

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

ANÁLISE DE SIMILARES: CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA  
METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS E ECODESIGN

André Canal Marques

Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre

2008

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

ANÁLISE DE SIMILARES: CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA  
METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS E ECODESIGN

André Canal Marques  
Designer de Produto

Trabalho realizado no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre  
2008

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Ciência e Tecnologia dos Materiais e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Liane Roldo  
PGDESIGN/UFRGS

Prof. Dr. Vilson Batista  
PROMEC/UFRGS

Prof. Dr. Celso Carnos Scaletsky  
PPGDESIGN/UNISINOS

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann  
Coordenador do PPGEM

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Mario e Anaíde, pelo amor, apoio  
e incentivo,  
em especial ao meu pai, que mesmo estando longe  
sempre esteve muito presente.  
À minha irmã pela força nas horas difíceis.  
Às minhas amigas Cláudia, Isis e Lici,  
simplesmente por existirem.  
A uma amiga em especial, Elen, por ser essa pessoa tão especial.  
Ao meu sobrinho, fonte constante de inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor doutor Wilson Kindlein Júnior, do Laboratório de Design e Seleção de Materiais - LdSM, pelo apoio, dedicação, incentivo, acompanhamento competente e por acreditar em mim desde o começo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e aos colegas do LdSM pelo apoio e incentivo. Em especial aos colegas Almédson, Pedro, Eduardo, Felipe e Fábio. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes - pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa que permitiu a realização deste trabalho.

À família pelo apoio incondicional. A minha mãe Ana, sempre vigilante e muito amorosa. À minha irmã Mariana, que sempre se mostrou atenta as minhas dúvidas. Ao meu sobrinho Eduardo Marques (Dudu), fonte de inspiração e paixão.

A uma pessoa muito especial, Elen Leal, companheira de todas as horas.

Às amigas Liciane Bertol, Isis Macagnan e Cláudia Farias, pelo incentivo e por fazerem parte da minha vida.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, bem como àqueles que simplesmente acreditaram em mim.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível realizar esta dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IXI
RESUMO .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
INTRODUÇÃO.....	16
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
1.1. O design e a seleção de materiais .....	18
1.1.1. Design e metodologia projetual.....	18
1.1.2. Evolução dos "materiais x design" .....	24
1.1.3. Seleção de "materiais x design".....	27
1.2. Desenvolvimento sustentável e ecodesign .....	34
1.2.1. Desenvolvimento sustentável .....	34
1.2.2. Ecodesign .....	39
1.2.5. Design para a montagem e desmontagem (DfA e DfD) .....	50
1.2.4. Elementos de junção e fixação .....	53
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	63
2.1. Análise de similares com enfoque na metodologia .....	63
2.1.1. Alicates de cutícula.....	64
2.1.2. Canetas .....	65
2.1.3. Canivetes .....	66
2.1.4. Chaves-de-fenda .....	67
2.1.5. Compressores de ar para aquário.....	68
2.1.6. Escovas dentais.....	69
2.1.7. Ferros elétricos .....	71
2.1.8. Garrafas térmicas.....	71
2.1.9. Isqueiros .....	72
2.1.10. Velas de automóveis.....	74
3. RESULTADOS .....	75
3.1. Análise de similares com enfoque na seleção de materiais e no DfD .....	75
3.1.1. Alicates de cutícula.....	75
3.1.2. Canetas .....	77
3.1.3. Canivetes .....	80
3.1.4. Chaves-de-fenda .....	82
3.1.5. Compressores de ar para aquário.....	91
3.1.6. Escovas dentais.....	94
3.1.7. Ferros elétricos .....	97
3.1.8. Garrafas térmicas.....	100
3.1.9. Isqueiros .....	102
3.1.10. Velas de automóveis.....	106
4. DISCUSSÕES .....	109
4.1. Comparação entre produtos .....	109
4.2. Análise das metodologias .....	113
4.3. Contribuição a uma metodologia focada no design para a desmontagem .....	118
5. CONCLUSÕES .....	121
5.1. Sugestões para trabalhos futuros .....	122
REFERÊNCIAS .....	124

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais etapas no desenvolvimento de produtos dentro de uma empresa. Figura adaptada de Barroso (1982).....	19
Figura 2: Atividade projetual com várias interfaces do Design. Fonte: Gobbi (2006).....	20
Figura 3: Inovação do design fase por fase. Figura adaptada de Celaschi (2007).....	22
Figura 4: Quatro entradas para a inovação. Figura adaptada de Gaynor (2002).....	23
Figura 5: Panorama evolutivo dos materiais. Figura adaptada de Dieter (1997) por Silva (2005).....	26
Figura 6: A seleção do material é determinada pela função. A forma às vezes influencia a seleção. Fonte: Ashby (1999).....	29
Figura 7: Software Edupack 2007. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).....	32
Figura 8: Esquema do desenvolvimento sustentável. Figura adaptada de Wced (1987).....	35
Figura 9: Design para o ambiente como eixo principal do Ecodesign. Figura adaptada de Kindlein (2006a).....	37
Figura 10: Estratégias do Ciclo de Vida de um produto. Figura adaptada de Gobbi (2006).....	38
Figura 11: Corrente de um produto sustentável. Figura adaptada de Ljungberg (2007).....	38
Figura 12: Mapa Lingüístico do Ecodesign. Figura adaptada de Karlsson (2006).....	40
Figura 13: Tela inicial do CD-ROM: Ecodesign desenvolvido pelo LdSM. Fonte: Kindlein (2006b).....	41
Figura 14: Fotos do Centro de Triagem visitado pelo curso de Design/UFRGS. Fonte: LdSM (2007).....	46
Figura 15: Exemplos de marcas de identificação para polímeros de acordo com vários padrões. Fonte: Ljungberg (2003a).....	47
Figura 16: Projetos dos alunos do Curso Mestrado em Design/UFRGS. Fonte: PGDesign (2007).....	48
Figura 17: Inserção das variáveis ambientais na Fase de Projetação e detalhamento. Fonte: Platchek (2006).....	50
Figura 18: Fotos da aula de DfD (Design for Disassembly/Design para a Desmontagem). Fonte: LdSM (2007).....	52
Figura 19: Alguns elementos de junção encontrados no Ferro de passar roupa. Fonte: Kindlein (2006b).....	55
Figura 20: Elementos de junção classificados como pertencente à lista verde. Fonte: Kindlein (2006b).....	58
Figura 21: Termos equivalentes para os elementos de junção (TGM). Fonte: Kindlein (2002b).....	59
Figura 22: Compilação dos princípios por meio de um ecossistema. Fonte: Kindlein (2002b).....	59
Figura 23: Processo de acoplamento do Snap-fit. Figura adaptada de Genc (1997).....	61
Figura 24: Snap-fit característico usado nos materiais plásticos. Fonte: Bayer (2002).....	61
Figura 25: Projetos básicos projetos de Snap-fits. Fonte: Jaarsma (2001).....	62
Figura 26: Snap-fits usados em peças plásticas. Fonte: Honeywell International (2002).....	62
Figura 27: Modelo A, cabo e mola em plástico; Modelo B, cabo em plástico e mola em metal; Modelo C, corpo e cabo em peça única; Modelo D, cabo desmontável em metal; Modelo E, lâmina e cabo em peça única. Fonte: (Soares, 2006).....	64
Figura 28: Da esquerda para a direita, amostra 1 a 8. Fonte: (Roobe, 2007a).....	65
Figura 29: As figuras acima representam o canivete, sendo que a figura (a) o mostra fechado e a figura (b) mostra o canivete com as três lâminas semi-abertas. Fonte: (Holz, 2005).....	66
Figura 30: Chaves de fenda analisadas nesse trabalho. Fonte: (Schneider, 2006).....	68
Figura 31: As figuras acima mostram os modelos A, B, C e D respectivamente dos compressores de ar para aquário analisados. Fonte: (Cândido, 2004).....	69

Figura 32: Vista frontal das escovas dentais escolhidas. Fonte: (Roobe, 2007b).....	70
Figura 33: Modelos disponíveis no mercado. Fonte: (Souza, 2007).....	71
Figura 34: Três diferentes marcas de garrafas térmicas com capacidade de 1L utilizadas. Fonte: (Schneider, 2007).....	72
Figura 35: Isqueiro estudado. Fonte: (Faller, 2006).....	73
Figura 36: Velas analisadas de dois fabricantes. Fonte: (Guimaraens, 2005).....	74
Figura 37: (a) Módulo Elástico versus Tenacidade (b) Módulo Elástico e Tenacidade versus Resistência à Água (c) e Módulo Elástico e Tenacidade versus Custo (→) Desempenho. Fonte: (Soares, 2006).....	76
Figura 38: Parte Azul de ABS. Fonte: (Roobe, 2007a).....	78
Figura 39: Parte Preta de PVC com óleo Ftalato. Fonte: (Roobe, 2007a).....	78
Figura 40: Ponta e tampa de policarbonato. Fonte: (Roobe, 2007a).....	78
Figura 41: Gráfico Resistência à tração (Tensile Strength) versus Tenacidade à Fratura (Fracture Toughness), com alguns materiais com os requisitos requeridos. Fonte: (Roobe, 2007a).....	80
Figura 42: Canivete montado e desmontado. Fonte: (Holz, 2005).....	81
Figura 43: Difratoograma de raios X do osso do canivete. Fonte: (Holz, 2005).....	82
Figura 44: Estrutura e elementos de junção presentes na chave de fenda. Adaptada de Schneider (2006).....	83
Figura 45: Desmontagem da chave-de-fenda mostrando o “snap-fit”.....	84
Figura 46: Metalografias da haste da chave B com a indicação do local de onde foram retiradas as amostras. Fonte: (Schneider, 2006).....	85
Figura 47: Caracterização do cabo por meio da análise FTIR da chave A1. Fonte: (Schneider, 2006).....	86
Figura 48: Gráfico Tenacidade à Fratura versus Resistência a Tração. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).....	87
Figura 49: Gráfico Tenacidade à Fratura versus Resistência a Tração. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).....	89
Figura 50: Gráfico Módulo de Young versus Preço. Adaptada de Schneider (2006).....	90
Figura 51: Compressor desenvolvido no LdSM. Fonte: (Cândido, 2004).....	92
Figura 52: Componentes do Compressor Modelo A. Fonte: (Cândido, 2004).....	93
Figura 53: Fotos das escovas 1 e 2 com os respectivos espectros identificados para cada parte analisada. Fonte: (Roobe, 2007b).....	95
Figura 54: Gráfico do compromisso entre a Dureza Vickers e o Preço do material, apresentando os polímeros indicados nesta faixa de propriedades. Fonte: (Roobe, 2007b).....	96
Figura 55: Separação das partes do ferro. Fonte: (Souza, 2007).....	97
Figura 56: Gráfico preço versus coeficiente de tenacidade à fratura. Fonte: (Souza, 2007).....	99
Figura 57: Tenacidade à fratura em função do preço. Fonte: (Schneider, 2007).....	102
Figura 58: Separação das peças do isqueiro. Fonte: (Faller, 2006).....	103
Figura 59: Curva de DSC (A) e Espectros do material do corpo e do nylon 66 (B). Fonte: (Faller, 2006).....	104
Figura 60: Gráficos de compromisso entre preço e limite de resistência para o material do corpo do isqueiro. Fonte: (Faller, 2006).....	105
Figura 61: Esquema da Vela. Figura adaptada de NGK do Brasil Ltda (2007).....	106
Figura 62: Vela da Fabricante A. Fonte: (Guimaraens, 2005).....	107
Figura 63: Junção entre a liga de níquel e o aço (Ataque: Nital 2%). Fonte: (Guimaraens, 2005).....	107
Figura 64: Metalografia do dente da parte metálica da vela NGK – à esquerda – e dentes mal acabados da vela NST – à direita. Fonte: (Guimaraens, 2005).....	108
Figura 65: Poros na parte cerâmica da vela NST. Fonte: (Guimaraens, 2005).....	108
Figura 66: Contribuição a metodologia de Análise de Similares simplificada.....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro comparativo de metodologias estudadas. Fonte: Platchek (2003a).....	21
Tabela 2: Classificação dos materiais com algumas características. Adaptada de Ljungberg (2007).....	27
Tabela 3: Critérios de Seleção e suas características. Adaptada de Ferrante (1996).....	30
Tabela 4: Os seis típicos grupos de materiais para o produto, além de exemplos e aspectos para o desenvolvimento sustentável de produtos. Tabela adaptada de Ljungberg (2007).....	33
Tabela 5: Conceitos ligados ao Desenvolvimento Sustentável. Figura adaptada de Ljungberg (2007).....	51
Tabela 6: Guia de Elementos de Junção. Adaptada de Kindlein (2002b).....	56
Tabela 7: Amostras das canetas e seu respectivo preço. Fonte: (Roobe, 2007a).....	65
Tabela 8: Garrafas térmicas utilizadas neste trabalho listadas de acordo com sua marca, modelo, dimensões e preço. Fonte: (Schneider, 2007).....	72
Tabela 9: Materiais utilizados na fabricação das molas dos cinco alicates. Adaptada de Soares (2006).....	75
Tabela 10: Materiais empregados na fabricação das canetas. Adaptada de Roobe (2007a).....	77
Tabela 11: Função e quantidade. Adaptada de Holz (2005).....	81
Tabela 12: Materiais e técnicas utilizadas. Adaptada de Holz (2005).....	82
Tabela 13: Materiais, processos e elemento de junção utilizados na fabricação das chaves de fenda proposta. Adaptada de Schneider (2006).....	84
Tabela 14: Dureza (média dos valores em HRC). Fonte: (Schneider, 2006).....	85
Tabela 15: Materiais, processos e elemento de junção utilizados na fabricação das chaves de fenda. Adaptada de Schneider (2006).....	86
Tabela 16: Análise dos componentes dos modelos de compressores analisados. Fonte: (Cândido, 2004).....	91
Tabela 17: Identificação dos componentes do compressor modelo LdSM. Fonte: (Cândido, 2004).....	92
Tabela 18: Analogia entre os produtos existentes com a proposta baseada na técnica do Ecodesign. Fonte: (Cândido, 2004).....	93
Tabela 19: Identificação dos componentes do compressor modelo A. Fonte: (Cândido, 2004).....	94
Tabela 20: Materiais utilizados na fabricação das escovas. Adaptada de Roobe (2007b).....	95
Tabela 21: Componentes e suas funções no ferro de passar. Adaptada de Souza (2007).....	98
Tabela 22: Materiais encontrados e as técnicas utilizadas. Adaptada de Souza (2007).....	98
Tabela 23: Resultados da verificação da capacidade volumétrica. Fonte: (Schneider, 2007).....	100
Tabela 24: Materiais encontrados e as técnicas utilizadas. Adaptada de Schneider (2007).....	101
Tabela 25: Função e processo de cada componente constituinte. Adaptada de Faller (2006).....	103
Tabela 26: Materiais e técnicas utilizadas. Adaptada de Faller (2006).....	104
Tabela 27: Materiais utilizados na fabricação das velas de automóveis. Adaptada de Guimaraens (2005).....	108
Tabela 28: Comparação entre produtos em relação aos materiais presentes.....	109
Tabela 29: Comparação entre produtos em relação aos elementos de junção presentes.....	111
Tabela 30: Comparação entre produtos em relação aos materiais presentes.....	117
Tabela 31: Síntese das etapas de contribuição a uma metodologia focada no design para a desmontagem.....	118

## LISTA DE SÍMBOLOS

**3R's** - Reduzir, Reutilizar e Reciclar

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABS** - Copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno

**ACV** - Análise do Ciclo de Vida

**AISI** - American Iron and Steel Institute-EUA

**ANSI** - American National Standards Institute - *Instituto Nacional Americano de Padronização*

**ASTM** - American Society for Testing and Materials

**ATR** - Attenuated Total Reflection - *Reflexão total atenuada (ATR)*

**CES** - Cambridge Engineering Selector ®

**CEMPRE** - Compromisso Empresarial para Reciclagem

**DEMAT** - Departamento de Materiais

**DSC** - Differential Scanning Calorimetry - *Calorimetria Diferencial de Varredura*

**EE**- Escola de Engenharia

**EPA** - Agência de Proteção Ambiental Americana

**EU** - European Union - *União européia*

**FIERGS** - Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul

**DfA** - Design for Assembly - *Design para Montagem*

**DfD** - Design for Disassembly - *Design para a Desmontagem*

**DfS** - Design for Service - *Design para o Serviço*

**DfR** - Design for Recyclability - *Design para a Reciclagem*

**DfE** - Design for Environment - *Design para o Meio Ambiente*

**DfM** - Design for manufacture - *Design para a Manufatura*

**DMLU** - Departamento Municipal de Limpeza Urbana

**EDS** - Energy Dispersion Spectroscopy - *Espectroscopia de Dispersão de Energia*

**EPR** - Extended Producer Responsibility - *Responsabilidade Ampliada do Fabricante*

**FTIR** - Fourier Transform Infrared - *Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier*

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ISO** - International Organization for Standardization - *Organização Internacional para Normalização*

**LCD** - Life Cycle Design - *Análise do Ciclo de Vida (ACV)*

**LdSM** – Laboratório de Design e Seleção de Materiais

**MEV** – Microscopia eletrônica de Varredura

**NBR** – Normas Brasileiras

**TE** - Termo Específico

**TGM** - Termo Geral Maior

**UFRGS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**OES** - Optical Emission Spectroscopy - Espectroscopia de Emissão Ótica

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**PE** - polietileno

**PET** - Politereftalato de etila

**PP** - Polipropileno

**POM** - Poliacetal

**PS** - Poliestireno

**PVC** - Policloreto de vinila

**PPGEM** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

**RMN** - Ressonância Magnética Nuclear

**SAE** - Society of Automotive Engineers - *Associação dos Engenheiros Automotivos*

**SEBS** - Copolímero de estireno - etileno/butileno – estireno

**TGA** - Análise termogravimétrica

**XRF** - X-Ray Fluorescence - *Fluorescência de Raios-X*

**WCED** – World Summit Outcome Document – *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*

**WBCSD** - World Business Council for Sustainable Development - *Conselho de Negócios do Mundo para o Desenvolvimento Sustentável*

**WEEE** - Waste Electric and Electronic Equipment - *Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos*

## RESUMO

Com a crescente demanda por inovação e o fato dos produtos apresentarem cada vez mais uma vida útil reduzida, têm-se hoje a produção de um grande número de diferentes produtos, gerando resíduos e aumentando enormemente o volume dos lixões e aterros sanitários. Na busca por inovações deve-se seguir uma metodologia específica para que ela seja eficiente. Ao buscar novas soluções para um determinado produto, o primeiro passo é analisar os produtos já existentes e seus respectivos materiais. Esta análise, com o intuito de desenvolver novas soluções para problemas conhecidos, é determinada “Análise de Similares” e se revela uma importante ferramenta para avaliar os produtos disponíveis no mercado. A seleção do material adequado é fundamental no desenvolvimento do projeto, e para criar um produto em condições de competir com os já existentes é necessário inovar nos materiais, no design e nos processos de fabricação. Na questão da sustentabilidade, outro importante aspecto é em relação à desmontabilidade dos produtos, que influi diretamente na reciclabilidade dos materiais e componentes. No presente trabalho busca-se analisar como diversos produtos hoje são concebidos quanto a sua desmontagem e seleção de materiais por meio de estudos em relação à Análise de Similares. Busca-se igualmente compreender na prática se as metodologias que hoje são utilizadas em projetos contemplam as variáveis ambientais. Para isso, as análises foram focadas nos aspectos estruturais, nos elementos de junção e nos materiais dos similares, pois entende-se que essas são variáveis ambientais importantes a serem analisadas. Foram verificadas as metodologias empregadas nos estudos, organizando-as de forma coerente, a fim de tornar o estudo mais preciso e funcional. E na etapa de resultados buscou-se investigar os diferentes materiais presentes e os elementos de junção que fazem parte dos produtos, sistematizá-los e organizá-los na etapa de discussão. A partir desses estudos partiu-se então para realizar uma contribuição para uma metodologia com enfoque no Design para a Desmontagem.

Palavras-chave: análise de similares, metodologia, ecodesign, design para a desmontagem.

## ABSTRACT

Because of the increasing demand for innovation and the fact that products have presented shorter life spans, we have today the production of a huge number of different products generating waste and enormously increasing the volumes of landfills and sanitary embankments. In this search for innovation, a specific methodology must be followed in order to achieve efficiency. A first step when searching for new solutions for a certain product would be analyzing already existing products and its materials. This kind of analysis, intended to develop new solutions for well-known problems, is called “Analysis of similars”, an important tool to evaluate the available products in the market. The material selection is fundamental for the project development, and to create a product capable of competing with the already existing ones it is necessary to innovate in the use of materials, design, and the manufacturing process. Another important factor, related to sustainability, is the possibility of disassembling the products, allowing for the recycling of materials and reusing of components. In this paper we try to investigate through analysis of similars how products today are conceived in relation to disassembling possibilities and to material selection and understand if the methodologies used in projects nowadays consider environmental variables. In order to accomplish that, the analysis focused on structural aspects, as well as on the junction elements and the similar materials, because we understand that those are important environmental variables that should be analyzed. We analyzed the methodologies used in different studies, organizing them in a coherent way in order to turn the study more precise and functional. In the Results chapter we carried out an investigation of the various materials and elements of junction that are part of the products to later systematize and organize them in the Discussion chapter. From that point we tried to contribute for the development of a methodology focusing on the Design for Disassembly.

Key-words: analysis of Similars; methodology; ecodesign; design for disassembly.

## INTRODUÇÃO

Novas idéias e métodos de produção surgem a cada dia, reduzindo o tempo de desenvolvimento, fabricação e lançamento de novos produtos. Os consumidores estão mais exigentes e desejam mais opções de escolha tanto na aparência, na forma, tamanho e custo. Um fabricante que não age com rapidez, seja no desenvolvimento, design e lançamento, seja na seleção de materiais e/ou processos de fabricação que agilizem a manufatura, está condenado a perder mercado.

Soma-se a isso o fato de que os produtos estão, cada vez mais, com uma vida útil reduzida. Os produtos eletrônicos, especificamente, têm em geral uma vida útil curta, pois novos modelos com novas tecnologias surgem a cada dia. Com a crescente demanda por inovação, tem-se hoje a produção de um grande número de diferentes produtos, gerando resíduos e aumentando consideravelmente o volume dos lixões e aterros sanitários. O lixo tecnológico, gerado a partir do advento da inovação tecnológica veloz e esmagadora, é particularmente problemático por causa do descarte destes materiais, tendo em vista que a reciclagem é complexa e cara. Desta forma, pensar alternativas para o descarte de materiais tecnológicos que não prejudiquem o ambiente está chamando a atenção de muitos estudiosos, de diferentes áreas (Kindlein, 2006; Platchek, 2006; Manzini, 2002).

Somado a esse problema existe o fato de que, dentro de sua ampla formação, o designer tem apenas um contato básico com a Ciência e Tecnologia dos Materiais, bem como com outras ciências que facilitam e viabilizam a projeção, tais como a Biônica e o Ecodesign. Bons projetos dependem, entre outros fatores, de informações precisas sobre materiais, processos de fabricação e aferição do impacto ambiental causado. A seleção do material adequado é fundamental no desenvolvimento do projeto e a aceitação do público e o bom desempenho do produto final não são conseqüências apenas desta etapa, mas de um conjunto de etapas que fazem parte de seu desenvolvimento.

Para criar um produto em condições de competir com os já existentes é necessário inovar nos materiais, design e processos de fabricação. Nesta busca por inovações deve-se seguir uma metodologia específica para que ela seja eficiente. Ao buscar novas soluções para um certo produto, o primeiro passo é analisar as soluções já existentes. Esta análise, com o intuito de desenvolver novas soluções para problemas conhecidos, é denominada “Análise de Similares”, uma importante ferramenta para avaliar as propriedades dos produtos disponíveis no mercado. Uma análise de similares completa deve levar em consideração os diversos aspectos do design do produto: materiais utilizados, processos de fabricação, funcionalidade,

questões ambientais, bem como a relação destes aspectos entre si e, por fim, destes com o consumidor.

No presente trabalho, buscou-se analisar alguns estudos de caso sobre Análises de Similares realizados na disciplina de Design e Seleção de Materiais ministrada no PPGEM/UFRGS e da disciplina de Seleção de Materiais ministrada no Curso de Engenharia de Materiais da UFRGS, investigando como diversos produtos hoje são concebidos quanto a sua desmontagem e seleção de materiais para então contribuir na metodologia de Análise de Similares com o foco na Desmontabilidade de um produto (Ecodesign).

Investigaram-se diversos estudos de casos de diferentes análises de similares, para compreender na prática se as metodologias que hoje são utilizadas em projetos contemplam as variáveis ambientais. Essas análises foram focadas nos aspectos estruturais, nos elementos de junção e nos materiais dos similares, pois entende-se que essas são variáveis ambientais importantes. A partir desses casos partiu-se então a realizar uma contribuição para uma metodologia com o foco no Design para a Desmontagem.

Quanto à revisão bibliográfica, no primeiro capítulo é mostrado a importância do processo metodológico e a seleção de materiais em um projeto de produto, evidenciando a relação da seleção dos materiais com o Design. No segundo capítulo busca-se compreender o desenvolvimento sustentável e para tanto aborda-se o estudo do Ecodesign, introduzindo o Desenvolvimento Sustentável, expondo uma metodologia projetual focada no Ecodesign e também é apresentado o estudo dos elementos de junção abordando o conceito de Design para a Montagem e Desmontagem.

Na etapa de materiais e métodos foram realizados alguns estudos de caso sobre Análises de Similares representativos, onde foram verificadas as metodologias aplicadas nesses estudos, organizando-as de forma coerente, precisa e funcional. Na etapa de resultados buscou-se investigar os diferentes materiais presentes e os elementos de junção que fazem parte dos produtos, sistematizá-los e organizá-los. A partir destas análises na discussão dos resultados formulou-se contribuições para uma metodologia de Análise de Similares com enfoque no Design para a Desmontagem.

## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. O Design e a seleção de materiais**

Neste capítulo procura-se analisar a importância do processo metodológico e a seleção de materiais em um projeto de produto. No item 1.1.1. aborda-se sobre o Design, e algumas metodologias comumente utilizadas. No item, 1.1.2., mostra-se a evolução dos materiais relacionando com o Design. E no item, 1.1.3, evidencia-se a relação da seleção dos materiais com o Design.

#### **1.1.1. Design e metodologia projetual**

Diversos conceitos são dados a palavra design. Nas palavras de Bonsiepe (1997), Design é a atividade projetual, responsável pelas características estruturais, estético-formais e funcionais de um produto para fabricação em série. Para Redig (1977), Design é o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos, econômicos e ecológicos, no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias à vida, ao bem-estar e/ou à cultura do homem.

Löbach (2001) define o conceito de Design como a concretização de uma idéia em forma de projetos ou modelos que resultam em um produto industrial passível de produção em série. Segundo Souto (2002), Design está associado à idéia de planejar, projetar, conceber e de designar, e não de desenhar, como geralmente é traduzida. Por Design, então, entende-se toda atividade que tende a transformar em produto passível de fabricação as idéias para a satisfação de determinadas necessidades de um indivíduo ou grupo.

Engenheiros e Designers no contexto de uma empresa são peças fundamentais que trabalham juntos no desenvolvimento de produtos, abrangendo múltiplas etapas com diversos atores presentes neste processo. Estas etapas podem ser sistematizadas na figura 1, que mostra basicamente os segmentos que estão relacionados na empresa para o projeto de um produto, no caso a Direção da empresa, o Marketing, o Design e a Engenharia. Cabe ressaltar aqui a importância do trabalho em grupo para o desenvolvimento de um projeto.

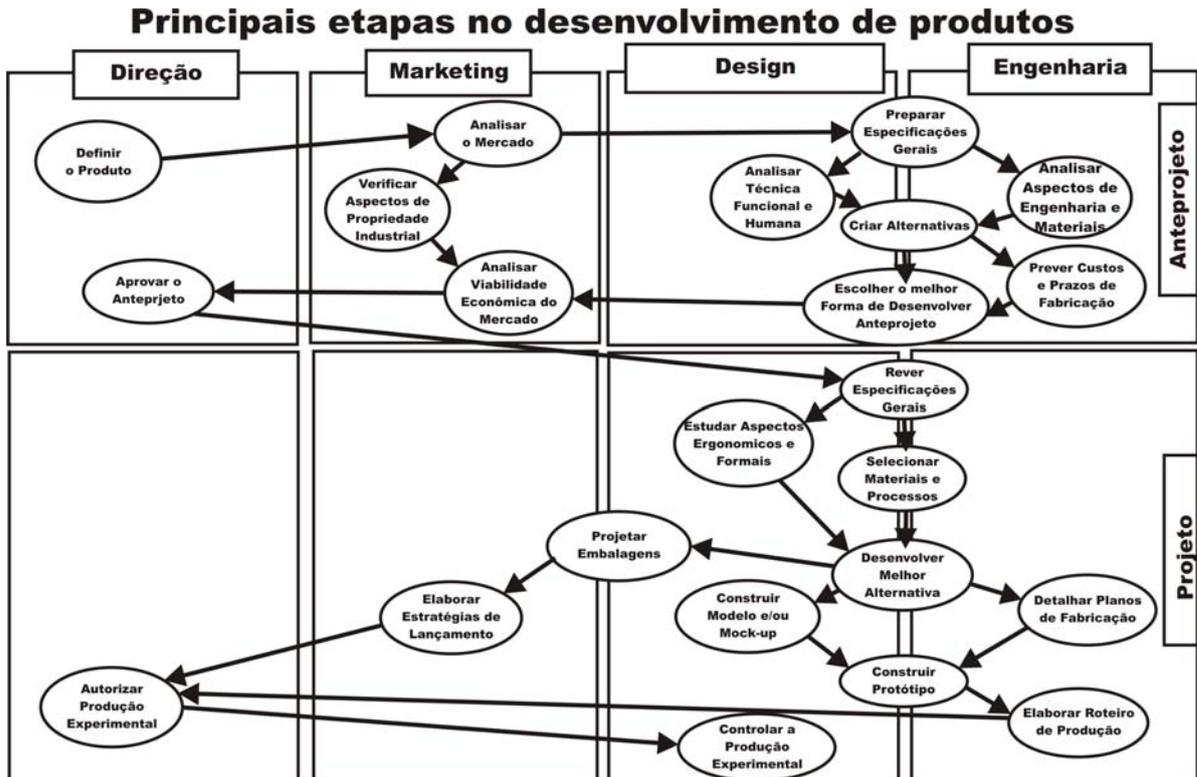
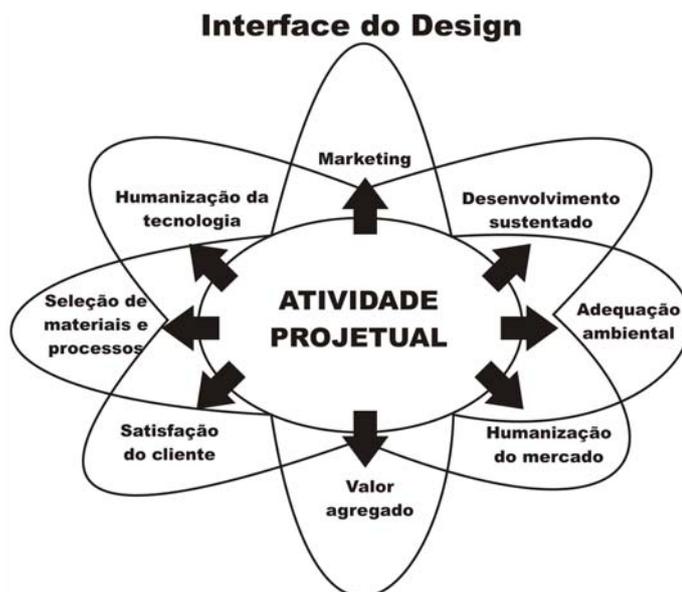


Figura 1: Principais etapas no desenvolvimento de produtos dentro de uma empresa. Figura adaptada de Barroso (1982).

Nota-se claramente na figura 1 que a seleção de materiais e processos são parte tanto dos profissionais do Design como da Engenharia, mostrando ser este elo interdisciplinar cada vez mais importante na atividade projetual. Outro fato importante detectado é a falta ainda de etapas claras no desenvolvimento de produtos que busquem a sustentabilidade, notadas aqui na figura 1.

Para Gobbi (2006), dentre os diversos temas que envolvem o Design como atividade projetual, podem-se citar: humanização da tecnologia, marketing, desenvolvimento sustentado, adequação ambiental, humanização do mercado, valor agregado, satisfação do cliente, seleção de materiais e processos (figura 2).



**Figura 2: Atividade projetual com várias interfaces do Design. Fonte: Gobbi (2006).**

Na concepção de Platchek (2003a), mesmo que a criatividade seja essencial para o sucesso de um produto, existem técnicas que auxiliam no direcionamento do caminho a seguir, e as metodologias de desenvolvimento de produto são ferramentas essenciais diante de um mercado tão concorrido e restrito. Na década de 80 Back (1983), propôs um método para o desenvolvimento de produtos adotado na formação acadêmica de designers, engenheiros e projetistas com a finalidade de orientar o estudante na aplicação dos conhecimentos adquiridos para a solução de problemas práticos de Engenharia e Design.

Bomfim (1995) afirma que uma metodologia é necessária devido à complexidade crescente das variáveis envolvidas em um projeto e que métodos são ferramentas utilizadas no desenvolvimento de um produto e dependem sempre da capacidade técnica e criativa de quem os utiliza. Para tornar o processo de produção rápido e eficaz, é necessário utilizar uma metodologia de projeto que se adapte ao tipo de projeto em questão. Platchek (2003b e 2007) concorda com a importância da metodologia de projeto, pois acredita que são ferramentas essenciais diante de um mercado tão competitivo e restrito, sendo fundamentais no processo de Design.

Para auxiliar no desenvolvimento do produto, muitos autores propuseram diferentes métodos. A metodologia de um modo geral, com base em Abramovitz (2002), Back (1983), Baxter (1998), Bitencourt (2001), Bomfim (1995), Bonsiepe (1984), Löbach (2001) e Roozemburg (1996), e compilada por Platchek (2003a), pode ser representada pela organização em em três grandes etapas:

1 – Proposta: É a etapa inicial do desenvolvimento do projeto, quando analisa a viabilidade e aceitação do futuro produto. São definidos e delimitados os problemas e parte-se para a viabilidade do desenvolvimento do projeto.

2 – Desenvolvimento: É a fase na qual se realiza o estudo metódico e detalhado do objeto em análise: a) - Análise Sincrônica (levantamento de Similares) e Diacrônica (levantamento do histórico do produto); b) Levantamento ergonômico; c) Levantamento das atividades da tarefa; d) Aplicação do questionário; e) Levantamento técnico.

3 – Detalhamento: Fase conclusiva do projeto, em que se finaliza o conceito do produto proposto: a) Geração de alternativas; b) Desenhos técnicos; c) Materiais e processos; d) Ergonomia; e) Desenvolvimento de modelos e protótipos:

Segundo Platchek (2003a), essas metodologias comumente empregadas em universidades e empresas não dão devida atenção às questões ecológicas. Como exemplo, a autora cita a fase de levantamento das necessidades dos usuários, que para ela vão além da simples utilização do produto durante sua vida útil. A autora (2003a) sintetiza alguns pontos que alguns autores consideram importantes para uma metodologia projetual e expõe sua opinião em relação a isso (tabela 1). Nota-se que as metodologias mais utilizadas por designers hoje ainda não consideram etapas voltadas específicas para o Ecodesign, com preocupações ambientais.

**Tabela 1: Quadro comparativo de metodologias estudadas. Fonte: Platchek (2003a).**

ABRAMOVITZ	BACK	BAXTER	BITTENCOURT	BOMFIM	BONSIEPE	ROOSEMBURG
- Planejamento - Fase Analítica - Fase de Desenvolvimento	- Estudo de Viabilidades - Projeto preliminar - Projeto Detalhado - Revisão e testes - Planejamento da produção - Planejamento do Mercado - Planejamento para consumo e manutenção	- Identificação de uma necessidade - Pesquisa de marketing - Análise da concorrência - Proposta do novo produto - Especificações da oportunidade - Especificações de projeto	- Reprojeto informacional - Reprojeto conceitual - Reprojeto preliminar - Reprojeto detalhado - Documentação do reprojeto	- Criação do produto - Processo de produção - Utilização do produto e satisfação das necessidades	- Problematização - Análise - Definição do problema - Anteprojeto e geração de alternativas - Realização - Análise final da solução	- Definição do problema - Valores do sistema - Síntese do sistema - Análise do sistema - Seleção do melhor sistema - Planejamento da ação
Não contempla os conceitos do desenvolvimento sustentável.	Contempla alguns aspectos do desenvolvimento sustentável como simplificação e redução de materiais e subsistemas.	Não contempla os conceitos do desenvolvimento sustentável.	Metodologia somente para o reprojeto de produtos atuais ao invés de criar novos produtos visando os valores de sustentabilidade.	Sugere alguns aspectos do desenvolvimento sustentável como o reaproveitamento de partes ou do todo e a reciclagem da matéria prima antes da disposição final.	Preocupação com processo de criação porém não contempla os conceitos do desenvolvimento sustentável.	Preocupação com os 3R's (reduzir, reusar e reciclar) mas não descreve como desenvolver produtos visando o desenvolvimento sustentável.

Kindlein (2002b) alerta este fato, apontando que muitas das atuais metodologias de projeto de produtos não levam em conta a variável ambiental, fazendo com que a quantidade de resíduos sólidos oriundos do processo de fabricação, uso e descarte ao término da vida útil esteja se tornando rapidamente insustentável. Isto ocorre porque a separação dos diferentes materiais que compõem um produto é, não raras vezes, inviável ou mesmo impossível,

fazendo com que o reuso e/ou reaproveitamento se torne um problema de difícil solução e com grande impacto no ecossistema.

As metodologias devem permitir o processo de produção rápido e eficaz, sendo que é necessário que essas metodologias de projeto se adaptem ao tipo de projeto em questão. Com a inovação constante dos produtos sendo um das vertentes das empresas na atualidade, a metodologia em si torna-se muito importante para este fim.

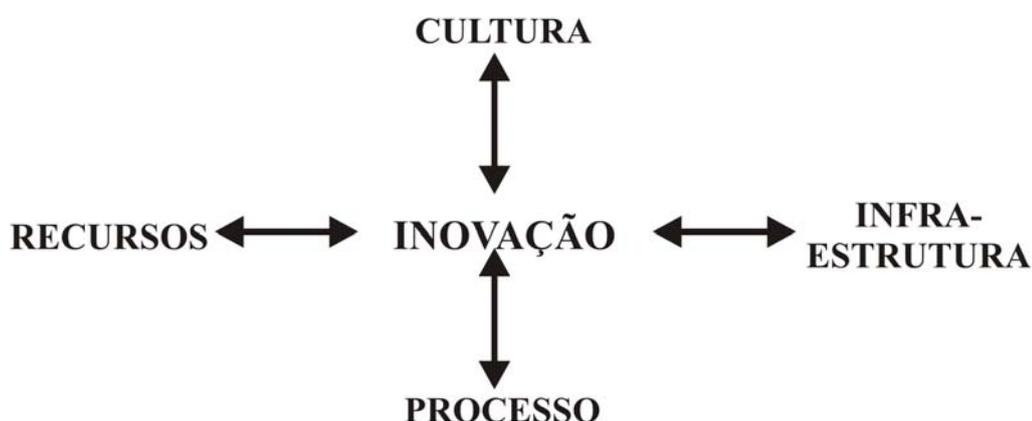
Para Celaschi (2007), inovação é “uma ação que, como uma ponte, atravessa o presente baseando-se sobre duas pilstras: método certo e racional de manipulação dos fatores em jogo e capacidade de absorver a irracional potência da criatividade”. Ainda para o autor (2007), o objetivo é a inovação contínua. Hoje uma empresa deve ser capaz de inovar constantemente, sem acomodar-se em uma posição obtida anteriormente. É este o coração do desafio contemporâneo em direção à inovação contínua: criar na empresa um ambiente capaz de favorecer a convivência entre a regra e a emoção. E o Design é exatamente a disciplina desta integração, porque nas suas bases coexistem a tecnologia e a engenharia, o humanismo e a arte, a economia e o gerenciamento. Por este motivo, aproximar-se hoje do Design não é uma mera escolha para a empresa contemporânea, mas sim o caminho para a inovação e um imperativo para a sobrevivência.

