
COMO PROJETAR PARA UMA MONTAGEM MANUAL

Marco Stipkovic Filho

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Eduardo Umaras

Universidade de São Paulo (USP)

Resumo

O presente trabalho objetiva a apresentação dos principais elementos da teoria do Projeto para Montagem Manual. O enfoque é tanto qualitativo, por meio da descrição de regras a serem observadas para um projeto de produto que atenda a requisitos que facilitem sua montagem e, conseqüentemente, reduzam seu custo intrínseco, quanto quantitativo, pela abordagem de técnicas que definem índices que o identifiquem como satisfatório ou não em termos de montagem. Esses índices podem, adicionalmente, ser utilizados para comparação de projetos similares nessa característica, ou também para a quantificação de melhoria de um mesmo projeto quando for submetido à alteração conforme as regras citadas.

Palavras-chave: Projeto. Montagem manual. Custo.

1 INTRODUÇÃO

O projeto para montagem, identificado internacionalmente pela sigla DFA – *design for assembly* – visa a consideração, desde o início e durante o projeto do produto, de fatores que aumentem sua eficiência de montagem. Essa prática, além de diminuir significativamente o custo de confecção do produto, por meio da redução do tempo de montagem, evita conflitos entre as equipes de Projeto e de Produção, reduz as alterações de projeto e auxilia no cumprimento dos cronogramas de desenvolvimento. Num ambiente competitivo de produtos globalizados, o fato de um produto apresentar um ótimo projeto funcional não garante o seu sucesso, pois este pode ser prescindido comercialmente por produtos concorrentes que apresentem nível semelhante de qualidade e custos menores de produção.

A técnica de DFA apresenta enfoque multidisciplinar pela própria essência, pois, geralmente, o projetista necessita de sugestões de especialistas em manufatura tanto para aquisição de informações gerais sobre processos quanto para que seu projeto possa ser produzido nas condições e limitações específicas da empresa. Essa filosofia colabora com a troca de informações constante entre membros da equipe. O DFA também é aplicado conjuntamente com outras técnicas, como Engenharia de Análise de Valor (EAV), *Design for Manufacturing* (DFM) e Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), entre outras. Sua utilização é verificada principalmente no projeto de bens de consumo duráveis e não duráveis. Embora seus conceitos possam ser aplicados no projeto de bens de capital, seus méritos são desprezíveis nesses produtos, devido à menor escala de produção e à diluição no seu custo total. Na indústria automotiva, a recomendação do uso da técnica iniciou-se com a elaboração da Norma QS-9000.

Embora o Projeto para Montagem seja aplicado aos processos semiautomatizados e totalmente automatizados, trata-se, neste trabalho, apenas do Projeto para Montagem Manual, pois, mesmo atualmente, são raros os casos de processos que não utilizam processos manuais. Os custos de produção, para efeitos comparativos, baseiam-se principalmente em processos manuais. Técnicas de organização e métodos na montagem não serão aqui abordados, porque se aplicam essencialmente ao projeto do processo ligado à área de Engenharia de Produção. Contudo, algumas recomendações aqui apresentadas auxiliam diretamente o processo produtivo, por facilitar as atividades de alimentação de linhas de montagem e de manuseio por meio de peças cujo projeto considera o aprendizado de problemas de produção passados.

Utiliza-se na simplificação o termo DFMA para significar o Projeto para Montagem Manual. Os principais conceitos do DFMA podem ser agrupados em dois itens:

- Manuseio: obter, orientar e mover o item.
- Inserção e fixação: tornar o item parte do conjunto do produto (BOOTHROY; DEWHURST; KNIGHT, 2002).

Seus principais benefícios são:

- Redução no número de peças, por meio da identificação de componentes essenciais para o funcionamento do produto.
- Manuseio facilitado, pela consideração de requisitos de orientação da peça.
- Montagem simplificada, pela consideração, no projeto, de características que facilitam a montagem do componente (LUCAS ENGINEERING & SYSTEMS, 1994).

O DFMA permite, como se pode ver a seguir, o enfoque qualitativo do projeto, por meio de recomendações básicas a serem seguidas. Porém, considera-se o grande mérito da ferramenta o enfoque quantitativo, abordado durante a exposição de sua metodologia de aplicação. Os índices de eficiência obtidos, mesmo aproximados, são altamente eficazes para a avaliação do projeto durante a sua concepção, o que sugere sua alteração imediata caso não conforme, e evitando custos desnecessários posteriores. A comparação com produtos concorrentes também pode ser de grande valor à empresa nas análises comerciais preliminares de seu produto.

