissenschaft, 1998

28. KANNENBERG, G., **Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas**, Porto Alegre, Nov. 1994, Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
29. KRAJEWSKI, L. ; RITZMAN, L. **Operations Management – Strategy and Analysis**, 5.ed. Addison-Wesley, 1999, 880p.
30. LEE, K.H. ; WOO, H. Use of Reverse Engineering Method for Rapid Product Development, **Computers & Industrial Engineering**. v.35, n.1-2, p.21-24, 1998.
31. MESSNER, D. **A Geração de Competitividade como Processo Social de Procura e Aprendizagem**. Curitiba: IPARDES, 1994.
32. MINERVINI, N., **Exportar: Competitividade e Internacionalização**. São Paulo: Makron,1997.
33. NETTO, A. Prototipagem Rápida agiliza o desenvolvimento de Produtos. **Revista Metal-Mecânica**, São Paulo, p 8-17, ago/set, 1999.
34. OBORNE, D. J. **Ergonomics at work**. 2.ed. New York: Wiley, 1987.
35. OTTO, K. ; WOOD, K. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology, **Research in Engineering Design**, v. 10, n. 4, p. 226-243, 1998.
36. RIBEIRO, J. ; FERREIRA, A. ; ECHEVESTE, M. **Desdobramento da Função Qualidade - QFD**, Porto Alegre, 1999, [Caderno Técnico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul].
37. SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: the SMED system**. Boston: Productivity Press, 1985.
38. SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System**, Boston: Productivity Press, 1986.
39. SOARES, R. Novos Setores Empresariais se Beneficiam com o Uso do CAD, **CADesign**, São Paulo, n.53, p.21-23, set. 1999.
40. STAMATIS, D. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**, Wisconsin: ASQC, 1995.
41. TAYLOR, J. **Dicionário Metalúrgico Inglês Português**, São Paulo: ABM, 1981.
42. THIOLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**, 5.ed., São Paulo: Cortez, 1992.
43. VOLLMAN, T. E ; BERRY, W. L ; WHYBARK, D. C. **Manufacturing Planning & Control Systems**, 4.ed, Boston: McGraw-Hill, 1997.
44. WESTBROOK, R. **Action Research: a New Paradigm for Research in Production in Operations Management**, **International Journal of Operations & Production Management**, v.15, n.12, p.6-20, 1995.