A figura 3 mostra o percurso da inovação do Design, fase por fase, esclarecendo se é melhor gerenciar esta fase dentro da empresa introduzindo uma divisão de Design propositalmente empenhada, confiar a setores externos ou a alguma forma de consultoria.



Figura 3: Inovação do design fase por fase. Figura adaptada de Celaschi (2007).

A inovação depende de quatro elementos principais: recursos, infra-estrutura, cultura e processo organizacional. Todos os quatro são igualmente importantes. Um suporte de cultura e um processo organizacional efetivo e eficiente favorecem organizações com meios para expandir a inovação por toda a sua estrutura (figura 4). Segundo Gaynor (2002), a inovação não pode ocorrer se alguns destes quatro elementos faltarem. Os recursos requerem uma infra-estrutura e um suporte de infra-estrutura depende de recursos. Obviamente, cada um destes elementos não se encontrará em todas as exigências previstas.



**Figura 4: Quatro entradas para a inovação. Figura adaptada de Gaynor (2002).**

Para Manzini (1993), tanto o Design como a invenção integram pensamento e prática, ambos se baseando numa combinação de intuição e de capacidade estratégica. Antes de tudo, espera-se que o *designer* produza soluções novas para produtos industriais. Yongxiang Lu (2004) considera que a aptidão do ser humano para a criação é o motivo principal para a inovação na ciência e na tecnologia. Souto (2002) acrescenta que o Design é o último elo da cadeia na qual a inovação científica e tecnológica traduzem-se na prática da vida cotidiana e o importante nesse processo de inovação é que não se tratem as fases isoladamente, mas sim como um único processo que envolve a todas.

Manzini (1993) considera que é pela via do conhecimento e por intermédio da relação que se consegue estabelecer entre idéias e matéria que o design toma forma, tanto em termos práticos (ou seja, passando da idéia para a matéria) como no sentido contrário (da matéria para a idéia). Para se obter esse conhecimento é preciso seguir uma metodologia de trabalho e de projeto, buscando ao máximo otimizar o tempo, custos sempre tendo a idéia de criações com o intuito de inovar de alguma forma e com respeito ao meio ambiente. Quais são as barreiras ecológicas, sociais e econômicas para o desenvolvimento sustentável? Qual é o papel do sistema do Design sustentável para suprimir e superar estas barreiras?

É sabido que as melhores inovações oferecem mais que uma aparência agradável e tecnologia de ponta. Elas proporcionam grande satisfação, melhor ergonomia e soluções sociais e ambientais responsáveis. Esses objetivos geram perguntas, tais como: É possível fazer mais com menos? É possível satisfazer à demanda por novos e melhores produtos sem devastar nossos recursos naturais? Esses são os desafios que podem ser vencidos pelo binômio “Design e Materiais”, focando suas especialidades, para que a inovação realmente faça sentido (Manzini, 1993).

Marques (2006) explicita que por causa das tecnologias novas, materiais e processos, o Design pode transformar idéias em um produto real. O pressuposto de que a atividade do Design está ligada a soluções novas (inovação), está de acordo com o presente trabalho, que objetiva, por meio do estudo da seleção de materiais e do Design para a Desmontagem dos produtos contribuir para o desenvolvimento de metodologias que busquem a análise de similares com enfoque no Design para a Desmontagem (Ecodesign), com a finalidade de alcançar o desenvolvimento sustentável.

### **1.1.2. Evolução dos “materiais x design”**

Ashby (1999) acredita que no decorrer da história os materiais têm limitado o Design. As idades em que o homem viveu são nomeadas pelos materiais que usou: pedra, bronze, ferro. Esta não é a idade de um material; é a idade de uma escala imensa de materiais. Nunca houve uma era em que a evolução dos materiais foi mais rápida e a escala de suas propriedades mais variadas. O Design inovativo, freqüentemente, significa a exploração imaginativa das propriedades oferecidas por materiais novos ou melhorados.

Segundo Ashby (1999), os materiais da pré-história (>10 000 a.C., a Idade da Pedra) eram cerâmicos e vidros, polímeros naturais e compósitos. As armas - sempre o topo da tecnologia - eram feitas de madeira e pedra; edifícios e pontes de pedra e de madeira. Naturalmente o ouro e a prata estavam disponíveis localmente, mas tiveram um papel menor na tecnologia. A descoberta do cobre, do bronze e do ferro (a Idade do Bronze, 4000 a.C.-1000 a.C. e a Idade do Ferro, 1000 a.C.-d.C. 1620) estimulou avanços significativos, substituindo as armas e as ferramentas mais velhas de madeira e pedra. A tecnologia de moldar o aço (década de 1620) estabeleceu o domínio dos metais na Engenharia; e a evolução dos aços (1850 em diante), de ligas leves (década de 1940) e de ligas especiais tem consolidado sua posição. Na década de 1960, teve-se o desenvolvimento nas outras classes de materiais como os refratários, a sílica fundida entre os cerâmicos, diferentes tipos de borracha

e o polietileno entre polímeros, mas sua parte no mercado total dos materiais era pequena. Os polímeros e as indústrias de compósitos, estão crescendo rapidamente, e as projeções de crescimento da produção de novas cerâmicas de alta performance sugerem a sua rápida expansão também.

Para Silva (2005), na pré-história a descoberta dos materiais limitou-se a dar funcionalidade àqueles detectados pelo homem, passando-se a incorporar novas e lentas aplicações no decorrer dos milênios, com a introdução da pedra, cobre, bronze, ferro e conseqüentemente a exploração dos metais e suas ligas, ampliando o entendimento sobre as propriedades distintas que eles proporcionavam. Este autor (2005) também considera que a importância relativa que os materiais possuem reflete-se no crescente uso dos mesmos, explorando suas propriedades específicas de forma cada vez mais produtiva, de tal modo que o homem passe a identificar constantes necessidades para novos produtos, criando requisitos de projeto e induzindo a Engenharia de Materiais a disponibilizar novas alternativas de materiais.

Segundo Rode (2005), na pré-história o homem já usava materiais associados a processos criativos, quando construía seus primeiros artefatos e abrigos. Durante milhares de anos foi apenas a experiência empírica e a tradição que determinaram a seleção de materiais e processos de fabricação. Ainda hoje grande parte dessa seleção é feita com base em tentativas e erros ou em experiências passadas.

Segundo Navarro (2001), no início da civilização a utilização dos materiais influenciava pouco o meio ambiente, pois este também não exercia influência sobre os materiais – por exemplo, os ossos dos animais e mais tarde suas peles, as pedras, as folhas e os gravetos. O ambiente agia na formação, mas não no uso. Além do mais, a quantidade existente de materiais existentes na superfície da Terra era mais do que suficiente para satisfazer às necessidades do homem primitivo.

Manzini (1993) frisa que os plásticos têm desempenhado papel fundamental no progresso da dinâmica técnica, econômica e cultural que conduziu ao novo cenário de materiais. Para este autor, a liberdade de formas proporcionada pelos plásticos levou ao seu emprego em uma vasta gama de aplicações, especialmente naquelas em que as propriedades estruturais do aço ou das melhores madeiras não eram necessárias, mas onde eram essenciais baixos custos e facilidade de produção. A plasticidade destes materiais foi aplicada para moldá-los segundo várias formas geométricas, conferindo-lhes uma maior adaptabilidade e permitindo a integração de vários componentes funcionais em uma só peça. Esta liberdade de

formas e a adaptabilidade dos plásticos são características que os tornam particularmente interessantes para aplicação no Design de produtos.

Outro fator importante apontado por Silva (2006) é a redução de peso como uma das principais vantagens do uso de polímeros. Esta característica facilitou a eles a afirmação no setor automobilístico, onde praticamente dominam os espaços interiores e vêm ganhando força em componentes externos, como os pára-choques.

Na figura 5, adaptada de Dieter (1997) por Silva (2005), a evolução dos materiais, representada pela linha do tempo, identifica a transformação dos materiais até os dias atuais, revelando o crescimento da utilização de polímeros sintéticos nas últimas décadas e uma tendência de uso ainda maior destes materiais nos próximos anos.

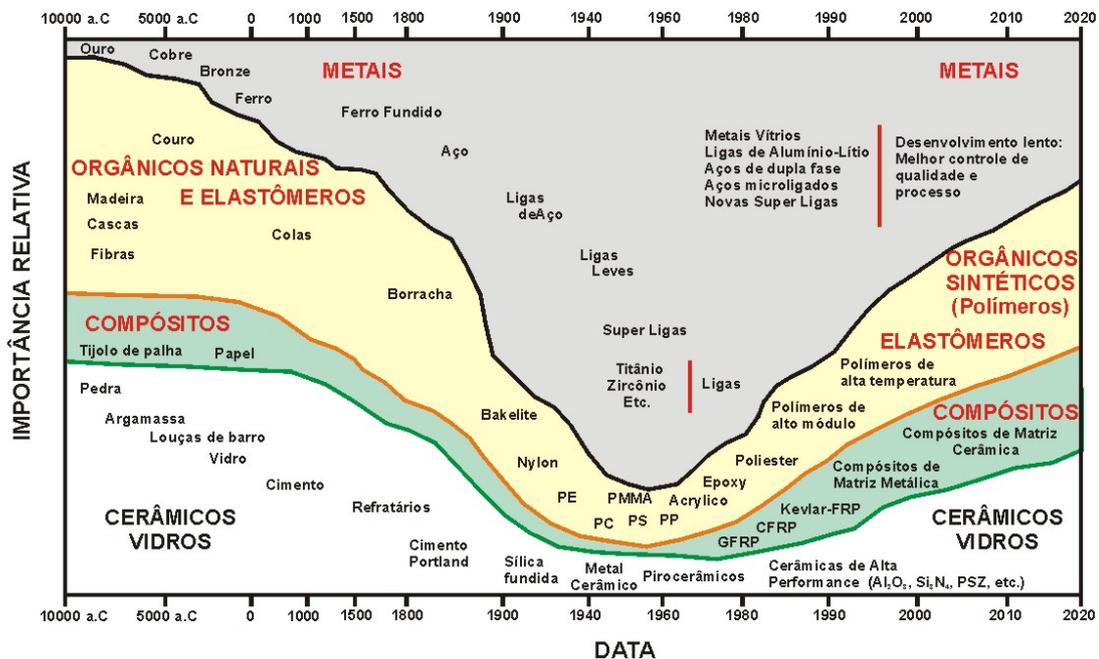


Figura 5: Panorama evolutivo dos materiais. Figura adaptada de Dieter (1997) por Silva (2005).

Beall (2000) relata o impressionante crescimento do uso de plásticos com base na sua aceitação pela comunidade do Design, sendo as duas principais razões desta preferência a liberdade de Design e a economia de produção que os produtos plásticos fornecem. Silva (2006) considera que o avanço dos polímeros permitiu que eles ultrapassassem as aplicações simplesmente decorativas e fossem aplicados também em áreas técnicas. Podem-se citar como suas aplicações desde copos plásticos, embalagens de alimentos, carenagens de computadores e eletrodomésticos, próteses médicas, blindagem de roupas e veículos, isolamentos, mobiliários e componentes da construção civil.

### 1.1.3. Seleção de “materiais x design”

Na concepção de Ashby (1999), Design é o processo de traduzir uma idéia nova ou uma necessidade de mercado numa informação detalhada de que um produto pode ser manufaturado. Cada um de seus estágios requer decisões sobre os materiais de que o produto deve ser feito e o processo de fazê-lo. Normalmente a escolha de material é ditada pelo projeto, mas às vezes ocorre de outra maneira: o produto novo, ou a evolução do existente, foram sugeridos ou se fizeram possíveis pelo material novo.

Para Dieter (1997), a importância da seleção dos materiais no Design aumentou nos anos recentes. As pressões no mundo da competitividade aumentaram o nível geral da automatização da manufatura a ponto de os custos dos materiais compreenderem 50% ou mais do custo para a maioria de produtos. Finalmente, a grande atividade da ciência de materiais no mundo todo criou uma variedade de materiais novos, assim, a escala dos materiais disponíveis ao designer é muito mais ampla do que antes. Isso apresenta a oportunidade para a inovação no Design utilizando estes materiais nos produtos, os quais fornecem um maior desempenho a um custo mais baixo.

Segundo Ljungberg (2007), estima-se que há mais de 100.000 tipos de diferentes materiais comerciais no mercado, incluindo todas as variantes na composição dos materiais, nas misturas, em tratamento térmicos, etc. O fato é que não somente os métodos objetivos para a seleção dos materiais, mas também subjetivos têm de ser considerados, o que torna a seleção mais complexa. Os materiais estruturais para os produtos podem ser divididos em seis grupos: metais, cerâmicos, polímeros sintéticos, materiais orgânicos naturais, materiais inorgânicos naturais e compósitos. Estes grupos cobrem provavelmente mais de 99% de todos os materiais usados na Engenharia Mecânica, Civil, Elétrica e no Design (tabela 2).

**Tabela 2: Classificação dos materiais com algumas características. Adaptada de Ljungberg (2007).**

<b>Material</b>	<b>Características</b>
<b>Metais</b>	São tipicamente baratos e fáceis de reciclar em novos produtos por refusão. Uma desvantagem é o típico peso elevado (densidade) de muitos metais, como as ligas de aço e de cobre. A proteção contra a corrosão necessita frequentemente tratamentos químicos ou pinturas.
<b>Cerâmicos</b>	Os cerâmicos são frequentemente muito duráveis, duros, resistentes a altas temperaturas e à corrosão, mas também frágeis. A matéria-prima é geralmente argila para a cerâmica tradicional e óxidos, nitretos ou carbetos puros para cerâmicas avançadas. As cerâmicas são raramente recicladas em produtos novos devido à necessidade de esmagar, de moer e de requeimar, o que se torna mais caro e requer mais energia do que produzir produtos de matéria-prima nova.
<b>Polímeros</b>	Os polímeros ou os plásticos e a borracha são feitos geralmente do petróleo. Muitos polímeros, no entanto, podem ser feitos de materiais orgânicos naturais, como a madeira. Um problema da reciclagem dos plásticos é determinar de que tipo de

	polímero o produto é feito. Os plásticos termorrígidos e a borracha são exemplos de polímeros que não podem ser refundidos, o que significa que a deposição ou uso como material de enchimento ou adissociação química é recomendada para reciclagem.
<b>Orgânicos Naturais</b>	Os materiais orgânicos naturais, como a madeira e o algodão, são sempre materiais populares de várias formas. A reciclagem pode facilmente ser feita na forma de reciclagem de energia, por exemplo, na forma de plantas de energias térmicas por aquecimento. Estes materiais são tipicamente renováveis, entretanto a coloração e a impregnação de substâncias químicas para evitar a quebra podem torná-los tóxicos.
<b>Compósitos</b>	Têm se tornado cada vez mais populares durante os últimos anos, especialmente na forma de fibras cerâmicas misturadas com uma resina plástica. Os compósitos em geral não são renováveis e os problemas para separar os diferentes materiais usados nos compósitos tornam estes materiais geralmente não-sustentáveis.

Segundo Ferrante (1996), o processo de seleção de materiais deve ser considerado uma tarefa essencialmente interdisciplinar, para a qual são necessários conhecimentos e informações de outras áreas, como o marketing e o planejamento estratégico. Para Kindlein (2002a), a seleção do material adequado é fundamental no desenvolvimento do projeto e a aceitação do público e o bom desempenho do produto final são conseqüências desta etapa. A correta especificação do material por parte do projetista, além de agilizar a fabricação, traz benefícios estéticos, técnicos, de durabilidade e distribuição ao produto. O projetista que não possui este conhecimento fica defasado, privando-se de utilizar novas técnicas e recursos.

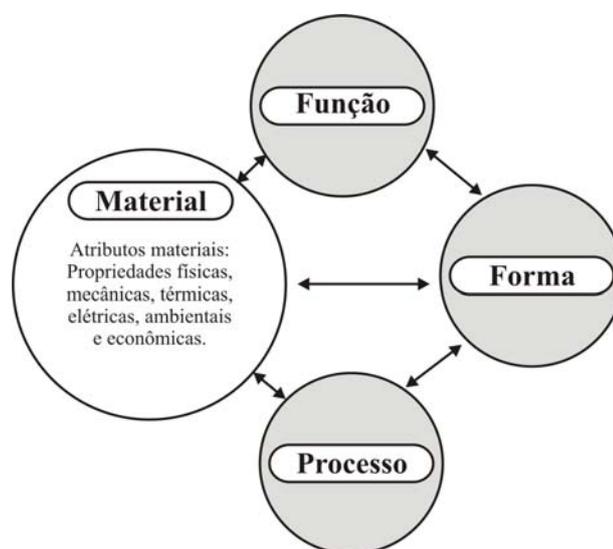
A seleção dos materiais pode ser feita de maneiras diferentes, mas os princípios são semelhantes. Para Ljungberg (2003b, 2007), a seleção do material deve otimizar um produto considerando principalmente os seguintes aspectos: métodos de produção; demandas estruturais e de função; mercado ou demandas de usuários; forma; preço; impacto ambiental; tempo de vida. Uma mudança no material em um determinado produto altera geralmente o projeto, a fim de otimizar as características ou os métodos de fabricação. Uma cadeira de madeira, por exemplo, tipicamente tem pés mais grossos para compensar a resistência reduzida da madeira comparada ao aço.

Silva (2005) menciona como uma das dificuldades da seleção de materiais a literatura técnica, que deveria oferecer uma perspectiva de conjunto e adaptação interdisciplinar, porém ainda privilegia o tratamento de metais. Para este autor (2005), a correta seleção de materiais deve ser realizada de forma sistemática, em tempo adequado, possibilitando redução de custos e minimização de erros de projeto.

Um produto é feito geralmente de diversos materiais. Ljungberg (2007) aponta a sustentabilidade de um produto como dependente do material ou dos materiais usados no seu desenvolvimento. Durante seu ciclo de vida, diferentes estágios são percorridos, como a extração dos materiais, a manufatura, a embalagem, o transporte, o uso e a disposição. Todos

estes estágios causam algum impacto ambiental, principalmente pelos materiais envolvidos. Nesse sentido, a seleção dos materiais para um determinado produto é de importância vital, quando este determina o uso dos recursos naturais como a quantidade de energia empregada para a fabricação e o uso do produto.

Segundo Ashby (1999), os problemas de design não têm uma única ou “correta” solução, então a primeira ferramenta que o Designer necessita é abrir a mente, ter a disposição para considerar todas as possibilidades. A figura 6 mostra que a seleção do material depende basicamente de três critérios que estão interagindo: a função, o processo e a forma. Na figura 6 evidencia-se a falta de um critério ecológico para a seleção do material, mostrando a preocupação na forma, função e processo, já tradicionais hoje em dia.



**Figura 6: A seleção do material é determinada pela função. A forma às vezes influencia a seleção. Fonte: Ashby (1999).**

Na concepção de Ljungberg (2003a), é muito importante observar que raramente existe apenas um material considerado o melhor para um determinado produto. Cada comprador tem suas próprias demandas e conseqüentemente materiais diferentes podem ser usados para satisfazer a usuários diferentes. Uma seleção otimizada do material pode-se tornar limitada também por fatores tais como a falta de informação sobre um material e/ou a falta da experiência do designer. Os fatores políticos podem também afetar os preços e a disponibilidade da matéria-prima. O petróleo é apenas um exemplo, que é de extrema importância para a indústria do polímero como matéria-prima.

Ferrante (1996) explicita que em projetos de produto os responsáveis pela sua concepção, inicialmente, baseiam-se em determinar critérios de seleção de materiais, dentre os quais destacam-se os listados na tabela 3.

Tabela 3: Critérios de Seleção e suas características. Adaptada de Ferrante (1996).

<b>Critérios de Seleção</b>	<b>Características</b>
<b>a) Considerações dimensionais</b>	O tamanho do projeto pode influenciar na intenção de viabilizar sua produção de acordo com determinações possivelmente limitadas em relação a sua execução.
<b>b) Considerações de forma</b>	O design do produto caracteriza uma necessidade de compatibilizar as intenções visuais com a viabilidade técnica de produção, de forma que alguns materiais podem restringir as suas possibilidades de execução.
<b>c) Considerações de peso</b>	O controle de densidade está relacionado a exigências do projeto, determinando uma gama específica de possibilidades, influenciando na estabilidade ou equilíbrio do produto, na avaliação ergonômica, nas questões relacionadas ao conforto do usuário, etc;
<b>d) Considerações de resistência mecânica</b>	Impõe, como requisito, uma performance compatível com a ação de forças aplicadas sob o produto, definindo seleções conciliadas com necessidades requeridas no suporte à influência mecânica ou na sua fragilidade proposital;
<b>e) Resistência ao desgaste</b>	Condiciona a seleção de materiais a um desempenho caracterizado, normalmente, pela minimização do desgaste, podendo estar ainda relacionado à maximização do consumo de determinada peça;
<b>f) Conhecimento das variáveis de operação</b>	Estabelece uma influência na avaliação dos materiais quanto a exigências específicas solicitadas em serviço, de acordo com a análise da tarefa a que o projeto estará submetido;
<b>g) Facilidade de fabricação</b>	Uma condicionante muito usual que visa, normalmente, à praticidade nas etapas de fabricação, em que está situada a variável DfA ( <i>Design for Assembly</i> );
<b>h) Requisitos de durabilidade</b>	O produto apresenta necessidades de amplo ou simplificado período de vida, de acordo com os propósitos de uso pré-definidos, apresentando relação com a variável DfE ( <i>Design for Environment</i> ), regida pela análise do ciclo de vida do produto;
<b>i) Número de unidades</b>	Fator no qual determina-se a escolha do material, somando-se o requisito de facilidade na fabricação do produto com custos de produção, podendo-se ou não amortizar os mesmos de acordo com o número de peças produzidas, determinando-se uma seleção de materiais de acordo com os investimentos viáveis à produção em série;
<b>j) Disponibilidade de material</b>	Requisito apontado pelo cruzamento de facilidade de fabricação com a variável custo, podendo-se, ainda, estabelecer a influência do DfE, agregando a preocupação ambiental;
<b>k) Custo</b>	Explicitamente condicionada a uma redução ou ampliação de investimentos, correlacionada com uma extensa gama de requisitos do projeto, estabelecendo uma boa interação na decisão de escolha dos materiais;
<b>l) Viabilidade de reciclagem</b>	Normalmente caracterizada pela escolha de matérias-primas passíveis de reprocessamento, conforme a variável DfR ( <i>Design for Recyclability</i> ), mantendo o valor agregado da produção para as futuras gerações do produto resultante. Os requisitos ambientais e fatores econômicos do país influenciam decisivamente;
<b>m) Valor de sucata</b>	Necessidade relacionada ao interesse comunitário de produção sustentável, em que o mercado aponte abertura para manipulação constante das matérias-primas já utilizadas, estabelecendo-se uma valorização para a coleta seletiva dos materiais;
<b>n) Grau de normatização</b>	Normalmente refere-se a uma restrição apontada por exigências indispensáveis, previamente definidas e regulamentadas a produtos de aplicações específicas, onde, normalmente, o fator segurança esteja relacionado.

Segundo Ljungberg (2007), a seleção do material é feita tradicionalmente por demandas técnicas como o preço, a resistência, a estabilidade de temperatura, a densidade, a dureza, etc. Já Assunção (2000) argumenta que selecionar o “melhor material” envolve mais do que escolher um material cujas propriedades provêm da performance requerida pelo design. Essa escolha está intimamente ligada ao processamento do material. Porém, fatores como os aspectos culturais, moda, etc., devem também ser analisados ao se desenvolver produtos sustentáveis e que sejam bem-sucedidos. Também em consequência de razões psicológicas como sentimentos para um certo material, a seleção de materiais frequentemente não é fácil. A roupa feita de fibras sintéticas é normalmente mais fácil de limpar e de manter-se lisa, mas os materiais naturais (algodão) são geralmente mais populares. Dependendo do material selecionado, o impacto ambiental pode-se tornar significativo, devido ao uso dado ao mesmo, bem como pelo tamanho e quantidade utilizados. Assim, a seleção dos materiais para produtos sustentáveis é baseada principalmente no impacto final dos materiais na natureza, além de demandas do mercado e fatores econômicos.

Na busca de evoluir nas técnicas de seleção de materiais e suas interpretações ou comparações entre diversos existentes, Michael Ashby (1999) criou os “mapas de propriedades”, os quais deram origem ao software de Seleção de Materiais, nomeado de Cambridge Engineering Selector ® - CES, com o apoio dos desenvolvedores da Granta Design ® (Cambridge Engineering Selector, 2007). Este programa possibilita realizar, de modo virtual, o cruzamento de informações dotadas de propriedades distintas, em que, a partir de um banco de dados pré-definido, faz-se a triagem dos materiais que coincidem com os requisitos solicitados em etapas progressivas de cruzamento, eliminando os materiais que não apresentam as características requeridas pelo projetista. Desse modo, o software permite separar os materiais mais adequados ao projeto proposto, limitando-os a poucas unidades para aplicação, após várias etapas de restrições (figura 7).

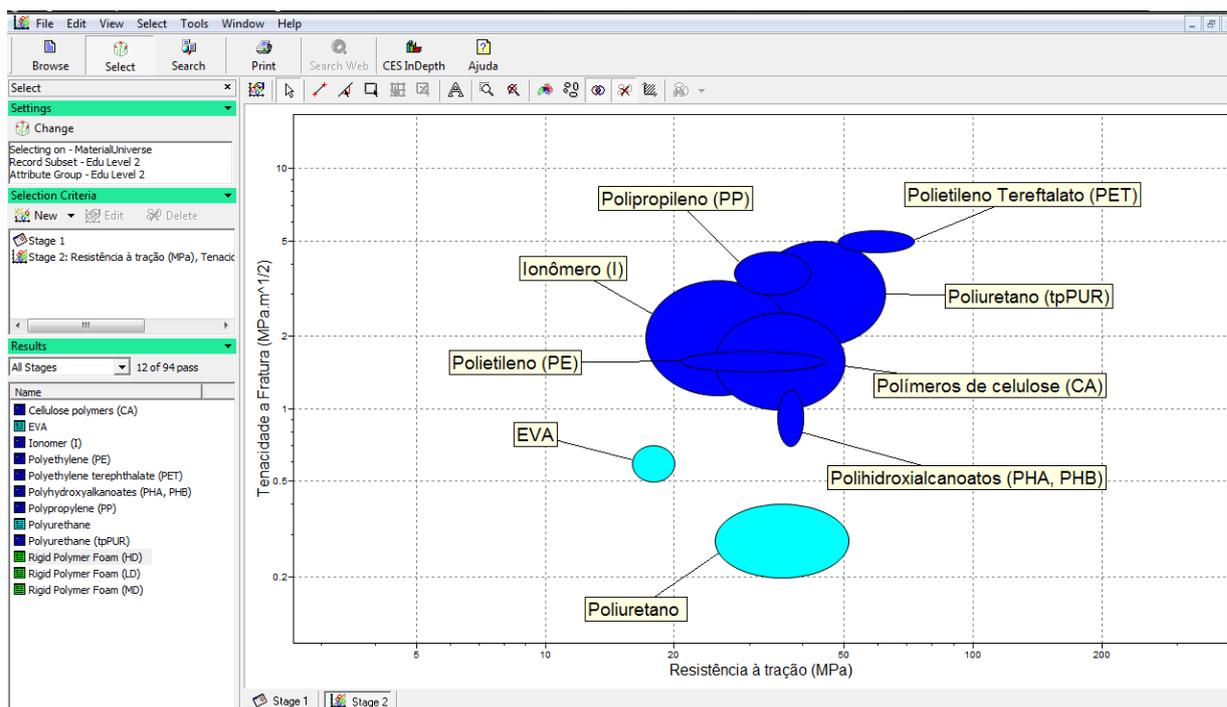


Figura 7: Software Edupack 2007. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).

Silva (2005) entende que as exigências da sociedade para este milênio têm sido os principais acionadores de requisitos como: necessidade de se reduzir o consumo de energia e preservar a vida e o meio ambiente. Neste sentido, o Ecodesign, muitas vezes, é adotado como enfoque principal nas propostas de projeto.

Para Ljungberg (2007), desenvolver produtos bem-sucedidos no futuro necessita um pensamento integrado. Enquanto os recursos da natureza diminuem e a poluição ambiental aumenta, a reciclagem e a deposição dos resíduos devem ser estudados mais seriamente. Os problemas de recursos materiais no futuro, entretanto, não serão tão críticos quanto a energia. A conexão entre materiais e energia é, contudo, óbvia. As mudanças rápidas nos preços, como também na preservação do ambiente, podem conduzir a alterações drásticas no uso dos materiais. Um bom designer deve estar ciente destas mudanças e continuamente procurar soluções novas, tais como, por exemplo, que tipos diferentes de materiais serão usados como substitutos em combinação com mudanças de projeto.

Na tabela 4 são apresentados os seis típicos grupos de materiais para o produto em relação a sustentabilidade. De acordo com essa tabela, os materiais naturais, os polímeros baseados em matérias-primas renováveis, como também os cerâmicos e alguns metais parecem ser materiais sustentáveis para o futuro. Segundo Ljungberg (2007), todavia o uso excessivo da madeira e do algodão pode conduzir a um impacto ambiental muito sério devido à devastação das florestas e da degradação da terra, dos problemas da água, etc. Isto significa

que um material pode ser sustentável para o produto durante o uso e reciclagem, enquanto a sua extração pode conduzir a sérios impactos. Os polímeros baseados no petróleo devem ser empregados com cuidado se não forem possíveis de reciclar e refundir. Os compósitos devem ser usados com considerações especiais, além de levar em conta as possibilidades de como separar os materiais específicos.

**Tabela 4: Os seis típicos grupos de materiais para o produto, além de exemplos e aspectos para o desenvolvimento sustentável de produtos. Tabela adaptada de Ljungberg (2007).**

Grupo de Materiais	Exemplo de Materiais	Típicas vantagens	Típicas desvantagens	Classificação de sustentabilidade *
<b>Metais</b>	-Aço (Fe + C) -Alumínio -Bronze (Ex: Cu + Sn)	- Durável e resistente. - Geralmente formado plasticamente. - Geralmente barato.	- Alto custo para usinagem. - Enormemente sensível a corrosão.	Fácil reciclagem (re-fundição). 2-3
<b>Cerâmicos</b>	Materiais sintéticos como: -Porcelana (argila). - Vidro mineral. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiC, etc.	-Não tóxico. - Leve. - Duro e durável. - Resistente a corrosão. - Resistente a alta temperatura.	- Frágil. - Alto custo para usinagem quando queimado. - Não suscetível para tensão em carga.	- Fácil de depositar (não tóxico). - Possível mas caro para refundir 2-3
<b>Polímeros Sintéticos</b>	- Termoplásticos (Ex: PE, PS, PC, PP). - Dois polímeros como componentes (Ex: Epoxy); - Borracha (Ex: Isopreno).	- Não tóxico. - Leve. - Barato e fácil de conformar. - Geralmente fácil de reciclar (Ex: por refusão ou queima).	- Algumas vezes muito tóxico quando queimado. - Sensível a altas temperaturas.	- Tipicamente não renovável. - Geralmente fácil de re-fundir ou queimar. 1-3
<b>Materiais Naturais Orgânicos</b>	- Madeira. - Algodão. - Seda.	- Renovável. - Leve. - Barato e fácil de conformar/produção.	- Decomposição facilmente. - Não durável. - Tóxico quando impregnado.	- Reciclável, por exemplo, queimando. - Renovável. 2-3
<b>Materiais Naturais Inorgânicos</b>	- Pedra. - Minerais.	- Veja Cerâmicos acima.	- Frágil. - Alto custo para usinagem. - Não suscetível para tensão em carga.	- Veja Cerâmicos acima. 3
<b>Compósitos</b>	- Mistura de Materiais. Ex: PS + fibra de vidro, Cu+W-fibras, Borracha + Fibras Têxteis, Asfalto (Petróleo + Pedra), Compósitos de Polímero de Madeira (WPC).	- Uso otimizado dos materiais. - Geralmente muito forte e leve.	- Geralmente caros para produzir. - Propriedades muito variadas para vários compósitos.	- Tipicamente baixa sustentabilidade devido aos problemas de separação dos materiais misturados. 1-2
<p>Note que as vantagens/desvantagens e a “sustentabilidade” podem mudar devido ao tipo específico do material e os exemplos não são válidos para todos os materiais de um certo grupo de materiais. * A sustentabilidade é estimada de uma escala de 1 a 3, onde 3 indica a mais alta (ou melhor) sustentabilidade e 1 a mais baixa.</p>				

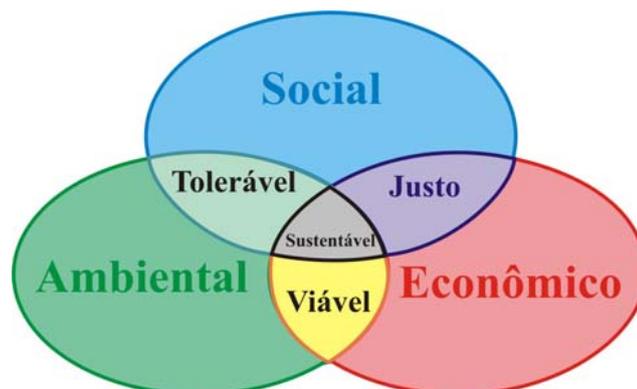
## **1.2. Desenvolvimento sustentável e ecodesign**

Até aqui foi demonstrado a importância do processo de seleção de materiais e pode ser observado como a escolha não considera suficientemente a questão ecológica, sendo pouco investigada ou levada em consideração. Nesse capítulo será introduzido o conceito de desenvolvimento sustentável e para tanto aborda-se o estudo do ecodesign. No item, 1.2.1., introduz-se o desenvolvimento sustentável, estudando a análise do ciclo de vida e sua importância no projeto de produto. No item seguinte 1.2.2., conceitua-se o Ecodesign, seu estudo e importância cada vez mais afirmada na sociedade, evidenciando a importância dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar, Reciclar). É também mostrado o estudo dos problemas ambientais, exemplificados nos lixões e centros de triagem. É exposta também a metodologia projetual focada no Ecodesign. No item 1.2.3. são abordadas as características dos conceitos de design para a montagem e desmontagem e no item 1.2.4., o objetivo foi o estudo dos elementos de junção e fixação, relatando os tipos de elementos de junção característicos.

### **1.2.1. Desenvolvimento sustentável**

Questão cada dia mais discutida na sociedade atual, o desenvolvimento sustentável está em pauta e leva a sociedade em geral na busca de um desenvolvimento ideal, que leve em consideração não apenas o fator econômico em detrimento de outros importantes segmentos da sociedade.

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas necessidades, não focando apenas nas questões ambientais. Essa definição por si só já está ultrapassada, pois coloca a situação de comprometimento para a futura geração, devendo não comprometer a capacidade da atual e futura geração. Mais amplamente, as políticas de desenvolvimento sustentáveis abrangem três áreas da política geral: econômica, ambiental e social. No suporte disto, diversos textos da ONU entre eles o “World Summit Outcome Document” (Wced, 1987), referem o "interdependente e mútuo reforço dos pilares" do desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento econômico, o desenvolvimento social e a proteção ambiental. Entre esses três fatores está o desenvolvimento sustentável, ilustrado na figura 8.



**Figura 8: Esquema do desenvolvimento sustentável. Figura adaptada de Wced (1987).**

Para Bygget (2007), um método para atingir o desenvolvimento de produto sustentável deve incentivar e auxiliar no desenvolvimento dos produtos que tenham como princípio a transformação da sociedade para a sustentabilidade. Os objetivos são: (i) identificação de problemas potenciais do presente ou dos produtos planejados causados por substâncias e atividades durante o ciclo de vida do produto, que são críticas no que diz respeito aos princípios para a sustentabilidade; (ii) orientação para encontrar soluções aos problemas potenciais por modificações do presente ou de produtos planejados, e (iii) estimulação de produtos novos e de idéias baseadas em aspectos da sustentabilidade.

Capra (2003) observa que uma comunidade sustentável é geralmente definida como aquela capaz de satisfazer suas necessidades e aspirações sem reduzir as probabilidades afins para as próximas gerações. Para este autor, esta é uma exortação moral importante, pois lembra a responsabilidade de transmitirmos aos nossos filhos e netos um mundo com oportunidades iguais as que herdamos.

Relacionando o Design e o Desenvolvimento Sustentável, pode-se detectar uma conexão importante, mostrada por Manzini (2002), o qual diz que o papel do Design pode ser sintetizado como a atividade que, ligando o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, faz nascer novas propostas que sejam social e culturalmente apreciáveis. Para este autor (2002), o Design pode apresentar quatro níveis fundamentais de interferência: o redesign ambiental do existente; o projeto de novos produtos ou serviços que substituam os atuais; o projeto de novos produtos/serviços intrinsecamente sustentáveis e a proposta de novos cenários que correspondam ao estilo de vida sustentável.

Um aspecto importante para os produtos sustentáveis é que estes devem ser bem-sucedidos. Como afirma Ljungberg (2007), um bom produto sustentável deve dar tanta satisfação quanto possível para o usuário. Do contrário, será mal-sucedido no mercado e apresentará uma falha econômica. Há estimativas de que quase 90% dos produtos bem

resolvidos tecnicamente não serão um sucesso no mercado por várias razões. Ao colocar produtos sustentáveis no mercado, é imprescindível informar às pessoas sobre se ele é considerado sustentável ou não e porque devem comprá-lo. Para este autor (2007), a produção sustentável era vista freqüentemente como um obstáculo para a maioria das companhias. Hoje muitas delas podem constatar os benefícios da produção ambiental, como a boa reputação obtida e maior economia usando o material reciclado. Durante as últimas décadas muitas empresas descobriram que a prevenção da poluição tornou-se economicamente benéfica.

Manzini (2002), por sua vez, considera que o produto deve ser projetado, respeitando, em todas as suas fases, o conceito de ciclo de vida. Considera-se o produto desde a extração dos recursos necessários para a produção dos materiais que o compõem (“nascimento”) até o último tratamento (“morte”) após o uso do produto. Todo esse processo é normalmente reagrupado em cinco fases, que esquematizam o ciclo de vida de um produto: pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte. A partir de tal análise é possível determinar que material é o mais viável ao longo do processo e como o material e a manufatura afetam o ambiente. Assim, o Design assume uma perspectiva sistêmica, passando do produto ao sistema-produto como um todo. Uma das tarefas para o desenvolvimento de novos produtos vai ser a de projetar o ciclo de vida total do produto, ou seja, projetar o Life Cycle Design (LCD).

Para Ljungberg (2007), em relação a Análise do Ciclo de Vida de (ACV), não há uma maneira 100% segura de comparar diferentes produções e métodos de reciclagem em relação a fatores ambientais. Existem seis etapas importantes envolvidas em uma avaliação de ACV: 1: Extração do material – 2: Manufatura. – 3: Estágio de empacotamento. – 4: Transporte de, por exemplo, material e o produto pronto. – 5: Estágio de uso do produto. – 6: Estágio da eliminação do produto. A avaliação torna mais fácil a comparação de diferentes materiais, métodos de manufatura, intensidade do serviço, etc., o que é de importância vital quando se desenvolve produtos sustentáveis.

