

Aplicação do Design for Assembly (DfA) no Desenvolvimento do Projeto Conceitual de um Dispositivo Funcional

A.R. Scur^{a,c}, E.L. Schneider^d, F.J. Lorini^b

^a *scur.lib.nho@terra.com.br*

^b *Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil*

^c *Docente dos Cursos de Design e Engenharias, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Brasil*

^d *Docente dos Cursos de Design, Engenharias e Mestrado em Materiais e Processos Industriais, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil*

Resumo

No contexto industrial atual, verifica-se que as organizações empresariais vêm buscando atualização na utilização de métodos e técnicas para o desenvolvimento de produtos. A busca incessante por tal atualização tem se justificado nos últimos anos em função da globalização da economia, na qual as empresas veem-se imersas em um cenário de alta demanda por qualidade, menor preço, menores prazos de lançamento do produto no mercado e menor permissibilidade na ocorrência de erros, fatores estes diretamente responsáveis por seus índices de competitividade. Este artigo visa aplicar a metodologia denominada Design for Assembly (DFA) como ferramenta de auxílio no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional, com o objetivo de comprovar a eficácia de tal teoria em projetos industriais. Tal metodologia é utilizada no desenvolvimento de produtos, tanto em situações de inovação quanto em situações de redesign, visando facilitar as atividades dos operadores durante a montagem de um determinado produto. Através da simplificação da estrutura do projeto, eliminando componentes desnecessários, integrando partes e reduzindo o número de sistemas de junção, obteve-se, uma redução no número de peças, na massa e nas dimensões do dispositivo, causando, por consequência, um impacto nos custos de fabricação.

Palavras-chave: Design for Assembly, dispositivo funcional, projeto de produto.

Design for Assembly Application in the Development of the Conceptual Project of a Functional Device

Abstract

In the present industrial context, it is verified that business organizations are seeking for updates in the use of methods and techniques for the development of products. The continual search for updating has been justified lately because of the globalization of the economy, in which context the companies are located that requires a higher demand for quality, low cost, shorter periods for launching a product in the market and few possibilities of errors, factors which are directly responsible for their rates of competitiveness. This project aims to apply the methodology called Design for Assembly (DFA) as a helping tool in developing the conceptual project of a functional device, with the objective of proving the efficiency of this theory in industrial projects. This methodology is used in the development of products, both in situations of innovation as well as of re-designing, aiming at making the operator's duties easier when they assembly a product. Through the simplification of the project's structure by the elimination of unnecessary components, the integration of pieces and the reduction in the number of junction systems was obtained a reduction in the number of pieces, in the mass and in the device dimensions, thus causing an impact on the production costs.

Keywords: Design for Assembly, functional device, product Project.

1. INTRODUÇÃO

Paralelamente aos desafios impostos pela globalização da economia, verifica-se que a competição entre as empresas, em nível mundial, aumentou consideravelmente. Os produtos ou parte deles podem ser fabricados em qualquer lugar do planeta e, por consequência, serem comercializados também em qualquer lugar do mesmo. De uma forma geral, hoje, os mesmos são pesquisados, projetados, fabricados e testados para que rapidamente possam ser colocados no mercado consumidor, com um ciclo de vida cada vez menor. De acordo com Boothroyd et al. (2002), *Design for Manufacture and Assembly* [1] (DFMA) é a combinação de *Design for Manufacture* (DFM) e *Design for Assembly* (DFA). Tanto o DFM como o DFA possuem basicamente o mesmo objetivo,

ou seja, aumentar a eficiência dos processos de produção do produto no que diz respeito à manufatura e à montagem. Os autores, de forma frequente, abordam o termo DFMA, utilizando-se da expressão "Projeto Orientado para a Manufatura e Montagem" [1].

O DFM, também conhecido como "Projeto orientado à manufatura", visa garantir que as partes individuais dos produtos, as quais serão agrupadas e montadas, formando o produto final, sejam fáceis de serem manufaturados. O DFM objetiva eliminar características indesejáveis e desnecessárias que possam dificultar sua manufatura. Um exemplo disso é o desperdício de tempo e recursos na fabricação de produtos com acabamentos e tolerâncias dimensionais melhores que o necessário. O DFA, também conhecido como "Projeto voltado

à montagem”, visa garantir que a montagem do produto seja realizada de forma fácil e rápida [1].

Muitas vezes a complexidade do produto, resultante das características definidas durante a fase de projeto, torna a produção do mesmo muito difícil e até mesmo impossível. Neste sentido, a solução é reprojeter o produto, o que acarreta em atraso no tempo do lançamento do mesmo no mercado e todos os custos associados ao retrabalho. Uma forma de contornar esse problema é a de aumentar o nível de comunicação e consultoria entre os projetistas e os engenheiros de fabricação, na fase inicial de projeto. Esta efetiva interação entre tais profissionais, leva à formação de equipes, chamadas de equipes de engenharia simultânea. Neste sentido, o projetista não necessita se especializar em processos, pois os especialistas em produção e processos, que conhecem as dificuldades e limitações, auxiliam no desenvolvimento do produto, avaliando e sugerindo melhorias. Tais equipes têm a atribuição de estudar e analisar as propostas de projeto sob o ponto de vista da manufatura e da montagem, ou seja, analisar as propostas de projeto utilizando-se dos conhecimentos gerados pelo DFMA. Os autores afirmam também em sua obra que a capacidade de estimar, tanto os custos de montagem como os de manufatura de peças nas fases iniciais do projeto do produto, são a essência do DFMA. Numerosos programas de investigação ao longo das últimas duas décadas sobre o tema DFMA foram realizados com o objetivo principal de desenvolver modelos econômicos de processos de manufatura baseados nas informações do projeto de produtos [1].

