

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (*ECODESIGN*) NA
INDÚSTRIA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA - ELEMENTOS PARA
UMA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO NAS INDÚSTRIAS ROMI S.A.**

SÍLVIO JOSÉ JACOVELLI

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2005

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (*ECODESIGN*) NA
INDÚSTRIA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA - ELEMENTOS PARA
UMA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO NAS INDÚSTRIAS ROMI S.A.**

SÍLVIO JOSÉ JACOVELLI

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, da Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2005

Ficha catalográfica

**PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (*ECODESIGN*) NA
INDÚSTRIA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA - ELEMENTOS PARA
UMA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO NAS INDÚSTRIAS ROMI S.A.**

SÍLVIO JOSÉ JACOVELLI

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 22 de fevereiro de 2005
pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Paulo Jorge Moraes Figueiredo

UNIMEP

Prof. Dr. João Alberto Camaroto

UFSCAR

Prof. Dr. Gilberto Martins

UNIMEP

Este trabalho dedico à minha querida esposa Ana Osília, a meus amados filhos Gustavo e Luciana e a meus queridos pais, Mary Pellegrini Jacovelli e Antonio Jacovelli (*in memoriam*) pelos exemplos de dedicação e amor que me passaram durante a vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e amigo Paulo Figueiredo que soube construir uma relação de amizade e respeito entre nós, tornando a orientação leve e permitindo a realização deste trabalho de forma prazerosa;

Às Indústrias Romi S. A. pelo grande apoio ao desenvolvimento do mestrado e, particularmente, aos seus funcionários, muitos deles com grande participação no desenvolvimento da dissertação;

Ao Sr. Giuseppe Piagentini (*in memoriam*), homem de grande coração e grande experiência profissional, pelo enorme apoio, particularmente no início da dissertação;

Ao engenheiro Nelson de Carvalho, sempre solícito e disposto a discutir idéias e apoiar o desenvolvimento do tema;

Aos engenheiros Leandro H. Tersi e Israel Costa, amigos e projetistas dedicados e motivados, que se envolveram entusiástica e voluntariamente com a dissertação e permitiram o desenvolvimento de inúmeras aplicações e resultados práticos;

Ao sempre disposto historiador da Romi, Sr. Antônio Carlos Angolini, pelo fornecimento de informações relevantes sobre a história da empresa e especialmente da evolução das máquinas-ferramenta;

À amiga Grasiela B. Teixeira pela paciência e ajuda na correção ortográfica e formatação do trabalho.

No final, nossa sociedade será definida não pelo que criamos, mas pelo que nos recusamos a destruir.

John C. Sawhill (1936-2000)

President, The Nature Conservancy (1990-2000)

Você não deve ser muito preciso ou científico sobre pássaros e árvores e flores.....

Walt Whitman (1819-1892)

Specimen Days

JACOVELLI, Sílvio José. ***Projeto Para O Meio Ambiente (Ecodesign) Na Indústria De Máquinas-Ferramenta - Elementos para Uma Proposta de Implantação nas Indústrias Romi S.A.*** 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade De Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

RESUMO

Esta dissertação se insere no universo de novos conceitos e metodologias de abordagens ambientais desenvolvidas nas últimas décadas para o setor produtivo, como Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environmental - DfE*), Prevenção da Poluição (P2), Eficiência Energética (E2), Tecnologias Limpas e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), Análise do Ciclo de Vida - ACV (*Life Cycle Assessment - LCA*), entre outros . Mais especificamente discute as abordagens de Gestão Ambiental Empresarial, enfatizando a inserção de aspectos ambientais nas etapas de concepção, projeto e desenvolvimento do produto. Esta especificidade na etapa do projeto foi aqui denominada de projeto para o meio ambiente (PMA), do inglês *Design for Environment – DfE* ou *Ecodesign*, em que a performance ambiental do produto e de seu processo produtivo integra a fase de projeto do produto. Nesta perspectiva é apresentada uma proposta de implantação do conceito de Projeto para o Meio Ambiente, partindo-se do Projeto para Montagem (PMo), aplicado em uma indústria de máquinas-ferramenta, juntamente com alguns resultados preliminares decorrentes de uma primeira conscientização acerca da proposta por parte de profissionais da indústria ligados ao projeto de produtos.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto para o Meio Ambiente; *Ecodesign*; Gestão Ambiental Empresarial (GAE)

JACOVELLI, Sílvio José. ***Projeto Para O Meio Ambiente (Ecodesign) Na Indústria De Máquinas-Ferramenta - Elementos para Uma Proposta de Implantação nas Indústrias Romi S.A.*** 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade De Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

ABSTRACT

This work is related to the new concepts, methods and approaches to industrial environmental management, such as: Design for Environment (DFE), Pollution Prevention (P2), Energy Efficiency, Clean Technology, Life Cycle Assessment (LCA), among others. It specifically emphasizes the insertion of the environment aspects in the conception design and development of products, or the "design for environment". In this context, it is presented a proposal of insertion of the design for environment elements in the case of a machine tools company (Romi Machine Tools - RMT). Some preliminary results of the implementation of this proposal are also presented and demonstrate the viability of the environmental improvements through this implementation.

KEYWORDS: *Design for environment; Ecodesign, Environmental management in machine tools company, Design for environment in Brazilian industry*

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. METODOLOGIA	6
1.2. OBJETIVO GERAL E ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2. A MÁQUINA-FERRAMENTA NO CONTEXTO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL	11
2.1. A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS A PARTIR DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS	11
2.1.1. INÍCIO DA PRODUÇÃO EM MASSA	13
2.1.2. O SISTEMA DA PRODUÇÃO ENXUTA: INTEGRAÇÃO	17
2.1.3. O RESPEITO AOS CONSUMIDORES: SISTEMA DE INFORMAÇÃO	18
2.1.4. ELEMENTOS DA PRODUÇÃO ENXUTA	19
2.1.5. CONSIDERAÇÕES ACERCA DO ATUAIS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	19
2.2. AS MÁQUINAS-FERRAMENTA COMO MEIOS DE PRODUÇÃO	22
2.2.1. A EVOLUÇÃO DA MÁQUINA-FERRAMENTA	25
2.2.2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA.....	28
2.2.3. CRONOLOGIA	28
2.3. A EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DAS MÁQUINAS- FERRAMENTA	31
2.4. AVALIANDO MÁQUINAS-FERRAMENTA: TORNOS CNC.....	33
3. REDUZINDO INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NO PROCESSO PRODUTIVO E NO PRODUTO	35
3.1. UM BREVE HISTÓRICO DA GESTÃO AMBIENTAL EMPRESARIAL.....	35
3.2. ABORDAGENS ATUAIS PARA A GESTÃO AMBIENTAL INDUSTRIAL	36
3.2.1. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)	37
3.2.1.1. FASES DO CICLO DE VIDA.....	37
3.3. PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE - PMA (ECODESIGN)	39
3.4. TECNOLOGIA LIMPA	41
3.5. PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO (P2).....	44
3.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (E2)	45
3.7. ASPECTOS E CLASSIFICAÇÃO DAS ABORDAGENS DE PROJETOS: DFX (DESIGN FOR X).....	47
3.7.1. ALGUNS TIPOS DE FERRAMENTAS DFXS.....	48
3.7.1.1. PROJETO PARA MONTAGEM - PMO (<i>DESIGN FOR ASSEMBLY</i> - DFA)	49
3.7.1.2. PROJETO PARA MANUFATURA (<i>DESIGN FOR MANUFACTURE</i> - DFM)	50
3.7.1.3. PROJETO PARA DESMONTAGEM E RECICLAGEM (<i>DESIGN FOR DISASSEMBLY</i> AND <i>DESIGN FOR RECYCLABILITY</i> - DFD E DFR)	50
3.7.2. TENDÊNCIA FUTURA DAS TECNOLOGIAS DFX	52

4.	O ESTADO DA ARTE DOS PROJETOS PARA O MEIO AMBIENTE : O <i>ECODESIGN</i> NA EUROPA.....	54
4.1.	O PROJETO PARA MONTAGEM (PMO): UMA INTRODUÇÃO AO PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE	59
4.1.1.	PROJETAR O PRODUTO É PROJETAR A PRODUÇÃO.....	61
4.1.2.	A EVOLUÇÃO DA CULTURA DO PROJETO.....	63
5.	UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS-FERRAMENTA: INDÚSTRIAS ROMI	65
5.1.	BREVE HISTÓRICO DA EMPRESA.....	65
5.2.	DESCRIÇÃO DAS UNIDADES FABRIS	66
5.3.	RESULTADOS E DESEMPENHO	70
5.4.	EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA - PRINCIPAIS MARCOS.....	71
5.5.	RELEVÂNCIA REGIONAL, ESTADUAL, NACIONAL E MUNDIAL.....	73
5.6.	ESTRUTURA ATUAL DE DECISÕES PARA DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO: MÁQUINA-FERRAMENTA	74
6.	UMA ANÁLISE DA INSERÇÃO DO PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE E DE NOVOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO AMBIENTAL EM UMA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA NO BRASIL.....	79
6.1.	O PMO E A MELHORIA DO DESEMPENHO DA MANUFATURA DO PRODUTO	79
6.2.	O PMO E A MELHORIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PRODUTO.....	84
6.3.	METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO.....	85
6.3.1.	ANÁLISE DO COMPONENTE.....	87
6.3.2.	ANÁLISE DA FASE DE MANUSEIO DO COMPONENTE	90
6.3.3.	ANÁLISE DA FASE DE INSERÇÃO DO COMPONENTE.....	91
6.3.4.	ANÁLISE CRÍTICA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO COMPONENTE	93
6.4.	ALGUNS RESULTADOS PRELIMINARES.....	94
6.4.1.	EXEMPLO 1 : PROJETO DE UMA PORTA DE PAINEL ELÉTRICO.....	95
6.4.2.	EXEMPLO 1: CAIXA DE FIXAÇÃO	97
6.4.3.	EXEMPLO 3: TAMPA DE ACABAMENTO FRONTAL.....	100
6.4.4.	EXEMPLO 4: SUPORTE DE FIXAÇÃO.....	104
6.5.	CONSEQÜÊNCIAS DA UTILIZAÇÃO DO PMO	106
6.6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
6.6.1.	PASSOS PARA CONSOLIDAÇÃO	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	ANEXO I - QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE CRÍTICA - PROJETO PARA MONTAGEM	121
	ANEXO II - ACV	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACEEE	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i>
ACV	Análise de Ciclo de Vida
APA	Agência de Proteção Ambiental
CAD	<i>Computer Aiding Design</i> - Projeto Assistido por Computador
CAM	<i>Computer Aiding Manufacturing</i> - Manufatura Assistida por Computador
CG _{par}	Classificação Geral do Produto Ambientalmente Responsável
DFA	<i>Design for Assembly</i> - Projeto para a Montagem (PMo)
DFD	<i>Design for Disassembly</i> - Projeto para Desmontagem (PD)
DFE	<i>Design for Environment</i> - Projeto para o Meio Ambiente (PMA)
DFI	<i>Design for Inspectability</i> - Projeto para Inspeção
DFLC	<i>Design for Life Cycle</i> - Projeto para o Ciclo de Vida (PCV)
DFM	<i>Design for Manufacture</i> - Projeto para Manufatura
DFMt	<i>Design for Maintainability</i> - Projeto para a Manutenção
DFP	<i>Design for Packaging</i> - Projeto para Embalagem
DFQ	<i>Design for quality</i> - Projeto para Qualidade
DFR	<i>Design for Recyclability</i> - Projeto para Reciclagem (PR)
DFRM	<i>Design for Repair and Maintenance</i> - Projeto para Reparo e Manutenção
DFS	<i>Design for Safety</i> - Projeto para Segurança
DFSCF	<i>Design for Supply Chain Flexibility</i> - Projeto para Flexibilidade da Cadeia de Suprimentos
DFRe	<i>Design for reliability</i> - Projeto para a Confiabilidade
DFT	<i>Design for Testability</i> - Projeto para Testes
DFUF	<i>Design for User-Friendliness</i> - Projeto Interface Amigável

DFX	<i>Design for X ou Design for eXcellence</i> - Projeto para X ou Projeto para Excelência
E ₂	<i>Energy Efficiency</i> - Eficiência Energética
EMAS	<i>Environmental Management and Audit Scheme of European Union</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> - Agência de Proteção Ambiental
GAE	Gestão Ambiental Empresarial
GAPA	Grupo Avaliador do Projeto Ambiental
IEM	Índice de Eficiência de Montagem
IMVP	<i>International Motor Vehicle Program</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> - Análise de Ciclo de Vida
MAG	<i>Metal Active Gas</i> - Gás Metal Ativo
MAPAR	Matriz de Análise de Produto Ambientalmente Responsável
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIG	Metal Inerte Gás
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i> - Tempo Médio Entre Falhas
OTA	<i>Office of Technology Assessment</i> - Escritório de Avaliação de Tecnologia
P ₂	<i>Pollution Prevention</i> - Prevenção da Poluição
PCV	Projeto para o Ciclo de Vida
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i> - Planejamento, Execução, Verificação, Atuação
PMA	Projeto para o Meio-Ambiente
PMa	Projeto para Manufatura
PMM	Projeto para Montagem e Manufatura
PMo	Projeto para Montagem

SETAC	<i>Society for Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i> - Inerte Gás Tungstênio
WCED	<i>World Commission for Environmental Development</i> - Comissão Mundial para o Desenvolvimento do Meio Ambiente

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DO CICLO PDCA.....	20
FIGURA 2 - FATORES QUE INFLUENCIAM A DIFUSÃO DAS PRÁTICAS DE ECODESIGN.....	54
FIGURA 3 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍS: PADRÃO DO GRUPO “FRONT RUNNERS”.....	55
FIGURA 4 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍS: PADRÃO DO SEGUNDO GRUPO.....	56
FIGURA 5 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍS: PADRÃO DO TERCEIRO GRUPO.....	56
FIGURA 6 - NÍVEIS DE INOVAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO (RAND, 1997).....	58
FIGURA 7 - EXEMPLO DE ORIENTAÇÃO UTILIZADA PARA GUIAR PROJETOS DE CHAPARIA NO INÍCIO DE 1960.....	59
FIGURA 8 - GRÁFICO COMPARATIVO PROJETO TRADICIONAL VS PROJETO VOLTADO À MANUFATURA E MONTAGEM.....	63
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA ATUAL DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO.....	78
FIGURA 10 - RELAÇÃO CONCEITUAL ENTRE ALGUNS TIPOS DE ABORDAGEM DE PROJETO (KEYS, 1988).....	81
FIGURA 11 - EVAPORADOR DO AR-CONDICIONADO, ANTES COM 70 COMPONENTES (1980) E APÓS A APLICAÇÃO DO PMO, COM 29 COMPONENTES (1986).....	83
FIGURA 12 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ANUAL POR USOS FINAIS.....	88
FIGURA 13 - PORTA DE PAINEL ELÉTRICO: PROJETO ORIGINAL.....	95
FIGURA 14 - PORTA DE PAINEL ELÉTRICO: PROJETO PARA MONTAGEM (PMo).....	96
FIGURA 15 - CAIXA DE FIXAÇÃO: PROJETO ORIGINAL.....	98
FIGURA 16 - CAIXA DE FIXAÇÃO: PROJETO PARA MONTAGEM.....	99
FIGURA 17 - CARENAGEM FRONTAL.....	101
FIGURA 18 - TAMPA DE ACAMENTO FRONTAL : PROJETO ORIGINAL.....	101
FIGURA 19 - TAMPA DE ACAMENTO FRONTAL : PROJETO PARA MONTAGEM.....	103
FIGURA 20 - SUPORTE DE FIXAÇÃO : PROJETO ORIGINAL.....	104
FIGURA 21 - SUPORTE DE FIXAÇÃO : PROJETO PARA MONTAGEM (PMo).....	105
FIGURA 22 - GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MONTAGEM E DEFEITOS NA INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA.....	107
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA PROPOSTO DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS.....	112

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CUSTO ESTIMADO EM DÓLARES PARA DUAS SITUAÇÕES DE PROCESSO A E B, AMBAS PARA UM LOTE PRODUZIDO DE 100.000 COMPONENTES.....	60
TABELA 2 - ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE PMO VS GANHOS MAIS EXPRESSIVOS.....	83
TABELA 3 - COMPARATIVO ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO.....	97
TABELA 4 - COMPARATIVO ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO.....	103
TABELA 5 - COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO.....	105

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a conscientização ambiental vem aumentando devido, principalmente, a uma série de grandes desastres ambientais e transformações ocorridas no planeta.

Não obstante a importância e repercussão desses fatos, segundo Winter et al. (1989), nenhuma dessas grandes catástrofes ambientais isoladas ou mesmo somadas, superam os danos ambientais cumulativos, menores, que ocorrem em sua grande maioria despercebidos e que são provocados por um grande número de episódios envolvendo poluentes menores, a grande maioria liberados de acordo com as regulamentações legais vigentes.

Segundo Allenby (1999), perturbações ambientais, tais como alterações do clima global, perdas do *habitat* e da biodiversidade, a degradação das terras, das águas e do ar não são mitigadas por ações locais. Normalmente estas perturbações estão associadas a uma íntima rede de conexões entre dois grupos de sistemas complexos: um predominantemente natural e outro predominantemente humano.

Essa afirmação aponta para a extensão e gravidade dos problemas ambientais que não podem ser compreendidos através de uma abordagem isolacionista e pontual. Existe uma forte interdependência entre os problemas ambientais, o que nos remete a uma abordagem sistêmica se o objetivo for encontrar uma solução para preservação ambiental para as futuras gerações.

Dessa forma, torna-se evidente que o caminho para a sustentabilidade¹ de nossas ações passa por pensar e agir através de condutas ambientalmente favoráveis (ou eco-favoráveis) e, para isso, há que se ir além dos limites da

¹ O vocábulo *sustentabilidade* é aqui entendido como a perspectiva de condutas sociais que possam ser praticadas no longo prazo sem romper com a dinâmica do ambiente de uma forma geral.

“conformidade ambiental”. Há que se ter uma percepção sobre como afetamos o planeta com nossas ações diárias.

Segundo Meadows, em *Limits to Growth* (1972), são justamente nossas ações cotidianas, baseadas em nossos objetivos pessoais e na Lei, que afetam as tendências gerais do planeta, sendo nossa crise atual de percepção a trave que não nos permite ver essa interdependência, enxergar como estamos continuamente degradando e transformando nosso planeta.

Chegamos no momento de distinguir a escala de nossas ações individuais, que se desdobram sobre uma perspectiva temporal limitada da economia, em contraposição a outra mais abrangente, que se desvendará através das futuras gerações. (WALLACE e NORTON, 1992)

Segundo Figueiredo (2001), a expressão “desenvolvimento sustentável” foi originalmente proposta nas décadas de 60 e 70 pelos primeiros movimentos ambientalistas, significando um desenvolvimento das sociedades integrado e, mesmo submisso à dinâmica ambiental do planeta, centrado no atendimento das prioridades sociais de todos os povos, na recuperação dos interesses sociais coletivos e em uma nova ética do comportamento humano.

Para Walker (2002), a definição de sustentabilidade refere-se à idéia de que em nossas atividades devemos levar em conta aspectos éticos e ambientais, além de assuntos de interesse econômico.

Sachs (1993) diz que o conceito de sustentabilidade é amplo e envolve interfaces sociais, econômicas, ecológicas, espaciais e culturais, sendo todas elas inter-relacionadas e de grande importância para o entendimento da extensão de nossas ações.

A expressão “desenvolvimento sustentável”, redefinida pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED), se baseia em uma política de desenvolvimento inserida em um modelo econômico e tecnológico de intenso e acelerado consumo de recursos naturais finitos, não renováveis, irre recuperáveis e insubstituíveis. Pelo exposto, o conceito atual de desenvolvimento

sustentável é incompatível com o conceito originalmente definido, e que considera a prerrogativa de manutenção, ou de reprodução, da dinâmica original, no longo prazo em um espaço definido. Esta definição evidencia tempo e espaço como elementos centrais, uma vez que a ação ou o conjunto de ações objeto da sustentabilidade se materializa em um espaço físico (FIGUEIREDO, 2001).

A despeito dos avanços na conscientização, a proteção ambiental no setor empresarial é ainda freqüentemente vista como uma questão marginal, custosa e indesejável, a ser evitada de toda maneira (CALLEMBACK et al., 1993); uma visão defensiva no sentido de direcionar recursos ao que parece mais prioritário ou evitar a exposição e a responsabilização jurídica pertinente.

Por outro lado, existem organizações que buscam liderar seus segmentos, normalmente contando com o suporte de eficientes sistemas corporativos de gestão, o que lhes tem permitido perceber que os gastos com proteção ambiental não representam apenas custos, mas investimentos que podem ser justificados e contabilizados positivamente.

Contudo, o simples cumprimento da legislação ambiental, sem um gerenciamento ambiental sistêmico, amplo e envolvente, apesar de necessário, certamente acabará sendo contabilizado como custo e reduzirá a margem de lucro da empresa, além de apresentar uma tímida eficiência ambiental.

Senge (1990) (apud Kotler, 2002) sustenta que as organizações que sobreviverão e florescerão são as voltadas para o futuro, capazes de assimilar informações novas, adaptar, mudar, essencialmente aprender, cabendo às altas administrações a responsabilidade de criar condições para a promoção da aprendizagem, o incentivo à experimentação. Justamente essa adaptação é o que motiva a evolução da administração nas organizações, levando-as a criar condições para uma maior integração entre trabalho e família. A inclusão mais recente da proteção ambiental entre os objetivos da administração tem ampliado substancialmente sua importância.

Segundo Kotler (2002), empresas de alto desempenho estão cada vez mais focadas na necessidade de gerenciar processos, e o que vemos atualmente é justamente o surgimento de uma administração sistêmica, baseada na horizontalização das relações, premissa básica inclusive para as certificações ISO 9001 e ISO 14001.

Em outras palavras, se desejamos ser melhores, temos que deixar de considerar somente objetivos departamentais e econômicos, buscarmos objetivos sociais e, finalmente, alcançarmos objetivos ambientais e ecológicos.

Importante observar que o termo “ambiental” normalmente está ligado a uma visão menos ampla, mais imediatista, pontual e reativa, inserida em um processo linear onde os aspectos ambientais são identificados e valorados, para posterior tratamento. Já o termo “ecológico” envolve um planejamento prévio e faz parte de uma visão mais abrangente, de médio e longo prazo, sistêmica e pró-ativa, estando freqüentemente relacionado a sistemas e processos cíclicos onde os aspectos ambientais² são evitados ou eliminados. São, portanto, termos distintos sendo preferível as ações de cunho ecológico às de cunho meramente ambiental.

Recentemente as áreas de criação nas organizações têm evoluído, deixando de considerar requisitos puramente funcionais e econômicos para outros de cunho social e ecológico, exigidos pela sociedade, representada pelo cliente. Em outras palavras, com o aumento da concorrência e a globalização, novas expectativas tiveram que ser atendidas, sendo a primeira delas a econômica, seguida pelas necessidades relativas à segurança e, finalmente, as exigências ambientais e ecológicas, decorrentes também do aumento da consciência dos consumidores e do conseqüente endurecimento das leis ambientais (JACOVELLI, 2003).

² Aspecto ambiental é definido como tudo aquilo que pode modificar o meio ambiente, ou seja, descarte de resíduo, descarte de efluente, emissão atmosférica, consumo de recursos naturais como água e energia, etc.

Portanto, argumentamos aqui que, o melhor local para o início de um esforço de redução das influências ambientais é a área de projetos, face sua característica de concepção, com amplas possibilidades de escolha. Em outras palavras, a área de projeto apresenta a janela estratégica para redução de impactos ambientais³ uma vez que, na maioria dos casos, as demais áreas da indústria gravitam ao redor dela (JACOVELLI, 2003).

Com relação à prevenção da poluição (*Pollution Prevention - P₂*), também é o estágio de projeto o local ideal para a implementação dessa ferramenta (CROSS, 1998).

Ações ambientalmente positivas, quando inseridas na fase de desenvolvimento do produto, não são pontuais ou periféricas e passam a ter reflexos que transcendem o ciclo produtivo, chegando ao produto através do Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environment - DfE*).

Segundo Tibor e Feldman (1997), o projetar com perspectiva ambiental compreende esforços para projetar produtos e processos de forma a eliminar ou minimizar a poluição, podendo dessa forma reduzir custos de descarte de resíduos perigosos e custos associados ao cumprimento das leis.

Este é o passo inicial para que possamos, em algum momento, pensar no desenvolvimento de uma produção não linear, cíclica, requisito básico para a próxima fase na busca da excelência ambiental, ou seja, a busca de uma Produção Limpa inserida no contexto da Ecologia Industrial, contínua redutora e não geradora de resíduos. (JACOVELLI, 2003)

Segundo Allenby (1999), enquanto na política ambiental tradicional a ênfase é para a remediação e redução de emissões, com o objetivo principal de redução local e imediata de riscos para os seres humanos, na Ecologia Industrial o objetivo é perseguir a sustentabilidade global de nossas ações, refletidas na não degradação da água, por exemplo. Neste sentido, enquanto o

³ Impacto ambiental é definido como toda e qualquer modificação no meio ambiente, ou seja, os efeitos causados da natureza, tais como alteração da qualidade da água, do ar e do solo, esgotamentos dos recursos naturais e outros.

cumprimento legal trata o meio ambiente como algo separado dos sistemas de produção, como mais um custo necessário de ser contabilizado, a Ecologia Industrial foca o cuidado com o Meio Ambiente como algo estratégico e integral a todos os outros sistemas.

É justamente nesse contexto, de ampliação da visão sistêmica e prevencionista em relação ao meio ambiente, que se insere a atual dissertação, que busca analisar possibilidades de projetar máquinas-ferramenta com melhor desempenho ambiental⁴.

A perspectiva de contribuir com este esforço emergente de inserir os sistemas produtivos e os produtos, nos limites impostos pelo meio ambiente e sua dinâmica, serve de motivação para esta dissertação possibilitando a busca pela sustentabilidade, aqui entendida como a possibilidade de se manter no longo prazo sem prejudicar os elementos e as dinâmicas que sustentam a vida no planeta.

1.1. METODOLOGIA

O desenvolvimento desta dissertação foi baseado em uma pesquisa exploratória, ou seja, inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico que culminou no desenvolvimento e publicação de artigos, seguiram-se entrevistas com diversas pessoas com experiência prática no tema dessa dissertação e finalmente, foram desenvolvidos e analisados diversos exemplos reais.

Em relação ao levantamento bibliográfico, inicialmente foram fundamentais as descobertas originadas nas aulas de pós-graduação da UNIMEP - Universidade Metodista de Piracicaba, particularmente as desenvolvidas junto às disciplinas de Análise, Planejamento e Gestão de Recursos Naturais, Ética

⁴ Segundo TIBOR & FELDMAN (1997), desempenho ambiental consiste em obter resultados mensuráveis acerca do gerenciamento dos aspectos ambientais, produtos e serviços de uma organização, ou ainda, segundo REIS (1996), é o estágio atingido por uma organização no gerenciamento das relações entre os aspectos das suas atividades e os riscos ambientais.

Ambiental, Análise de Ciclo de Vida e Gestão Energética, as quais gradativamente permitiram estabelecer e delimitar o tema proposto.

Importante destacar também a importância de outros cursos realizados no decorrer da pós-graduação, especificamente o de Prevenção e Gerenciamento de Riscos Relacionados ao Trabalho e os de Marketing Estratégico Industrial.

Os seguintes artigos foram desenvolvidos e publicados, tendo assumido grande importância no desenvolvimento da dissertação:

- Avaliação de ciclo de vida simplificada aplicada a evolução dos tornos - **VII EME/III EDE 2003** (JACOVELLI & FIGUEIREDO, 2003)
- Avaliação de ciclo de vida simplificada aplicada a evolução dos tornos - **XXIII ENEGEP 2003**, 2003 (JACOVELLI & FIGUEIREDO, 2003⁵)
- Perfil Diagnóstico Energético de uma Unidade de Fabricação de Componentes de Chapas por Uso Final - **VII EME/III EDE 2003** (JACOVELLI & MARTINS, 2003)
- Perfil Diagnóstico Energético de uma Unidade de Fabricação de Componentes de Chapas por Uso Final - **XXIII ENEGEP 2003** (JACOVELLI & MARTINS, 2003⁶)

Estes artigos serviram como ponto de partida para o levantamento bibliográfico, restringindo a pesquisa ao assunto já definido, quando foram consultados artigos e periódicos, a partir principalmente de bancos de dados eletrônicos disponibilizados na universidade. A leitura do material e documentação foi realizada já de posse de um roteiro de idéias, o que permitiu uma análise focada nos objetivos propostos.

Em relação às entrevistas que permitiram a elaboração deste trabalho é importante destacar um primeiro recorte necessário, que foi a escolha de um dos diversos setores de engenharia da empresa, sendo igualmente importante

⁵ Texto apresentado em versão revista e ampliada.

o conhecimento do autor sobre o produto máquina-ferramenta e sobre os aspectos organizacionais envolvidos em sua fabricação, além do livre acesso às áreas de projeto e processo, analisados sob a ótica de uma grande empresa nacional fabricante de máquinas-ferramenta.

Com relação ao setor escolhido, a opção foi pelo Setor de Engenharia de Produtos da Unidade Fabril 03 (SEP03), responsável pelo desenvolvimento dos componentes e coberturas das máquinas-ferramenta e, portanto, pelo projeto da maioria dos componentes de chapas que revestem as máquinas-ferramenta produzidas nas Indústrias Romi. Esse Setor de Engenharia, conhecido como engenharia de chaparia, tem atualmente em seu quadro 10 projetistas que são responsáveis pelo projeto anual de mais de 1.000 componentes, incluídos aqui todos os componentes independentes, soldados e montados. Essa alta demanda de projetos tem crescido face as exigências cada vez maiores em termos de inovações de *design* e segurança da chaparia, de forma que este setor se apresentou como candidato ideal no sentido de que toda e qualquer ação que agregue ganhos ambientais ou de produtividade, terá reflexos nos projetos posteriores.

Um segundo recorte diz respeito ao envolvimento de projetistas para o exercício de alguns elementos do *ecodesign* em projetos reais da empresa.

Foram escolhidos e preliminarmente treinados dois projetistas para a implantação da metodologia descrita no capítulo 6, os quais tiveram acesso aos textos preliminares da dissertação e a documentação pesquisada, utilizaram a metodologia em seus trabalhos e contribuíram no desenvolvimento do questionário de análise crítica (Anexo I), sendo os resultados práticos decorrentes desse esforço. Vale destacar que a participação desses profissionais ocorreu paralelamente ao desenvolvimento da dissertação e teve grande importância em relação à proposta, já que a integração da pesquisa junto aos questionamentos e resultados foi uma excelente oportunidade de melhorá-la.

⁶ Texto apresentado em versão revista e ampliada.

Desta forma foi finalmente possível propor alterações na estrutura atual de decisões que envolve o desenvolvimento dos produtos, com enfoque na normatização e treinamento da metodologia proposta, de forma a permitir a otimização da montagem e redução das influências ambientais associadas ao produto.

1.2. OBJETIVO GERAL E ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação tem como objetivo central a elaboração de uma proposta metodológica para a implementação do conceito de Projeto para o Meio Ambiente (PMA) ou *Ecodesign* em uma indústria nacional de máquinas-ferramenta, a partir da adaptação de uma de suas partes, o Projeto para a Montagem (PMo).

Para isso, no capítulo 2 são inicialmente apresentadas as máquinas-ferramenta dentro do contexto da produção industrial, onde a evolução dos sistemas produtivos é enfatizada a partir da indústria automobilística, que pela sua abrangência pode ser considerada uma referência para todo o tipo de atividade industrial. As máquinas-ferramenta são então analisadas como meios de produção e suas influências na própria história das organizações humanas.

Com relação ao atual modelo de produção, é apresentada a evolução do ambiente de desenvolvimento do produto, partindo das exigências e critérios tradicionais de projeto até as novas exigências em termos de critérios ambientais.

No sentido de ilustrar a evolução dos produtos sob o enfoque ambiental, foi adaptada uma análise de ciclo de vida simplificada, anteriormente publicada pelo autor, comparando máquinas-ferramenta, de mesmo modelo, produzidas em períodos distintos (Anexo II).

A seguir, no capítulo 3, são descritos os principais conceitos e ferramentas utilizados com o objetivo de redução das influências ambientais nos processos de produção, utilizados pelos Sistemas de Gestão Ambiental das empresas.

O capítulo 4 descreve o estado da arte dos projetos voltados para o meio ambiente ou *Ecodesign*, tomando-se como referência os países Europeus com maior consciência ambiental. A ferramenta de projeto para montagem é então apresentada dentro da perspectiva de possibilitar a introdução dos elementos de *Ecodesign*.

No capítulo 5 temos um histórico da empresa, objeto de intervenção deste trabalho, sendo então descrita resumidamente a estrutura atual de decisões e ações, envolvidas no projeto e desenvolvimento atual de uma máquina-ferramenta.

Finalmente, no capítulo 6, é apresentada uma nova proposta de metodologia e alteração da estrutura de decisões de desenvolvimento de projeto para início da aplicação do *Ecodesign* nas Indústrias Romi de máquinas-ferramenta, complementada com alguns resultados que contribuem como evidência à validação da proposta.

