

PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE DESMONTABILIDADE DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Luana de Oliveira (luanasc86@gmail.com) – Universidade do Estado de Santa Catarina

Daniela Becker (danibkr@gmail.com) – Universidade do Estado de Santa Catarina

José Oliveira da Silva (dep2jos@joinville.udesc.br) – Universidade do Estado de Santa Catarina

Danielle Bond (dbond@onda.com.br) – Universidade do Estado de Santa Catarina

Régis Kovacs Scalice (rkscalice@gmail.com) – Universidade do Estado de Santa Catarina

Resumo

A seleção de elementos de fixação é uma prática realizada na área de desenvolvimento do produto. Atualmente com a preocupação dos consumidores referente aos impactos ambientais, e principalmente a ocorrência de mudanças nas diretrizes para a reciclagem, temas como logística reversa estão mais presentes no âmbito industrial. Devido estas mudanças, este trabalho propõe uma ferramenta que permite comparar diferentes elementos de fixação em relação às métricas de desmontagem em projeto para reciclagem. Neste trabalho é realizada uma comparação da dificuldade de desmontagem de diferentes elementos de fixação e por fim indicado o índice de desmontagem de cada elemento experimentado.

Palavras-chave: elementos de fixação; índice de desmontagem; projeto para desmontagem; projeto para reciclagem.

Área: GDP e Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

Devido a ações governamentais de âmbito nacional e, sobretudo internacional, a área de desenvolvimento de produtos vem se atualizando no que diz respeito ao tema de diretrizes para a reciclagem e desmontagem de produtos, devido à preocupação mais evidente com a destinação correta do produto no final do ciclo de vida pelos consumidores. Go; Wahab; Rahman; Ramli; Azhari (2011) afirmam que a sustentabilidade ambiental tornou-se um dos itens de competição na indústrias automotiva, a fim de reduzir o impacto ambiental dos veículos no final do ciclo de vida.

Neste contexto, o projeto para meio ambiente tem recebido uma grande atenção, pois através dele examina-se todo ciclo de vida de um produto e propõem-se alterações no projeto, de forma a minimizar seu impacto ambiental, da fabricação ao descarte (GIANETTI; ALMEIDA, 2006). Entre os diversos enfoques relacionados ao projeto para meio ambiente encontram-se projeto para reciclagem, projeto para descarte, projeto para desmontagem, projeto para remanufatura, projeto para o fim de vida do produto entre outros. Entre essas denominações existem pequenas diferenças de enfoque, mas, em geral, o requisito fundamental é minimizar a utilização de recursos naturais, de geração de resíduos, de riscos à segurança e à saúde e a degradação ecológica (BACK; OGLIARI; DIAS; DA SILVA, 2008).

Analisando-se o projeto do final de vida de um produto perante a produtividade do processo de desmontagem, nota-se a necessidade de propiciar tempos de desmontagem mais reduzidos, bem como desmontagens mais fáceis. Dentro deste contexto, a escolha do tipo de fixação mais adequado acaba por impactar consideravelmente no processo de desmontagem e, conseqüentemente, na reciclabilidade do produto. Portanto, este trabalho propõe um procedimento que permite comparar a dificuldade de remoção dos elementos de fixação na desmontagem objetivando auxiliar os projetistas a melhorar a reciclabilidade de um produto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Lima; Romeiro (2003), durante o projeto do produto para o meio ambiente existem objetivos distintos que são possíveis focar dependendo da estratégia de fim de vida do produto como, por exemplo, aumentar o índice de reciclabilidade, facilitar desmontagem entre outros. Algumas diretrizes são levantadas por diversos autores para melhorar a reciclabilidade de um produto (KRIWET; ZUSSMAN; SELINGER, 1995; PAHL; BEITZ, 1996; LUTTROP; LAGERSTEDT, 2006; BACK; OGLIARI; DIAS; DA SILVA, 2008; OTTO;

WOOD, 2000):