Segundo Boothroyd et al.(2002), quando se trabalha no processo de projeto usando o DFMA, a análise e aplicação do mesmo, deve ocorrer posteriormente a definição do primeiro conceito do produto. Posteriormente à execução do DFA, elaboram-se sugestões visando a simplificação da estrutura do produto, de forma tal que a cada avaliação feita, as características do produto vão sendo melhoradas e aperfeiçoadas. A seguir, faz-se uma avaliação prévia dos possíveis materiais e processos que podem ser utilizados, bem como a primeira estimativa de custos. Seguindo esses passos, atinge-se um conceito ótimo, ou conceito ideal de projeto. Após esta etapa, faz-se uma completa análise dos materiais e processos que podem ser utilizados no projeto, para então obter-se o desenho detalhado das partes em questão. No momento que o projetista tem o desenho detalhado das partes, o mesmo pode passar para a fase de construção do protótipo e, finalmente, com o protótipo aprovado, pode-se iniciar a produção do produto[1].

O DFMA prevê um procedimento sistemático para analisar uma proposta de concepção do ponto de vista de montagem e fabricação e apresenta uma série de vantagens. Este procedimento resulta em produtos mais simples e confiáveis e consequentemente com menores custos para fabricar e montar. Além disso, qualquer redução no número de peças em uma montagem produz um efeito exponencial sobre a redução dos custos, pois isto significa menos desenhos e especificações, menor inventário, menos mão-de-obra etc. Todos esses fatores têm um efeito importante sobre as despesas gerais que, em muitos casos, constituem a maior porção do custo total do produto. Vale ressaltar que em projeto de produto, muitas vezes, o fator custo não é necessariamente o fator mais importante a ser considerado pelas empresas. A figura 1 mostra uma pesquisa realizada sobre a influência positiva da aplicação do DFMA [1].

O exemplo na figura 1 mostra que, neste caso de redesign, a redução do tempo de colocação no mercado (39%) e a melhoria da qualidade e confiabilidade (22%) foram

os pontos mais importantes levados em consideração pela empresa. As ferramentas do DFMA também incentivam o diálogo entre os projetistas e os engenheiros de fabricação e quaisquer outros indivíduos que desempenhem um papel na determinação do custo final do produto durante as fases iniciais do projeto. Isto significa que o trabalho de equipe é incentivado, aumentando consequentemente as economias nos custos do setor da produção [1].

Segundo Salustri e Chan (2005), o objetivo do projeto para montagem (DFA) é simplificar o produto para que o custo de montagem seja reduzido. Entretanto, como consequência da aplicação do DFA, normalmente tem-se melhor qualidade e confiabilidade, e uma redução do inventário na produção de peças e equipamentos. O DFA reconhece a necessidade de analisar todas as partes do projeto e de todo o produto para qualquer problema de montagem no início do processo de criação. Salustri e Chan (2005, p.1) definem DFA como sendo “um processo para aprimorar o projeto do produto, para obter uma montagem fácil e de baixo custo, focando-se na funcionalidade e na facilidade de montagem simultaneamente [2]”.



Figura 1: Pesquisa sobre a importância das reduções causadas pelo DFMA.

Fonte: adaptado de Boothroyd et al. (2002).

A prática do DFA, como uma característica distinta de projeto, possui um desenvolvimento recente, mas muitas empresas têm utilizado o DFA já há algum tempo. Por exemplo, a General Electric publicou, nos anos de 1960, um manual interno de produtividade e manufatura como um conjunto de orientações e dados para auxiliar os projetistas em suas tarefas de projeto. Na análise deste manual, verifica-se que essas orientações se encaixam muito nos princípios do DFA. Por volta de 1970, começaram a aparecer alguns artigos e livros sobre o tema, sendo que a mais importante entre essas publicações foi a de Geoffrey Boothroyd, o qual promoveu o uso do DFA na indústria [2].

De acordo com Salustri e Chan (2005), considerando-se as atividades de montagem industrial associadas ao grau de automação, estas podem ser analisadas em três grandes grupos [2]:

- **Montagem manual:** as peças são transferidas para as bancadas, onde os trabalhadores montam manualmente o produto ou os componentes do produto. Neste caso, geralmente são usadas ferramentas manuais para auxiliar os montadores. Embora este seja o mais flexível e adaptável dos métodos de montagem, geralmente causa algumas preocupações quanto à segurança dos trabalhadores, bem como ao atendimento às leis sociais.
- **Montagem com elevada automação:** máquinas automáticas de construção customizada produzem produtos específicos em grandes volumes. Este tipo de

maquinário requer normalmente um grande capital de investimento. À medida que o volume de produção aumenta, a fração do investimento de capital comparado ao total do custo de manufatura diminui. Neste tipo de montagem são utilizados magazines indexados e alimentadores automáticos, o que torna este método um sistema rígido de produção.

- **Montagem com automação robótica:** é incorporado o uso de sistemas de produção robótica. Este sistema prevê a utilização de apenas um robô ou de várias estações de robôs (sistemas multi-estação), com todas as atividades simultaneamente controladas e coordenadas por um controlador lógico programável (CLP) ou por um computador. Este método de montagem é extremamente flexível e dado a sua flexibilidade em poder montar vários produtos diferentes, os investimentos iniciais são normalmente compensados.

A figura 2 ilustra uma comparação entre os diferentes métodos de montagem, em função do volume de produção anual e do custo de montagem por produto. O custo não linear para uma produção robótica reflete o custo não linear dos robôs [2].

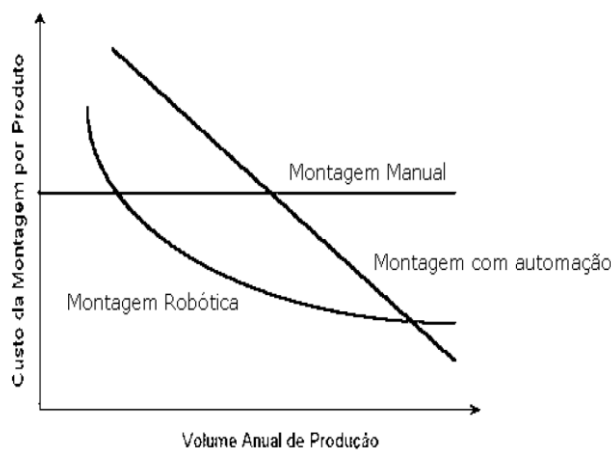


Figura 2: Comparação entre os métodos de montagem.
Fonte: adaptado de Salustri e Chan (2005).

