

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CÂMPUS CURITIBA
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

RAMOM EDUARDO GADENS BADUY

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA
SISTEMATIZAÇÃO DA SELEÇÃO DE ELEMENTOS A SEREM
INCLUÍDOS EM UM PROTÓTIPO FÍSICO DE PROPOSTA DE
PRODUTO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2014

RAMOM EDUARDO GADENS BADUY

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA
SISTEMATIZAÇÃO DA SELEÇÃO DE ELEMENTOS A SEREM
INCLUÍDOS EM UM PROTÓTIPO FÍSICO DE PROPOSTA DE
PRODUTO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão do Desenvolvimento de Produtos, da Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Cziulik

CURITIBA

2014

RESUMO

BADUY, Ramom Eduardo Gadens. **Desenvolvimento de uma ferramenta para sistematização da seleção de elementos a serem incluídos em um protótipo físico de proposta de produto**. 2014. 27p. Monografia (Especialização em Gestão do Desenvolvimento de Produtos) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A utilização de protótipos físicos é bastante comum no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), principalmente, em projetos inovadores e/ou complexos. Apesar de, muitas vezes, indispensável para responder dúvidas da equipe de projeto que não são endereçadas unicamente através de modelagem 3D, simulações matemáticas ou computacionais, a etapa de prototipagem é uma das que mais consomem recursos e tempo durante um processo de desenvolvimento. Apesar destes fatores, a literatura clássica de PDP não possui uma abordagem sistemática para seleção de componentes em um protótipo. Este trabalho propõe uma ferramenta para sistematização da seleção de elementos a serem incluídos em um protótipo físico de proposta de produto. O objetivo da ferramenta aqui proposta é oferecer uma alternativa para auxiliar projetistas, principalmente, os que possuem pouca experiência, nesta etapa. O estudo é iniciado com definições de protótipo e do PDP. A partir destas informações, é exposta a estrutura da ferramenta, dividida em quatro fases, nas quais são aplicadas matrizes de seleção para a escolha dos componentes. Os dados de entrada da ferramenta são as dúvidas de projeto da equipe de desenvolvimento, a estrutura funcional e a lista de componentes da proposta conceitual de produto. O produto final da ferramenta é a lista de componentes a serem prototipados para se responder as dúvidas de projeto. Após a exposição da estrutura, a ferramenta é demonstrada em um exemplo descritivo sobre a produção de um protótipo de um mouse de computador. Neste exemplo, é possível notar como a ferramenta auxilia na visão geral do protótipo, guia a seleção de seus componentes através de um processo sistemático de escolha e auxilia na identificação de pontos passíveis de simplificação para confecção do protótipo, ao apontar elementos funcionais essenciais ao invés de componentes completos. Ao final, são enumeradas sugestões para trabalhos futuros no mesmo contexto.

Palavras-chave: desenvolvimento de produto; protótipo; modelo físico; ferramenta de seleção.

ABSTRACT

BADUY, Ramom Eduardo Gadens. **Development of a tool to systematize the selection of elements to include in a physical prototype product proposal.** 2014. 27p. Monograph (Specialization in Product Development Management) - Director of Research and Graduate Campus of Curitiba, Federal Technological University of Paraná.

The use of physical prototypes is quite common in the Product Development Process (PDP), especially in innovative and/or complex projects. Although often necessary to answer questions of the design team that are not addressed solely through 3D modeling, mathematical or computer simulations, prototyping step is one of the fastest consume resources and time during a development process. Despite these factors, the classical literature of PDP does not have a systematic approach to selecting components in a prototype. This paper proposes a tool to systematize the selection of elements to include in a physical prototype product proposal. The tool's goal here is to offer an alternative proposal to assist designers, especially those with little experience at this stage. The study starts with prototype definitions and the PDP. From this information, the tool of the exposed structure is divided into four phases, in which selection of matrices are applied for choosing the components. The tool's input data are doubts development team design, functional structure and the list of components of the conceptual proposal of product. The final product of the tool is the list of components to be prototyped to answer design questions. After exposure of the frame, the tool is shown in a descriptive example of the production of a prototype of a computer mouse. In this example, you can see how the tool helps overview of the prototype, guides the selection of its components through a systematic process of choice and helps to identify points for simplification for prototyping by outlining essential functional elements instead of complete components. Lastly, the listed suggestions for future work in the same context.

