

**Reciclagem de produtos eletroeletrônicos em centros de triagem:  
proposta de processo**  
***Recycling of electronic products in recycling centers:  
proposal process***

Luis Henrique Alves Cândido <sup>i</sup>

Wilson Kindlein Júnior <sup>ii</sup>

Palavras chave:

Design, WEEE, Eletroeletrônicos, Centros de Triagem

Resumo

O trinômio Sociedade, Economia e Meio-Ambiente, devem vistos como pontos fundamentais para o desenvolvimento sustentável a curto e médio prazo. No curto prazo, de aplicabilidade, têm-se os processos atuais de separação e reciclagem dos produtos, e em médio prazo, tem-se o design de produtos orientados pelo DFE – *Design for Environment*, que deve ser considerado desde o início do projeto, contemplando a redução, reutilização e reciclagem. O entendimento do porque aplicar o DFE, pode ser observado na diretriz WEEE - *Waste Electrical and Electronic Equipment* - que faz parte da Política Integrada de Produtos, iniciada na União Européia, e que busca o desenvolvimento sustentável. A diretriz abrange o projeto e produção de equipamentos eletroeletrônicos. Certamente essas diretrizes serão balizadoras para o desenvolvimento do design sustentável de produtos eletroeletrônicos em países em desenvolvimento. Porém, o desenvolvimento destes produtos deve ser orientado por processos de desmontagem e reciclagem, deste produto em final de vida útil. Neste sentido, o presente trabalho sugere um caminho para a reciclagem de produtos eletroeletrônicos em Centros de Triagem, agregando para isso, a reciclagem mecânica e o design de produtos orientado pelo DFE.

Keywords:

*Design, WEEE, Electronics, Recycling Centers*

Abstract

*The trilogy Society, Economics and the Environment, should seen as key points for sustainable development in the short and medium time. In the short time, application, have the current processes of separation and recycling of products, and in the medium time, has been the design of products oriented by the DFE - Design for Environment, to be considered from the beginning of the project, including reduction, reuse and recycling. The understanding of why implement the DFE, can be observed in the directive WEEE - Waste Electrical and Electronic Equipment - being part of the Integrated Product Policy, started in the European Union, and seeking sustainable development. The directive cover the design and production of electronics equipment. Certainly these guidelines will be marked for the development of sustainable design of consumer electronics products in developing countries. However, the development of these products must be oriented by the processes of dismantling and recycling of this product at the end of life. In this way, this paper suggests a way to recycle electronics products in Recycling Centers, adding, the recycling and mechanical design of products oriented by the DFE.*

## 1. Introdução

A problemática ambiental deixou de ser somente uma preocupação de governos e pólos econômicos, tornando-se imprescindível a cada momento, que todos os envolvidos, diretos ou indiretamente, assumam uma posição mais positiva no que tange a solução de problemas ambientais. A política de crescimento deve ser orientada, por soluções que gerem um comprometimento ambiental, de toda a cadeia produtiva, tanto extrativista como de manufatura.

Dentro deste contexto o trinômio Sociedade, Economia e Meio-Ambiente, devem vistos como pontos fundamentais para o desenvolvimento sustentável a curto e médio prazo. No curto prazo, de aplicabilidade, têm-se os processos atuais de separação e reciclagem dos produtos, e em médio prazo, tem-se o design de produtos orientados pelo DFE – *Design or Environment*.

Estima-se, segundo Waterman (1991), que temos de lidar com aproximadamente entre 60.000 e 100.000 materiais disponíveis no mercado, e produtos como clipes, telefones ou automóveis são exemplos que podem ser compostos desde um único ou até centenas de materiais. Assim, a extração, o refinamento, o transporte, a reciclagem ou deposição final desses materiais são exemplos da complexidade do impacto ambiental gerado pelo grande número de materiais atualmente existentes (Kindlein, 2002).