2 REGRAS GERAIS PARA APLICAÇÃO DO DFMA

As regras descritas a seguir são fruto da experiência na aplicação da técnica e apresentam abordagem qualitativa para a melhoria do projeto visando sua montagem manual. Como já mencionado, os dois fatores fundamentais para o DFMA são o manuseio e a inserção/fixação, para os quais as regras estão fundamentadas.

2.1 Regras para manuseio

Projetar peças com simetria radial e nas extremidades contidas no eixo de inserção. Caso não seja possível, procurar a máxima simetria possível. Isso diminui o tempo de orientação e, se a simetria for total, evita erros de montagem (Figura 1).



Figura 1 Simetria de extremidades

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projetar peças que, se não puderem ser simétricas, apresentem assimetria óbvia (Figura 2).



Figura 2 Peças assimétricas

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projetar peças que evitem encaixe automático no armazenamento a granel (Figura 3).



Figura 3 Problema de encaixe

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projete peças que evitem o embaraçamento no armazenamento a granel (Figura 4).



Figura 4 Problema de embaraçamento

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projete peças que não sejam aderentes, escorregadias, delicadas, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes ou que possam ferir no manuseio (Figura 5).

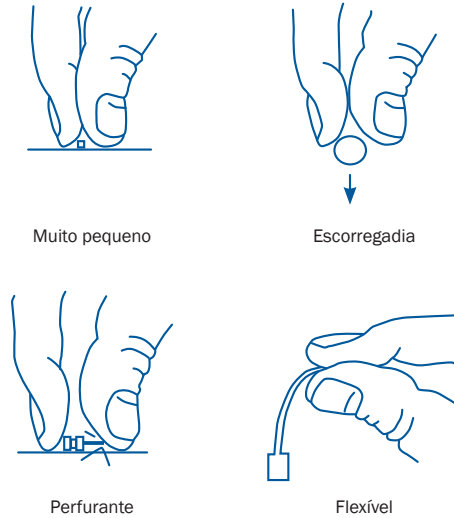


Figura 5 Peças problemáticas ao manuseio

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

2.2 Regras para inserção e fixação

Projetar peças que apresentem pouca ou nenhuma resistência à inserção, seja por atrito ou por compressão de ar, e especificar chanfros e extremidades para guiar a inserção na montagem, conforme aplicável. Folgas devem ser adequadas para evitar resistência por atrito e não devem possibilitar a tendência de travamento ou “enforcamento” na montagem. Observe os exemplos das figuras 6, 7, 8 e 9.

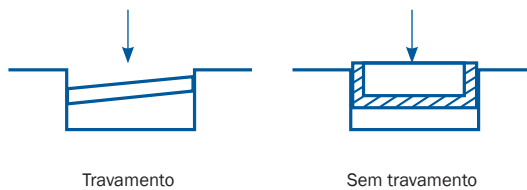


Figura 6 Problema de travamento

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

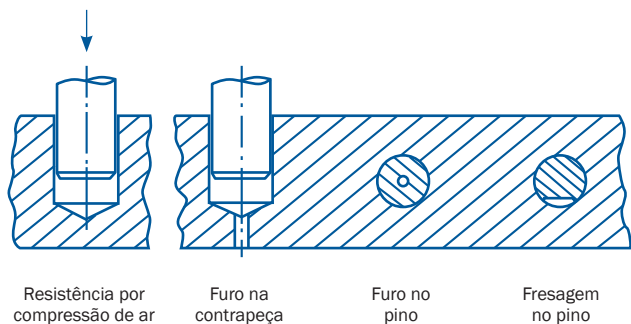


Figura 7 Problema de resistência por compressão de ar

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

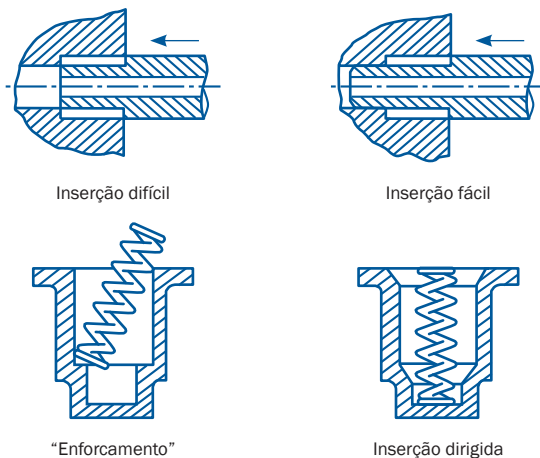


Figura 8 Projeto de guia longa para inserção

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

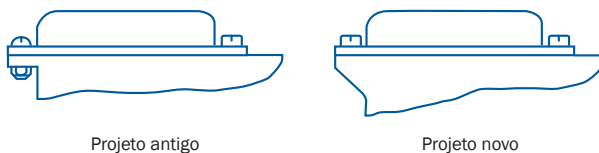


Figura 9 Projeto de chanfro para inserção

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Padronizar peças, processos e métodos em produtos ou até entre linhas de produção. Processos padronizados apresentam maiores volumes e resultam em redução de custo (Figura 10).