- Utilizar a menor quantidade de materiais: menos material reduz consumo de matéria-prima e de energia nos processamentos. A redução de material pode ser feita tanto para diminuir o peso do produto quanto para reduzir o número de materiais incompatíveis. No caso de materiais plásticos, existem cerca de 65.000 tipos de materiais diferentes (KMETZ, 2006), na tentativa de facilitar a análise de quais materiais são compatíveis entre si, vários autores propuseram tabelas de compatibilidade (PAHL; BEITZ, 2006; NORMA RENAULT 00-10-060, 1994; HENSEN, 1988; SCALICE; BECKER; SILVEIRA, 2009), que relacionam diversos materiais e o grau de compatibilidade entre eles;
- Evitar materiais de uso restrito e materiais compósitos: em geral eles produzem maior impacto ambiental;
- Identificar os materiais utilizados: a identificação correta e clara do material é um fator importante, pois facilita a separação futura facilitando a reciclagem posterior dos materiais. No caso dos materiais plásticos a identificação por meio de símbolos é uma realidade;
- Dissociar materiais distintos: toda vez que não for possível utilizar materiais compatíveis, estes materiais devem ser facilmente desmontados, evitando-se, por exemplo, rebites, colas, soldas. Para facilitar o projeto de produto, nestes casos, podem-se utilizar as ferramentas de projeto para desmontagem (DfD).

Segundo Vaajoensuu; Dammert; Kuuva; Airila (2002), são recomendados os seguintes indicadores para análise de projeto para reciclagem:

- Porcentagem de reciclabilidade – a quantidade (%) de materiais recicláveis no produto. É importante definir claramente no que diz respeito à reciclagem e a diferença entre a teoria e a prática real da região;
- Tempo de desmontagem – o tempo requerido para desmontagem manual do produto de acordo com as especificações na estratégia de reciclagem. O procedimento mais confiável para se obter estes dados é a partir de testes práticos;
- Indicadores tipo sim/não – para avaliar itens tais como: presença de substâncias controladas, necessidade de tratamento especial, utilização de símbolos de identificação etc.

Dong; Arndt (2003) definiu o projeto para desmontagem (DfD) como uma abordagem sistemática para separar um produtos em partes, em componentes e/ou em subsistemas.

Segundo Rozenfeld; Forcellini; Amaral; Toledo; Da Silva; Alliprandini; Scalice (2006), projeto para desmontagem é descrito por um conjunto de técnicas de projetos que visam a desmontagem e a destinação final das peças. Um processo de desmontagem bem projetado pode minimizar o tempo de desmontagem e o número de etapas e de ferramentas utilizadas. O uso de ferramentas do DfD podem levar a um aumento na eficiência e a redução de custo da reciclagem dos materiais do produto no final de vida. (SMITH; CHEN, 2011).

Huang; Liang; Chuang; Chang (2012) descreve que para reduzir o custo da desmontagem, vários estudos mostraram que o projeto para desmontagem deve incluir a minimização de etapas de desmontagem, o tempo de desmontagem, quantidade de ferramentas e acessibilidade. Shu; Flowers (1999) descreve que para facilitar o processo de desmontagem, a quantidade e variedade dos elementos de fixação devem ser reduzidas. Hundal (2000) cita que as regras para projeto para a desmontagem são: desenvolver subconjuntos que possuam uma fácil desmontagem, utilização de elementos de fixação fáceis de ser retirados e o tempo de ciclo de vida dos elementos de fixação devem possuir o mesmo tempo de ciclo de vida que o produto final.

3. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

O objetivo desta proposta de método é permitir a comparação da dificuldade (ou facilidade) de remoção entre diferentes tipos de elementos de fixação através do estabelecimento de um índice de desmontabilidade dos mesmos. Optou-se por uma via experimental, usualmente não trabalhada por outros autores, de forma que os resultados para outros fixadores, diferentes daqueles utilizados para a avaliação deste método, possam ser facilmente incorporados à avaliação. O procedimento proposto divide-se em 2 etapas, cujos passos são listados na Tabela 1.

Para a etapa de análise experimental (etapa 1) foram utilizados pares blocos de madeira revestidos de fórmica, com dimensões 100x100x15mm cada. Além disso, cada experimento foi realizado em triplicada, 3 pares de blocos para cada tipo de fixação, sendo o tempo determinado através da filmagem do procedimento. A mesma quantidade de blocos foi utilizada para a determinação da força necessária para a retirada da fixação, porém os procedimentos adotados variam conforme a necessidade de separação.