Segundo Wenzel (1997), a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) define ACV como uma técnica para avaliar todas as entradas e saídas de um produto, de um processo ou de um serviço (inventário do ciclo de vida), avaliando os desperdícios associados, a saúde humana e as cargas ecológicas (avaliação do impacto) e interpretando e comunicando os resultados à avaliação (interpretação do ciclo de vida) durante todo o ciclo de vida dos produtos ou dos processos sob a revisão.

Busca-se mediante o Ecodesign o projeto de produtos adequados para a natureza, seja com materiais reaproveitáveis, recicláveis, seja com partes mais fáceis de identificar e de

se separar, tornando esta uma área cada vez mais significativa para o projetista de produtos. Agregar esta ferramenta ao Design desde as primeiras etapas de projeto garante a realização final de produtos ambientalmente corretos. Para a Análise do Ciclo de Vida (ACV), tem-se como eixo principal o Design para o Ambiente (Design for Environment), que engloba o Design para a Desmontagem (Design for Assembly), o Design para o Serviço (Design for Service), Design para a Reciclabilidade (Design for Recyclability), que retrata o Design para a Desmontagem (Design for Disassembly), exemplificado na figura 9.



**Figura 9: Design para o ambiente como eixo principal do Ecodesign. Figura adaptada de Kindlein (2006a).**

A ISO 14000 é uma norma que avalia as conseqüências ambientais das atividades, produtos e serviços de uma empresa, procurando atender à demanda da sociedade. Ela estabelece políticas e objetivos baseados em indicadores ambientais definidos pela organização que podem retratar necessidades desde a redução de emissões de poluentes até a utilização racional dos recursos naturais. É aplicada em atividades com potencial de efeitos nocivos ao meio ambiente e à organização como um todo (Scheldon, 1997). A Análise do Ciclo de Vida dos Produtos e a ISO 14000 que trata da Gestão Ambiental, são temas que estão interligados, posto que a ISO evidencia nas empresas que possuem esta normatização as suas diretrizes quanto à questão ambiental, revelando como a Gestão Ambiental está presente nas organizações, no âmbito do Ciclo de Vida dos Produtos produzidos e materiais consumidos, como mostra a figura 10.



Figura 10: Estratégias do Ciclo de Vida de um produto. Figura adaptada de Gobbi (2006).

O desenvolvimento de um processo sustentável para produtos bem-sucedidos pode também ser simplificado como uma corrente com ligações importantes (figura 11).



Figura 11: Corrente de um produto sustentável. Figura adaptada de Ljungberg (2007).

Os sete anéis da corrente da sustentabilidade, mostrados na figura acima, podem ser explicados como: Material= Minimizar o uso e tentar empregar materiais renováveis. Reduzir o consumo de energia durante o ciclo de vida do produto e evitar materiais tóxicos, etc.

Economia= O produto e o serviço devem ter o custo comparável com os produtos similares. Design= Projetar pensando no ambiente e no usuário do produto, como também na reciclagem. Mercado= Desenvolver e projetar produtos de acordo com as necessidades específicas do mercado e do grupo-alvo. Equitativo= É negociar equitativamente e qual é o impacto na comunidade local e global? Que condições de trabalho são empregadas? Tecnologia= Otimizar a extração de matéria-prima, a produção, o tempo de vida, qualidade e funcionalidade do produto. Ecologia= Eliminar o desperdício, as emissões e o impacto ambiental.<sup>1</sup>

### 1.2.2. Ecodesign

A técnica Ecodesign propõe uma nova estratégia para o desenvolvimento de produtos, associando o sistema de gestão ambiental aos materiais e processos de fabricação. Conforme Santos (2001), o Ecodesign é uma visão holística em que, a partir do momento que conhecemos os problemas ambientais e suas causas, passamos a influir na concepção, escolha dos materiais, fabricação, uso, reuso, reciclagem e disposição final dos produtos industriais. Para Kindlein (2002b), o Ecodesign busca, mediante a correta utilização e seleção dos materiais ou processos de fabricação facilitar de alguma maneira o reuso, a desmontagem e a reciclagem, diminuindo o desperdício e a poluição ambiental, promovendo a resolução do conflito entre o desenvolvimento econômico e as questões referentes à preservação da natureza.

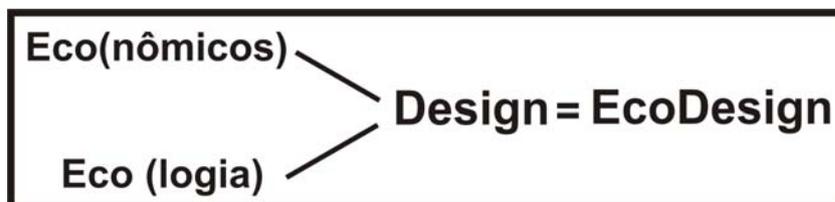
Já conforme Frazão (1995), o Ecodesign, na atividade de desenvolvimento de produtos, procura incorporar a variável ambiental desde a concepção, considerando o meio ambiente com o mesmo grau de importância da eficiência, estética, custo, ergonomia e funcionalidade. Já para Manzini (2002), Ecodesign é um modelo de Design orientado por critérios ecológicos. O termo sintetiza um vasto conjunto de atividades projetuais que tendem a enfrentar os temas postos pela questão ambiental partindo do redesign dos próprios produtos.

---

<sup>1</sup> A Internet cada vez mais se revela um campo de pesquisa para designers na questão da sustentabilidade. Alguns exemplos de bases de dados para a avaliação da carga ambiental e seleção dos materiais:

- [www.ecoscan.nl](http://www.ecoscan.nl). (TNO Industrial Technology – Product Development, HE Eindhoven, The Netherlands).
- [www.esm-software.com/mapp/](http://www.esm-software.com/mapp/) (ESM Software and ASM\_s Mat.DB databases, ESM Software Inc., USA).
- [www.plaspec.com/web/qwMain](http://www.plaspec.com/web/qwMain) (PLASPEC Materials Selection Database by Bill Communications Inc., USA).
- [www.polymer-search.com/plascams/](http://www.polymer-search.com/plascams/) (Plascams on-line plastic materials selection, Rapra Technology Ltd, England).
- [www.stn-international.de/stndatabases/databases/pdlcom.html](http://www.stn-international.de/stndatabases/databases/pdlcom.html) (PDLCOM by William Andrew Inc., USA).

Nas palavras de Karlsson (2006), a palavra Ecodesign tem origem nas raízes gregas para o “eco”; oikos: casa, lar. O vocábulo “Eco” relaciona-se a nosso ambiente vivo e às tarefas domésticas, e como o Ecodesign, tem uma similaridade com a economia e a ecologia (figura 12). Por isso o Ecodesign vem ao encontro dos objetivos das empresas, que é reduzir custos e materiais.



**Figura 12: Mapa Lingüístico do Ecodesign. Figura adaptada de Karlsson (2006).**

Segundo Karlsson (2006), o significado de “Eco” relaciona-se ao de “Natureza”, incluindo subsistemas antropogênicos. Conseqüentemente, Ecodesign pode ser interpretado como o projeto com uma inter-relação mais inteligente com a natureza. A habilidade para permitir o desenvolvimento sustentável é dependente de uma aptidão análoga de aprender para o futuro. Em decorrência, a metodologia do Ecodesign deve promover uma espiral de aprendizagem mais eficaz e deve ser interconectada ao desenvolvimento do conhecimento científico relacionado. O objetivo é criar soluções sustentáveis que satisfaçam às necessidades e aos desejos humanos.

Segundo Manzini (2002), Ecodesign é a atividade do design que visa a ligar o que é tecnicamente possível ao ecologicamente necessário, de modo a criar novas propostas culturalmente e socialmente aceitáveis. É a concepção de produtos que se mostrem respeitosos com o meio ambiente desde a fase da elaboração, passando pela utilização e pelo destino do resíduo gerado após o seu uso. O Ecodesign tem grande importância em todas as etapas do ciclo de vida dos produtos, influenciando diretamente na fase final deste ciclo, posto que considera os problemas ambientais nas seguintes atividades projetuais: a concepção de desmontagem, separação dos materiais e correta disposição final dos mesmos. Todos os diversos produtos assim projetados terão um maior valor agregado, inclusive no final de sua vida útil, o que será relevante para o sucesso da completa separação e reciclagem dos materiais, evitando a disposição inadequada de resíduos produzidos diariamente.

Os sistemas que unem as diferentes partes de um produto, chamados elementos de junção, são fundamentais para minimizar o problema de desmontagem. O chamado DfD (*Design for Disassembly*/Design para a Desmontagem) também é condição necessária para atingir esta meta, pois facilita a desmontagem e por fim a reutilização, o reprocessamento e a

reciclagem. Elementos de junção eficazes facilitam essa desmontagem, tornando mais atrativa sua prática, principalmente em centros de triagem, que são os maiores envolvidos no destino e separação dos componentes de um produto.

Segundo Kindlein (2002b), para um projeto de um determinado produto visando o desenvolvimento sustentável, pode-se utilizar uma junção que envolva princípios que facilitem a montagem e desmontagem, ampliando a capacidade de produção e diminuindo o tempo de produção e erro humano na montagem, minimizando assim também os custos. Mantendo-se com isso uma característica do Ecodesign, que é o reaproveitamento dos materiais e assim diminuindo a agressão ao meio ambiente.

Como caminho para desenvolver novas ferramentas de apoio aos designers, mostrando a importância do uso do Ecodesign para a projeção de produtos, o Laboratório de Design e Seleção de Materiais/UFRGS desenvolveu um CD-ROM intitulado Ecodesign (figura 13). Nesta pesquisa realizada pelo LdSM junto a centros de triagem foram classificados os elementos de junção que facilitam e/ou dificultam a desmontagem (Kindlein, 2006b).



**Figura 13:** Tela inicial do CD-ROM: Ecodesign desenvolvido pelo LdSM. Fonte: Kindlein (2006b).

De toda atividade humana, seja ela de que natureza for, resultam sempre materiais diversos. O constante crescimento das populações urbanas, a forte industrialização, a melhoria no poder aquisitivo dos povos de uma forma geral, vêm acelerando a geração de grandes volumes de resíduos sólidos, principalmente nas cercanias das grandes cidades. Aqueles considerados não-reutilizáveis eram chamados, até um passado recente, de lixo.

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são definidos como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhorar a tecnologia disponível.

Segundo Navarro (2001), a previsão para os próximos 30 anos é de um aumento de 3 bilhões de habitantes, chegando a um total de 9 bilhões de pessoas vivendo na Terra. Esta explosão populacional implica um crescente aumento do uso das reservas naturais do planeta, da produção de bens de consumo e, inevitavelmente, da geração de resíduos sólidos. Ainda de acordo com Navarro (2001), o advento de materiais e produtos não-degradáveis ou não assimilados pelo ambiente, pelo menos por um tempo, uma faceta do século 20, originou, além da grande quantidade de lixo produzida diariamente pelas pessoas, os lixões, aterros sanitários ou o lixo espalhado pelas vias urbanas e a incineração ao ar livre, como é mais comum na maioria dos países.

Os resíduos sólidos, segundo Grippi (2001), nada mais são do que matéria-prima fora do lugar. A população não colabora com a limpeza da cidade, pois costuma acreditar que ruas e praças são terra de ninguém, não têm dono. Esta é uma das razões pelas quais Grippi (2001) considera o problema dos resíduos uma questão mais cultural e social do que técnica.

Navarro (2001) esclarece que, de uma forma simples, a reciclagem envolve a conversão do lixo em algo utilizável e que possa ser comercializado. A reciclagem compreende pelo menos três etapas: coleta e separação, revalorização e transformação. Destacando o âmbito legal a reciclagem tem sido impulsionada pela criação de várias leis e normas legais em diversos países, impondo restrições ao uso e manejo de recursos não-renováveis ou que demandam muito tempo para estarem aptos à produção de energia ou matéria-prima. Há quatro razões que reforçam a importância da reciclagem, ou seja, a razão ambiental, de saúde pública, econômica e legal.

Pento (1999) argumenta que na última década os fabricantes de produtos de metal, especialmente fabricantes de automóveis, tentaram agregar a reciclabilidade a seus produtos. As escolhas de materiais e a seleção de produção e de métodos de montagem têm sido alteradas para facilitar a desmontagem após o uso e para melhorar a capacidade de reuso das partes e dos materiais desmontados. Henstock (1992) ressalta que quando a reciclabilidade se

transforma num fator de decisão de Design e manufatura, esta produzirá soluções comuns, que não podem ser ótimas quando se consideram apenas fatores técnicos e econômicos. Design para a reciclabilidade (Design for recyclability) torna o produto mais fácil para recondicionar, de modo que seu reuso seja econômico, o que por sua vez reduz a quantidade de resíduos gerados no consumo - recuperação - ciclo de reuso.

Segundo Emery (2002), hoje com o aumento da consciência pública e de pesquisas com muitas implicações ambientais, a reciclagem dos metais reveste-se de grande importância devido a várias razões, entre elas a incineração e o aterro, que produzem contaminação do ar e dos lençóis freáticos. Outro fator significativo é que a reciclagem é extremamente eficiente energeticamente. Por exemplo, na produção de uma tonelada de cobre de minério virgem consome aproximadamente 116 Gigajoules (GJ) de energia, enquanto que do cobre de sucata este é reduzido substancialmente a aproximadamente 19 GJ por tonelada. O uso em grande escala de alguns elementos de metal pode oprimir as fontes preliminares existentes. A reciclagem reduziu a necessidade de extrair matéria-prima virgem e isto evitou a destruição do ambiente natural.

A reciclagem, na opinião de Gonçalves (2002), possui todas as características de um negócio lucrativo, com reflexos na realização de um bem comum, utilização de mão-de-obra amplamente abrangente, ou seja, desde aquela sem qualificação até a de formação acadêmica mais graduada, além de incentivar a cooperação da comunidade. Estes procedimentos são formas de praticar a cidadania, pois de um lado incentivam uma cooperação associativa das comunidades de maneira harmoniosa e, de outro, conscientiza o cidadão de que é de sua inteira responsabilidade preservar o meio em que vive de forma sustentável.

Ljungberg (2007) observa que as etapas em um processo de ACV terminam com reciclagem e utilização final do material no produto. A seleção dos materiais hoje deve ser dirigida à futura habilidade de reciclar um produto a fim de encontrar-se com as demandas do futuro. A reciclagem pode ser feita de maneiras diferentes, tais como:

Reciclagem energética: O material é queimado e a energia é empregada para o aquecimento. Reciclagem do material: O material é refundido ou reformado a fim de fabricar novos produtos. Reusados: O produto ou partes dele podem ser usados outra vez, às vezes após recondicionamento. Os produtos ou as peças de reposição recondicionadas são vendidos a um preço mais baixo do que uma parte nova, o que é típico de mercados de segunda mão (peças usadas de carro, etc.). Quebrados: Os materiais orgânicos naturais, muitos polímeros sintéticos e alguns metais podem ser quebrados naturalmente no meio ambiente ou por métodos químicos para se tornarem produtos ambientalmente amigáveis. Estes materiais são

freqüentemente referidos como materiais degradáveis ou biodegradáveis. Os processos típicos são corrosão, compostagem e putrefação.

Cerca de R\$ 10 bilhões é o potencial do mercado brasileiro de reciclagem. Apenas 11% do lixo urbano gerado no Brasil é reciclado anualmente. Em 2005 96,2% da produção nacional de latas foi reciclada, desempenho superior ao dos EUA (51%). Cerca de 2 milhões de toneladas de papel (49,5% do mercado) retornaram à indústria como matéria-prima. A produção brasileira de embalagens de vidro chegou a 890 mil toneladas em 2005, e destas 46% foram reutilizadas. Dos 53,4 milhões de unidades de embalagens de vidro fabricadas, o Brasil reciclou 58%, enquanto nos EUA o índice chega a 73% (Pinheiro, 2007).

Segundo Gaspar (2007), o paulistano gerou em 2005 uma média de 0,82 quilo de lixo por dia. Em 2006, o volume saltou para 1,29 quilo, um aumento de 57,3%. No período a população cresceu 10% e o volume de lixo produzido por habitante avançou mais de cinco vezes esse percentual.

A produção de resíduos sólidos nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável, pois ocorre diariamente em quantidades e composições que variam de acordo com a população, seu nível de desenvolvimento econômico e seus diferentes status sociais. Para contornar este problema uma das alternativas com maior sucesso social, econômico e ambiental é a coleta seletiva.

A coleta seletiva de resíduos sólidos é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis tais como: papéis, plásticos, vidros, metais e “orgânicos”, previamente separados na fonte geradora. Esse sistema estimula a cidadania, permitindo maior flexibilidade, uma vez que pode ser feita em pequena escala e ampliada gradativamente, oportunizando articulação com catadores, empresas, escolas, etc, reduzindo, assim, o volume de resíduos que deve ser disposto nos aterros. O sucesso da coleta seletiva está diretamente associado aos investimentos feitos para sensibilização e conscientização da população.

No Brasil, várias iniciativas de coleta seletiva já existem. De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2007) - 237 municípios contam com algum programa de coleta seletiva no Brasil, destacando - se os Estados de São Paulo, com 84 municípios; Rio Grande do Sul, com 34; Santa Catarina e Paraná, com 24 municípios cada, e Minas Gerais, com 20 municípios. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, realizada pelo IBGE, revela uma tendência de melhora da situação de destinação final dos resíduos coletados no país nos últimos anos. Em 2000 o lixo produzido diariamente no Brasil chegava a 125.281 toneladas, e destas 47,1% destinavam -se a aterros sanitários; 22,3 % a aterros controlados e apenas 30,5 % a lixões. Ou seja, mais de 69 % de todo o lixo coletado

no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários e/ou controlados (Cempre, 2007).

De acordo com o Departamento Municipal de Limpeza Urbana - DMLU (2007) do município de Porto Alegre (RS) 100% da população da cidade é atendida com a coleta seletiva periódica, com este lixo sendo revertido para Unidades de Triagem situadas na periferia da cidade. Esses resíduos, separados pela população, transformam-se em sustento e resgate social para comunidades carentes, além de auxiliar na preservação do meio ambiente. O caminhão do DMLU coleta os resíduos recicláveis nos bairros e os encaminha para as Unidades de Triagem de Porto Alegre. Nesses locais as pessoas fazem a seleção dos resíduos (plásticos, papel, embalagens longa vida, vidro, isopor, garrafas plásticas), prensam, agrupam em fardos e vendem esses materiais para as indústrias de reciclagem. O dinheiro da comercialização é dividido entre os integrantes das Unidades de Triagem, que são administradas sob a forma de associações. Há 14 Unidades de Triagem de resíduos recicláveis em Porto Alegre.

Atualmente os resíduos sólidos domiciliares de Porto Alegre saem da Estação de Transbordo da Lomba do Pinheiro e são levados para a Central de Resíduos Recreio, aterro sanitário de propriedade da empresa Soluções Ambientais Ltda (SIL). Esse aterro está localizado no município de Minas do Leão, distante 113Km de Porto Alegre (DMLU, 2007). Este último dado, que mostra o aterro de Porto Alegre localizado distante 113 Km da Capital revela claramente os erros que foram cometidos no passado e que ainda se perpetuam, com o grande crescimento populacional e o despejo em lixões dos resíduos.

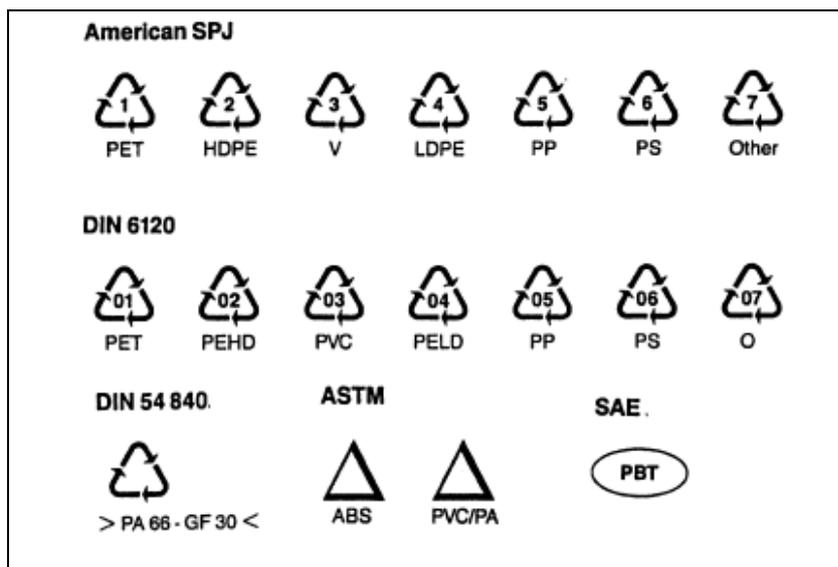
Para conhecer o problema de perto na questão dos Centros de Triagem, foi organizada uma visita a um desses Centros localizado em Porto Alegre (figura 14). Esta foi organizada na disciplina de Ecodesign, curso de Design da UFRGS, durante o estágio de docência. Esta visita teve como objetivo demonstrar a realidade existente nos Centros de Triagem aos alunos da disciplina. Muitas vezes a realidade que nos cerca passa despercebida, por isso precisamos ver com uma maior atenção e muitas vezes sofrer um “choque” para assim ter a real noção do problema existente hoje. Um dos graves problemas é o grande volume de lixo produzido, do qual apenas uma pequena quantidade é reciclada, reutilizada ou reusada. Isto se deve a um dos grandes problemas apresentados aos alunos durante a visita, ou seja, a dificuldade de separação e identificação dos componentes e materiais de um produto, seja ele eletrônico ou não.



**Figura 14: Fotos do Centro de Triagem visitado pelo curso de Design/UFRGS. Fonte: LdSM (2007).**

Para Gray (2007), a sustentabilidade tornou-se tema de destaque na Inglaterra nos últimos anos e em vários países atitudes são tomadas em direção a uma sociedade sustentável. Segundo este autor (2007), a remanufatura (o processo de retransformar produtos para a qualidade de novos e com garantia equivalente à de um novo) está recebendo atenção no contexto da sustentabilidade e oportunidades de negócio, com margens de lucro quase dobradas e significativas reduções na emissão de gás carbônico. Além disso, a remanufatura pode empregar apenas 15% da energia usada na manufatura, reutilizar materiais e criar mercado para empregos qualificados.

Conforme Ljungberg (2003a), hoje os produtos feitos de plástico são marcados geralmente com símbolos para a informação sobre o tipo de polímero empregado no produto. Alguns fatores importantes a pensar ao usar o conceito de DfR - Design para a Reciclabilidade - nesta questão incluem: não misturar materiais diferentes em um mesmo produto se não for necessário; etiquetar cada peça para a fácil identificação; o produto deve ser projetado para a desmontagem fácil, de modo que as peças diferentes possam facilmente ser classificadas para a reciclagem, queima ou disposição final; um produto com um bom Design feito para a reciclagem pode ser usado como publicidade para a empresa. DfE - Design para o Meio Ambiente - é uma maneira fabricar produtos com materiais amigáveis ambientalmente. É importante ocorrer baixa influência no ambiente durante o ciclo de vida de um produto. Isto inclui todas as etapas de fabricação de um produto para reciclar, queimar ou sua deposição final. Em relação à identificação dos plásticos, há diversos símbolos padrões, como mostra a figura 15.



**Figura 15: Exemplos de marcas de identificação para polímeros de acordo com vários padrões. Fonte: Ljungberg (2003a).**

Segundo ainda Ljungberg (2003a), a disponibilidade dos materiais no futuro deve também ser considerada. Para lidar com a falta de determinados materiais no futuro ou para impedir a ascensão futura do preço, os seguintes três pontos devem ser levados em conta:

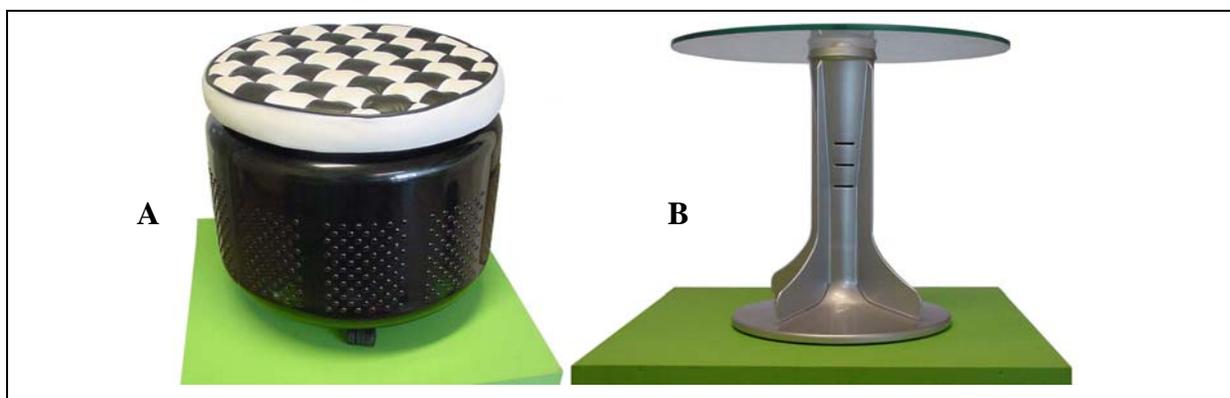
a. Projeto de materiais eficientes. Em muitos produtos a superfície é o interesse. Em vez de empregar grande quantidade de materiais, pode ser possível usar camadas finas do material requerido.

b. Substituições para os materiais compósitos. O uso de um material compósito pode reduzir a quantidade de um material caro, porém, por outro lado, o uso de materiais compósitos podem ser prejudiciais ao meio ambiente, principalmente na questão da separação de materiais.

c. Design para a reciclagem. Reciclagem de materiais caros é uma atividade, que certamente será muito importante no futuro. O desenvolvimento de materiais novos é feito principalmente para atender uma necessidade. Por exemplo, os motores de combustão necessitam materiais que podem suportar altas temperaturas, aviões pedem materiais leves, a indústria de embalagem necessita materiais mais baratos e mais amigáveis ambientalmente. Dessa forma, os materiais inspiraram inovações, isto é, o desenvolvimento de produtos novos originados de materiais novos é uma demanda interessante para o futuro.

Como forma de exercitar o conceito dos 3Rs, foram introduzidos diversos exercícios na disciplina de Ecodesign no curso de graduação e mestrado em Design na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Um dos trabalhos, inspirado em um projeto semelhante desenvolvido no Canadá (Projeto Metamorphose, 2007), foi a reutilização de algum material

oriundo de um resíduo ou produto descartado para a realização de um outro produto. A proposta solicitava aos alunos que projetassem um produto com a reutilização de materiais que seriam usualmente depositados no lixo. Destes trabalhos citam-se dois realizados no mestrado em Design pelo grupo dos componentes Ana Cláudia Vettoretti, Marcos Bernardo Lamb e Álvaro Roberto Scur. Ambos os trabalhos tratam da reutilização de componentes de uma máquina de lavar roupa. O primeiro é um banco com assento estofado reutilizando o tambor interno da máquina, utilizando rodas para permitir o seu deslocamento, figura 16a. O segundo é um projeto de reuso do agitador plástico da máquina de lavar para ser o suporte de uma mesa com tampo de vidro, figura 16b. Estes projetos mostram que é possível ter idéias simples, mas ao mesmo tempo sofisticadas, para amenizar os problemas de projeto e de resíduos das grandes cidades.



**Figura 16: Projetos dos alunos do Curso Mestrado em Design/UFRGS. Fonte: PGDesign (2007).**

A pressão da sociedade por produtos e sistemas ecologicamente corretos tem impulsionado novas legislações ambientais, principalmente na Europa. De acordo com Turra (2002), na Europa muitos fabricantes são obrigados a responder sobre o destino final dos seus produtos, em parte devido ao desenvolvimento das legislações de responsabilidades do fabricante e ao alto nível de conscientização ambiental existente naqueles países.

Segundo Ljungberg (2007), por volta dos anos 90, o Conselho de Negócios do Mundo para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD - World Business Council for Sustainable Development) emitiu uma declaração sobre a conexão entre a proteção ambiental, o crescimento econômico e a satisfação das necessidades humanas. A declaração conduziu ao desenvolvimento da ISO 14001, que foi liberada em 1996 pela Organização Internacional de Standardização (ISO) com sede na Suíça.

Para Emery (2002), estima-se que os equipamentos eletrônicos ocupam atualmente aproximadamente 4% dos resíduos municipais e está aumentando em 16% a 28% a cada cinco

anos. Estes equipamentos são também uma das fontes conhecidas de metais pesados e de poluentes orgânicos no resíduo municipal.

Segundo Gehin (2007), a responsabilidade prolongada do produtor (Extended Producer Responsibility - EPR) é um princípio da política para promover melhorias ambientais totais do ciclo de vida de sistemas do produto, estendendo as responsabilidades do fabricante às várias etapas do ciclo de vida total do produto, e em especial ao seu “recolhimento”, reciclagem e eliminação final. A responsabilidade prolongada do produtor (EPR) é acompanhada por meio de instrumentos administrativos, econômicos e informativos da política.

Para Gehin (2007), a reciclabilidade dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos – WEEE, estimula designers a desenvolver produtos com o foco na reciclagem. O Japão está ligeiramente adiantado comparado à União Européia e aos EUA, começando já a perseguir agressivamente a remoção da ligação no processo de manufatura do componente eletrônico. O Japão introduziu também a lei do dispositivo do consumidor (Consumer Appliance Law), que exige a reciclagem de um grande número de artigos elétricos domésticos. Estas, então chamadas de Legislações EPR, tornam os produtores responsáveis pelos custos da coleta, do tratamento e da recuperação de seus produtos. Além disso, estas regras insistem no fato de que os produtos têm de ser projetados de modo a reduzir seu impacto ambiental, notadamente com o aumento da taxa de reciclagem. Assim, a tarefa dos designers torna-se importante.

Uma metodologia proposta por Platcheck (2006), em conjunto com o LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais/UFRGS, para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, é composta de quatro fases distintas: Fase da Proposta, de Desenvolvimento, de Detalhamento e de Comunicação. A figura 17 mostra que na fase de projeção são refinadas as principais etapas do Ecodesign para o desenvolvimento de produtos. É nesta fase que se dá a projeção do objeto em estudo por meio da síntese dos dados analisados.

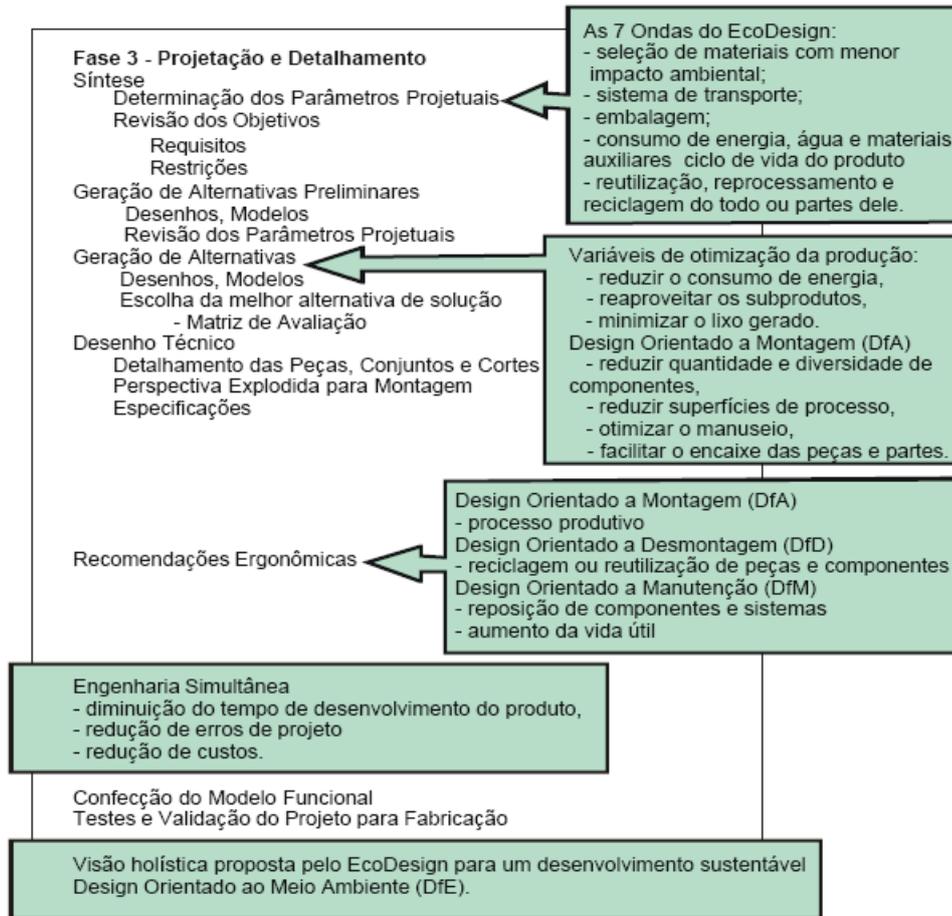


Figura 17: Inserção das variáveis ambientais na Fase de Projeto e detalhamento. Fonte: Platchek (2006).

### 1.2.3. Design para a montagem e desmontagem (DfA e DfD)

Nas palavras de Puente (2001), hoje em dia a reciclagem de produtos industriais é um importante tema. As indústrias necessitam para o Design dos seus produtos que sejam reciclados em respeito ao ambiente. Neste assunto, a desmontagem dos produtos é importante para conseguir uma correta reciclagem, pois para isto é necessário separar os diferentes componentes. A desmontagem dos produtos também pode ser usada para tarefas de manutenção, isto é, a desmontagem e subsequente remontagem de uma máquina.

Segundo Ljungberg (2007), nas últimas décadas muitos conceitos novos foram criados para chegar ao desenvolvimento de produtos modernos, como também à produção ambientalmente amigável, tal como o DfE (Design para o ambiente/*Design for the Environment*). DfE pode ser entendido como um conceito amplo e geral, promovendo um Design Sustentável. Alguns exemplos de estratégias comuns para alcançar um Design Sustentável são mostrados na tabela 5.

Tabela 5: Conceitos ligados ao Desenvolvimento Sustentável. Figura adaptada de Ljungberg (2007).

Conceito	Características
<b>Ecodesign</b>	É conhecido também como o Design para o Ambiente (DfE).
<b>Design modular</b>	O reparo e a mudança fáceis dos componentes são importantes. Por exemplo, peças em máquinas copadoras e em computadores.
<b>Design para a substituição do material</b>	Substituição dos materiais com impacto ambiental elevado por materiais mais sustentáveis.
<b>Design para a redução de desperdício na fonte</b>	Reduz a quantidade de material nos termos do produto mesmo e na embalagem.
<b>Design para Desmontagem (DfD)</b>	Um produto deve ser fácil de desmontar, como, snap-fits, fechamentos mecânicos, etc., a fim de reciclar os materiais.
<b>Design para Reciclagem (DfR)</b>	DfR foca na máxima habilidade de reciclagem. Materiais diferentes não devem ser misturados se não for necessário e as peças diferentes devem ser etiquetadas para facilitar no momento da separação.
<b>Design para a disposição</b>	Assegura que as peças ou os materiais não-recicláveis possam ser dispostos de maneira ecológica.
<b>Design para a reusabilidade</b>	Foca na possibilidade de reuso de diferentes componentes em um produto. As peças poderiam ser limpas e reusadas.
<b>Design para o Serviço (DfS)</b>	O Design de um produto é feito a fim de obter o fácil serviço pós-venda.
<b>Design para redução da substâncias</b>	As substâncias indesejáveis, que são usadas durante o ciclo de vida dos produtos, devem ser minimizadas.
<b>Design para recuperar energia</b>	O Design é feito com os materiais apropriados para queimar com um mínimo de emissões tóxicas ou prejudiciais.
<b>Design para a extensão da vida</b>	Reduzir os resíduos por meio do prolongamento da vida dos componentes ou produtos é o alvo desta estratégia.

Conforme Dieter (1997), se o material dever ser recuperado e reusado no fim da vida útil de um produto, o Design para a Desmontagem (Design for Disassembly) pode ser a chave para uma recuperação economicamente praticável. Fato concordado por Kindlein (2002b), relata que o chamado DfD (Design para a Desmontagem) é uma das condições necessárias para atingir a meta da sustentabilidade, pois facilita a desmontagem e por fim a reutilização, o reprocessamento e a reciclagem. Elementos de junção eficazes tendem a facilitar essa desmontagem, tornando mais atrativa sua prática, principalmente em centros de triagem, que são os maiores envolvidos no destino e separação dos componentes de um produto.

Como visto, os elementos de junção são empregados como fator diferencial no quesito desmontagem dos produtos. Segundo Kindlein (2003), o caminho correto para o desenvolvimento de ecoprodutos passa pela escolha de elementos de união que proporcionem uma relação direta com o Design for Assembly (DfA) - Design para Montagem, que visa a facilitar o processo construtivo do produto; com o Design for Service (DfS) - Design para Serviço, cuja finalidade é a sustentabilidade durante o período de vida útil do produto, e com o Design for Disassembly (DfD) - Design para Desmontagem, que reflete a consciência de

uma tecnologia limpa visando à facilidade no processo de descarte do produto na fase final do seu ciclo de vida.

Ljungberg (2003) considera que o DfS (Design para o Serviço) é importante para aqueles produtos que necessitam serviço de tempos em tempos ou o reparo, como máquinas fotocopadoras e carros. É importante evitar a ligação “permanente”, como adesivos, solventes e processos de derretimento, que podem impedir o fácil serviço. As dobradiças, as braçadeiras, os parafusos e os parafusos vivos são usados preferivelmente, entretanto os parafusos com as linhas feitas diretamente no polímero têm uma vida restrita. O máximo aproximadamente de 5 montagens e desmontagem é recomendado na maioria dos casos.

Para Tanskanen (2006), há diversas tecnologias diferentes que podem ser aplicadas para desmontagem, sendo uma delas a manual. Este tipo de desmontagem é o mais adotado nos Centros de Triagem, mostrando a dificuldade da separação dos componentes de um produto e assim evidenciando a importância de projetos que busquem conceitos do DfD dentro da metodologia projetual.

Com o objetivo de pôr em prática estas idéias de projetos ambientalmente corretos tendo a premissa do DfA e do DfD, no curso de Design da UFRGS, na Disciplina de Ecodesign, foram desenvolvidas atividades práticas, intituladas de “Design for Disassembly/Design para a Desmontagem”. Este era o momento de os alunos realizarem a desmontagem de produtos, com o intuito de perceber na prática a dificuldade desse processo e a identificação dos componentes e materiais existentes de um produto (figura 18). Os estudantes também eram incentivados desde o primeiro semestre a pensarem todo o ciclo de vida do produto. Neste caso, o produto escolhido foi um compressor de aquário, em que os alunos, divididos em grupos de 3, fizeram toda a separação das partes do produto.



**Figura 18:** Fotos da aula de DfD (Design for Disassembly/Design para a Desmontagem). Fonte: LdSM (2007).

Durante o processo de desmonte foi analisada a sua dificuldade ou facilidade, fazendo uma analogia com a montagem, focando na identificação dos elementos de junção de componentes e materiais dos produtos. Nestas aulas práticas observou-se que os alunos sentiam-se entusiasmados e persistentes na tentativa de desmontar todas as partes do produto, sempre tendo a preocupação de identificar os materiais e componentes e catalogá-los. As aulas práticas de desmontagem de produtos permitiram que os alunos compreendessem na prática a dificuldade de separar as partes e componentes de um produto e a identificação dos materiais presentes em um Centro de Triagem. As dificuldades decorrentes mostram a importância em conceber produtos com a preocupação ambiental (ambientalmente corretos), buscando o Desenvolvimento Sustentável.