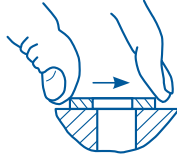


Figura 10 Padronização de peças no projeto

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projetar para a montagem piramidal em relação a um eixo de inserção. Montagens por cima são facilitadas (Figura 11).

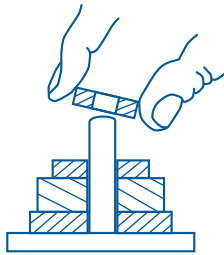


Figura 11 Montagem piramidal de eixo simples

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projetar para que seja evitada a necessidade de segurar a peça na sua posição durante a movimentação do subconjunto ou na colocação de outra peça. Caso ela tenha de ser segurada, considerar a fixação o mais rápido possível após sua inserção (Figura 12).



Figura 12 Projeto para autoposicionamento

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Projetar para que a peça já esteja posicionada antes da inserção. Projetos que exigem a soltura da peça antes que ela esteja positivamente localizada trazem problemas potenciais na montagem (Figura 13).

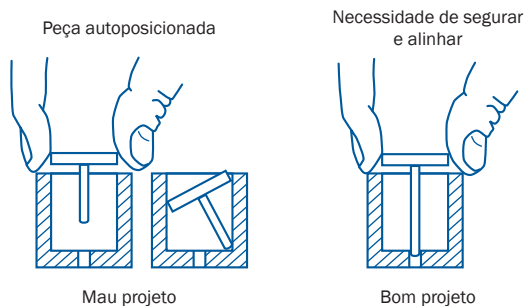


Figura 13 Projeto otimizado para inserção

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Na fixação convencional por elementos de fixação, utilizar preferencialmente a seguinte ordem: 1º tipo presilha; 2º dobramento plástico; 3º rebite; 4º parafuso. Os custos envolvidos crescem na mesma ordem (Figura 14).

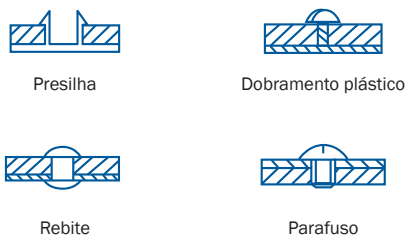


Figura 14 Elementos de fixação

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Evitar no projeto, sempre que possível, a necessidade de reposicionamento do conjunto (Figura 15).

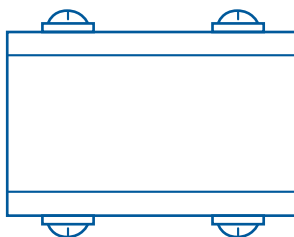


Figura 15 A inserção no lado oposto exige o reposicionamento na montagem

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

2.3 Regras adicionais importantes

Evitar conexões. Se for necessário conectar dois componentes, tentar localizar os componentes para que os locais de conexão estejam no mesmo ponto (Figura 16).

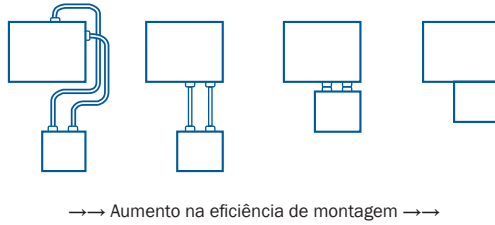


Figura 16 Rearranjo de componentes para aumento da eficiência e redução de custo

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Evitar projetos que restrinjam o acesso para montagem. A Figura 17 mostra, no primeiro caso, a dificuldade de montagem dos parafusos.

