

UM MÉTODO DE PROJETO ORIENTADO PARA A MONTAGEM DE PRODUTO - PROPOSTA DE UM SOFTWARE E ESTUDO DE CASO

Maria Clara Coimbra Gonçalves

Marcos Dantas dos Santos

Marco Stipkovic Filho

Gilmar Ferreira Batalha

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 380, São Paulo - SP, 05508-010
mclara.coimbra@usp.br, mdantas@usp.br, gfbatalh@usp.br, mstip@uol.com.br

Resumo. *Diversas ferramentas ou metodologias podem ser utilizadas para auxiliar os projetistas durante o desenvolvimento de um produto ou reprojeto. Dentre elas, o DFMA traz a combinação do design para manufatura (DFM) e design para montagem (DFA) visando a obtenção de um produto com número reduzido de peças e processo de montagem simplificado. Essas metodologias são amplamente utilizadas pelas indústrias para a obtenção de projetos mais eficientes e com menor custo. Assim, alguns métodos foram desenvolvidos para se implantar o DFM e DFA em um projeto, como o métodos de Hitachi, Boothroyd-Dewhurst e o método Lucas. Com isso, aspirando auxiliar o projetista na implantação do DFMA, esse projeto visa o desenvolvimento de um software para complementar a implantação do DFA utilizando o método de Lucas, especialmente em casos de reprojeto de produto em um contexto de engenharia reversa. Para exemplificar o uso do software proposto, foi realizado um estudo de caso de um mini ventilador comercial e um novo projeto foi apresentado. Nesse reprojeto, feito com o auxílio do software proposto, observou-se uma redução na quantidade de peças do mini ventilador e uma melhoria na sua eficiência de montagem de 33% para 87,5%.*

Palavras chave: DFMA. Método de Lucas. Engenharia Reversa. Reprojeto. Mini Ventilador.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o ritmo acelerado do mercado e as exigências dos consumidores obrigam as empresas a manterem seus produtos atualizados e competitivos. Assim, as mesmas, buscam por profissionais qualificados na área de elaboração e desenvolvimento de projetos para alcançarem bons resultados na reformulação de produtos, com base nas necessidades dos consumidores (Guedes, *et al.*, 2010). Existem vários fatores que podem levar ao reprojeto de um produto existente, como a incorporação de uma nova tecnologia, a melhoria na qualidade e imagem do produto ou falhas encontradas em projetos (Blonigena, *et al.*, 2017; Smith, *et al.*, 2012). De acordo com Dufour (1996), o reprojeto não pode ser realizado de forma intuitiva, dependendo do empirismo. Contudo, esse processo deve ser feito de modo sistematizado, para orientar o trabalho do projetista desde a identificação do problema até o projeto final do produto.

Diversas metodologias podem ser utilizadas para auxiliar os projetistas no desenvolvimento de um produto ou reprojeto, dentre elas pode-se citar o DFMA, que traz uma combinação dos termos “Design for Manufacture” (DFM), que visa a obtenção de peças fáceis de se manufaturar, e o “Design for Assembly” (DFA), que almeja um design de produto que facilite a montagem (Boothroyd, *et al.*, 2002). Assim, alguns métodos foram desenvolvidos para se implantar o DFM e DFA em um projeto, como o métodos de Hitachi, Boothroyd-Dewhurst e o método Lucas. Esses métodos, desenvolvidos por volta dos anos 70 e 80, foram originalmente implementados em planilhas e manuais que procuravam aumentar/quantificar a eficiência de projetos, e alguns foram posteriormente desenvolvidos em aplicativos de software proprietários especializados (Owensby, *et al.*, 2011), que possuem como desvantagem os seus custos.