Por meio do Design For Assembly (DfA) e Design For Disassembly (DfD), os elementos de junção desempenham função primordial no Design de Produto, permitindo que este possa ser reciclado, reutilizado ou descartado, minimizando a agressão ao meio ambiente no fim do seu ciclo de vida. Esta possibilidade agrega valor ao produto, no que se refere à velocidade de produção (montagem), na facilidade de reciclagem e reutilização (desmontagem), proporcionando uma produção limpa, com economia de energia e redução de resíduos, otimizando assim o ciclo e o tempo de vida do produto.

#### **1.2.4. Elementos de junção e fixação**

O grande problema na área de projeto focado ao Ecodesign é em relação aos elementos de junção/fixação, ou seja, como as partes do produto serão montadas e desmontadas. Isto implica tanto a produção como o destino final do produto. Estes elementos são a grande preocupação por parte dos designers. Quais materiais são mais adequados? Que tipo de junção é boa para este tipo de produto? Qual o custo? Na montagem em fábrica o elemento está bom, mas e no final de seu ciclo de vida, ele está adequado? Esta é a melhor solução? E assim por diante. Os elementos de junção então tornam-se vitais em um projeto, pois para reusar, remanufaturar ou reciclar um produto, na primeira etapa é feita uma triagem do lixo por tipos de materiais e na etapa intermediária os materiais são separados e preparados para os processos de transformação em novos produtos.

Segundo Kindlein (2006b), os elementos de junção são os sistemas que unem as diferentes partes de um produto. Estes são fundamentais para minimizar o problema da separação dos diferentes materiais que compõem um produto, que muitas vezes se revela

inviável ou até impossível, fazendo com que o reuso e/ou reaproveitamento se torne um problema de difícil solução e com grande impacto para o ecossistema. Para este autor (2006b), um dos grandes desafios que deve ser resolvido pelos designers em um novo projeto é como fazer a união entre os elementos, sistemas e sub-sistemas que compõem um produto industrial. Este desafio para o Design é um estímulo para a busca de novas soluções.

Ainda segundo Kindlein (2002b), durante o período do Art Nouveau, caracterizado pela exploração das mais variadas formas orgânicas, observou-se o surgimento de novas técnicas de junção. O desenvolvimento destes novos métodos possibilitou a exploração destas formas, utilizando o vidro e o ferro fundido, que estavam entre os materiais mais empregados na época. Este autor (2002b) argumenta que em 1950, com a revolução dos plásticos, começou a busca de meios de unir os polímeros aos metais. Com o desenvolvimento tecnológico, houve um grande aumento de oferta de materiais e processos, o que obrigou o investimento em desenvolvimento de tecnologia para a junção destes materiais. Materiais colados, rebitados, parafusados e costurados foram largamente utilizados nos modelos de sofás mais ousados produzidos durante a década de 70. Kindlein (2003) explica que os rebites, os parafusos e as colagens como elementos de junção foram largamente utilizados nos produtos industriais desde então.

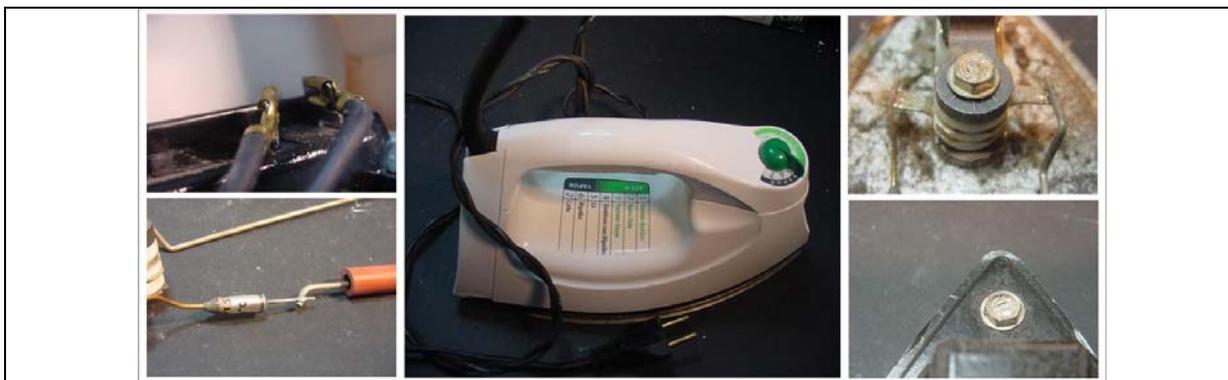
Este autor (2003b) alerta que, porém, que com a tendência atual de miniaturização dos produtos e maior exigência do consumidor em relação ao acabamento e a sua responsabilidade ambiental, tornou-se notória a constante evolução destas formas de união para elementos mais práticos, de rápida montagem e desmontagem, e que respondam com lucro às indústrias, por meio da redução dos custos industriais.

Conforme Dieter (1997), junção é uma atividade importante da manufatura empregada nas peças de montagem para unir componentes. As partes individuais de um componente chamam-se junções. Uma junção pode ser provisória ou permanente. A seleção de um Design apropriado para unir as peças é baseada em uma compreensão simultânea de diversas considerações relacionadas ao produto e ao processo de união.

Kindlein (2003) considera que neste cenário os elementos de junção são usados como fator diferencial na desmontagem dos produtos. Os elementos de junção, sendo eficazes, tendem a facilitar esse processo, tornando mais atrativa sua prática, principalmente em centros de triagem, que são os maiores envolvidos no destino e separação dos componentes de um produto.

Devido a essas pertinentes preocupações, o Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS analisou os principais elementos de junção presentes nos produtos

descartados nos Centros de Triagem da Região Metropolitana de Porto Alegre, figura 19. A partir dos dados obtidos foi possível estudar cada caso, classificando e catalogando os diferentes elementos de junção de acordo com sua funcionalidade e seu comportamento no processo de montagem/desmontagem (Kindlein, 2006).

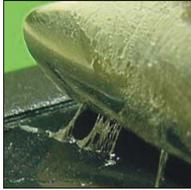


**Figura 19: Alguns elementos de junção encontrados no Ferro de passar roupa. Fonte: Kindlein (2006b).**

Estes dados foram catalogados em um CD-ROM intitulado CD-Ecodesign, anteriormente mostrado na figura 13, com o objetivo de divulgar estes elementos de junção e assim se constituir um auxílio para as ferramentas de projeto para os designers que buscam a criação de produtos com elementos que priorizam a sustentabilidade.

Os 13 Termos Específicos de elementos pesquisados pelo LdSM, com o detalhamento do princípio de cada um está descrito na tabela 6:

Tabela 6: Guia de Elementos de Junção. Adaptada de Kindlein (2002b).

Guia de Elementos de Junção	Ex. Ilustrativo	Símbolo
<p><b>Adesão</b></p> <p>Este princípio de junção requer o uso de material que permita o processo de colagem. As substâncias colantes podem ter diversos graus de poder de adesão, conforme a necessidade do usuário, podem ser permanentes ou temporárias. O problema deste meio de união é a geração de impurezas e a contaminação dos materiais, impossibilitando a reciclagem/reuso dos mesmos. Ex: Colagem, etc.</p>		
<p><b>Amarração</b></p> <p>Os elementos são unidos por meio de fios ou fitas que são enrolados, envolvendo ou transpassando as superfícies a serem unidas. A união é limpa e de fácil separação, não havendo contaminação dos materiais. Ex: Costura, Nó, Atar, etc.</p>		
<p><b>Atrito</b></p> <p>Consiste em fixar um elemento a outro somente com a força resultante do atrito entre duas superfícies. Ex: Fricção, etc.</p>		
<p><b>Deformação</b></p> <p>Este princípio está relacionado com a mudança na forma da estrutura original, pois o material é deformado plasticamente para provocar a fixação das partes. É um tipo de fixação rígida, na maioria dos casos não permite graus de liberdade. Ex: Distorção, Amassamento, Remanche, Dobra, Virola, Recalcamento, Repuxamento, Prensagem, Forjamento, etc.</p>		
<p><b>Engate</b></p> <p>São uniões feitas por intermédio do acoplamento de uma peça em outra provocando a fixação entre elas. Apresenta dois graus de interferência pois só existe um sentido para o desengate, caso as solicitações se dêem em sentido diverso do desengate, pode ocorrer seu rompimento com possível quebra do material. A função maior deste princípio de junção é a de permitir uma maior facilidade para a separação dos componentes do engate. Ex: Acoplador, Encaixe, Gancho, Gato, Ligação, Luva, Prisioneiro, etc.</p>		
<p><b>Fusão</b></p> <p>O princípio da fusão consiste em unir peças por meio da solidificação de um ou mais materiais; é um tipo de união permanente, não permitindo grau de liberdade. Este princípio é bastante utilizado, principalmente na área metalúrgica, sendo conhecido com soldagem. A fusão de um material como elemento de junção não segue os conceitos do Ecodesign na maioria das situações, uma vez que este sistema dificulta a desmontagem e/ou separação dos materiais do produto. Este sistema de união só se aplica ao Ecodesign quando as peças envolvidas são constituídas do mesmo material, podendo assim serem recicladas. Ex: Fundição, Derretimento, Soldagem, etc.</p>		

<p><b>Interferência</b></p> <p>Para que ocorra o princípio da interferência são necessárias diferenças de dimensões nas áreas de junção. A peça externa é chamada de "furo" e a peça interna é chamada de "eixo"; a dimensão do eixo deve ser maior do que a dimensão do furo antes da montagem. Portanto para que se realize este princípio de junção é necessário aquecer o furo e/ou resfriar o eixo, ou ainda pode-se montar esta junção por pressão do eixo no furo, provocando interferência entre as áreas de contato impedindo que se solte. Ex: Pressão, etc.</p>		
<p><b>Magnetismo</b></p> <p>Este princípio tem a característica de fixar por meio da atração magnética. Existem os ímãs naturais e os induzidos, que podem ser controlados, proporcionando uma união limpa que não gera resíduos nem contamina os materiais. Ex: Imantar, Indução, Atração, Magnetismo, Eletroímã, etc.</p>		
<p><b>Memória</b></p> <p>Ocorre por efeito da rigidez de um material, isto é, quando a junção se realiza por meio da pressão exercida sobre um sistema, esta pressão se dá por intermédio da tendência que o material tem em voltar a sua forma original (memória). A diferença de rigidez entre os materiais possibilita o controle da força exercida sobre o sistema, desta maneira podemos determinar uma pressão limite para o conjunto. Ex: Mola, Arruela de Pressão, Anel Elástico, Elasticidade, etc.</p>		
<p><b>Preenchimento</b></p> <p>Neste princípio ocorre a união mediante a ocupação dos espaços ao redor do produto a ser fixado. Requer a utilização de material com características de fluidez adequada para tal fim. Ex: Encher, Ocupar, Obturar, etc.</p>		
<p><b>Rosqueamento</b></p> <p>O rosqueamento consiste em fixar as partes por intermédio de espiral que chamamos de rosca. Devem existir normalmente duas peças com rosca para que possamos dar aperto, a peça externa é conhecida como porca e a interna chamamos de parafuso. É um método de junção não permanente, resistente à tração. Possui um sentido de aperto (torque). Ex: Rosca, Parafuso, Porca, etc.</p>		
<p><b>Sucção</b></p> <p>Este princípio produz a junção por retirada do ar existente entre as partes, isto faz com que se crie vácuo, permitindo assim a união das superfícies. As características deste princípio não permitem grau de liberdade, pois quando movida a peça, o ar penetra entre as superfícies, eliminando a junção. Pode ser um tipo de junção permanente ou não. Ex: Admissão, Aspiração, Ventosa, Vácuo, etc.</p>		
<p><b>Travamento</b></p> <p>Com este princípio provoca-se o bloqueio do movimento em uma ou mais direções. É colocado um anteparo para que a peça não se movimente, limitando os graus de liberdade. Utiliza-se este princípio, por exemplo, quando se tem um eixo que transmite torque a outra peça através de uma chaveta. Ex: Calço, Retenção, Bloqueio, Entrelaçamento, Chaveta, etc.</p>		

De acordo com os princípios do Ecodesign, os elementos de junção utilizados no produto devem facilitar tanto a montagem quanto a desmontagem dos seus componentes, tendo como consequência a separação dos materiais. Para tanto, os elementos de junção foram divididos em duas listas no CD-ROM Ecodesign (Kindlein, 2006b): a verde e a vermelha. Na lista vermelha os elementos de junção são aqueles que inviabilizam a reciclagem e/ou reutilização dos materiais, confrontando-se com os conceitos básicos do Ecodesign. Na lista verde são elementos de junção que possibilitam a reutilização e/ou reciclagem, baseando-se em conceitos do Ecodesign (figura 20).



**Figura 20: Elementos de junção classificado como pertencente à lista verde. Fonte: Kindlein (2006b).**

Na apresentação dos princípios de junção, Kindlein (2002b) propôs a forma de um Tesouro. Este método foi adotado para evitar o uso de termos diferentes que possuam o mesmo conceito. O Tesouro é composto de: Termo Geral Maior (TGM), que se refere a classe mais ampla, neste caso: Princípio de Junção; um Termo Específico (TE), que é uma subdivisão do Termo Geral Maior (TGM); Usado Por (UP), também são termos equivalentes mas não são os preferidos; e, por fim, o Termo Preferido (USE), que será o termo escolhido entre os sinônimos para designar o tipo de junção. Quando se faz uso de palavras, tais como união, ligação e fixação, deve-se adotar o Termo Preferido (USE). O Termo Geral Maior (TGM Junção), conforme figura 21, possui suas subdivisões que são chamadas de Termos Específicos (TE) (Kindlein, 2002b).

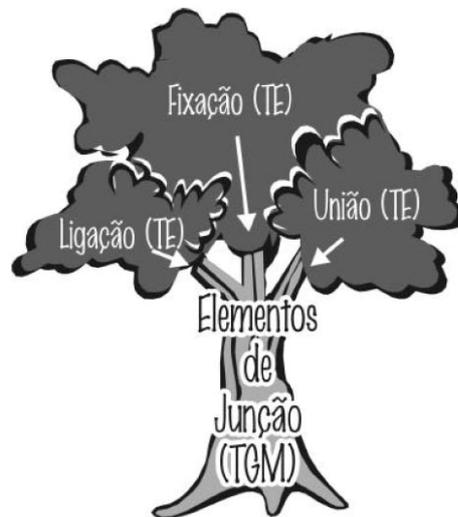


Figura 21: Termos equivalentes para os elementos de junção (TGM). Fonte: Kindlein (2002b).

A figura 22 resume a tentativa de compilar estes princípios por meio de um ecossistema. Segundo Kindlein (2002b), podem ser feitos desdobramentos dos princípios para alcançar a forma mais eficiente e simples que possibilite a união. Este princípio poderia se chamar de princípio mestre.

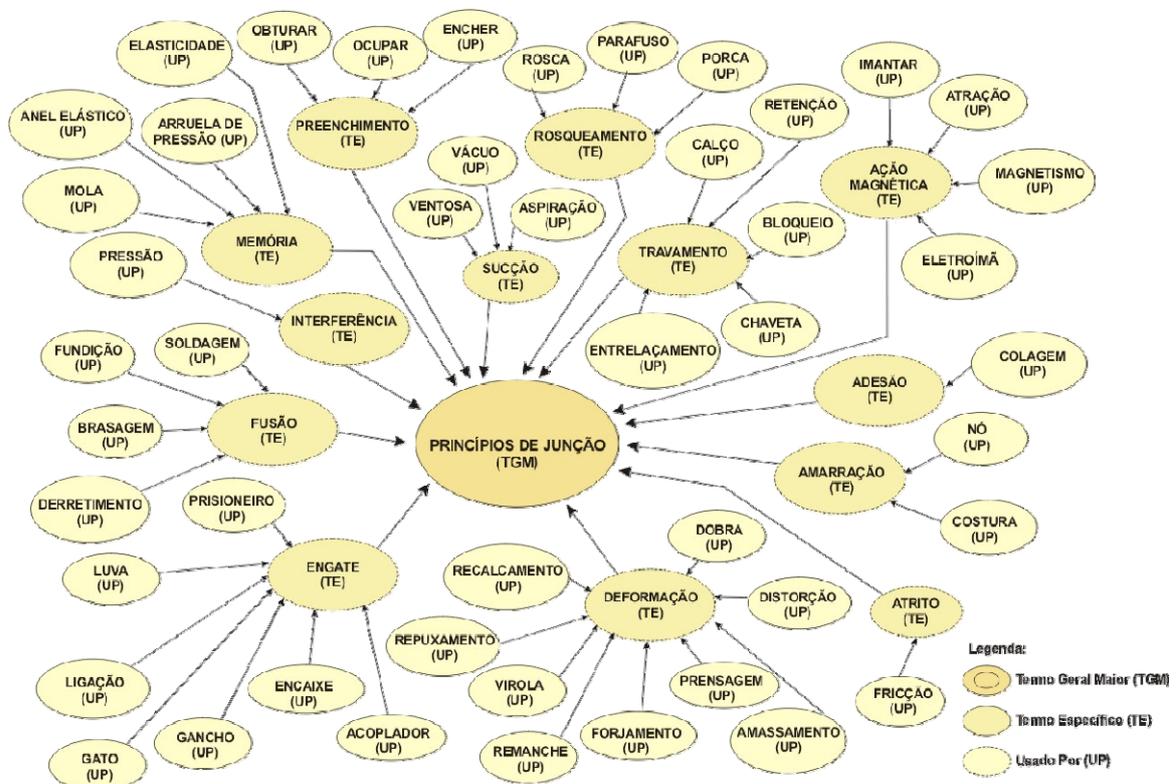


Figura 22: Compilação dos princípios por meio de um ecossistema. Fonte: Kindlein (2002b).

Para Kindlein (2003b), apesar de toda responsabilidade industrial (econômica e ambiental), os meios de união possuem também uma grande importância social. Na organização econômica atual, os catadores de materiais recicláveis desempenham um papel muito importante no ciclo de vida de um produto, respondendo pelo destino pós-uso de seus materiais. Devido a isso, a desmontagem deve ser levada em conta nos projetos de produtos, porque facilita muito o processo manual de separação dos materiais, que é a principal fonte de renda das famílias desses trabalhadores.

Genc (1997) alerta que a competição crescente no mercado força os designers a desenvolverem maneiras eficazes de reduzir o custo do produto, incluindo projetos melhores e um mais eficiente processo de projeto. Para Boothroyd (1988), considerando todos os estágios da realização de um produto, a montagem constitui uma parte considerável do custo total, excedendo frequentemente 50%. Isto tende a levar os designers a desenvolverem maneiras mais eficientes de realizar a montagem de um produto.

Estudar novas formas de projeção de elementos de junção torna-se extremamente necessário no contexto hoje vivido, notadamente nos Centros de Triagem e lixões presentes em todo o país. Segundo Boothroyd (1992), para a quebra de paradigmas na área de projeção industrial é de suma importância o estudo dos elementos de junção e dos sistemas de fixação entre os componentes de um produto, facilitando a desmontagem do produto no fim de sua vida útil, ou mesmo em seu reuso, uma vez que a principal característica requerida no projeto é a fácil desmontagem.

Um dos recursos estudados e desenvolvidos por projetistas é o **Snap-fit**. Este é um mecanismo integral de travamento para unir uma parte à outra. São associados normalmente com partes plásticas. Um snap-fit é diferente de outros métodos de união por requerer peças adicionais, materiais ou ferramentas para realizar a função de união (Bonenberg, 2005). Este autor considera que o critério mais importante para o snap-fit é a flexibilidade característica na trava integral. A flexibilidade da trava pode ser grande ou muito pequena, dependendo do seu estilo. Snap-fits não se restringem às peças plásticas, mas são eficazes também em aplicações metal-metal e plástico-metal.

Os plásticos, entretanto, tornaram o snap-fit mais prático e muito mais popular por causa da flexibilidade relativa do material. As tecnologias de processamento dos plásticos, como o molde de injeção, tornaram a produção de formas complexas economicamente práticas. A facilidade de montagem e desmontagem e o constante aumento das capacidades técnicas de engenharia dos materiais plásticos faz do snap-fit um sério candidato para muitas aplicações. Destaca-se que os brinquedos e os dispositivos pequenos fizeram por muito tempo

uso extensivo de snap-fit, e essa tecnologia está sendo aplicada agora extensivamente nos componentes automotivos e nos campos da eletrônica e é uniformemente usada para aplicações estruturais (Bonenberger, 2005).

Para Genc (1997), os snap-fits submetem-se à deflexão elástica para permitir o acoplamento durante o processo de inserção e à recuperação elástica para realizar o acessório completo (ou travar) para fornecer a retenção. O acoplamento completo e a recuperação sucessiva para causar o travamento são acompanhados por uma pressão audível ou tátil, “snap”, daí derivando seu nome. Ainda segundo este autor (1997), fornecem o travamento mecânico pela deflexão elástica e a recuperação subsequente durante o acoplamento (figura 23).

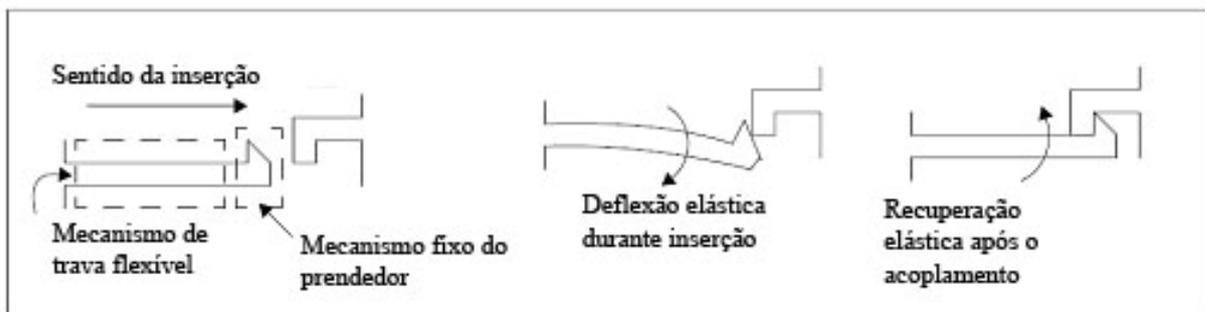


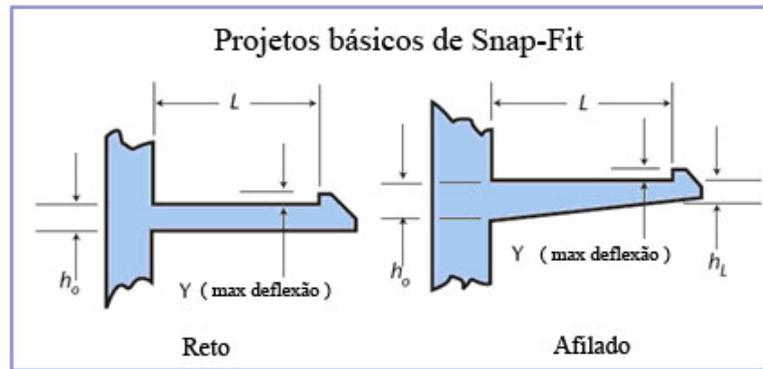
Figura 23: Processo de acoplamento do Snap-fit. Figura adaptada de Genc (1997).

Conforme o guia Snap-fit da Bayer (2002), todos os tipos de junções snap têm em comum o princípio que uma parte projetada de um componente, por exemplo, um gancho ou um parafuso, é deflexionado momentaneamente durante a operação de união e trava em uma tranca no componente de acoplamento. Após a operação de união, as características do snap-fit devem retornar a uma condição de força livre. É particularmente importante considerar os seguintes fatores ao projetar junções snap: carga mecânica durante a operação de conjunto e a força requerida para a montagem. Devido a seu nível elevado de flexibilidade, os plásticos são geralmente materiais muito apropriados para esta técnica de união, conforme mostra a figura 24.



Figura 24: Snap-fit característico usado nos materiais plásticos. Fonte: Bayer (2002).

Na concepção de Jaarsma (2001), os melhores exemplos de montagem são snap-fit, que contêm um elemento em que os cabos flexíveis, após uma interferência, rapidamente retornam a sua posição de antes da flexão (figura 25). Snap-fits são úteis para a produção e montagem de uma vez ou para liberação e remontagem dos ciclos, tais como as tampas do compartimento de bateria das calculadoras.



**Figura 25: Projetos básicos projetos de Snap-fits. Fonte: Jaarsma (2001).**

Conforme Honeywell International (2002), quando projetadas corretamente, as partes com snap-fit podem ser montadas e desmontadas numerosas vezes sem nenhum efeito adverso na montagem. Snap-fit é também a mais ambientalmente correta forma de montagem por causa de sua facilidade de desmontagem, empregando componentes de diferentes materiais fáceis de reciclar. Os snap-fits resolvem o problema de criar um componente barato que possa se unir rapidamente e facilmente com uma outra parte, como mostra a figura 26.



**Figura 26: Snap-fits usados em peças plásticas. Fonte: Honeywell International (2002).**

Para Spahr (1991) e apoiado por Tres (2006), entre as razões para usar o snap-Fit estão: a redução dos custos de montagem; projetos com facilidade de montagem e desmontagem; substituir os parafusos, as porcas, e as arruelas; são moldados como um componente integral de uma parte de plástico; nenhuma solda ou adesivo são requeridos; adicionalmente, se projetados corretamente, podem ser desmontados e remontados diversas vezes sem nenhum problema.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa foram realizados alguns estudos de caso sobre Análises de Similares representativos. Esse estudo ocorreu na disciplina de Design e Seleção de Materiais com assessoria do LdSM/UFRGS. Foram verificadas as metodologias de análises de similares aplicadas nos estudos de caso, organizando-as de forma coerente, a fim de tornar o estudo mais preciso e funcional.

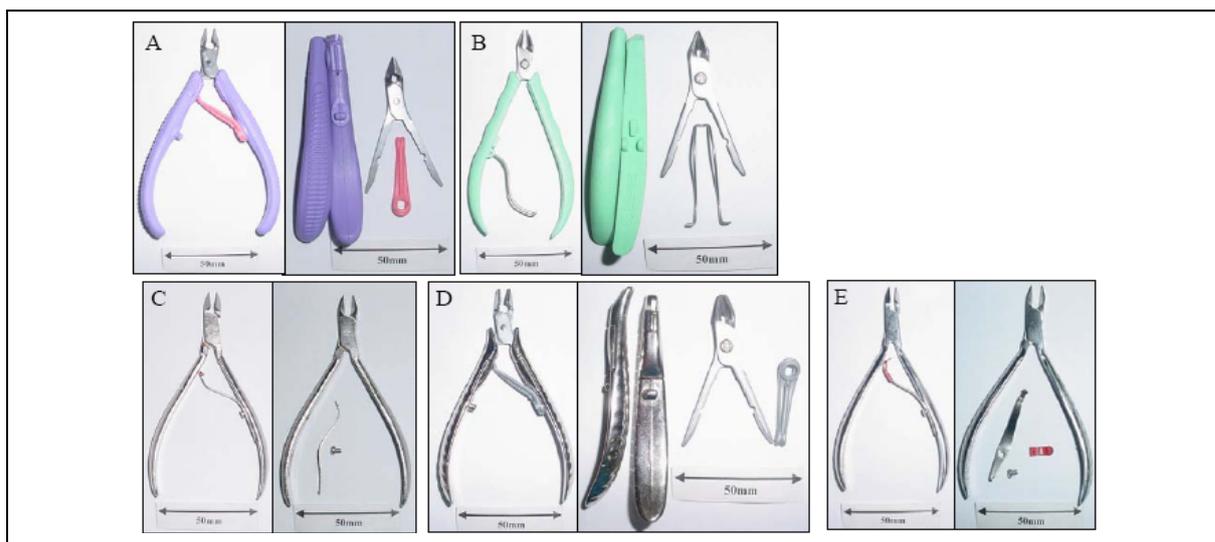
O Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM (2007) tem como principal objetivo a pesquisa no que diz respeito à relação “Materials X Design”. Está estruturado em seis linhas de pesquisa: 1. Biônica; 2. Ecodesign; 3. Percepção X Materiais; 4. Seleção de Materiais X Design; 5. Revestimentos Protetores X Corrosão X Design; 6. Produtos: Materiais, Processos e Metodologia de Projeto. A equipe é formada por engenheiros, designers, artistas plásticos, biólogos e estudantes de doutorado, mestrado e graduação. A equipe é multidisciplinar para facilitar a integração das informações nas áreas de Projeto, como Engenharia e Design, no que diz respeito a Materiais.

O LdSM tem como pressuposto o trabalho interdisciplinar, buscando o envolvimento de diversas pessoas de diversas áreas de pesquisa, entre elas a de Seleção de Materiais X Design da qual estou inserido, onde teve a participação do LdSM nos trabalhos, onde estes foram publicados em periódicos e eventos. São eles: Os estudos de caso foram feitos com os seguintes produtos: alicates de cutícula (Soares, 2006); canetas (Roobe, 2007a); canivetes (Holz, 2005); chaves-de-fenda (Schneider, 2006); compressores de ar para aquário (Cândido, 2004); escovas dentais (Roobe, 2007b); ferros elétricos (Souza, 2007); garrafas térmicas (Schneider, 2007); isqueiros (Faller, 2006); velas de automóveis (Guimaraens, 2005).

## 2.1. Análise de similares com enfoque na metodologia

### 2.1.1. Alicates de cutícula

Neste estudo foram analisados cinco alicates de cutícula de um mesmo fabricante, mas de modelos diferentes, relacionando as diferenças entre eles com o custo dos materiais. A figura 27 mostra os modelos de alicates, nomeados de A a E, e o desmonte de cada um deles.



**Figura 27:** Modelo A, cabo e mola em plástico; Modelo B, cabo em plástico e mola em metal; Modelo C, corpo e cabo em peça única; Modelo D, cabo desmontável em metal; Modelo E, lâmina e cabo em peça única. Fonte: (Soares, 2006).

### Metodologia de análise de similares

A análise técnica limitou-se ao levantamento dos materiais, funcionamento e a relação entre estes dois aspectos, pois são os pontos da análise que sofrem a influência mais direta dos materiais utilizados. Com base na semelhança estrutural dos cinco modelos de alicates a análise foi dividida em três partes, correspondentes as três estruturas comuns aos cinco modelos: cabo, lâmina e mola. Foram discriminados os materiais utilizados em cada estrutura e sua relação custo-desempenho foi comparada com base nas exigências que cada estrutura deve suportar individualmente ou como parte do conjunto. Por fim, os resultados individuais foram unidos e levou-se em conta a interação entre cada uma das partes do alicate, avaliando o desempenho e o custo com base no preço dos materiais.

A composição química dos metais utilizados na fabricação dos alicates foi investigada via *Espectroscopia de Emissão Óptica (OES)* no espectrômetro da marca Spectro, modelo Spectrolab LAVMB08B. As durezas das molas, lâminas e cabos foram medidas com *durômetros* de escalas *Rockwell C* e *Rockwell B* da marca Amsler, modelo D – 6700. Com base nos dados de dureza foi possível identificar qual o provável tratamento térmico aplicado.

Os materiais poliméricos que compõem os cabos dos alicates A e B e a mola dos alicates A e D foram identificados segundo informações fornecidas pelo fabricante. Para avaliar o desempenho dos materiais em questão, primeiro formulou-se com base no desempenho esperado para um alicate de cutículas e cada uma de suas partes, um conjunto de propriedades que o material deve possuir para que seja considerado eficiente na sua função. Formulados os requerimentos de desempenho, utilizou-se o banco de dados de materiais *CES Edupack 2005* presente no LdSM para aferir de maneira quantitativa quais os materiais com melhor compromisso entre as propriedades requeridas. Foi realizada uma análise entre os materiais encontrados, para saber qual era o melhor entre os encontrados, através de gráficos gerados no Software *CES Edupack 2007*.

### 2.1.2. Canetas

Nesta Análise de Similares foram avaliadas possíveis diferenças e semelhanças entre canetas de diferentes preços encontradas no mercado. Foram feitas análises técnicas para a investigação dos materiais. Para a realização deste foram escolhidas 8 canetas de diferentes modelos e preços, todas da cor azul, com uma única exceção que foi uma das amostras de caneta metalizada (tabela 7 e figura 28).

**Tabela 7: Amostras das canetas e seu respectivo preço. Fonte: (Roobe, 2007a).**

AMOSTRA 1: (R\$ 1,00)	AMOSTRA 2: (R\$ 6,40)	AMOSTRA 3: (R\$ 0,60)	AMOSTRA 4: (R\$ 0,90)
AMOSTRA 5: (R\$1,50)	AMOSTRA 6: (R\$ 4,00)	AMOSTRA 7: (R\$ 1,00)	AMOSTRA 8: (R\$ 1,80)



**Figura 28: Da esquerda para a direita, amostra 1 a 8. Fonte: (Roobe, 2007a).**

## Metodologia de análise de materiais

As análises de identificação dos materiais foram realizadas pela técnica de *Fourier Transform Infrared (FTIR)* ou Espectroscopia de Infravermelho<sup>2</sup> por Transformada de Fourier somente para os constituintes poliméricos das canetas, que foram testados separadamente. Foram executadas também análises de infravermelho das tintas das cargas. Para a análise destas tintas recomenda-se a absorção atômica para análise dos pigmentos, visto que estes ficam “escuros” para energia infravermelho. Também pode-se utilizar análise RMN (Ressonância Magnética Nuclear) para melhor identificação dos umectantes. Estas técnicas não foram realizadas por indisponibilidade de uso dos equipamentos. Foi realizada uma análise entre os materiais encontrados, para saber qual era o melhor entre os encontrados, como também para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software CES Edupack 2007.

### 2.1.3. Canivetes

O objetivo desta análise é estudar e identificar os diversos componentes de um canivete com auxílio de múltiplas técnicas. Neste foi trabalhado com apenas um canivete para realizar a análise de seus componentes e entender suas funções, além de compreender os elementos de junção presentes. Para análise foi utilizado um canivete de marca norte-americana, figura 29.



**Figura 29:** As figuras acima representam o canivete, sendo que a figura (a) o mostra fechado e a figura (b) mostra o canivete com as três lâminas semi-abertas. Fonte: (Holz, 2005).

---

<sup>2</sup> A técnica Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier consiste no estudo da interação da matéria com o espectro de radiação da luz infravermelha. A absorbância ocorre quando a energia da radiação incidente sobre o material é igual à energia de vibração das ligações entre os átomos, e a molécula vibra na mesma frequência do vetor elétrico do feixe de luz. Desse modo, a absorção do feixe de luz de uma dada energia ocorre devido à presença de ligações químicas de igual energia. Assim, pode-se determinar a composição de amostras desconhecidas a partir de um espectro de absorção.

## Metodologia de análise de similares

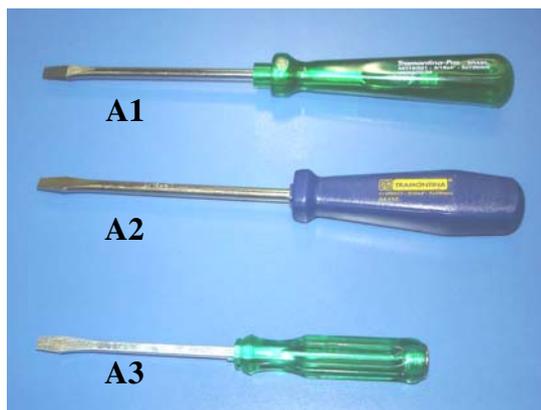
Os materiais metálicos do canivete, para serem caracterizados, foram analisados via técnicas *metalográficas*. Paralelamente, foram feitos também ensaios de *microdureza* para a determinação dos diferentes tipos de materiais metálicos. Para os materiais metálicos também foi realizado a *espectroscopia de emissão óptica*. A técnica de emissão óptica fornece determinações rápidas e acuradas de muitos elementos em uma amostra. Esta é a técnica utilizada para o controle de qualidade e de processo de indústrias metalúrgicas e fundições ferrosas e nãoferrosas.

O único material compósito encontrado foi o osso que fica na parte externa do canivete. Devido a este conter uma resina polimérica, o que provavelmente dissimularia o resultado, foi examinado um osso semelhante ao encontrado no canivete através da análise de *difração de Raios X*. Outra técnica utilizada para este material foi a porosidade aparente e absorção de água. Para a realização desses foi utilizado o método dos pesos seco, úmido e imerso. Esse procedimento consistiu em medir a massa seca de setes placas de osso e depois os corpos de prova foram mergulhados num béquer com água durante 24 horas para que os poros abertos pudessem se preenchidos pela água. Após esse tempo foram medidas as massas imersas e úmidas.

No canivete foram encontrados dois materiais poliméricos: a cola utilizada para fixar o marca do canivete no osso e o esmalte contido em cima do osso, o qual confere um certo brilho ao canivete. Para a caracterização do esmalte foi utilizada a técnica de *espectroscopia de infravermelho*. Já a cola não foi possível caracterizar devida sua alta complexidade.

### 2.1.4. Chaves-de-fenda

A presente análise investiga três chaves de fenda com preços de venda distintos, sendo dois produzidos pelo mesmo fabricante com materiais e qualidades diferentes e outro produzido por um segundo fabricante. As chaves foram identificadas como A1 (fabricante nacional - linha profissional), A2 (fabricante nacional - linha hobby), e B (importada – adquirida no comércio de baixo custo, lojas conhecidas como “R\$ 1,99”) figura 30. O objetivo foi verificar se os motivos da diferença de valor de venda do produto final estavam vinculados diretamente à variedade de materiais e processos utilizados na sua fabricação.



**Figura 30: Chaves de fenda analisadas nesse trabalho. Fonte: (Schneider, 2006).**

### **Metodologia de análise de similares**

Além dos materiais que a constituem e de seus processos de fabricação, a presença de revestimento e o acabamento superficial também contribuem para evidenciar a associação entre preço e qualidade. As metodologias adotadas para a caracterização das chaves consistiram em: metalúrgica (haste e ponta), realizada por meio de ensaios de metalografia, de dureza e análise química, e caracterização da parte polimérica (cabo), com o emprego das técnicas de FTIR (Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier)<sup>3</sup> e DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura) para a identificação dos polímeros empregados. Este estudo é particularmente interessante para uma maior compreensão dos produtos e processos envolvidos na criação de novas alternativas que permitam otimizar soluções para projetos futuros. Foi realizada uma análise entre os materiais encontrados, para saber qual era o melhor entre os encontrados, como também para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software CES Edupack 2007.

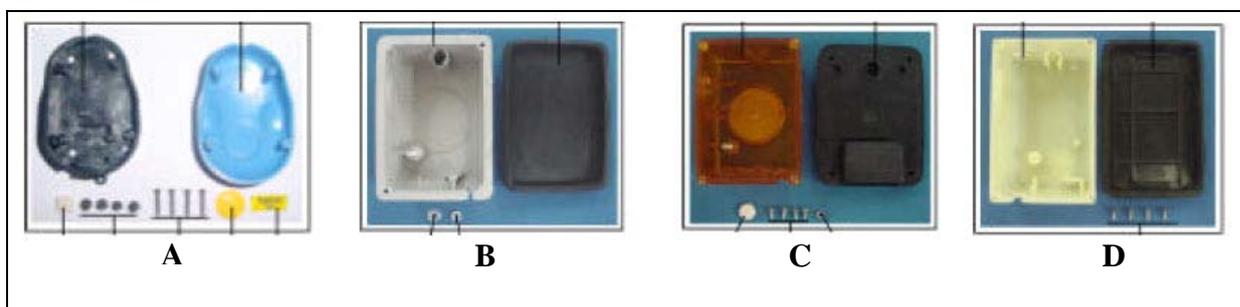
#### **2.1.5. Compressores de ar para aquário**

Realizou-se o estudo de quatro compressores de ar para aquário existentes no mercado contemplando a seleção de materiais e os elementos de junção empregados, figura 31. Esse estudo não visa a uma mudança no sistema funcional do compressor, mas sim viabilizar o seu re-projeto, dando ênfase à redução do número de componentes, minimização da matéria-

---

<sup>3</sup> A FTIR é uma das mais importantes técnicas experimentais para a caracterização de polímeros. Além das informações qualitativas, ela permite a determinação quantitativa de componentes de uma amostra ou mistura, esteja ela no estado sólido, líquido, gasoso ou em solução (Lapol, 2005).

prima, empregar o máximo de matérias-primas compatíveis e a redução dos processos de fabricação.