Durante o último século, os problemas ambientais eram muitas vezes vistos como problemas locais, devido ao impacto de um determinado produto. No entanto, hoje em dia, com a globalização, torna-se mais evidente que os problemas são muito mais complexos e relacionados a todas as fases do ciclo de vida de um produto (Lennart and Kevin, 2003). Esta situação faz com que as empresas, muitas vezes pressionadas por órgãos públicos, legislações e pelo consumidor, repensem seus processos industriais e suas metodologias para a projeção e fabricação de produtos mais sustentáveis (Lennart and Kevin, 2007)

Embora ações venham sendo tomadas, pode-se dizer que existem pelo menos quatro problemas básicos, que são complexos de resolver nos dias atuais, podendo-se citar como exemplo, o excesso de consumo, a utilização descontrolada dos recursos naturais, a poluição e o excesso populacional (Amaral et al. 2002).

Segundo Amaral (2005), no ciclo global dos materiais, a cadeia se inicia na terra, de onde se realiza a prospecção, mineração ou colheita dos elementos que irão compor a matéria prima bruta, como carvão, minérios, madeira, petróleo, rochas e plantas. É a partir dela, então, que, através de um processo de extração, refino ou processamento, obtém-se a matéria-prima básica, como metais, papel, cimento, fibras, produtos químicos, que fornecerá condições necessárias, através de processos de transformação, para a obtenção da matéria prima industrial, como *pallets*, chapas, barras, tarugos, rolos, etc. Esta, por sua vez, servirá para fabricação ou montagem de produtos industriais, caracterizando os bens de consumo, tais como máquinas, acessórios, utensílios, embalagens, ou seja, produtos diversos.

Essa definição sugere que não existe nenhuma forma simples de desenvolver produtos sustentáveis sem que haja, no mínimo, um baixo nível de impacto (Amaral et al. 2002). No momento que se inicia qualquer processo, o impacto ambiental começa a ocorrer, resguardada as proporções de cada um.

## 2. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo Gonçalves (1997), a indústria eletroeletrônica brasileira tem se destacado como um dos mais dinâmicos e importantes setores da indústria brasileira, que ocupa um lugar relevante na estrutura produtiva nacional. Trata-se de um setor que irradia o avanço tecnológico, o que acarreta intenso efeito multiplicador sobre o conjunto da economia (ABINEE, 2009).

O setor é a base para uma verdadeira revolução tecnológica, com mudança radical nos processos de produção e com o desenvolvimento de novos produtos. A qualidade e a magnitude da oferta de produtos elétricos e eletrônicos acabam condicionando as operações e a eficiência de outros segmentos da economia (ABINEE, 2009).

No entanto, segundo ABINEE (2009) é preciso frisar que uma parcela relevante do consumo doméstico de produtos elétricos e eletrônicos não é abastecida pela produção interna, e sim, o consumo doméstico vem crescendo baseado no aumento da importação de componentes e de bens finais. Diante deste fato, a ABINEE propõe alguns pontos norteadores para o desenvolvimento do setor elétrico e eletrônico, até 2020. Os principais pontos são descritos a seguir:

- Alcançar uma indústria mais autônoma tecnologicamente;
- Consolidar o Brasil como um competidor efetivo no mercado externo;
- Alavancar o faturamento das empresas instaladas nos Brasil para que ele alcance 7% do PIB em 2020.

Certamente estes pontos tendem a trazer muitos benefícios para a indústria eletroeletrônica e para as demais indústrias que compõem todo o ciclo produtivo nesta área.

Porém, um ponto de fundamental importância, é o que trata da questão ambiental direcionada a estes produtos e que na comunidade Européia, importante fornecedor de produtos eletroeletrônicos importados, é abordada pela diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), em português, Descarte de Equipamentos Eletro-eletrônicos. Essa diretiva determina cotas para a reciclagem destes produtos e determina os principais envolvidos neste processo.

A WEEE faz parte de uma ação maior da União Européia, que é denominada de Política Integrada de Produtos, que busca o desenvolvimento sustentável e responsabiliza as empresas pelo impacto ambiental na fase de produção, de pré-produção e de consumo. A diretiva WEEE abrange o projeto e produção de equipamentos eletroeletrônicos e passa a responsabilidade da reciclagem ao produtor. A data final oficial para decretar a legislação nacional foi 13 de agosto de 2004, e até maio de 2005, 16 estados europeus aplicaram a diretiva.