Apesar da importância da aplicação do DFM e DFA em conjunto, esse trabalho tem por objetivo analisar e desenvolver um software para DFA, com o intuito de ser uma ferramenta capaz de complementar a implantação do DFMA especialmente em casos de reprojeto de produto em um contexto de Engenharia Reversa (ER).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Método de Lucas

Dentre os métodos baseados nos princípios do DFA existentes, os dois mais comuns e utilizados pelas indústrias são o de Boothroyd-Dewhurst e o método de Lucas (Dochibhatla, *et al.*, 2017). O método de Lucas baseia-se numa escala

de pontos que procura mensurar a dificuldade de montagem de cada peça e não leva em consideração o tempo de manuseio e montagem de cada peça, como o método de Boothroyd-Dewhurst (Chan e Salustri, 2003). O método de Lucas possui três análises separadas e sequenciais: análise funcional, análise de manuseio e análise de encaixe.

Na análise funcional os componentes do produto são analisados segundo sua função e são classificados como essenciais ou não essenciais para o funcionamento do produto (Chan e Salustri, 2003). Considerando “A” a quantidade de partes essenciais e “B” a quantidade de partes não essenciais, a eficiência funcional de um projeto é segundo a Eq. (1). Na análise de manuseio e na análise de encaixe os problemas relacionados ao manuseio e encaixe de cada parte são pontuados de acordo com o proposto no trabalho de Chan e Salustri (2003). No geral, todos componentes de um produto devem possuir uma razão de manuseio e encaixe (do inglês “feeding ratio” e “fitting ratio”), que são definidos nas Eq. (2) e (3) e idealmente, ambos devem ser menor que 2,5 (Chan e Salustri, 2003):

$$E_d = A / (A+B) \times 100\% \quad (1)$$

$$Feeding\ ratio = [\Sigma(\text{índices de manuseio})] \div A \quad (2)$$

$$Fitting\ ratio = [\Sigma(\text{índices de encaixe})] \div A \quad (3)$$

2.2. Integração de ER com DFMA através do Método de Souza

O conceito de Engenharia Reversa (ER) está relacionado ao processo de geração de dados de projeto de engenharia a partir de componentes existentes, ou seja, é o processo no qual o desenvolvimento do produto segue uma ordem inversa. A ER é aplicada na reprodução e aperfeiçoamento de peças já existentes e tem sido amplamente aplicada em muitos segmentos da indústria principalmente quando modelos geométricos de objetos físicos existentes não estão disponíveis (Mury, 2000; Geng e Bidanda, 2017). A ER inicia o processo de reprojeção, em que um produto é previsto, observado, desmontado, analisado, testado, experimentado e documentado em termos de funcionalidade, forma, princípios físicos, manufaturabilidade e montabilidade (Otto e Wood, 1998). De forma genérica, Raja e Fernandes (2008) explicam que processo de engenharia reversa é um processo de três fases: digitalização, processamento de pontos e desenvolvimento de modelos geométricos específicos da aplicação.

Neste contexto, Souza (2007) elaborou um modelo de desenvolvimento de produtos (Fig. 1) composto por oito fases que foi adaptado visando a integração das metodologias de Projeto para Manufatura e Montagem (DFMA) e ER. Esse modelo foi implementado no desenvolvimento de um forno industrial, onde a aplicação da metodologia em um processo real favoreceu o acompanhamento das atividades no desenvolvimento do reprojeção de um produto.

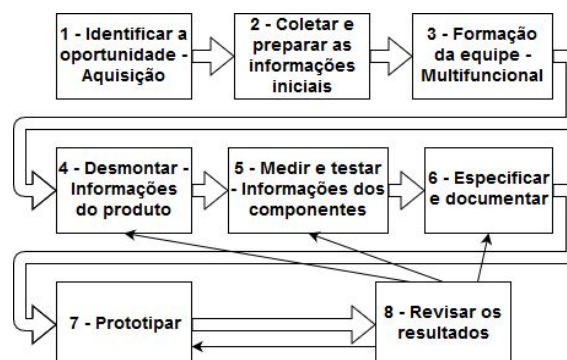


Figura 1. Modelo proposto para desenvolvimento de produtos com o uso de DFMA e ER (Souza, 2007)

De acordo com Mello, *et al.* (2012), o modelo de Souza (2007) foi baseado no trabalho realizado por Pahl, *et al.* (2005), porém propondo modificações a fim de contemplar o desenvolvimento de produtos utilizando o método de ER. Um breve resumo das oito etapas do método de Souza (2007) é mostrado a seguir:

- *Fase 1 (Identificar a oportunidade - Aquisição)* → Identificar e reconhecer a posição de marketing da empresa e suas operações + identificar o produto a ser considerado como uma referência;
- *Fase 2 (Coletar e preparar as informações iniciais)* → Obter uma pesquisa inicial do mercado relativo à classe e ao produto de referência + coletar informações que possam contribuir com a aplicação da ER e do DFMA;
- *Fase 3 (Formação da equipe Multifuncional)* → Formar a equipe considerando a inter-departamentalidade do grupo, para uma boa aplicação da engenharia simultânea e das técnicas do DFMA;
- *Fase 4 (Desmontar - Informações do produto)* → Desmontar o produto referência documentando o processo;

- *Fase 5 (Medir e testar - Informações dos Componentes)* → Medir e realizar testes dos componentes do produto de referência e esclarecer dúvidas relativas às tecnologias de produto e de processo empregadas no conjunto;
- *Fase 6 (Especificar e documentar)* → Gerar documentação técnica com as informações levantadas;
- *Fase 7 (Prototipar)* → Usar a prototipagem rápida dentro do ambiente de engenharia reversa;
- *Fase 8 (Revisar os resultados)* → Analisar os resultados e incorporar as melhorias necessárias.

3. DESENVOLVIMENTO

O software desenvolvido realiza os cálculos relacionados ao método de Lucas (Eq. 1, 2 e 3) e mostra as somas das pontuações de todas as partes de um projeto. O desenvolvimento da ferramenta foi feito em Python e o seu algoritmo está representado de forma simplificada na Fig. 2a. Para cada peça adicionada o usuário deverá responder, de maneira dinâmica, perguntas relacionadas a mesma. Na etapa da análise funcional, a decisão se a peça é essencial ou não é feita por meio de perguntas desenvolvidas por Boothroyd, *et al.* (2002). Feita essa divisão entre peças essenciais e não essenciais, o programa passa para a análise de manuseio e depois para a análise de encaixe conforme proposto por Chan e Salustri (2003). Na Fig. 2b pode-se visualizar a interface inicial do programa já em uso para o estudo de caso.

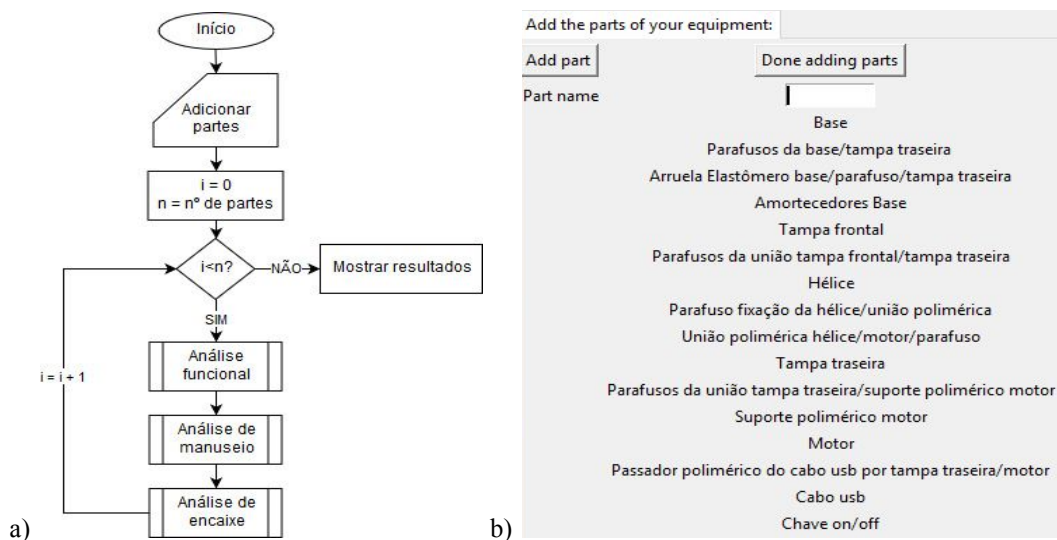


Figura 2. a) Algoritmo simplificado do programa b) Interface inicial do programa (com partes de um mini ventilador)

3.1. Estudo de caso

Visando exemplificar o uso do software e procurando seguir a metodologia proposta por Souza (2007), um estudo de caso foi realizado com um mini ventilador facilmente encontrado no mercado (Fig. 3). Com o resultado obtido (Fig. 4), foi feito o reprojeto do mini ventilador e um esboço do design proposto é apresentado na Fig. 5.