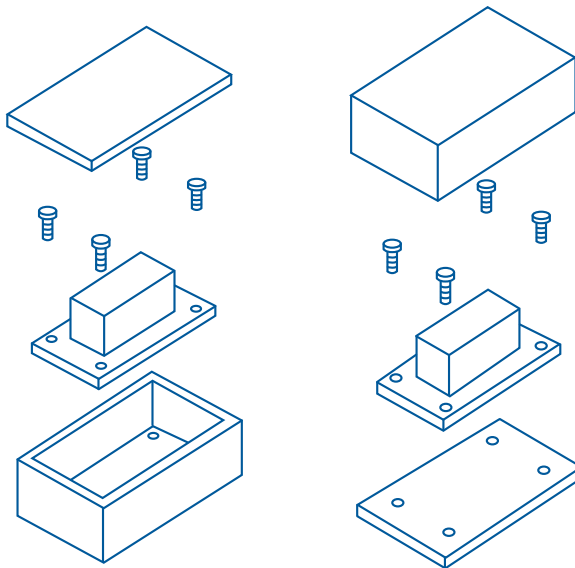


Figura 17 Conceito para melhoria de projeto para facilitar acesso a parafusos

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

Sempre que possível, as peças devem ser integradas para evitar ajustes. A Figura 18 ilustra um exemplo: no caso, se as peças fossem integradas em peça única com o material mais caro, provavelmente o aumento de custo de material seria compensado pela simplificação, o que eliminaria operações difíceis e onerosas:

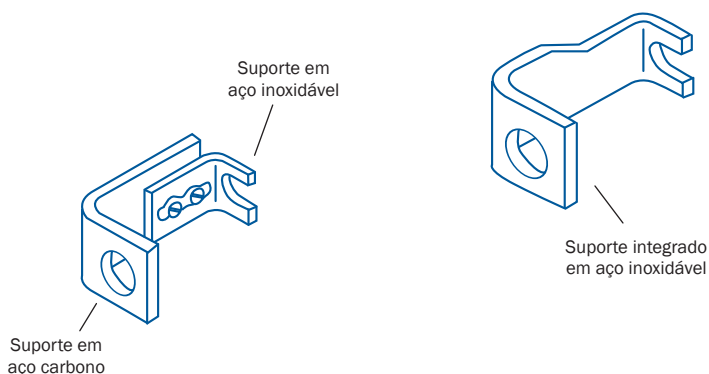


Figura 18 Projeto para integração de peças, evitando ajustes

Fonte: Boothroy, Dewhurst e Knight (2002).

3 METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO PROJETO PARA MONTAGEM

As regras gerais apresentadas na seção anterior são muitos úteis como recomendações qualitativas para um projeto que atenda a requisitos de facilidade de montagem. Essa abordagem qualitativa isolada, porém, traria restrições à utilização do DFMA. Além disso, observou-se a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia específica que pudesse quantificar o desempenho de um projeto em termos de montagem.

Métodos analíticos para a determinação dos processos de montagem mais econômicos de um produto foram desenvolvidos a partir de 1977 (BOOTHROY; DEWHURST; KNIGHT, 2002), considerando os casos de montagem manual, automática e robotizada. Para esse fim, foram realizados experimentos para a medição dos efeitos de simetria, tamanho, peso, espessura e flexibilidade nos tempos de montagem manual. Outros experimentos foram ainda realizados para quantificar o efeito da espessura da peça na sua pega e na sua manipulação por meio de pinças; o efeito da geometria no tempo de manuseio de molas helicoidais de compressão; e o efeito do peso no tempo de manuseio de peças necessitando de duas mãos para pega e manipulação.

Com relação ao projeto para montagem com inserção manual, foram realizadas análises teóricas e experimentais considerando os efeitos do projeto de chanfros no tempo de inserção, do embaraçamento durante a montagem, da geometria da peça no tempo de inserção e ainda das condições de acesso obstruído e visão restrita. Como resultado desses estudos, um sistema de classificação e codificação para montagem manual foi desenvolvido na forma de tabelas de tempos padrão, levando em conta processos de manuseio, inserção e fixação. Ele é citado na seção Referências (BOOTHROY; DEWHURST; KNIGHT, 2002) e será apresentado neste trabalho, com as devidas adaptações. Lucas Engineering & Systems LTD (1994) abordam um sistema similar. Aplicaremos o método para avaliar projetos similares de um mesmo produto, exemplificando o procedimento e mostrando o potencial de sua utilização. Já Boothroy, Dewhurst e Knight (2002) ilustra como foi obtida, através da metodologia, uma redução de 29% no número de peças e de 59% no tempo de montagem.

3.1 Análise funcional

A análise funcional de um componente objetiva identificar se a sua função é vital ou não para o funcionamento do conjunto no qual é montado. Caso não seja, ele é candidato a ser eliminado ou agregado a outro componente. Por meio da análise funcional, podem ser quantificadas a eficiência de projeto e de montagem, como será visto a seguir.