Ainda são colocadas algumas conseqüências e considerações acerca da proposta e possíveis desdobramentos no âmbito da pesquisa e da premência de aplicações práticas desta ferramenta.

2. A MÁQUINA-FERRAMENTA NO CONTEXTO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Womack et al (1997), é importante entendermos as várias formas de produção já vivenciadas pelo homem e atualmente em utilização e desenvolvimento, pois, a maneira como se produzem bens e serviços determina a forma como trabalhamos, agimos, pensamos, nos relacionamos e o que compramos. Em outras palavras, a maneira como produzimos e projetamos os produtos influencia decisivamente a forma como vivemos, e a máquina-ferramenta é um produto fundamental no contexto da produção industrial.

A seguir são apresentadas algumas evidências da participação da máquina-ferramenta dentro do sistema de produção automotivo, sendo posteriormente discutidos aspectos da evolução do projeto desses equipamentos, finalizando com uma visão macro, através da utilização da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida, de sua evolução em termos ambientais.

2.1. A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS A PARTIR DAS INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICAS

Para a análise da evolução do sistema de produção contemporâneo de uma forma geral importa um resgate das fases produtivas da indústria automobilística que, pela complexidade e abrangência em relação às principais etapas produtivas, servem de referência para todo o tipo de atividade industrial, sendo os textos e comentários a seguir influenciados pela publicação “A Máquina que Mudou o Mundo”, de James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Ross, publicada no ano de 1997.

No final do século XIX, a produção de automóveis era totalmente artesanal⁷, sendo extremamente dependente do homem. O que contava era o produto final acabado, não importando o tempo ou a quantidade de esforço despendido. O custo era alto, mas isso não era problema face a pequena demanda de uma rica clientela, disposta a pagar vultuosas quantias por um produto personalizado, muitas vezes especificado em detalhes por esse consumidor que, a título de curiosidade, chegava a solicitar mudanças da posição das alavancas de câmbio de um automóvel.

Nesse cenário, o tempo envolvido no ciclo de fabricação não era, de forma alguma, um fator crítico, mas sim a habilidade do montador em trabalhar arduamente para garantir as necessidades individuais dos clientes, expressas durante o processo de fabricação nos inúmeros ajustes manuais necessários à montagem final das peças.

Se fosse preciso eleger uma principal característica desse sistema produtivo seria a não existência de intercambiabilidade entre os componentes e poderia ser justificada pela não disponibilidade na época de ferramental e padronização adequados.

Nesse sistema, cada montador era quase que um empreendedor, muitas vezes proprietário de um negócio próprio, onde cada produto era na realidade um protótipo, ajustado individualmente com o auxílio do próprio cliente. Essa realidade produtiva não se preocupava com estoques de peças, já que eram inexistentes, e as partes eram produzidas no momento em que fossem necessárias.

Nesse cenário, composto de clientes exigentes em relação ao que desejavam, mas ainda nada preocupados com aspectos como: ruídos, segurança ou preço;

⁷ A produção artesanal depende da extrema qualificação de seus colaboradores e pode ainda ser encontrada nos tradicionais fabricantes de veículos de luxo dos Estados Unidos e Europa, mas começam a ser superadas pelas fábricas de carros de luxo enxutas do Japão. Interessante que essa característica artesanal tem sua expressão também na clássica produção em massa, onde encontramos funcionários comprometidos em solucionar quaisquer problemas na linha de produção, sem perceberem que estão repetindo exatamente o que faziam os funcionários da empresa Ford no final do século XIX., ou seja, retrabalhos que não deveriam estar ocorrendo.

a produção artesanal atingia seu objetivo com duas restrições que se tornariam gradativamente mais importantes: confiabilidade e custo.

2.1.1. INÍCIO DA PRODUÇÃO EM MASSA

A necessidade de produtos mais confiáveis e baratos implicou na criação dos produtos projetados para a manufatura, ou seja, produtos concebidos para serem fabricados de uma maneira organizada, onde as montagens pudessem ser previstas com suas fases e seqüências produtivas, sem interrupções. Esse foi um enorme salto dado por Henry Ford a partir do início do século XX. Sua maneira de organizar a produção foi tão revolucionária que é apontada como a grande responsável por inserir os Estados Unidos da América no caminho da super potência econômica e hegemonia mundial. Diferente do que possa parecer, não foi o surgimento da linha de montagem, com movimentos contínuos, o motivo real dessa assombrosa mudança no sistema produtivo, na realidade, estas características marcantes do “Fordismo” foram conseqüências do projeto voltado para a manufatura.

O que Ford percebeu, e inseriu em sua montagem, principalmente a partir de 1903, foi o conceito da intercambialidade, que consiste basicamente no desenvolvimento de novas ferramentas capazes de usinar o metal de alta dureza e estampar componentes de chapas com grande precisão e com alto volume de produção, com conseqüência direta sobre a redução dos custos de montagem. Sem as máquinas-ferramenta não teria sido possível a conquista dessa intercambialidade.

Com essa mudança de foco estavam criadas as condições para um aumento de confiabilidade e uma redução de custos, os dois grandes obstáculos enfrentados até hoje pela produção artesanal, e de que ainda podemos encontrar reminiscências nas atuais indústrias automobilísticas de carros de luxo ocidentais e na indústria aeroespacial de modo geral.

A partir daí as portas para uma nova era de progresso industrial estavam abertas. Os funcionários podiam trabalhar de forma altamente especializada e,

diferente da produção artesanal, agora possuíam funções também altamente especializadas, direcionadas a uma única fase do processo produtivo, atendendo a montagem de um único componente, fabricado aos milhares por equipamentos totalmente dedicados.

Como um relógio, o sistema de produção em massa não deve sofrer interrupções, todas as fases são estanques e dependem uma das outras. A padronização trazida pelo ferramental dedicado eliminou a necessidade de ajustes, a habilidade do homem passou a ser exercitada pela máquina; assistimos aqui à primeira intensificação planejada do trabalho.

Nesse momento, particularmente de início da produção em massa, ocorreu portanto um enorme aumento de produtividade seguido de redução do custo e de uma intensificação do trabalho, que por sua vez acabou trazendo um crescente aumento dos problemas relacionados à saúde e segurança ocupacional do trabalhador.

Interessante observar que tal início de intensificação do trabalho não mais cessou, trazendo inclusive conseqüências sobre os sistemas de produção atuais, haja vista que, segundo Ferreira (2001), a globalização atualmente, ao exigir o constante aumento da produtividade como fator necessário à sobrevivência das empresas e ao não explicitar os problemas decorrentes da inexistência de limites, além da não consideração das diferenças dos indicadores sociais de cada país, tem provocado atualmente uma constante queda do nível de emprego e da qualidade de vida dos funcionários no âmbito global.

Na produção em massa de Ford cabia ao homem levantar, posicionar, fixar, apertar botões em ritmo acelerado. Este ritmo imposto ao trabalhador foi expresso e denunciado, de forma genial, no clássico “Tempos Modernos” de Charles Chaplin, produzido em 1936, e, guardada as devidas proporções, se mantém atual até os dias de hoje.

Mas, mantendo o foco sobre o produto e a produção, a exigência de equipamentos dedicados e de alta especialização acabou por criar grande inflexibilidade, o que, dependendo do tipo de produto, não representava um grande problema. Mas, com a disseminação desse sistema produtivo, a própria concorrência acabou por exigir alterações nas especificações dos produtos, e é justamente nesse momento que a inflexibilidade passou a ser fator crítico.

Da forma oposta ao sistema de produção artesanal, o sistema de produção em massa reduziu os custos e garantiu o acesso do produto a um grande número de consumidores, que por sua vez começaram a ficar mais exigentes em suas escolhas.

A grande oferta de produtos e a divulgação de um sistema tão eficiente de produção acabou por rapidamente incentivar o surgimento de uma até então insipiente concorrência. O consumidor passou a comparar aspectos de diferentes produtos que iam além da confiabilidade e dos preços, tais como: oferta de cores, características, modelos e *design*.

Essa comparação logo se traduziu em uma pressão crescente de consumidores cada vez mais ansiosos por novos produtos e esse fator obrigou a indústria a alterar o produto, inicialmente de forma menos agressiva, mas rapidamente as alterações começaram a ser severas e o atingimento delas era a única maneira de permanecer no mercado. É exatamente nesse momento que o clássico sistema de produção em massa mostrou sua vulnerabilidade. As mudanças nas linhas de produção de massa, típicas no início do século, se apresentaram onerosas, demandando um enorme esforço de recursos humanos e tempo.

No início do século XIX, era comum que as linhas de montagem fossem paralisadas durante dias ou até semanas para que fossem realizadas as alterações necessárias em equipamentos e ferramental com o objetivo de se incorporar desde simples características funcionais até iniciar a produção de um novo modelo de veículo, por exemplo.

Além do mais, a forte divisão do trabalho existente nesses sistemas de produção, chamados de agora em diante de convencionais, acabou por criar funções não integradas ou pouco integradas às diversas áreas da empresa, sendo que quanto maior a complexidade do produto mais se evidenciavam os objetivos e metas individuais dos setores, o que gradativamente provaria estarem desfocadas da realidade exigida de uma empresa eficiente no sentido da otimização dos recursos e da busca por um bom desempenho global.

Logo conclui-se que, nessa realidade onde é pequena a integração entre as funções e é grande a especialização dos trabalhos executados, a produtividade somente poderia ser mantida ou melhorada se houvesse total controle sobre o fornecimento da matéria-prima e de componentes. Isso levou a excessiva integração vertical. O apogeu desse processo ocorreu para a indústria automobilística no complexo *Rouge*, em Detroit, inaugurado pela empresa automobilística Ford, em 1931. Atualmente tal verticalização pode ser encontrada, em menor ou maior grau, em todas as empresas atuais convencionais de produção em massa.

O apelo inicial da intercambialidade começou a ceder espaço para análises produtivas mais abrangentes, naturais em um mercado altamente competitivo. Inicialmente, e de forma aparentemente paradoxal, a exigência de funções especializadas foi favorecida pela inexistência de recursos humanos qualificados. Ou seja, grande especialização de tarefas implicava na exigência de rápidos e simplificados treinamentos, daí o aproveitamento de mão-de-obra imigrante ocorrida acentuadamente nas indústrias automobilísticas, principalmente na primeira metade do século XX.

Mas, gradativamente, a enorme rigidez desse sistema traduziu-se em fábricas escuras, condições não apropriadas de conforto aliadas a ritmos de trabalho extenuantes. Esses fatores levam ao fortalecimento dos sindicatos, o que também pôde inicialmente ser minimizado com o pagamento de altos salários. Ford, por exemplo, pagava o dobro do salário que seus concorrentes.

Finalmente, os limites da produção em massa começavam a ser expostos, o consumidor obtinha produtos com preços baixos e bons o suficiente às custas de menor variedade e com métodos de trabalho que muitos trabalhadores julgavam monótonos e sem sentido. (WOMACK et al, 1997)

Era então natural que níveis máximos de estoque e uma tolerância intrínseca do sistema produtivo em relação a defeitos redundasse em uma quantidade grande de retrabalho, mas aceitável até então.

Estavam expostos os novos limites a serem superados; o próximo objetivo seria a busca de uma produção mais motivadora, com menos defeitos e retrabalho, mais virtuosa em todos os sentidos e exigente. Além disso, buscavam-se custos menores e também continuamente decrescentes, com quase nenhum estoque e com a oferta de uma enorme quantidade de produtos. Isto era uma utopia que estaria ao alcance de uma empresa japonesa.

2.1.2. O SISTEMA DA PRODUÇÃO ENXUTA: INTEGRAÇÃO

Após a segunda grande guerra, a empresa Toyota do Japão alterou totalmente o panorama produtivo de uma forma tão revolucionária como o fez Ford no início do século.

O sistema de produção desenvolvido pela Toyota, atualmente denominado de produção enxuta, é tão importante a ponto de se afirmar que o grande problema da economia atual, apontado como o excesso de oferta, na realidade deve ser visto como excesso de recursos exigidos pelo sistema de produção em massa dito convencional.

Um dos pilares do sucesso desse novo modelo de produção é justamente uma característica oposta da produção em massa, ou seja, a integração e não a especialização de diversas funções. Nessa nova abordagem produtiva de máxima eficiência, as engenharias de produto somente deveriam desenvolver produtos totalmente compatíveis com os recursos disponíveis no chão de

fábrica, ou seja, produtos esses integrados à engenharia industrial e, portanto, plenamente capazes de serem trabalhados pelas engenharias de processo.

Nem sempre essa compatibilidade dos recursos com o que se deseja produzir é possível, mas somente essa visão abrangente, macro, sobre os diversos setores produtivos permite uma antecipação natural das necessidades, eliminando possíveis gargalos futuros, permitindo assim uma maior confiabilidade em relação aos prazos de desenvolvimento e produção.

2.1.3. O RESPEITO AOS CONSUMIDORES: SISTEMA DE INFORMAÇÃO

Enquanto na produção em massa ou convencional, os dados dos clientes são obtidos de forma não sistematizada, através de pesquisas estatísticas, já na busca pela excelência da produção enxuta, a criação de um completo banco de dados sobre os clientes ou prováveis clientes passa a ser um fator crítico de sucesso. Conhece-se como é importante contar com um sistema de informações para tomadas de decisão racionais por parte da equipe de vendas e que alimentarão, de forma cíclica e recorrente, todo o sistema de aquisição e fornecimento de matéria-prima e componentes, garantindo fluidez e consistência produtiva e, em última análise, a lucratividade da empresa. Aumentos ou reduções drásticas da demanda por parte dos consumidores são sempre indesejáveis, seja qual for o sistema de produção adotado, mas para um sistema enxuto de produção, que tem nível mínimo de estoque e alta produtividade, ou seja, onde se produz com enorme eficiência e sincronia, essas oscilações de demanda são mais do que indesejáveis, elas não devem ocorrer se o objetivo for o atingimento da excelência produtiva.

A única maneira de se amortecer essas oscilações é orientar o esforço de vendas da maneira mais eficiente, sendo o desenvolvimento de sistemas abrangentes de informações a solução encontrada pela Toyota. De forma intensa e dinâmica, o perfil de cada cliente da empresa é continuamente atualizado, ao ponto de demandas específicas de modelos poderem ser previstas com discreta margem de erro.

2.1.4. ELEMENTOS DA PRODUÇÃO ENXUTA

Na realidade, o termo produção enxuta foi cunhado na década de 80 pelo pesquisador do Programa *The International Motor Vehicle Program* - IMVP, John Krafcik e foi assim definida em face das reduzidas necessidades de estoque, espaço, esforço dos operários e investimento em ferramentas. Comparada a produção em massa tradicional, esse tipo de produção necessita de metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos e menos da metade do espaço utilizado pelos sistemas de produção convencionais para o estoque dos locais de produção, os conhecidos estoques ao “pé da máquina”.

Todos esses fatores permitem focar os esforços produtivos em operações que agregam valor, sendo observados níveis mínimos de defeitos e ofertas crescentes de variedade dos produtos, o sonho de qualquer consumidor.

2.1.5. CONSIDERAÇÕES ACERCA DO ATUAIS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Atualmente, uma grande quantidade de sistemas produtivos experimenta ou características próximas à produção artesanal ou próximas à produção em massa ou ainda próximas à produção enxuta, muitas vezes convivendo com os principais problemas e virtudes de todos eles. Mas certamente um problema comum encontrado atualmente na maioria dos sistemas de produção é a incapacidade de projetar peças de fácil fabricação e montagem e quando detectados problemas, a dificuldade ou falta de percepção de que é necessário descobrir as causas reais desse problema, de modo que nunca se repitam ou pelo menos que a frequência de ocorrência seja reduzida continuamente, a tão proclamada melhoria contínua que dificilmente é implantada de forma eficaz. Vemos na Figura 1 um exemplo de ciclo de melhoria contínua, representada pela ferramenta de PDCA - (P) de Planejamento, (D) de Execução, (C) de Verificação e (A) de Atuação.



FIGURA 1 - EXEMPLO DO CICLO PDCA

FONTE: BASSO, 2003

Uma característica comprometedora da eficiência dos sistemas de produção é o retrabalho, sendo este, quando não registrado, impossível de ser controlado. Prática freqüente em muitas empresas, essa “doença” compromete a eficiência produtiva.

Se, por outro lado, fosse necessário eleger a principal característica da boa manufatura ou produção, ou seja, da facilidade de fabricação e montagem do produto, essa sem dúvida seria um projeto bem elaborado, ou seja, um projeto integrado e que considerasse todas as limitações e possibilidades dos recursos da fábrica, sejam físicos ou humanos.

Somente durante o projeto, ou seja, durante o desenvolvimento do produto é que podem ser definidos os graus de exigência, inclusive ambientais, e facilidades de fabricação e montagem. Nos primeiros traços do projetista, da mesma forma que durante o período inicial da vida de uma criança, é que definem-se a personalidade do produto, seu perfil de fabricação, utilização e

disposição final, ou seja, toda a vida do produto já está definida, mesmo que de forma sublinear, na “prancheta do projetista”.

Comparações realizadas na década de 80 entre grandes indústrias automobilísticas norte americanas comprovaram que mais de 40% da diferença de produtividade entre duas delas, fabricantes de veículos para o mesmo mercado, eram decorrentes de diferenças de manufatura entre os produtos.

Mais do que perseguir um tipo ideal de fabricação, seja ela artesanal, em massa ou enxuta, o investimento inicial de tempo e recursos deve ser no sentido de se conseguir atingir um alto grau de produtibilidade⁸, a excelência do projeto e este sim conduzirá o sistema de produção a um alto desempenho.

Um alto grau de facilidade de fabricação e montagem, além de um ótimo projeto, é exigente da transferência das tarefas e responsabilidades para os trabalhadores que executam os serviços, que agregam valor ao produto, e esta não é uma simples proposta. Os grupos devem estar integrados e aptos a detectarem e registrarem, de forma simples, os problemas que surgirão, eliminando, além dos problemas, suas causas. Uma interface rica entre engenharia e produção é uma exigência para a busca de eficiência na manufatura.

Como descrito anteriormente, durante as fases de projeto e desenvolvimento do produto é que são definidos os graus de exigência e facilidades da fabricação e montagem do produto, ou seja, é a janela estratégica para a incorporação e solidificação desses valores.

Do mesmo modo, o processo de controle ambiental adotado pela empresa somente poderá estar sob controle se existir um sistema de informações sobre as demandas de massa e energia do produto e de seus macro componentes, e essa demanda surge junto ao projeto do produto.

⁸ Produtibilidade, segundo Houaiss e Villar (2001), é definida como a qualidade ou condição de produtivo.

Qualquer oscilação nessa demanda, seja qualitativa ou quantitativa, deve ser detectada e avaliada antes de qualquer ação produtiva, ou seja, ainda durante as fases de desenvolvimento, chamadas sabiamente por algumas empresas como análises críticas de projeto.

2.2. AS MÁQUINAS-FERRAMENTA COMO MEIOS DE PRODUÇÃO

Não há como desvincularmos a evolução dos sistemas de produção da própria evolução das organizações humanas, aqui apresentadas em quatro etapas distintas, algumas delas intimamente ligadas à própria história das máquinas-ferramenta.

Segundo Chiavenato (1996), a primeira etapa das organizações humanas inicia-se com a própria história da humanidade e se estende até o século XVIII, especificamente até o início da Revolução Industrial. Esta etapa foi a mais longa delas, abrangendo um período de dezenas de séculos durante os quais a utilização do solo foi a maior fonte de riquezas, sendo dessa forma conhecida como a etapa da agricultura. Este período foi marcado pelo uso pouco eficiente da terra, quando eram comuns a improvisação, ausência de métodos de trabalho, desperdício e despreparo humano.

Se pensarmos a produção como um sistema que viria a evoluir continuamente, então certamente estaremos entrando na segunda etapa de desenvolvimento da organização humana ocorrida a partir da Revolução Industrial, período que se estendeu até 1860, sendo conhecida como a etapa do artesanato. Nesta fase, a maior fonte de riquezas passou a ser representada pelo trabalho que começava a se organizar e se concentrar nos centros urbanos.

É nesse momento que temos a máquina-ferramenta desempenhando um papel fundamental ao permitir o aperfeiçoamento da máquina a vapor de James Watt, precursora de todo o desenvolvimento industrial posterior e marco da Revolução Industrial (MARCONI et al., 1985); (CHIAVENATO, 2000).

A usinagem dos pistões e camisas melhorou o rendimento térmico da máquina a vapor, surgindo então a portabilidade da força motriz, precursora de um rico desenvolvimento tecnológico e que não mais cessou.

Podemos observar durante este período vários desenvolvimentos tecnológicos que catalisariam as fases posteriores, entre eles destacam-se:

- desenvolvimento da maquinaria e conseqüente mecanização da agricultura;
- portabilidade da força motriz, com a utilização do vapor nas máquinas e equipamentos;
- desenvolvimento dos sistemas fabris, representado por pequenas indústrias e responsável por forte urbanização;
- desenvolvimento dos transportes: a ferrovia e a navegação a vapor;
- desenvolvimento das comunicações: telégrafo, correio e telefone.

A partir de 1860 iniciou-se a segunda fase da Revolução Industrial e junto dela a terceira etapa da organização humana, conhecida como etapa da industrialização, quando o capital passou a representar a maior fonte de riquezas. A substituição do ferro fundido pelo aço e do vapor pela eletricidade foram fundamentais para o desenvolvimento de máquinas cada vez mais complexas e com maior portabilidade. Características desse período:

- desenvolvimento de maquinaria automatizada;
- alto grau de especialização do trabalho;
- aparecimento do avião, do rádio e da televisão, possibilitando que o transporte e a comunicação ultrapassassem limites de tempo e espaço até então bastante restritos;
- surgimento de várias formas de organizações capitalistas;

- exportação da industrialização, dos países mais avançados para os menos avançados;

Nesta fase da Revolução Industrial é que o estudo de novas formas de trabalho (em particular as propostas de Frederick Winslow Taylor (1856-1915), definidas como Taylorismo) impôs a racionalização da produção e possibilitou o aumento da produtividade do trabalho economizando tempo, suprimindo movimentos desnecessários e comportamentos “supérfluos” no interior do processo produtivo. Dessa forma, Taylor aperfeiçoou a divisão social do trabalho introduzida no sistema de fábrica.

Os estudos de Taylor geraram uma transformação profunda nos sistemas de produção então vigentes, passando da produção artesanal para a produção em massa. Interessante observar que Taylor, pai da Administração Científica, desenvolvida no início do século XX, também participou ativamente no desenvolvimento das aplicações das máquinas-ferramenta ao estudar por mais de 26 anos os parâmetros de corte, tendo executado testes em mais de 400 toneladas de aço, estudo iniciado em 1881 nas oficinas da *Midvale Steel Company* e que se estendeu até 1907.

Dessa forma, a organização racional do trabalho desenvolvida neste período foi além da análise do trabalho, preocupando-se também com a padronização dos métodos e processos, das máquinas e equipamento, no sentido de reduzir a variabilidade e a diversidade do processo produtivo e daí eliminar o desperdício, aumentando a eficiência. (CHIAVENATO, 2000)

Estavam criadas as condições para que Henry Ford evoluísse as idéias de Taylor e acelerasse a produção por meio de um trabalho ritmado, coordenado, econômico e com qualidade, a conhecida produção em linha de montagem ou produção em massa.

Na verdade Ford conseguiu mais que Taylor, alcançando grande êxito ao dividir o processo produtivo em dois processos distintos, o processo de fabricação dos componentes e a montagem final.

Essa divisão evidencia que além das idéias de Taylor e Ford, foi fundamental para o sucesso do modelo de produção em massa a grande evolução das máquinas-ferramenta experimentada à época, a qual trazia as características perseguidas por Ford: padronização, precisão e escala. Foi neste período de desenvolvimento industrial, de 1910 a 1940, que os operadores de máquina especializados tornaram-se o maior grupo ocupacional nos países industrializados, ultrapassando em quantidade os trabalhadores do campo e os operários. (CHIAVENATO, 2000).

No final do século XX temos o início da quarta e última etapa das organizações humanas, conhecida como etapa ou era da informação (CHIAVENATO, 1996).

A partir de então a informação passou a ser um dos principais e mais importantes recursos da organização humana, uma fonte de riqueza infinita, compressível, substituta de outros recursos, transportável, difusível e altamente compartilhável (CHIAVENATO, 1996).

A era da informação tem seu desenvolvimento também no âmbito físico, expresso no desenvolvimento tecnológico digital, passando a integrar também o que produz e o que é produzido, ou seja, as máquinas e os produtos. A informação incorpora-se simbioticamente a esses bens e responde por uma nova fase da evolução das máquinas-ferramenta, expandindo exponencialmente sua flexibilidade, aumentando sua complexidade e, paralela e paradoxalmente, simplificando sua operacionabilidade.

2.2.1. A EVOLUÇÃO DA MÁQUINA-FERRAMENTA

O torno, ao lado da bigorna e do martelo é, provavelmente, a ferramenta mais importante e mais antiga construída pelo homem para trabalhar o metal. (CHALMERS, 2001).

Inicialmente tal tipo de máquina apenas torneava, daí a designação de torno. Com o desenvolvimento posterior, passaram a fabricar peças de formas cilíndricas ou de faces planas, peças com roscas, dentadas e de qualquer outra

forma. Por esses equipamentos trabalharem sempre conjugados a uma ferramenta definiu-se seu agrupamento sob a designação comum de máquina-ferramenta.

O torno, além de ser a mais antiga, é também a mais importante das máquinas-ferramenta; é geralmente considerado a máquina-ferramenta fundamental porque dele derivam todas as outras máquinas e, também, porque pode executar o maior número de operações em relação a qualquer outra (FREIRE, 1984).

Em termos de importância e utilidade das máquinas, o torno representa um dos maiores fatores de progresso na vida humana, pois, com o resultado de seu trabalho, ele tem prestado, e prestará, a fazer mover, transportar e imprimir outro movimento. Considerando-se tudo que mecanicamente gira, produz força e caminha na terra, no céu e no mar, desde o brinquedo até o relógio, do trem ao avião, da turbina ao motor, sempre é preciso recorrer ao torno para fabricação da maioria de suas peças. Devido a isso, direta ou indiretamente o torno, com seu trabalho, está presente em quase todos os campos da produção industrial, o que demonstra sua importância e a íntima ligação que existe entre este equipamento com a própria história da humanidade (LESMO, 1992).

É provável que as necessidades básicas do homem primitivo e suas vulnerabilidades tenham guiado as características das primeiras ferramentas, tendo sido provavelmente a primeira delas algum tipo de cunha e martelo.

Dessa forma, apesar de sua força relativamente modesta, o homem concentrou energia e começou a trabalhar a pedra de maneira mais simples, lascando-a. Interessante observar como esta operação, evoluindo e aperfeiçoando-se, deu origem a todas as máquinas-ferramenta pertencentes ao grupo de arranque de cavacos. Sendo assim, o cavaco pode ser considerado como correspondente, em origem, à lasca obtida por ação intermitente e lenta, segundo informações obtidas junto a Antônio Carlos Angolini, historiador das Indústrias Romi.

A história do torno se perde no tempo. Para alguns, ela começa na idade do bronze, no ano 1500 a.C. Um instrumento rudimentar, um arco semelhante ao arco indígena, em que a corda era enrolada em volta de uma barra presa pelas extremidades, o que permitia, pelo simples movimento de vai-e-vem, fazer girar a peça de madeira e sobre ela exercer o trabalho de desbaste com uma ferramenta de corte.

Para outros, o começo foi a roda de oleiro, também chamada de torno de oleiro, originária de uma das cinco “máquinas-simples” da Grécia Antiga: a roda e o eixo. Com base nela, o homem desenvolveu um equipamento capaz de ajudá-lo no processo de fabricação de peças e recipientes de cerâmica. A força motriz era fornecida pelos pés, que faziam girar uma roda de madeira, enquanto mãos ágeis moldavam a argila ao rodopiar a massa disforme sobre uma plataforma giratória.

A primeira evolução significativa que se tem notícia do “torno a arco” só veio ocorrer no ano de 1250 da Era Cristã. Um modelo acionado a arco e pedal permitia ao operador liberdade para a utilização das mãos na tarefa de desbaste.

Conforme afirma Carlos Chiti (2004), um dos fundadores das Indústrias Romi:

“...as áreas do saber e do conhecimento se expandem devido à realização de maquinismos que liberam tempo e fornecem ao cientista e ao técnico, assim como aos intelectuais, informações e resultados que abrem novos caminhos às idéias e às realizações práticas de novos meios para melhorar a existência dos seres vivos”, e podemos certamente considerar a máquina-ferramenta a mãe de todas as máquinas.

2.2.2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Basicamente, a evolução tecnológica do torno se processou por dois caminhos distintos.

O primeiro está relacionado com as tarefas que a máquina é capaz de executar e os resultados finais obtidos sobre a peça usinada; o outro diz respeito aos diferentes tipos de controles operacionais da máquina.

Em relação às tarefas, no início só se torneavam as peças. As possibilidades foram se ampliando junto ao desenvolvimento de novos tornos e novas ferramentas, passando-se a cortar, furar, copiar a partir de gabaritos, rosquear e, finalmente, gerar formas complexas, atualmente perfis tridimensionais.

Já em relação à evolução dos controles operacionais, com a introdução, durante o século XX, de sistemas eletromecânicos, hidráulicos, pneumáticos e eletrônicos, os movimentos puderam ser cada vez mais rápidos e precisos, comandados por computador, ou seja, os tornos a CNC, Controlados por Comando Numérico, chegando-se à integração dos sistemas de fornecimento de informação, auxiliados por computador, conhecidos por CAM (*Computer Aiding Manufacturing*).

2.2.3. CRONOLOGIA

Abaixo são listados alguns principais marcos relacionados à evolução dos tornos, conforme citados na **Revista Máquinas & Ferramentas**, publicada em abril de 1981:

3000 a.C. - O homem descobre as vantagens do uso da roda e do eixo, considerado por muitos o esteio de toda a tecnologia de torneamento posteriormente desenvolvida. Heron de Alexandria refere-se a ela como uma das cinco “máquinas simples” da Grécia Antiga, cujas combinações teriam dado origem a todas as máquinas. Completam o quinteto a alavanca, a cunha, a rosca e o plano inclinado;

1500 a.C. - O primeiro torno que se tem notícia vem da Idade do Bronze e já era de conhecimento dos egípcios, sendo exatamente no túmulo de Petosiris que se encontra o mais antigo registro de um torno;

1250 - A primeira evolução que se tem notícia em relação ao torno foi o surgimento do torno a arco, acionado a arco e a pedal;

1480 - Surge o porta-ferramentas, com guia de orientação aplicado aos tornos da época e cujo conceito se perpetua até hoje;

1500 - O gênio criador Leonardo da Vinci contribui para o desenvolvimento do torno; além de, em suas anotações, antever a importância que o torno virá assumir na produção em massa;

É nesse século que as técnicas de fabricação dos tornos evoluem muito, principalmente por terem os reis e nobres adotado o trabalho nesses equipamentos como *hobby*, sendo que não faltam incentivos para seu desenvolvimento.

No período de 1560 a 1590, em uma época em que os ofícios opõem-se às invenções, ocorrem fatos curiosos envolvendo o desenvolvimento dos tornos, como por exemplo a prisão ou persuasão de seus inventores a guardarem segredo sobre suas descobertas.

1565 - Jacques Benson introduz duas importantes inovações: um sistema copiativo acoplado ao arco e ao pedal e a utilização da gravidade para o acionamento da peça, permitindo a execução de roscas;

1615 - Surge o torno de Salomon de Caus, que utiliza como força motriz um auxiliar para movimentar a árvore continuamente, através de um sistema manivela voltante;

1671 - Aparece o torno de rotação contínua, acionado através de sistema pedal-arco-verabrequim;

1770 - Surge o torno a pedal e virabrequim, projetado por P. Geuns;

1775 - John Wilkinson, mestre ferreiro nascido na Inglaterra no início de 1700, desenvolve um torno que permite a James Watt aperfeiçoar a máquina a vapor;

1797 - Henry Maudslay, mecânico inglês, inventa o sistema de polias escalonadas;

1865 - Surge o primeiro torno com barramento de metal, exposto na feira de Paris;

1880 - Surgem os primeiros tornos verticais;

1893 - São produzidos os primeiros tornos automáticos;

1908 - É desenvolvida a caixa de roscas Norton, que vem facilitar a seleção de avanços e passos das roscas;

1930 - São editadas as normas de inspeção de precisão geométrica de máquinas-ferramenta, até hoje vigentes;

1960 - São fabricados os primeiros tornos a comando numérico, abrindo amplas perspectivas para a produção de pequenos e médios lotes de peças;

Importante observar que uma das invenções mais importantes e precursoras da Revolução Industrial, a máquina a vapor “aperfeiçoada” por James Watt em 1775, recebeu uma inestimável contribuição dos tornos desenvolvidos à época.

Ao permitir o torneamento dos pistões e das camisas, ocorreu um sensível aumento do rendimento desses equipamentos, o que reduziu drasticamente as perdas de calor e criou novas oportunidades de aplicações, advindas principalmente da possibilidade de utilização de pressões cada vez maiores e da maior portabilidade conferida ao equipamento.