Diante de todo o movimento global pela ética ambiental, essa diretiva poderá ser aplicada como barreira ambiental, ou seja, poderá ser exigido do produtor, um estudo de reciclagem dos produtos importados e seu impacto ambiental. Para exemplificar a problemática ambiental gerada pelos produtos eletroeletrônicos, no final de vida útil, a figura 1 mostra um vídeo cassete desmontado e evidencia a dificuldade de separação dos componentes. O quadro 1 identifica os componentes e destaca as peças fabricadas com matéria-prima de alto valor.

Figura 1 – Componentes parciais de um vídeo cassette  
 Fonte: Elaborado pelos autores.



Quadro 1 – Descrição dos componentes do vídeo cassette.

	<b>Descrição</b>
A	Parte frontal do equipamento
B	Chapa de proteção inferior
C	Rotor
D	Fixação da fiação
E	Fixação de eixos
F	Placa eletrônica
G	Rotor principal
H	Rotor principal
I	Disco do rotor
J	Engrenagens
K	Acionadores
L	Acionadores
M	Rotor de ajuste
N	Bucha guia
O	Braço guia
P	Circuito principal
Q	Sistema Snap-fit
R	Bobina
S	Circuito principal
T	Produto desmontado

Ao avaliar visualmente a Figura 1(G), (H), e (R), observa-se a fiação em cobre utilizada no rotor principal. Esse material tem um alto valor de mercado, porém, devido a dificuldade de desmontagem, sua extração do produto fica inviável. A Figura 1(T) mostra o resultado final da desmontagem do vídeo cassette, com mais de 500 componentes diferentes.

Assim sendo, a política de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos, no Brasil, certamente precisará levar em consideração a diretiva WEEE, não somente pela questão da

do aumento da competitividade, mas também, pela reciclagem de produtos ao final de vida útil e o reaproveitamento de materiais.

### 3. Técnicas de reciclagem de polímeros

Dentre as técnicas de reciclagem de materiais poliméricos, destacam-se os seguintes processos:

- **Reciclagem mecânica**

Esse processo consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para o reaproveitamento do material descartado, transformando-o em grânulos para a fabricação de outros produtos.

- **Reciclagem química**

A reciclagem química consiste em um processo tecnológico onde se realiza a conversão do resíduo plástico em matérias-primas petroquímicas básicas.

- **Reciclagem energética**

A reciclagem energética consiste num processo tecnológico de recuperação da energia contida nos resíduos plásticos, através de incineradores, com queima dos resíduos a altíssimas temperaturas.

Dentre os três processos descritos, a reciclagem mecânica será utilizada neste trabalho, como processo base para a reciclagem de materiais poliméricos.

### 4. Aplicação do DFE

Conforme descrito por Lima (2003), a proliferação e a expansão do DFA (Design for Assembly) e do DFM (Design for Manufactury), que normalmente são tratados simultaneamente no processo de projeto como Projeto para Manufatura e Montagem – DFMA, têm levado ao aparecimento de vários tipos de abordagens.

Pode-se dizer que o DFA é a diretriz mandatária para as outras derivações com DF“X”, onde o X é a variável, como por exemplo o DFE (*Design for Enviroment*). Dentre estas derivações, Annes (2003), descreve que o DFE deve ser considerado desde o início do projeto, contemplando a redução, reutilização e reciclagem. O termo contemplado neste trabalho é a ultima etapa do ciclo denominado de 3R's, ou seja, a reciclagem final do produto. Contudo para que o processo de reciclagem ocorra satisfatoriamente, deve-se integrar o DFA e o DFD (Design for Dissassembly), no início das soluções de projeto, prevendo assim a desmontagem final do produto e a posterior reutilização dos materiais. Assim sendo, a figura 2 apresenta uma estrutura de design sustentável tendo como balizador o DFE.

Figura 2 - Estrutura para a sustentabilidade  
Fonte: Elaborado pelos autores.