Segundo Costa et al.(2005) [3], o DFA parte da premissa de que o produto ideal tem apenas uma peça. Dessa forma, tem-se que o número de peças é o maior fator de influência quando se leva em consideração a eficiência da linha de montagem. De acordo com Boothroyd et al.(2002) [1], uma ferramenta de projeto DFA deve ser eficaz para analisar a facilidade de montagem dos projetos de produtos ou subconjuntos e deve fornecer resultados rápidos, ser simples, ser fácil de usar, assegurar coerência e integralidade na avaliação da montagem do produto, eliminar avaliações subjetivas da montagem do projeto, permitir a livre associação de idéias e fácil comparação dos planos alternativos. Além disso, essa ferramenta deve assegurar que as soluções sejam avaliadas logicamente, identificar áreas problemáticas da montagem e sugerir abordagens alternativas para simplificar a estrutura do produto, para assim, reduzir os custos de fabricação e montagem.

Os autores citam ainda que ao se aplicar uma ferramenta DFA, na fase conceitual do projeto, onde as alterações são simples e baratas, verifica-se uma melhoria considerável na comunicação entre o setor de manufatura e o setor de projeto e, como consequência, as idéias geradas e

o raciocínio lógico fazem com que o número de erros na tomada de decisões seja diminuído.

1.1 O Projeto Orientado para Montagem Manual

Considerando-se resultados adquiridos pela experiência na aplicação do DFA, algumas orientações gerais de projeto devem ser seguidas com o objetivo de consolidar conhecimentos de fabricação e apresentá-los ao projetista em forma de regras simples a serem seguidas quando este desenvolve um projeto. Neste sentido, o processo de montagem manual pode ser dividido em duas áreas distintas. Uma refere-se ao manuseio (aquisição, orientação e movimentação de peças) e a outra, à inserção e fixação (encaixe de uma peça em outra peça ou em grupo de peças).

1.1.1 Orientações de projeto para manuseio de peças

Boothroyd et al.(2002) [1], comentam que em linhas gerais, com o fim de facilitar o manuseio de peças um projetista deve tentar seguir as seguintes recomendações:

- projetar peças que têm simetria em toda sua extensão e também simetria rotacional sobre o eixo de inserção. Se isto não puder ser alcançado, tentar projetar peças que tenham o máximo possível de simetria;
- projetar peças que sejam claramente assimétricas quando for impossível projetá-las com simetria. Esta orientação tem o objetivo de tornar fácil para o montador identificar a não simetria;
- fornecer elementos que impeçam o emperramento de peças que tendem a formar pilhas quando armazenadas em grande quantidade;
- evitar elementos que permitam emaranhamento de peças quando armazenadas em grandes quantidades;
- evitar peças que, quando juntas, se unam sem necessidade ou que sejam escorregadias, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes, ou que sejam perigosas para quem está manuseando (peças pontiagudas ou que lasquem com facilidade etc.).

1.1.2 Orientações de projeto para inserção e fixação de peças na montagem

De acordo com Boothroyd et al.(2002) [1], levando-se em consideração as condições específicas de montagem e a facilidade na inserção de peças, um projetista deve tentar observar os seguintes aspectos:

- projetar de modo que haja pouca ou nenhuma resistência à inserção das peças, e, para atender a este quesito, o projetista deve prever chanfros para orientar o encaixe das peças, bem como um ajuste dimensional correto para evitar folgas ou interferência fora do padrão;
- padronizar peças, processos e métodos em todos os modelos e em toda linha de produtos, o que resulta normalmente em um menor custo final para o produto;
- usar montagem do tipo pirâmide – providenciar para a montagem seguinte um eixo de referência. Em geral, é melhor montar a partir de cima;
- evitar, sempre que possível, a necessidade de segurar peças para manter a sua orientação durante a manipulação do subconjunto ou durante a colocação de outra peça.

- Se for necessário segurar a peça, então tentar projetar de forma que a parte seja fixada o mais breve possível após sua inserção;
- projetar de forma que uma peça seja guiada antes de ser liberada para o posicionamento final. Quaisquer elementos que possam servir de guias (furos, rasgos etc.) trarão segurança na montagem;
- escolher corretamente os processos de fixação adequados para a montagem, observando as questões de ordem física e econômica, em acordo com os requisitos de projeto. Para montagem manual, os métodos de fixação mais usados são: por encaixe, por flexão plástica, por rebatamento e por parafusos. Em ordem crescente, o método de fixação por encaixe aparece como o mais barato e, na sequência, o método de fixação por parafuso, o mais caro.
- evitar a necessidade de redirecionamento de montagem.

Os autores comentam ainda que a observação de tais orientações de projeto se constituem em um conjunto de regras que, quando vistas como um todo, fornecem, aos projetistas, informações adequadas a serem utilizadas para desenvolver um projeto que será mais fácil de montar do que um projeto obtido sem tais fundamentos. São úteis e ajudam os projetistas na otimização e desenvolvimento de seus projetos, porém tais orientações não fornecem meios pelos quais se possa avaliar quantitativamente um projeto quanto à facilidade de montagem, bem como também não existe uma classificação relativa de todas as orientações que possam ser utilizadas pelo projetista para indicar quais orientações resultam em maiores melhorias de manipulação, inserção e fixação. Quando o projetista objetiva quantificar a dificuldade de montagem, recomenda-se a utilização do software DFA desenvolvido por Boothroyd e Dewhurst, afim de otimizar o cálculo do índice DFA ou eficiência de montagem.