A partir da década de 70, o que temos assistido desde então é uma crescente integração da máquina-ferramenta junto a sistemas de automação e, mais recentemente, a partir da década de 80, sistemas de informações digitais, o

que permitiu ao torno tornar-se uma máquina-ferramenta extremamente complexa, robusta, versátil, precisa e segura em sua operação.

Interessante que, apesar de sua complexidade, sua operação vem sendo simplificada com a ajuda da própria informática, através do desenvolvimento de interfaces de comandos amigáveis integradas a sistemas de projeto e programação auxiliados por computador (CAD/CAM).

2.3. A EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DAS MÁQUINAS-FERRAMENTA

Tradicionalmente os critérios utilizados pela indústria para o desenvolvimento dos produtos têm sido o desempenho, custo, qualidade e segurança. (BRINKLEY et al., 1994). Essas têm sido as principais necessidades detectadas pelos clientes. Desse ângulo, os efeitos sobre o meio ambiente causados pela manufatura do produto, sua utilização ou descarte final, têm demandado pouco interesse por parte dos consumidores, sendo a análise e equacionamento dos problemas ambientais inseridos no produto, ou seja, em todo seu ciclo de vida, fatores até então não competitivos para as indústrias.

Os princípios da sustentabilidade sempre desafiaram muitas idéias estabelecidas e já fortemente incorporadas à realidade da indústria; de diversas maneiras essa sustentabilidade tem-se apresentado de forma incompatível com as normas e prioridades envolvidas no mundo dos negócios.

Mas foi a partir do final dos anos 60 e início dos anos 70 que as atitudes da sociedade, em face aos problemas ambientais causados por ela mesma, sofreram uma gradual e sensível alteração. A publicação, divulgação e, principalmente, a aceitação de livros como *Limits to growth* (MEADOWS e MEADOWS, 1972) chamaram a atenção, com maior ou menor intensidade, das sociedades e dos governos de todo o planeta para os efeitos negativos da tecnologia sobre o meio ambiente. Desde então, e de maneira crescente, o conceito de sustentabilidade, associado aos limites temporais e físicos dos

elementos que compõem o meio ambiente, têm sido evidenciados por uma consciência ambiental crescente e uma demanda cada vez maior por produtos e serviços com menores impactos ambientais.

A própria constatação do tamanho finito do planeta, despertada pela chegada do homem à Lua e, reforçada por uma enorme velocidade e qualidade da comunicação associada a um sistema de transporte extremamente ágil e energo-intensivo tem evidenciado esse limite. Esse menor distanciamento entre os povos tem tornado muitos processos e produtos complexos, existindo uma forte tendência de que estes tornem-se híbridos, muitas vezes sendo produtos apenas montados em seu país de origem com componentes importados de várias partes do mundo ou vice-versa. Essa nova característica dos processos produtivos globais, conhecidos como produtos mundiais, tem alterado acentuadamente todo o mapa econômico mundial, disponibilizando tanto os recursos de toda a parte do planeta como os problemas ambientais advindos de seu ciclo de vida, ou seja, da matéria-prima, manufatura, utilização, transporte e disposição.

Nesse sentido, se minimizarmos os impactos ambientais logo no início do desenvolvimento de um produto, parece claro que estaremos contribuindo para a redução do impacto ambiental por todo o ciclo de vida do produto, e o mais importante, no momento mais adequado de fazê-lo.

Um produto, por exemplo, desenvolvido em um determinado país e composto em sua maioria por alumínio, um energo-intensivo sabidamente responsável por sérios problemas ambientais em sua fase de extração de matéria-prima, encontrará fortes resistências de ser substituído em sua especificação de material, principalmente após ter sido homologado em outros países e, mais ainda, após ter sido aplicado em outros sistemas ou sub-sistemas. Portanto, a janela estratégica para minimização dos problemas ambientais está aberta no momento em que se inicia o projeto, ou seja, tem-se que agir na fonte e a fonte primária, na grande maioria das vezes, são os setores de engenharia de produto das empresas.

O grande processo de aquisição que envolve as organizações inicia-se nessas engenharias de produto, em que são avaliadas e descritas as especificações, inclusive os impactos ambientais, custos e recursos físicos disponíveis e/ou necessários no chão de fábrica. Nesse sentido, as engenharias têm total influência na seleção dos componentes e redução ou acréscimo dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto, mesmo que inconscientemente.

2.4. AVALIANDO MÁQUINAS-FERRAMENTA: TORNOS CNC

Uma das primeiras patentes referentes às máquinas-ferramenta foi a do torno de roscamento Wilkinson, emitida em 1798 e, desde então, essas máquinas e seus produtos têm acompanhado o crescimento e evolução de toda a indústria de manufatura, incluindo a automotiva e aeroespacial. Se pudéssemos escolher uma única e principal razão para sua sobrevivência e sucesso esta seria sua grande versatilidade e que atualmente tem contribuído para uma maior rigidez e precisão, obtidas com a utilização de novos compostos químicos em substituição às tradicionais estruturas de ferro fundido, com fixações e tubulações hidráulicas nascendo internas às estruturas, contribuindo para uma significativa redução do ciclo de produção.

Pensando-se ambientalmente, máquinas-ferramenta, no caso específico tornos CNC, têm impactos distribuídos por todas as fases de ciclo de vida.

Encontra-se no anexo II o artigo revisado, ***Análise de Ciclo de Vida Simplificada Aplicada à Evolução de Tornos*** (Jacovelli e Figueiredo, 2003), apresentado no ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção) em Ouro Preto - MG, onde esses impactos são analisados, de forma qualitativa, por todo o ciclo de vida do produto.

Nesse artigo é desenvolvida uma análise de ciclo de vida simplificada, considerando a evolução das máquinas-ferramenta sob o enfoque ambiental, comparando-se para isso dois modelos de máquinas-ferramenta produzidos

em períodos distintos, em que se pode graficamente observar a evolução ambiental do produto e a redução da carga ambiental imposta a ele, por consequência da evolução tecnológica, das exigências legais ou de mercado.

O artigo destaca alguns avanços ambientais significativos como resposta ao menor impacto ambiental apresentado pelos tornos CNC atualmente, tais como a evolução do processo de moldagem com a eliminação da resina fenólica utilizada no processo de fundição (D'ELBOUX, 2000), com consequente melhoria dimensional dos fundidos; a maior aderência do projeto aos recursos de fabricação com a utilização de modernas ferramentas computacionais, a redução do ciclo de fabricação e a introdução da pintura eletrostática a pó, considerada pintura ecológica e atualmente uma das tecnologias disponíveis, para proteção superficial, com menor impacto ambiental.

O artigo fornece evidências da associação existente entre os impactos ambientais do produto máquina-ferramenta e as escolhas e decisões envolvidas nas especificações do projeto e processo.

Mas, apesar de ser uma ferramenta de apoio importante, a Análise do Ciclo de Vida, mesmo com o perfil simplificado, apresenta algumas importantes restrições, sendo uma delas a reatividade, ou seja, a ACV nos apresenta uma fotografia de um evento que já ocorreu, um projeto e processo já desenvolvidos e em andamento, sendo dessa forma essencialmente reativa.

Se desejarmos evoluir o sistema de gestão ambiental da empresa e obter análises de ciclo de vida cada vez mais favoráveis ambientalmente, temos que proativamente decidir quais especificações e tecnologias devemos utilizar, de maneira que possamos ter controle e melhoria contínua sobre o impacto ambiental imposto ao projeto e ao produto, antes que os mesmos estejam desenvolvidos e implementados.

3. REDUZINDO INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NO PROCESSO PRODUTIVO E NO PRODUTO

A preocupação do setor industrial com o meio ambiente é bastante recente e, a despeito do extenso elenco de problemas ambientais ocorridos em nossa história mais atual, com origem nas atividades produtivas e suas instalações, a gestão ambiental empresarial ainda se encontra em seus primeiros passos.

São descritos a seguir, de forma resumida, o início e a evolução da gestão empresarial ambiental, onde são destacados alguns de seus conceitos mais atuais.

3.1. UM BREVE HISTÓRICO DA GESTÃO AMBIENTAL EMPRESARIAL

Talvez o marco referencial mais relevante acerca da gestão ambiental empresarial seja o desenvolvimento dos trabalhos do Clube de Roma publicados em 1972 e a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada em Estocolmo nesse mesmo ano.

No período de Estocolmo-72 a Rio-92, a gestão ambiental empresarial foi um dos temas que mais se desenvolveu, juntamente com a legislação ambiental internacional e as pesquisas voltadas à compreensão dos fenômenos ambientais de amplitude global. Como fruto dos esforços desse período vimos, em 1993, ser introduzido o Sistema de Gestão Ambiental e o Esquema de Auditorias na Europa (EMAS - *Eco Management and Audit Scheme*), que entrou em operação efetiva em 1995. Este instrumento de gestão estabeleceu as especificações para os Sistemas de Gestão Ambiental - SGAs das empresas europeias e daquelas com pretensão de realizarem negócios na União Europeia - EU.

Desenvolvida na década de 80 e início da de 90, a norma BS7750, publicada pela *British Standards Institution* inicialmente em 1992 e modificada em 1994,

apresentou a primeira formatação de um Sistema de Gestão Ambiental Empresarial. A BS7750 foi escrita para ser compatível com os requisitos do EMAS (*Eco-Management e Audit Scheme*) e também de outras normas do Japão, Canadá, Irlanda, Espanha e da França. Este esforço deu origem à série de Normas ISO 14000. Em setembro de 1996 foi publicada a norma internacional ISO14001, voltada à normatização dos Sistemas de Gestão Ambientais Empresariais.

Vale destacar que, ao longo desse período, vários instrumentos de gestão ambiental empresariais foram concebidos e exercitados, trazendo contribuições significativas para a gestão de resíduos e efluentes, economia de energia, redução de riscos de acidentes e concepção de medidas mitigadoras dos problemas ambientais decorrentes dos processos produtivos.

No âmbito dos mecanismos de regulamentação e controle, observa-se nesse período o aumento do rigor das leis ambientais em todo o mundo e a adoção de medidas restritivas para os processos poluidores e de risco à saúde. Na década de 90, observa-se a difusão de novos conceitos voltados à gestão ambiental empresarial, tais como: os Mecanismos de Desenvolvimento Limpos (MDLs) e o Projeto Para o Meio Ambiente.

Todos estes novos conceitos, juntamente com a ampliação do uso de instrumentos de gestão voltados ao produto, como as Análises de Ciclo de Vida, fornecem atualmente ao setor produtivo um poderoso arsenal para lidar com problemas ambientais decorrentes não apenas da produção propriamente dita, mas de toda a logística de abastecimento de produtos e da gestão de resíduos, contribuindo para a ampliação das reservas de recursos naturais e evitando problemas de contaminação de uma forma geral.

3.2. ABORDAGENS ATUAIS PARA A GESTÃO AMBIENTAL INDUSTRIAL

São descritas a seguir algumas das mais importantes ferramentas de melhoria de desempenho ambiental.

3.2.1. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)

A Análise de Ciclo de Vida foi desenvolvida com o objetivo de avaliar e, onde possível, reduzir os impactos ambientais de todo o ciclo de vida do produto, processo ou serviço (ISO14040), sendo uma boa vantagem desta ferramenta a existência de um método padronizado bem estabelecido, o qual inclui a fase de análise dos impactos em que os impactos potenciais são reunidos e quantificados (ISO14042).

Já segundo Overcash (1994):

“A ACV é uma ferramenta de análise ambiental que vem sendo desenvolvida desde 1975, e permanecerá controversa até que seu fundamento científico seja melhorado e uma maior padronização de suas diversas fases seja obtida.”

De qualquer maneira, apesar de ser essencialmente reativa, a ACV tem mostrado ser uma ferramenta fundamental para a avaliação ambiental do produto.

3.2.1.1. FASES DO CICLO DE VIDA

O estudo do ciclo de vida compreende as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo, incluindo as operações industriais e de consumo, até a disposição final do produto quando se encerra a sua vida útil (CHEHEBE, 1998). São quatro as fases da Análise do Ciclo de Vida de um produto: a definição do objetivo e escopo, fase esta bem definida, seguida da segunda fase composta pela análise do inventário, a qual é razoavelmente bem definida. Já a terceira fase, análise de impactos, está nos estágios iniciais da definição e, finalmente, há a quarta fase, de aprimoramento da análise, em que os resultados dos dois primeiros estágios do ciclo de vida são traduzidos em direção a ações específicas que beneficiam a relação entre meio ambiente e indústria.

A despeito da utilidade conceitual, é comprovada a dificuldade na prática em realizar com detalhes o inventário de ACV, mais difícil ainda é relacionar esse inventário com uma análise de impacto que se possa justificar, e muito mais difícil traduzir os resultados dos vários estágios da ACV em ações apropriadas.

Dentre as razões para essas dificuldades, aponta-se que as ACVs globais são muito onerosas, demandando intensivamente recursos humanos, além de consumir muito tempo. Isso se deve, por um lado, à necessidade de aquisição de informação quantitativa exigir medidas analíticas que devem ser realizadas no local e, por outro lado, se deve à necessidade de revisões detalhadas de arquivos, registros e normas.

Uma ACV em larga escala, ou completa, que utilize modelos de inventários da SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) e da EPA (*Environmental Protection Agency* - EUA) podem demandar de 10.000 a várias centenas de milhares de dólares para cada produto estudado. Esse investimento é de ordem significativa para várias companhias pequenas ou para grandes companhias com várias linhas de produtos.

Além disso, muitas ACVs em uso atualmente são aplicáveis somente a um número limitado de sub-sistemas de produtos comerciais e, mesmo assim, as análises de impacto são inevitavelmente controversas, em parte porque, quando as ACVs são utilizadas de forma comparativa, elas envolvem julgamento de valor e impactos de diferentes pesos. Consequentemente, análises numéricas de impactos são freqüentemente questionadas e não aceitas como adequadas.

Pelas diversas razões expostas acima, os pesquisadores têm procurado buscar atalhos que têm levado à utilização dos conceitos de ciclo de vida ao invés da implementação da abordagem tradicional. Mais um incentivo a que isso ocorra é que o Escritório de Avaliação de Tecnologia (OTA - *Office of Technology Assessment*) em *Green Products by Design* (Produtos Verdes em Projeto) sugere que as informações para as ACVs podem sair de controle e, para produtos complexos, ACVs se tornarão impossíveis. OTA afirma que:

“... menos informações serão necessárias, e não mais. ACVs precisam ser restringidas para serem enfocadas em uma porção de dimensões críticas dos impactos ambientais de um produto, ao invés de todas as dimensões. Uma possibilidade é limitar a análise a três dimensões: a contribuição do produto para impactos ambientais catastróficos ou irreversíveis (p. e., destruição do ozônio ou extinção de espécies), para gerar perigos à saúde humana e para o consumo de energia no seu ciclo de vida. Qualquer ACV “parcial” pode ser criticada como sendo incompleta (...) mas alguma simplificação parece ser essencial para que as ACVs se tornem amplamente utilizáveis.”

Trabalhar os problemas e restrições expostos acima e ao mesmo tempo produzir análises aperfeiçoadas e que sejam úteis aos tomadores de decisão são tarefas difíceis, na melhor das hipóteses. A experiência tem demonstrado que o processo da Análise de Ciclo de Vida funciona de forma mais efetiva quando é realizado em uma profundidade mais modesta e de forma qualitativa por um conhecedor da gestão ambiental da empresa e do produto ou serviço analisado. Essa maior funcionalidade deve ser entendida como maior facilidade de entendimento e comunicação dos resultados das análises aos agentes, ou seja, o que se deseja é uma maior transparência e rapidez no entendimento da ACV pelos envolvidos no projeto ou processo analisado. É justamente com essa intenção que os procedimentos simplificados de análise começam a ser desenvolvidos.

O que se almeja é criar uma rotina que permita realizar a ACV rapidamente, digamos de dois dias a uma semana, tempo em que serão identificados os principais impactos ambientais através do ciclo de vida avaliado.

3.3. PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE - PMA (*ECODESIGN*)

O Projeto para o Meio Ambiente - PMA (*Design for Environmental* como é conhecido nos Estados Unidos) ou simplesmente *Ecodesign*, como é

conhecido na Europa, refere-se à incorporação sistemática de fatores ambientais dentro do projeto e desenvolvimento dos produtos, o que é uma definição bastante abrangente.

Segundo Lenox (1996), o Projeto para o Meio Ambiente (PMA) é um processo sistemático através do qual as empresas projetam seus produtos e processos de uma forma consciente ambientalmente.

Ainda, segundo Cross (1998), o *Ecodesign* tem se tornado um caminho seguro para a incorporação da prevenção à poluição e da análise de ciclo de vida dentro do projeto do produto.

Segundo Horvath et al. (1995), são três os principais objetivos do *Ecodesign*:

- minimização do uso de recursos não renováveis;
- gerenciamento efetivo dos recursos renováveis;
- minimização dos descartes para o meio ambiente.

Fiksel e Wapman (1994) definem Projeto para o Meio Ambiente (PMA) como sendo “*a consideração sistemática, durante o desenvolvimento de um novo processo e produção, das preocupações de projeto associadas a saúde e segurança ambiental sobre todo o ciclo de vida do produto*”⁹. O escopo do PMA engloba muitas disciplinas incluindo o gerenciamento de riscos ambientais, segurança do produto, saúde e segurança ocupacional, prevenção à poluição, ecologia, conservação de recursos, prevenção de acidentes e gerenciamento de resíduos (McCUE, 1993).

Como a própria definição sugere, considerar sistematicamente as influências ambientais em relação às decisões de um projeto é uma abordagem extremamente abrangente e é considerada a forma mais eficiente de minimizar as influências ambientais de um produto, mas também a mais complexa de ser implementada.

⁹ Traduzido pelo autor.

Segundo Overcash (1994), essa ampla abordagem proposta pelo PMA é confirmada pela utilização da Análise de Ciclo de Vida e das análises de massa e energia como ferramentas centrais dessa filosofia, podendo-se destacar os seguintes critérios de decisão ou orientativos do projeto:

- Simplicidade do Projeto (*Design for Simplicity*);
- Durabilidade (*Design for Life Extension*);
- Manutenção (*Design for Maintenance*);
- Reciclagem (*Design for Recyclability*);
- Pensar a escassez do material;
- Toxicidade do produto;
- Potencial de resíduos;
- Facilidade na desmontagem (DFA e DFR), etc.

Os critérios acima são geralmente qualitativos, ou difíceis de serem quantificados, e o que se persegue é o uso de análises e critérios que possam identificar alternativas no projeto apropriadas à cultura e à economia onde se insere o produto e seu desenvolvimento. Ainda segundo Overcash (1994), a utilização de critérios qualitativos e não quantitativos é uma alternativa natural que vai ao encontro da atual determinação de escolhas ambientais amistosas.

3.4. TECNOLOGIA LIMPA

Segundo Getzner (2002), tecnologias limpas podem ser definidas como medidas integradas dentro de um processo produtivo para a prevenção de danos ambientais (emissões, etc.) diretamente na fonte. De forma mais específica, são tecnologias direcionadas para economizar recursos naturais e

energia de maneira integrada e de forma a melhorar a eco-eficiência do processo produtivo.

Ainda segundo Getzner (2002), as tecnologias de produção limpa incluem especialmente as seguintes medidas de economia de recursos:

- a - Tecnologias de ciclo fechado e/ou a instalação de novas tecnologias de produção;
- b - Redução de consumo de materiais durante o processo produtivo;
- c - Reorganização do gerenciamento de resíduos e redução integrada da geração de resíduos;
- d - Tratamento integrado de esgoto e medidas de redução de consumo de água;
- e - Investimentos em tecnologia para economia no consumo de energia;
- f - Implementação de Sistemas de Gerenciamento Ambiental (SGA) conforme a ISO (*International Standards Organization*) ou EMAS (*Environmental Management and Audit Scheme of European Union*);
- g - Controle integrado para redução ou eliminação da poluição do ar, incluindo a redução das emissões no local do trabalho.

Em anos recentes tem-se debatido muito as implicações econômicas e ecológicas da adoção de tecnologias de produção limpa, que em uma definição simplista seria a eliminação da geração de resíduos diretamente na fonte, em substituição ou alternativa à utilização da conhecida tecnologia *end-of-pipe*, esta última sabidamente concentradora de passivo e, muitas vezes, transferidora de passivos de um sítio para outro.¹⁰

¹⁰ As tecnologias limpas, diferentemente das tecnologia de final de linha, ou *end-of-pipe*, (que normalmente enxergam os problemas ambientais como algo separado do processo produtivo e que deve ser remediado ao final do processo produtivo) consideram o meio ambiente como algo intrínseco a esse processo produtivo e, por essa razão, não pode ser visto isoladamente.

Em outras palavras, a tecnologia limpa trabalha de forma pró-ativa, sendo uma de suas conseqüências a melhoria da eficiência do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) adotado na empresa, obtida justamente com a minimização de resíduos, de emissões e reduções significativas na utilização de matéria-prima e energia.

No entanto, interessante observar que além dos impactos ambientais positivos existem também outros dois aspectos importantes envolvidos que são a viabilidade econômica e os aspectos sociais, todos os três, bases para o conceito de sustentabilidade. (GETZNER, 2001)

Em relação à viabilidade econômica, muito tem sido dito acerca dos impactos positivos trazidos por essas tecnologias limpas, as quais, como dissemos, são bem diferentes da tecnologia de final de linha.

Enquanto por um lado a adoção das tecnologias *end-of-pipe*, um processo menos complexo de ser implantado tecnologicamente, conduz a maiores investimentos e maior necessidade de empregos, o que poderia ser visto como algo positivo em termos de criação de postos de trabalho, por outro lado, os custos de operação e manutenção ocasionados por essa tecnologia diminuem a produtividade da empresa.

Ainda em relação aos aumentos dos custos, é certo que com o agravamento dos problemas ambientais, os custos da destinação final de resíduos crescerão exponencialmente, reduzindo ainda mais o retorno sobre o capital aplicado dessas empresas e, conseqüentemente, tornando-as menos competitivas.

Já as tecnologias limpas, a princípio bem mais complexas de serem implantadas em todo o processo industrial, conduzem a empresa a um aumento da eco-eficiência e produtividade consistentes e duradouras devido, principalmente, à economia de custos globais e aos efeitos da racionalização sobre todo o processo produtivo.

Apesar de ser mais complexa de ser implantada, quando desenvolvida sobre todo o ciclo do processo ou produção, devemos considerar que, segundo Valle (2002):

“Aderir à produção limpa não quer dizer que as instalações inteiras de uma indústria já existente devam ser modificadas, substituídas ou sucateadas. Alterações localizadas, introduzidas em alguns setores críticos das instalações, são soluções quase sempre suficientes.”

O terceiro aspecto importante da sustentabilidade refere-se aos aspectos sociais e, estes últimos, em um contexto amplo, incluem o padrão de vida, a qualidade do trabalho e a cultura democrática existente na empresa.

Portanto, em uma primeira abordagem, o impacto sobre o número de empregos nas empresas que adotam a tecnologia limpa é somente um dos importantes aspectos sociais envolvidos. Uma grande quantidade de outros tópicos deve ser considerada, como a qualidade do ambiente de trabalho, a segurança do trabalho, o estresse e outros fatores, chamados de “suaves”, que envolvem as relações de trabalho e a satisfação no trabalho, sendo que somente recentemente um número de publicações tem trabalhado com esses assuntos em particular.

3.5. PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO (P₂)

A Prevenção da Poluição (P₂) é, em essência, a aplicação do programa de qualidade ao gerenciamento da poluição, o que, para a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA - *Environmental Protection Agency*), significa reduzir a geração de resíduos e poluição na fonte, priorizando as aproximações preventivas de reciclagem, de tratamento e de disposição de resíduos.

Qualquer mecanismo que procure evitar, prevenir ou reduzir os descartes de poluentes, tanto os sólidos, líquidos ou gasosos, de forma outra que os métodos tradicionais de tratamento da poluição, conhecidos como descartes de

final de linha (*end-of-pipe*), para propósitos de orientação, podem ser considerados como prevenção à poluição.

Sugere-se que P_2 está fundamentado em uma aproximação voluntária, enquanto que as regulações e autorizações, aproximações coercitivas tradicionais, são melhores adaptadas para tratamento, disposição e remediação.

Enquanto uma perspectiva de ciclo de vida auxilia a identificação da maioria dos impactos ocorridos nos diferentes estágios da manufatura, o conceito de prevenção da poluição geralmente cria valiosas oportunidades de identificação de soluções.

Kurt Russel, autor de *Making Peace with the Planet*, observa que o problema principal em relação à política de proteção ambiental americana atualmente é que “estamos tentando controlar a poluição ao invés de preveni-la”, o que é justamente a abordagem proposta pela P_2 .

Como a essência da prevenção à poluição é a mudança de comportamento dos agentes envolvidos em todo o processo, é importante termos um indicativo dessa mudança de comportamento, sendo os resultados das análises críticas um dado fundamental para a retroalimentação e aumento da eficiência em relação a essas e futuras ações preventivas.

Segundo Cross (1998), a prevenção à poluição é uma idéia de bom senso, mas colocá-la em prática continua a demandar uma experimentação ousada e persistente.

3.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (E_2)

Segundo Pye (1998), pesquisadora associada ao programa de eficiência energética industrial na *American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE), por ser quantificada incorretamente dentro do ciclo produtivo, normalmente a energia é considerada um componente de baixo custo, sendo

por isso um item que chama pouco a atenção da maioria das indústrias. Dessa forma, a melhoria da eficiência energética tem tido uma baixa prioridade para a maioria das empresas, principalmente quando comparada aos altos custos com a mão-de-obra e matéria-prima. Devido a essa pequena percepção, a maioria das empresas não percebe que a energia é um assunto discreto, mas um componente de um assunto mais amplo que envolve o custo de manufatura, do meio ambiente, da segurança e da produtividade.

Segundo JACOVELLI (2003):

“É premente ter uma visão detalhada de um processo produtivo e de seu comprometimento, em função dos diversos tipos de energéticos e sua forma de utilização final, pois essa visão se apresenta como única ferramenta realmente eficaz no gerenciamento do consumo e garantia de tomadas de decisões racionais, baseadas em dados concretos e que demonstrem, por parte da empresa, uma visão coerente com os conceitos atuais de desenvolvimento sustentável, ou seja, observar com detalhe qual é o uso final da energia, de forma a garantir uma racionalidade em termos econômicos, técnicos e ambientais.”

Ainda segundo Pye (1998), estudos revelam que o projeto de eficiência energética tem benefícios que extrapolam a economia com energia e trazem ganhos em relação à prevenção da poluição, eficiência de processo e aumento da produção, sendo que programas de redução de poluição industrial têm evoluído desta perspectiva, deixando o foco do tratamento e disposição de resíduos, conhecido como *tailpipe* ou *end-of-pipe*, e partindo para programas mais flexíveis focados na minimização dos resíduos e em processos de re-engenharia, inseridos aqui os conceitos de *ecodesign*.

3.7. ASPECTOS E CLASSIFICAÇÃO DAS ABORDAGENS DE PROJETOS: DFX (*DESIGN FOR X*)

Segundo Kuo et al. (2002), no início dos anos 60 muitas empresas desenvolveram diretrizes de fabricação para uso durante o projeto de um produto. Um dos melhores exemplos é o Guia para Produtibilidade¹¹ e Manufatura publicado para uso interno pela empresa General Electric. Neste guia, os dados de manufatura eram concentrados dentro de grandes volumes de referência com o objetivo de que os projetistas fossem capazes de adquirir o necessário conhecimento de fabricação para a obtenção de um projeto eficiente. No entanto, a ênfase era sobre os componentes individuais a serem fabricados e muito pouca atenção era dada ao processo de fabricação e montagem.

Mais recentemente, a busca de uma administração sistêmica, voltada para o controle do processo, além da inclusão de interesses ambientais, têm exigido que outras preocupações devam ser consideradas durante os estágios de desenvolvimento de um projeto.

Os ótimos resultados experimentados por grandes empresas pioneiras na aplicação desses guias orientativos acabaram por incentivar o desenvolvimento de inúmeras pesquisas que resultaram na definição de uma série de ferramentas, conhecidas por DFX (*Design for X ou Design for eXcellence*), as quais permitem implementar ações, preferencialmente no ambiente de concepção do projeto, com o objetivo de otimizar diversos resultados posteriores, obtidos nas fases seguintes de manufatura e, mais recentemente, em relação a outros aspectos envolvidos com o produto como a manutenção, reciclagem e descarte.

¹¹ Segundo Holden (1993), produtividade é atualmente considerada como uma característica intrínseca de um projeto moderno e que favorece sua manufatura sobre inúmeros aspectos, desde os econômicos até os ecológicos. Da mesma forma que o conceito de qualidade, a produtividade deve estar incorporada dentro do projeto e não pode ser diretamente inspecionada, ou seja, a produtividade não pode ser checada em determinados pontos do processo ou inspecionada através de uma ferramental, mas suas características podem ser valoradas de forma global.

Essas ações, implementadas nas fases de projeto, são geralmente sistematizadas através de uma metodologia desenvolvida junto a análises críticas que visam definir um padrão de abordagem, que deve ser seguido para toda criação ou alteração de projeto.

A importância dessas ferramentas torna-se ainda maior se pensarmos que os projetistas tradicionalmente têm criado possibilidades de “como as coisas podem ser”, sendo que a postura de projeto atualmente exigida introduz, segundo Walker (2002), uma dimensão ética às decisões de projeto, ou seja, os projetistas passam a criar as possibilidades de “como as coisas devem ser”, este um aspecto chave do conceito de sustentabilidade.

3.7.1. ALGUNS TIPOS DE FERRAMENTAS DFXs

Segundo Kuo et al. (2002), as ferramentas DFXs referem-se a inúmeros estudos, metodologias e tipos de abordagem desenvolvidos no âmbito do projeto do produto e que têm participado da atual indústria de manufatura, trazendo inúmeras inovações à área de projeto, com reflexos positivos na produção, podendo-se destacar entre eles: simplificação do produto, redução do custo de montagem e manufatura, melhoria da qualidade, redução do *time do market* e mais recentemente, melhoria da eficiência ambiental.

As ferramentas DFX podem ser divididas em dois componentes principais: o componente relativo ao gerenciamento do processo, referente à sistemática de análises críticas e o componente técnico. O primeiro componente, o gerenciamento do processo, é comum para toda e qualquer ferramenta DFX, já o segundo componente, o técnico, varia para cada perfil de projeto que se deseja otimizar. Disso decorre a importância de se introduzir essa ferramenta, tendo em vista que a sistemática será similar para as demais abordagens DFX e permitirá um ganho nas implementações posteriores.

3.7.1.1. PROJETO PARA MONTAGEM - PMo (*DESIGN FOR ASSEMBLY - DFA*)

Boothroyd e Dewhurst (1986) foram os primeiros a proporem esse tipo de abordagem de projeto que tem como foco principal o atingimento de uma maior eficiência de montagem.

Existem inúmeras propostas desenvolvidas por diferentes pesquisadores com o mesmo objetivo, como por exemplo, a desenvolvida por Boothroyd e Alting (1992) (apud Kuo et al., 2002), na empresa Hitachi, baseada no princípio de “um único movimento para cada componente”, para o qual são utilizados aproximadamente 20 símbolos para representar as operações de montagem, sendo que cada símbolo tem um índice que pode ser usado para avaliar a montagem do componente que está sendo projetado.

Outro tipo de abordagem, como a desenvolvida por Warnecke e Bassler (1988), estima um valor funcional ou de utilidade para cada componente de forma a permitir a avaliação das montagens, ou seja, componentes com muito pouco valor funcional, como parafusos isolados, e os quais são difíceis de montar, recebem notas menores. Dessa maneira, o projeto dos componentes e suas montagens passam a ter uma pontuação que fornece uma orientação sobre a eficiência da montagem atingida.

Segundo Keys (1988), Boothroyd foi pioneiro neste tipo de abordagem de projeto e vem desenvolvendo a técnica desde 1980, implementada em computadores e continuamente redefinindo e evoluindo a metodologia.

O Projeto para Montagem (PMo), ao lançar inicialmente uma visão micro sobre os componentes do produto, acaba por se configurar como uma importante ferramenta de apoio ao Projeto do Meio Ambiente (PMA), já que os aspectos e impactos ambientais dos produtos e de seus processos de fabricação são decorrentes das especificações dos componentes que compõem esses produtos.

No capítulo 6 é estruturada e descrita uma proposta de implantação do Projeto para o Meio Ambiente (PMA) ou Ecodesign, através do Projeto para Montagem

(PMo), baseada na metodologia originalmente proposta por Boothroyd, aplicada a uma engenharia específica envolvida no processo de desenvolvimento de máquina-ferramenta, onde, junto à procura de uma maior eficiência da montagem, é também incluída uma perspectiva em termos da melhoria dos aspectos ambientais envolvidos no projeto.

3.7.1.2. PROJETO PARA MANUFATURA (*DESIGN FOR MANUFACTURE - DFM*)

Segundo Keys (1988), o Projeto para Manufatura (PMA) preocupa-se, permanentemente, com a definição de alternativas de projeto de produtos que auxiliem a otimização dos sistemas de manufatura como um todo, ou seja, é uma abordagem bem mais abrangente que a proposta pelo Projeto da Montagem (PMo).