**Figura 31: As figuras acima mostram os modelos A, B, C e D respectivamente dos compressores de ar para aquário analisados. Fonte: (Cândido, 2004).**

### Metodologia de análise de similares

Foram desmontados quatro modelos existentes de compressores de ar, analisando-os na questão de número de componentes, a função de cada componente e os materiais presentes. Na análise desprezou-se a bobina elétrica, pois a mesma é padrão comercial. A definição dos compressores foi feita com base na similaridade entre os produtos, independentemente de sua marca ou posição no mercado. A metodologia empregada buscou realizar um re-projeto conceitual com base no Ecodesign, analisando este com os produtos existentes e como última etapa do projeto a prototipagem do modelo de compressor desenvolvido no LdSM.

#### 2.1.6. Escovas dentais

Neste item foram analisadas seis escovas dentais de diversas marcas, identificando seus materiais constituintes e analisando em linhas gerais o design do produto. Na sequência foi feito um comparativo com as suposições teóricas de materiais que poderiam ser empregados nesta aplicação específica e tiradas as devidas conclusões conflitando propriedades mecânicas, térmicas, químicas, de processamento e produção e finalmente custo e preço final. As escovas também foram identificadas de acordo com a marca, modelo e preço, como segue: 1- Fabricante A (R\$ 7,30); 2- Fabricante B (R\$ 8,70); 3- Fabricante C (R\$ 5,60); 4- Fabricante D (R\$ 7,15); 5- Fabricante E (R\$ 9,90); 6- Fabricante F (R\$ 1,25), mostradas na figura 32.



Figura 32: Vista frontal das escovas dentais escolhidas. Fonte: (Roobe, 2007b).

### Metodologia de análise de materiais

Devido à ênfase na seleção de materiais, a análise realizada limitou-se a alguns pontos daqueles sugeridos pela metodologia do LdSM. A análise do uso se restringiu à investigação funcional e estrutural e a análise técnica limitou-se ao levantamento dos materiais, funcionamento e a relação entre estes dois aspectos, pois são os pontos da análise que sofrem a influência mais direta dos materiais utilizados.

As análises de identificação dos materiais foram realizadas pela técnica *de Fourier Transform Infrared (FTIR)* ou Espectrometria de Infravermelho por Transformada de Fourier somente para os constituintes poliméricos das escovas, os quais foram testados separadamente. Foi utilizado o equipamento Spectrum One (Perkin Elmer) e o Nexus 470 (Thermo Nicolet), ambos com microscópio acoplado. Mediu-se também o diâmetro das cerdas com auxílio de *Estereomicroscópio (Leica MZI6 A)*. Ambos os equipamentos utilizaram o acessório ATR (Attenuated Total Reflection) para as análises de FTIR. O material que constitui os “ganchos” que prendem as cerdas foi analisado por metalografia. Os diagramas para seleção dos materiais para constituição das escovas, cumprindo requisitos pré-estabelecidos (funcionais e estruturais), foram realizados por meio do banco de dados do software *CES Edu Pack 2005*. A análise dos “ganchos” que prendem as cerdas foi realizada por metalografia e o diâmetro das cerdas foi determinado por estereomicroscopia. Foi realizada uma análise para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software *CES Edupack 2007*.

### 2.1.7. Ferros elétricos

Foi analisada através da Engenharia Reversa a função de cada componente básico de um modelo de ferro de passar roupa, para que fosse observada a diversidade e a quantidade de materiais presentes num ferro elétrico. O foco foi determinar quais os materiais mais empregados atualmente na fabricação dos ferros de passar roupa, avaliando assim quais suas propriedades, quais os benefícios e desvantagens de sua aplicação, quais as características ecológicas e quais as medidas possíveis para diminuir o número de seus componentes. Neste caso, foram analisados 5 modelos de ferros de passar disponíveis atualmente no mercado (figura 33).



Figura 33: Modelos disponíveis no mercado. Fonte: (Souza, 2007).

### Metodologia de análise de similares

Foi fundamentada pelo histórico do produto, análise de Similares e análise estrutural dos produtos, para obter-se uma melhor compreensão sobre como a tecnologia aplicada na produção interfere nos demais aspectos de um produto. Esta comparação se deu em relação aos materiais. Foi utilizada a análise por Espectroscopia de Emissão Ótica para a base do equipamento e o termostato. Para este também foi utilizada a difração de raios-X e em conjunto foi analisada a resistência desse material, por meio de um ensaio de Microdureza Vickers. Foi realizada uma análise para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software CES Edupack 2007.

### 2.1.8. Garrafas térmicas

Neste trabalho foram analisadas três diferentes marcas de garrafas térmicas de 1L segundo a norma ABNT NBR 13282 (ABNT, 1998) sobre a garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio. As mesmas estão listadas de acordo com sua marca, modelo, dimensões e preço na tabela 8. A figura 34 mostra uma fotografia das três garrafas utilizadas.

**Tabela 8: Garrafas térmicas utilizadas neste trabalho listadas de acordo com sua marca, modelo, dimensões e preço. Fonte: (Schneider, 2007).**

<b>Fabricante</b>	<b>Dimensões (CXLXA) [mm]</b>	<b>Preço [R\$]</b>
A	108X131X296	16,00
B	137X115X285	21,00
C	147X122X281	23,00



**Figura 34: Três diferentes marcas de garrafas térmicas com capacidade de 1L utilizadas. Fonte: (Schneider, 2007).**

### **Metodologia de análise de similares**

Foram realizados testes de capacidade volumétrica real, estabilidade, resistência a choques térmicos, eficiência térmica e resistência ao impacto. Além disso, foi feita uma Engenharia Reversa, em que se utilizou ensaios de **FTIR** para a identificação dos materiais utilizados no corpo externo, copo, tampa e fundo. Uma vez que os resultados mostraram que, em grande parte, os materiais utilizados nos produtos são similares, foi realizada a seleção de materiais levando em conta outros materiais que pudessem apresentar melhores propriedades diante das exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica ou então que apresentassem um custo mais baixo. Foi realizada uma análise para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software CES Edupack 2007.

#### **2.1.9. Isqueiros**

Este trabalho apresenta os diversos materiais constituintes de um isqueiro descartável utilizando diferentes técnicas de caracterização de materiais (figura 35). São analisadas as funções de cada componente básico deste produto (corpo, tampa, esfera, protetor, mola, pedra, acionador, válvula e disparador).



**Figura 35: Isqueiro estudado. Fonte: (Faller, 2006).**

### **Metodologia de análise de similares**

Foi inicialmente realizado um estudo de produtos dos concorrentes quanto a análise Estrutural (Número de componentes, Sistemas de união e Estrutura), Funcional (Mecanismo, Confiabilidade, Versatilidade, Resistência e Acabamento), do Uso (Praticidade, Conveniência, Segurança, Manutenção e Reparo) e da Morfologia (Estilo, Unidade, Interesse, Equilíbrio, Superfície e Ergonomia). Posteriormente parte-se para a Análise Técnica dos similares: Levantamento dos Materiais; Levantamento do Funcionamento e dos Processos de Fabricação; Levantamento de Alternativas de Mecanismos e Materiais.

No procedimento experimental foram feitas análises estruturais, funcionais, de uso e morfologia. Verificou-se que o produto possui uma boa praticidade e conveniência no seu manuseio e utilização. Para verificar a segurança, ligou-se a chama de 5 diferentes amostras de isqueiro descartável por 10 minutos (tempo muito superior ao habitualmente utilizado) e pode-se observar que nenhum sofreu deformações plásticas. Também foram simuladas quedas de alturas superiores a 192 cm, a qual representa o percentil máximo para altura masculina (Tilley, 2005), sendo que nenhuma das amostras danificou-se nos testes. Quanto à morfologia, verificou-se pelo manuseio que o isqueiro possui um estilo atrativo (várias cores), é funcional, tem um ótimo acabamento superficial e uma boa ergonomia.

Para a análise dos materiais, determinou-se quais as técnicas de análise que seriam utilizadas para cada peça, observando-se, para isso, o tipo de material, o tamanho da peça e quais as técnicas disponíveis. As técnicas utilizadas foram *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) (Calorimetria Diferencial de Varredura) (Brandrup, 1975), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier) (Smith, 1999), *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Fluorescência de Raios-X) (Cullity, 1978), *Optical Emission Spectroscopy* (OES) (Espectroscopia de Emissão Ótica) (Campbell, 1984) e *Energy Dispersion Spectroscopy* (EDS) (Espectroscopia de Dispersão de Energia) (Harrison, 1972). Foi realizada uma análise para as novas alternativas de materiais através de gráficos gerados no Software CES Edupack 2007.

### 2.1.10. Velas de automóveis

Neste item foram analisadas duas velas de fabricantes diferentes, focando o estudo estrutural, funcional e dos materiais presentes, figura 36.



Figura 36: Velas analisadas de dois fabricantes. Fonte: (Guimaraens, 2005).

#### - Metodologia de análise de similares

A metodologia utilizada procurou analisar a estrutura, a função e os materiais presentes nas duas velas. As velas foram desmontadas em máquina de corte com disco diamantado no Laboratório de Altas Pressões do Instituto de Física da UFRGS. Foram realizadas análises metalográficas para os constituintes metálicos e a *Fluorescência de Raios-X (XRF)* para os cerâmicos, onde foi obtida a composição química da cerâmica isolante para as duas velas.

### 3. RESULTADOS

Neste estudo buscou-se investigar os diferentes materiais presentes e os elementos de junção que fazem parte dos produtos e sistematizá-los, organizá-los em busca de uma coerência estrutural. Estas análises foram organizadas conforme os estudos haviam sido sistematizados, divididos nos itens que haviam sido analisados: Análise estrutural dos similares; Análise dos elementos de junção; Análise dos Materiais; Levantamento de Alternativas de Materiais. Com estas análises foram gerados elementos para a construção de uma metodologia fundamentada no Design para a Desmontagem.

#### 3.1. Análise de similares com enfoque na seleção de materiais e no design para a desmontagem

##### 3.1.1. Alicates de cutícula

###### - Análise dos materiais

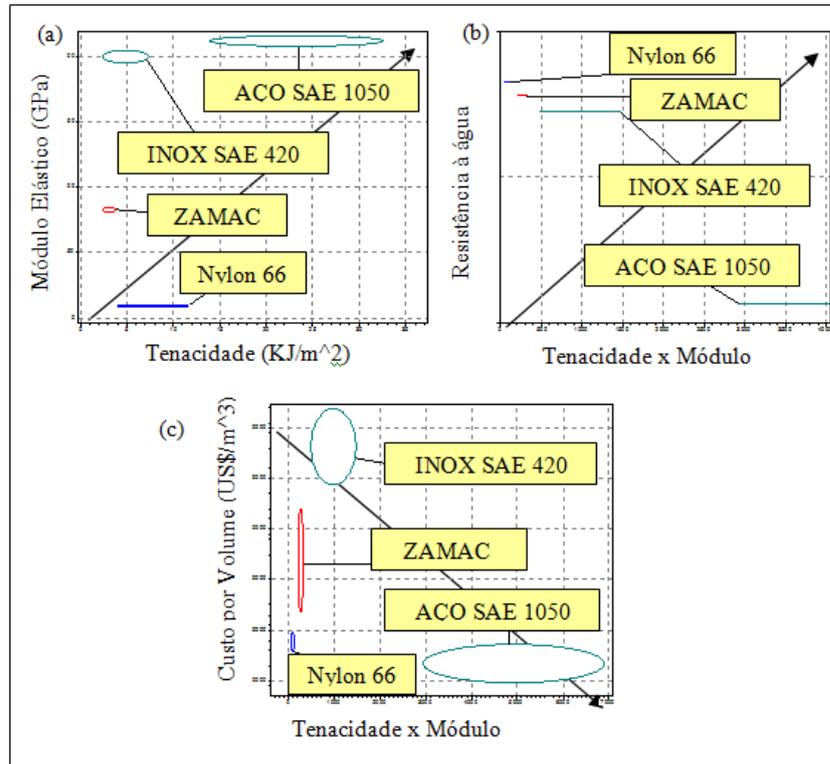
Após as análises realizadas, os materiais empregados na fabricação dos cabos, lâminas e molas de cada um dos alicates são apresentados na tabela 9.

**Tabela 9: Materiais utilizados na fabricação das molas dos cinco alicates. Adaptada de Soares (2006).**

Modelo	Material do Cabo	Material da Lâmina	Material Mola
A	Nylon 66 + 30% de fibra de vidro	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C	Poliacetal (POM)
B	Nylon 66 + 30% de fibra de vidro	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C	Aço Inoxidável SAE 304 HT D
C	Aço médio carbono SAE 1050 recozido e niquelado	Aço médio carbono SAE 1050 temperado a 200°C, resfriado em água e niquelado.	Aço alto carbono SAE 1080 temperado a 300°C, resfriado em óleo e niquelado.
D	Zamac: Liga de zinco e alumínio fundida	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C	Poliacetal (POM)
E	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C	Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C

Com base no uso, é esperado do material utilizado no *cabo* de um alicate de cutículas um módulo elástico elevado, para que possa transmitir a energia para a lâmina ao invés de acumular esta na forma de deformação. Para que uma *lâmina* de corte seja eficiente, esta deve ter uma dureza elevada para que mantenha o fio pelo tempo mais longo possível. Para minimizar o volume da *mola*, o material deve possuir a melhor relação possível entre o módulo de ruptura e o módulo elástico; quanto à eficiência, quanto maior a tenacidade do material melhor o seu desempenho como mola (Hayes, 1990).

Para visualizar quais materiais possuem o melhor compromisso entre as propriedades requeridas para a fabricação dos componentes (cabo, lâmina e mola) dos cabos dos alicates, foram feitos gráficos destas propriedades, como mostra o gráfico da figura 37 do cabo.



**Figura 37: (a) Módulo Elástico vs Tenacidade (b) Módulo Elástico e Tenacidade vs Resistência à Água (c) e Módulo Elástico e Tenacidade vs Custo (→) Desempenho. Fonte: (Soares, 2006).**

Pode-se observar na figura 37(a) que o material com as melhores propriedades mecânicas é o aço carbono SAE 1050, seguido do aço inoxidável SAE 420. Já na figura 37(b) fica evidente que o desempenho do aço carbono 1050 é prejudicado pela sua baixa capacidade de resistir ao ataque da água, dificuldade esta contornada em parte pela deposição de níquel em sua superfície. A figura 37(c) mostra que é também o aço SAE 1050 que apresenta o menor custo, tornando a sua escolha atraente para o cabo do alicate. Quanto ao nylon e o zamac, seu desempenho mecânico deixa a desejar e seu custo é maior que o do aço SAE 1050.

Com base nos dados gerados, obteve-se a seguinte conclusão. Os alicates A, B e D são bastante semelhantes. O baixo preço de mercado dos modelos A e B está baseado no reduzido custo do nylon 66 utilizado no seu cabo. A diferença entre estes modelos está na mola do alicate B, que é de melhor qualidade. Já o alicate D difere dos dois primeiros pelo seu cabo feito em zamac, que é um material mais caro que o nylon 66, mas a correspondência entre a diferença no custo do material e no custo do produto final é discutível, uma vez que o alicate E é feito em sua totalidade no material mais caro e custa apenas R\$: 3,00 a mais do

que o alicate D. O alicate C é um caso a parte dos demais, pois é o único cuja lâmina não é feita de aço inox SAE 420. Apesar de o aço SAE 1050 ser o material mais barato de todos, este modelo custa mais do que os modelos A e B. Assim, fica claro que não necessariamente existe uma correlação direta entre o custo dos materiais, seu desempenho e o valor de venda dos produtos fabricados a partir deles. O valor de venda é determinado por inúmeros outros aspectos, tais como: processos de fabricação, preferências do consumidor e tradição de mercado, como é o caso do alicate C, que foi o produto com o qual o fabricante se lançou neste segmento do mercado.

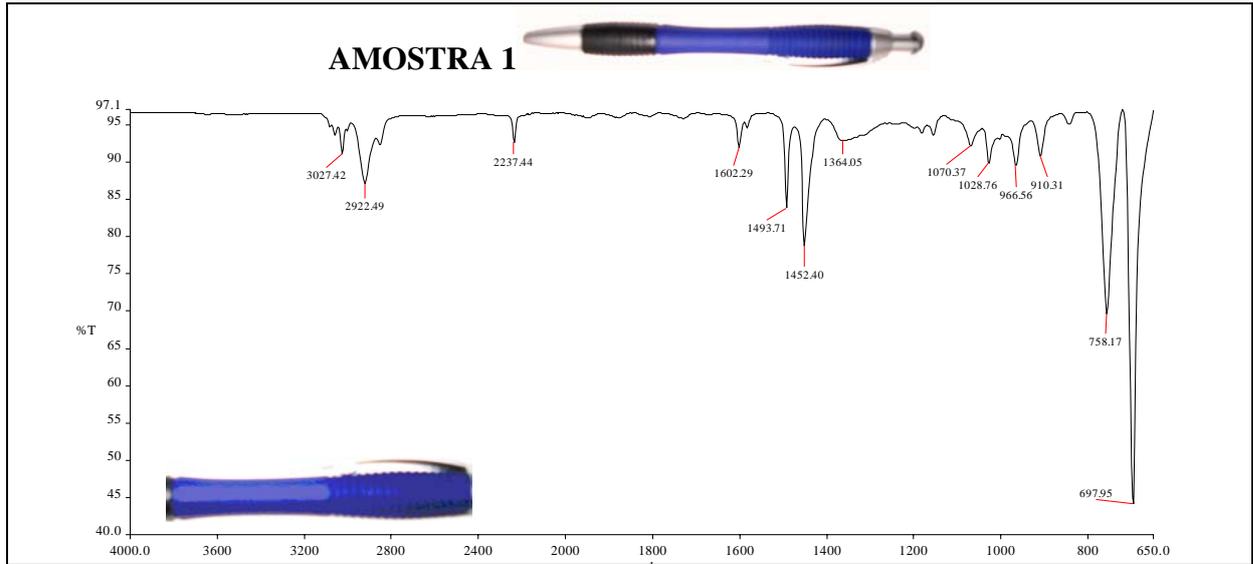
### 3.1.2. Canetas

#### - Análise dos materiais

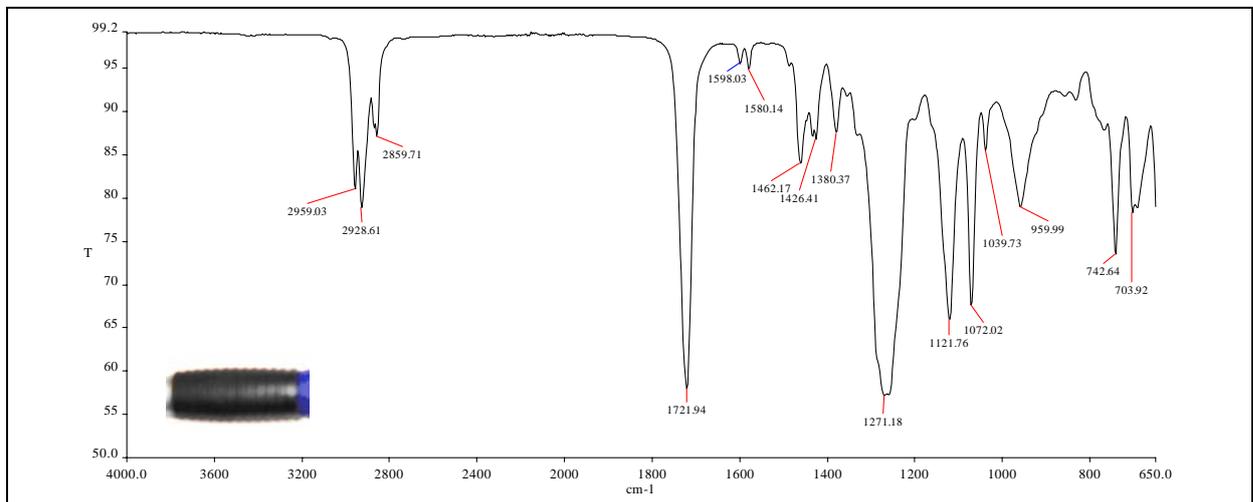
A análise gráfica de seleção de materiais levou à indicação predominante de polímeros e alguns metais. Em função do preço das amostras selecionadas nenhuma delas apresenta elementos metálicos. Dentre os polímeros selecionados encontram-se PP, PS, PET, PVC, ABS, etc. Na tabela 10, seguem-se os resultados obtidos na análise de Infravermelho, relacionados com o preço do material. As figuras 38, 39 e 40 mostram os resultados das análises de FTIR para a amostra 1.

**Tabela 10: Materiais empregados na fabricação das canetas. Adaptada de Roobe (2007a).**

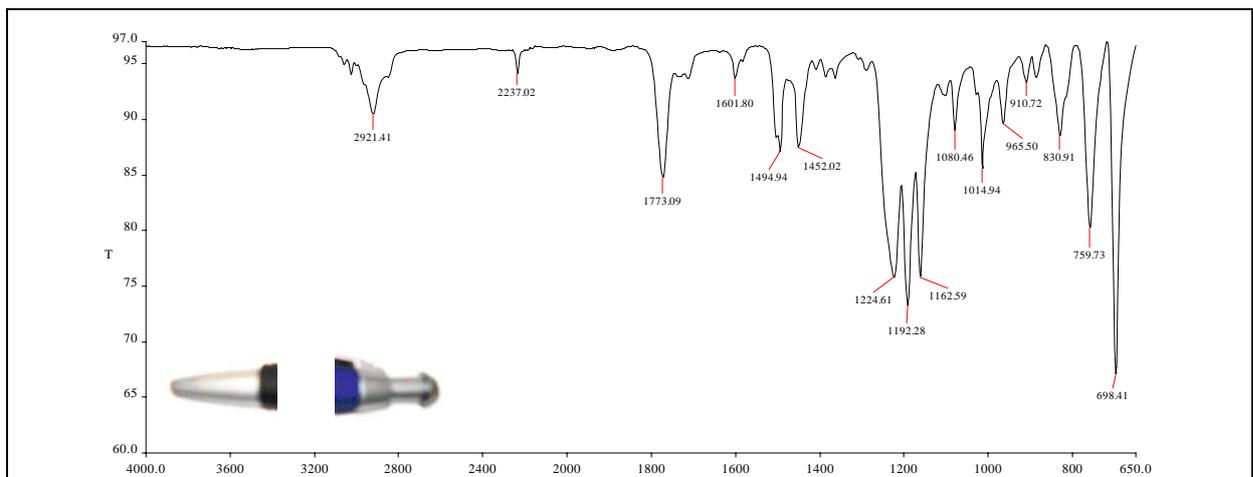
Amostra	Preço (R\$)	Material Corpo	Material da Ponta e Tampa	Material do “Soft Touch”
1	1,00	Parte azul – ABS Parte preta - PVC com óleo Ftalato	Ponta e tampa: Policarbonato	PVC
2	6,40	Corpo – Policarbonato	Ponta – PP Tampa – Policarbonato	Soft Touch – SEBS
3	0,60	Corpo: OS Tubo (carga): PP	Botão: ABS Ponta: PS	Soft Touch: PVC com óleo Ftalato
4	0,80	Corpo - PS	Ponta – ABS Botão – PEAD Tampa – PMMA	Soft Touch - SEBS
5	1,50	Corpo Parte Azul – PP Corpo Parte Transparente - PP	Haste transparente – Copolímero Estireno Acrilonitrila Ponta: PP Botão: PP	Borracha – EVA
6	4,00	Parte Externa – PP	Ponta: PP Botão: PP	PP
7	1,00	Parte Externa - PS Carga – PP	Tampa e Botão– PP	PS
8	1,00	Corpo – PET Carga – PP	Tampa – PET	Borracha - SEBS



**Figura 38: Parte Azul de ABS. Fonte: (Roobe, 2007a).**



**Figura 39: Parte Preta de PVC com óleo Ftalato. Fonte: (Roobe, 2007a).**



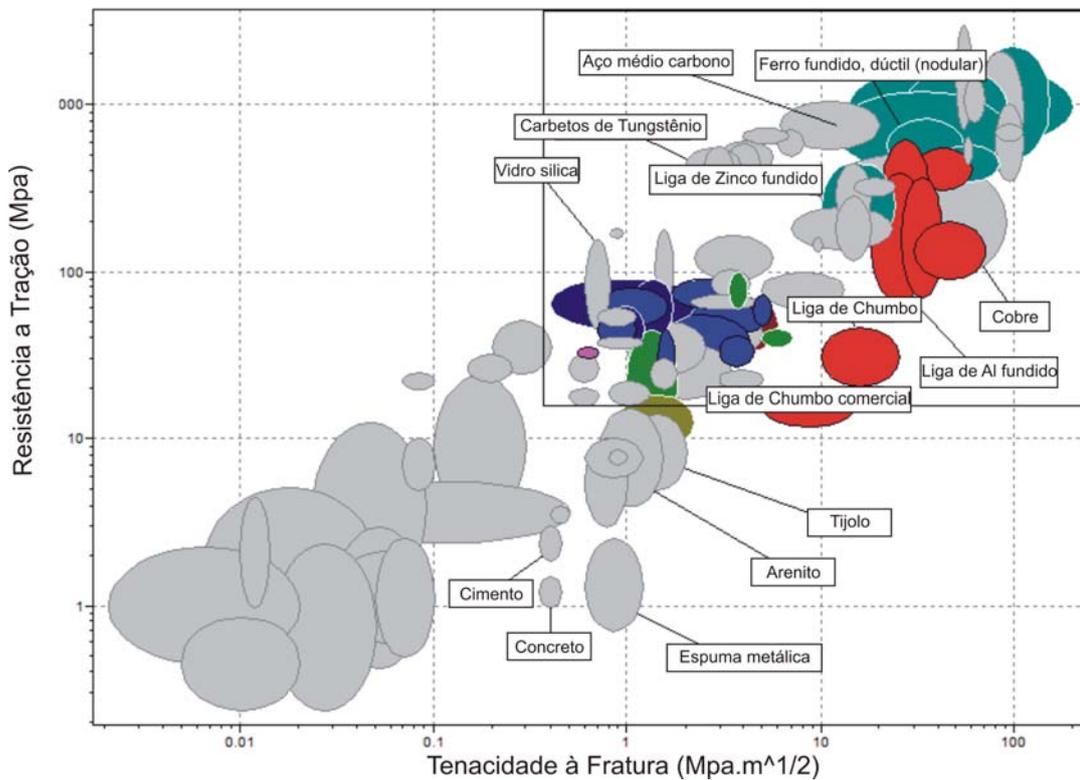
**Figura 40: Ponta e tampa de policarbonato. Fonte: (Roobe, 2007a).**

De acordo com os resultados obtidos evidenciou-se que a análise prévia de possíveis materiais estava de acordo com os materiais encontrados. Algumas amostras possuem a mesma composição polimérica e preços bastante diferentes, como é o caso das amostras 5 e 6. Algumas canetas de preço bastante acessível apresentam materiais mais caros, como é o caso do SEBS. Também sabemos que o número de componentes pode encarecer o material em função da Engenharia de Produção, porém este quesito não foi observado nas canetas analisadas, pois não foi encontrada uma relação entre preço e número de materiais.

### **Levantamento de alternativas de materiais**

Primeiramente foram relacionadas as principais propriedades que uma caneta deve ter e que materiais poderiam reunir todas estas propriedades. Considerando a infinidade de materiais existentes utilizou-se o Banco de Dados do software CES Edu Pack 2005 para auxiliar nesta pré-seleção. As primeiras condições estabelecidas foram: Preço do Material; Resistência à Água: Média, Boa e Muito Boa; Resistência a Ácidos Fracos: Média, Boa e Muito Boa; Resistência a Bases Fracas: Média, Boa e Muito Boa.

A seguir foi elaborado um gráfico de “Fracture Toughness” versus “Tensile Strength”, figura 41. A propriedade “Fracture Toughness” indica o quando este material resiste à fratura. Imaginamos esta propriedade como resistência do material a uma queda, por exemplo. Neste caso deseja-se que esta resistência seja a maior possível. A outra propriedade considerada é a “Tensile Strength”, que indica a quantidade de força requerida para esticar o material até o seu rompimento. Esta propriedade também está relacionada com a resistência à quebra, e deseja-se que seja a maior possível.



**Figura 41: Gráfico Resistência à tração (Tensile Strength) versus Tenacidade à Fratura (Fracture Toughness), com alguns materiais com os requisitos requeridos. Fonte: (Roobe, 2007a).**

Conforme observa-se na figura 50, estão atendendo à pré-seleção alguns polímeros, metais e cerâmicos. Destes materiais selecionados, gerou-se um novo gráfico relacionando o preço dos mesmos, onde restaram na seleção de materiais na sua maioria os plásticos e alguns metais (aço). Este resultado representa bem a maior parte dos materiais utilizados na fabricação de canetas. Considerando a facilidade de processamento e o preço, os materiais mais utilizados atualmente são os plásticos.

### 3.1.3. Canivetes

#### Análise estrutural dos similares

O canivete foi desmontado para a análise (figura 42), o qual foram separados os componentes, separando em grupos de mesmo tipo de material, delimitando a função de cada um componente, mostrado na tabela 11.



Figura 42: Canivete montado e desmontado. Fonte: (Holz, 2005).

Tabela 11: Função e quantidade. Adaptada de Holz (2005).

	Função	Quantidade
<b>Lâminas de corte</b>	Lâmina maior voltada para cortes em geral e as duas lâminas menores desenvolvidas para trabalhos delicados e voltados a uma precisão maior em um corte menor. Ideais para pequenos cortes, inclusive incisões em corpos.	3
<b>Suporte de encaixe</b>	Serve como um sistema de encaixe para as lâminas de corte.	2 hastes
<b>Lâminas de separação</b>	Função da lâmina: separar as lâminas de corte, sendo que cada uma dessas lâminas de separação separa duas lâminas de corte. Função do pino: fazer a junção das lâminas de corte, lâminas de separação e das hastes de encaixe.	3 lâminas e 3 pinos.
<b>Parte frontal e superior</b>	Função da placa: adereço de embelezamento do canivete.	2 placas de osso

### Análise dos materiais

A microdureza da lâmina de corte foi de 1007 vickers. Ela foi obtida com uma carga de 200g durante o tempo de 15 segundos. Pode-se concluir que o material das lâminas de corte é aço inoxidável, pois o reagente Nital (Ác. Nítrico 4%, diluído em álcool etílico) não atacou o material, sendo necessário então, a utilização do reagente Vilela. Analisando as micrografias percebe-se que há martensita e carbonetos de cromo. Com auxílio de um *handbook* de micrografias de aço, chegou-se a conclusão de que o material das lâminas de corte é o aço inoxidável martensítico AISI 420. O resultado da análise do espectrômetro de emissão óptica, para as lâminas de corte, foi AISI 420 Martensítico (Aço Inox), ou seja, confirmou o resultado obtido pelas análises metalográficas.

O material do suporte para encaixe também é aço inoxidável, pois foi necessário a utilização do reagente Vilela, já que o reagente Nital não atacou a superfície. O único material cerâmico encontrado foi o osso fixado na parte externa do canivete. Para análise de difração

de raios X, foi examinado um osso semelhante ao encontrado no canivete, pois esse último contém uma resina polimérica o que provavelmente dissimularia o resultado. O resultado da análise de difração de raios X realizada no osso do canivete é representado na figura 43.

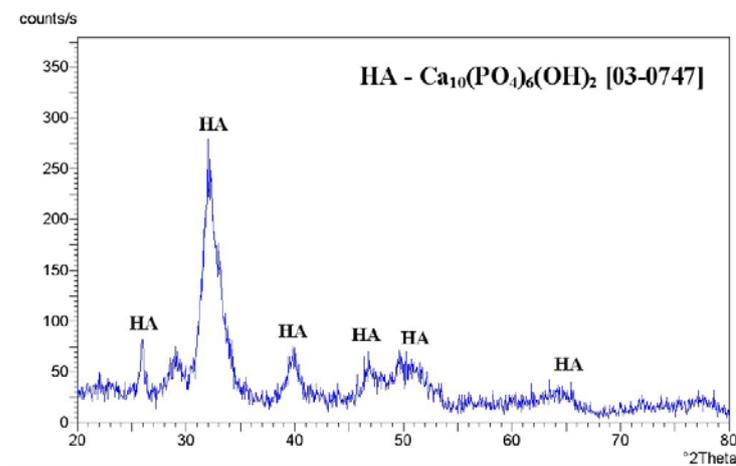


Figura 43: Difratograma de raios X do osso do canivete. Fonte: (Holz, 2005).

A análise do difratograma acima permita identificar Hidroxiapatita. O material examinado contém fase amorfa e a hidroxiapatita é o mineral cristalino majoritário. Como o material polimérico encontrado no canivete, esmalte sob o osso, é bastante complexo, foi possível apenas realizar o espectro de infravermelho para a determinação dos grupos funcionais, pois o DSC e o TGA não nos permitiriam afirmar qual a descrição exata desse polímero. Na tabela 12 encontram-se sistematizados os materiais e as técnicas utilizadas nesta análise.

Tabela 12: Materiais e técnicas utilizadas. Adaptada de Holz (2005).

	Material	Técnicas empregadas
Lâminas de Corte	Aço inoxidável martensítico 420	Metalografia e Espectroscopia de Emissão Óptica
Suporte de encaixe	Aço inoxidável	Metalografia
Lâmina de separação	Ligas de latão	Metalografia
Ossos do canivete	Hidroxiapatita	Difração de Raios X
Esmalte sob o osso	Esmalte - não foi possível determinar qual.	Espectro de infravermelho

### 3.1.4. Chaves-de-fenda

#### Análise estrutural dos similares

Segundo o Inmetro (2007), os componentes da chave de fenda são: empunhadura (cabo) em plástico para melhor agarre que aloja a haste metálica; haste em liga de aço revestida para proteção contra ferrugem; ponta endurecida e/ou imantada. A análise estrutural

é exemplificada na figura 44 abaixo, onde são também mostrados os elementos de junção encontrados.

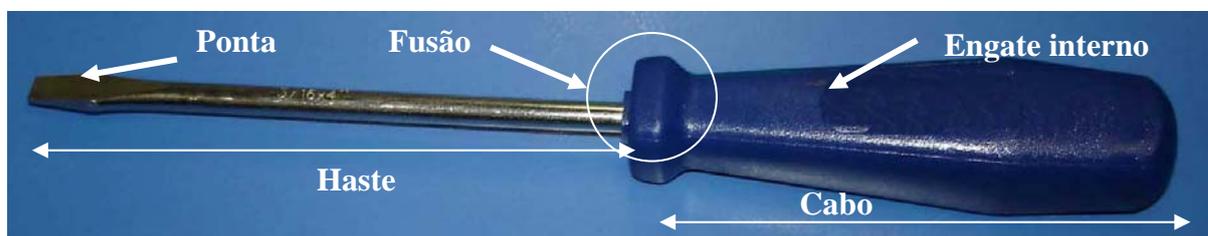
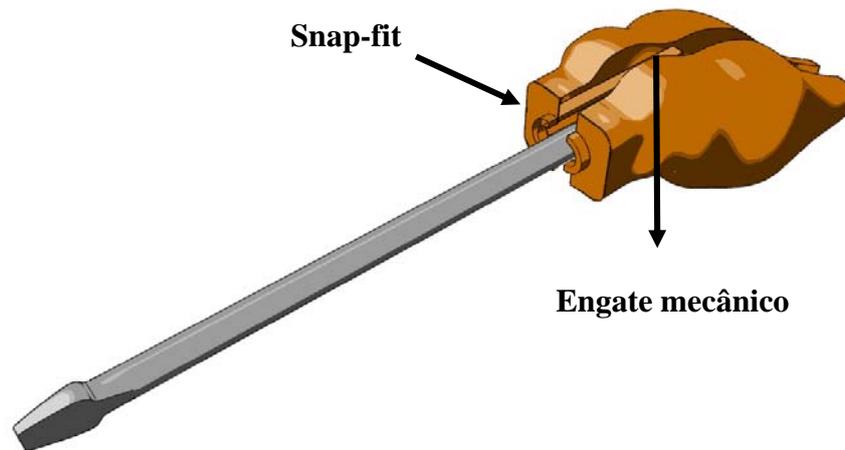


Figura 44: Estrutura e elementos de junção presentes na chave de fenda. Adaptada de Schneider (2006).

### Análise dos elementos de junção

Os elementos de junção presentes, conforme mostra a figura 44, nas chaves-de-fenda são a **fusão** do polímero na haste metálica e o **engate** mecânico interno. A fusão consiste em unir peças através da solidificação de um ou mais materiais; é um tipo de união permanente não permitindo grau de liberdade. Já o engate é uma união feita por intermédio do acoplamento de uma peça em outra provocando a fixação entre elas. A fusão é considerada um elemento de união muito ruim do ponto de vista da desmontabilidade do produto, pois é necessário “cortar” para desmontar a haste do cabo, sendo este o principal problema em relação ao Ecodesign do produto.

Através dos dados analisados gerou-se um novo conceito para o produto, sendo este uma diretriz para o futuro projeto de produto, em relação aos elementos de junção das chaves de fenda. Este novo conceito deve considerar a facilidade da separação entre haste e cabo. Através disso gerou-se um Design conceitual no software Rhinoceros 4.0, figura 45. Baseado nas análises, o elemento de junção proposto para este cabo é o snap-fit, sendo possível com isso o fácil desmonte da haste metálica do cabo quando este estar no fim de sua vida útil, além do engate mecânico interno necessário para a firmeza necessária para o produto.



**Figura 45: Desmontagem da chave-de-fenda mostrando o “snap-fit”.**

Na tabela 13 são mostrados de forma sintética os materiais, processos e os elementos de junção propostos para uma chave de fenda.

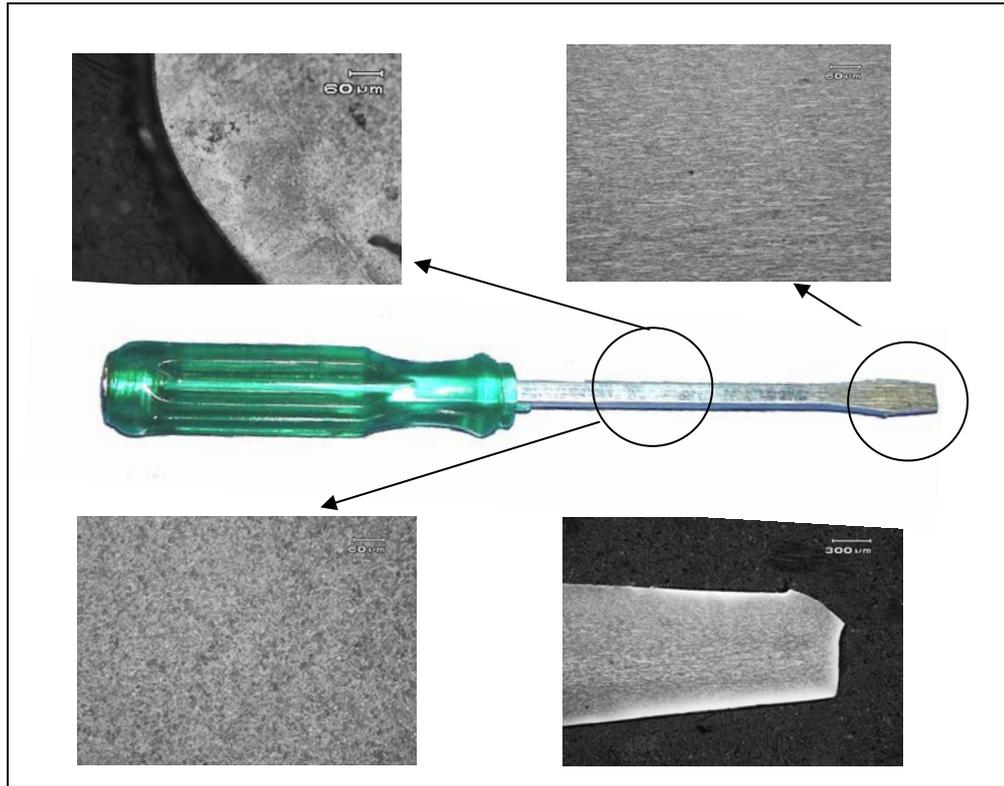
**Tabela 13: Materiais, processos e elemento de junção utilizados na fabricação das chaves de fenda proposta. Adaptada de Schneider (2006).**

Haste		Cabo		Elemento de junção
Material	Processo	Material	Processo	
Aço baixa-liga	Forjamento/ Serramento/ Têmpera/Revenido	Policloreto de Vinila (PVC)	Injeção	Snap-fit e Engate mecânico

### **Análise dos materiais dos similares**

#### Haste

As metalografias da figura 46 referem-se à chave B e revelam uma microestrutura perlítica com presença de grãos de ferrita ao longo de toda a haste. Observa-se que na extremidade de trabalho os grãos estão encruados que resultam da deformação por laminação.