Boothroy, Dewhurst e Knight (2002) e Lucas Engineering & Systems LTD (1994) sugerem critérios muito similares para a condução da análise funcional de um componente, que pode ser essencial para o funcionamento do conjunto (Tipo A, conforme LUCAS ENGINEERING & SYSTEMS LTD, 1994; ex.: eixos motrizes, isoladores etc., ou cuja função não é ESSENCIAL e Tipo B, conforme Lucas Engineering & Systems LTD, 1994; ex.: elementos de fixação, espaçadores etc.). Condensamos os critérios das duas fontes de estudo em um único procedimento:

- Escolher, como ponto de partida para a análise, um componente funcional principal. Ex.: uma estrutura, um eixo etc.
- Para cada próximo componente a ser montado, verificar se apresenta movimento, durante a operação normal do produto, em relação a todos os outros já montados. Esse movimento é essencial para o funcionamento do produto? O componente precisa estar separado para o movimento em questão? Pequenos movimentos oriundos de pequenas flexões ou deformações funcionais do componente não devem ser considerados como movimento. Ex.: dobradiças flexíveis, diafragmas, elementos sanfonados. Em caso positivo, o componente é do tipo A.
- O componente deve necessariamente ser composto de material diferente dos demais montados anteriormente? O material diferente é essencial para o fun-

cionamento do produto? O componente precisa estar separado para atendimento do requisito de material diferente? Ex.: para efeito de isolamento elétrica, atenuação de vibração, elemento de desgaste, elemento de vedação. Em caso positivo, o componente é do tipo A.

- O componente deve estar separado dos outros componentes ou para efeito de substituição? Ex.: fusíveis, lâmpadas, filtros. A substituição é essencial? Ex.: este não pode ser deformado para possibilitar substituição? Em caso positivo, o componente é do tipo A.

Como regra geral, elementos de fixação separados (parafusos, porcas, prisioneiros etc.) não são essenciais e devem receber atenção especial para eliminação na análise de DFA. Essa filosofia força o projetista a simplificar o máximo o projeto. Geralmente, são obtidos ganhos enormes em termos de custos de montagem e fabricação.

A partir da análise funcional, com a identificação dos componentes essenciais (tipo A) e não essenciais (tipo B), podem ser definidas duas eficiências: a eficiência de projeto e a eficiência de montagem. Essas definições permitem que sejam realizadas análises quantitativas de projetos novos ou comparações entre projetos similares existentes.

3.2 Eficiência de projeto

A eficiência de projeto pode ser definida de acordo com a seguinte equação:

$$E_p = N_a/N_t \times 100$$

Em que:

E_p = Eficiência de projeto.

N_a = Número de componentes essenciais (tipo A).

N_t = Número total de componentes.

Para projetos novos, espera-se um valor mínimo de E_p em torno de 60%. Para projetos complexos, entretanto, tal valor pode cair para aproximadamente 30%.

3.3 Eficiência de montagem

Na metodologia de projeto para montagem, dois fatores são preponderantes:

- O número de componentes de um produto.
- A facilidade de manuseio, inserção e fixação destes.

A eficiência de montagem (BOOTHROY; DEWHURST; KNIGHT, 2002) pode ser definida de acordo com a seguinte equação:

$$Em = Na \times ta / tma \times 100$$

Em que:

Na = Número técnico mínimo de componentes em um produto. É a soma dos componentes essenciais (tipo A) obtido através da análise funcional.

ta = Tempo básico de montagem para um componente (tempo médio de montagem de um componente que não apresenta dificuldades de manuseio, inserção e fixação). Pode ser estimado em 3s.

tma = Tempo total estimado para a montagem do produto.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram apresentadas as principais recomendações para um projeto voltado para uma montagem manual e sua metodologia conforme os vários fatores descritos. Com esse material, acredita-se ter conseguido abranger os conceitos teóricos disponíveis em duas referências importantes e atualizadas sobre o assunto.

HOW TO DESIGN FOR MANUAL ASSEMBLY

Abstract

The aim of this work is to present the main elements of the theory of Design for Manual Assembly. The focus is a qualitative, through the description of rules that should be observed in a product design that complies with requirements of facilitating its assembly and consequently reducing its intrinsic costs, as qualitative, through the approach of techniques that define scores which identify it as either satisfactory or not regarding assembly. Those scores may, additionally, be used for comparison between similar designs regarding this feature, or also to quantify the improvement of a same design when it is a subjected to change according the cited rules.

Keywords: Project. Manual installation. Cost.

REFERÊNCIAS

BOOTHROY, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. *Product design for manufacture and assembly*. 2 ed. Nova York: Marcel Dekker, 2002.

LUCAS ENGINEERING & SYSTEMS LTD. *Design for assembly/manufacturing analysis practitioners manual* – Version 10.5. Yorkshire: University of Hull, 1994.

Contato

Marco Stipkovic Filho
kovic@osite.com.br