Segundo Kuo et al. (2002), a seleção de processos apropriados para a produção de um componente específico é baseada na combinação entre os atributos exigidos pelo componente e as várias capacidades do processo disponíveis. Esses processos incluem desde a seleção do próprio processo de fabricação, a escolha da matéria-prima, a busca de um projeto modular, o uso de componentes padronizados, o desenvolvimento de componentes multi-uso, o uso de elementos de fixação diferenciados e a minimização das direções de montagem.

3.7.1.3. PROJETO PARA DESMONTAGEM E RECICLAGEM (*DESIGN FOR DISASSEMBLY AND DESIGN FOR RECYCLABILITY - DFD E DFR*)

Recentemente, a reciclagem vem adquirindo uma importância cada vez maior em quase todos os países industrializados, principalmente devido ao fato de que a quantidade de produtos descartados e, conseqüentemente de resíduos, está aumentando dramaticamente.

A reciclagem e a desmontagem são faces da mesma moeda, já que segundo Kuo et al. (2002), a desmontagem é o processo sistemático de remoção de determinados componentes de uma montagem, assegurando-se que não

ocorram impedimentos desses componentes sobre o processo. Essa desmontagem sistemática dos produtos utilizados está sendo reconhecida como necessária se o desejo for tornar a reciclagem economicamente viável dentro do estado da arte das tecnologias de reprocessamento.

Leonard (1991) afirma (apud Kuo et al., 2002) que existem dois métodos básicos de desmontagem: a montagem reversa e a força bruta. Enquanto no método da força bruta, geralmente não ocorreu planejamento do projeto em relação à futura desmontagem, já na montagem reversa planejou-se essa desmontagem. Esse ainda é um grande desafio para as engenharias, principalmente devido à própria seqüência de desmontagem ser um problema crítico. Normalmente é difícil para os projetistas terem em mãos todas as informações necessárias, entre elas futuras modificações incorporadas pelos usuários e o desgaste provocado pelo uso dos componentes, que poderá dificultar sua remoção do conjunto.

Outra preocupação das engenharias é em relação ao reconhecimento do material utilizado, que não é uma tarefa simples. Esse reconhecimento requer técnicas para identificação, incluindo a proporção e os diversos tipos de materiais incorporados, muitas vezes colados ou soldados. Some-se a isso a necessidade de ter que ser uma técnica de identificação barata, simples de ser implementada pelos setores envolvidos no projeto e fácil de ser compreendida, inclusive em outros países para onde possa estar sendo exportado o produto. Além disso, deve ser durável, no sentido de que o produto estará sujeito a variados ambientes.

Existem ainda dois problemas associados ao Projeto para Reciclagem que são as técnicas de desmanche e os custos dessa reciclagem. De qualquer forma, segundo Kuo et al. (2002), ainda que não seja possível ou econômico reciclar um produto completamente, o objetivo da reciclagem deve ser maximizado e direcionado à reciclagem de recursos e à minimização do potencial de poluição de seus componentes e materiais remanescentes.

3.7.2. TENDÊNCIA FUTURA DAS TECNOLOGIAS DFX

Além das abordagens de projeto DFX acima descritas, existem outras igualmente importantes, como as descritas a seguir:

- Projeto do ciclo de vida (*Design for life-cycle* - DFLC);
- Projeto da qualidade (*Design for quality* - DFQ);
- Projeto da confiabilidade (*Design for reliability* - DFRe);
- Projeto da segurança (*Design for Safety* - DFS);
- Projeto da embalagem (*Design for Packaging* - DFP);
- Projeto da interface amigável (*Design for User-Friendliness* - DFUF);
- Projeto da inspeção (*Design for Inspectability* - DFI);
- Projeto de testes (*Design for Testability* - DFT);
- Projeto da manutenção (*Design for maintainability* - DFMt);

Segundo Kuo et al. (2002), as abordagens DFX enfatizam a consideração de todos os objetivos e necessidades do projeto nos estágios iniciais de seu desenvolvimento, o que tem permitido às empresas a produção de melhores produtos. Além disso, os produtos serão colocados no mercado mais cedo, ou seja, teremos um menor *time to market*, conseqüência direta da simplificação do produto e do processo produtivo proporcionada pela redução de problemas, atrasos e mudanças de rumo.

O projeto voltado para a montagem e a manufatura tornam os produtos mais fáceis de serem produzidos a um custo menor; já o projeto com abordagem na desmontagem, na reciclagem e no ciclo de vida do produto permitem planejar o projeto fora dos limites de manufatura, indo além de seu tempo de vida útil. O projeto para o meio ambiente foca a saúde e segurança ambiental de forma ampla, reduzindo conseqüentemente o custo indireto do produto. Já projetar a

qualidade, manutentabilidade e confiabilidade podem assegurar, através do projeto e do controle do processo de fabricação, muito mais que testes onerosos, diagnósticos e retrabalhos. De qualquer forma, todas as abordagens DFX podem contribuir para um melhor desempenho ambiental do produto.

Segundo Kuo et al. (2002), “*o grande desafio não é a implementação de novas técnicas, mas a superação de barreiras organizacionais e resistências para mudar o jeito com que as coisas são feitas*”¹², não havendo dúvida de que as abordagens DFX terão um importante papel na atual indústria de manufatura, sendo esperado que essas ferramentas se tornarão a tecnologia que fará a diferença entre se ter ou não um projeto e produto competitivo, ou seja, um produto que atenda às demandas atualmente impostas pelos clientes, definido por Kotler (2002) como um produto que supere as melhores expectativas dos clientes.

¹² Traduzido pelo autor.

4. O ESTADO DA ARTE DOS PROJETOS PARA O MEIO AMBIENTE : O *ECODESIGN* NA EUROPA

Para entendermos as perspectivas de aplicação do Projeto para o Meio Ambiente em uma empresa genuinamente nacional, é importante avaliarmos a evolução desse conceito na Europa.

O *Ecodesign*, como é designado na Europa, ou o *Design for Environmental (DfE)*, como é conhecido nos Estados Unidos, é um fenômeno muito recente e ainda em estágio de difusão. Na Figura 2 vemos os principais fatores, internos e externos à empresa, que têm influenciado sua implementação.

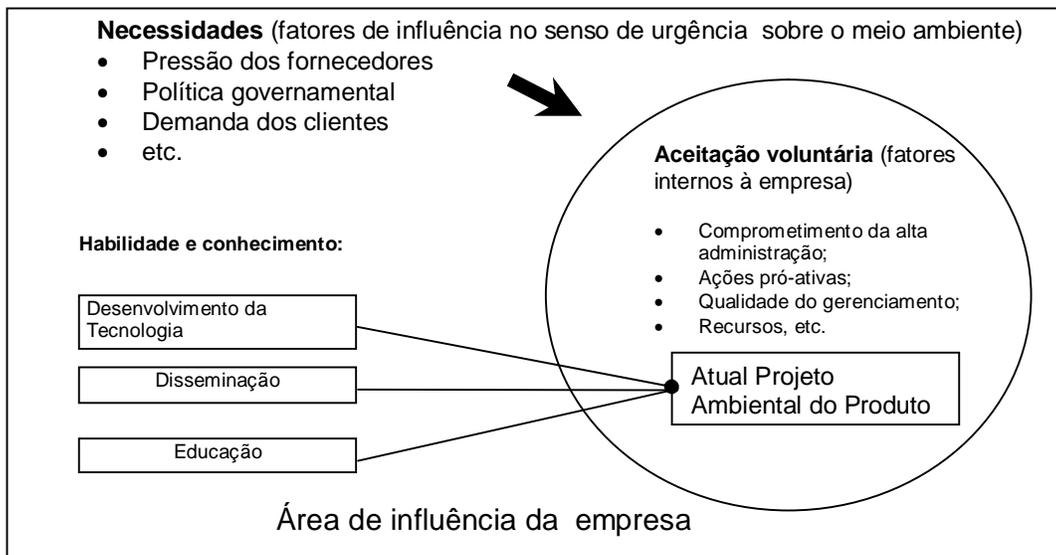


FIGURA 2 - FATORES QUE INFLUENCIAM A DIFUSÃO DAS PRÁTICAS DE ECODESIGN

FONTE: TUKKER ET. AL, 2001

Os dados a seguir foram extraídos de uma pesquisa (TUKKER et al., 2001) sobre o Estado da Arte atual do *Ecodesign* na Europa, realizada com uma amostra significativa de países, os quais foram divididos em 3 grupos:

- o primeiro grupo, denominado *front runners*, é representado por apenas 5 países que tomaram a dianteira em relação ao conceito de *Ecodesign*: Holanda, Alemanha, Áustria, Suíça e Dinamarca;
- o segundo grupo é formado por 7 países : Bélgica, França, Finlândia, Itália, Espanha, Portugal e Inglaterra;
- o terceiro e último grupo, o mais numeroso, é formado por todos os demais.

Foram desenvolvidos alguns perfis que refletem a posição desses grupos em relação a quatro assuntos relacionados à eficiência do desenvolvimento e aplicação do *Ecodesign*: Desenvolvimento da Metodologia, Disseminação, Educação e a Realidade do Projeto.

Finalmente, a qualidade de cada elemento também foi expressa em cinco níveis: Ignorância, Consciência, Compreensão, Competência e Excelência.

Os indicadores e os níveis de qualidade formaram os padrões distintos visualizados nas figuras abaixo de 3 a 5:

Nível de qualidade / Assunto	Ignorância	Consciência	Compreensão	Competência	Excelência
Desenvolvimento do Método					
Disseminação					
Educação					
Realidade do Projeto (<i>design actual</i>)					

FIGURA 3 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍS: PADRÃO DO GRUPO “FRONT RUNNERS”

Nível de qualidade / Assunto	Ignorância	Consciência	Compreensão	Competência	Excelência
Desenvolvimento do Método					
Disseminação					
Educação					
Realidade do Projeto (<i>design actual</i>)					

FIGURA 4 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍIS: PADRÃO DO SEGUNDO GRUPO

Nível de qualidade / Assunto	Ignorância	Consciência	Compreensão	Competência	Excelência
Desenvolvimento do Método					
Disseminação					
Educação					
Realidade do Projeto (<i>design actual</i>)					

FIGURA 5 - SITUAÇÃO POR ASSUNTO E POR PAÍIS: PADRÃO DO TERCEIRO GRUPO

A cor azul mais intensa indica um peso maior para o nível de qualidade avaliado e a cor azul menos intensa indica um peso menor.

Fica demonstrado pela visualização das três matrizes que, mesmo em um mercado maduro sob o ponto de vista da consciência ambiental, como o Europeu, a **excelência** em termos de **níveis de qualidade** de *Ecodesign* não é alcançada por nenhum dos países pesquisados. Mesmo os 5 países do primeiro grupo, os “*Front Runners*”, somente se encontram avançados em relação ao desenvolvimento da metodologia do *Ecodesign*.

Por outro lado, sob o ponto de vista de **assunto**, também se evidencia que a **realidade do projeto**, ou seja, aquilo que é realmente desenvolvido e produzido pelas empresas, ainda está muito distante de um Projeto voltado ao Meio Ambiente, mesmo nos países *front runners*.

Duas podem ser as principais razões para essa constatação. Uma delas pode ser o nível elevado de exigência de recursos humanos e materiais, imposta pelas metodologias tradicionais de aplicação do conceito do *Ecodesign*, e a outra razão pode ser uma consciência e demandas ambientais relativamente recentes por parte dos consumidores. Esse grau elevado de exigência de recursos é natural se pensarmos o Projeto para o Meio Ambiente como iniciando-se, por exemplo, através da utilização da Análise de Ciclo de Vida, ferramenta ideal mas já discutida anteriormente como sendo reativa e intensa consumidora de recursos, principalmente se estamos trabalhando com um produto e processo complexos, como é o caso da máquina-ferramenta.

Mas, apesar de ainda incipiente, segundo Weterings e Opschoor (1994), o Projeto para o Meio Ambiente - PMA é atualmente visto como parte importante de qualquer política ambiental devido à crença de que para alcançarmos o desenvolvimento sustentável dentro de uma geração, todas as funções de nossa sociedade têm que ser atendidas com uma redução do impacto ambiental da ordem de 100%. Em outras palavras, somente essa forte redução dos impactos ambientais poderá compensar o crescimento populacional, somado à necessidade de se buscar um melhor desenvolvimento humano, principalmente se levadas em conta as populações menos desenvolvidas do planeta.

Na Figura 6 vemos a relação entre as diversas abordagens de projeto e os limites possíveis de serem alcançados em função do tempo e da melhoria da eficiência ambiental desejada.

Importa observar que somente o foco sobre melhorias ou otimização do projeto e processo não será suficiente para alcançarmos uma aproximação de projeto de produto sustentável, ou seja, uma contribuição na melhoria da eficiência ambiental de 100%.

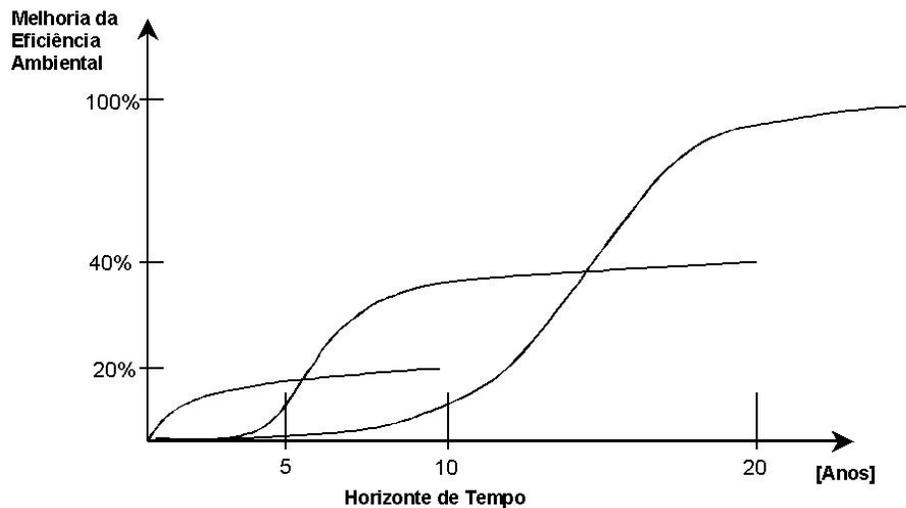


FIGURA 6 - NÍVEIS DE INOVAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO (RAND, 1997)

Devemos ainda considerar, em relação à melhoria da eficiência ambiental de produtos e processos, que as indústrias já implantadas têm freqüentemente grandes dificuldades para inovar a funcionalidade de seus produtos, uma menor dificuldade em reprojotá-los e uma maior facilidade ou mesmo necessidade, a curto prazo, de otimizá-los (RAND, 1997). Portanto, temos um potencial de melhoria mínimo de 20% que pode ser explorado de imediato, e que não deve ser desprezado.

Nesse sentido, se o objetivo for alcançarmos níveis melhores de eficiência ambiental com a utilização do conceito de Projeto para o Meio Ambiente - PMA, é necessário que os projetistas tenham acesso rapidamente a informações sobre as influências ambientais relacionadas as suas decisões de projeto, pois segundo Tukker et al. (2001), a aplicação do *Ecodesign* nas fases de otimização do projeto e re-projeto tem claramente um componente prático, ou seja, é necessário que os envolvidos na área de projetos tenham uma visão clara sobre "de que forma suas decisões podem reduzir a utilização de energia, matéria-prima e contribuir para a redução das emissões envolvidas no processo de fabricação".

A proposta de iniciarmos o Projeto para o Meio Ambiente ou *Ecodesign* dentro da área de engenharia, através da utilização do conceito ampliado de Projeto

para a Montagem, parece ser uma boa alternativa para evoluirmos de forma não tradicional dentro dos diversos níveis de qualidade apresentados e, em curto prazo, começarmos a inserir, dentro de projeto real, além de menores custos econômicos, também menores custos ambientais.

4.1. O PROJETO PARA MONTAGEM (PMo): UMA INTRODUÇÃO AO PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE

A década de 60, período de intenso desenvolvimento tecnológico, principalmente devido ao enorme crescimento da indústria aeroespacial norte americana, foi marcado também por uma crescente preocupação por parte dos responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, extremamente complexos no caso da indústria aeroespacial, de como poderiam ser simplificadas as fases de desenvolvimento e posterior fabricação desses produtos.

Nesse momento surgiram as primeiras recomendações, chamadas então de “guia para a produtividade”, como na Figura 7, que apresentavam uma típica orientação de projeto com ênfase na simplificação de componentes individuais (KUO et. al, 2002).

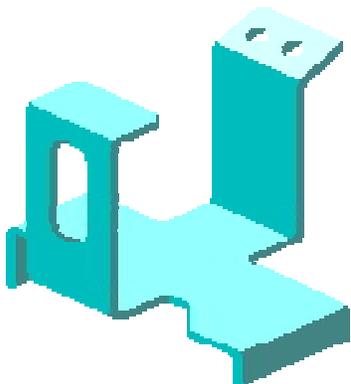
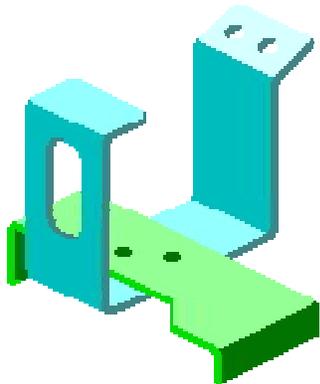
Orientação ao Projeto	Errado (A)	Correto (B)
<p>Evite componentes complexos produzidos a partir de chapas dobradas (perda de material):</p> <p>Prefira cortar e unir.</p>		

FIGURA 7 - EXEMPLO DE ORIENTAÇÃO UTILIZADA PARA GUIAR PROJETOS DE CHAPARIA NO INÍCIO DE 1960

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

Interessante observar que, para esse exemplo acima, o autor assume que, para o nível de tecnologia e recursos da época, o projeto de componentes complexos de chapas deveria ser evitado.

Na Tabela 1 vemos que havia uma visão estreita sobre os aspectos envolvidos durante a fabricação do produto, para ambas as opções A e B de projeto. Analisado apenas um desses aspectos, o custo, observamos que mesmo ignorando o custo de montagem, o componente A é mais barato de ser produzido e este aspecto parece ter sido ignorado, bem como as maiores facilidades que esse projeto apresentaria à produção.

TABELA 1 - CUSTO ESTIMADO EM DÓLARES PARA DUAS SITUAÇÕES DE PROCESSO A E B, AMBAS PARA UM LOTE PRODUZIDO DE 100.000 COMPONENTES.

Fases do Processo	Custo (U\$)	
	A	B
Set-up	0,015	0,023
Processo	0,535	0,683
Material	0,036	0,025
Componente	0,586	0,731
Ferramental	0,092	0,119
Total de manufatura	0,678	0,850
Montagem	0,000	0,200
Total	0,678	1,050
Diferença de 54,9%		

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

Ainda em relação à tabela acima, certamente outros fatores são favoráveis em relação ao projeto A, como a menor movimentação de itens, eliminação dos elementos de fixação e conseqüentemente dos movimentos necessários à sua montagem, etc.

A razão para uma decisão, aparentemente tão desfavorável aos olhos de hoje, não é evidente.

Principalmente em um momento em que o auxílio do computador começava a ser desenvolvido no ambiente de projeto e fabricação, a orientação apresentada na Figura 7 demonstra que o termo “simplificar o componente” era utilizado como sinônimo de “simplificar o projeto do componente”, já que projetar peças menos complexas, no exemplo itens com menos dobras, era mais fácil e rápido para o projetista.

Essa atitude, hoje impensável, também tem conseqüências que extrapolam o ambiente de projeto, pois, ela otimiza o atingimento da solução por parte de quem desenvolve o produto sem analisar, mesmo que superficialmente, as conseqüências que serão impostas às fases seguintes de processo e manufatura.

Esse pequeno grau de percepção existente à época, por parte dos responsáveis pelo projeto, da externalidade de suas ações, hoje tem sido intensificada paralelamente às exigências de um mercado competitivo, onde tanto as características mais visíveis de um produto, como a funcionalidade, ou menos visíveis, como a montagem, inspeção e testes, surgem como fortes diferenciais de venda, pois, antes de mais nada são características que permitem a redução do custo de fabricação, essas últimas até hoje exploradas de forma incipiente.

4.1.1. PROJETAR O PRODUTO É PROJETAR A PRODUÇÃO

Como descrito anteriormente, o projeto é o primeiro passo em um sistema de manufatura, sendo uma atividade que tradicionalmente inicia-se com uma fase conceitual, seguida da execução dos primeiros esboços ou *sketches* das peças e componentes. A partir daí, progride-se para uma prancheta ou estação de trabalho CAD onde, gradualmente, o produto toma forma, sendo acrescentados detalhes ao desenho bem como informações de montagem.

Os desenhos, expressões tangíveis do que anteriormente não passavam de idéias e conceitos, são então enviados aos processadores industriais, formados por técnicos e engenheiros, responsáveis pelo desenvolvimento e implantação

dos processos de fabricação, cuja função é receber o desenho, agregar valor e enviar as informações para a manufatura, ou seja, otimizar o fluxo de processo que será utilizado para produzir o produto, garantindo total aderência aos recursos disponíveis de fabricação.

Espera-se poder validar o produto ao final da fase de manufatura, onde são então confirmadas as características funcionais em conformidade com o que inicialmente foi acordado.

Freqüentemente, são nesses dois últimos estágios, envolvendo a execução dos processos e a produção dos itens, que os problemas de manufatura e montagem são identificados e que são então necessárias alterações no projeto e nos seus respectivos processos.

A principal dificuldade dessa ordem de ações é que, se utilizada nessa seqüência, as alterações de projeto certamente resultarão em consideráveis atrasos para a liberação do produto final, fator crítico de sucesso para a empresa. Além disso, quanto mais tarde forem implementadas estas alterações no ciclo de desenvolvimento do produto, mais difíceis de serem implementadas e onerosas elas se tornarão.

Portanto, não é somente relevante o projeto considerar as conseqüências sobre a produção e montagem do produto, mas tão ou mais importante é que essas considerações devam ser realizadas o mais brevemente possível dentro do ciclo de desenvolvimento do projeto.

A Figura 8 a seguir demonstra claramente que o tempo extra utilizado nos estágios iniciais de um projeto é mais do que recompensado pela economia de tempo nas fases posteriores, ou seja, além da provável redução do custo do produto, a aplicação de um Projeto voltado para Manufatura e Montagem (PMM) traz facilidades à produção e encurta o tempo de liberação do produto para o mercado.

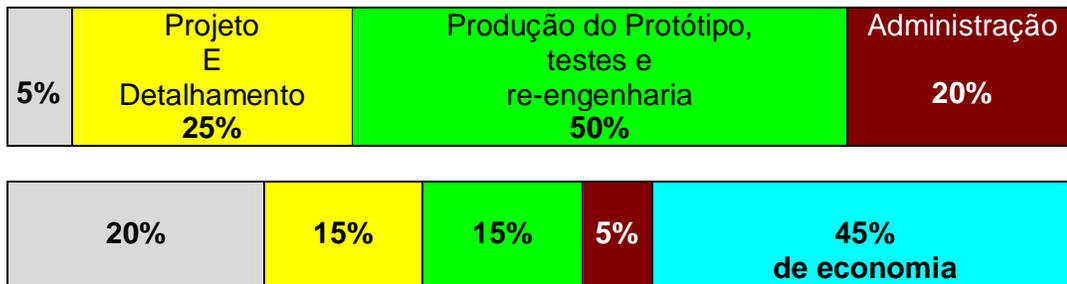


FIGURA 8 - GRÁFICO COMPARATIVO PROJETO TRADICIONAL VS PROJETO VOLTADO À MANUFATURA E MONTAGEM.

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

Como exemplo desse resultado, uma tradicional empresa fabricante de compressores conseguiu, através da aplicação da filosofia e técnicas de projeto voltado para a manufatura, reduzir o tempo de desenvolvimento de um compressor portátil em 50%, passando de dois para apenas um ano.

Além disso, a engenharia de produtos foi capaz de reduzir a quantidade de peças do radiador e refrigerador de óleo de 80 para 29 componentes, o número de fixações foi reduzido de 38 para 20, as operações de montagem caíram de 159 para apenas 40 e toda a montagem pode ser realizada em 6,5 minutos, bem abaixo dos até então necessários 18,5 minutos (BOOTHROYD e DEWHURST, 2003)

4.1.2. A EVOLUÇÃO DA CULTURA DO PROJETO

Segundo Walker (2002), a disciplina de projeto industrial surgiu no início do século XX com o objetivo de fornecer serviços de projeto à indústria de manufatura, tornando-se atualmente um aspecto chave do sucesso das empresas no mercado.

Segundo Boothroyd (2003), tradicionalmente e de forma freqüente, originadas principalmente de um período onde prevalecia a existência de uma excelente demanda por produtos, baixa competitividade e um mercado totalmente fechado e protegido, as atitudes dos responsáveis pelo projeto têm sido “nós

projetamos o produto, você fabrica o produto”, o que também pode ser resumida como uma atitude de isentar-se de responsabilidades futuras.

Essas atitudes hoje não são mais aceitáveis, principalmente por vivermos em um período com características exatamente opostas ao primeiro, ou seja, há atualmente excelente oferta de produtos, alta competitividade e um mercado totalmente aberto e globalizado, onde mesmo expressões menores desse tipo de postura, até inconscientes, certamente levarão a empresa a perder rapidamente participação no mercado (KOTLER, 2002).

Um caminho seguro e eficaz para eliminar gradualmente estas atitudes é o incentivo à equipe de desenvolvimento do produto para que consulte os responsáveis pelo processo e produção durante as fases de desenvolvimento do projeto, principalmente durante a fase de desenvolvimento dos conceitos do projeto, em outras palavras, direcionar o projeto para a manufatura e montagem desde seu início.

Agindo dessa maneira, a equipe de trabalho certamente evitará muitos dos problemas que, caso contrário, acabariam aparecendo no momento mais impróprio de serem eliminados, ou seja, durante a fabricação.

No entanto, estas equipes de projeto, atualmente conhecidas como equipes ou grupos de engenharia simultânea, encontram-se normalmente inseridas dentro de cronogramas intensos de desenvolvimento de produtos.

Essa intensificação evidencia a necessidade de utilização de ferramentas auxiliares de desenvolvimento do projeto, permitindo que o mesmo evolua do ponto de vista de alcançar sua máxima eficiência no melhor momento possível, ou seja, durante o início do desenvolvimento do projeto. É essa justamente a proposta da filosofia do *Ecodesign* associado ao conceito ampliado de Projeto da Montagem (PMo), apresentado no capítulo 6.

5. UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS-FERRAMENTA: INDÚSTRIAS ROMI

É apresentado a seguir o histórico de desenvolvimento de uma empresa tradicional, fabricante de máquinas-ferramenta, desde sua fundação até os dias atuais. São apresentadas resumidamente suas unidades de negócio e alguns importantes resultados econômicos, como forma de demonstrar sua relevância no mercado de bens de capital, sendo ainda descritos os principais aspectos atualmente considerados durante as fases de desenvolvimento de um novo produto.

5.1. BREVE HISTÓRICO DA EMPRESA

A empresa Romi foi constituída em abril de 1938 e é sucessora de Máquinas Agrícolas Romi Ltda., que nasceu com a fundação de uma pequena oficina mecânica em 1930. Localiza-se a 130 km da capital paulista, no município de Santa Bárbara D'Oeste.

Foi significativa a participação da empresa na implantação da indústria automobilística no país, tendo fabricado o primeiro automóvel nacional, o ROMI-SETTA, em 1956. Em 1957, o fundador da Empresa, Sr. Américo Emílio Romi e sua esposa Dona Olímpia Gelli Romi, instituíram a Fundação Romi, instituição sem fins lucrativos destinada a prestar assistência médica hospitalar, educação e lazer aos funcionários e seus dependentes.

A fabricação de máquinas-ferramenta iniciou-se em 1941 com o lançamento dos tornos universais, comercializados inicialmente com a marca "IMOR" e posteriormente, também com a marca "ROMI". Em 1944 começou a exportá-los e, atualmente, as máquinas-ferramenta ROMI e IMOR são conhecidas em 54 países, distribuídas por todos os continentes, alcançando o expressivo número de cerca de 124.680 unidades comercializadas e instaladas no país e de

25.790 unidades em operação no exterior, representando também a exportação de mão-de-obra, qualidade e tecnologia brasileira.

Em 1972, tornou-se uma sociedade anônima de capital aberto, possuindo atualmente cerca de 500 acionistas; empresa de capital totalmente nacional, possuía em dezembro de 2003 um patrimônio líquido superior a 268 milhões de reais, e um quadro de 1.803 funcionários.

Atualmente a empresa possui 9 Unidades Fabris, designadas por UF01, UF02, UF03, UF05, UF10, UF11, UF14, UF15 e UF16 responsáveis pela produção e comercialização de máquinas-ferramenta, de máquinas para trabalhar metais e plásticos, de equipamentos e acessórios industriais de ferramentas, peças fundidas e partes e peças em geral, destinados à exportação e importação, à representação por conta própria ou de terceiros e à prestação de serviços relacionados com suas atividades.

5.2. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES FABRIS

Unidade Fabril 01 - Usinagem

A Unidade Fabril 01 usina componentes que farão parte de praticamente todos os produtos da empresa. Encontram-se nesta planta os setores de usinagem de peças, manutenção de máquinas, provisão de ferramentas, tratamento de materiais, etc. Destina-se um grande potencial em máquinas para usinagem de material, como tornos convencionais e CNC, retíficas cilíndricas e paralelas, centros de usinagem, fresadoras, etc.

Unidade Fabril 02 - Montagem

Estruturou-se basicamente em duas frentes: a montagem de subconjuntos e conjuntos e a montagem final de máquinas. A planta é subdividida em montagem de conjuntos, usinagem de acabamento, levantamento, preparação de mesas e turcrite, reforma de máquinas usadas e pintura.

Unidade Fabril 03 - Chaparia

Na UF03 está situada a linha de fabricação de todos os componentes e conjuntos de chapas dos produtos Romi, dividida em duas principais áreas: a de Chaparia fina (revestimento das máquinas) e a de Chaparia média/pesada (bases de Injetoras e outras estruturas).

Conta com modernos processos de fabricação, como os recursos de corte de chapas a laser , soldagem MIG,MAG e TIG e pintura eletrostática a pó.

Unidade Fabril 05 - Romicron

É responsável pelo desenvolvimento e fabricação de um sistema rotativo para broqueamento de furos de alta precisão, denominado Romicron. Esse produto é um advento sem precedentes no campo da usinagem por broqueamento de alta precisão, pois, seus padrões de tolerância estão dentro da faixa de micron, isto corresponde a 0,001 mm, sem a interveniência de qualquer meio de operação complementar de “acabamentos” de furos, permitindo ganhos consideráveis em relação aos custos dos processos de usinagem por ele otimizado.

Unidade Fabril 10 - Fundição

A empresa sempre utilizou fundidos em seus produtos, por este motivo, desde o início da empresa na década de 30, quando produzia implementos agrícolas, já tinha fundição própria.

Ao longo dos anos, foram construídas várias fundições, cada uma substituindo a anterior e agregando maior capacidade , características técnicas e qualidade.

A UF10, fundição atual, iniciou sua produção em 1976 visando atender à crescente necessidade de fundidos pela empresa na década de 70, quando o Brasil crescia a largos passos. Com o passar do tempo, foram feitos vários investimentos, aumentando ainda mais sua capacidade e permitindo que parte da produção de fundidos fosse vendida a terceiros.

Está instalada em uma área de 26,5 mil m² com capacidade para produzir 2.000 toneladas de ferro fundido cinzento e nodular ao mês. Parte desta produção é entregue usinada. De sua produção total, 1/3 é exportado para os EUA e Europa. Seus principais clientes estão no setor de máquinas industriais e automotivo, com peças como placas para injetoras de plástico, bases e componentes para centros de usinagem e de torneamento, caixas de câmbio e transmissões para veículos comerciais e tratores pesados.

Atualmente essa é uma área de enorme potencial para crescimento, a qual vem recebendo uma série de investimentos, com destaque para a aquisição de um forno elétrico, para o aumento da capacidade fusória, a fim de atender principalmente à demanda crescente de fundidos e usinados para terceiro. Além disso, para atender à demanda dessa linha de produtos, estão planejados investimentos significativos para uma nova linha de moldagem de fundição, bem como a adequação das necessidades de usinagem para os fundidos fornecidos aos clientes.

Unidade Fabril 11 - Usinagem Pesada

Esta unidade comporta os setores de montagem de injetoras de grande porte, Departamento Administrativo, Departamento de Marketing, Departamento de Planejamento de Materiais, Setor de Padronização de Materiais e Assistência Técnica.

A Romi ainda dispõe na área de serviços ao cliente de uma completa estrutura pré-venda, que inclui um Centro de Tecnologia dotado de máquinas para demonstrações, equipe de engenharia de aplicação, treinamento e orientação para uma ampla gama de opções de produtos.

Na área de serviços pós-venda, o cliente Romi encontra na RAI - Romi Assistência Integral - suporte técnico via telefone, para a solução de questões relacionadas à manutenção de suas máquinas.

Unidade Fabril 14 - Eletro-eletrônica

Responde pela fabricação dos Comandos Numéricos Computadorizados, que são agregados às máquinas-ferramenta e injetoras de plástico, pois, devido à rápida evolução da tecnologia eletrônica e de informação, é necessário que os comandos CNC sejam permanentemente atualizados.