Este trabalho investiga a fundamentação teórica relativa ao DFA e as relações com o processo de desenvolvimento de produtos tendo como objetivo principal propor um projeto conceitual utilizando os conceitos de DFA, no desenvolvimento de um dispositivo especial com a função de transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento do Projeto Conceitual I – Primeiro Modelo

O desenvolvimento do projeto conceitual I baseou-se na revisão da literatura e na análise e avaliação de um dispositivo base (protótipo), o qual serviu como referência para o desenvolvimento desta pesquisa. Esperava-se, em um primeiro momento, através deste trabalho, desenvolver um modelo conceitual de um dispositivo, que pudesse, em uma forma economicamente viável e com boa estrutura funcional, substituir o dispositivo existente (dispositivo base).

O dispositivo base (protótipo), utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento desta pesquisa, é um protótipo construído com praticamente 100% das peças reaproveitadas de outros equipamentos. Tal dispositivo foi fabricado e montado com o objetivo de transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador e testar a possibilidade de gerar energia, porém tanto para o projeto, bem como para a fabricação, não se utilizou metodologia científica, apenas buscou-se reunir componentes para facilitar a transmissão de movimento. A

figura 3 mostra tal dispositivo em sua concepção atual (protótipo).

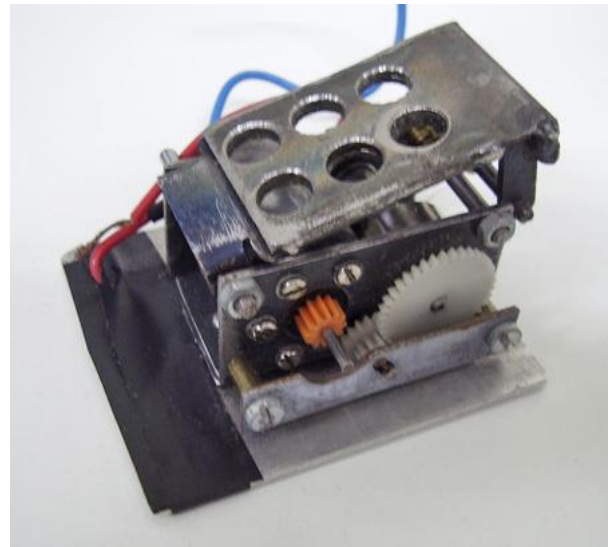


Figura 3: Dispositivo base (protótipo).

2.1.1 Lista das peças que compõem o dispositivo base

Somando-se todas as peças que compõem o conjunto do dispositivo base, tem-se como resultado um número de 47 peças, que juntas totalizam 160 gramas de massa.

A análise e a avaliação do dispositivo base realizaram-se com referência na literatura pesquisada e em dois momentos: em um primeiro momento buscou-se informações sobre as funções do produto; e em um segundo momento aplicou-se uma lista de verificação elencando as características principais do produto.

Tabela 1: Lista de peças do dispositivo base.

	PEÇA	QUANT.
1	Base	1
2	Acionador mecânico	1
3	Microgerador	1
4	Apoios Laterais	3
5	Braços Frontais	2
6	Eixos de rotação	5
7	Buchas separadoras	2
8	Engrenagens de dentes retos	4
9	Mola espiral	1
10	Polias guia	6
11	Arruelas	8
12	Porcas	2
13	Parafusos	11
	Total	47

1.1.3 Análise das funções do produto

Baxter (2000) [4], considera como função o objetivo de uma ação e não a própria ação. Em geral ela não se relaciona com os meios (componentes físicos) com que é realizada, mas apenas com o seu objetivo. A função geralmente é definida por um verbo (atuando sobre algo) e um substantivo (objeto sobre o qual atua). As funções de um produto podem ser

classificadas, quanto à hierarquia, em: Principal, Básicas e Secundárias. Para o produto em questão tem-se:

- a) função principal: Transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador;
- b) função básica: imprimir rotação no eixo do Microgerador (dínamo);
- c) funções secundárias:
 - imprimir rotação na engrenagem movida 2 solidária ao eixo do Microgerador;
 - imprimir rotação na engrenagem motora 2;
 - imprimir rotação na engrenagem movida 1;
 - imprimir rotação na engrenagem motora 1;
 - imprimir movimento alternado de translação ascendente e descendente no acionador mecânico.

1.1.4 Lista de verificação do produto com avaliação do dispositivo base

Segundo Pahl & Beitz et al. (2005) [5], é fundamental para avaliação na etapa de concepção que as características tecnológicas e econômicas sejam incorporadas o mais cedo possível.

Por isso, é necessário considerar simultaneamente critérios tecnológicos, econômicos e os que se referem à segurança. Neste sentido, optou-se por utilizar como auxílio à análise, um modelo de lista de verificação sobre o protótipo original (dispositivo base). A avaliação realizada é ilustrada na tabela 2.

Uma característica negativa marcante constatada na avaliação do dispositivo base quanto a sua utilização é a de que, através do mesmo, só consegue-se produzir movimento rotativo no eixo do Microgerador no momento em que o acionador mecânico está efetuando o movimento vertical ascendente. O movimento vertical descendente, neste caso, somente é utilizado para armazenar energia mecânica através da mola espiral.

Para o desenvolvimento do projeto conceitual I utilizou-se o método intuitivo para geração de concepções de produto denominado como método da instigação de questões, abordado na obra de Nelson Back et al. (2008) [6] e na obra de Mike Baxter (2000) [4], com a denominação de MESCRAI. Esta sigla que tem origem nas iniciais das palavras-chave: Modificar; Eliminar; Substituir; Combinar; Rearranjar; Adaptar e Inverter.