Tendo como orientador, a Estrutura para a Sustentabilidade (figura 2), o presente trabalho demonstra a importância da aplicação do DFE para o processo de reciclagem de produtos eletroeletrônicos em Centros de Triagem (CT). Os CT's atuam, em sua grande maioria, na separação e reciclagem de resíduos sólidos, oriundos de residências e indústrias. Na região metropolitana de Porto Alegre/RS, foram visitados cinco CT's nos quais, nenhum destes trabalha na desmontagem de produtos eletroeletrônicos. Durante essas visitas, foram discutidas as seguintes problemáticas, que dificultam o processo de reciclagem. Dentre estas se destacam as seguintes:

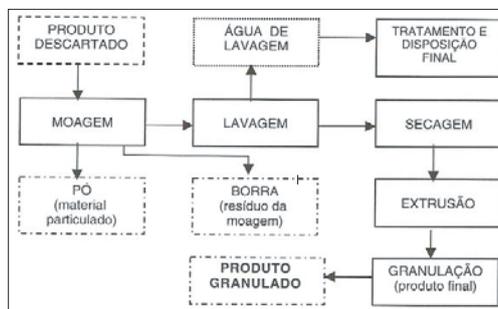
- Baixo volume de produtos que chegam até os CT's;
- Dificuldade de desmontagem, total ou parcial dos produtos;
- Necessidade de processo posterior para cominuição dos materiais;
- Classificação de materiais tóxicos e atóxicos;

Dentre estas problemáticas, o trabalho apresentado discutira especificamente a dificuldade de desmontagem dos produtos, e propõem para isso, um procedimento que integre o DFA e o DFD em conjunto com o processo de reciclagem mecânica de polímeros, oriundos de equipamentos eletroeletrônicos.

## 5. DFA x DFD e a reciclagem mecânica

Ao comparar o processo de DFA com o processo de DFD, a primeira vista pode-se dizer que a desmontagem do produto é feita simplesmente invertendo-se o sentido original de montagem do produto. Porém, em muitos casos isso não é possível devido as dificuldades de acesso aos elementos de junção que unem os componentes. Esse fato pode eliminar a possibilidade da desmontagem não destrutiva do produto em CT's, isso porque, neste caso, deve-se executar a desmontagem mecânica destrutiva, como mostra a figura 3.

Figura 3 – Processo atual destrutivo de separação de materiais  
Fonte: Instituto do PVC, 2009.

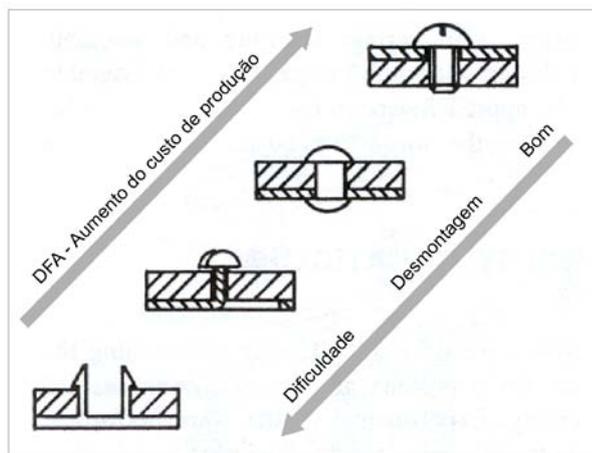


O processo destrutivo mecânico vem sendo considerado como um dos processos que melhor se adapta para a reciclagem de produtos manufaturados com base polimérica. Em 2007, no Brasil, havia aproximadamente 780 instalações industriais de reciclagem de resíduos plásticos, atingindo uma quantidade de aproximadamente 963 mil toneladas de material reciclado, utilizando o processo mecânico, dentre os quais o PEBD, PEAD, PVC,

PET, PS e PP (Instituto do PVC, 2009). A reciclagem mecânica exige a lavagem cuidadosa da moagem realizada, evitando assim a presença de contaminantes indesejados. Um ponto fundamental para que esse processo tenha um baixo custo operacional, reside na necessidade de uma criteriosa seleção de materiais, ou seja, a correta separação dos materiais.