Pode-se observar, que os parafusos, arruelas e outras partes não essenciais foram eliminadas nesse novo projeto, obtendo-se um design mais enxuto e fácil de se montar em linha reta. Esse novo projeto foi inserido no programa a fim de se observar as diferenças dos resultados em relação ao projeto original. Com isso, foram obtidos os resultados da Fig. 4c, onde observa-se que as metas para o projeto foram atingidas e a eficiência do mesmo aumentou de 33% para 87,5%.

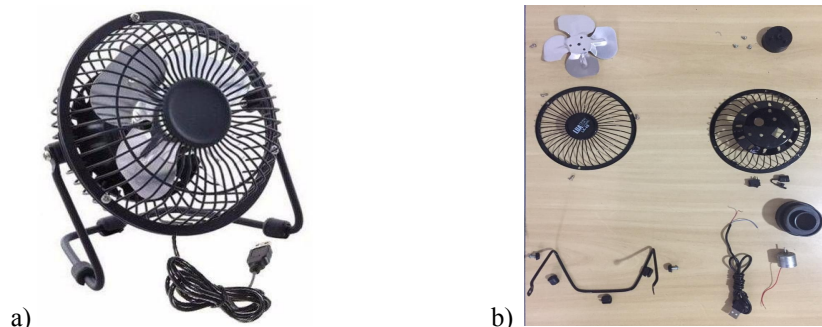


Figura 3. a) Mini ventilador (Foto: Lojas Americanas) b) Partes do mini ventilador