Além disso, mantém contato estreito com os principais fabricantes americanos e europeus de comandos CNC, disponibilizando opções de fornecimento desses comandos em seus produtos, possibilitando dessa forma alcançar um excelente nível de assistência técnica internacional, principalmente em relação à interface eletro-eletrônica de seus produtos, responsável pela “inteligência” da máquina-ferramenta.

Unidade Fabril 15 - Injetoras de Plástico

A UF15 é responsável pela fabricação e montagem de avançadas injetoras de plástico, sendo composta de 5 principais setores: o de pintura, o setor de montagem de conjuntos e o setor de montagem final.

Unidade Fabril 16 - Tornos CNC

Com área total de 9.000 m², esta unidade incorpora todos os requisitos necessários à fabricação de máquinas de alta precisão a CNC, inclusive com a utilização de “sala limpa” para a montagem dos eixos árvores, equiparando a empresa em termos de tecnologia aos melhores fabricantes mundiais de máquinas-ferramenta.

A linha de produtos da UF16, muito competitiva em termos de características técnicas, dimensionais, funcionais e operacionais, apresenta uma ampla gama de opcionais e alternativas de automação para manipulação de peças, acrescidas de soluções específicas para clientes nas chamadas Execuções Especiais.

5.3. RESULTADOS E DESEMPENHO

A excelente reputação e a invejável posição que os produtos ROMI ocupam na maioria dos países industrializados devem-se à concepção avançada e especializada, resultado de constantes pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos, aliados a um parque fabril dos mais modernos. O total de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em imobilizados em 2003 foram da ordem de 20,4 milhões de reais, um incremento de 58% em relação ao exercício de 2002 e montante que representa 6,1% da Receita Operacional Líquida.

As exportações representaram, no exercício de 2003, 16% da Receita Operacional Líquida da empresa, totalizando US\$ 17,3 milhões de dólares, sendo importante destacar a recuperação do mercado Argentino, representando 19% do total exportado. As exportações para os EUA representaram 54% e para a Europa 20%.

Com uma capacidade de produção anual de 3.000 máquinas, a linha de produção da empresa constitui-se de tornos paralelos universais, tornos a CNC, centros de usinagem, fresadoras a CNC, injetoras de plástico, sistema de mandrilamento de alta precisão, partes, peças, acessórios e equipamentos para atender sua linha de máquinas.

Em dezembro de 1994, a Unidade Fabril 10 - Fundação, conquistou a certificação conforme a norma ISO9002. Em abril de 1996, as Unidades Fabris 01, 02, 03, 11, 14, 15, 16 e Comercialização conquistaram a certificação conforme a norma ISO9001. Em dezembro de 1997 os certificados foram unificados, conforme a norma ISO9001, sob o número 31.120; em setembro de 2003, a empresa obteve a recertificação ISO9001:2000.

Em novembro de 2000, o sistema de Qualidade Romi foi recertificado por mais três anos, pelo *ABS Quality Evaluations, Inc.* e o seu escopo inclui agora a manufatura e venda de peças usinadas e serviços de usinagem.

Atualmente a empresa está implementando a certificação ISO14000, devendo estar certificada até o primeiro semestre de 2005.

Um elemento que afeta diretamente a gestão de negócios da empresa é a evolução das taxas cambiais das principais moedas, o dólar e o euro, exatamente o que ocorreu durante o exercício de 2003, uma vez que a empresa tem um movimento significativo de transações em moeda estrangeira, tanto na exportação de produtos como na importação de componentes.

Mesmo considerando as dificuldades cambiais, a Receita Operacional Líquida obtida em 2003 foi de 332 milhões de reais, superior em 40,5% ao valor obtido em 2002, o que representa um crescimento significativo da receita total. A empresa avalia dois principais responsáveis que permitiram esse excelente desempenho. Um deles, a instabilidade cambial, que refreou parcialmente a demanda por equipamentos importados, permitindo a empresa aumentar seu *market share*, o outro, considerando esse mesmo vetor, permitiu à empresa recompor parcialmente os preços de venda de seus produtos, recuperando aumentos de custos e mantendo a margem operacional antes dos resultados financeiros.

5.4. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA - PRINCIPAIS MARCOS

1930 - início “Garage Santa Bárbara”

1941 - fabricação do primeiro torno

1944 - início da exportação de tornos

1956 - fabricação do automóvel ROMI-ISETTA - primeiro veículo brasileiro

1971 - fabricação do primeiro torno a CNC

1973 - lançamento da linha de Injetoras de Plásticos

- 1977 - inaugura fábrica específica para a produção de máquinas especiais e pesadas (UF11)
- 1985 - início da atividade da subsidiária de vendas nos EUA, denominada Romi Machine Tools, Ltd.
- 1986 - inauguração da unidade eletrônica (UF14) com contrato de transferência de tecnologia firmado com a empresa Yamazaki Mazak Corporation do Japão, para a família de tornos a CNC
- 1988 - início das atividades da fábrica 16 - unidade destinada à fabricação de máquinas- ferramenta CNC e Centros de Usinagem de última geração
- 1994 - certificação ISO 9002 - Manufatura de Ferro Fundido Cinzento e Nodular - UF10, pelo ABS Quality Evaluations, Inc.
- 1996 - certificação ISO9001 - Projeto, Desenvolvimento, Produção, Vendas e Serviços Associados de Máquinas-Ferramenta e Injetora de Plástico - UFs 01, 02, 11, 14, 15 e 16 e Comercialização pelo ABS - Quality Evaluations, Inc.
- 1997 - unificação dos Certificados conforme ISO9001, para todas as unidades, sob número 31.120
- 2001 - início da atividade da subsidiária de vendas na Alemanha, denominada Romi Europa GmbH.
- 2002 - a empresa sedia o lançamento do Projeto Instituto Fábrica do Milênio, em conjunto com o Ministério da Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e o Instituto Inova Brasil
- 2004 - em abril são lançadas, no mercado interno, os modelos de máquinas-ferramenta da Linha E, compostas por Centros de Torneamento de Conceito Modular; em setembro são lançadas, no mercado externo, na feira IMTS sediada na cidade de Chicago (EUA)

2004 - a empresa está em fase de implementação da ISO14001, estando agendada a certificação para o primeiro trimestre de 2005.

5.5. RELEVÂNCIA REGIONAL, ESTADUAL, NACIONAL E MUNDIAL

A empresa Romi atua mercadologicamente no setor de comercialização de bens de capital, realizando a venda direta de seus produtos desde o ano de 1965, quando inaugurou a sua Unidade Central de Comercialização em São Paulo e procedeu também à abertura de outras 4 filiais nas cidades de Belo Horizonte (MG), Curitiba (PR), Porto Alegre (RS) e Rio de Janeiro (RJ).

Atualmente possui uma rede própria de distribuição e assistência técnica no Brasil, totalizando 13 filiais de vendas, cobrindo todo o território nacional.

Em decorrência do tratado de livre comércio Mercosul, a empresa instalou uma subsidiária em Buenos Aires, na Argentina, para venda direta de seus produtos nesse mercado, bem como operar na representação comercial de máquinas-ferramenta de terceiros.

Em 1998, objetivando a ampliação das vendas para o mercado norte-americano, decidiu ampliar e revitalizar a atuação de sua subsidiária de vendas dos EUA, a Romi Machine Tools Ltd., inaugurada no final de 1985. A Romi Machine Tools implantou um Centro de Distribuição em conjunto com um *Technical Center* que atua em consonância com nosso tradicional distribuidor nos EUA e Canadá, a Bridgeport Machines Inc.

Em 1999 a empresa deu início às entregas no mercado interno de máquinas-ferramenta da linha ROMI-EMAG. Esses produtos são fabricados sob licença da Empresa alemã EMAG - *Machinen Vertriebs und Service GmbH*.

Objetivando dar continuidade ao programa de diversificação das exportações, tendo como foco o Continente Europeu, em junho de 2001 a empresa abriu uma subsidiária integral na Alemanha, localizada em Gross-Gerau, na região de Frankfurt, denominada Romi Europa GmbH. Essa subsidiária tem como

objetivo a venda e distribuição dos produtos Romi, incluindo partes e peças e serviços de assistência pré e pós venda.

Atualmente a empresa tem concentrado esforços no desenvolvimento e fabricação de uma nova linha de máquinas-ferramenta, compostas por Centros de Torneamento de Conceito Modular, que além de inúmeras inovações tecnológicas, permitirá ao cliente o upgrade do produto, estendendo seu ciclo de vida.

5.6. ESTRUTURA ATUAL DE DECISÕES PARA DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO: MÁQUINA-FERRAMENTA

A estrutura de decisões para definição e desenvolvimento de novos produtos, no caso máquinas-ferramenta, inicia-se necessariamente com a avaliação da necessidade de se produzir um novo produto, que é realizada pela alta administração da empresa, baseada normalmente em resultados de pesquisas de mercado, como resultados de vendas, análise da concorrência, *benchmarking*¹³, planos de desenvolvimento governamentais, além de visitas a feiras nacionais e internacionais de máquinas-ferramenta.

É também, nessa fase inicial, que são envolvidos profissionais da área de venda e de diversas áreas técnicas, onde são levantados o maior número possível de dados e informações, com o objetivo de definir um anteprojeto consistente.

Durante a definição do anteprojeto são também envolvidos profissionais das áreas de engenharias de projeto e processo, quando são então avaliados os requisitos do produto e os dados de entrada, de forma a permitir a definição de uma proposta consistente.

¹³ Segundo Kotler (2002), *benchmarking* é “aprender com as empresas que apresentam desempenho superior em algumas tarefas”, ou ainda, “é não mais depender do auto-aperfeiçoamento”.

São paralelamente avaliados a infra-estrutura e o meio ambiente da empresa, no sentido de serem questionados os recursos disponíveis, ou seja, o anteprojeto toma forma e passa a ser denominado simplesmente de projeto, o qual originará um cronograma de atividades que norteará todas as ações posteriores.

Essas ações serão acompanhadas e atualizadas por um coordenador ou líder, dependendo do grau de responsabilidade e hierarquia fornecida a esse profissional. Neste momento já deve ter sido avaliada a demanda necessária de recursos físicos e humanos que permitirá atender a esse cronograma.

O projeto é então desmembrado em grupos distintos como os de eletro-eletrônica, mecânica, fundidos, comprados, chaparia, etc., os quais começam a assumir posturas independentes em termos de viabilizar suas próprias soluções, respeitando-se o cronograma de atividades ou interferindo e atualizando os prazos, durante as reuniões de análise crítica.

São essas reuniões de análise crítica que permitem a integração entre os diversos responsáveis pelo projeto, além de também permitir ajustes no cronograma e eventualmente, nas próprias características iniciais do projeto.

Novas áreas começam a assumir maior importância e participação no projeto, como a área de suprimentos, envolvida a partir da decisão do projeto em originar componentes comprados, ou, da decisão do processo em terceirizar a execução de um serviço.

Nessa fase o projeto está bem consolidado e já pode ser definida a lista oficial de características do produto, sendo confirmados os dados de entrada e saída. Inicia-se a fase de detalhamento de projeto, quando passam a ser definidas as estruturas dos produtos, as quais gerarão o lote piloto e a construção do protótipo.

A seqüência de ações aqui descritas, envolvidas na definição e desenvolvimento do produto, podem ser observadas no Fluxograma Atual de Desenvolvimento de Projeto apresentado na Figura 9, sendo que na fase de

“detalhamento do projeto” os recursos de software e as tecnologias de informação começam a ter uma participação importante, ao permitir a estruturação do produto e seu projeto auxiliado por computador, representado aqui pelos recursos fornecido pelo sistema Oracle e pelas ferramentas de CAE/CAD/CAM.

É justamente nesta fase de detalhamento que os profissionais de projeto assumirão o total controle sobre a manufaturabilidade ou producibilidade do produto e processo, ou seja, a competência desses profissionais, já consolidada por uma qualificação prévia, responderá necessariamente por um componente importante da competitividade do produto final.

As ações seguintes ao “detalhamento do projeto” são padrões para a grande maioria das engenharias de projeto e envolvem as liberações dos desenhos, expressões tangíveis do que será o produto final, seguidas pelas liberações dos processos e ordens de fabricação, onde são agregadas finalmente as informações de tempos e métodos, ou seja, matéria prima, ferramental, roteiro de produção e conseqüentemente, o custo do processo e do produto.

Nesse momento o protótipo é fabricado e permitirá validar o projeto em relação aos dados de entrada e saída anteriormente planejados, ou seja, nesse momento ainda é esperada que ocorra a necessidade de modificações do projeto, conhecidas como modificações de engenharia, na grande maioria das vezes identificadas pela produção.

Mesmo sendo em uma fase de produção do protótipo, a minimização da necessidade de modificações de projeto é uma meta permanente de qualquer engenharia, no sentido de que toda e qualquer necessidade de alteração traz embutida a utilização de um maior número de horas de projeto e um atraso na liberação do produto para o mercado (*time to market*). É devido a isso que uma das maneiras mais comuns de medirmos a eficiência de projeto é através da contabilização do número de propostas de modificação de engenharia e das horas utilizadas na implementação dessas alterações.

Após a fabricação e validação do protótipo, o produto está consolidado, com custo e recursos definidos, ou seja, projeto e processo devem responder com aderência em relação aos prazos e metas atualizados no cronograma original de atividades, bem como aos recursos de fábrica disponíveis.

Revezes e interferências ocorridas após a execução e consolidação do protótipo são os menos desejáveis, mas a realidade mostra que podem ocorrer, principalmente tendo em vista o intenso cronograma de atividades normalmente imposto às áreas de desenvolvimento de projeto e processo e a existência de uma interface não muito clara entre engenharia e produção.

A seguir, no capítulo 6, é descrita uma proposta de minimizarmos essas interferências, antes, durante e após a fase de desenvolvimento do protótipo, e de reduzirmos as influências ambientais associadas ao projeto.

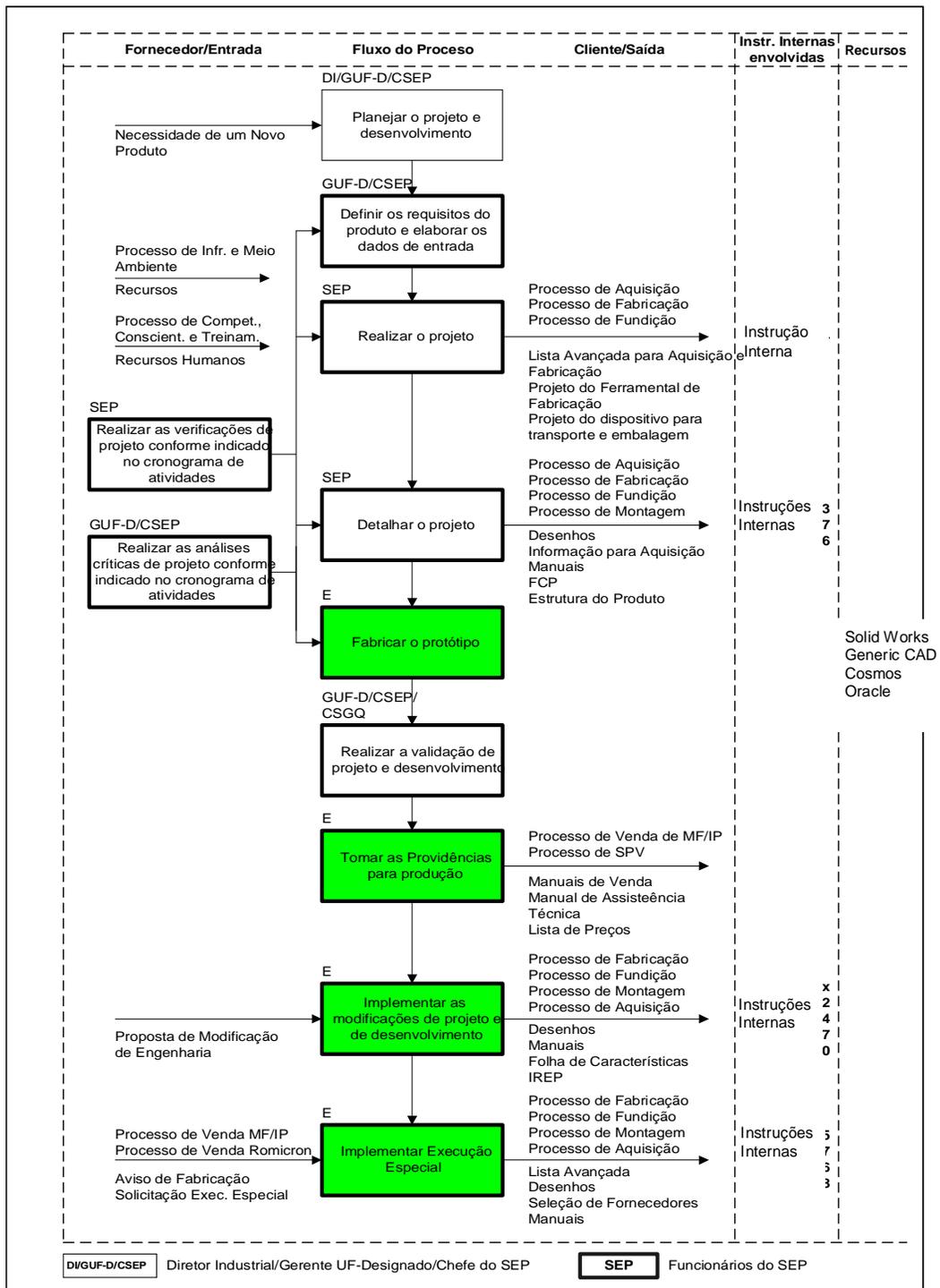


FIGURA 9 - FLUXOGRAMA ATUAL DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

FONTE: INSTRUÇÃO INTERNA PROCESSO DE PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, 2004

6. UMA ANÁLISE DA INSERÇÃO DO PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE E DE NOVOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO AMBIENTAL EM UMA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA NO BRASIL

Será descrito a seguir um caminho para a melhoria do desempenho ambiental do produto, no caso específico máquina-ferramenta, através da sistematização de ações no âmbito do projeto, que é a base do Projeto para o Meio Ambiente (PMA) ou *Ecodesign*. Para isso, o conceito do Projeto para Montagem (PMo) foi ampliado, partindo-se de seu objetivo inicial de otimização da montagem e aumentando seu grau de percepção e influência no sentido de melhorar o desempenho ambiental do produto e de sua produção. Essa ferramenta, como o próprio nome indica, deve ser aplicada prioritariamente dentro das engenharias de produto através de análises críticas específicas e que podem ser assumidas como um padrão de procedimentos a ser seguido pelos projetistas envolvidos no projeto.

São também apresentados e discutidos alguns resultados reais obtidos junto à engenharia de produto responsável pelo projeto de chaparia.

6.1. O PMo E A MELHORIA DO DESEMPENHO DA MANUFATURA DO PRODUTO

É importante a compreensão de que a otimização proporcionada pelo Projeto da Montagem (PMo) influencia toda a manufatura do produto.

O Projeto para Manufatura (PMA), ou projeto voltado para a manufatura, é uma filosofia mais abrangente que o PMo e abrange além das fases envolvidas na montagem do produto, também a utilização de soluções mais econômicas e eficientes em termos de projeto e processo de manufatura, como por exemplo os projetos modulares, movimentação e transporte, tecnologia de usinagem, sistemas de proteção superficial e pintura e inspecionabilidade do produto, para citar somente alguns aspectos envolvidos no projeto e fabricação de produtos.

Na realidade, diferente do Projeto da Montagem (PMo), que está focado sobre o componente, o Projeto voltado para a Manufatura (PMa) tem uma visão sobre o produto final e conseqüentemente também sobre seus componentes, sendo a seguir resumidos seus conceitos gerais :

- Projetar o produto com o mínimo de componentes;
- Desenvolver um projeto modular;
- Minimizar as variações dos componentes;
- Projetar componentes multi funcionais;
- Projetar componentes para multi usos;
- Projetar componentes fáceis de serem produzidos;
- Evitar separar os elementos de fixação;
- Minimizar as direções de montagem;
- Maximizar a flexibilidade;
- Minimizar e facilitar o manuseio;
- Evoluir os métodos de montagem;
- Eliminar ou simplificar os ajustes;
- Evitar projetar componentes flexíveis.
- Projetar a inspecionabilidade;
- Projetar os testes, essa uma preocupação normalmente funcional do produto;
- Projetar tendo em perspectiva a incorporação de novas tecnologias, essa última um complemento da segunda orientação acima descrita relacionada

à modularidade do projeto, que deve permitir também a incorporação futura de avanços tecnológicos.

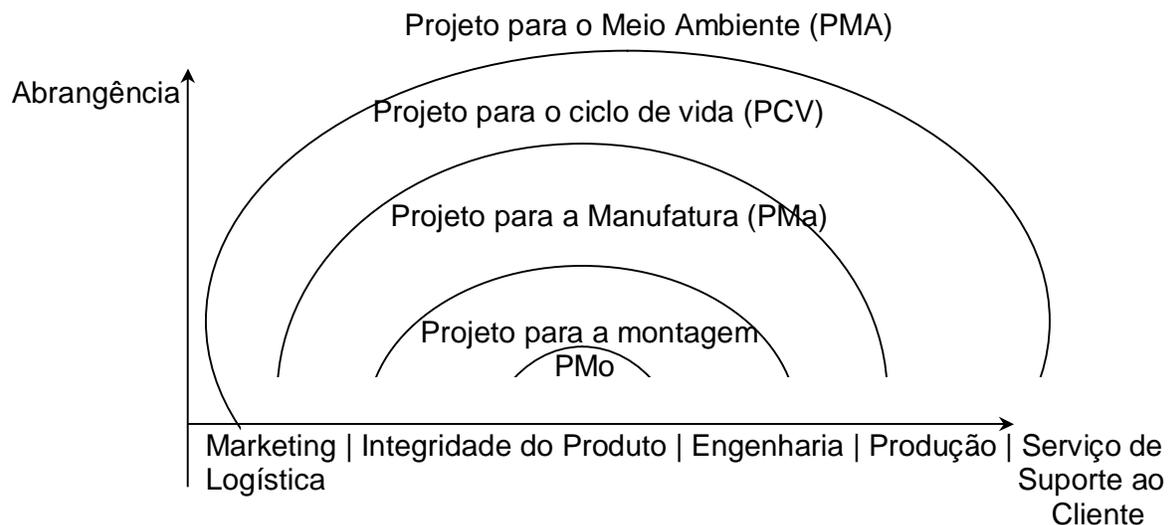


FIGURA 10 - RELAÇÃO CONCEITUAL ENTRE ALGUNS TIPOS DE ABORDAGEM DE PROJETO (KEYS, 1988)

A Figura 10 nos mostra que, da mesma forma que uma boa manufatura pressupõe uma boa montagem, projetar o ciclo de vida do produto é algo ainda mais abrangente e complexo e envolve não só planejar durante o projeto do produto a excelência de sua fabricação, bem como identificar suas mais importantes fontes de impactos ambientais e o correspondente perfil de consumo de recursos advindos de todo o seu ciclo de vida, ou seja, do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*).

Já projetar para o meio ambiente (PMA) envolve, como já citado anteriormente, projetar produtos e processos de uma forma consciente ambientalmente, isso inclui a utilização dos conceitos mais atuais em termos de busca da excelência ambiental, como por exemplo a substituição das tecnologias *end-of-pipe* por

tecnologias limpas, sendo que nesse caso, o ciclo de vida do produto deve necessariamente perseguir uma existência cíclica, não mais do berço ao túmulo mas do berço ao renascimento (*cradle-to-resuscitation*).

Como podemos ver, não são poucas as preocupações que visam a excelência de um projeto de manufatura. Segundo Keys (1988), os amplos objetivos de uma filosofia PMA, e que representam o perfil global de um projeto com boa manufatura, auxiliam na identificação dos conceitos de produtos que visem uma fácil fabricação, permitindo manter o foco do projeto nos componentes envolvidos. Estes serão fáceis de produzir e montar, além de permitir a integração do projeto do processo de manufatura com o projeto do produto, assegurando que os requisitos de entrada e saídas possam ser atingidos com o máximo de eficiência e eficácia.

Apesar do projeto para a montagem (PMo) ter inicialmente uma abrangência menor, este passa a adquirir uma dimensão maior quando pensamos o custo do produto, já que, segundo Boothroyd e Dewhurst (2003), 85% desse custo é definido durante as fases iniciais de desenvolvimento do projeto, justamente o local e momento ideal de utilização desta ferramenta. Além disso, o PMo tem justamente como uma de suas conseqüências principais a redução do custo da montagem, que é necessariamente um componente do custo final do produto.

Na página a seguir são apresentadas a Tabela 2 e Figura 11 onde são descritos alguns ganhos obtidos com a aplicação do PMo em produtos de duas grandes empresas norte americanas que já aplicam o conceito de PMo há mais de 20 anos.

TABELA 2 - ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE PMO VS GANHOS MAIS EXPRESSIVOS

Empresa	Usuários / Produto	Economia
Ford	7.000	US\$ 1 bilhão
Ford	Lâmpada dianteira Ford Ranger	Redução: 22% componentes, 52% custo de montagem e 2% do material utilizado
Ford	Evaporador de Ar Condicionado (fig.14)	20% de melhora na qualidade, redução de 59% dos componentes e redução de 22% dos custos
IBM	Impressora	Redução de 152 para 61 componentes, redução do tempo de montagem de 0,5 h para 3 minutos

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

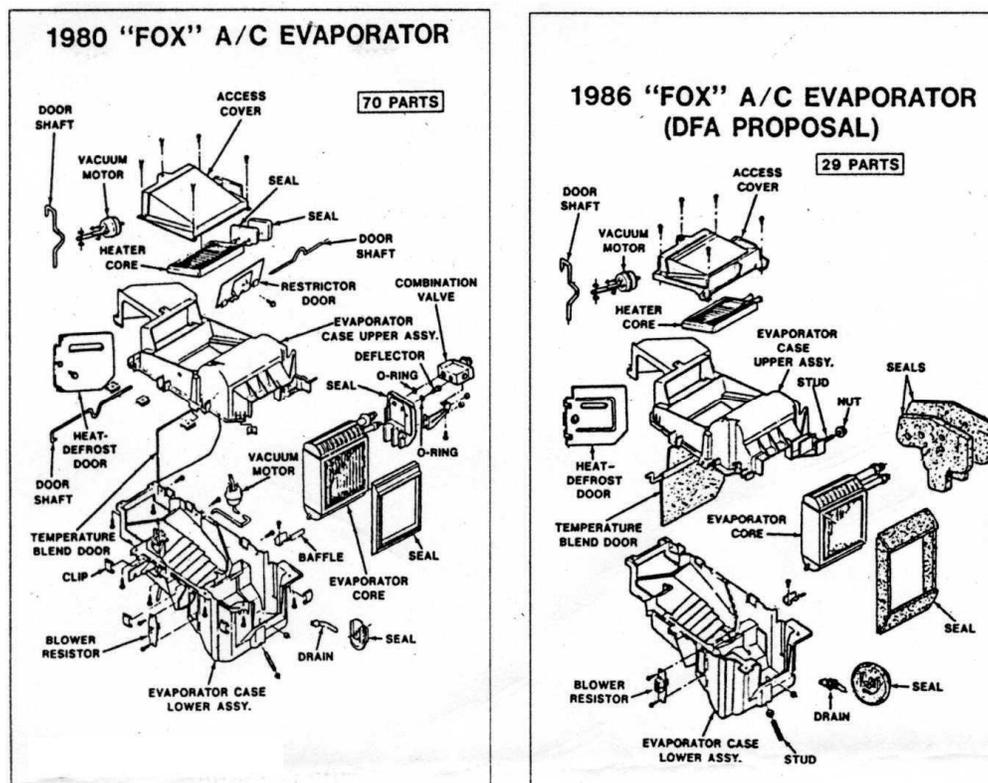


FIGURA 11 - EVAPORADOR DO AR-CONDICIONADO, ANTES COM 70 COMPONENTES (1980) E APÓS A APLICAÇÃO DO PMO, COM 29 COMPONENTES (1986)

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

Em relação aos sistemas de montagem de componentes, estes podem ser divididos em três categorias básicas: montagem manual, montagem executada com o auxílio de máquinas ou dispositivos projetados especialmente para esse propósito ou montagem totalmente automatizada, normalmente executada por robôs, neste último caso podendo assumir inúmeras configurações.

Para esta proposta, o sistema de montagem escolhido para ser otimizado será o manual, normalmente utilizado pela indústria metalúrgica fabricante de máquinas-ferramenta.

6.2. O PMO E A MELHORIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PRODUTO

Como visto anteriormente, existe uma clara ligação entre os conceitos e ações envolvidas nas diversas abordagens de projeto, tendo o Projeto para o Meio Ambiente (PMA) uma abrangência maior, e sendo a base dessas abordagens, o Projeto para Montagem (PMo).

Aproveitando dessa característica, o PMo permite definir ações e análises dos componentes, baseadas na sistematização de questionamentos (Anexo I), em que o projetista amplia sua visão além da busca por facilidades ou dificuldades do projeto de montagem e melhora o desempenho ambiental do produto.

Ao final do projeto, objetiva-se otimizar a eficiência ambiental e de montagem final dos componentes, conjuntos ou produtos, dependendo da abrangência da análise, definida como Índice de Eficiência de Montagem (IEM).

Com essas informações, os projetistas podem identificar, de forma segura, quais são os principais afinamentos ou pontos de melhoria do componente, podendo iniciar a adequação do projeto em busca de um melhor desempenho ambiental e de montagem. Dessa forma, direciona-se corretamente os esforços de alteração de projeto naquelas submontagens e componentes que trarão ganhos mais significativos.

Inserese portanto, quase que paralelamente à otimização da eficiência da montagem, uma consciência e análise crítica sobre os impactos ambientais decorrentes das ações de otimização, perseguindo-se aquelas que sejam positivas, como a eliminação de componentes e redução na utilização de matéria prima, que traduzem-se nos maiores ganhos ambientais que uma metodologia PMo pode oferecer.

6.3. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO

A metodologia de implantação foi adaptada dos artigos “*Design for manufacture & assembly*” (1999) e “*An Introduction to Design for Manufacture and Assembly - DFMA*” (2003) dos autores Boothroyd, G. e Dewhurst, P., sendo ainda importante ressaltar que existem softwares de projeto disponíveis no mercado para o Projeto voltado para Montagem (PMo), conhecidos como *Design For Assembly softwares* (DFA), mas que se limitam à análise do desempenho da montagem.

O objetivo a seguir é descrever os principais parâmetros de entrada dessa ferramenta, os quais foram adaptados e utilizados pela área de engenharia de chaparia, em forma de procedimentos, no desenvolvimento de ações conscientes que foram aplicadas para a redução das influências ambientais dos produtos e processos, bem como para a otimização de sua montagem.

As verificações decorrentes das análises críticas foram desenvolvidas dentro do âmbito de projeto de cada produto e, após isso, foram apresentadas aos projetistas na forma do questionário (Anexo I), onde cada resposta pôde ser valorada ou não, havendo a possibilidade de ao final dos questionamentos ser obtida a contagem de pontos.

O peso assumido para cada projeto específico e seu conjunto de análises críticas comporá, ao final da contabilização, o Índice de Eficiência de Montagem (IEM). Este peso deverá ser consenso entre os envolvidos do projeto e refletirá o grau de exigência e o patamar de excelência que se almeja

alcançar, sendo ainda uma possibilidade o desenvolvimento de programas computacionais.

Para os objetivos desta proposta de implantação, não foram considerados os valores ou pesos individuais atribuídos a cada resposta de análise crítica descrita no questionário (Anexo I), bem como a contagem dos pontos e obtenção do IEM, sendo dada preferência ao aspecto qualitativo das respostas e as conseqüências quantitativas e qualitativas sobre o projeto.

Também é importante o entendimento de que não existem fórmulas, atalhos ou equações científicas para otimizar a montagem e melhorar a eficiência ambiental de um produto, principalmente por serem essas ações completamente diferentes para cada tipo de produto desenvolvido.

O que existe sim é o aprendizado constante, sistemático, baseado em pelo menos uma série de orientações e ferramentas básicas e que devem ser observadas criticamente por cada um dos projetistas nas diversas fases do projeto e para todo e qualquer componente a ser criado.

Essa sistematização produz resultados que passam a ser referência para a busca e desenvolvimento de novos e melhores resultados, ou seja, têm-se exemplos de soluções que passam a ser oficializadas pelos procedimentos da metodologia e difíceis de serem questionados.

Importante salientar que, apesar de nos referirmos à montagem, a maioria dos princípios aqui expostos são aplicáveis para projetos envolvendo a fabricação de chaparias, conhecidos como *Sheet Metal Design and Manufacture* em que a montagem pode ser entendida como uma parte essencial de todo o conjunto de solda. Dessa forma, os componentes e procedimentos de montagem descritos a seguir estão intimamente relacionados aos componentes e procedimentos de soldagem.

6.3.1. ANÁLISE DO COMPONENTE

Primeiramente o projetista deve questionar, de forma sistemática, sobre dois aspectos sobre todo e qualquer componente a ser desenvolvido, sendo o primeiro deles:

- **Há absoluta certeza de que o componente não possa ser eliminado ou combinado a outro componente do produto?**

Mesmo parecendo uma pergunta óbvia, ela é extremamente importante. A análise crítica do projetista nesse sentido pode eliminar componentes, que é o meio mais poderoso de redução do custo de montagem e o que normalmente apresenta o maior ganho ambiental.