Na utilização deste método, procurou-se relacionar as características críticas levantadas na análise do dispositivo base, mostradas na tabela 1. Tentou-se solucionar ou melhorar itens de projeto tais como massa elevada, elevado esforço para produzir movimento, dimensional excedente, elevado número de componentes, difícil montagem, estrutura funcional complexa, elevado nível de ruído, difícil manutenção e elevado custo de produção e montagem.

Para justificar o desenvolvimento do novo conceito, elegeu-se a solução para o problema de projeto do dispositivo base em produzir movimento rotativo no eixo do Microgerador, somente através do movimento de retorno (movimento ascendente) da alavanca de acionamento como sendo prioritária e indispensável. Caso este item possa ser solucionado já no desenvolvimento do primeiro modelo, tem-se um aproveitamento do ciclo completo do movimento mecânico. Os itens relacionados à diminuição do número de componentes, redução das medidas externas e redução da

massa total do produto também foram elencados como importantes para esta fase do desenvolvimento da proposta.

Tabela 2: Lista de verificação com as características principais para avaliação do produto.

Característica Principal	Avaliação do Dispositivo Base	
	Situação Existente	Situação Desejada
Função Principal	Transformar movimento alternativo em rotacional no eixo de um Microgerador	Transformar movimento alternativo em rotacional no eixo de um Microgerador
Princípio de Trabalho	Mecânico – Transforma movimento alternativo em rotativo para o acionamento de um Microgerador	Mecânico – Transforma movimento alternativo em rotativo para o acionamento de um Microgerador
Forma do corpo	Forma Cartesiana, dimensional excedente e configuração complexa	Forma orgânica, dimensões reduzidas e simplificação de sua configuração
Desenho	Sem desenho	Renderização do produto
Segurança	Não apresenta riscos ou efeitos nocivos ao usuário ou a sociedade	Não apresentar riscos ou efeitos nocivos ao usuário ou a sociedade
Ergonomia	Elevada massa e elevado esforço para produzir movimento	Diminuição da massa e do esforço necessário para produzir movimento
Produção	Elevado nº de componentes e processos caros para a configuração atual. Difícil montagem pela complexidade estrutural	Diminuição de componentes, utilização de processos de produção mais baratos e simplificação da estrutura para facilitar a montagem
Controle	Dificulta o controle de qualidade pela complexidade estrutural	Simplificação da estrutura para facilitar o controle de qualidade do produto
Montagem	Complexidade de montagem devido ao grande nº de peças e a utilização de mola espiral e elementos de fixação por parafusos.	Diminuição do nº de componentes, eliminação e substituição de componentes de união e de transmissão de movimento, facilitando a montagem do conjunto.
Transporte	Difícil empilhamento, difícil transporte, perda volumétrica na embalagem devido as dimensões da base.	Diminuição das medidas externas para facilitar empilhamento e obter ganho de volume no transporte do produto
Utilização	Elevado nível de ruído. Converte movimento alternativo da alavanca de acionamento em rotativo do eixo do Microgerador apenas na posição ascendente	Diminuição do nível de ruído. Conversão do movimento alternativo da alavanca de acionamento em rotativo do eixo do Microgerador nas posições ascendente e descendente
Manutenção	Preventiva: Difícil acesso aos componentes Corretiva: Difícil acesso aos componentes. Necessidade de desmonte de grande nº de peças	Preventiva: Facilitação do acesso aos componentes com necessidade de manutenção Corretiva: Simplificação da estrutura para facilitar acesso e desmontagem de peças sem interferir em outras peças já montadas
Reciclagem	Com exceção das engrenagens confeccionadas de polímero, o restante dos materiais é de fácil reciclagem	Utilização de materiais com possibilidade de reciclagem, causando o menor impacto ambiental possível
Custos	Elevado custo de produção e montagem devido ao elevado número de componentes.	Diminuição do número de componentes para baixar custo de produção e montagem

Fonte: Adaptado de Pahl & Beitz et al. (2005)

1.2 O Desenvolvimento do Projeto Conceitual II – Segundo Modelo

Para o desenvolvimento do projeto conceitual II – segundo modelo, o objetivo foi de aplicar a metodologia DFA, usando-se como base os resultados obtidos pelo desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo, concebido pela aplicação da metodologia MESCRAI. Necessitava-se ainda comprovar o uso da metodologia DFA e demonstrar também as melhorias significativas obtidas para o produto final.

Considerando tais necessidades, buscou-se analisar nesta etapa o projeto conceitual I sob a ótica da montagem, e, para tanto, mostrou-se importante a preocupação com a necessidade ou não do uso de ferramentas, na dificuldade em montar peças de pequenas dimensões, na possibilidade de utilizar os diversos tipos de elementos de união, bem como na possibilidade de unir e integrar peças.

Segundo Beall (1997) [7], é possível consolidar diversas peças e componentes (plásticos ou não) em uma única peça injetada, muito mais complexa, porém vantajosa considerando-se o número de montagens que essa pode eliminar. Ponderando-se que é possível (mesmo que não seja tão trivial e barato) injetar em plástico praticamente qualquer peça, mesmo com geometria extremamente detalhada e complexa, vê-se vantagem em primeira análise de substituir conjuntos por peças únicas, contribuindo na redução do número de peças.

Neste sentido, realizou-se uma crítica do projeto conceitual I (primeiro modelo) quanto à facilidade para a montagem segundo a metodologia de Boothroyd-Dewhurst. a qual prevê a utilização de três perguntas para avaliar a necessidade ou não da peça no conjunto – critério mínimo de peças, descritas abaixo.

- A peça, ou componente em análise durante o modo de operação normal, possui movimentos relativos a outras partes recém-montadas, ou seja, em relação a sua interface?
- A peça, ou componente em análise, em relação a sua interface, necessita ser de um material diferente ou deve ser isolada, para exercer sua função/funcionalidade?
- A peça, ou componente em análise, necessita ser desmontada ou retirada para o reparo de alguma outra?