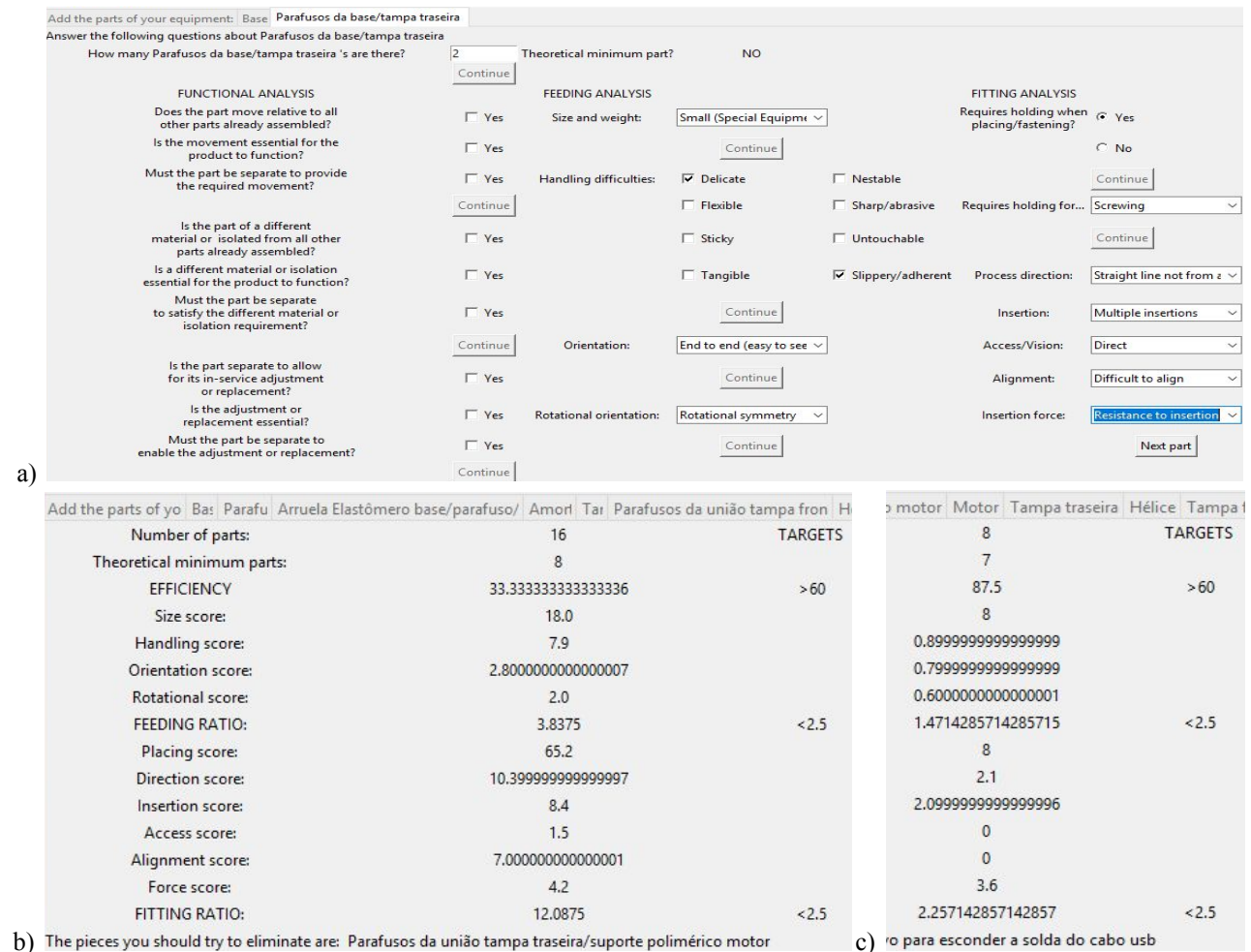


Figura 4. a) Interface do programa durante o uso b) Resultados para o projeto original c) Resultados para o reprojeto

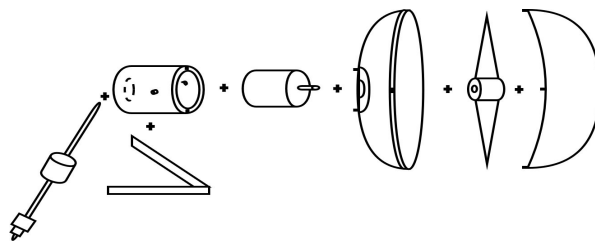


Figura 5. Esboço do projeto proposto

5. CONCLUSÃO

O software proposto exibe corretamente os resultados seguindo o método de Lucas (Fig. 2a) para um projeto, mostrando sua eficiência e demais fatores. Além disso, pode-se destacar que o programa:

- É organizado e intuitivo, permitindo que o usuário facilmente o compreenda e responda as perguntas sobre cada componente do seu projeto de maneira dinâmica;
- É a prova de erros do usuário, pois mostra mensagens de erros sempre que uma informação importante para os cálculos é colocada de maneira incorreta;
- Sugere possíveis peças a serem removidas de acordo com a sua quantidade.

Além disso, comparando-se o projeto original do mini ventilador com o proposto, mediante os valores TARGET da Fig. 4c obtidos a partir do software desenvolvido, observa-se uma redução na quantidade de peças bem como uma melhoria na eficiência de montagem, através da redução do feeding e fitting ratio. Possivelmente isso ocorreu devido ter sido utilizado pelos autores conhecimentos de forma integrada da engenharia reversa com o DFMA e o método de Lucas, além de seguir os preceitos da metodologia proposta por Souza (2007). Portanto, este presente trabalho fortalece a relevância do emprego deste tipo de ferramenta para diversos âmbitos, do ensino ao desenvolvimento em indústrias.