A eliminação ou união de um componente a outro leva necessariamente à eliminação dos elementos de fixação e à redução ou eliminação do tempo de montagem, além de ocorrer uma simplificação imediata no controle e estrutura do produto, logística de movimentação e estoque e sistemas de administração envolvidos, todos, em maior ou menor grau, demandando gastos energéticos.

Além disso, pensando-se no componente custo, segundo Munro (1990), invariavelmente, quando comparados componentes unificados com componentes separados, os componentes unificados são bem mais baratos que os projetados separadamente.

Para um componente soldado, o ganho em economia de energia elétrica é tão ou mais expressivo que aquele obtido com a união de componentes montados, tendo em vista que sua eliminação embute todos os ganhos anteriormente descritos mais a redução da grande demanda energética exigida neste processo.

Como exemplo, segundo Jacovelli (2003), a orientação da condução de um projeto de chaparia voltado à minimização de componentes, certamente levará a uma redução da utilização de corte laser e um aumento da utilização do processo de dobramento, este último bem mais econômico, trazendo como

conseqüência uma expressiva redução da demanda energética imposta ao produto.

No gráfico da Figura 12 vemos os resultados do levantamento energético por uso final aplicado à unidade fabril responsável pela fabricação dos componentes de chapa. A combinação de um componente a outro freqüentemente elimina processos de corte laser, soldagem e rebarbação, surgindo no lugar deles a necessidade de um processo de dobragem. Como evidencia o gráfico, o processo de corte laser responde por 32% do consumo total da planta, soldagem 13% e rebarbação 2%, ou seja, os ganhos em termos de redução da demanda energética serão expressivos já que o processo de dobragem responde por apenas 7% do consumo energético total da planta, ou seja, um processo bem mais econômico em termos energéticos.

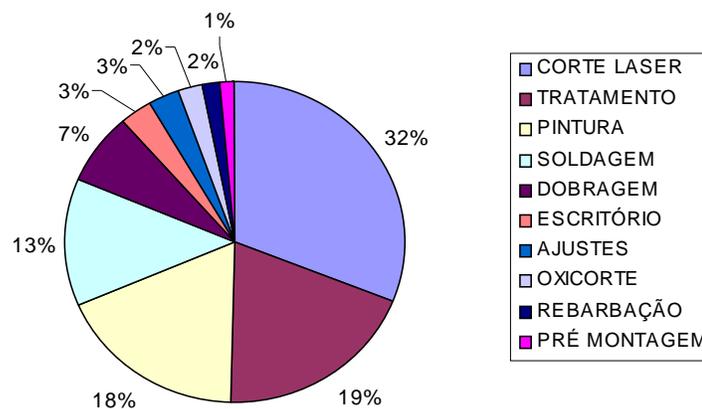


FIGURA 12 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ANUAL POR USOS FINAIS

FONTE: PERFIL ENERGÉTICO (JACOVELLI, 2003)

Colocando em valores, se alterarmos um projeto que especifique 1 metro de corte laser (com posterior soldagem) para outro que utilize 1 metro de dobra, ambos produzindo a mesma peça, teremos um ganho energético da ordem de 0,44 kWh para o aço carbono e 6,57 kWh para aço inoxidável, o que é considerável se levarmos em conta a capacidade de produção de até 3.000 máquinas-ferramenta por ano.

Ainda em relação à primeira análise crítica, como auxílio à decisão, deve-se considerar como sério candidato à eliminação todo e qualquer componente que não atenda aos três seguintes questionamentos:

- **O componente tem movimento relativo em relação aos demais componentes da montagem durante o modo de operação normal do produto final ?** (exemplo típico: rolamentos);
- **O componente é composto de matéria-prima diferente ou deve ser isolado dos demais componentes da montagem ?** (exemplo típico: conectores elétricos);
- **Poderia a união desse componente a outros impedir a montagem ou desmontagem de outras peças ou componentes ?**

Cabe aqui ressaltar que a integração da equipe de desenvolvimento do produto é extremamente importante para que essa pergunta possa ser respondida com absoluta precisão, sem que permaneçam dúvidas sobre a decisão tomada.

Como exemplo, se duas portas são desenvolvidas por projetistas diferentes, e imaginando que as mesmas tenham objetivos distintos, uma permitindo o acesso ao sistema de lubrificação e outra desenvolvida para permitir o acesso à motorização, se não houver integração entre ambos os projetistas, a difundida engenharia simultânea, então dificilmente poderá haver uma proposta de desenvolvimento de uma única porta antes que ambas estejam produzidas e montadas no produto.

O segundo aspecto a ser analisado em relação à análise da montagem diz respeito à seguinte ação:

- **Obter uma estimativa, mesmo que inicialmente subjetiva, do tempo de manuseio e inserção do componente.**¹⁴

¹⁴ Manuseio implica em o montador pegar e levar o componente até o local de montagem, já inserção implica em ações de ajustes e fixação deste componente.

Como exemplo podemos identificar, em uma operação de fixação de uma porta em um painel, o manuseio como a operação de pegar a porta sobre o estrado e levá-la até próxima ao painel; a manipulação implica em posicioná-la adequadamente, alinhando-a junto ao painel e, finalmente a inserção, que seria a utilização dos pinos, fechos e parafusos, na montagem final dessa porta sobre o assento do painel.

Se existir ou não uma submontagem da porta, essa decisão sempre caberá ao projetista, que ao definir a estrutura do produto deverá se questionar acerca dos dois aspectos acima descritos, antes de partir para o desenvolvimento do projeto.

Uma vez questionados os projetos individuais de cada componente e definida a real necessidade do componente ser desenvolvido isoladamente, deve-se partir para uma análise da montagem propriamente dita, relacionada aos aspectos de manuseio, inserção e ambientais, descritos a seguir.

6.3.2. ANÁLISE DA FASE DE MANUSEIO DO COMPONENTE

Nesta fase, o projetista deve questionar acerca de aspectos diretamente ligados à eficiência do manuseio, o qual envolve segurar e manipular o componente ou peça. Como exemplo podemos descrever alguns questionamentos típicos e que necessariamente devem sofrer análise crítica:

1. Necessidade de utilizar uma ou ambas as mãos no manuseio (componente escorregadio);
2. Quantidade de etapas envolvidas no posicionamento do componente (mudanças de eixo);
3. Quantidade de montadores necessários para o manuseio;
4. Ergonomia do componente (peso componente vs tamanho, geometria pontiaguda, etc.);

5. Necessidade de ferramental para a manipulação;
6. Geometria da peça (cilíndrica, prismática ou espacial, caso de chaparia);
7. Existência de aninhamento¹⁵ do componente em relação a outros componentes;
8. Utilização da gravidade como auxílio à montagem;
9. Centro de Gravidade favorável à montagem;
10. Estabilidade durante o manuseio;
11. Exigência de cuidados durante o manuseio (aço carbono vs inox e superfície de apoio);
12. Grau de simetria do componente;
13. Grau de assimetria do componente (eliminar a “quase simetria”);
14. Necessidade de orientação durante o manuseio;
15. Necessidade de se manter a posição e orientação para permitir operações posteriores.

6.3.3. ANÁLISE DA FASE DE INSERÇÃO DO COMPONENTE

A fase de inserção envolve o procedimento executado pelo montador entre a fase de manuseio e fixação. Sua eficiência é influenciada também por uma série de fatores que devem ser analisados criticamente pelo projetista, na forma de questionamentos.

Nesta fase é importante que se reduza ou elimine a necessidade dos montadores executarem operações sobre suas cabeças, ou seja, em níveis

¹⁵ Aninhamento, tradução do termo em inglês *Nesting* e utilizado na mídia escrita (Folha de São Paulo), significa o agrupamento de componentes onde a montagem/desmontagem de um ou vários componentes impede ou prejudica a montagem/desmontagem de outros, sendo uma característica que se procura evitar em uma boa manufatura.

elevados, o que desfavorece a ergonomia envolvida nas operações de inserção.

Segundo Munro (1990), a indústria automotiva tem adotado o conceito de pegar o chassis e construir ou montar sobre o ele o máximo possível de componentes, desde todo o sistema de motorização, incluindo o sistema de suspensão, sistema de exaustão, sistema de freios, etc. Ou seja, procura-se projetar e otimizar a manufatura e montagem para que esta se desenvolva preferencialmente em um único nível, no caso ao nível do chão, onde, além de melhor ergonomia, pode-se garantir uma melhor iluminação, simplificar o fornecimento e inserção das peças e componentes, bem como facilitar a disponibilidade do ferramental, neste último caso, a expressão literal da frase “ter as ferramentas à mão”.

Seguem descritos alguns exemplos de questionamentos envolvendo a fase de inserção e que, sendo consenso para os projetistas como os mais relevantes, devem necessariamente ser analisados criticamente:

1. Nível adequado para a inserção;
2. Necessidade de ferramental para inserção;
3. Necessidade de ferramental para fixação;
4. Existência de uma visão clara e acesso livre aos pontos de fixação;
5. Total acessibilidade para a inserção do componente (ferramenta + mão(s));
6. Facilidade de posicionamento do componente;
7. Facilidade no alinhamento do componente;
8. Facilidade de inserção do componente (baixa resistência à inserção);
9. Necessidade do montador suportar peso com o corpo;
10. Estabilidade do componente durante a inserção;

11. Grau de segurança do componente durante a seqüência inicial de (des)montagem;

12. Necessidade de giro e/ou tombo do componente para a inserção;

6.3.4. ANÁLISE CRÍTICA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO COMPONENTE

Ao mesmo tempo em que são realizadas as análises críticas e avaliações referentes à decisão de se projetar o componente otimizando os aspectos envolvidos em sua montagem, manuseio e inserção (questionamentos descritos nos subitens 6.4.1, 6.4.2 e 6.4.3), o projetista deverá analisar criticamente o impacto ambiental dessas ações, focando sua análise sobre os principais aspectos ambientais envolvidos em suas decisões, tais como :

1. Redução da quantidade de componentes;
2. Redução do consumo de matéria-prima;
3. Redução do consumo de energia;
4. Redução da quantidade de elementos de fixação;
5. Redução da quantidade de resíduos;
6. Melhoria da qualidade dos resíduos;

Conforme apontam alguns resultados, esses impactos ambientais têm sido normalmente positivos e sua avaliação tem sido executada paralelamente às outras análise críticas, mesmo porque essas avaliações têm se apresentado naturalmente intrínsecas às outras análises, ou seja, a redução de impactos ambientais tem apresentado uma correlação em relação ao esforço de otimização da montagem, e vice-versa.

Em outras palavras, normalmente, a eliminação ou simplificação de um componente, além de maior eficiência de montagem, bem como redução dos elementos de fixação, não deve ser observada apenas em relação ao

componente eficiência de montagem e custo. Existe claramente o fator ambiental relacionado à matéria-prima e à energia utilizadas na fabricação desses elementos, em sua movimentação e fixação, e é essa justamente a percepção estimulada pela metodologia.

6.4. ALGUNS RESULTADOS PRELIMINARES

São descritos e comentados a seguir quatro exemplos de projetos novos ou modificados que foram desenvolvidos com o conhecimento e aplicação pelos projetistas do conceito de *Ecodesign* e da metodologia do Projeto para Montagem (PMo). Dentre vários outros exemplos obtidos junto ao setor de engenharia envolvido, estes foram escolhidos por apresentarem facilidade no entendimento das melhorias qualitativas e quantitativas obtidas.

O projeto inicialmente desenvolvido será denominado **projeto original**, já o projeto modificado através do uso dos elementos de *Ecodesign* será denominado simplesmente como **Projeto para Montagem (PMo)**. Alguns projetos originais foram desenvolvidos e estavam sendo fabricados normalmente pela empresa, sendo então otimizados com o uso da metodologia. Em outras situações, os projetos foram inicialmente desenvolvidos apenas computacionalmente, ou seja, estavam em sua fase conceitual, sendo então re-projetados com o auxílio da sistemática de análise crítica proporcionada pela metodologia.

Vale destacar que todas as soluções concebidas nos projetos originais, sejam elas apenas conceituais ou em produção, preenchiam as necessidades requeridas inicialmente pelo projeto, mas, como poderemos observar pelos resultados, apresentam uma série de oportunidades de melhoria que puderam ser aproveitadas com a sistematização de análise crítica proposta pela metodologia proposta do Projeto para Montagem (PMo).

6.4.1. EXEMPLO 1 : PROJETO DE UMA PORTA DE PAINEL ELÉTRICO

Na Figura 13 vemos uma solução de projeto originalmente desenvolvida anteriormente ao envolvimento do projetista com o Projeto para Montagem (PMo), bem como a descrição de seus componentes.

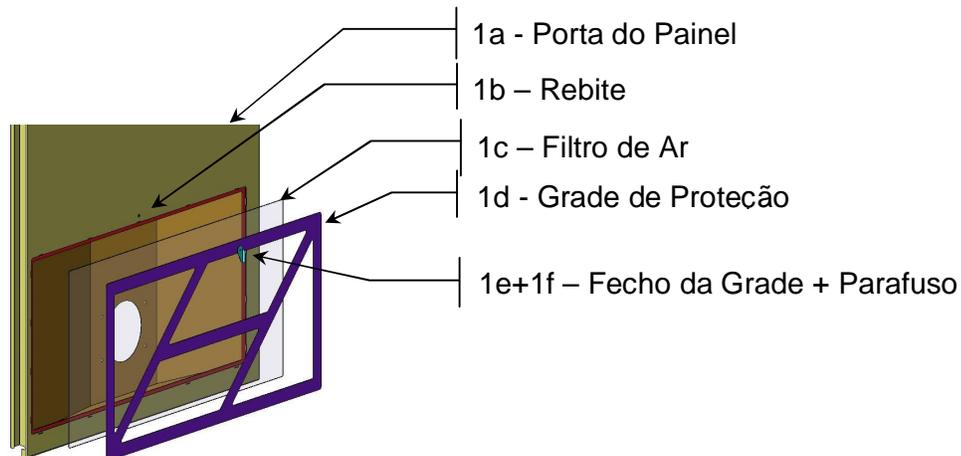


FIGURA 13 - PORTA DE PAINEL ELÉTRICO: PROJETO ORIGINAL

O objetivo do projetista foi o desenvolvimento de uma porta de painel elétrico, onde, além das dimensões e fixações exigidas pelos componentes elétricos, deveria existir um sistema de filtro, que com determinada frequência deveria ser limpo ou substituído.

Após a apresentação das análises críticas PMo ao projetista responsável pelo projeto, este otimizou o mesmo utilizando como auxílio o questionário apresentado no Anexo I e a leitura de artigos citados na dissertação.

Todas as análises ou perguntas do questionário foram respondidas, não sendo objetivo analisar o valor atribuído a elas, mas sim destacar aquelas respostas que produziram um efeito transformador mais relevante sobre o projeto original, as quais foram :

- Sim, é possível reduzir o número de componentes;
- Sim, é possível reduzir a quantidade de elementos de fixação;

- Sim, é possível melhorar a ergonomia, reduzindo-se o peso do conjunto;
- Sim, é possível utilizar a gravidade como facilitadora;
- Sim, é possível reduzir o consumo de matéria-prima;

A resposta positiva aos questionamentos acima descritos conduziu naturalmente o projetista a um novo perfil de projeto que está apresentado na Figura 14 e que comprovadamente apresenta uma série de vantagens em relação ao projeto original, destacando-se particularmente as de cunho ambiental.

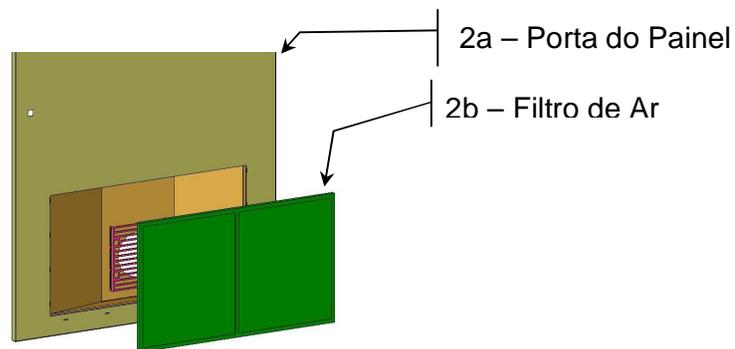


FIGURA 14 - PORTA DE PAINEL ELÉTRICO: PROJETO PARA MONTAGEM (PMo)

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os dois projetos, onde pode-se observar alguns ganhos qualitativos e quantitativos :

TABELA 3 - COMPARATIVO ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO

Projeto / Característica	Projeto Original	Projeto para Montagem	Redução Percentual
Quantidade de componentes	6	2	67%
Elementos de fixação	3	0	100%
Tempo de fabricação [h]	1,5	0,6	60%
Tempo de montagem [min]	2,5	0,4	84%
Total de matéria-Prima [kg]	12,3	10,1	18%
Custo final do produto [R\$]	47,1	35,8	24%
Tempo de troca do filtro (manutenção) [min]	5,0	1,0	80%
Utilização da gravidade como auxílio à montagem	Não	Sim	

Dentre os ganhos ambientais obtidos neste projeto destacam-se a redução de 18% no consumo de matéria-prima, o que responde por 80% da redução do custo do produto, além da redução de 60% sobre o ciclo de fabricação, o que certamente gerou uma expressiva economia de energia, já que os recursos utilizados não foram alterados.

Os dados apresentados na Tabela 2 ainda fornecem evidências de vários outros ganhos, alguns deles com aspectos positivos tanto ambientais como de qualidade do produto, destacando-se por exemplo o ganho expressivo em termos de manutenção, ou seja, troca-se ou substitui-se o filtro com *downtime* muito menor, ou ainda uma menor probabilidade de erros e desperdícios já que se fabrica e se inspeciona um número bem menor de componentes.

6.4.2. EXEMPLO 1: CAIXA DE FIXAÇÃO

Vemos a seguir o projeto de uma “Caixa de Fixação”, conjunto de solda utilizado para fixação da bomba do sistema de refrigeração de um determinado modelo de máquina ferramenta, desenvolvido de duas maneiras distintas.

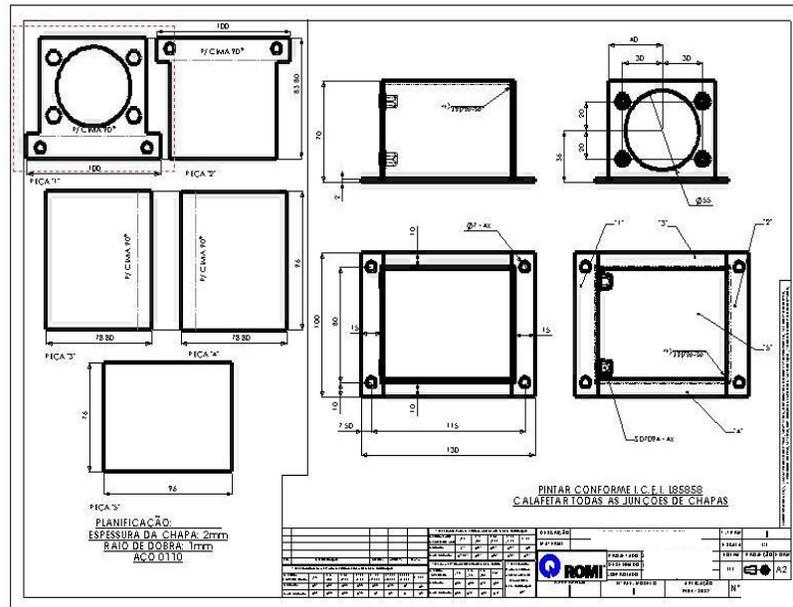


FIGURA 15 - CAIXA DE FIXAÇÃO: PROJETO ORIGINAL

Na Figura 15 acima vemos o projeto original apresentado pelo projetista, destacando-se a seguir as principais etapas exigidas da produção, aqui considerados os recursos atuais existentes na planta responsável pela fabricação deste item:

- programação e gerenciamento (*nesting*) de 5 componentes, ou seja, 5 componentes devem ser distribuídos em uma chapa de espessura 2 [mm];
- processamento laser dos 5 componentes distribuídos na chapa;
- dobragem de 4 componentes;
- ajuste e soldagem dos 5 componentes;
- rebarbação do perímetro de soldagem resultante.

Já a solução encontrada pelo projetista na Figura 16, com a aplicação do conceito de Projeto para Montagem (PMo), envolveu o re-projeto e a fabricação de um único componente de chapa.

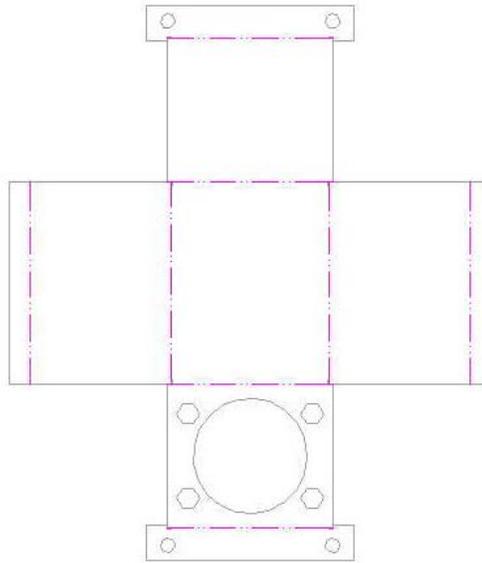


FIGURA 16 - CAIXA DE FIXAÇÃO: PROJETO PARA MONTAGEM

Esse tipo de abordagem reflete-se na simplificação de importantes etapas do roteiro de fabricação, apresentadas a seguir de forma resumida:

- programação e gerenciamento (*nesting*) de um único componente;
- processamento laser de um único componente;
- dobragem de um único componente;
- ajuste e soldagem das abas de um único componente;
- rebarbação de um perímetro menor.

Comparando a solução de projeto original com a solução fornecida pelo Projeto para a Montagem, constatamos que o último consumiu um tempo um pouco maior de projeto, mas em contrapartida forneceu um enorme diferencial quantitativo e qualitativo, que pode ser expresso na otimização do processo de fabricação com conseqüências ambientais importantes, descritas a seguir e que representam uma redução do consumo de energia elétrica:

- redução de 688 [mm] de perímetro de corte laser (processo laser em equipamento de 1800 [w]);

- redução de 334 [mm] de perímetro de soldagem (processo de soldagem MAG);
- redução de 334 [mm] de perímetro de rebarbação ou lixamento.

Destacam-se ainda os ganhos na otimização da administração da produção, ou seja, um menor número de componentes são programados e gerenciados na produção, as frequências de medição exigidas nas fases de corte laser, dobramento e soldagem são conseqüentemente reduzidas, paralelamente à probabilidade de ocorrência de desvios (repasses e rejeitos). A fase de “ajustes” executada durante o processo de soldagem praticamente inexistente. Menor volume de gás de proteção da poça de fusão (gás C25) e menos arame de adição são utilizados, bem como um menor número de lixas e menos horas homem.

Esse novo perfil de projeto, com abordagem PMo, permitiu que o custo do projeto tradicional, então com R\$14,40, passasse a R\$12,40, ou seja, uma redução de 14% (03/05/04).

Todas as melhorias acima descritas têm componentes ambientais embutidos, mas tomando-se apenas o componente energético envolvido nas fases de corte laser, dobragem, soldagem e rebarbação, constata-se uma redução de 0,30 [Kwh] para cada produto produzido.

Para um lote médio de fabricação anual de 120 peças, temos uma economia de 36,00 [Kwh], o que por si só já representa uma melhoria considerável do desempenho ambiental do produto final máquina-ferramenta.

6.4.3. EXEMPLO 3: TAMPA DE ACABAMENTO FRONTAL

O objetivo deste projeto era melhorar a manutenção da torre de ferramentas inferior através do desenvolvimento de uma tampa de acabamento frontal para acesso à área inferior da carenagem frontal, conforme mostrado na Figura 17.

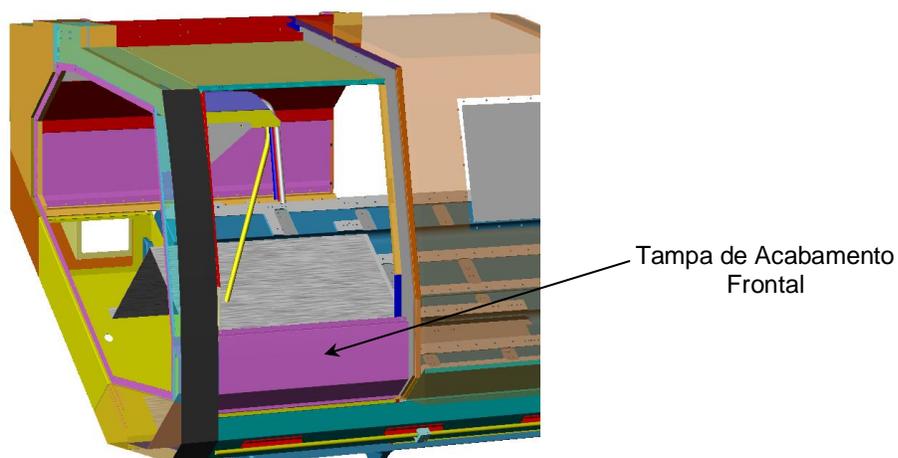
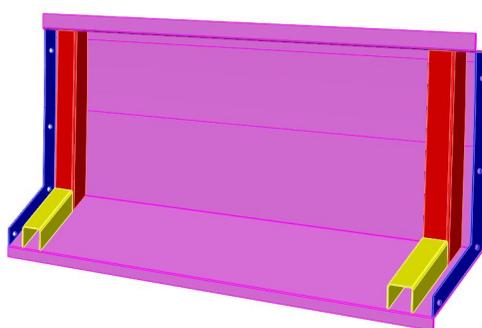


FIGURA 17 - CARENAGEM FRONTAL

Após uma primeira abordagem, desenvolveu-se inicialmente o projeto de uma tampa de acesso, conforme podemos visualizar na Figura 18, o qual é funcional e responde às necessidades de fabricação e acesso à manutenção, requeridas inicialmente.

Ainda em relação à Figura 18, ao lado estão descritas algumas constatações apontadas pelo projetista, imediatamente à concepção da primeira solução de projeto, decorrentes das análises críticas apresentadas pela filosofia PMo.



- Têm-se 8 fixações laterais internas;
- É difícil o acesso para fixação;
- Exige-se controle dimensional no comprimento.

FIGURA 18 - TAMPA DE ACAMENTO FRONTAL : PROJETO ORIGINAL

Em seqüência, já com as dimensões e a visão virtual da peça, o projetista passou a questionar sistematicamente as análises críticas da metodologia PMo, conforme o questionário apresentado no Anexo I, ficando evidente então,

conforme palavras do próprio projetista, que “existiam no projeto original muitos elementos de fixação, uma dificuldade de fabricação e montagem, além de haver necessidade de controle dimensional do comprimento”.

Esta visão sistêmica e questionamentos sobre o projeto original podem ser resumidos pelas seguintes análises críticas destacadas do questionário (Anexo I), bem como pelas respostas apresentadas pelo projetista (entre parênteses):

Fase de manuseio do componente:

- Quantidade de etapas envolvidas no posicionamento (resp.: várias etapas, o que pode ser melhorado);
- Utilização da gravidade como auxílio da montagem (resp.: não utilizo, devo manter o componente suspenso para montagem);
- Grau de simetria do componente (resp.: pode ser melhorado, controle dimensional também é exigido no comprimento);
- Necessidade de orientação do componente (resp.: sim, pode ser melhorado);

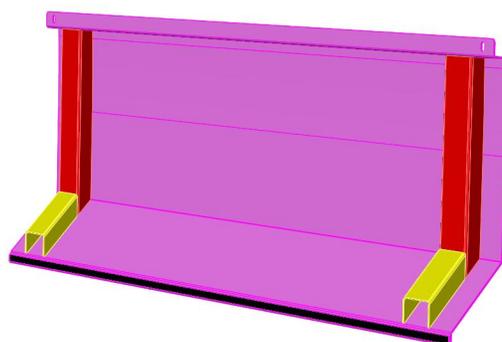
Fase de inserção do componente:

- Existência de uma visão clara e acesso livre aos pontos de fixação (resp.: não);
- Facilidade de posicionamento do componente (resp.: não muita);

Análise crítica dos impactos ambientais:

- (resp.: penso ser possível reduzir o impacto ambiental, reduzindo o consumo de matéria-prima, ou seja, diminuindo a quantidade de elementos de fixação e eliminando as fixações laterais, o que facilitaria muito também a montagem).

Após re-projetar a tampa de acabamento frontal, buscando aproveitar as oportunidades de melhoria identificadas, chegou-se à seguinte solução de projeto, mostrado na Figura 19, com algumas melhorias destacadas ao lado.



- Eliminaram-se 6 elementos de fixação;
- Eliminaram-se 8 fixações laterais;
- Introduziram-se 2 fixações frontais externas;
- Facilitou-se o acesso para fixação;
- Utilizou-se a gravidade como auxílio à montagem;
- Eliminou-se o controle dimensional no comprimento.

FIGURA 19 - TAMPA DE ACABAMENTO FRONTAL : PROJETO PARA MONTAGEM

Na Tabela 4 abaixo, comparam-se algumas características de ambos os projetos.

TABELA 4 - COMPARATIVO ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO

Projeto / Característica	Projeto Original	Projeto para Montagem	Redução Percentual
Elementos de Fixação	8	2	75%
Tempo de Fabricação [h]	0,60	0,35	42%
Tempo de Montagem [h]	0,25	0,016	1563%

Conforme podemos concluir da Tabela 4, o Projeto para Montagem conduziu a significativas reduções dos ciclos de montagem e também de fabricação, além da redução de 75% do número de elementos de fixação e das fixações laterais, todas essas melhorias com conseqüências positivas sobre o consumo de matéria-prima e utilização de energia, estes certamente fatores de melhoria do desempenho ambiental do produto.

6.4.4. EXEMPLO 4: SUPORTE DE FIXAÇÃO

Vemos na Figura 20 abaixo o projeto original de dois suportes para fixação, desenvolvimento para o apoio e fixação de uma determinada tampa.

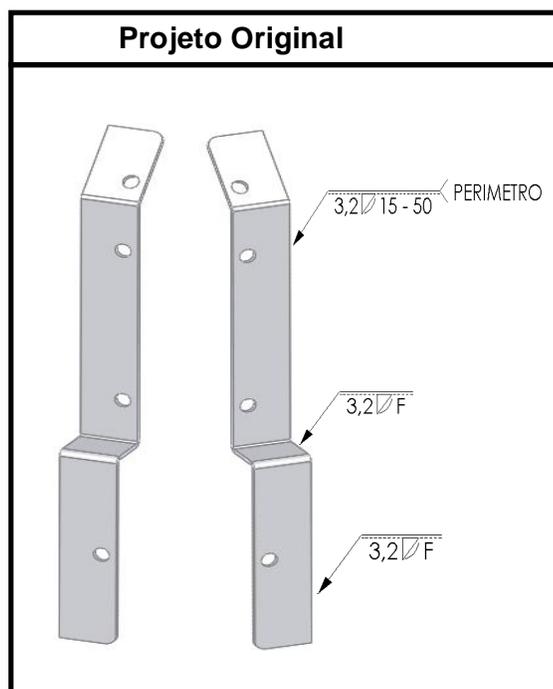


FIGURA 20 - SUPORTE DE FIXAÇÃO : PROJETO ORIGINAL

Da mesma forma que para os exemplos anteriores, o projetista inicialmente concebeu a solução do projeto original, a qual exige a fabricação de dois suportes diferentes, um para o lado esquerdo e outro para o lado direito da tampa, ambos exigentes de localização e soldagem de filete, conforme a indicam as três diferentes especificações da simbologia de solda exigidas pelo projeto, mostradas na figura acima.

Após analisar o projeto com a abordagem para montagem (PMo), conforme questionário apresentado no Anexo I, **principalmente a análise crítica que incentiva a utilização da simetria como fator favorável à montagem**, conduziu o projetista à seguinte solução de projeto, mostrada na Figura 21.

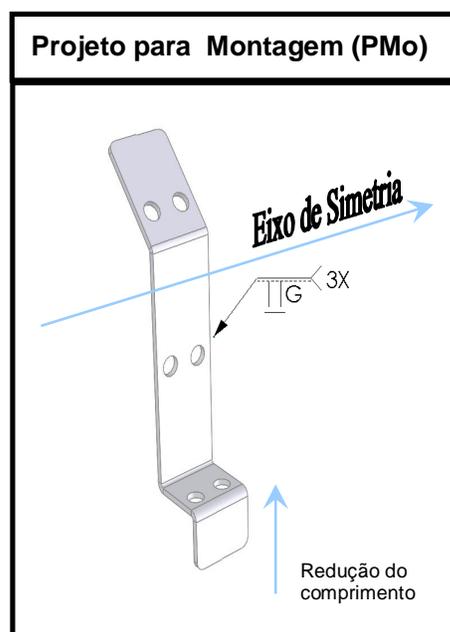


FIGURA 21 - SUPORTE DE FIXAÇÃO : PROJETO PARA MONTAGEM (PMO)

O novo projeto com abordagem PMo trouxe uma redução do comprimento da peça com conseqüente redução de matéria-prima, uma maior facilidade e conformidade do processo de localização e soldagem, além da criação de um eixo de simetria ter permitido que, ao invés de 2 componentes, agora possa ser fabricado e inspecionado um único componente.