Para a etapa de determinação do IDEF (etapa 2), foi proposta uma estrutura baseada em matrizes de correlação, semelhantes às adotadas no QFD. A estrutura da matriz proposta é apresentada na Figura 1, onde:

- Características analisadas correspondem aos parâmetros experimentais utilizados, ou seja, o tempo médio para a desmontagem, a quantidade de ferramentas para a desmontagem, a força necessária para a retirada do fixador e, se após a desmontagem, os blocos podem ser reutilizados pois a presença de resíduos deixado pelo elemento de fixação podem dificultar a reciclagem do material;

Tabela 1 – Estrutura da proposta de procedimento pra identificar o índice de desmontabilidade dos elementos de fixação (IDEF)

Etapas	Passos
1) Análise experimental	<p>a) Avaliação da sistemática de fixação: com base no tipo de fixador adotado, determinar como o fixador será preso e como mediar as variáveis de desmontabilidade;</p> <p>b) Realização do experimento e registro dos resultados: devem ser medidos o tempo médio para a desmontagem, a quantidade de ferramentas para a desmontagem, a força necessária para a retirada do fixador e, se após a desmontagem, os blocos podem ser reutilizados.</p>
2) Determinação do IDEF	<p>a) Determinação dos índices: com base nos resultados experimentais, determinar os índices individuais para cada variável estudada no passo 1.b;</p> <p>b) Cálculo do IDEF, através do emprego da matriz de correlação proposta.</p>

Fonte: Elaboração própria

- Peso da característica é o relativo de importância dado à característica pela equipe de projeto. Pode variar de 1 a 3, sendo 1 para as características mais importantes à equipe de projeto e 3 para as consideradas como menos importantes;
- Lista de fixadores, relacionando os elementos de fixação avaliados experimentalmente;
- Índices de avaliação, relacionados aos resultados experimentais obtidos, porém padronizando a escala de valores entre 0 e 4. Neste padrão, quanto maior o valor pior será considerado o resultado. A Tabela 2 e 3 sintetiza os dados para obtenção dos índices da quantidade de ferramentas e do tipo desmontagem, respectivamente.

O índice do tempo médio de desmontagem pela é calculado pela equação 1 e a força de desmontagem é calculado pela Equação 1:

$$\text{Índice de tempo de desmontagem} = 4 \times \frac{\text{tempo médio de desmontagem para o fixador}}{\text{maior valor de tempo entre os fixadores}} \quad [\text{eq.1}]$$

$$\text{Índice de força de desmontagem} = 4 \times \frac{\text{força média de desmontagem para o fixador}}{\text{maior valor de força entre os fixadores}} \quad [\text{eq.2}]$$

Finalmente, o valor do índice de desmontagem do elemento fixador (IDEF) é obtido através da matriz de correlação através do somatório dos índices atribuídos a cada fixador (colunas da matriz), multiplicados pelo respectivo peso da característica. Quanto menor for o valor obtido, mais fácil será remover o respectivo fixador.

Figura 1 – Estrutura da matriz de correlação utilizada para a determinação do IDEF

		Lista de fixadores
Características analisadas	Peso da característica	Índices de avaliação
		Classificação

Fonte: Elaboração própria

Tabela 2 – Índice relativo a quantidade de ferramentas para obtenção do IDEF.

Valor do índice	Quantidade de ferramentas
1	0
2	1
3	2
4	3 ou mais

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Índice relativo ao tipo de desmontagem para obtenção do IDEF.

Valor do índice	Tipo de Desmontagem
1	Não destrutiva e sem resíduos
2	Não destrutiva, com resíduos
3	Destrutiva, sem resíduos
4	Destrutiva e com resíduos

Fonte: Elaboração própria

3. RESULTADOS

Para a realização da primeira etapa do procedimento, a etapa de Análise Experimental, foram planejados onze experimentos, utilizando-se elementos de fixação usualmente empregados em produtos. Na escolha desses não foram consideradas suas variantes como, por exemplo, dois modelos distintos de parafusos. Os planejamentos feitos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Planejamento dos Ensaios para determinação dos IDEF.