6. REFERÊNCIAS

- Blonigena, B.A., Knittel, C.R. e Soderbery, A., 2017. "Keeping it fresh: Strategic product redesigns and welfare". *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 53, p. 170-214.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. e Knight, W., 2002. *Product Design for Manufacture and Assembly*. Marcel Dekker, 2ª ed.
- Chan, V. e Salustri, F.A., 2003. "DFA: The Lucas Method". 14 Dez. 2018 <<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmlucas.html>>
- Dochibhatla, S.V., Bhattacharya, M. e Morkos, B., 2017. "Evaluating Assembly Design Efficiency: A Comparison Between Lucas and Boothroyd-Dewhurst Methods". In *ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Cleveland, Ohio, EUA.
- Dufour, C.A., 1996. *Estudo do processo e das ferramentas de reprojetado de produtos industriais como vantagens competitiva e estratégica de melhoria constante*. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Geng, Z. e Bidanda, B., 2017. "Review of reverse engineering systems - current state of the art". *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 12, p. 161-172.
- Guedes, F.N., Mello, C.H.P., Silva, C.E.S., Junior, J.H.C.G. e Xavier, A.F., 2010. "Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA". *Gestão & Produção*, Vol. 17, n. 3, p. 497-511.
- Lojas Americanas. "Mini Ventilador USB Portátil Lk-4s - Luatek". 06 Jun. 2019 <<https://www.americanas.com.br/produto/38455703/mini-ventilador-usb-portatil-lk-4s-luatek>>
- Mello, C.H.P., Silva, C.E.S., Junior, J.H.C.G., Toledo, F.O., Guedes, F.N., Akagi, D.A., Xavier, A.F., 2012. "Integrating Reverse Engineering and Design for Manufacturing and Assembly in Products Redesigns: Results of Two Action Research Studies in Brazil". In *Reverse Engineering - Recent Advances and Applications*.
- Mury, L.G.M., 2000. *Uma metodologia para adaptação e melhoria de produtos a partir da engenharia reversa*. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Owensby, E., Shanthakumar, A., Rayate, V., Namouz, E. e Summers, J.D., 2011. "Evaluation and comparison of two design for assembly methods: subjectivity of information inputs". In *Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. Washington, DC, EUA.
- Otto, K.N. e Wood, K.L., 1998. "Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology". *Research in Engineering Design*, Vol. 10, p. 226-243.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. e Grote, K.H., 2005. *Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 6ª edição.
- Raja, V. e Fernandes, K., 2008. "Reverse Engineering: an industrial perspective". In *Springer Series in Advanced Manufacturing*, London.
- Smith, S., Smith, G. e Shen Y., 2012. "Redesign for product innovation". *Elsevier Ltda*, Vol. 33, p. 160-184
- Souza, J.F., 2007. *Aplicação de projeto para manufatura e montagem em uma abordagem de engenharia Reversa: estudo de caso*. Dissertação, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

A Project-Oriented Method for Product Assembly - Software Development and Case Study

Maria Clara Coimbra Gonçalves

Marcos Dantas dos Santos

Marco Stipkovic Filho

Gilmar Ferreira Batalha

Polytechnic School of the University of São Paulo, Prof. Luciano Gualberto Avenue, 380, São Paulo - SP, 05508-010

mclara.coimbra@usp.br, mdantas@usp.br, gfbatalh@usp.br, mstip@uol.com.br

Abstract. Several tools or methodologies can be used to assist designers during the development of a product or redesign. Among them, DFMA brings the combination of design for manufacturing (DFM) and design for assembly (DFA) aiming to obtain a product with a reduced number of parts and simplified assembly process. These methodologies are widely used by industries to get more efficient and lower cost project. Thus, some methods were developed to implement DFM and DFA in a project, such as Hitachi, Boothroyd-Dewhurst and Lucas methods. Thereby, aspiring to assist the designer during the DFMA implementation, this project aims to develop a software to supplement the application of DFA through Lucas method, especially in product redesign situations and in a reverse engineering context. To exemplify the use of the software presented, a case study of a mini fan was performed and a new project was suggested. With this new project, made with the aid of the software proposed, there was a reduction in the number of parts of the mini fan and an improvement in its assembly efficiency from 33% to 87,5%.

Keywords: DFMA, Lucas Method, reverse engineering, reprojet, mini fan