Na Tabela 5, observa-se claramente que houve uma enorme simplificação do projeto, com inúmeras conseqüências sobre o processo de fabricação, montagem e meio ambiente.

TABELA 5 - COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS ENTRE O PROJETO ORIGINAL E O PMO

Projeto / Característica	Projeto Original	Projeto para Montagem	Redução Percentual
Tempo de Corte Laser [min]	0,42	0,37	12%
Tempo de Soldagem (montagem) [min]	0,83	0,16	519%
Total de Matéria Prima [kg]	0,20	0,15	25%
Número de componentes diferentes	2	1	50%

Os dados apresentados na Tabela 5 demonstram que o Projeto para Montagem é uma solução de projeto mais eficiente tanto em relação à administração dos componentes, sua fabricação e montagem. Houve uma redução significativa de consumo energético e matéria-prima utilizados, ambos os ganhos expressos na redução de 12% do uso do processo de corte laser, 519% da utilização de soldagem e 25% no consumo de matéria-prima, ou seja, uma melhoria evidente do desempenho ambiental ainda mais sendo os recursos laser e solda os que mais exigem energia elétrica da planta.

6.5. CONSEQÜÊNCIAS DA UTILIZAÇÃO DO PMo

Pode-se observar pelos resultados obtidos junto ao setor de engenharia de chaparia que, diferente da maioria dos impactos ambientais que são dependentes de juízo de valor para sua valoração, o que torna difícil sua quantificação, os impactos positivos proporcionados pela abordagem PMo sobre o meio ambiente e sobre todo o processo de fabricação e montagem acabam sendo mensuráveis quase que naturalmente. Essa facilidade de quantificação é conseqüência direta da visão mecanicista que o projeto apresenta, esta sem dúvida uma característica que acaba por auxiliar a implantação da metodologia PMo e a obtenção de resultados favoráveis.

Os maiores benefícios da aplicação de um Projeto voltado para a Montagem (PMo) foram a otimização do processo de fabricação e montagem, aliados à redução do número de componentes e à melhoria do desempenho ambiental do produto, já que não somente constatou-se economia no custo de montagem e fabricação mas também uma expressiva economia com a redução do uso de energia e matéria-prima, inventário, área na planta, simplificação da documentação e administração.

Além disso, com um número menor de componentes envolvidos no processo de fabricação do produto, também podemos esperar uma melhora da qualidade desse produto, já que há menos o que errar, como evidencia o gráfico apresentado na Figura 22 aplicado à indústria eletro-eletrônica.

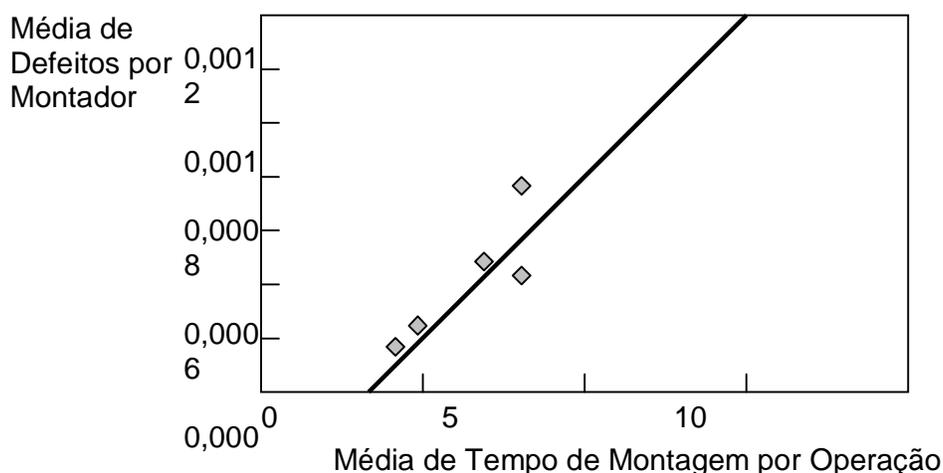


FIGURA 22 - GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MONTAGEM E DEFEITOS NA INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA.

FONTE: BOOTHROYD E DEWHURST, 2003

O gráfico da Figura 22 acima também apoia a afirmação de que a busca pela excelência da qualidade (*world-class quality*), equivalente a 50 defeitos produzidos por milhão, não pode se limitar à obtenção de altos índices de qualidade dos componentes. Segundo Boothroyd e Dewhurst (2003), componentes são esquecidos fora das montagens a taxas que variam de 10 a 100 componentes por milhão. Também, para tarefas complexas envolvendo montagem, erros ocorrem a taxas de 100 por milhão para cada segundo de tempo de montagem e certamente erros geram repasses e rejeitos, o que reduz o desempenho ambiental de todo o processo.

Apesar de esses dados se referirem à montagem eletro-eletrônica, certamente podemos inferir uma correlação com qualquer outro tipo de montagem, não sendo nenhuma surpresa que a área de montagem e soldagem de componentes de chaparia responda por 50% dos repasses e rejeitos da planta.

A própria definição de desempenho ambiental, ao incluir a necessidade do monitoramento dos aspectos ambientais, permite concluir que, o Projeto para a Montagem (PMo), ao possibilitar significativas reduções no consumo de

energia elétrica e matéria prima, que são significativos aspectos ambientais do processo, melhora conseqüentemente o desempenho ambiental do produto.

A experiência demonstra que se desejamos uma qualidade de classe mundial, incluídas aqui as melhorias ambientais, então um objetivo primário deve ser a redução dos erros de montagem e uma maneira de alcançarmos esse objetivo é simplificarmos essa montagem.

Nesse sentido, a mensagem que o PMo evidencia é clara: “qualquer coisa pode ficar mais simples”, o que não significa fragilizar o produto.

Quanto maior o Índice de Eficiência de Montagem (IEM), que pode ser contabilizado ao final da sistemática de análise crítica apresentada no Anexo I, melhor será o perfil de montagem do componente ou conjunto analisado e melhor será seu desempenho ambiental, ou seja, maior será a facilidade de manuseio e montagem aliada a um menor impacto ambiental.

Outra conseqüência importante e imediata desse tipo de abordagem é a conscientização crescente por parte dos projetistas da necessidade de se trabalhar favoravelmente em relação à montagem, tendo em vista que só podemos melhorar aquilo que controlamos, e os IEMs, quando contabilizados para diversos produtos, fornecem um meio seguro de comparar projetos semelhantes e analisar a eficiência de montagem global do projeto, orientando a busca constante por melhorias e estreitando a interface entre a engenharia e a produção.

Mas, a despeito das muitas histórias e evidências de sucesso, a maior barreira para a implementação do PMo continua sendo a natureza humana, as pessoas resistem a novas idéias ou ferramentas não familiares, ou ainda afirmam que sempre é considerada a manufatura durante o projeto de um produto.

O amadurecimento dessa interface, entre engenharia e produção, através de procedimentos de PMo, solidifica a interação entre os setores de desenvolvimento e manufatura, apoia os Sistemas de Gestão Ambiental da empresa e vai ao encontro de uma nova abordagem com enfoque em

processos, definida na nova versão da norma ISO9001:2000, o que justifica o Projeto para a Montagem como ferramenta moderna de redução de custos e melhoria no desempenho de um desenvolvimento de projeto que vai muito além de uma abordagem típica de função.

6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de consolidarmos a inserção de preocupações ambientais, no âmbito de desenvolvimento do produto máquina-ferramenta, é importante compreendermos que as reuniões de análise crítica são os momentos mais importantes, dentro das fases de desenvolvimento do produto, onde pode-se avaliar e alterar as metas e prazos pré-estabelecidos, desde a decisão do que se pretende produzir até a forma de como e quando se deverá se produzir.

Qualquer alteração qualitativa do produto deve necessariamente ser validada durante essas reuniões, para as quais não existem manuais, regras ou procedimentos escritos que as guiem formalmente.

Na realidade as reuniões de análise crítica são, mesmo que sublinearmente, orientadas normalmente pelas principais demandas de mercado e essas maiores demandas têm sido tradicionalmente no sentido de produzir máquinas com melhor desempenho e qualidade, mais seguras e com menores custos.

A busca e observância com ênfase nesses critérios são, geralmente, fortes exigências de mercado, necessariamente defendidas pela alta administração das empresas e conseqüentemente inseridas na cultura de desenvolvimento dos projetos.

Se o desejo for caminhar para um cuidado ambiental maior e crescente, com o objetivo de inserir a empresa nos conceitos da ecologia industrial, temos que criar condições, o mais naturais possíveis, de agregar a essa cultura de projeto novos critérios, “mudar o jeito de fazer as coisas”, conforme afirma Overcach (1994), mas sem prejudicar o foco do projeto sobre os critérios

tradicionais, critérios esses que reconhecidamente têm garantido a saúde financeira e o sucesso das empresas.

Por outro lado, sabemos que somente a atenção a esses critérios tradicionais tende a reduzir a percepção do projeto sobre os problemas ambientais, o que tem contribuído para seu agravamento em âmbito local, regional e global.

Ainda em relação às exigências das áreas de projeto, é reconhecida a intensidade do cronograma de atividades por que passam essas áreas de engenharia, sendo uma das razões a forte concorrência globalizada que tem exigido criatividade e velocidade de criação na busca de novas funcionalidades, isso aliada aos prazos decrescentes para lançar o produto no mercado, que agora também se configura como fator crítico de sucesso.

Nesse contexto, o caminho mais eficiente de inserirmos no projeto análises e conceitos ambientais é através da utilização de uma ferramenta que tenha como premissa também a otimização dos critérios tradicionais, que sejam o custo, a qualidade e a segurança, mas que permita, quase que naturalmente, de forma conjugada, inferir importantes análises ambientais e aumentar, de forma crescente, a percepção ambiental dos profissionais envolvidos no projeto.

Também a ferramenta de Projeto para Montagem (PMo) parece ser a única que, dentre todas as demais ferramentas DFX com componentes ambientais, não exige pré-requisitos para o sucesso de sua implantação, ou seja, todas as demais exigem um grau mais elevado de consciência e gestão ambiental para o sucesso da implantação.

Exemplificando, não se pode pensar em aplicar plenamente o conceito de Projetar a Reciclagem (PR) se não for anteriormente aplicado o conceito de Projeto para a Desmontagem (PD) e este último, necessariamente, demandará um bom Projeto da Montagem (PMo). Também não se pode conceber um Projeto voltado para a Manutenção (Pma) se não existir, como premissa, a existência de um bom Projeto para Desmontagem (PD) e Montagem (PMo).

Ou seja, o Projeto da Montagem (PMo) proposto, se utilizado junto às fases de desenvolvimento de projeto, permite interagir todos esses potenciais de ganhos, que tornam-se assim facilmente explorados, sem riscos de ruptura com o modelo de abordagem utilizado pela empresa.

6.6.1. PASSOS PARA CONSOLIDAÇÃO

A seguir são apresentados os três passos básicos para a consolidação dessa ferramenta na área de desenvolvimento de produtos da empresa, passos esses que estão destacados no Fluxograma Proposto de Desenvolvimento de Projeto, apresentado na Figura 23.

O primeiro deles deve ser a oficialização da abordagem PMo escolhida através da criação de uma instrução interna, representada na Figura 23 pelo código x. Essa nova norma de procedimentos deverá ser aprovada e publicada pela empresa e oficializará as ações por parte das engenharias envolvidas, legitimando-as, e passando dessa forma a fazer parte dos recursos disponibilizados para desenvolvimento dos novos projetos.

O segundo passo, e o mais importante deles, deve ser o treinamento de todos os envolvidos na realização do projeto na nova norma publicada internamente. Todos os projetistas, inclusive os coordenadores, devem compreender os objetivos e extensão dos ganhos da aplicação da metodologia PMo; dúvidas técnicas sempre surgirão no desenvolvimento de qualquer projeto, dúvidas sobre a razão e as consequências de implantação do PMo devem ser eliminadas durante o treinamento.

O terceiro e último passo deve ser a criação de um histórico global dos Índices de Eficiência de Montagem - IEM, indexados por modelo de máquinas-ferramenta, resultantes dos projetos já desenvolvidos. Esses índices devem passar a ser considerados como dados de entrada para novos projetos, garantindo que ocorra melhoria contínua através de uma referência de eficiência de montagem e desempenho ambiental a ser perseguida e melhorada.

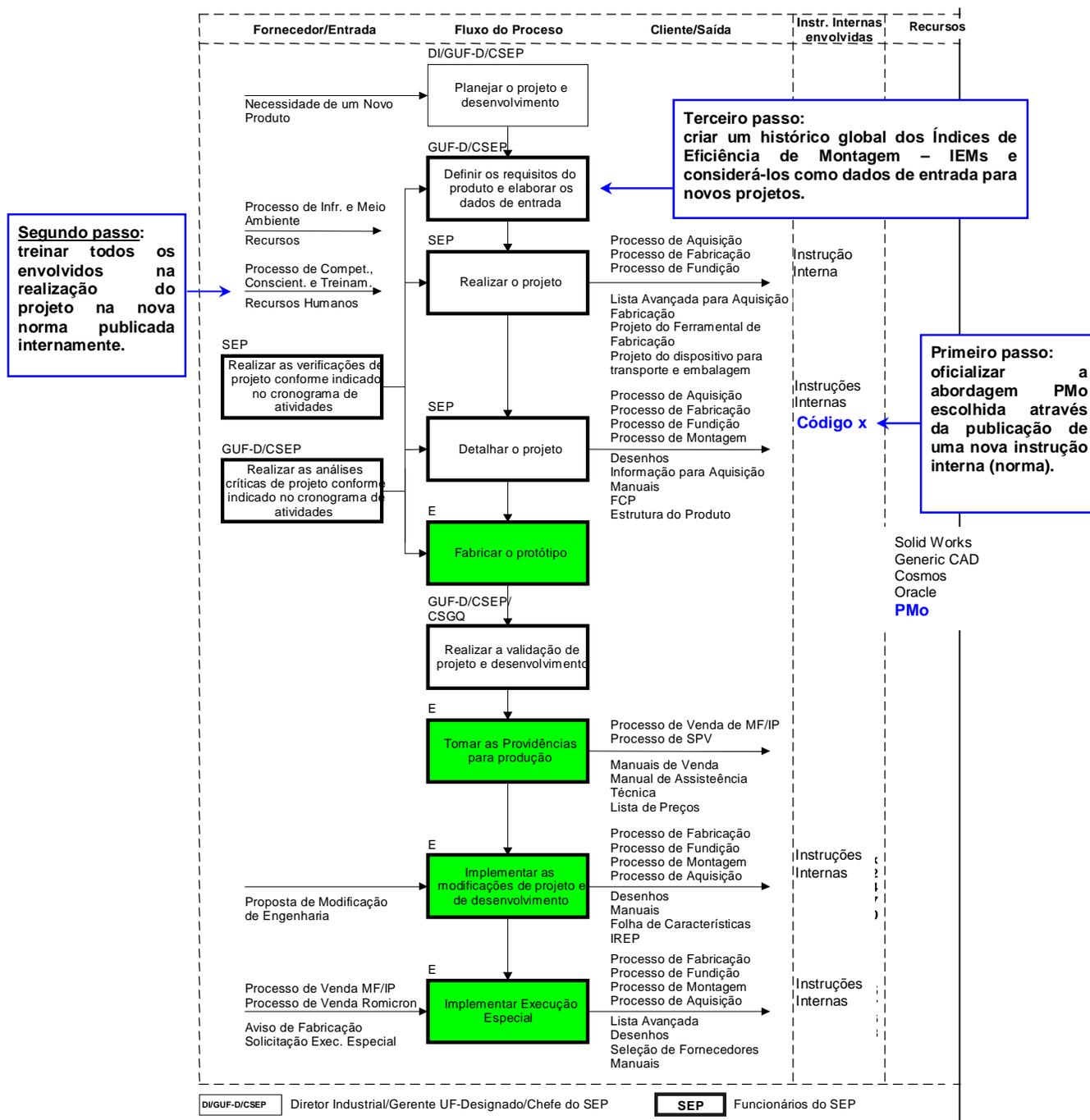


FIGURA 23 - FLUXOGRAMA PROPOSTO DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

FONTE: INSTRUÇÃO INTERNA PROCESSO DE PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (2004)

A proposta da melhoria do desempenho ambiental do produto, associada ao Projeto da Montagem (PMo), parece ser essencial no sentido que ao fornecer um limite de controle que foca a análise crítica sobre os componentes, permite aumentar a percepção dos projetistas de forma crescente, chegando-se naturalmente ao produto final, analisados necessariamente todos seus conjuntos e subconjuntos. Dessa maneira, a otimização do projeto voltado para a montagem fornece subsídios para desenvolvimentos de outros tipos de abordagens mais agressivas e específicas.

Outro aspecto que motiva a utilização dessa ferramenta é o de que, quanto mais complexo o produto, maiores serão os benefícios do PMo, já que existirá um maior número de componentes e maiores serão as oportunidades de melhoria.

A máquina-ferramenta, dependendo do modelo, pode conter mais de 3.000 componentes e parece ser um produto ideal para a implementação dessa ferramenta, a qual abrirá caminhos para propostas de abordagens de projeto mais ousadas, permitindo, à empresa, alterar sua cultura de projeto de forma gradual e sem conflitos.

O Projeto para Montagem (PMo), uma ferramenta DFX essencial, parece nos indicar um ótimo caminho que permitirá agregar ao produto máquina-ferramenta mais um importante diferencial, o da excelência ambiental, premissa básica de um Projeto para o Meio Ambiente ou *Ecodesign*, e necessário à busca da sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Address to National Conference on Life Cycle Assessment: **Shaping Australia's Environmental Future**. Melbourne, February 29 - March 1, 1996.

ALLENBY, Braden R. *Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation*. New Jersey: Prentice-Hall. Upper Saddle River, 1999.

Balanço Contábil da empresa Indústrias Romi publicado no jornal Diário Oficial Empresarial, São Paulo, 18 de fevereiro de 2004, página 18.

BASSO, José Luís. **Aplicação de Engenharia e Análise do Valor – EAV Antecedendo o Custeio Baseado em Atividades - ABC**. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade Estratégica) – São Paulo. Centro Universitário Álvares Penteado da Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado - Unifecap, 2003.

BOOTHROYD, G.; ALTING, L. *Design for Assembly and Disassembly*. Keynote Paper, Annals of the CIRP, 41 (2), 625-636.

BOOTHROYD, G.; POLI, C.; MARCH, L. *Handbook of feeding and operating and orienting techniques for small parts*. Technical Report, Mechanical Engineering Department. University of Massachusetts. 1978.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. *Design for Assembly - a designers handbook*. Technique Report, Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts. 1983.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. *Product design for assembly*. Wakefield, RI. 1986.

BOOTHROYD, G.; RADOVANOVIC, P. *Estimating the cost of machined components during the conceptual design of a product*. Annals of CIRP, 38 (1), 157. 1989.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. ***Product design for manufacture and assembly***. New York. 1994.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. ***An Introduction to Design for Manufacture and Assembly - DFMA***, original article by, revised by Design Iv with permission. Disponível em: <<http://www.design-iv.com/PDF/Intro%20to%20DFMA.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2003.

BRINKLEY, A., KIRBY, R. ***Ecoprofile studies of fabrication methods for IBM computers: sheet metal computer cover***. [S.l.: s.n.], IEEE pag.299 a 306,1994.

Cadastro Padrão da Empresa, publicado pelo Departamento de Controladoria, Setor de Assessoria Econômica das Indústrias Romi, março de 2004

CALLEMBACK et al. ***Gerenciamento Ecológico - Ecomanagement***. Guia do Instituto Elmwood de Auditoria Ecológica e Negócios Sustentáveis. São Paulo: Editora Cultrix, 1993.

CHALMERS, R. E. ***Talking turning technology***. Manufacturing-Engineering, v.126, n. 4, p. 78-86, 2001.

CHEHEBE, J. R. B. ***Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000***. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CHIAVENATO, Idalberto. ***Os Novos Paradigmas da Produção***: como as mudanças estão mexendo com as empresas. São Paulo: Atlas, 1996.

CHIAVENATO, Idalberto. ***Introdução à Teoria Geral da Administração***. 6 ed. Revisada. [S.l.]: Editora Campus, 2000.

CHITI, Carlos. Carlos Chiti – Um Legado de Sabedoria. São Paulo: DBA Dórea Books and Art, 2004.

CROSS, R. T. ***Teacher's views about what to do about sustainable development***. Environmental Education Research, 1998.

CURRAN, M. A. ***Environmental life-cycle assessment***, New York: McGraw-Hill, 1996.

D'ELBOUX, Francisco Augusto. ***Minimização do Descarte de Areias de Fundição***. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 2000.

FERREIRA, Leda Leal. A intensificação do trabalho ou é proibido vacilar. In: DUARTE, Francisco (Org.). ***Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo***. Rio de Janeiro: Editora Lucerna – Coppe, 2001.

FREIRE, José de Mendonça. ***Torno***: Tecnologia Mecânica, Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A.,1984.

FIGUEIREDO, Paulo Jorge Moraes. ***Ética e meio ambiente***: contribuições da ética ambiental para uma sociedade sustentável. In: Congresso Brasileiro de Qualidade na Educação - Formação de Professores, Brasília, 15 a 19 de outubro de 2001.

FIKSEL, J., & WAPMAN, K. (1994). ***How to design for environment and minimize life cycle cost***. In: IEEE symposium on Eletronics and the Environment, San Francisco, CA, May.

GETZNER, Michael; RITT, Thomas. ***Quantitative and qualitative employment impacts of environmental innovations***. In.: Workshop Economic Impacts of Environmental Innovations, Bruxelas, 5-6 dezembro 2002.

GETZNER, Michael. ***The quantitative an qualitative impacts of clean technologies on employment***. Departamento de Economia, Universidade de Klagenfurt, Journal of Cleaner Production, p. 305-319, 2001.

GETZNER, Michael. ***Cleaner production, employment effects end socio-economic development***. Technology Managemnt, v.17, n. 5, 1999.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. New Jersey: Editora PrenticeHall, 1995.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R. COMRIES, P. R. **Matrix approaches to abridged life cycle assessment**, *Environ. SCI & Technology*, v.29, n. 3, 1995.

HEISKANEN, E. **The institutional logic of life cycle thinking**, *Journal of Cleaner Production* v.10, p. 427–437, 2002.

HOLDEN T. Happy. **Predicting Assembly Costs Before**. Design with the Design Report Card. Techlead Corporation, Evergreen, , Colorado, 1993

HORVATH, A.; HENDRICKSON, C. T.; McMICHAEL, F. C. **Performance measurement for environmentally conscious manufacturing**. *Manufacturing Science and Enineering*. MED2-2/MH3-2, p. 855-860, 1995.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. **Dicionário Houaiss de Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

JACOVELLI, Sílvio J.; FIGUEIREDO, Paulo J. M. **Avaliação de ciclo de vida simplificada aplicada à evolução de tornos**. In: EME/EDE, 2003, São Paulo: UNIMEP, 2003.

JACOVELLI, Sílvio J.; MARTINS, Gilberto. **Perfil Diagnóstico Energético de uma Unidade de Fabricação de Componentes de Chapas por Uso Final**. In: EME/EDE, 2003, São Paulo: UNIMEP. 2003.

KEYS, K. **Design for Manufacture; design for the life-cycle: systems lyfe-cycle engineering**. In: IEEE INTERNATIONAL ELECTRONIC MANUFACTURING TECHNOLOGY SYMPOSIUM, p. 62-72, 1988.

KOTLER, Philip, **Administração de marketing**, 10.ed., [S.I.]: Editora PrenticeHall, 2002.

KUO, T. C. et al. ***Design for manufacture and design for “X”***: concepts, applications and perspectives, Computers & Industrial Engineering, p. 241-260, 2002.

LENOX, Michael et al. ***The diffusion of desing for environment: a survey of current practice***. Massachusetts: [s.n], 1996.

LESMO, Umberto. ***Piccola storia di una grande macchina: il torno***. [S.l.: s.n.], 1992.

LEWIS, Helen. ***Data quality for life cycle assessment***, Centre for Design at RMIT.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. ***Técnicas de Pesquisas***. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1985.

McCUE, G. (1993). ***Life-cycle engineering***. Management Service, February, 20-33

MEADOWS, D.; MEADOWS, D. ***The limits to growth***. Universe Books, New York, 1972.

MUNRO, Sandy. ***Automotive Industries***, p. 34-37, mar 1990.

MUNRO, Sandy. ***Design for Assembly/Manufacturability: winning the global manufacturing war by design***. In: CSVA International Conference, Troy, Michigan. 1998.

NIELSEN, P. H; WENZEL, H. ***Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment***, Journal of Cleaner Production, v.10, p. 247–257, 2002.

Norma Interna da Empresa - Processo de Projeto e Desenvolvimento de Produtos, edição A, publicada em 01 de agosto de 2003 (fluxograma).

Nosso Futuro Comum / Comissão Mundial sobre Meio e Desenvolvimento. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. XVIII, 430p. Tradução de : Our common future.

OVERCASH, Michael R., HAZADOUS Waste; HAZARDOUS. **Materials**, volume 11, number 4, 1994, Cleaner Technology life cycle methods: European Research and Development 1992-1994

O torno: a máquina das máquinas. Revista Máquinas & Ferramentas. Ano 2, n. 21, abr. 1981.

P₂ Pollution Prevention review, Screening P2 Investiment Opportunities, v. 8, n. 2, p. 14, spring 1998.

PYE, Mirian. **P₂ - Pollution Prevention Review**. In: American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, v. 8, n. 2, spring 1998.

RAND. Technologieradar. **RAND Europe for Dutch Ministry of Economic Affairs**, The Hague, The Netherlands, 1997.

REIS, Maurício J. L. **ISO 14000: Gerenciamento ambiental - Um novo desafio para a sua competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996

SACHS, I. **Em busca de novas estratégias de desenvolvimento**. Estudos avançados USP. São Paulo: v. 9, n. 25, set-dez, 1993.

TAYLOR, Frederick Winslow. **Princípios da Administração Científica**. Tradução Arlindo Vieira Ramos. 7 ed. São Paulo: Atlas, 1979.

TIBOR, Tom; FELDMAN, Ira. **ISO14000 - Um Guia Para as Novas Normas de Gestão Ambiental**. São Paulo: Editora Futura. 1997.

TUKKER, Arnold; EDER, Peter; CHARTER, Martin et al. **The journal of sustainable product design**. 2001.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental ISO14000**, 4ª edição, São Paulo: Editora Senac, 2002.

WALKER, Stuart. ***A journey in design an exploration of perspectives for sustainability***. Faculty of Environmental Design, University of Calgary, Alberta, Canada. 2002

WALLACE, Richard R.; NORTON, Bryan G. ***Policy implications of Gain theory***. *Ecological Economics* 6, 1992. p. 103-118.

WARNECKE, H. J.; BASSLER, R. ***Design for Assembly*** - part of the design process. *Annals of CIRP*, 37, 1988.

WESTEMAN, Georg. ***A Volta da Máquina-Ferramenta***. Tradução Fernando Figueiredo da Conceição. [S.l.]: Editora Reverté, 1967. Título original: Rund um die werkzeugmaschine.

WETERINGS, R. A.; OPSCHOOR, J.B. ***The Ecospace as a Challenge to Technological Development***. Rijswijk, The Netherlands: RMNO Publication No. 74, 1992.

WHITMAN, Walt. ***Specimen Days & Collect***. Prose Works, 1892, Library of America, 2002.

WINTER, G. et al. (1989). ***Business and the environment***. *A handbook of industrial ecology with 22 checklists for practical use and a concrete example of the integrated system environmentalist business management (the winter model)*. Hamburgo e Nova York: McGraw-Hill Book Company GmbH.

WOMACK, J.; JONES, D. ROSS, D. ***A Máquina que Mudou o Mundo***. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

ANEXO I - QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE CRÍTICA - PROJETO PARA MONTAGEM

Questionário de Análise Crítica	A	B	A x B
	Resposta	Peso	Valoração (de 0 a 10)
HÁ ABSOLUTA CERTEZA DE QUE O COMPONENTE NÃO POSSA SER ELIMINADO OU COMBINADO A QUALQUER OUTRO COMPONENTE DO PRODUTO? (perguntas auxiliares)			
<ul style="list-style-type: none"> • O componente tem movimento relativo em relação aos demais componentes da montagem durante o modo de operação normal do produto final ? • O componente é composto de matéria-prima diferente ou deve ser isolado dos demais componentes da montagem ? • Poderia a união desse componente a outros impedir a montagem ou desmontagem de outras peças ou componentes ? 			
ANÁLISE DA FASE DE MANUSEIO DO COMPONENTE			
1. Há necessidade de utilizar uma ou ambas as mãos no manuseio ?			
2. Quantidade de etapas envolvidas no posicionamento do componente ?			
3. Quantidade de montadores necessários para o manuseio ?			
4. Como é a ergonomia do componente ?			
5. Há necessidade de ferramental para a manipulação ?			
6. Como é a geometria da peça ?			
7. Há aninhamento do componente em relação a outros componentes ?			
8. Há utilização da gravidade como auxílio à montagem ?			
9. O centro de gravidade é favorável à montagem ?			
10. Há estabilidade durante o manuseio ?			
11. Há exigência de cuidados durante o manuseio ?			
12. Qual é o grau de simetria do componente ?			
13. Qual é o grau de assimetria do componente ?			
14. Há necessidade de orientação durante o manuseio ?			
15. Há necessidade de se manter a posição e orientação para permitir operações posteriores ?			
ANÁLISE DA FASE DE INSERÇÃO DO COMPONENTE			
1. O nível é adequado para a inserção ?			
2. Há necessidade de ferramental para inserção ?			
3. Há necessidade de ferramental para fixação ?			
4. Há existência de uma visão clara e acesso livre aos pontos de fixação ?			
5. Há total acessibilidade para inserção do componente ?			
6. Há facilidade de posicionamento do componente ?			
7. Há facilidade no alinhamento do componente ?			
8. Há facilidade de inserção do componente ?			
9. Há necessidade do montador suportar peso com o corpo ?			
10. Há estabilidade do componente durante a inserção ?			
11. Grau de segurança do componente durante a seqüência inicial de (des)montagem			
12. Necessidade de giro e/ou tombo do componente para a inserção ?			
ANÁLISE CRÍTICA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS			
1. Houve redução da quantidade de componentes ?			
2. Houve redução no consumo de matéria-prima ?			
3. Houve redução no consumo de energia ?			
4. Houve redução na quantidade de elementos de fixação ?			
5. Houve redução no descarte de resíduos ?			
6. Houve melhoria na qualidade dos resíduos ?			
Índice de Eficiência de Montagem (IEM)			

ANEXO II - ACV

Avaliação de ciclo de vida simplificada aplicada à evolução de tornos

Sílvio José Jacovelli (UNIMEP) sjacovelli@romi.com.br
Paulo Jorge Moraes Figueiredo (UNIMEP) pfigueir@unimep.br

Resumo

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem-se mostrado uma ferramenta poderosa para avaliar a performance ambiental de produtos, considerando aspectos ambientais desde as etapas iniciais da produção, como a extração de matérias-primas, até as etapas de manufatura, uso e pós uso dos produtos. Este trabalho representa um esforço na utilização de ACV simplificada, com o objetivo de comparar aspectos ambientais associados a máquinas-ferramenta (tornos) de um mesmo modelo, fabricadas em períodos distintos, nos anos de 1985 e 2002 respectivamente. A intenção final deste exercício de aplicação é analisar, de forma simplificada e qualitativa, a evolução dos tornos CNC, apontando em quais etapas os avanços ambientais foram mais significativos e quais as potencialidades de melhorias.

Palavras chave: Avaliação de Ciclo de Vida; ACV; Impactos ambientais das Máquinas Ferramentas; Evolução dos Tornos CNC; Projeto Ambiental de Produtos.

1. Introdução

Tradicionalmente, os critérios utilizados pela indústria para o desenvolvimento dos produtos têm sido o desempenho, custo, qualidade e segurança. (BRINKLEY et al., 1994). Essas têm sido as principais necessidades detectadas pelos clientes. Até bem pouco tempo, os efeitos sobre o meio ambiente decorrentes da manufatura do produto, sua utilização e descarte final, não provocavam grandes interesses por parte dos consumidores.

A partir do final dos anos 60 e início dos anos 70 as preocupações das sociedades face aos problemas ambientais sofreram uma gradual e sensível alteração. A publicação de “Limits to growth” (MEADOWS et al., 1972) chamaram a atenção, das sociedades e governos de todo o planeta, para os efeitos negativos das tecnologias adotadas sobre o meio ambiente. Desde então, e de maneira crescente, o conceito de sustentabilidade, associado aos limites temporais e físicos dos elementos que compõem o meio ambiente, tem motivado uma consciência ambiental crescente e uma demanda cada vez maior por produtos e serviços com menores cargas ambientais.

Essa nova característica dos processos produtivos globais, responsáveis pelos denominados produtos mundiais, tem alterado acentuadamente todo o mapa econômico mundial, disponibilizando tanto os recursos de toda a parte do planeta como os

problemas ambientais advindos de seu ciclo de vida, ou seja, da matéria-prima, manufatura, utilização, transporte e disposição.