Elemento de fixação selecionado	Montagem	Equipamento utilizado
Velcro	Dois pedaços de velcro de 100 mm de comprimento foram fixados no centro dos blocos com cola para madeira;	Dinamômetro Instrutherm DD-500 para medição da força para desmontagem.
Click	Dois blocos foram unidos com o conjunto click no centro do conjunto.	
Fixação magnética	ímã natural inserido no centro geométrico do bloco de ambos os blocos	
Fita Adesiva	02 blocos foram unidos com um pedaço de 300 mm de fita adesiva; foram realizadas três voltas com a fita no centro do conjunto;	
Anel	Pino passante entre os dois blocos com anel elástico fixo em sua extremidade	
Arame	Arames passantes em dois furos nos blocos, mantendo uma distância de 20 mm da aresta lateral do bloco;	Dinamômetro de mão com carga de até 50kg
Pino	Pino passante entre os dois blocos com um furo em sua extremidade no qual o pino foi inserido.	
Parafuso e parafuso com porca	furos passantes; porcas e parafusos M6	Torquímetro Gedore Modelo ADS 40S, para medição da força para desmontagem
Abraçadeira de plástico	abraçadeira de plástico abraçando o conjunto	Dinamômetro Instrutherm DD-500 com a ponta gancho.
Trava	– furo passante; trava unindo ambos os blocos	

Fonte: Elaboração própria

Na etapa de Determinação do IDEF foram realizados os experimentos planejados, resultando nas médias de medições apresentadas na Tabela 5, onde os valores em negrito representam os índices calculados para os respectivos elementos de fixação.

Tabela 5 – Resultados experimentais e índices intermediários.

Elemento de Fixação	Tempo médio para a Desmontagem (s)	Índice tempo de desmontagem (eq.1)	Quantidade de ferramentas	Ferramenta para a desmontagem	Índice Quantidade de ferramentas (Tab. 2)	Força para a retirada da fixação (N)	Índice Força de desmontagem (eq.2)	Junção Destrutiva	Apresenta resíduo após desmontagem	Índice Tipo de desmontagem (Tab. 3)
Velcro	2,7	0,4	0	Manual	1	45,3	3,9	Não	Sim	2
Click	1,3	0,2	0	Manual	1	8,5	0,7	Não	Não	1
Fita Adesiva	4,7	0,7	0	Manual	1	4,6	0,4	Não	Sim	2
Arame	22,3	3,4	1	Alicate	2	12,5	1,1	Não	Não	1
				Chave						
Parafuso	13,2	2,0	1	Philips	2	6	0,5	Não	Não	1
Parafuso com				Chave de						
Porca	26,0	4,0	1	Boca	2	6	0,5	Não	Não	1
Abraçadeira de										
Plástico	1,0	0,2	1	Estilete	2	41,1	3,6	Não	Não	1
Trava	2,1	0,3	0	Manual	1	24,1	2,1	Não	Não	1
Fixação Magnética	1,5	0,2	0	Manual	1	46,3	4,0	Não	Não	1
Pino	20,3	3,1	1	Alicate	2	5,2	0,4	Não	Não	1
Anel	6,7	1,0	1	Alicate	2	11,1	1,0	Não	Não	1

Fonte: Elaboração própria

Com base nestes valores foi elaborada a matriz correlação (Figura 2) para o conjunto de fixadores analisados. Pode-se observar que dentre os elementos de fixação analisados, o que apresenta o pior índice é o conjunto parafuso e porca, cujo IDEF foi de 7,5. Já o elemento de fixação com menor dificuldade para realizar a desmontagem é o click seguido da fita adesiva, com um IDEF de 2,9 e 4,1 respectivamente..

Figura 2 – Matriz de correlação utilizada para a determinação do IDEF

CARACTERÍSTICAS ANALISADAS (CA)	Peso (P)	ELEMENTOS DE FIXAÇÃO										
		Velcro	Click	Fita Adesiva	Arame	Parafuso	Parafuso com Porca	Abraçadeira de Plástico	Trava	Fixação Magnética	Pino	Anel
Índice de tempo de desmontagem	1	0,4	0,2	0,7	3,4	2,0	4,0	0,2	0,3	0,2	3,1	1,0
Índice de quantidade de ferramentas	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2
Índice da força para de desmontagem	1	3,9	0,7	0,4	1,1	0,5	0,5	3,6	2,1	4,0	0,4	1,0
Índice do tipo de desmontagem	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
IDEF = $\sum (P \times CA)$		7,3	2,9	4,1	7,5	5,5	7,5	6,7	4,4	6,2	6,6	5,0
Classificação final do elemento de fixação		9	1	2	10	5	11	8	3	6	7	4

Fonte: Elaboração própria

Estes resultados mostraram coerência com estudos já realizados, que identificam que o elemento click e fita adesiva possuem relativa facilidade de desmontagem. Convém lembrar, no entanto, que nesta avaliação não foram utilizados elementos de fixação cujas desmontagens são usualmente consideradas destrutivas, como cola e rebites, o que poderia melhorar, comparativamente, o desempenho do conjunto parafuso e porca.