Procedendo-se a análise do primeiro modelo (projeto conceitual I) frente às três perguntas do método exposto, iniciou-se pelo questionamento quanto aos movimentos relativos que as peças teriam umas em relação às outras e cada uma com seu entorno. Dessa análise, pode-se verificar que:

- as peças de número 01, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 21 e 22 apresentavam movimentos relativos à outras partes já montadas;
- para que o conjunto possa exercer plenamente sua função, não é necessário que todas as peças citadas apresentem obrigatoriamente movimento relativo a outras peças já montadas. É o caso das peças de número 05, 06 e 07, bem como das peças 15 e 20.

Como conclusão prévia, considerou-se que as peças de número 01,10, 11,12,14,15,16,17,21 e 22 deveriam ser inicialmente mantidas individuais, e com possibilidade de utilização no desenvolvimento do projeto conceitual II. A não ser que uma mudança tecnológica pudesse beneficiar o projeto, efetuando-se a troca do sistema de transmissão de movimento por engrenagens pelo sistema de transmissão de

movimento por atrito, permitindo assim a integração, substituição ou adição de outros elementos.

Para responder a segunda pergunta, fez-se uma análise dos possíveis materiais que poderiam ser utilizados no projeto e chegou-se à conclusão de que para algumas peças havia exigência de utilização de diferentes materiais, ou seja, materiais com características específicas, e para outras não. A peça de número 16 é um bom exemplo de peça para utilização de um material diferenciado, pois a mesma deverá resistir à solicitação de torção. O conjunto de peças de números 17, 21 e 22 poderiam ser do mesmo material, desde que fossem respeitados os critérios de atrito. As peças de número 01, 04, 06, 07, 10, 11, 12, 14, 15 e 20 poderiam ser do mesmo material, desde que fossem respeitados os critérios mínimos de resistência mecânica. A peça de número 21 pode fazer parte do grupo de peças referidas anteriormente com o mesmo material, porém certamente necessitará de uma alteração em seu dimensionamento.

Por fim, para responder à terceira pergunta, analisou-se a possibilidade ou necessidade de acesso ao conjunto para fins de reparo e chegou-se à conclusão de que para efetuar qualquer tipo de manutenção nas peças de número 05, outras peças deveriam ser removidas. Seguindo o mesmo raciocínio, para realizar qualquer reparo nas peças de número 10 e 11, seria necessário desmontar a peça de número 12.

As peças de número 03, 08, 09, 13, 18 e 19 possuem a função de junção ou fixação, portanto, são fortes candidatas à exclusão ou substituição.

A peça de número 2 pode ser considerada como sendo um subconjunto, pois devido ao tamanho reduzido e pela dificuldade em fabricá-la, a mesma é comprada pronta de um fornecedor e por este motivo é necessário mantê-la no projeto final.

Como pode se verificar, em nenhuma das três perguntas aplicadas para cada parte individual obteve-se “não” para todas as peças do conjunto. Esse fato gerou uma avaliação que permitiu trabalhar com as possibilidades de exclusão, substituição e integração de peças.

Ponderando-se as respostas individuais relativas a análise do primeiro modelo (projeto conceitual I) frente às três perguntas do método, considerando-se exclusão, substituição e integração de peças, e as reais necessidades para que o projeto conceitual do dispositivo funcional (projeto conceitual II – segundo modelo) exerça sua função, chegou-se à conclusão de que seria necessário um número mínimo de peças igual a 14.

3. RESULTADOS

1.3 Apresentação do Projeto Conceitual I – Primeiro Modelo

As figuras 4 e 5 ilustram de forma mais clara o resultado obtido no desenvolvimento do primeiro conceito. Em uma primeira avaliação, com a utilização da metodologia MESCRAI, verifica-se que o primeiro modelo do dispositivo (projeto conceitual I) contempla em grande parte os itens críticos de projeto destacados na análise do dispositivo base existente.

Dentre os itens trabalhados e as melhorias apresentadas, podem-se mencionar:

- a) o número de peças do conjunto diminuiu de 47 para 34, o que corresponde a uma redução de 27,65% (13 peças);
- b) a massa total do conjunto diminuiu de 160 gramas para 57,11 gramas, o que corresponde a uma redução de peso de 64.36% (102.89 gramas);
- c) não houve ganho significativo neste primeiro momento quanto a parte dimensional externa;

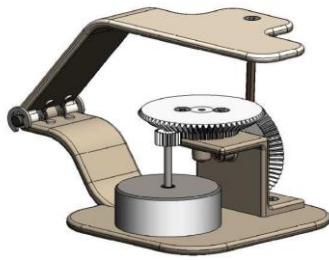


Figura 4: Perspectiva isométrica do dispositivo funcional – projeto conceitual I.

- d) o objetivo do projeto de que o movimento alternativo da alavanca de acionamento (ora descendente ora ascendente) produza movimento contínuo e unidirecional no eixo do Microgerador, foi contemplado utilizando-se um braço articulado com movimento excêntrico, unindo o acionador mecânico à engrenagem motora (engrenagem cônica 01) item 14 fig. 5;
- e) a estrutura funcional ficou mais simples, melhorando o sistema para manutenção e eventual troca de peças em campo, bem como para montagem e desmontagem do conjunto;
- f) no projeto conceitual I manteve-se o sistema de transmissão por engrenagens, porém com a substituição das engrenagens de dentes retos (dispositivo base) por engrenagens cônicas (projeto conceitual I) devido à transmissão de movimento a 90°.