Neste ponto, da criteriosa seleção de materiais, é que está inserida a integração entre o DFA com o DFD. Essa prática, quando aplicada ao projeto de produto, facilita a desmontabilidade dos componentes do produto. A figura 4 apresenta a estrutura base de integração destas duas técnicas (Jeswiet, 2005).

Figura 4 –DFA x DFD. Fonte: Adaptado de Jeswiet, 2005.



No caminho de integração do DFA com DFD, apresentado na figura 4, observa-se o princípio orientador da técnica de aplicação do DFA, segundo Boothroyd et al (1994), ou seja, reduzir o custo de produção.

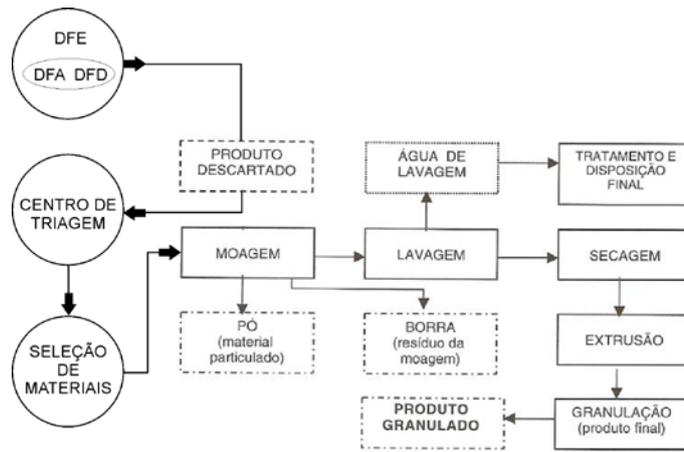
Dentre os elementos que auxiliam o processo de manufatura está o snap-fit. Este sistema é de fácil montagem, isso porque, o seu funcionamento é baseado pela conexão entre as partes do produto, sem a utilização de ferramentas. Outro elemento de junção muito utilizado na montagem de produtos eletroeletrônicos é o sistema de parafuso. Esse elemento necessita da utilização de ferramentas manuais, para a fixação e desmontagem, como por exemplo, da chave de fenda.

Se relacionarmos o sistema de fixação via snap-fit com o sistema de fixação por parafuso, veremos que pode ocorrer um aumento no custo de produção do produto - fixação por parafuso - porém esse sistema pode ser mais prático no processo de desmontagem (DFD), pois utiliza ferramentas de uso comum, tanto para o DFA como para o DFD.

## 6. Procedimento proposto visando o design sustentável

Visando integrar a reciclagem manual com a reciclagem mecânica, é proposto neste trabalho a inclusão do CT's no processo de desmontagem primária de produtos eletroeletrônicos, sendo que, após essa desmontagem, as partes desmembradas podem seguir para o processo de reciclagem mecânica convencional. A figura 5 apresenta uma proposta de integração entre o design sustentável, CT's e a reciclagem mecânica.

Figura 5 - Integração sustentável. Adaptado de Instituto do PVC, 2009.



A aplicação do DFE, conforme figura 5, é feita no desenvolvimento do produto. Para isso, o DFA e DFD, devem ser vistos como processos integradores entre a manufatura e a reciclagem do produto. Após o descarte do produto, pelo usuário, esse deve ser desmontado no CT, onde também é feita a seleção dos materiais, conforme sua classificação. Na etapa seguinte, os materiais selecionados seguem para a moagem e todo o processo subsequente.

## 7. Conclusão

A busca pelo design sustentável, deve ser visto como a inclusão de todos os processos que envolvem o desenvolvimento de um produto. O presente artigo analisa princípios de desenvolvimento de produto, e sugere um caminho que integre não só procedimentos de projeto, bem como a integração de setores da sociedade, responsáveis pela reciclagem e tratamento de resíduos.

No processo de desenvolvimento de novos produtos, fica claro a importância do tema DFA e DFD, no início da concepção, e isso deve ser visto como um fator preponderante, tanto no processo de manufatura quanto ao processo de descarte, ou seja, orientado pelo DFE.