**Figura 46: Metalografias da haste da chave B com a indicação do local de onde foram retiradas as amostras. Fonte: (Schneider, 2006).**

### *Durezas*

A norma ABNT EB-2110 preconiza que as hastes devem ser tratadas termicamente em todo o comprimento e apresentar o valor mínimo de dureza de 50 HRC (Inmetro, 2007). Cabe aqui salientar que a chave de fenda importada (chave B) não atende às exigências da norma brasileira, o que é um péssimo indicativo para a indústria nacional, ou seja, tem-se permitido a importação de ferramentas fora das especificações exigidas pelas normas nacionais, tabela 14.

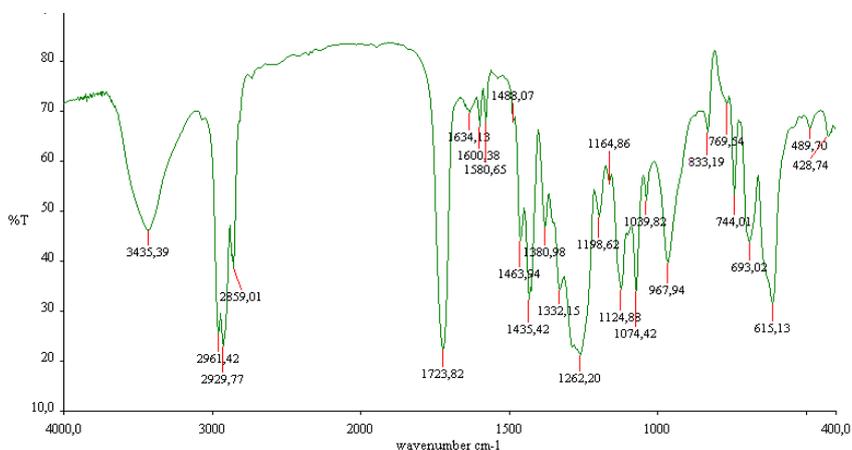
**Tabela 14: Dureza (média dos valores em HRC). Fonte: (Schneider, 2006).**

Chave	Ponta (HRC)	Haste (HRC)
A1	57	55
A2	54	52
B	46	33

### *Cabo*

Para as análises das amostras dos cabos das chaves A1 e B, material amorfo, caracterizado pela transparência, utilizou-se a técnica de FTIR em um aparelho Nicolet 710. A análise e a comparação do espectro obtido com o banco de dados (biblioteca) do aparelho

indicaram que o material de ambas as amostras é um policloreto de vinila (PVC) com plastificante. A figura 47 mostra o resultado da análise de FTIR realizada na amostra do cabo A1.



**Figura 47: Caracterização do cabo por meio da análise FTIR da chave A1. Fonte: (Schneider, 2006).**

Dentre as propriedades dos polímeros utilizados nos cabos, pode-se citar: o PP, como o PVC, apresentam propriedades mecânicas similares, mas o PVC oferece maior isolamento elétrica, maior resistência a altas temperaturas. Já o PP oferece estabilidade térmica somente até 90 °C, porém é comprovadamente atóxico (Vick, 2005).

Os materiais, processos e os elementos de junção utilizados pelos diferentes produtos são sistematizados na tabela 15.

**Tabela 15: Materiais, processos e elemento de junção utilizados na fabricação das chaves de fenda. Adaptada de Schneider (2006).**

Modelo	Material da Haste		Material do Cabo		Elemento de junção
	Material	Processo	Material	Processo	
<b>A1</b>	Liga de aço baixo carbono	Forjamento/ Serramento/ Têmpera	Policloreto de Vinila (PVC)	Injeção	Fusão e Engate
<b>A2</b>	Liga de aço baixo carbono	Forjamento/ Serramento/ Têmpera	Polipropileno (PP)	Injeção	Fusão e Engate
<b>B</b>	Liga de aço baixo carbono	Laminação e Serramento	Policloreto de Vinila (PVC)	Injeção	Fusão e Engate

### *Compromisso entre as propriedades*

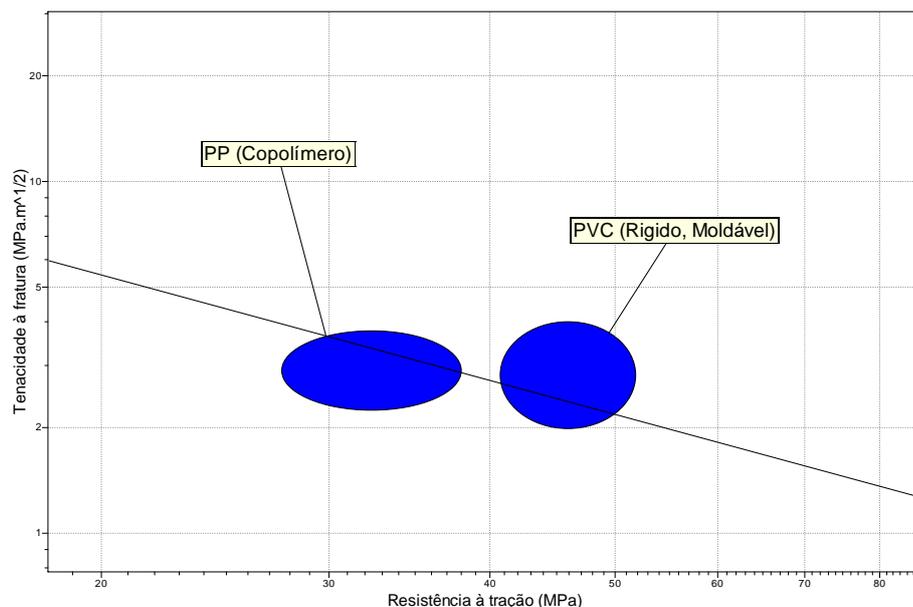
Nesta etapa é realizada uma análise entre os materiais encontrados para saber qual é o melhor entre os encontrados.

### Haste

O material presente nas hastes é o mesmo, uma liga de aço baixo carbono. A grande diferença entre as hastes está no processo de acabamento. As chaves A1 e A2 apresentam microestrutura martensítica tanto nas pontas quanto em suas hastes. Suas durezas atendem às especificações da norma ABNT EB-2110. Ambas são isentas de defeitos superficiais, com a chave A1 apresentando uma camada de revestimento mais espessa. Na chave B encontramos um acabamento superficial de má qualidade com presença de ranhuras que tendem a dificultar a limpeza e favorecer a corrosão.

### Cabo

Em relação aos cabos, foram encontrados dois diferentes materiais, o PP e o PVC. Analisando separadamente estes dois tipos de materiais, gerou-se um gráfico no Software CES Edupack 2007 em relação a Tenacidade a Fratura (Fracture Toughness) versus Resistência a Tração (Tensile Strength), figura 48. A propriedade “Fracture Toughness” indica o quando este material resiste à fratura. Neste caso deseja-se que esta resistência seja a maior possível. A outra propriedade considerada é a “Tensile Strength”, que indica a quantidade de força requerida para esticar o material até o seu rompimento. Esta propriedade também está relacionada com a resistência à quebra, e deseja-se que seja a maior possível. Outro gráfico realizado foi o Módulo de Young versus o Preço. O Módulo de Young ou Módulo de Elasticidade diz respeito à rigidez do material, ou à resistência do material à deformação elástica.



**Figura 48: Gráfico Tenacidade à Fratura versus Resistência a Tração. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).**

Nota-se no gráfico da figura 48 que o PVC possui as melhores propriedades, tendo maior resistência a tração e maior tenacidade a fratura, é mais barato que o PP copolímero e tem um módulo de Young maior que este. Além disso, em relação a Luz Solar (radiação UV) o PVC tem maior resistência do que o PP, sendo esta propriedade importante por se tratar a chave de fenda uma ferramenta de uso em diversos ambientes, internos e externos. Soma-se a isso o fato do PVC ser mais isolante e ser pouco inflamável, não pega fogo. Estas últimas características importantes para uma ferramenta manual. Sendo assim, o PVC torna-se a melhor escolha.

### **Levantamento de Alternativas de Materiais**

Nesta etapa é apresentada uma proposta de novos materiais e processos de fabricação, a fim de exemplificar a importância da seleção de materiais no projeto de produto. Através do banco de dados do software CES Edu Pack 2007 foi possível avaliar uma gama de propriedades dos materiais, de maneira a obter o melhor compromisso entre as propriedades através de gráficos com estas propriedades.

#### Haste

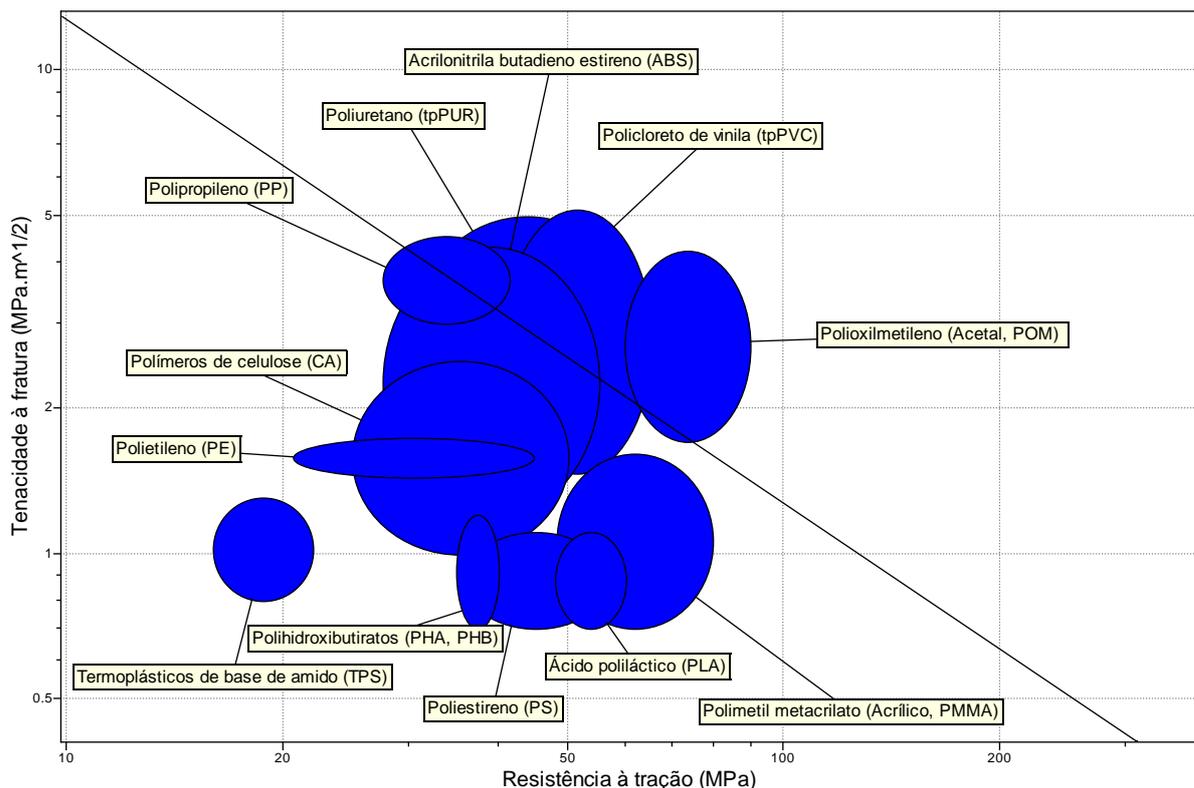
Primeiramente foram relacionadas as principais propriedades que uma haste deve apresentar e que materiais poderiam reunir todas estas propriedades. Considerando a infinidade de materiais existentes utilizou-se o Banco de Dados do software CES Edu Pack (2007) para auxiliar nesta pré-seleção. Com as análises foram obtidos como possíveis materiais: Aço baixo carbono, ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular, aço baixa liga. Este resultado representa bem a maior parte dos materiais utilizados para a fabricação das hastes metálicas. Considerando a facilidade de processamento, o preço e a resistência à corrosão, os materiais mais utilizados empregados são as ligas de aço. O material que obteve o melhor desempenho com um custo relativamente baixo foi o **Aço baixa liga**, justificando assim a sua utilização.

#### Cabo

Inicialmente foi feito um levantamento das propriedades requeridas para o cabo. É esperado que o material utilizado na fabricação do cabo de uma chave de fenda seja rígido, mas não seja frágil, confeccionado em um material atóxico e com bom acabamento e com resistência elétrica. Este material deverá ser barato, pois é um produto com baixo valor agregado, de uso em massa, requerendo alta produtividade, logo, o material utilizado deverá

permitir uma produção em grande escala. Considerando a infinidade de materiais existentes utilizou-se o Banco de Dados do software CES Edu Pack 2007 para auxiliar nesta pré-seleção, quando se buscou dentre os materiais termoplásticos algumas possibilidades de materiais para o cabo das chaves de fenda.

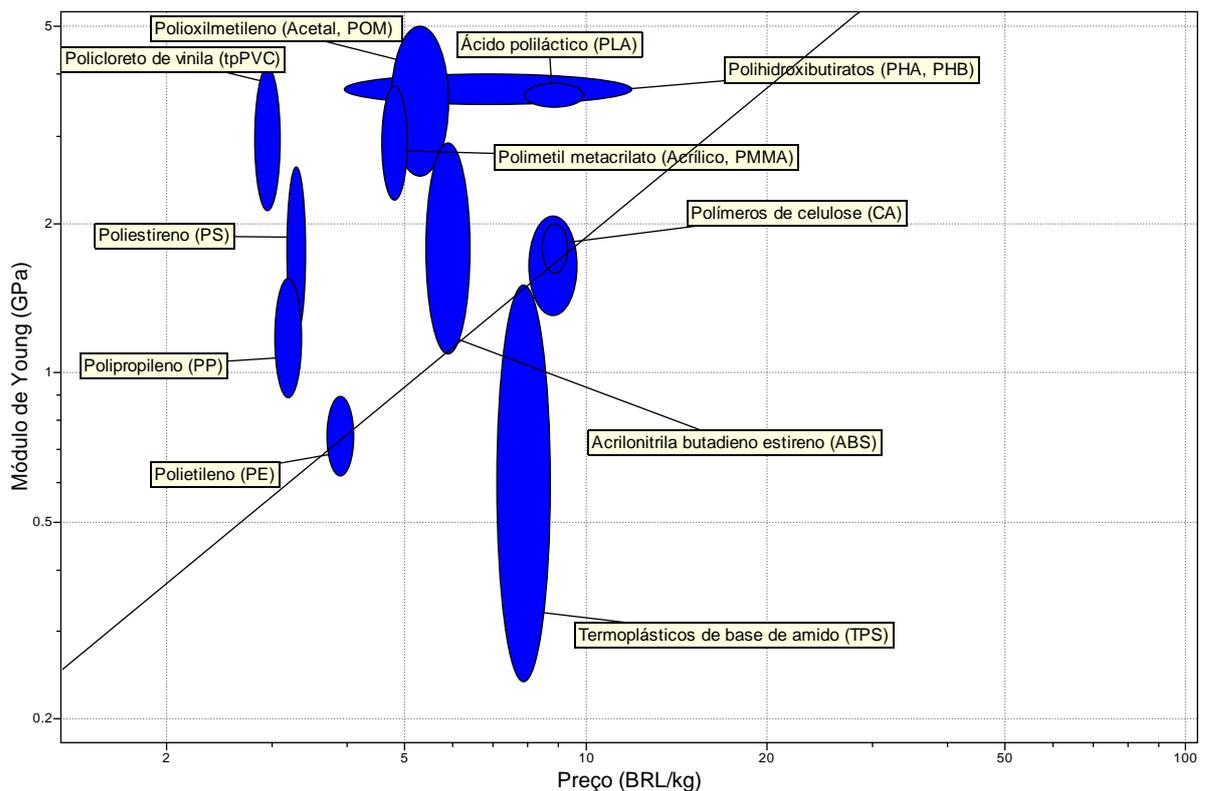
Utilizou-se como base os materiais termoplásticos por serem injetáveis e passíveis de produção em larga escala. Nesta seleção foram excluídos os materiais elastômericos (borrachas), pois esses são difíceis de processar de forma necessária além de ser muito macios para o torque. A partir disso foi gerado o gráfico que relaciona Tenacidade à Fratura (Fracture Toughness) versus Resistência a Tração (Tensile Strength), figura 49. A propriedade “Fracture Toughness” indica o quando este material resiste à fratura. Neste caso deseja-se que esta resistência seja a maior possível. A outra propriedade considerada é a “Tensile Strength”, que indica a quantidade de força requerida para esticar o material até o seu rompimento. Esta propriedade também está relacionada com a resistência à quebra, e deseja-se que seja a maior possível.



**Figura 49: Gráfico Tenacidade à Fratura versus Resistência a Tração. Fonte: Cambridge Engineering Selector (2007).**

Outro gráfico realizado foi o Módulo de Young versus o Preço, figura 50. O Módulo de Young ou Módulo de Elasticidade diz respeito à rigidez do material, ou à resistência do material à deformação elástica. Quanto maior for este módulo, mais rígido será o material e

menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão. O módulo de Young é importante pois o cabo da chave deve ser rígido evitando assim deformar-se excessivamente quando da aplicação da força. Com base no uso, é esperado do material utilizado no cabo de uma chave de fenda um módulo elástico elevado, para que possa transmitir a energia para a haste metálica ao invés de acumular esta na forma de deformação. E o preço é muito importante por se tratar a chave de fenda um produto de massa.



**Figura 50: Gráfico Módulo de Young versus Preço. Adaptada de Schneider (2006).**

A figura 50 mostra os polímeros possíveis, demonstrando o PVC, o POM, o PS, o PP e o PE como sendo as principais escolhas para este. Com base nisso propõe-se a utilização do **Policloreto de Vinila - PVC** para o Cabo da chave de fenda. Este material pode ser translúcido, possibilitando inovar no material da peça de modo a permitir a visualização da estrutura do produto. A máxima temperatura de serviço desse material é 70°C, ideal para o uso amador da mesma.

### 3.1.5. Compressores de ar para aquário

#### Análise estrutural dos similares

Na tabela 16 é feita uma análise quantitativa do número de peças necessárias para montagem de cada conjunto, sendo este um item fundamental na avaliação dos similares e um dado importante nas possíveis soluções de projeto.

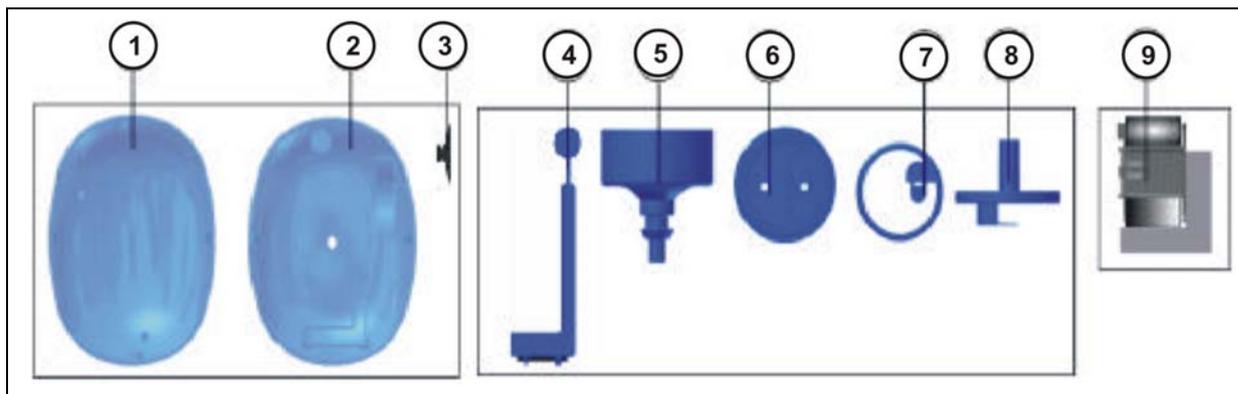
**Tabela 16: Análise dos componentes dos modelos de compressores analisados. Fonte: (Cândido, 2004).**

Modelo de compressor	Total de Peças
A	34
B	19
C	19
D	25

#### Análise dos elementos de junção

Avaliando os dados da tabela 16, iniciou-se o trabalho de re-design conceitual, visando-a modificações na concepção do produto com ênfase na redução de componentes sem afetar a funcionalidade, atendendo a critérios técnicos, econômicos e ambientais. Com auxílio de *software* 3D foi desenvolvido um modelo de compressor baseado nas orientações do Ecodesign e na redução do impacto ambiental, contemplando processos mais enxutos, visando assim ao ganho em produtividade e diferencial competitivo.

O projeto de componentes únicos com funções que antes eram feitas com base na montagem de dois ou mais componentes, possibilitou a redução de peças e adoção do processo de injeção sob pressão na produção das peças plásticas. Os componentes 1 e 2 são responsáveis pela estruturação do compressor, posicionamento dos componentes internos, proteção dos componentes internos e a estética do produto. Nesses componentes foram aplicados sistemas de fixação dos conjuntos sem a utilização de parafusos, porcas ou colagens. Um dos sistemas adotado no fechamento das tampas é denominado de **Snap-fit**, que elimina a necessidade de parafusos na montagem dos dois itens. Na figura 51 visualizam-se os itens descritos na tabela 17.



**Figura 51: Compressor desenvolvido no LdSM. Fonte: (Cândido, 2004).**

**Tabela 17: Identificação dos componentes do compressor modelo LdSM. Fonte: (Cândido, 2004).**

Peça	Denominação	Função	Material	Qt
1	base superior	fechamento do conjunto	polímero	1
2	base inferior	base	polímero	1
3	ventosa	fixador	polímero	1
4	braço oscilante	vibrador	polímero+imã	2
5	diafragma	captador	elastomero	1
6	base da válvula	corpo da válvula	polímero	1
7	membrana	vedante	polímero	1
8	membrana	vedante	polímero	1
9	bobina elétrica	campo magnético	polímero	1
Total				10

A nova proposta de compressor de ar para aquário partiu do princípio da redução de desperdício de matéria-prima e a melhoria nos processos, tendo como base a analogia e a análise dos produtos existentes, preocupando-se em reduzir o impacto ambiental e o custo industrial envolvido no processo de fabricação, por meio da utilização de materiais compatíveis e o conceito de Ecodesign, visando à reutilização de componentes, à manutenção do produto, aumentando seu ciclo de vida e sua posterior reciclagem. Na tabela 18 é estabelecida a analogia quantitativa de peças entre os produtos existentes e o resultado do re-design proposto pelo LdSM.

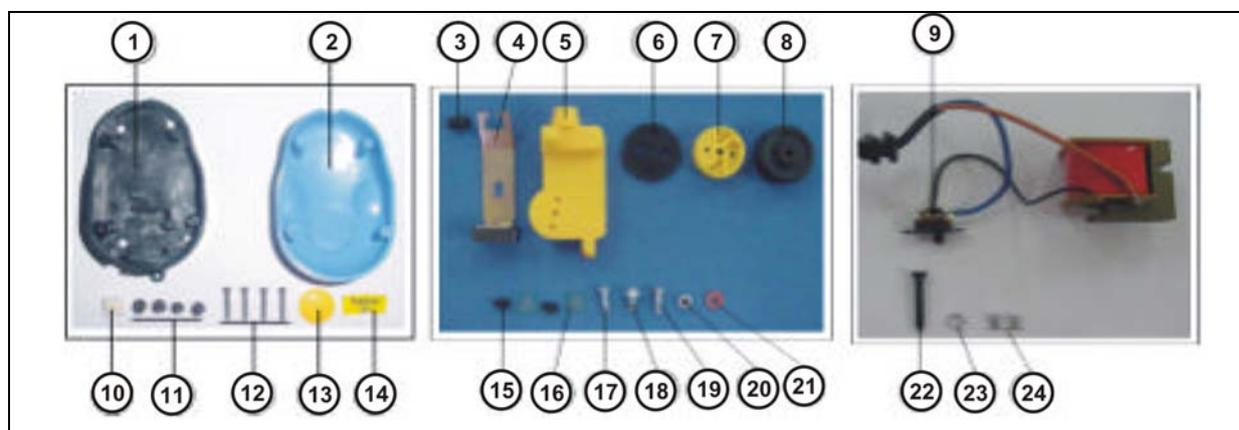
**Tabela 18: Analogia entre os produtos existentes com a proposta baseada na técnica do Ecodesign. Fonte: (Cândido, 2004).**

Modelo de Compressor	Total de Peças	Diferentes Materiais
A	34	06
B	19	04
C	19	05
D	25	04
Desenvolvido no LdSM	10	04

Na análise quantitativa (tabela 18) fica comprovado que é possível desenvolver ou redesenhar um produto tendo como base de projeto informações que venham a agregar conhecimento e técnicas de adequação ambiental viáveis. Nesse caso específico o foco principal foi o desenvolvimento de um produto com menor número de componentes e com processos mais enxutos. Essa mudança no produto tende a agregar um diferencial competitivo e estratégico para a empresa, mesmo adotando critérios de projeto tradicionais, mas aplicando a variável ambiental com o mesmo valor de outras estratégias industriais, tais como o lucro, a qualidade, a funcionalidade, a estética, a ergonomia e a imagem da empresa perante a sociedade.

### Análise dos materiais

Nesta etapa ocorreu o estudo dos modelos existentes de compressores de ar para aquário. A concepção do modelo A é representada por meio de sua estrutura funcional na figura 52, sendo os componentes identificados na tabela 19.



**Figura 52: Componentes do Compressor Modelo A. Fonte: (Cândido, 2004).**

**Tabela 19: Identificação dos componentes do compressor modelo A. Fonte: (Cândido, 2004).**

Peça	Denominação	Função	Material	Qt
1	base inferior	base para montagem	termoplástico	1
2	base superior	fechamento do conjunto	termoplástico	1
3	tubo	posicionador	elastômero	1
4	braço oscilante	vibrador	aço+imã	2
5	coletor de ar	distribuidor de ar	termoplástico	1
6	anel	vedação	elastômero	1
7	base da válvula	corpo da válvula	termoplástico	1
8	diafragma	captação oxigênio	elastômero	1
9	controladora	chave	polímero	1
10	filtro	filtração do oxigênio	feltro	1
11	apoio	apoio	elastômero	4
12	parafuso	fixador	aço	4
13	disco	item decorativo	termoplástico	1
14	adesivo	identificação do produto	termoplástico	1
15	fixador	fixador	elastômero	2
16	membrana	vedante	elastômero	2
17	parafuso	fixador	aço	1
18	parafuso	base para montagem	aço	1
19	parafuso	fixador	aço	1
20	porca	fixa peça 2 a peça 10	aço	1
21	arruela	espaçador	compósito	1
22	parafuso	fixador	aço	1
23	arruela especial	trava	aço	1
24	parafuso	fixador	aço	2
Total				34

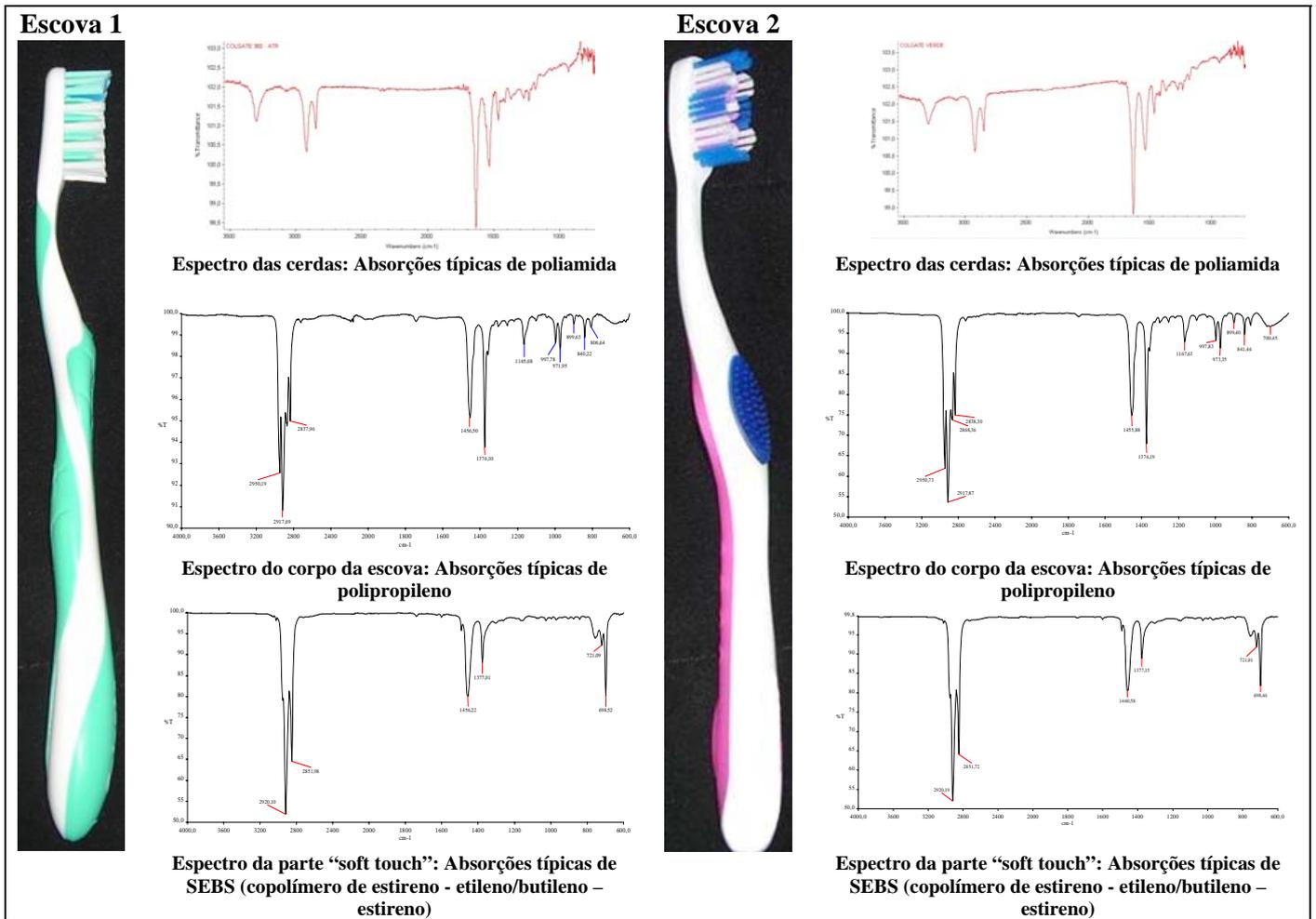
### 3.1.6. Escovas dentais

#### Análise dos materiais

Para a análise dos materiais constituintes dos cabos e cerdas das escovas foi utilizada a técnica de *Fourier Transform Infrared* — FTIR<sup>4</sup>, como mostra a figura 53. Dessa forma, pode-se determinar a composição de amostras desconhecidas a partir de um espectro de absorção.

---

<sup>4</sup> A técnica Espectrometria de Infravermelho por Transformada de Fourier consiste no estudo da interação da matéria com o espectro de radiação da luz infravermelha. A absorvância ocorre quando a energia da radiação incidente sobre o material é igual à energia de vibração das ligações entre os átomos, e a molécula vibra na mesma frequência do vetor elétrico do feixe de luz. Desse modo, a absorção do feixe de luz de uma dada energia dá-se devido à presença de ligações químicas de igual energia.



**Figura 53: Fotos das escovas 1 e 2 com os respectivos espectros identificados para cada parte analisada. Fonte: (Roobe, 2007b).**

Os materiais encontrados pelas análises estão representados na tabela 20.

**Tabela 20: Materiais utilizados na fabricação das escovas. Adaptada de Roobe (2007b).**

Escova	Material das Cerdas	Material do Cabo	Material do "Soft touch"	"Ganchos"
1	PA - Poliamida	PP - Polipropileno	SEBS (copolímero de estireno - etileno/butileno - estireno)	Aço AISI 304
2	PA - Poliamida	PP - Polipropileno	SEBS (copolímero de estireno - etileno/butileno - estireno)	Aço AISI 304
3	PA - Poliamida	ABS (copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno)	Poliéster e de unidades estirênicas	Aço AISI 304
4	PA - Poliamida	PP - Polipropileno	SEBS (copolímero de estireno - etileno/butileno - estireno)	Aço AISI 304
5	PA - Poliamida	PP - Polipropileno	SEBS (copolímero de estireno - etileno/butileno - estireno)	Aço AISI 304
6	PA - Poliamida	PP - Polipropileno	Não há "Soft touch"	Aço AISI 304

### Levantamento de alternativas de materiais

Inicialmente foi feito um levantamento das propriedades requeridas para o cabo das escovas. Para as cerdas, apenas identificou-se o tipo de nylon utilizado, uma vez que todos os fabricantes indicavam nas embalagens que as cerdas são feitas neste tipo de material. É esperado que o material empregado na fabricação de um cabo de escova de dentes seja rígido, mas flexível. Seja um material atóxico, que permita um bom acabamento. Este material deverá ser barato, pois as trocas das escovas de dentes são freqüentes (a cada três meses geralmente). Este material também deverá ser resistente à água assim como a ácidos e bases fracas (devido a diferenças leves de pH da água no ambiente urbano e rural). Visto que é um produto de uso contínuo, ele requer alta produtividade, logo, o material utilizado deverá permitir uma produção em massa.

Por meio do banco de dados do software *CES Edu Pack 2005*, foi possível criar Diagramas de compromisso entre propriedades, nos quais se buscou dentre os materiais termoplásticos, algumas possibilidades de materiais para o cabo das escovas dentais. Utilizou-se como base os materiais termoplásticos, pois são materiais injetáveis e passíveis de produção em larga escala. Com base no relacionamento entre Módulo de Young e Limite Elástico e Dureza versus Preço (figura 54), foi possível determinar os possíveis materiais mais indicados.

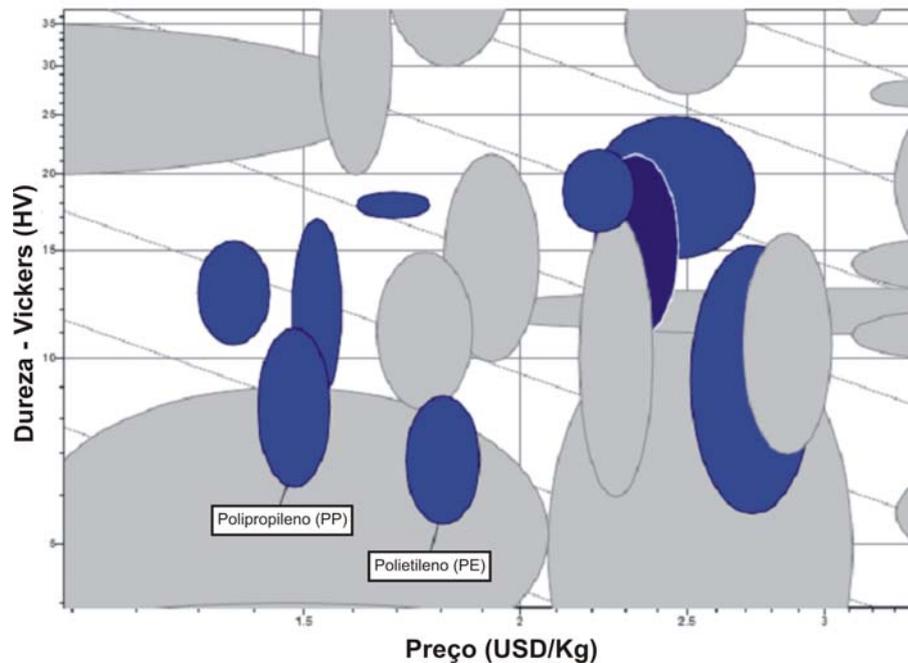
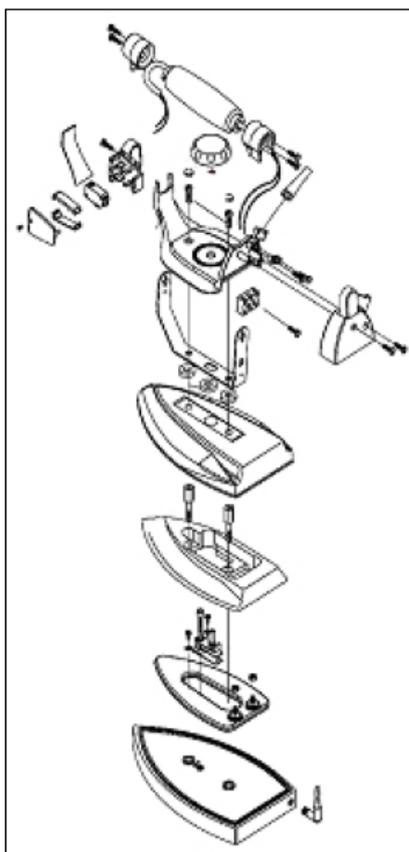


Figura 54: Gráfico do compromisso entre a Dureza Vickers e o Preço do material, apresentando os polímeros indicados nesta faixa de propriedades. Fonte: (Roobe, 2007b).

### 3.1.7. Ferros elétricos

#### Análise estrutural dos similares

Para realizar uma análise estrutural, foi necessária a desmontagem total de um ferro de passar para a separação e estudo de cada componente isoladamente (figura 55).



**Figura 55: Separação das partes do ferro. Fonte: (Souza, 2007).**

Nessa desmontagem foram identificados diferentes materiais e variados elementos de junção, como adesivos, parafusos, soldas e encaixes. A desmontagem de algumas partes, entretanto, mostrou-se difícil devido ao uso inadequado destes elementos de junção, o que irá dificultar, também, o processo de reciclagem do produto. Na tabela 21 estão reunidas as funções de cada componente.

Tabela 21: Componentes e suas funções no ferro de passar. Adaptada de Souza (2007).

	<b>Função</b>
<b>Base do Ferro</b>	Condução térmica e densidade baixa para não ficar muito pesado para o usuário.
<b>Termostato parte metálica</b>	Seletor de temperatura do ferro de passar.
<b>Termostato parte cerâmica</b>	Isolar o calor, estando em contato com o sistema seletor de potência, responsável por controlar o aquecimento da chapa.
<b>Peça com função de transmissão de movimento (liga/desliga)</b>	Função de transmitir o movimento que o usuário faz no botão de acionamento do ferro, para o sistema.
<b>Indicador de ligado/desligado</b>	Emissão de luminosidade indicando se está ligado ou desligado o aparelho, devendo então ser translúcido.
<b>Isolante Térmico</b>	Isolar a parte polimérica do ferro de passar com a parte metálica, evitando assim a degradação e a danificação do polímero.
<b>Carenagem</b>	Suporte aos demais componentes, apelos estéticos. Resistir ao impacto, devendo também suportar a temperatura de trabalho.
<b>Reservatório de água</b>	Resistir ao impacto devendo também suportar a temperatura de trabalho. É necessário que o polímero seja translúcido, para que o usuário possa ver o nível de água no equipamento.