Nesse sentido, se minimizarmos os impactos ambientais ainda na fase de projeto ou de desenvolvimento de um produto, parece claro que estaremos contribuindo para redução da carga ambiental por todo o ciclo de vida do produto, e o mais importante, no momento mais adequado de fazê-lo.

O grande processo de aquisição que envolve as organizações inicia-se nessas engenharias de produto, onde são avaliadas e descritas as especificações, inclusive os impactos ambientais, custos e recursos físicos disponíveis e/ou necessários no chão de fábrica. Nesse aspecto, as engenharias têm forte influência na seleção dos componentes e redução ou acréscimo dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto.

2. Matriz simplificada para análise de ciclo de vida

A experiência tem demonstrado que a Análise de Ciclo de Vida (ACV) pode ser uma excelente ferramenta para tornar ambientalmente conscientes as decisões das engenharias de produto. Também se tem evidenciado que sua aplicação, para um sistema produtivo complexo ou quando aplicada em um processo de manufatura industrial, funciona melhor quando realizada de forma qualitativa e de maneira simplificada. Para facilitar cada análise, pode-se desenvolver uma matriz simplificada de ACV onde os engenheiros e responsáveis pelo projeto podem rapidamente identificar as conseqüências ambientais de suas escolhas e optar pelas melhores delas. Este é o conceito do eco-design ou Projeto com Ciclo de Vida (PCV). O sistema de valoração e pontuação da matriz, definido como classificação, fornece meios justos e opções de comparação, onde são recomendados os gráficos alvo como uma ferramenta visual simples e eficiente de chamar a atenção daqueles aspectos de projeto e implementações cujas modificações poderiam mais dramaticamente aprimorar a classificação de avaliação ambiental. São demonstradas estas ferramentas através da execução da análise de dois produtos funcionalmente similares, no caso tornos CNC produzidos em 1985 e em 2001.

3. Fases do ciclo de vida

O estudo do ciclo de vida de um determinado produto compreende as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo, incluindo as operações industriais e de consumo, até a disposição final do produto quando se encerra a sua vida útil (CHEHEBE, 1998). As quatro fases da Análise do Ciclo de Vida de um produto são a definição do objetivo e escopo, fase esta bem definida, seguida da segunda fase composta pela análise do inventário, a qual é razoavelmente bem definida. Já a terceira fase, análise de impactos, está nos estágios iniciais da definição, e finalmente há a quarta fase, de aprimoramento da análise, onde os resultados dos dois primeiros estágios do ciclo de vida são traduzidos em direção a ações específicas que beneficiam a relação entre meio ambiente e indústria. A despeito da utilidade conceitual, é comprovada a dificuldade na prática em realizar com detalhes o inventário de ACV, mais difícil ainda é relacionar esse inventário com uma análise de impacto que se possa justificar, e muito mais difícil traduzir os resultados dos vários estágios da ACV em ações apropriadas. Dentre as razões para essas dificuldades é que as ACVs globais são muito onerosas, demandando intensivamente recursos humanos, além de consumir muito tempo, por um lado devido a necessidade de aquisição de

informação quantitativa exigir medidas analíticas que devem ser realizadas no local e por outro lado devido a necessidade de revisões detalhadas de arquivos, registros e normas. Além disso, muitas ACVs em uso atualmente são aplicáveis somente a um número limitado de sub-sistemas de produtos comerciais, e mesmo assim as análises de impacto são inevitavelmente controversas, em parte porque, quando as ACVs são utilizadas de forma comparativa, elas envolvem julgamento de valor e impactos de diferentes pesos. Consequentemente, análises numéricas de impactos são freqüentemente questionadas e não aceitas como adequadas.

Trabalhar com esses tipos de problemas e ao mesmo tempo produzir análises aperfeiçoadas e que sejam úteis aos tomadores de decisão são tarefas difíceis, na melhor das hipóteses. A experiência tem demonstrado que o processo da Análise de Ciclo de Vida funciona de forma mais efetiva quando é realizado em uma profundidade mais modesta e de forma qualitativa por um conhecedor da gestão ambiental da empresa e do produto ou serviço analisado. Essa maior funcionalidade deve ser entendida como maior facilidade de entendimento e comunicação dos resultados das análises fornecidas pela ACV às engenharias, normalmente ainda formadas por pessoas com escassos conhecimentos na área ambiental, ou seja, o que se deseja é uma maior transparência e rapidez no entendimento da ACV pelos envolvidos. Devido a isso, os procedimentos simplificados de análise começam a ser desenvolvidos. O objetivo final é criar uma rotina que permita realizar a ACV rapidamente, digamos de dois dias a uma semana, tempo em que serão identificados os principais impactos ambientais através do ciclo de vida avaliado. São descritas técnicas que podem completar esse objetivo e produzir melhores análises as quais poderiam ser rapidamente implementadas.

4. A análise do produto

Um sistema de análise adequado para produtos ambientalmente responsáveis deve permitir comparações dos produtos avaliados, úteis e consistentes para diferentes equipes de análise, abrangendo todos os estágios do ciclo de vida do produto e todas as preocupações ambientais relevantes e sendo simples o bastante para permitir análises econômicas e rápidas. Evidentemente, deve estar explícito o tratamento de pelo menos cinco estágios do ciclo de vida de um típico produto complexo manufaturado. O estágio 1 é a pré-manufatura executada pelos fornecedores, geralmente na extração de recursos virgens e produção de materiais e componentes. O estágio 2 é o processo de manufatura, a fabricação do produto propriamente dita. O estágio 3 envolve embalagem e transporte e é de responsabilidade do fabricante. O estágio 4 envolve a utilização do produto pelo cliente e não é diretamente controlado pelo fabricante mas é influenciado pela forma como os produtos foram projetados e pelo grau de interação contínua do fabricante. O estágio 5 é o final da vida do produto quando o mesmo não mais satisfaz o cliente, seja devido a obsolescência, degradação dos componentes, alteração dos negócios ou devido a decisões pessoais; o produto é então atualizado ou descartado.

A metodologia que será descrita a seguir foi influenciada pelo artigo “Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment” publicado em 1994 na revista “Environmental Science & Technology”. A característica inicial do sistema de análise é baseada em uma matriz de análise 5 x 5, definida como Matriz de Análise de Produto Ambientalmente Responsável (MAPAR), sendo na primeira coluna composta dos estágios do ciclo de vida e nas outras, composta pelas preocupações ambientais, conforme Figura 1. De forma prática, o Grupo Avaliador do Projeto Ambiental

(GAPA) composto por conhecedores do projeto do produto em suas várias fases, incluindo pré-manufatura, manufatura, embalagem, forma de utilização e provável cenário de descarte, realiza e analisa cada elemento da matriz classificando-o com um número inteiro 0 (indicador de um alto impacto ambiental, avaliação muito negativa) até 4 (baixo impacto ambiental, a excelência na avaliação). Em essência, o GAPA fornece uma figura de mérito, julgadora, para representar o resultado estimado das análises de impacto e de inventário da ACV. Este grupo é guiado em sua tarefa pela experiência prática, conhecimento do projeto e da manufatura, listas, normas e registros apropriados e outras informações. Embora a análise classificatória definida por números inteiros possa parecer um pouco subjetiva, tem-se apresentado experimentos nos quais análises comparativas de produtos são realizadas por engenheiros industriais e engenheiros ambientais indistintamente. Quando fornecidas com procedimentos e “checklists”, geralmente as avaliações dos produtos diferem-se em menos que 15% entre grupos de até quatro avaliadores (GRAEDEL et al.,1995). O processo descrito a seguir é propositadamente qualitativo e prático, mas não fornece dados numéricos definitivos cujas análises não possam ser questionadas ou melhoradas.

Uma vez que a avaliação tenha sido realizada para cada elemento da matriz, a Classificação Geral do Produto Ambientalmente Responsável (CG_{par}) é calculada como a soma dos valores individuais dos elementos da matriz:

Devido existirem 25 elementos na matriz, a classificação máxima do produto será 100.

$$CG_{par} = \sum_i \sum_j iM_{ij}$$

Preocupações Ambientais					
Estágio do Ciclo de Vida	Escolha da matéria-prima	Uso de Energia	Resíduos Sólidos	Resíduos Líquidos	Resíduos Gasosos
Pré-Manufatura	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
Fabricação do Produto	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
Embalagem e Transporte do Produto	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
Utilização do Produto	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
Disposição Final do Produto	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

Fonte : Adaptado do original – GRAEDEL et al. (1995)

Figura 01 - Matriz de análise de produto ambientalmente responsável

A Análise de Produto Ambientalmente Responsável para ambas as máquinas-ferramenta evidencia que os equipamentos produzidos na década de 80 eram mais pesados e mais exigentes em termos de recursos de fabricação (maior lead-time produtivo), além de estarem sujeitos a uma maior perda de fluídos (maior utilização de óleo lubrificante e menor eficiência no fechamento da chaparia, conhecido como estanqueidade) durante o uso.

Característica	Torno CNC 1985	Torno CNC 2001
Materiais [kg]		
Ferro Fundido	2750	2457
Aço	1200	901
Peso Total	4300	3608
Lead-Time [h]	300	200

Tabela 1 - Características dos tornos que afetam o meio ambiente (1985 e 2001)

Definição do Elemento	Índice do Elemento da Matriz	Ano de 1985		Ano de 2001	
		Valor do Elemento	Explicação	Valor do Elemento	Explicação
Pré-Manufatura					
Seleção dos Materiais	(1,1)	3	Poucos são tóxicos	3	Poucos são tóxicos
Uso de Energia	(1,2)	2	A matéria-prima virgem utilizada é ergo-intensiva (grande qtde)	3	A matéria-prima virgem utilizada é ergo-intensiva (média qtde)
Resíduos Sólidos	(1,3)	3	A extração dos minérios (FoFo) gera substancial qtde de resíduos	3	A extração dos minérios metálicos gera substancial qtde de resíduos
Resíduos Líquidos	(1,4)	3	A extração dos recursos gera moderada qtde de resíduos	3	A extração dos recursos gera moderada qtde de resíduos
Resíduos Gasosos	(1,5)	2	A fundição dos minérios gera significativa qtde de resíduos	3	A fundição dos minérios gera moderada qtde de resíduos
Manufatura do Produto					
Seleção dos Materiais	(2,1)	1	Fluidos de Corte com Nitrito, tempo pequeno vida ferramentas	3	Boas escolhas dos materiais, fluido de corte sem Nitrito, melhores ferram.
Uso de Energia	(2,2)	1	Grande utilização de energia	2	Não tão grande utilização de energia
Resíduos Sólidos	(2,3)	0	Perdas com sucatas metálica, maiores tolerâncias geométricas fundidos, uso de fenol na areia fundição e limpeza gancheiras	3	Menor perda de sucata metálica, maior eficiência processo usinagem, eliminação do uso do fenol
Resíduos Líquidos	(2,4)	1	Grande qtde durante produção, limpeza e pintura	2	Média qtde durante limpeza e pintura
Resíduos Gasosos	(2,5)	1	Hidrocarbonatos voláteis durante a pintura	3	Menor qtde de hidrocarbonatos voláteis emitidos
Embalagem / Transporte					
Seleção dos Materiais	(3,1)	3	Material reciclável utilizado	3	Material reciclável utilizado
Uso de Energia	(3,2)	2	O transporte utilizado (rodoviário) é ergo-intensivo, exceto naval	2	O transporte utilizado (rodoviário) é ergo-intensivo, exceto naval
Resíduos Sólidos	(3,3)	3	Pequena qtde de embalagem poderia ser eliminada	3	Pequena qtde de embalagem poderia ser eliminada
Resíduos Líquidos	(3,4)	4	Insignificante qtde gerada	4	Insignificante qtde gerada
Resíduos Gasosos	(3,5)	2	Substancial qtde de gases (efeito estufa)	3	Moderada qtde de gases, maior eficiência do transporte
Utilização pelo Cliente					
Seleção dos Materiais	(4,1)	4	Energia elétrica (matriz energética renovável)	4	Energia elétrica renovável
Uso de Energia	(4,2)	2	Intenso uso de energia elétrica	2	Largo uso de energia elétrica
Resíduos Sólidos	(4,3)	1	Resíduos moderados (menor estanqueidade, maior volume de cavacos)	3	Resíduos moderados (melhor estanqueidade, maior eficiência na geração de cavacos)
Resíduos Líquidos	(4,4)	1	Algum vazamento nos sistemas de fluidos (menor estanqueidade)	4	Raros vazamentos nos sistemas de fluidos (melhor estanqueidade)
Resíduos Gasosos	(4,5)	1	Uso de asbesto no sistema de freio	4	Eliminação do uso de asbesto (freio eletromagnético)
Disposição Final					
Seleção dos Materiais	(5,1)	3	A maioria dos materiais utilizados são recicláveis	3	Maioria dos materiais utilizados são recicláveis
Uso de Energia	(5,2)	3	Uso pequeno de energia (desmontagem)	3	Uso pequeno de energia

Ano de 1985			Ano de 2001		
			e atualização)		(desmontagem e atualização)
Resíduos Sólidos	(5,3)	3	Alguns componentes são difíceis de serem reciclados	3	Alguns componentes são difíceis de serem reciclados
Resíduos Líquidos	(5,4)	3	Mínima geração	3	Mínima geração
Resíduos Gasosos	(5,5)	2	Moderada emissão de resíduos	3	Pequena emissão de resíduos

Tabela 2 - Classificação da análise dos produtos ambientalmente responsáveis, estratificada para cada estágio do ciclo de vida do produto

A análise de valores discretos de zero a quatro para cada elemento da matriz implica assumir que as avaliações do GAPA para cada elemento são igualmente importantes. A utilização de informações detalhadas de impactos ambientais na aplicação de fatores de peso sobre os elementos da matriz pode incrementar levemente a complexidade da análise, mas possivelmente aumentará sua utilidade. Por exemplo, uma determinada linha de produto pode ser planejada para gerar a maioria de seus impactos ambientais durante a fabricação e poucos durante o uso pelo cliente. Dessa forma, a linha correspondente à fabricação poderá ser valorizada mais pesadamente e o uso do produto no cliente valorizado mais levemente. Similarmente, o julgamento de que o aquecimento global constitui mais risco que a geração de resíduo líquido pode indicar uma maior valoração da coluna correspondente ao uso de energia e um correspondente decréscimo na valoração da coluna correspondente aos resíduos líquidos. Portanto é importante o planejamento de uma valoração apropriada e seu uso fornecerá uma perspectiva aprimorada da carga ambiental do produto que está sendo avaliado.

5. Avaliando máquinas-ferramenta : tornos CNC

O torno, ao lado da bigorna e do martelo, é provavelmente a ferramenta mais importante e mais antiga construída pelo homem para trabalhar o metal (CHALMERS, 2001). A patente do torno de roscamento Wilkinson foi emitida em 1798 e desde então, essas máquinas e seus produtos têm acompanhado o crescimento e evolução de toda a indústria de manufatura, incluindo a automotiva e aeroespacial. Se pudéssemos escolher uma única e principal razão para sua sobrevivência e sucesso esta seria sua grande versatilidade. Atualmente, essa flexibilidade tem contribuído para uma maior rigidez e precisão, obtidas com a utilização de novos compostos químicos em substituição às tradicionais estruturas de ferro fundido, com fixações e tubulações hidráulicas nascendo internas às estruturas, contribuindo para uma significativa redução do ciclo de produção.

Pensando-se ambientalmente, máquinas-ferramenta, no caso específico tornos CNC, têm impactos distribuídos por todas as fases de ciclo de vida, não sendo evidenciado um maior impacto em uma delas, como é o caso, por exemplo, da fabricação de automóveis, em que o ciclo do estágio referente ao uso do produto responde por uma enorme carga ambiental referente à queima de combustíveis fósseis não renováveis e de suas conseqüentes emissões gasosas. No entanto, existem aspectos do torno que afetam o meio ambiente, tais como o uso de energia elétrica tanto na fabricação como em sua utilização, uso e troca contínua de óleo e outros lubrificantes, uso de fluídos de corte com geração de cavacos contaminados, descarte contínuo de ferramental e a manutenção normalmente esperada e executada, geradora de peças de reposição e finalmente, o descarte do próprio equipamento.

Como demonstração da proposta acima descrita foi executada uma análise de produtos ambientalmente responsáveis aplicada a tornos CNC funcionalmente similares, no caso

um modelo de máquina-ferramenta CNC fabricado em dois períodos distintos de evolução tecnológica, na década de 80, especificamente no ano de 1985 e no século XXI, neste caso o ano de 2001. Algumas das características relevantes de ambos os tornos estão descritas na Tabela 1. Comparado com o modelo de 2001, o torno de 1985 era substancialmente mais pesado e menos eficiente em termos de conversão de energia elétrica em potência de corte (atualmente os motores são de alto rendimento, as guias lineares reduziram o atrito e ocorreu uma substancial evolução do ferramental). O projeto do torno da década de 80 era ainda sujeito a uma maior perda (ou troca) de fluídos durante o uso, tanto em termos de lubrificação, quando ocorreu a substituição do óleo lubrificante pela graxa, bem como a evolução do projeto de fechamento da máquina, quando se minimizou a perda de fluídos de corte (refrigeração). Do ponto de vista de sistema, entretanto, havia naturalmente menos máquinas-ferramenta no mercado.

– Primeiro estágio do ciclo de vida

A pré-manufatura trata o impacto sobre o meio ambiente como consequência das ações necessárias à extração da matéria-prima de suas reservas naturais, transporte para posterior processamento, purificação ou separação das mesmas por operações tais como fundição e refino de petróleo (óleo lubrificante) e finalmente o envio dessa matéria-prima semi processada para os meios de produção. Quando os componentes são obtidos de fornecedores externos, este estágio de ciclo de vida também incorpora a análise de impacto referente à fabricação desses componentes. A classificação obtida para este estágio do ciclo de vida dos tornos CNC para cada período está descrita na Tabela 2 onde os dois números entre parênteses referem-se ao índice do elemento da matriz mostrado na Figura 1. A maior classificação (isto é, mais favorável) para o torno produzido em 2001 é principalmente o resultado das melhorias nos aspectos ambientais da tecnologia de mineração e fundição e expressiva melhoria da eficiência dos equipamentos e recursos utilizados na produção.

– Segundo estágio do ciclo de vida

É o estágio correspondente à fabricação do produto (Tabela 2). O processo básico de produção de um torno CNC tem se alterado pouco através dos anos, mas muito se tem realizado para diminuir seu impacto sobre o meio ambiente. Um impacto altamente potencial é a pintura, em que vários produtos químicos são utilizados para a limpeza das peças e são geradas emissões de produtos químicos voláteis. Atualmente é dado grande ênfase ao tratamento e recuperação da água utilizada na pintura e a própria substituição do tipo de pintura executada. Em 1985 toda a pintura de torno CNC era líquida com geração de hidrocarbonetos voláteis. Em 2001, 80% da pintura foi substituída pela pintura eletrostática a pó, considerada ecológica, tendo-se dessa forma reduzido enormemente a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Também os materiais são melhor utilizados durante a fabricação, em grande parte devido a melhores técnicas analíticas utilizadas no projeto das peças, conjuntos e componentes, em que é clara a evolução das ferramentas de projeto (CAE/CAD/CAM), saindo-se de um período em 1985 quando a prancheta, nanquim e suas limitações eram a regra vigente, e chegando-se em 2001 quando 100% do projeto é consolidado virtualmente, com enorme ganho em termos de consistência com os recursos de fábrica, ou seja, menos refugo e repasses. Finalmente, a produtividade de todo o processo de fabricação foi melhorada, substancialmente menos energia e conseqüentemente menos

horas são necessárias atualmente para produzir cada torno, o que pode ser observado da Tabela 1.

– **Terceiro estágio do ciclo de vida**

As preocupações ambientais neste estágio, embalagem e transporte (Tabela 2), inclui a fabricação do material da embalagem, seu transporte até os meios de fabricação, geração de resíduos durante o processo de embalagem, transporte do produto acabado e embalado até o cliente, inclusive a instalação do produto quando aplicável. Este aspecto do ciclo de vida de um torno é o menos impactante se comparado à grande maioria dos produtos vendidos atualmente. Mesmo os tornos sendo entregues com uma razoável quantidade de material de embalagem, esta é composta basicamente por madeira, no caso pinho, extraída de reflorestamentos, portanto material orgânico renovável. Apesar disso, alguma carga ambiental está associada ao transporte de um produto geralmente grande e pesado. A classificação levemente superior para os tornos produzidos em 2001 é o resultado principalmente de uma melhora na eficiência do transporte, em termos de consumo de combustível fóssil.

– **Quarto estágio do ciclo de vida**

É o estágio da utilização do produto e refere-se ao processo de usinagem que é o motivo da existência do torno. Destaca-se, nesta fase, a evolução das soluções de usinagem com utilização de altas velocidades de corte e redução ou eliminação de fluido de corte (usinagem a seco). Incluem-se aqui os impactos advindos dos consumíveis ou materiais de manutenção que são gastos durante o uso pelos clientes. Podemos afirmar que os tornos CNC atualmente estão cada vez mais confiáveis, o que pode ser observado pela evolução do índice MTBF (Mean Time Between Failure), menos falhas implicam em menor número de reparos, ou seja, redução de resíduos. Destaca-se também o aumento da eficiência de todo o sistema eletro-eletrônico, sistema de freio, incluindo motores de alto rendimento, menor atrito entre os componentes e melhor lubrificação. Paralelamente, houve uma grande evolução das ferramentas utilizadas para a usinagem; isso implicou em uma enorme redução de resíduos sólidos advindos do ferramental, seja por desgaste ou quebra das ferramentas de corte, o que é atualmente executado normalmente com a simples substituição de pequenas pastilhas cerâmicas. Esses aspectos permitiram a obtenção de uma melhor classificação do estágio de utilização dos tornos CNC produzidos em 2001, mas muito ainda deverá ser melhorado.

– **Quinto estágio do ciclo de vida**

A análise neste estágio inclui os impactos ocorridos durante o “retrofitting” mecânico e mais recentemente, realizado cada vez com mais frequência, o “retrofitting” eletro-eletrônico, responsáveis pela atualização do produto. Essas atualizações normalmente são acompanhadas de pequenos descartes resultantes dos módulos ou componentes considerados muito caros ou inviáveis de serem atualizados. Apesar de termos ciclos de desenvolvimento dos produtos cada vez mais curtos, principalmente para os comandos CNCs dos tornos, os quais têm-se tornado obsoletos em períodos que variam de 2 a 3 anos, tem-se, por outro lado, uma crescente qualificação do mercado em termos de eficiência na atualização desses produtos. Essas características, aliadas a um mercado com demandas firmes e diferenciadas em termos de tecnologia, acaba por conferir ao produto Torno CNC um atributo peculiar, o qual seria um excelente valor de mercado para um torno usado e retrofitado, com uma vida muito longa e difícil de ser quantificada, ou seja, uma pequena carga ambiental imposta neste estágio.

6. Análise do produto ambientalmente responsável

Quando o torno CNC produzido em 2001 é comparado, em termos de implicações ambientais, com um torno CNC produzido na década de 80, em praticamente nenhum aspecto do projeto e construção há perdas.

A matriz de análise completa para os tornos de 1985 e 2001 está ilustrada na Figura 2. Examinando primeiramente os valores para o torno de 1985 em todos os estágios do ciclo de vida, os números na coluna “Total” mostram um pequeno impacto ambiental durante a extração dos recursos, embalagem e transporte. Por outro lado, as classificações durante a produção e utilização do produto são mais expressivas, sendo a classificação global de 54 muito abaixo do mínimo desejável. Em contraste, a taxa de classificação global para os tornos de 2001 é de 75, muito melhor que as dos tornos mais antigos mas também indicando ainda uma razoável potencialidade para melhorias ambientais. De maneira geral, se tivéssemos que destacar alguns grandes avanços ambientais significativos como resposta a carga ambiental 21% menor para os tornos CNC atuais, estes seriam a evolução do processo de moldagem com a eliminação da resina fenólica utilizada no processo de fundição, com conseqüente melhoria dimensional dos fundidos; maior aderência do projeto aos recursos de fabricação com a utilização de modernas ferramentas computacionais, redução do ciclo de fabricação e introdução da pintura eletrostática a pó, considerada pintura ecológica e atualmente a tecnologia disponível com menor carga ambiental.

Preocupação ambiental						
Estágio do Ciclo de Vida	Seleção dos Materiais	Uso de Energia	Resíduos Sólidos	Resíduos Líquidos	Resíduos Gasosos	Total
Pré-manufatura						
Ano 1985	3	2	3	3	2	13/20
Ano 2001	3	3	3	3	3	15/20
Manufatura do Produto						
Ano 1985	1	1	0	1	1	4/20
Ano 2001	3	2	3	2	3	13/20
Embalagem e Transporte do Produto						
Ano 1985	3	2	3	4	2	14/20
Ano 2001	3	2	3	4	3	15/20
Utilização do Produto						
Ano 1985	4	2	1	1	1	9/20
Ano 2001	4	2	3	4	4	17/20
Disposição Final (re-utilização-reciclagem-descarte)						
Ano 1985	3	3	3	3	2	14/20
Ano 2001	3	3	3	3	3	15/20
Total						
Ano 1985	14/20	10/20	10/20	12/20	8/20	54/100
Ano 2001	16/20	12/20	15/20	16/20	16/20	75/100

Figura 2 - Matriz de análise comparativa dos impactos ambientais dos tornos CNC produzidos em 1985 e 2001

A matriz fornece uma análise útil para o projeto, mas uma visualização mais compacta dos atributos do GAPA é fornecido pelos gráficos alvo (“target plots”) mostrados na

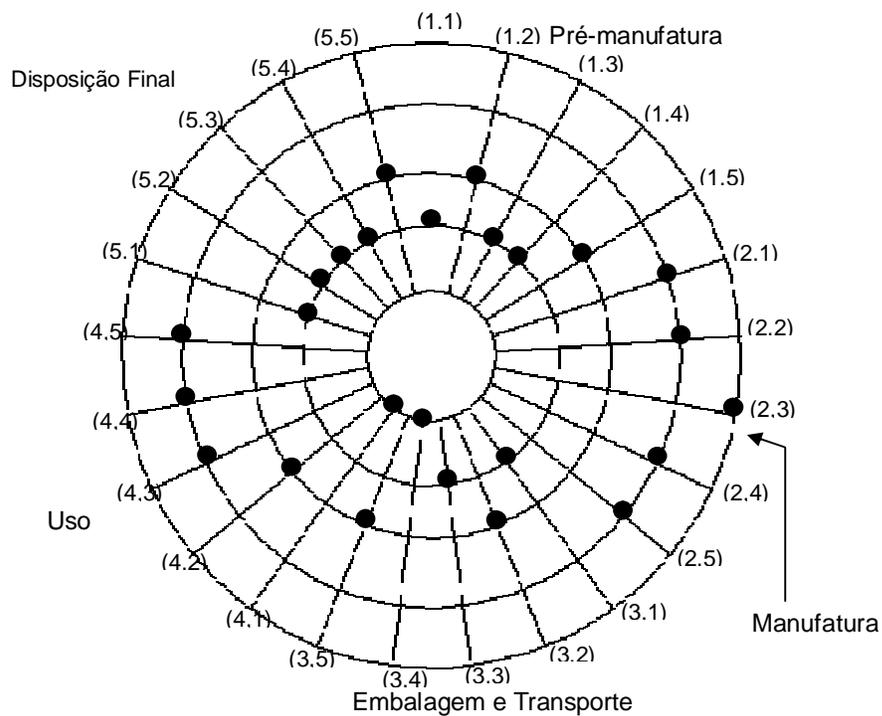
Figura 3. Para a construção dos gráficos, o valor de cada elemento da matriz é plotado em um ângulo específico (para os 25 elementos da matriz, a abertura angular é de $14,4^\circ = 360/25$). Um bom produto e processo ambientalmente responsáveis destacam-se como uma série de pontos próximos do centro, como ocorreria sobre um alvo no qual cada tiro fosse disparado com precisão. O gráfico torna fácil visualizarmos os pontos que estão longe da mosca e evidencia a atenção especial que merecem. Além do mais, a comparação dos gráficos alvo para projetos similares ou alternativos do mesmo produto permite uma rápida comparação das responsabilidades ambientais envolvidas. Todo o grupo envolvido no projeto e processo pode então selecionar opções pertencentes ao projeto e consultar listas ou normas de maneira a melhorar a classificação individual dos elementos da matriz, não esquecendo que uma melhora em um determinado elemento pode ocasionar cargas ambientais negativas em outros, portanto toda e qualquer alteração deverá ser precedida de uma realimentação e reavaliação de toda a matriz, ou seja, nenhum dado pode ser analisado isoladamente, o que é extremamente útil e eficaz na formação de uma consciência de gestão ambiental sólida, com uma visão macro e abrangente sobre todo o ciclo de vida do produto, um dos objetivos intrínsecos de uma ACV formal.

7. Discussão

Parece natural concluirmos que uma empresa preocupada em desenvolver seu produto com uma filosofia GAPA em mente poderá, sem grandes esforços adicionais, aplicar uma aproximação similar para seu processo e recursos. A análise do produto apresentada aqui pode rapidamente ser adaptada para esses casos. Para o processo, as considerações incluem o crescimento dos impactos ambientais da construção, aquisição e eventual disposição dos equipamentos utilizados neste processo. Neste caso, devem ser avaliados também os materiais utilizados durante as operações, inclusive as conseqüências da terceirização de serviços que poderá exigir uma grande parcela do esforço de desenvolvimento da ACV simplificada. Em caso de terceirização, é comum o processo migrar de um entorno conhecido, a planta em questão, para um universo onde a própria gestão ambiental ainda pode ser insipiente, ou seja, pode estar configurado aqui um limite de contorno necessário para o desenvolvimento da ACV, mesmo o método simplificado aqui proposto.

Diferente das análises clássicas de inventário e impacto, a ACV simplificada apresentada aqui é menos quantificável e menos completa. É também mais prática; é muito mais simples conduzirmos várias ACVs simplificadas do que conduzirmos uma ou duas ACVs completas, principalmente se aplicadas em ciclos de vida de produtos complexos. Uma pesquisa com uma modesta profundidade, defendida aqui e realizada com objetivo profissional, irá identificar pelo GAPA talvez 80% das ações úteis que poderiam ser conectadas e sintonizadas com as atividades da empresa, e a quantidade de tempo e dinheiro consumidos seriam suficientemente pequenos para que as análises tivessem uma boa e real chance de serem entendidas e suas recomendações implementadas.

Década de 80



Século XXI

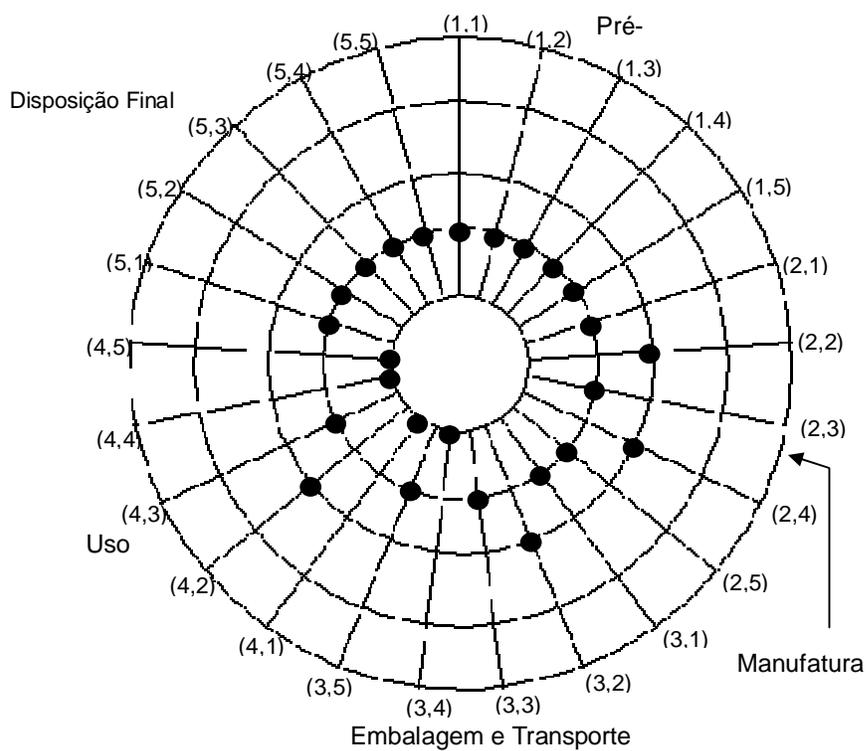


Figura 3 - Gráficos alvo para os atributos de projeto ambiental para os tornos CNC

Referências

BRINKLEY, A., KIRBY, R. (1994) *Ecoprofile studies of fabrication methods for IBM computers: sheet metal computer cover*.

CHALMERS, R. E. (2001) Talking turning technology. *Manufacturing-Engineering*, v.126, n. 4, p. 78-86.

CHEHEBE, J. R. B. (1998) *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 104p.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R. (1995) *Industrial Ecology*, New Jersey: Editora PrenticeHall.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R. COMRIES, P. R. (1995) Matrix approaches to abridged life cycle assessment, *Environ. SCI & Technology*, v.29, n. 3.

HEISKANEN, E. (2002) The institutional logic of life cycle thinking, *Journal of Cleaner Production* v.10, p. 427-437.