Existem diversos Centros de Triagem pelo Brasil, que poderiam estar envolvidos diretamente no processo de desmontagem e seleção de materiais, visando posteriormente a utilização do processo de reciclagem mecânica. Mas, conforme destacado no texto do trabalho, isso somente será possível se houver uma postura, da área de design de produtos e demais áreas de projeto, pró-ativa na busca por soluções de projeto que considerem o trinômio Sociedade, Economia e Meio-Ambiente.

## Referências

- Waterman, N. A.; Ashby, M. F.; CRC: Elsevier Materials Selector. Oxford: CRC, 1991. v. 1
- KINDLEIN, J. W. et al. Princípios básicos de junção utilizados em sistemas e subsistemas de produtos industriais e sua importância no desenvolvimento sustentável. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2002, Campinas. Anais. SÃO PAULO, 2002. CD-ROM.
- Lennart, Y.; Ljungberg K.; Edwards L. Design, materials selection and marketing of successful products. *Materials & Design*, Surrey, v. 24, n. 7, p. 519-529, 2003.
- Lennart, Y. L. Materials selection and design for development of sustainable products. *Materials & Design*, Surrey, v. 28, n. 2, p. 466-479, 2007.
- Amaral, E.; Heidrich, R.; Kindlein, J. W. Reflexões sobre técnicas e materiais para agilizar a representação de design de produto: concepção x exequibilidade. In: P & D DESIGN 2002, 2002, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: AEND BR, 2002. 1 CD-ROM.

- Amaral, E. Um sistema informacional e perceptivo de seleção de materiais com enfoque no design de calçados. 2005. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- Amaral, E.; S. A.; Kindlein, J. W. Sistemas de fixação baseados na biônica e no design de produto: estudo do caso velcro a partir do fruto do carrapicho. Revista Estudos em Design, Rio de Janeiro, v. 10, p. 20-28, 2002.
- Gonçalvez, R. R. O SETOR DE BENS DE ELETRÔNICOS DE CONSUMO NO BRASIL: UMA ANÁLISE DE SEU DESEMPENHO RECENTE E PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO FUTURA. TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 476. Rio de Janeiro, abril de 1997. <http://www.ipea.gov.br/pub/td/td0476.pdf>. Acesso 11 de abril de 2008.
- ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. FÓRUM ABINEE TEC 2009 A INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA EM 2020. Uma Estratégia de Desenvolvimento. Auditório ABINEE TEC. Anhembi, SP. 2009.
- Lima, R. M. R. de. APLICAÇÃO DA AET COMO CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO PARA MEIO AMBIENTE COM ÊNFASE NA RECICLAGEM. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, MG. 2003
- Annes, J. Desenvolvimento de uma metodologia de manufatura consciente para micro, pequenas e médias empresas industriais. 2003. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) - Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Instituto do PVC. Guia de Reciclagem Mecânica do PVC: uma oportunidade de negócio. [http://www.institutodopvc.org/publico/index.php?a=imprensa&busca=1&imp\\_id=129](http://www.institutodopvc.org/publico/index.php?a=imprensa&busca=1&imp_id=129). Acesso 08 de junho de 2009.
- Jeswiet, J. Design Engineers must be aware of EcoDesign. Queen's University, Kingston, ON, Canada. 2005. <http://me.queensu.ca/courses/MECH460/lectures/2006/documents/JeswietonLCE.pdf>. Acesso 10 de maio de 2009.
- Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. Introduction. Product Design for Manufacture and Assembly. New York, 1994.

---

<sup>i</sup> Luis Henrique Alves Cândido, Professor do Curso de Design de Produto - DEG/UFRGS; Doutorando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais – PPGEM/UFRGS/Brasil; Pesquisador no Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM/UFRGS. e-mail:pslhc@ibest.com.br

<sup>ii</sup> Wilson Kindlein Júnior, professor do departamento de materiais – DEMAT/EE/UFRGS/Brasil; Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais – PGEM/UFRGSCoordenador do Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS; Coordenador do Laboratório de Design e Seleção de Materiais – LdSM/UFRGS. e-mail:kindlein@portoweb.com.br.