### Análise dos materiais

Após realizado o processo de desmontagem do ferro, foi efetuada a análise de cada uma de suas partes, assim como dos materiais que as constituem. Os materiais encontrados em todos os componentes estão sistematizados na tabela 22.

Tabela 22: Materiais encontrados e as técnicas utilizadas. Adaptada de Souza (2007).

	<b>Material</b>	<b>Técnicas empregadas</b>
<b>Base do Ferro</b>	Liga de Alumínio	Espectroscopia de Emissão Óptica
<b>Termostato parte metálica</b>	<b>Parte nº 1</b>	Aço SAE 1010
	<b>2</b>	Aço SAE 1020
	<b>3</b>	Cobre 99,98%
	<b>4</b>	Latão
	Dureza = 513±21,08HV	
<b>Termostato parte cerâmica</b>	Silicato de Magnésio (MgSiO <sub>3</sub> ) - Talco.	Difração de raios-X
<b>Peça com função de transmissão de movimento (liga/desliga)</b>	Latão	Não específica
<b>Indicador de ligado/desligado</b>	Policarbonato	Análise por Infravermelho
<b>Botão de acionamento</b>	Parte externa	Nylon
	Parte interna	PBT (polibutileno tereftalato)
<b>Isolante Térmico</b>	Baquelite	Não específica
<b>Carenagem</b>	Polipropileno	Não específica
<b>Reservatório de água</b>	Não específica	Não específica

## Levantamento de alternativas de materiais

**Base:** A partir da análise microestrutural do material foi possível sugerir outro material para a base, que poderia ser utilizado em substituição ao silicato de magnésio, tendo em vista a elevada resistividade elétrica, baixa condução térmica e baixa degradação ante a fadiga térmica (aquecimento e resfriamento do ferro) os seguintes materiais poderiam ser utilizados: alumina, sílica, vidro sodo-cálcico (com argila plastificante), entre outros.

**Peça com função de transmissão de movimento (liga/desliga):** Analisando as condições às quais a peça está submetida, conclui-se que a mesma deveria apresentar resistência à ruptura e um módulo de Young relativamente alto para a função que desempenha, além de suportar temperaturas maiores de 100°C, devido a sua localização próxima à base do ferro. Considerando-se estas características e um preço máximo de US\$ 3,95/Kg, que é o preço médio das ligas de Cu e Zn, foram obtidos como possíveis materiais: latão, ferrosos, cerâmicos e baquelite. Considerando essas características foi elaborado o gráfico preço *versus* coeficiente de tenacidade à fratura (figura 56). Foram escolhidos os materiais que melhor se adaptam às exigências. Entre eles se encontram latão, ferrosos, cerâmicos e baquelite.

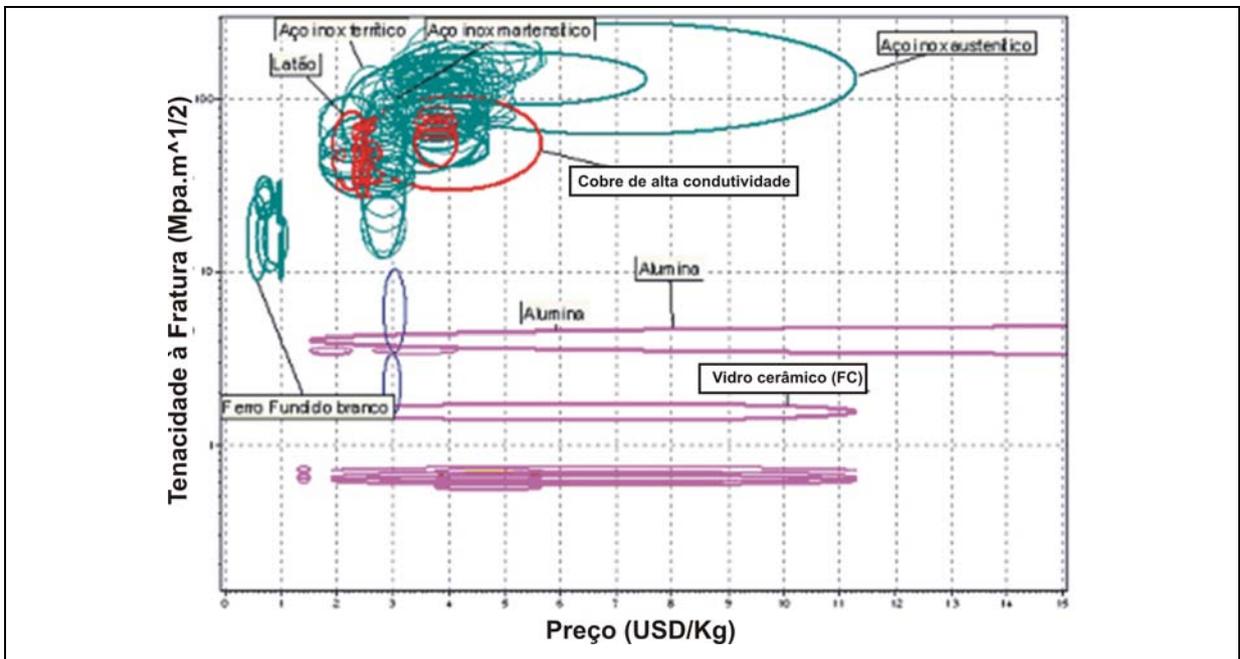


Figura 56: Gráfico preço versus coeficiente de tenacidade à fratura. Fonte: (Souza, 2007).

Analisando o gráfico observou-se que o material que obteve o melhor desempenho com um custo relativamente baixo foi o latão, justificando assim a sua utilização. Os cerâmicos apresentam coeficientes baixos e custo elevado.

*Isolante Térmico:* A partir do estabelecimento de restrições, como isolamento térmico, elétrico, temperatura de serviço e peso do material, foi possível indicar qual material se adequaria melhor às condições de uso do ferro de passar. A resina de poliéster mostrou-se um material com possibilidade de uso, mas apresenta o inconveniente de oferecer pouca resistência à água em forma de vapor, inviabilizando assim seu uso. Existem materiais com um maior valor agregado que também poderiam ser utilizados, como o epóxi e o PPEK (poli-éter-étercetona), entretanto o alto custo é fator excludente em ambos os casos. Para um produto que vise alto desempenho em detrimento do valor, qualquer um dos materiais poderia ser empregado.

### 3.1.8. Garrafas térmicas

#### Análise estrutural dos similares

Quanto às análises estruturais, foram realizados diversos testes comparando as diversas garrafas quanto a capacidade volumétrica real, estabilidade, resistência a choques térmicos, eficiência térmica e resistência ao impacto. Por exemplo, em relação a capacidade volumétrica real foi feito o preenchimento total com água do corpo interno da garrafa térmica estudada, seguido de posterior medida do volume vertido com auxílio de uma proveta. Segundo a Norma ABNT NBR 13282 (ABNT, 1998), o volume medido deve ser maior ou igual a 90% da capacidade indicada pelo fabricante. A tabela 23 mostra os resultados da verificação da capacidade volumétrica.

**Tabela 23: Resultados da verificação da capacidade volumétrica. Fonte: (Schneider, 2007).**

<b>Fabricante</b>	<b>Indicações do Fabricante [L]</b>	<b>Medida [L]</b>
A	1,0	0,950
B	1,0	0,925
C	1,0	1,015

Todas as garrafas atenderam à norma, entretanto a garrafa da marca Termolar apresentou uma capacidade volumétrica um pouco superior às demais.

#### Análise dos materiais

Foi realizado um estudo de Engenharia Reversa na qual se fez uma análise utilizando-se a técnica de FTIR para identificar os materiais utilizados no corpo externo, ampola, tampa e fundo e seus resultados conferidos com a designação fornecida (os materiais

utilizados na confecção dos produtos analisados são indicados pelos próprios fabricantes). Um pedaço da ampola foi colocado no Microscópio Eletrônico de Varredura para verificação da espessura do filme metálico e composição do mesmo. Notou-se picos de silício e oxigênio (contribuição do vidro) e o pico da prata (contribuição do filme). O corpo externo, tampa e fundo foram analisadas indentificando-as o polímero como PP. Apesar da identificação positiva para o PP, nem a identificação do fabricante nem o ensaio de FTIR puderam fornecer detalhes adicionais quanto à natureza do PP utilizado. Assim, não pôde ser determinado se o material empregado tratava-se de um homopolímero de PP ou de um copolímero de PP. Os materiais e técnicas foram sistematizados na tabela 24.

**Tabela 24: Materiais encontrados e as técnicas utilizadas. Adaptada de Schneider (2007).**

	<b>Material</b>	<b>Técnicas empregadas</b>
Corpo externo	Polipropileno	FTIR
Tampa	Polipropileno	FTIR
Fundo	Polipropileno	FTIR
Ampola	Silício e oxigênio (contribuição do vidro) e a prata (contribuição do filme)	FTIR e MEV

Foi constatado que, em sua grande maioria, os materiais utilizados nos produtos são os mesmos. Isso pode sugerir, primeiramente, que já tenha ocorrido uma padronização entre os materiais cujas melhores propriedades são capazes de atender às exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica. Este fato pode significar também que estes são os materiais que melhor satisfazem às necessidades industriais de otimização de processo, dentro de um sistema de qualidade e prevenção de defeitos.

### **Levantamento de alternativas de materiais**

Para a seleção de materiais, partiu-se do universo dos polímeros termoplásticos, por serem estes materiais os mais adequados para moldagem pelo processo de injeção. Os critérios de seleção de materiais foram determinados pela função estrutural e pelas restrições de resistir tanto a choques mecânicos quanto térmicos. Esses requisitos de design se traduzem em especificações dadas por combinações de propriedades como resistência mecânica, resistência ao impacto, tenacidade, temperatura máxima de serviço e preço. Em seguida foram eliminados todos os materiais com preço maior que R\$ 8,00/kg e com temperatura de serviço menor do que 100°C, posto que estes são requisitos básicos para que o material se enquadre na aplicação em questão. Na sequência, foi feito um gráfico de resistência mecânica versus

resistência ao impacto. Através de uma reta de inclinação (-1) foram eliminados os materiais frágeis e com menor resistência mecânica.

Eliminados os materiais com propriedades mecânicas mais pobres, a seleção final foi feita avaliando os materiais com o melhor compromisso entre alta tenacidade e baixo custo. A figura 57 expõe o gráfico de tenacidade à fratura em função do preço.

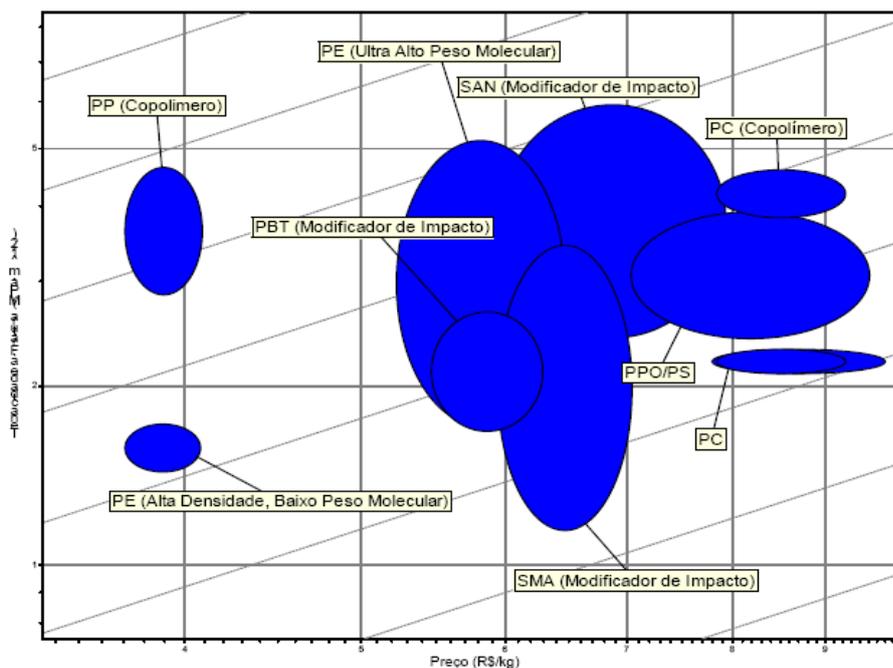


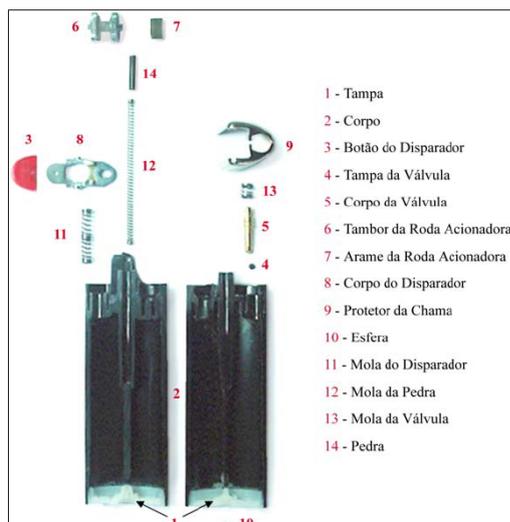
Figura 57: Tenacidade à fratura em função do preço. Fonte: (Schneider, 2007).

Na figura 57 observa-se que os copolímeros de PP são, de fato, os melhores materiais termoplásticos para serem usados em estruturas de garrafas térmicas, apresentando o melhor compromisso entre alta tenacidade e baixo custo. Materiais como o PE de ultra-alto peso molecular e o PC possuem tenacidade equivalente, porém seu maior custo o torna menos atraente para uso em garrafas térmicas.

### 3.1.9. Isqueiros

#### - Análise estrutural dos similares

A fim de realizar a análise estrutural, foi feita a desmontagem do objeto, de modo a permitir o estudo de cada componente separadamente (figura 58). Todas as peças são fixadas através de sistemas de encaixe no corpo, com exceção da tampa, que é fixada pela técnica de ultra-som.



**Figura 58: Separação das peças do isqueiro. Fonte: (Faller, 2006).**

A Análise do Funcionamento ocorreu por meio da observação dos testes com o isqueiro montado e desmontado. Os processos de fabricação foram determinados com base nos materiais encontrados para cada componente e com pesquisa em material bibliográfico (tabela 25).

**Tabela 25: Função e processo de cada componente constituinte. Adaptada de Faller (2006).**

	<b>Função</b>	<b>Processo</b>
<b>Tampa</b>	Fechar o fundo do reservatório do gás combustível.	Injeção
<b>Corpo</b>	Reservatório para o inflamável sob pressão, além de servir de base para a união de todas as outras peças.	Injeção
<b>Esfera</b>	Lacrar o orifício por onde o reservatório de gás é preenchido.	Fixação se dá por pressão
<b>Disparador e Válvula</b>	Controla a abertura e o fechamento da válvula que libera o gás	Quando se pressiona o disparador abre e libera o gás proveniente do reservatório; ao se soltar o disparador, um sistema de molas fecha a válvula e interrompe automaticamente o fluxo de gás.
<b>Protetor de Chama</b>	Proteger a chama das correntes de ar além de função estética	Estampagem
<b>Roda Acionadora, Pedra e Mola da Pedra</b>	A roda acionadora é fixada de modo que tenha rotação axial. Desse modo, girando-a com força e velocidade suficientes, tem-se a geração de faíscas devido ao atrito com a pedra. A parte da roda acionadora deve apresentar alta dureza, resistência mecânica e à abrasão. A mola da pedra está posicionada de modo que esteja sempre em compressão, gerando assim um esforço contínuo sobre a pedra para que a mesma fique em contato permanente com a roda acionadora. Desse modo, mesmo havendo desgaste da pedra, a mola empurrará a pedra para cima e o contato com a roda acionadora será mantido.	A parte da roda acionadora que entra em contato com a pedra é obtida através de um fio endurecido enrolado sobre o núcleo da peça.

## Análise dos materiais

Um dos exemplos é sobre a tampa, o corpo e o botão do disparador. Segundo as análises, a tampa, o corpo e o botão do disparador (ítens 1, 2 e 3 da figura 58, respectivamente) são feitos com o mesmo material, com diferença apenas na utilização de pigmentos de cor. A sua identificação foi possível através da utilização das técnicas de DSC e FTIR (figura 59). Na figura 59 B estão representados os espectros de FTIR da amostra da material do isqueiro e do nylon 66 da biblioteca do software. Devido à semelhança dos dois espectros, conclui-se que o material polimérico empregado para a fabricação destas três peças é o nylon 66.

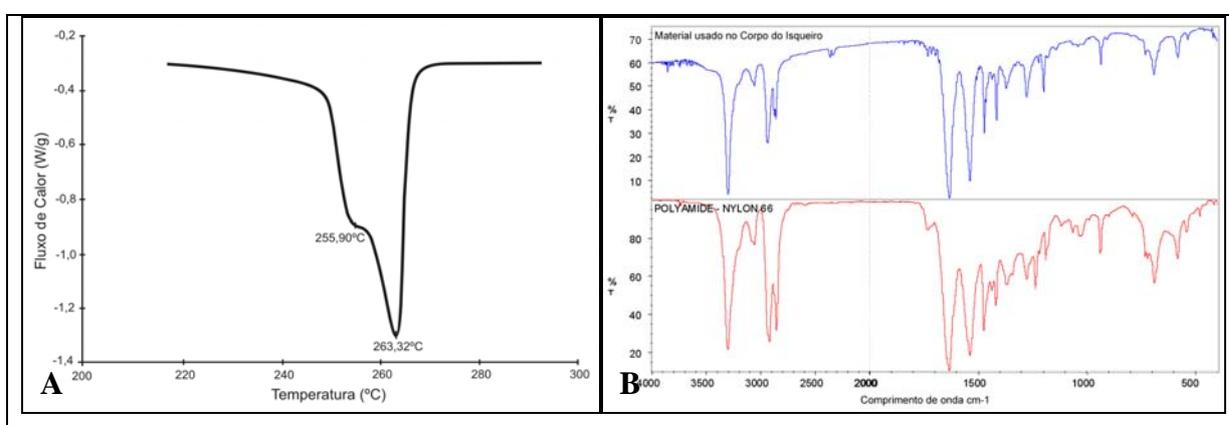


Figura 59: Curva de DSC (A) e Espectros do material do corpo e do nylon 66 (B). Fonte: (Faller, 2006).

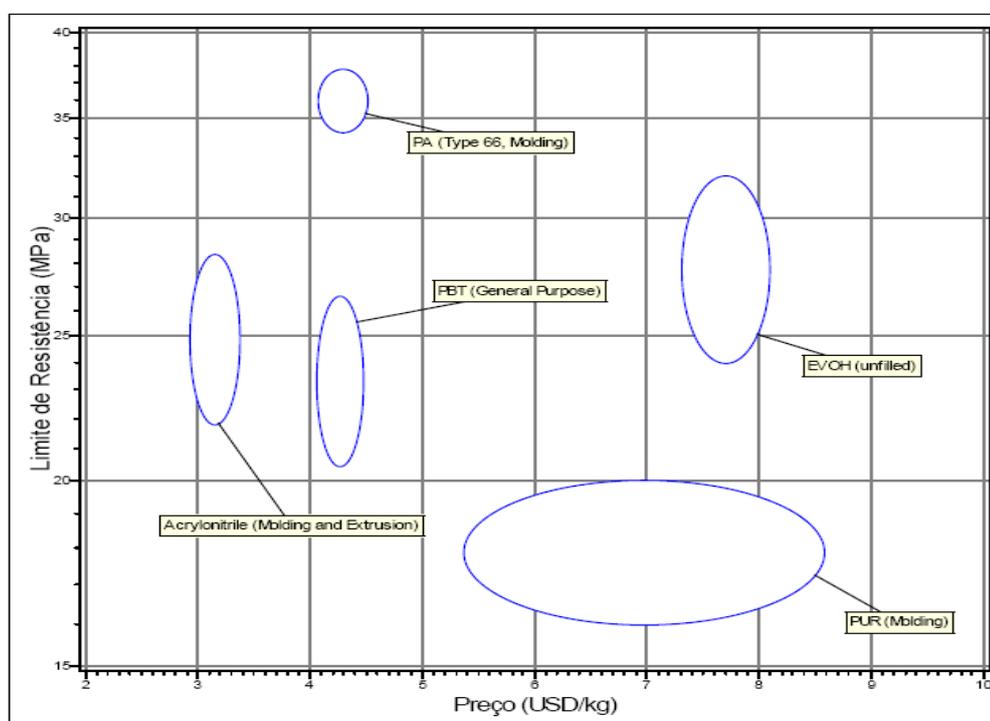
Os materiais encontrados e as técnicas aplicadas estão reunidos na tabela 26.

Tabela 26: Materiais e técnicas utilizadas. Adaptada de Faller (2006).

	Material	Técnicas empregadas
<b>Tampa, Corpo e Botão do Disparador</b>	Nylon 66	DSC e FTIR.
<b>Corpo da Válvula</b>	Liga de Zinco e alumínio	EDS
<b>Tambor da Roda Acionadora</b>	Zamac (liga de zinco, cobre e alumínio).	XRF
<b>Arame da Roda Acionadora</b>	Liga ferrosa (1% de Manganês e 1% de Cromo). Trata-se de um aço de baixa liga.	XRF
<b>Corpo do Disparador</b>	Liga de zinco e alumínio.	EDS
<b>Protetor da Chama</b>	Aço AISI 1010.	OES
<b>Esfera</b>	Aço Inox	Não especificada.
<b>Mola do Disparador, Mola da Pedra e Mola da Válvula</b>	Aço comum.	EDS
<b>Pedra</b>	Sílex, um mineral que é constituído de uma mistura irregular de Sílica cristalizada com Sílica hidratada. Esse dado foi obtido através de contato com fornecedores.	Fornecedores

### Levantamento de alternativas de materiais

Por fim, é apresentada uma proposta de novos materiais, que com o auxílio do banco de dados do software CES Edu Pack 2005 foi possível criar uma gama de propriedades de materiais de maneira a obter o melhor compromisso entre as grandezas e assim gerar gráficos com os possíveis materiais para o corpo (item 2 da figura 58). As propriedades utilizadas foram as seguintes: variação de preço até 100% maior que o nylon 66, composição 100% polimérica, ponto de fusão mínimo de 120°C (com o intuito de evitar o derretimento do corpo a altas temperaturas) e flamabilidade, resistência à água fresca e resistência aos raios UV, de médio a muito bom. Com base na figura 60, sugere-se a utilização da acrilonitrila para o corpo do isqueiro. Este material é transparente, possibilitando uma inovação no design da peça de modo a permitir a visualização do nível do gás. Quanto às características técnicas, a acrilonitrila possui um limite de resistência menor que o do nylon 66, o que pode ser compensado com uma parede um pouco mais espessa. A máxima temperatura de serviço desse material também é menor, mas isso pode-se justificar pela distância que a peça se encontra da chama. O custo da acrilonitrila é cerca de 25% menor que o do nylon 66. Seria interessante estudar a viabilidade de um pequeno afastamento da chama, a fim de economizar no material do corpo.



**Figura 60:** Gráficos de compromisso entre preço e limite de resistência para o material do corpo do isqueiro. Fonte: (Faller, 2006).

### 3.1.10. Velas de automóveis

#### Análise estrutural dos similares

A função da vela de ignição é conduzir a alta voltagem elétrica para o interior da câmara de combustão, convertendo-a em faísca para inflamar a mistura ar/combustível. Apesar de sua aparência simples, é uma peça que requer para sua concepção a aplicação de tecnologia sofisticada, pois o seu perfeito desempenho está diretamente ligado ao rendimento do motor, os níveis de consumo de combustível, a maior ou a menor carga de poluentes nos gases expelidos pelo escape. Na figura 61 é mostrado o esquema da vela de automóvel.

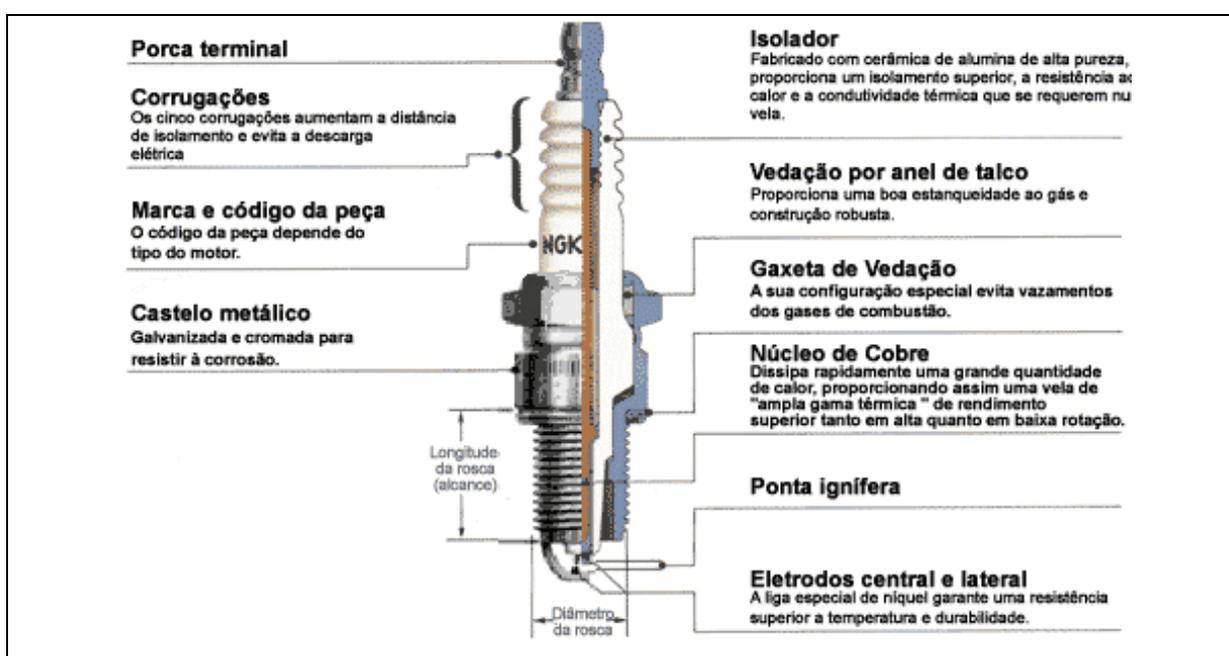


Figura 61: Esquema da Vela. Figura adaptada de NGK do Brasil Ltda (2007).

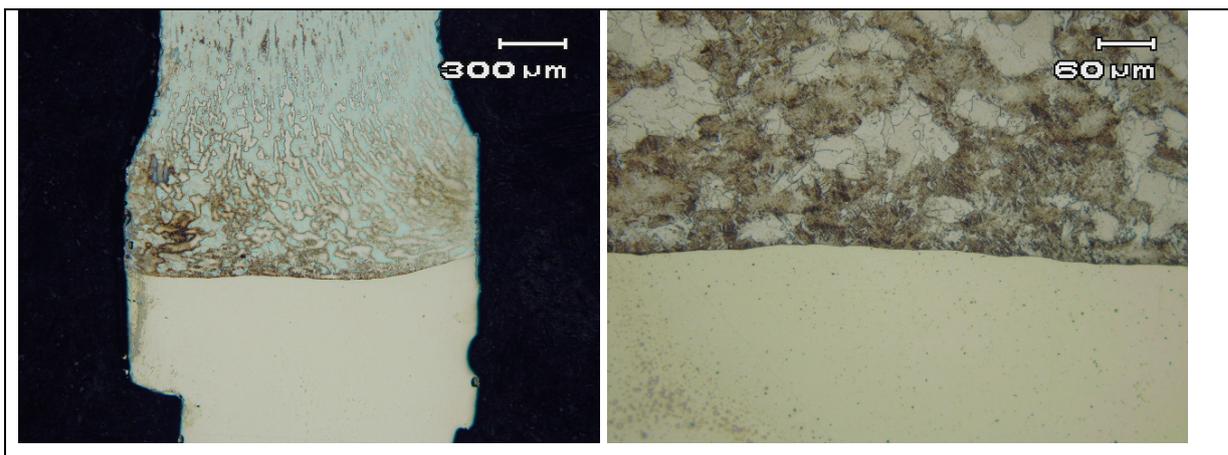
#### Análise dos materiais

As velas foram desmontadas em máquina de corte com disco diamantado no Laboratório de Altas Pressões do Instituto de Física da UFRGS com um corte longitudinal, assim, as peças foram separadas para testes posteriores. Na figura 62 é exposta uma dessas velas analisadas.



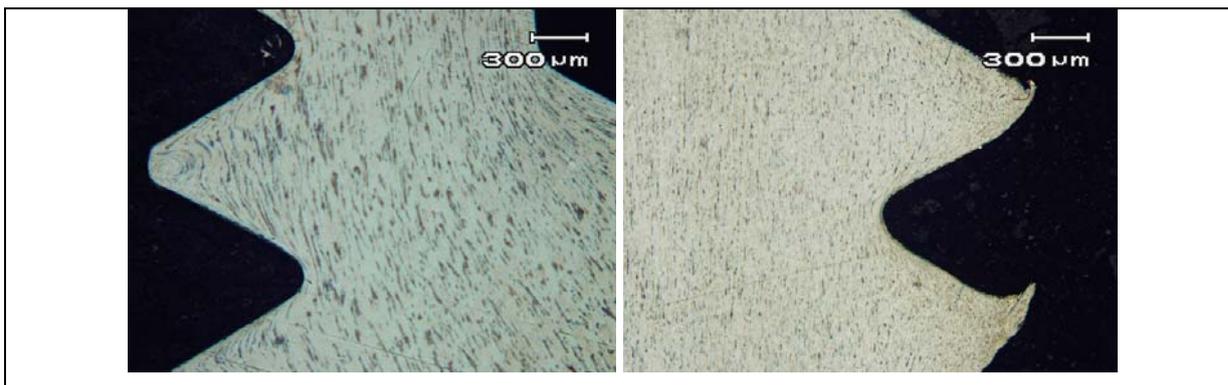
**Figura 62: Vela da Fabricante A. Fonte: (Guimaraens, 2005).**

Foram realizadas análises metalográficas nas duas velas. Na vela do fabricante A pode-se observar, conforme figura 63, que há um material diferente na ponta da vela – parte que faz a ignição. Este material é uma liga de níquel, conforme dados do fabricante. Nesta figura percebe-se que há uma zona termicamente afetada na parte próxima à junção entre os materiais. À direita, detalhe da junção entre o aço e a liga de níquel.



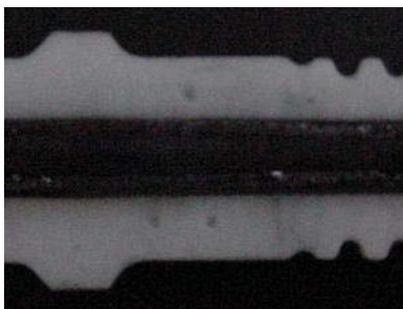
**Figura 63: Junção entre a liga de níquel e o aço (Ataque: Nital 2%). Fonte: (Guimaraens, 2005).**

Na vela do fabricante A pode-se ver que os dentes são bem usinados, e todos bastante semelhantes (figura 64 à esquerda), o que não foi observado na vela do fabricante NST, em que os dentes são diferentes entre si (figura 64 à direita).



**Figura 64: Metalografia do dente da parte metálica da vela NGK – à esquerda – e dentes mal acabados da vela NST – à direita. Fonte: (Guimaraens, 2005).**

Com o teste de fluorescência foi obtida a composição química da cerâmica isolante para as diferentes indústrias. A amostra NST apresenta 96,36% de  $Al_2O_3$  e possui menor composição de aditivos. Isso resulta em um produto final de menor qualidade e com alguns defeitos internos na cerâmica, como poros de tamanho considerável, como que é observado na figura 65.



**Figura 65: Poros na parte cerâmica da vela NST. Fonte: (Guimaraens, 2005).**

Os materiais utilizados nas duas velas estão representados na tabela 27.

**Tabela 27: Materiais utilizados na fabricação das velas de automóveis. Adaptada de Guimaraens (2005).**

Vela	Ponta da vela	Corpo da Vela	Cerâmica Isolante
NGK	Liga de Níquel	Aço	85,89% de $Al_2O_3$ (Alumina)
NST	Liga de Níquel com camada de Cobre	Aço	96,36% de $Al_2O_3$ (Alumina)

Foi observado que a vela fabricada pela NGK tem qualidade bastante superior em relação àquela fabricada pela NST. Isto se reflete na qualidade do acabamento da peça como um todo, na qualidade dos materiais utilizados em cada uma, tanto metálicos quanto cerâmicos, no design das peças, etc, e também no preço de cada uma no mercado.

## 4. DISCUSSÕES

O objetivo da discussão foi de compreender quais os aspectos que poderiam trazer novos elementos para a formulação de uma metodologia em relação ao Design para a Desmontagem e quanto aos materiais presentes, avaliados nos estudos de caso das análises de similares. Nesse capítulo são apresentados no item 4.1, a comparação entre os produtos dos estudos de casos para evidenciar as diferenças de materiais e de elementos de junção presentes. No item 4.2 foram analisadas as metodologias empregadas pelos estudos de casos, mostrando os aspectos positivos e negativos de cada uma, para no item 4.3 realizar uma contribuição a uma metodologia focada no Design para a Desmontagem.

### 4.1. Comparação entre produtos

A Análise de Similares dos produtos foi sistematizada na tabela 28, mostrando a quantidade e os materiais presentes nos produtos. Após uma comparação entre os diversos produtos foi possível comprovar as grandes quantidades de materiais presentes em um produto e dependendo do material, pode-se dizer qual produto é mais sustentável do que outro em relação ao material.

**Tabela 28: Comparação entre produtos em relação aos materiais presentes.**

<b>Produtos</b>	<b>Nº de Materiais</b>	<b>Materiais Presentes</b>
<b>1. Alicates</b>	<u>8 diferentes materiais</u> 6 ligas metálicas 1 polímero 1 compósito (polímero + cerâmico)	- Nylon 66 + 30% de fibra de vidro - Aço médio carbono SAE 1050 temperado a 200°C, resfriado em água e niquelado. - Zamac: Liga de zinco e alumínio fundido - Aço inoxidável SAE 420 temperado a 200°C - Aço médio carbono SAE 1050 recozido e niquelado - Poliacetal (POM). - Aço inoxidável SAE 304 HT D. - Aço alto carbono SAE 1080 temperado a 300°C, resfriado em óleo e niquelado.
<b>2. Canetas</b>	<u>11 diferentes materiais</u> 11 Polímeros	- ABS (Copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno) - Policarbonato (PC). - Polipropileno (PP). - Polietileno de Alta Densidade (PEAD) - Polimetil-metacrilato (PMMA) - PVC com óleo Ftalato - Soft Touch – SEBS - Espuma Vinílica Acetinada (EVA – Borracha) - Poliestireno (PS) - Polietileno tereftalato (PET)
<b>3. Canivetes</b>	<u>4 diferentes materiais</u> 2 Metais	- Aço inoxidável - Ligas de latão (Cobre e Zinco) - Hidroxiapatita

	1 Cerâmico 1 Polímero	- Esmalte
<b>4. Chaves-de-fenda</b>	<u>3 diferentes materiais</u> 1 Metal 2 Polímeros	- Liga de aço baixo carbono - Policloreto de Vinilila (PVC) - Polipropileno (PP)
<b>5. Compressor de ar para aquário</b>	<u>4 diferentes materiais</u> - 2 Polímeros - 1 Metal - 1 Compósito	- Termoplástico; - Elastômero; - Aço-imã; - Feltro; - Compósito;
<b>6. Escovas dentais</b>	<u>6 diferentes materiais</u> 5 polímeros 1 metal	- Poliamida (PA) - Polipropileno (PP) - ABS (Copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno) - Aço AISI 304 - SEBS (Copolímero em bloco de estireno – etileno – butileno – estireno) - Poliéster e de unidades estirênicas
<b>7. Ferros elétricos</b>	<u>10 diferentes materiais</u> 5 metais 1 cerâmico 4 polímeros	- Liga de alumínio - Aço SAE 1010 - Aço SAE 1020 - Cobre 99,98% - Latão Amarelo Comum - Silicato de Magnésio (MgSiO <sub>3</sub> ) - Talco - Latão (Cobre e Zinco) - Nylon - PBT (polibutileno tereftalato) - Policarbonato (PC) - Polipropileno (PP)
<b>8. Garrafas térmicas</b>	<u>3 diferentes materiais</u> 1 Polímero 1 Cerâmico 1 Metálico	- Polipropileno (PP) - Vidro (Silício e oxigênio) - Prata (contribuição do filme)
<b>9. Isqueiros</b>	<u>9 diferentes materiais</u> 7 metais 1 polímero 1 mineral natural	- Nylon 66 - Liga de Zinco e alumínio - Zamac (liga de zinco, cobre e alumínio) - Liga ferrosa (1% de Manganês e 1% de Cromo). Trata-se de um aço de baixa liga - Liga de zinco e alumínio - Aço AISI 1010 - Aço inox - Aço comum - Sílex
<b>10. Velas de Automóveis</b>	<u>4 diferentes materiais</u> 3 metais 1 cerâmico	- Liga de níquel - Liga de níquel com camada de cobre - Aço - 85,89% de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina) - 96,36% de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina)

Nota-se a elevada presença de polímeros presentes nestes produtos, refletindo a tendência atual do aumento deste material na cadeia produtiva. A separação dos diferentes materiais evidenciadas nos estudos de caso que compõem um produto é, não raras vezes,

inviável ou mesmo impossível, fazendo com que o reuso e/ou reaproveitamento se torne um problema de difícil solução e com grande impacto no ecossistema.

Foram encontrados materiais dos mais variados tipos, tais como poliamida, polipropileno, ligas de cobre e zinco, ligas de alumínio, baquelite, silicato de magnésio, entre outros. Muitas vezes estes materiais estão presentes em um mesmo produto, como por exemplo, nos Isqueiros no quais as análises comprovaram a existência de três diferentes Nylons no mesmo produto, mesmo sendo um produto de baixo custo, descartável, tendo uma vida útil relativamente curta. Isso mostra que os fabricantes muitas vezes ao adquirir os componentes de diferentes fornecedores não se preocupam em minimizar a quantidade de materiais presentes no seu produto final.

Assim, para o projeto de qualquer produto deve-se considerar em todas as fases o conceito de ciclo de vida. A partir das análises em todas etapas do ciclo de vida, é possível determinar que material é o mais viável ao longo do processo e como o material e a manufatura afetam o ambiente.

Com o objetivo verificar de forma mais clara a diversidade de elementos de junção, foram sistematizados na tabela 29 abaixo os produtos em relação aos seus elementos de junção.