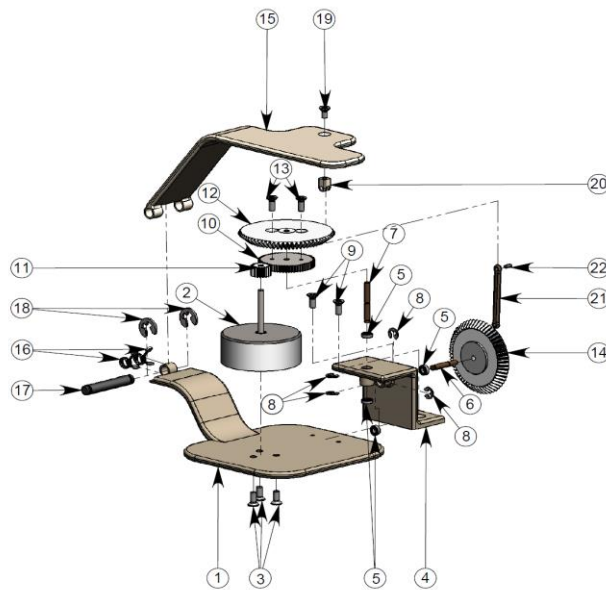


Figura 5: Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual I.

1.4 Apresentação do Projeto Conceitual II – Segundo Modelo

Como pode se verificar através das figuras 6 e tabela 3, houve alterações significativas na configuração geométrica do projeto conceitual I para o projeto conceitual II, sendo oportuno apresentar os principais itens responsáveis por tal mudança:

- a) a opção pela troca do sistema de transmissão de movimento por engrenagens (peças de número 10, 11, 12, e 14 - projeto conceitual I) pelo sistema de transmissão de movimento por atrito (peças de número 3, 4, 5, 6 e 7 - projeto conceitual II) trouxe benefícios tanto com relação à manufatura, quanto à montagem. O

processo de confecção da matriz e conseqüentemente o processo de injeção de plásticos, é menos complexo para polias do que para engrenagens;

- b) o número de peças a manufaturar utilizadas no sistema de transmissão de movimento por atrito (peças de número 3, 4, 5 - projeto conceitual II) é menor do que o número de peças usadas no sistema de transmissão de movimento por engrenagens (peças de número 10, 11, 12, e 14 - projeto conceitual I), o que facilita também a montagem. As peças de número 6 e 7, anel da roda de atrito e correia principal serão adquiridas de um fornecedor, só necessitando serem montadas;
- c) alterou-se a geometria do acoplamento da base (peça 01) e do acionador mecânico (peça 15) do projeto conceitual I, permitindo assim a exclusão dos dois anéis elásticos (peça 18), responsáveis pela limitação do movimento axial do pino do acionador mecânico e de uma mola de torção (peça 16), responsável pelo efeito memória para viabilizar o movimento alternado do acionador mecânico. A limitação do movimento axial do pino do acionador mecânico no projeto conceitual II poderá ser viabilizada utilizando-se ajuste por interferência;
- d) a integralização das peças de número 01, 04, 06 e 07 (projeto conceitual I) em uma peça única de número 01 (projeto conceitual II), permitiu que o acoplamento da polia 2 (peça 04 - projeto conceitual II) e da polia de atrito (peça 05 - projeto conceitual II) fosse viabilizada através da utilização de Snap-Fit, facilitando consideravelmente a montagem. Para fins de segurança e bloqueio do movimento axial das polias citadas,
- e) utilizaram-se arruelas de aço padronizadas (peças de número 08 e 09 – projeto conceitual II);
- f) a fixação da polia 3 (peça de número 03 do projeto conceitual II) no eixo do Microgerador (peça de número 02 do projeto conceitual II) se dará por interferência e utilização de adesivo bloqueador de movimento, do tipo trava-eixo;

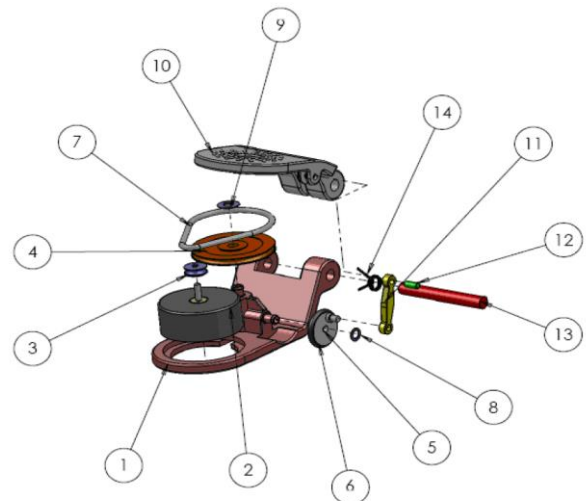
















Figura 6: Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual II.

- g) a integralização das peças de número 15 e 20 (projeto conceitual I) em uma peça única de número 10 (projeto conceitual II) permitiu a exclusão do parafuso de fixação de número 19 do projeto conceitual I, diminuindo conseqüentemente o tempo de montagem.

Tabela 3: Relação das peças que compõem o dispositivo funcional – projeto conceitual II.

Peça	Nome	Imagem	Quant.	Especificação	Material
01	Base		01	28 x 19,5 x 56,5 mm	Polímero
02	Microgerador		01	Ø 22 x 15,5 mm	Aço
03	Polia 3		01	Ø 6,25 x 2 mm	Polímero
04	Polia 2		01	Ø 22,5 x 2 mm	Polímero
05	Polia de Atrito		01	Ø 10 x 2 mm	Polímero
06	Anel da Roda de Atrito		01	Ø 11,5 x Ø 1,5 mm	Polímero
07	Correia Principal		01	Ø 10 x 2 mm	Polímero
08	Arruela 01		01	2,5 X 4 X 0,1 mm	Aço
09	Arruela 02		01	2,5 X 6 X 0,1 mm	Aço
10	Acionador Mecânico		01	28 x 47 x 15 mm	Polímero
11	Braço		01	17,5 x 3,5 x 2 mm	Polímero
12	Pino do Braço		01	Ø 1,8 x 4 mm	Aço
13	Pino do Acion. Mec.		01	Ø 3,5 x 28 mm	Aço
14	Mola de torção		01	Ø 3,6 x 1,75 mm	Aço

A tabela 4 apresenta o resumo dos resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II. As variáveis utilizadas na apuração dos resultados foram definidas baseando-se na literatura consultada, nos objetivos propostos e em grandezas que poderiam ser demonstradas pelo autor desta pesquisa. Os valores numéricos apresentados na tabela possuem, por conveniência, arredondamento na segunda casa decimal.