É importante destacar que os índices de tempo de desmontagem e de tempo de desmontagem são proporcionais ao maior valor obtido, portanto, quanto maior for a abrangência de tipos de fixadores avaliados, mais preciso tende a ser estes índices.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um procedimento que permite comparar a dificuldade de desmontagem de diferentes elementos de fixação foi apresentado. Com a aplicação do procedimento proposto pôde se observar que é possível comparar diferentes elementos de fixação e identificar a dificuldade de remoção dos mesmos utilizando métricas relacionadas ao projeto para reciclagem. Desta forma, esta ferramenta pode auxiliar na escolha do elemento de fixação durante a fase desenvolvimento do produto visando facilitar a desmontagem no final de vida do produto e melhorar a reciclabilidade do mesmo.

5 - REFERÊNCIAS

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J.C. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

DONG, J.; ARNDT, G. A. Review of current research on disassembly sequence generation and computer aided design for disassembly. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v. 217, p. 299–312, 2003.

GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. **Ecologia Industrial: Conceitos, Ferramentas e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GO, G. T.; WAHAB, D.A.; RAHMAN, M.N.A.; RAMLI, R.; AZHARI, C.H. Disassemblability of end-of-life vehicle: a critical review of evaluation methods, **Journal of Cleaner Production**, v.19, p. 1536-1546, 2011.

HENSEN, F. **Plastics extrusion technology**. New York: Hanser Publishers, 1988.

HUANG, C-C; LIANG, W-Y; CHUANG, H-F; CHANG, Z-Y. A novel approach to product modularity and product disassembly with the consideration of 3R-abilities. **Computers & Industrial Engineering**, v.62, p. 96–107, 2012.

HUNDAL, M.; Design for recycling and remanufacturing. **International Design Conference**. Dubrovnik 23-26 May, 2000

KMETZ, M. Resin Spec Check: more materials, more choices – wich one is right ? **Injection Molding Magazine**, n. 2757, 2006.

KRIWET, A.; ZUSSMAN, E.; SELINGER, G. Systematic integration of design-for-recycling into product design. **International journal of production economics**, v.38, p. 15-22, 1995.

LIMA, R.M.R.; ROMEIRO F, E. O projeto do produto para o meio ambiente: Algumas informações necessárias. **IV CBGDP**, 2003.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. EcoDesign and the tem golden rules: generic advice for merging environmetal aspect into product development. **Journal of Cleaner Production**, v.14, p. 1396-1408, 2006.

NORMA RENAULT 00-10-060/ “**Conception en vue du Recyclage**”, **Section Normes et Cahiers des Charges, Service 0807**, Direction des Etudes, Renault Automobile, 1994.

OTTO, K.; WOOD, K. **Product Design**. 1.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: A systematic Approach**. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; DA SILVA, S.V.; ALLIPRANDINI, D.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos – Uma referência para melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SCALICE, R.K.; BECKER, D.; SILVEIRA, R.C. Developing a new compatibility table for design for recycling, **Product: Management & Development**, v.7, p.141-148, 2009.

SHU, L.; FLOWERS, W.; Application of a design-for-remanufacture framework to the selection of product life-cycle fastening and joining methods. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 15, p. 179-190, 1999.

SMITH, S.S.; CHEN, W-H. Rule-based recursive selective disassembly sequence planning for green design. **Advanced Engineering Informatics**, v.25, p. 77–87, 2011.

VAAJOENSUU, E.; DAMMERT, T.; KUUVU, M.; AIRILA, M. DFE materials and processes. In: Hundal, M.S. **Mechanical life cycle handbook: Good enviroment design and manufacturing**. Marcel Dekker, Inc. p. 429-460, 2002.