**Tabela 29: Comparação entre produtos em relação aos elementos de junção presentes.**

<b>Produtos</b>	<b>Nº de Componentes</b>	<b>Tipos de elementos</b>
<b>1. Alicates</b>	3 = Cabo; – Lâmina; - Mola	- Deformação - Engate - Interferência - Memória - Rosqueamento - Travamento
<b>2. Canetas</b>	4 = Corpo; – Ponta; – Tampa; – “Sof touch”	- Adesão - Engate - Fusão - Interferência - Preenchimento
<b>3. Canivetes</b>	4 = Lâminas de corte; – Suporte de Encaixe; – Lâminas de separação; – Parte frontal e superior	- Engate - Interferência - Rosqueamento
<b>4. Chaves-de-fenda</b>	3 = Haste; - Cabo; - Ponta	- Fusão - Engate

<b>5. Compressores de ar para aquário</b>	17 = Base inferior; – Base superior; –Tubo; – Braço oscilante; – Coletor de ar; – Anel; – Base da válvula; – Diafragma; – Controladora; – Filtro; – Apoio; – Parafuso; – Disco; – Fixador; – Membrana; – Porca; – Arruela	- Adesão - Deformação - Engate - Fusão - Interferência - Memória - Rosqueamento - Travamento
<b>6. Escovas dentais</b>	3= Cerdas; – Cabo; – “Sof touch”	- Adesão - Engate - Fusão - Interferência - Preenchimento
<b>7. Ferros elétricos</b>	8= - Base do Ferro; - Termostato; - Termostato parte cerâmica; - Peça com função de transmissão de movimento (liga/desliga); - Botão de acionamento; - Isolante térmico; - Carenagem; - Reservatório de água	- Adesão - Amarração - Deformação - Engate - Fusão - Interferência - Magnetismo - Memória - Rosqueamento
<b>8. Garrafas térmicas</b>	4= - Ampola; - Corpo externo, Tampa e Fundo	- Interferência - Rosqueamento - Travamento
<b>9. Isqueiros</b>	14 = - Tampa; – Corpo; – Botão do Disparador; – Tampa de Válvula; – Corpo da Válvula; – Tambor da Roda Acionadora; – Arame da Roda Acionadora; – Corpo do Disparador; – Protetor da Chama; – Esfera; – Mola do Disparador; – Mola da Pedra; – Mola da Válvula	- Deformação - Engate - Fusão - Interferência
<b>10. Velas de Automóveis</b>	3 = - Ponta da vela; - Corpo da vela; - Cerâmica isolante.	- Fusão

Quanto aos alicates de cutículas, os elementos de junção presentes mostram que em sua grande maioria são elementos contidos na lista verde, ou seja, de dificuldade baixa em relação a desmontagem. Nas canetas notam-se a presença de elementos que dificultam a desmontagem dos componentes do produto, como a fusão, preenchimento e adesão. Nos canivetes os elementos de junção presentes são encontrados na lista verde, mostrando serem fáceis de desmontar comparados com outros presentes na lista vermelha. Nos elementos de junção encontrados nos compressores de ar, muitos eram de difícil desmontagem, presentes na lista vermelha, tais como a fusão e a adesão.

As escovas dentais apresentam como elementos de junção de difícil desmontagem: a fusão, a adesão e o preenchimento. Nos ferros elétricos foram evidenciados grande diversidade de elementos, sendo este já um problema, pois dificulta a separação rápida dos componentes em um centro de triagem. Somando-se a isso, observa-se a presença de

elementos de junção que inviabilizam muitas vezes a separação como a adesão e a fusão. As garrafas térmicas analisadas mostraram-se com uma presença de elementos de junção tradicionalmente fáceis de desmontar como o rosqueamento e o engate. Finalmente, nas velas de automóveis analisados foi encontrado um elemento de junção e este é muito prejudicial na questão da desmontabilidade de um produto, que é a fusão.

A tabela 29, que sintetiza os estudos de casos na questão dos elementos de junção evidencia que esses sistemas que unem as diferentes partes de um produto são fundamentais para minimizar o problema da desmontagem. Projetar pensando na desmontagem do produto também é condição necessária para atingir o objetivo da reciclagem adequada. Assim, os elementos de junção eficazes facilitam a desmontagem, tornando-se mais atrativa sua prática, principalmente em centros de triagem que são os maiores envolvidos no destino e separação dos componentes de um produto.

Os estudos mostraram que as análises de similares ficam centradas nos materiais e pouco é estudado sobre os aspectos da desmontagem de um produto, fato esse, de destacada importância para a reciclabilidade de um produto.

## **4.2. Análise das metodologias**

### **Alicates de cutícula**

Desta Análise de Similares destacam-se o levantamento dos materiais, seu funcionamento e a relação entre estes dois aspectos, pois são os pontos da análise que sofrem a influência mais direta dos materiais utilizados. A divisão em estruturas comuns aos cinco modelos (cabo, lâmina e mola) e a discriminação dos materiais empregados em cada estrutura e sua relação custo-desempenho foi comparada com base nas exigências que cada estrutura deve suportar individualmente ou como parte do conjunto. Por fim, os resultados individuais foram unidos, levando-se em conta a interação entre cada uma das partes do alicate e avaliando o desempenho e o custo com base no preço dos materiais.

Outro ponto em destaque desta análise foi a construção de gráficos de compromisso entre propriedades dos materiais encontrados, gerando algumas conclusões quanto à seleção de materiais realizada nos diversos produtos similares. No caso desta análise de similares não foi realizado o levantamento de alternativas de materiais, pois não era o enfoque dessa pesquisa que buscava compreender a diversidade de materiais presentes nos alicates comparando com os preços encontrados.

No caso desta análise de similares não foi realizado a análise estrutural dos similares efetivamente, principalmente em relação às dificuldades de separação dos componentes, assim como não efetivou-se nenhuma análise em relação aos elementos de junção dos alicates de cutícula.

### **Canetas**

Os produtos analisados demonstraram uma grande variedade de materiais presentes, revelando o fato de que um simples produto pode ter uma grande diversidade no que se refere aos seus materiais e componentes, aumentando em complexidade a questão de seleção de materiais e sustentabilidade. Outro ponto de destaque é o levantamento de novas alternativas de materiais juntamente com as propriedades requeridas, conforme alguns pré-requisitos, buscando outros materiais com as propriedades requeridas. Isto mostra ser muito importante, em uma Análise de Similares, detectar se os materiais presentes estão condizentes com o produto em questão, seja por fatores econômicos, estéticos, funcionais ou ambientais. Nesta análise não foram realizadas as análises estruturais e dos elementos de junção, pois não era o objetivo da análise.

### **Canivetes**

Nesta análise, o objetivo foi de estudar e identificar os diversos componentes de um canivete. O interessante deste trabalho foi a desmontagem do produto em componentes (análise estrutural), começando a averiguar os elementos de junção, mas de maneira formal não foi colocado nesta análise. Outro destaque é a delimitação da função de cada componente, permitindo perceber com maior clareza as propriedades que se deseja para os materiais, ocorrendo uma seleção de materiais mais eficaz e rápida em etapas posteriores.

### **Chaves-de-fenda**

Nessa análise de similares de chaves-de-fenda destacam-se as várias etapas que foram realizadas na questão da identificação dos tipos de elementos de junção, além dos materiais presentes. Uma questão importante da metodologia foi realizar o desenvolvimento de um redesign conceitual quanto aos elementos de junção. Mostra-se a importância em direcionar o projeto através de uma idéia conceitual do estudo realizado.

Quanto a análise dos materiais constatou-se que a chave de fenda importada não atendia a exigência da norma brasileira, indicando que tem-se permitido a importação de ferramentas fora das especificações exigidas pelas normas brasileiras.

### **Compressores de ar para aquário**

A análise de compressores teve como destaque o objetivo de viabilizar o re-projeto de um compressor, dando ênfase à redução do número de componentes, minimização da matéria-prima, empregar o máximo de matérias-primas compatíveis e a redução dos processos de fabricação. A produção de um protótipo do novo compressor de ar mostra a importância disto para averiguar erros de projeto.

Nesta análise de compressores de aquário não foi realizado o levantamento de alternativas de materiais, pois o objetivo desta análise foi viabilizar o re-projeto, dando ênfase à redução do número de componentes, minimização da matéria-prima, empregar o máximo de matérias-primas compatíveis e a redução dos processos de fabricação.

A análise dos materiais foi superficial, não ocorrendo sugestões de novos materiais, porém no projeto conceitual apresentado mostra-se a idéia da diminuição da diversidade de materiais existentes, com apenas 4 materiais existentes.

### **Escovas dentais**

Nesse estudo destacam-se as técnicas aprofundadas de todos os tipos de materiais, detalhando-os de forma clara e precisa. A análise técnica de uma característica específica do produto, no caso o diâmetro das cerdas, mostrou-se importante especificamente para este produto. Isso evidencia que cada produto terá sua peculiaridade e sua característica específica necessária, mudando algumas etapas das metodologias. As análises do design e preço evidenciam a sua importância para os projetos de produtos e a inovação.

### **Ferros elétricos**

Destacam-se nesta análise a metodologia fundamentada em Análise de Similares e análise Estrutural dos produtos, para obter uma melhor compreensão sobre como a tecnologia envolvida na produção interfere nos demais aspectos de um produto.

Foram determinados quais os materiais mais utilizados atualmente na fabricação dos ferros de passar roupa, avaliando assim quais suas propriedades, quais os benefícios e

desvantagens de sua aplicação, qual o seu caráter ecológico e quais as medidas possíveis para diminuir o número de seus componentes.

### **Garrafas térmicas**

A análise desta metodologia mostra que é possível e importante realizar análises na questão das normas técnicas que regem estes produtos. Uma vez que os resultados mostraram que, em grande parte, os materiais utilizados nos produtos são os mesmos, foi feita uma seleção de materiais a fim de verificar se haveriam outros que pudessem apresentar melhores propriedades diante das exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica ou então que apresentassem um custo mais baixo.

### **Isqueiros**

Desta Análise de Similares destacam-se a separação dos componentes do produto, percebendo as dificuldades para tanto. Foram feitas análises dos materiais presentes nos isqueiro, gerando novas alternativas para o produto. Outro importante ponto foi o levantamento do uso, quando se verificou que o mesmo possui uma boa praticidade e conveniência no seu manuseio e utilização e também para verificar a segurança do produto. Destaca-se também o levantamento do funcionamento e dos processos de fabricação, percebendo como funcionam todos os componentes do produto, obtendo-se o levantamento de alternativas de materiais.

### **Velas de automóveis**

Destacam-se nessa metodologia a análise estrutural e funcional dos componentes das velas. Foram apontados também fatores que podem afetar seu funcionamento, pois apesar de sua aparência simples, é uma peça que requer para a sua fabricação a aplicação de tecnologia sofisticada. Destaca-se também a análise dos materiais, focando principalmente o principal material do produto em questão. Nesta análise não foi realizado o levantamento de alternativas de materiais, pois não era o objetivo do trabalho propor alternativas de materiais para o produto.

## Comparação entre as metodologias

Foram sintetizadas na tabela 30 as metodologias empregadas pelos estudos de caso.

**Tabela 30: Comparação entre produtos em relação aos materiais presentes.**

Estudos de caso	Metodologias			
	Análise estrutural	Análise dos elementos	Análise dos materiais	Alternativas de materiais
<b>1. Alicates</b>	Não teve	Não teve	Efetiva	Não teve
<b>2. Canetas</b>	Não teve	Não teve	Efetiva	Efetiva
<b>3. Canivetes</b>	Não efetiva	Não efetiva	Efetiva	Não teve
<b>4. Chaves-de-fenda</b>	Efetiva	Efetiva	Efetiva	Efetiva
<b>5. Compressor de ar para aquário</b>	Efetiva	Efetiva	Não efetiva	Não teve
<b>6. Escovas dentais</b>	Não efetiva	Não teve	Efetiva	Efetiva
<b>7. Ferros elétricos</b>	Não efetiva	Não teve	Efetiva	Efetiva
<b>8. Garrafas térmicas</b>	Não teve	Não teve	Efetiva	Não teve
<b>9. Isqueiros</b>	Não efetiva	Não teve	Efetiva	Efetiva
<b>10. Velas de Automóveis</b>	Não efetiva	Não teve	Efetiva	Não teve

Nota-se claramente que as metodologias mais utilizadas por designers hoje ainda não consideram etapas voltadas específicas para o Ecodesign na questão referente a desmontabilidade dos produtos, evidenciadas na prática com as análises de similares, mostradas na tabela 30.

Com a preocupação latente sobre sustentabilidade, a metodologia em si torna-se muito importante para este fim. Assim, os métodos para atingir o desenvolvimento de produto sustentável devem incentivar e auxiliar no desenvolvimento dos produtos que tenham como princípio a transformação da sociedade para a sustentabilidade.

Percebe-se a necessidade de realizar contribuições a uma metodologia de Análise de Similares com o intuito de agregar o desenvolvimento sustentável por meio do Ecodesign, direcionadas ao Design para a Desmontagem.

#### 4.3. Contribuição a uma metodologia focada no design para a desmontagem

Com a apreciação dos estudos de caso sobre Análise de Similares, buscou-se contribuir ao desenvolvimento de uma metodologia para essa atividade, pois constata-se a falta de etapas formais de uma metodologia voltada para o desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento desta engloba os aspectos da desmontagem e seus elementos de junção encontrados nos produtos e em relação aos materiais empregados. Com estas características propõe-se uma contribuição a metodologia de Análise de Similares que tenha a seguinte estrutura (figura 66):

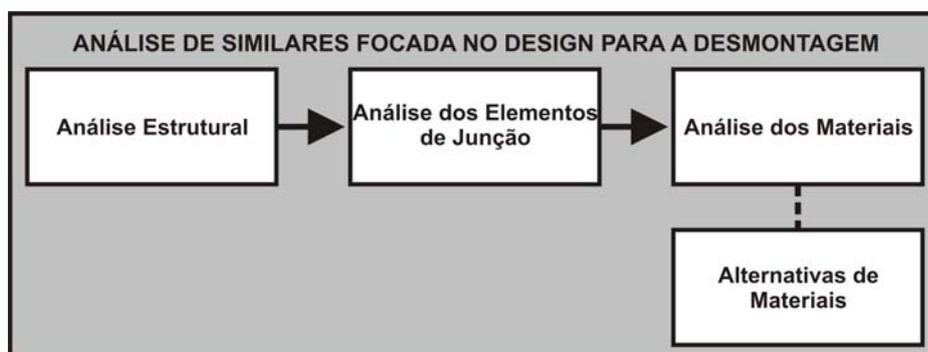


Figura 66: Contribuição a metodologia de Análise de Similares simplificada.

Dependendo do grau de complexidade de um produto haverá variação no número de etapas necessárias, pois a metodologia não é fechada. Outro importante ponto é que as etapas não estão fixas durante o desenvolvimento, podendo-se retornar a etapas anteriores quando necessário. Com esta proposição pretende-se aplicar o design para a desmontagem e sua importância através de uma metodologia de projeto mais adequada para o desenvolvimento sustentável. As etapas estão demonstradas sinteticamente na tabela 31.

Tabela 31: Síntese das etapas de contribuição a uma metodologia focada no design para a desmontagem

Análise Estrutural dos Similares	Análise dos Elementos de Junção dos Similares	Análise dos Materiais dos Similares
- Desmontagem da estrutura dos componentes	Elementos de junção presentes	Análise dos materiais existentes
- Quantidade e diversidade de componentes	Facilitar a desmontagem dos componentes	Impacto ambiental dos materiais
- Dificuldades de separação	Diminuição da diversidade de elementos de junção	Reduzir quantidade e diversidade de materiais
- Reduzir quantidade e diversidade de componentes	Inovação nos elementos de junção	Levantamento de Alternativas de Materiais com menor impacto ambiental e inovação dos materiais

### **Análise estrutural dos similares**

Nesta etapa é investigada toda a estrutura dos produtos. Em um primeiro momento é realizada a desmontagem de todos os seus componentes, especificando os componentes de cada produto e a sua quantidade. É importante analisar a quantidade e diversidade de componentes existentes nos produtos, a fim de compreender suas diferenças. Após são apontados as dificuldades encontradas na separação dos componentes dos produtos.

Com a averiguação das dificuldades da desmontagem é possível mostrar possíveis caminhos de melhorias nesse processo, passando a reduzir a quantidade e diversidade de componentes existentes, com o pensamento que um produto deve ser projetado para sua manutenção, reposição de componentes e sistemas, buscando otimizar o manuseio). A separação busca também a reciclagem de peças e componentes após o descarte. A realização de uma análise de todo o ciclo de vida desse produto procura identificar todos esses elementos em busca de um projeto que seja orientado a Montagem e Desmontagem do produto, com o intuito de aumentar sua vida útil.

### **Análise dos elementos de junção dos similares**

A próxima etapa visa observar os elementos de junção presentes nos produtos e discriminá-los, detalhando as dificuldades da desmontagem de cada componente, buscando averiguar através do CD ECODESIGN (mostrado no primeiro capítulo) se os elementos se encontram na lista verde ou vermelha. Com o conhecimento dos elementos de junção encontrados nos produtos, busca-se propor a substituição daqueles presentes na lista vermelha, ou seja, que dificultam a desmontagem por elementos de junção.

Outra característica importante a ser considerada através do conhecimento dos elementos de junção encontrados é a diminuição da diversidade desses em um produto. Sabe-se que diminuindo a quantidade de diferentes elementos facilita-se sua desmontagem. Deve-se propor ao final também soluções conceituais, traçando diretrizes para futuros projetos, sempre com o intuito de facilitar a desmontagem de um produto.

### **Análise dos materiais dos similares**

Com os componentes separados, são feitas as análises dos materiais existentes, realizando sua identificação. Busca-se analisar o impacto ambiental dos materiais encontrados através de bibliografias específicas no que diz respeito a reciclabilidade destes e seu impacto

durante o uso e processamento. Assim, analisa-se o Ciclo de vida do material, com o objetivo de aumentar a vida útil do produto.

A próxima etapa é reduzir a quantidade e diversidade de materiais existentes, pois facilitaria a desmontabilidade e reciclabilidade do produto. Um outro fato importante para o projeto corresponde em levantar alternativas de materiais para o produto, conforme as análises realizadas. Na questão dos materiais que não estão de acordo com os preceitos ecológicos, busca-se selecionar alternativas de menor impacto ambiental, muita vezes inovando na seleção desses, buscando, por exemplo, a sustentabilidade de uma comunidade.

## 5. CONCLUSÕES

Enquanto os recursos da natureza diminuem e a poluição ambiental aumenta, a reciclagem, a deposição dos resíduos e os projetos sustentáveis devem ser estudados mais seriamente. Concordando com isso, propõe-se que um designer deva estar ciente das mudanças e continuamente procure soluções novas, principalmente em relação à aspectos relacionados a questões ambientais.

As metodologias de projeto hoje ainda não estão preparadas para atuarem como ferramentas para projetos sustentáveis, pois nota-se na prática com as análises de similares a falta de critérios ecológicos na seleção dos materiais e na seleção de elementos de junção que possibilitem a desmontagem completa de um produto.

Ao buscar novas soluções para um produto, o primeiro passo é analisar as soluções já existentes, chamada “Análise de Similares”. Esta deve levar em consideração os diversos aspectos do design do produto.

O trabalho desenvolvido comprovou a importância da Análise de Similares como técnicas para entendimento e conhecimento dos produtos existentes, da relação de materiais, propriedades e aplicações, e desmontabilidade dos produtos.

Fica evidente o quanto ainda há para ser melhorado, em termos de sustentabilidade, visto que foram encontrados materiais dos mais variados tipos e grandes quantidades de elementos de junção tidos como ineficazes para a desmontagem, evidenciando que os projetos de produtos estão sendo pouco focados com metodologia de Ecodesign.

As preocupações e a responsabilidade com o impacto ambiental fizeram emergir novos desafios para os designers e projetistas. Os elementos de junção amplamente utilizados pela indústria no desenvolvimento de produtos têm um papel fundamental nesse contexto.

A técnica do Ecodesign possibilita que designers e projetistas possam projetar levando em conta as questões ambientais. Permite a utilização de materiais com menor impacto ambiental e contribui com o desenvolvimento sustentável por meio da aplicação das metodologias propostas. Aplicar os novos métodos de projeto, favorecendo a montagem e desmontagem dos produtos industriais, beneficia o ambiente e as futuras gerações.

O Ecodesign tem sido fundamental para a melhoria de processos e no desenvolvimento de componentes, em que os sistemas de junção práticos e eficientes ganham um enfoque de inovação, pois deixa de empregar sistemas convencionais, tais como parafusos, porcas, colagens, etc, permitindo a desmontagem do produto sem a necessidade de utilizar ferramentas tais como chaves de fenda ou alicates.

Assim, com os elementos de junção eficazes facilita-se a desmontagem em centros de triagem que são os maiores envolvidos no destino e separação dos componentes de um produto.

Este estudo procurou trazer uma contribuição para a área de desenvolvimento de produtos, comprovando que é possível realizar Análises de Similares mais conclusivas e detalhadas de um produto. Esta contribuição para a metodologia pode tornar-se uma ferramenta para o Designer no desenvolvimento dos sistemas e subsistemas que compõem a montagem e desmontagem de um produto industrial, favorecendo assim o desenvolvimento de produtos visando à redução do impacto ambiental mediante a facilidade de separação dos sistemas e subsistemas que compõem um produto (Design para a desmontagem).

O desenvolvimento de projetos sustentáveis é possível, basta iniciativa e comprometimento, tanto por parte das empresas e responsáveis técnicos quanto por parte da sociedade. Outra responsabilidade está diretamente ligada ao designer do produto, que deve atuar orientado para uma preocupação ambiental, promovendo a interligação entre os demais setores, bem como a redução de resíduos, a minimização do número de materiais utilizados, a economia de recursos naturais e energia desde a concepção até o fim da vida do produto.

### **5.1. Sugestões para trabalhos futuros**

- Espera-se aplicar esta metodologia desenvolvida em outros produtos. Um deles, que vem chamando a atenção, é a Placa de Circuito Impressa. Hoje este produto é tido como um dos maiores “vilões” do lixo tecnológico, pois apresenta elevados níveis de materiais com elementos de junção extremamente complexos, inviabilizando o reparo/manutenção e a reciclagem, além de conter materiais tóxicos que comprometem o meio ambiente. Propõem-se estudar as Placas de Circuito Impressas e desenvolver uma Placa de Circuito conceito, buscando o desenvolvimento de novos elementos de junção que viabilizem a desmontagem correta, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

- Através desse estudo de contribuição para uma metodologia, pretende-se aprofundar o desenvolvimento de uma metodologia específica para o Ecodesign, realizando todas etapas metodológicas de um projeto.

- A partir desse trabalho pode-se desenvolver estudos de novos elementos de junção que facilitem a desmontabilidade dos produtos. Uma das alternativas possíveis de interesse é através da Biônica estudar elementos naturais que propiciem estes objetivos. Pode-se criar um banco de dados sobre elementos de junção encontrados na natureza, através de uma

metodologia baseada na Biônica. Este estudo poderia fornecer alternativas para inovar em elementos de junção que buscassem a sustentabilidade de um produto.

- Este trabalho pode ser um aporte a novas pesquisas relacionadas a Seleção de Materiais, por exemplo, na área da educação, servindo de base para o desenvolvimento de metodologias para o ensino da Seleção de Materiais tanto nas Engenharias como na própria área do Design.

- Desenvolvimento de novas pesquisas na área do Ecodesign, sendo possível, por exemplo, aumentar o desenvolvimento de pesquisas em Centros de Triagem quanto aos produtos e seus elementos de junção, aumentando o banco de dados do CD Ecodesign criado pelo LdSM sobre os produtos que estão sendo projetados com enfoque no Design para a Desmontagem.

## 6. REFERÊNCIAS

1. ABRAMOVITZ, José; REBELLO, Luiza H. B. **Metodologia do Projeto**. Rio de Janeiro, UniverCidade / NPD, apostila de aula, 2002.
2. ASHBY, Michael F. **Materials Selection in Mechanical Design**. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2nd ed, 1999, 502 p.
3. ASSUNÇÃO, Braga de. **Ecodesign e Seleção de Materiais para Mobiliário Urbano**, UFOP – Ouro Preto, Minas Gerais, 2000.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**: ABNT NBR 10.004, Rio de Janeiro, 2004.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chave-de-fenda simples e ponteiros de fenda simples**: ABNT NBR 11811 - EB2110, Rio de Janeiro, 2003.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio**: ABNT NBR 13282, Rio de Janeiro, 1998.
7. BACK, Nelson. **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1983.
8. BARROSO NETO, Eduardo (org.). **Desenho Industrial: Desenvolvimento de produtos - oferta brasileira de entidades de projeto e consultoria**. Brasília, CNPq/Coordenação editorial, 1982.
9. BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos**. São Paulo, Editora Edgar Blücher, 1998.
10. BEALL, G. **By Design: Part design 109 - Textured finishes**. IMM Magazine Article Archive, 2000.
11. BAYER MATERIALSCIENCE. **Snap-fit Joints for Plastics: a Design Guide**. Pittsburgh, PA. 26 pg. 2002.
12. BOOTHROYD, G; ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. **Annals of the CIRP**, 1992, 41,625-636.
13. BOOTHROYD, G., and Dewhurst, P. Product Design for Manufacture and Assembly. **Manufacturing Engineering**, April 1988, pp. 42-46.
14. BONENBERGER, Paul R. **The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastic parts**. 2ed. 2005.
15. BITENCOURT, Antônio Carlos P. **Desenvolvimento de uma Metodologia de Reprojeto de Produto para o Meio Ambiente**. Florianópolis, Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, 2001.
16. BOMFIM, Gustavo Amarante. **Metodologia para o Desenvolvimento de Projetos**. João Pessoa, Editora Universitária/UFPB, 1995.
17. BONSIPE, Guy (coordenador). **Metodologia Experimental: Desenho Industrial**. Brasília, CNPq / Coordenação Editorial, 1984.
18. BONSIPE, G. **Do material do digital**. Santa Catarina: LBDI, FIESC/IEL, 1997.

19. BRANDRUP, J.; Immergut, E. H. **Polymer Handbook**. New York: John Wiley and Sons, 1975.
20. BYGGET, Sophie; BROMAN, Go`ran; ROBERT, Karl-Henrik. A method for sustainable product development based on a modular system of guiding questions. **Journal of Cleaner Production**, 15, 2007.
21. CAMBRIDGE ENGINEERING SELECTOR. CES - EDUPACK 2007 (software), Reino Unido: **GrantaDesign**, 2007.
22. CAMPBELL, I. D.; Dwek, R.A. **Biological Spectroscopy**. Benjamim/Cummings Publishing Company, 1984.
23. CÂNDIDO, Luis Henrique Alves; PLATCHEK, Elizabeth Regina; KINDLEIN Jr., Wilson. **Aplicação do Ecodesign no Re-Design de Compressor de Ar para aquário**. P&D Design, Rio de Janeiro, 2004.
24. CAPRA, Fritjof. **As Conexões Ocultas**. IDESA. São Paulo, 2003.
25. CELASCHI, Flaviano. Inovação: a regra e a emoção. **D2b Design to Branding Magazine**. São Paulo, 2007.
26. **Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE)**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 20 out. 2007.
27. CULLITY, B. D. **Elements of X-ray Diffraction**. Addison-Wesley, 1978.
28. DIETER, George E. ASM Handbook. Volume 20 - **Materials Selection and Design**. [S.I.]: ASM International, 1997. 901 p.
29. **DMLU** - Departamento Municipal de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/>>. Acesso em 15 abr. 2007.
30. EMERY, Andrew; WILLIAMS, Keith P.; GRIFFTHS, Anthony J. A review of the UK metals recycling industry. **Waste Management Research** 2002; 20; 457.
31. FALLER, Roberto da Rosa; GUANABARA, Andréa Seadi; BUSTOS, Carolina; PICIO, Éverton; LIMA, Toni Roger S. de; KINDLEIN Jr, Wilson. **Análise de um produto de massa e sua complexidade na relação materiais/função/mercado**: estudo de caso de um isqueiro descartável. P&D Design, Curitiba, 2006.
32. FERRANTE, Maurício. **Seleção de Materiais**. Editora da UFSCar, São Carlos – SP, 1º ed. 1996.
33. FRAZÃO, R. e PENEDA, C. **Ecodesign no Desenvolvimento dos Produtos**. National Institute of Engineering and Industrial Technology, INETI/ITA, Lisbon, Portugal, 1995.
34. GASPAR, Antonio. **Empresas vão informar origem e destino do lixo**. Disponível em: <<http://invertia.terra.com.br/carbono/interna/0,,OI2096324-EI8943,00.html>>. Acesso em 23 Nov. 2007.
35. GAYNOR, Gerard H. **Innovation by design**: what it takes to keep your company on the cutting edge. Broadway, New York, 2002. Gaynor and Associates, Inc.
36. GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. **Journal of Cleaner Production**, 2007.

37. GENC, Suat; W., Robert; JR., Messler; GABRIELE, Gary A. **Methodology for Locking Feature Selection in Integral Snap-Fit Assembly**. Proceedings of DETC '97 - 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences. 1997, Sacramento, California.
38. GOBBI, Manlio. **Design**. 2006. Notas de aula. FIERGS. Data-show.
39. GONÇALVES, J.A., et al. Metodologia para a organização social dos catadores. MG: Pastoral de Rua, 2002.
40. GRAY, Casper. **Wax RDC (UK)**. Disponível no site: <www.wax-rdc.com>. Acesso em 17 Jun. 2007.
41. GRIPPI, Sidnei. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
42. GUIMARAENS, Elisa; SILVEIRA, Izabel; BORSA, Maria Beatriz. Análise de Similares: **Velas de automóveis**. Trabalho da disciplina de Seleção de Materiais. Curso Engenharia de Materiais. Professor Dr. Wilson Kindlein Júnior. 2005.
43. HARRISON, P. E.; Kenna, B. T. **Qualitative Identification of Alloys by Energy-dispersive X-ray Spectroscopy**. Talanta: Talanta, 1972.
44. HAYES, M (1990). **Materials Update 23**: Springs, "Engineering", May (1990), pp 42-43.
45. HOLZ, Carla; ARAÚJO, Fernando Beuren; BUENO, Karelina Guerino. **Análise de Similares: Canivete**. Trabalho da disciplina de Seleção de Materiais. Curso Engenharia de Materiais. Professor Dr. Wilson Kindlein Júnior. 2005.
46. HENSTOCK, M. E (1988) **Design for Recyclability**. London, UK The Institute of Metals.
47. HONEYWELL INTERNATIONAL INC. **Honeywell Plastics: Snap-Fit Design Manual**. Printed in U.S.A. 2002.
48. KARLSSON, Reine e LUTTROPP, Conrad. EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. **Journal of Cleaner Production**, 14, 2006.
49. KINDLEIN, Wilson Jr.; Etchepare, Hélio Dorneles; Ravazolo, Rafael Fabiano; SILVA, Fábio Pinto da. **Desenvolvimento de uma interface amigável via internet: materiais e processos de fabricação para o design de produto**. P&D Design, Brasília, 2002a.
50. KINDLEIN, Wilson Jr.; GUANABARA, Andréa Seadi; BRAUM, Adriana Farias. **Estudo da Melhoria da Sustentabilidade de Projeto de Novos Produtos Baseados na Biónica**. Anais do I Encontro da ANPPAS – Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. Campinas, SP. 2002b.
51. KINDLEIN, Wilson Jr. ; NGASSA, Armand ; DESHAYES, Phillipe . Eco Conception et developpement: Intelligence pour la planète et nouvelles intelligences methodologiques. In: Ecole Centrale de Paris. (Org.). **Intelligence et Innovation en Conception de Produits et Services**. 1 ed. Paris: L'Harmattan, 2006a, v. , p. 359-382.
52. KINDLEIN, Wilson Jr.; SILVA, Fábio Pinto da; LUZ, Felipe Ferreira; CÂNDIDO, Luis Henrique Alves; **Criação de uma Interface Multimídia Aplicada ao Estudo do Ecodesign** - "CD-ROM Ecodesign: Elementos de Junção". P&D – Design, Curitiba. 2006b.
53. JAARSMA, Frank. **Plastics Assembly Methods**: - part 5. Ticona Corporation, Summit, NJ. 2001.

54. LDSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais. Disponível em: <[www.ndsm.ufrgs.br](http://www.ndsm.ufrgs.br)>. Acesso em 15 fev. 2007.
55. LÖBACH, Bernd. **Design Industrial: bases para a configuração dos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
56. LJUNGBERG, Lennart Y. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials & Design**, Volume 28, pg. 466–479, 2007.
57. LJUNGBERG, Lennart Y. Materials selection and design for structural polymers. **Materials & Design**, Volume 24, 383–390, 2003a.
58. LJUNGBERG, Lennart Y., EDWARDSB, Kevin L. Design, materials selection and marketing of successful products. **Materials & Design**, Volume 24, pg. 519–529, 2003b.
59. LAPOL – Laboratório de materiais poliméricos. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/lapol>>. Acesso em 20 dez. 2005.
60. MANZINI, Ezio e VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
61. MANZINI, Ezio. **A matéria da invenção**. Centro Português de Design, Lisboa, 1993.
62. MARQUES, André Canal; Dischinger, Maria do Carmo Torri; Kindlein Júnior, Wilson. A importância da memória, do imaginário e do processo criativo na expressão e representação gráfica. **Educação Gráfica**, 2006.
63. NAVARRO, Rômulo Feitosa. **Materiais e Ambiente**. João Pessoa: Editora universitária, UFPB, 2001.
64. **NGK do Brasil Ltda**. Disponível em: <http://www.ngkntk.com.br/>. Acesso em: 20 nov. 2007.
65. PENTO, Tapio. Design for recyclability and the avoidance of waste: the case of printed paper in Germany. In: **Waste Management & Research**, 1999, 17, pg. 93.
66. PGDESIGN - Programa de Pósgraduação em Design. Trabalhos da disciplina de Ecodesign, 2007.
67. PINHEIRO, Lana. **Lixo que vira lucro**: Empreendedores brasileiros embarcaram na onda da reciclagem. E conseguiram mais: descobriram um novo e rentável nicho de mercado. Revista Istoé Dinheiro [periódico na Internet]. Disponível em: <[http://www.terra.com.br/istoedinheiro/498/negocios/lixo\\_que\\_vira\\_lucro.htm](http://www.terra.com.br/istoedinheiro/498/negocios/lixo_que_vira_lucro.htm)>. Acesso em 14 Abr. 2007).
68. PLATCHECK, Elizabeth Regina; SCHAEFFER, L.; KINDLEIN, Wilson Jr.; CÂNDIDO, L. H. A. Methodology of ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. **Journal of Cleaner Production**. 2006.
69. PLATCHECK, Elizabeth Regina. **Metodologia de Ecodesign para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas. Porto Alegre, 2003a.
70. PLATCHECK, Elizabeth Regina; KINDLEIN, Wilson Jr.; CÂNDIDO, L. H. **Analogia entre as metodologias de desenvolvimento de produtos atuais incluindo a proposta de uma metodologia com ênfase no ecodesign**. II Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Rio de Janeiro, 2003b.

71. PLATCHECK, Elizabeth Regina; Schaeffer, L.; KINDLEIN, Wilson Jr.; CÂNDIDO, L. H. A. Methodology of ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. **Journal of Cleaner Production**. 2007.
72. **Projeto metamorphose**. Disponível em: <<http://www.meta-morphose.ca/>>. Acesso em 10 Ago. 2007.
73. PUENTE, S.T., TORRES, F. and GIL, P. **As approach to disassembly sequence generation**. In: IFAC Workshop on Intelligent Assembly and Disassembly (2: 2001: Canela, RS). 211p.
74. REDIG, Joaquim. **Sobre Desenho Industrial**: desenho de produto/comunicação visual. Rio de Janeiro: Imprinta, 1977, p. 32.
75. ROOBE, Ecléia; VIEIRA, Eleno; TROMBETTA, Fabiane; BORSA, Maria Beatriz; SCHAEFFER, Michele. **Avaliação de similares**: estudo de casos de canetas. 3º Workshop Design e Materiais, Porto Alegre, 2007a.
76. ROOBE, Ecléia; VIEIRA, Eleno; TROMBETTA, Fabiane; BORSA, Maria Beatriz; SCHAEFFER, Michele. **Avaliação de similares**: Estudo de casos de escovas de dente. 3º Workshop Design e Materiais, Porto Alegre, 2007b.
77. ROOZEMBURG, Norbert; EEKELS, Nigel. **Product Design**: Fundamentals and Methods – West Sussex, UK, Wiley, 1996.
78. RODE, Norma Mercedes Caballero. **Contribuição ao estudo do Ecodesign na Seleção de Materiais para Construção de Residências Unifamiliares em Ambientes Urbanos**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Porto Alegre, 2005
79. SANTOS, Petras Amaral. **Inovação Sustentável**: O Ecodesign Aplicado ao Projeto de Novos Produtos. [Monografia de conclusão de curso]. Porto Alegre. Curso de Especialização em Agentes da Inovação Tecnológica. (SEBRAE, ABIPTI e UCS). 2001.
80. SCHELDON C, editor. ISO 14001 and beyond. **Environmental managements systems in the real world. Beyond ISO 14001**: an introduction to the ISO 14000 series. Sheffield: Greenleaf Publishing; 1997.
81. SCHNEIDER, Eduardo Luis; MARQUES, André Canal; MOZETIC, Halston; KINDLEIN, Wilson Jr. **Avaliação de Similares**: Estudo de Caso da Chave de Fenda. P&D Design, Curitiba, 2006.
82. SCHNEIDER, Eduardo L.; ROESE, Pedro Barrionuevo; KINDLEIN Jr., Wilson. **Seleção de Materiais para Garrafas Térmicas**. 3º Workshop Design e Materiais, Porto Alegre, 2007.
83. SILVA, Everton Sidnei Amaral da. **Um sistema Informacional e perceptivo de Seleção de Materiais com enfoque no Design de Calçados**. Porto Alegre, 2005. Mestrado Profissionalizante em Engenharia ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas.
84. SILVA, Fábio Pinto da Silva. **O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Porto Alegre, 2006.
85. SOARES, Cristiano de Abreu; KINDLEIN, Wilson Jr.; ORTEGA, Leandro Bettoni; ROESE, Pedro Barrionuevo. **Avaliação de Similares**: Estudo de caso de alicates de cutícula. P&D Design, Curitiba, 2006.
86. SOUZA, Eduardo Presser de; FLORES, Maura Della Flora; Luz, Felipe Ferreira; TEIXEIRA, Lucas Paim Cardozo; KINDLEIN Jr., Wilson. **Aplicação da engenharia**

**reversa como ferramenta de análise da sustentabilidade de utensílios domésticos:** estudo de caso do ferro de passar roupas. Apresentado no Seminário sobre Tecnologias Limpas: Sustentabilidade e competitividade. Porto Alegre, ABES-RS, 2007.

87. SMITH B. C. **Infrared Spectral Interpretation:** a systematic approach. Massachusetts: CRC Press, 1999.
88. SOUTO, Álvaro Guillermo G. **Design:** do virtual ao digital. São Paulo: Demais Editora; Rio de Janeiro: Rio Books, 2002.
89. SPAHR, Tim. **Snap-Fits for Assembly and Disassembly.** Ticona. 1991.
90. TANSKANEN, P.; TAKALA, R. **A decomposition of the end of life process.** Journal of Cleaner Production 14 (2006).
91. TILLEY, Alvin R. **As Medidas do Homem e da Mulher:** Fatores Humanos em Design. Porto Alegre: Bookman, 2005.
92. TRES, Paul A. **Designing Plastic Parts for Assembly.** 2nd, Revised Edition. Tuscaloosa, AL, 2006.
93. TURRA, Dilce; KINDLEIN, Wilson Jr.; ETCHEPARE, Hélio. **Caracterização e Viabilidade de Reciclagem dos Materiais nos Centros de Triagem de Porto Alegre e Região Metropolitana.** Anais do I Encontro da ANPPAS – Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. Campinas, SP. 2002.
94. YONGXIANG Lu. Significance and Progress of Bionics. **Journal of Bionics Engineering.** 2004. Volume 1. N. 1, 1-3.
95. WCED - World Commission Environment and Development Brundtland Commission. **Our Common Future.** Oxford: Oxford university Press, 1987.
96. WENZEL H, HAUSCHILD M, ALTING L. **Environmental assessment of products.** Vol. 1. Kluwer Academic Publisher; 1997.