Tabela 4: Resumo dos resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II.

Variáveis	Dispositivo base (Protótipo)		Modelo conceitual (I)		Modelo conceitual (II) com DFA	
	Quantidade	Variação (%)	Quantidade	Variação (%)	Quantidade	Variação (%)
Quantidade de peças	-47	-27,66	-34	-27,66	-14	-70,21
Massa total (gramas)	-160	-64,37	-57,01	-64,37	-18,30	-88,56
Comprimento (C)	65,00	11,06	72,19	11,06	56,54	-13,02
Largura (L)	55,00	-16,36	46,00	-16,36	28,00	-49,09
Altura (H)	40,00	8,38	43,35	8,38	22,47	-43,83

Como pode-se verificar, no que tange a quantidade de peças do conjunto, constata-se uma redução considerável partindo-se do dispositivo base (protótipo) com 47 peças e, posteriormente, na evolução do desenvolvimento do projeto conceitual I, com 34 peças, e do projeto conceitual II, com 14 peças.

Quanto à massa total do conjunto, também podemos verificar que houve uma redução considerável, visto que partiu-se do dispositivo base (protótipo) pesando 160

gramas, evoluindo para o projeto conceitual I pesando 57,01 g e por fim o modelo conceitual II pesando apenas 18,30 g.

No que diz respeito às dimensões máximas do conjunto, de acordo com a tabela 3, obteve-se uma pequena redução da largura, acompanhada de um pequeno aumento do comprimento e na altura do conjunto (projeto conceitual I). Já para o projeto conceitual II, com a utilização do DFA, observa-se uma forte redução nas dimensões, tanto no comprimento, quanto na largura e na altura.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada tratou da aplicação da metodologia *design for assembly* (DFA), como ferramenta de auxílio no desenvolvimento de produto. Neste caso, o projeto de um dispositivo funcional teve seu desenvolvimento a partir da geração de alternativas concebidas para atender uma estrutura funcional. A aplicação da metodologia DFA na fase de projeto conceitual contribuiu para selecionar a alternativa que melhor atende a estrutura funcional, com vantagens significativas em termos de números de peças necessárias e dispositivos utilizados, o que corrobora para a eficácia do processo de projeto, com redução de custo no desenvolvimento do produto.

No trabalho, aplicou-se o método intuitivo para geração de concepções de produto, denominado como método da instigação de questões MESCRAI, que demonstrou ser muito útil para estimular ideias na geração inicial de soluções. Na fase do projeto conceitual, obtiveram-se soluções alternativas, modificando, eliminando, substituindo, combinando, rearranjando, adaptando ou mesmo invertendo peças do dispositivo base (protótipo), o qual serviu de referência para o desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo.

As constatações, que comprovam o alcance dos objetivos da pesquisa, estão diretamente relacionadas à diminuição do número de peças do dispositivo base (protótipo) comparado ao desenvolvimento do projeto conceitual I (primeiro modelo) e ao desenvolvimento do projeto conceitual II (segundo modelo), mantendo-se seu objetivo funcional. Outras constatações relacionam a importante redução do peso na evolução do desenvolvimento do projeto conceitual I ao desenvolvimento do projeto conceitual II, bem como das medidas de largura, comprimento e altura de tais dispositivos.

Pode-se constatar, então, que, através da aplicação da metodologia DFA sobre o projeto conceitual I, obtiveram-se propostas de soluções técnicas que simplificaram o produto em sua concepção final (projeto conceitual II), e, por consequência, melhoraram as condições para a montagem. Cabe lembrar também que outras soluções podem ser avaliadas, eliminando-se a restrição quanto à forma do Microgerador (peça 02 do projeto conceitual II), o que permite aumentar, assim, a gama de opções na escolha de materiais para o conceito gerado.

REFERÊNCIAS

- [1]. BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter and KNIGHT, Winston. *Product Design for Manufacture and Assembly*. New York USA: Taylor & Francis Group, 2 ed. 2002.
- [2]. SALUSTRI, F. A. AND CHAN, V. *Design for Assembly*. Disponível em: <<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>>. Acesso em 26 mar 2009.

- [3]. COSTA, J. E., SILVA, M. R. AND SILVA, C. E. S. Reprojetado de um Produto Fundamentado no Design for Assembly. V Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto, 10 a 12 de agosto de 2005, Curitiba/PR. em: <http://www.plasticstoday.com/imm/articles/dangerpartconsolidation>>. Acesso em: 25 abr 2009.
- [4]. BAXTER, M. Projeto de Produto - Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Edgar Blücher, 2 ed. 2000.
- [5]. PAHL, G., BEITZ, W.; FELDHUSEN, J. AND GROTE, K. Projeto na Engenharia. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- [6]. BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A. E SILVA, J. C. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Barueri, São Paulo: Manole, 2008.
- [7]. BEALL, G. The Dangers of Part Consolidation. Disponível em: <http://www.plasticstoday.com/imm/articles/dangerpartconsolidation>>. Acesso em: 25 abr 2009.
- [8]. AMARAL, A. T. O uso do método DFA (Design for Assembly) em Projeto de Produtos objetivando a melhoria ergonômica na Montagem. São Carlos 2007. Dissertação (mestrado). PPGEP/UFScar.
- [9]. ANDREASEN, M.; MYRUP, K. S. AND LUND, T. Design for Assembly. Bedford UK.: IFS Ltd 1988.
- [10]. BARROS, A. J. S. E LEHFELD, N. A. S. Fundamentos de Metodologia Científica. São Paulo: Makron Books. 2000.
- [11]. BOOTHROYD, G. AND DEWHURST, P. Product Design for Assembly. Rhode Island, USA: Boothroyd Dewhurst, inc. 1989.