Keywords: product development; prototype; physical model; selection tool.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PDP.....	11
FIGURA 2 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO FERRAMENTA PROPOSTA.....	14
FIGURA 3 – FASE 1, CASO ESPECIAL ONDE DEVE SER CONSIDERADA A REALIZAÇÃO DE PROTÓTIPOS SEPARADOS POR QUESTÃO.....	16
FIGURA 4 – MOUSE UTILIZADO NO EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA.....	19
FIGURA 5 – A ESQUERDA, MONTAGEM INFERIOR (BASE, COMPONENTES ELETRÔNICOS, BOTÃO 2) DO <i>MOUSE</i> . A DIREITA, MONTAGEM SUPERIOR (BOTÕES 1 E 3 E CARÇAÇA).....	20
FIGURA 6 – ESTRUTURA FUNCIONAL DO <i>MOUSE</i>	21
FIGURA 7 – VISTA EXPLODIDA, COM INDICAÇÃO DOS COMPONENTES, DO <i>MOUSE</i>	21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EXEMPLO GENÉRICO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE SELEÇÃO NA FASE 1 DA FERRAMENTA.....	15
TABELA 2 – EXEMPLO GENÉRICO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE SELEÇÃO NA FASE 2.....	17
TABELA 3 – EXEMPLO GENÉRICO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE SELEÇÃO NA FASE 3.....	17
TABELA 4 – EXEMPLO GENÉRICO DA APLICAÇÃO DA MATRIZ DE SELEÇÃO NA FASE 4.....	19
TABELA 5 – LISTA DE COMPONENTES DO <i>MOUSE</i> (VER FIGURA 7).....	22
TABELA 6 – APLICAÇÃO DA FASE 1 DA FERRAMENTA AO PRODUTO (<i>MOUSE</i>)...	22
TABELA 7 – APLICAÇÃO DA FASE 2 DA FERRAMENTA AO PRODUTO (<i>MOUSE</i>)...	23
TABELA 8 – APLICAÇÃO DA FASE 3 DA FERRAMENTA AO PRODUTO (<i>MOUSE</i>)...	23
TABELA 9 – LISTA SIMPLIFICADA DE ELEMENTOS FUNCIONAIS DOS COMPONENTES “1.1”, “1.4” E “2.1” DO EXEMPLO.....	24
TABELA 10 – APLICAÇÃO DA FASE 4 DA FERRAMENTA AO PRODUTO (<i>MOUSE</i>)..	24
TABELA 11 – LISTA DE ITENS A SEREM PROTOTIPADOS NO EXEMPLO PROPOSTO (<i>MOUSE</i>).....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
2 A INFLUÊNCIA DE PROTÓTIPOS NO PDP.....	09
2.1 Protótipos: características e usos.....	09
2.2 Conceitos fundamentais e a aplicação de protótipos no PDP.....	10
3 FERRAMENTA PARA SISTEMATIZAÇÃO DA SELEÇÃO DE ELEMENTOS A SEREM INCLUÍDOS EM UM PROTÓTIPO FÍSICO DE PROPOSTA DE PRODUTO.....	13
3.1 Estrutura genérica da ferramenta.....	13
3.2 Descrição detalhada da ferramenta proposta.....	14
3.2.1 Dúvidas de projeto vs. funções do produto.....	14
3.2.2 Fase 2 – Funções selecionadas na fase 1 vs. subconjuntos do produto.....	16
3.2.3 Fase 3 – Componentes dos subconjuntos resultantes da fase 2 vs. dúvidas de projeto.....	17
3.2.4 Fase 4 – Elementos dos componentes selecionados na fase 3 vs. questões de projeto.....	18
4 APLICAÇÃO DESCRITIVA DA FERRAMENTA.....	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços observados nas últimas duas décadas em áreas como manufatura aditiva e ferramental rápido, as fases de prototipagem e testes ainda estão entre as que mais consomem tempo e recursos no processo de desenvolvimento de produtos (OTTO E WOOD, 2001). Sob esse aspecto, generalizando do ponto de vista estritamente econômico, a construção de protótipos físicos deveria ser evitada.

No entanto, protótipos podem ser fundamentais quando respostas a dúvidas de projeto não estão disponíveis ou não são confiáveis unicamente através de modelagem 3D, simulações matemáticas ou computacionais. Nestes casos, a execução de um ou mais ciclos de prototipagem/testes/reprojeto, principalmente, em produtos complexos ou inovadores, refinam as soluções encontradas e aumentam as chances de sucesso do produto no mercado (WALL *et al.*, 1992; OZER, 1999).

Considerando esses aspectos contraditórios, percebe-se a necessidade de otimização do emprego de recursos na fabricação de um protótipo. Uma das formas possíveis de otimização é a utilização do menor número possível de elementos em um protótipo, sem comprometer o seu papel de responder às dúvidas de projeto. As literaturas de referência em Desenvolvimento de Produtos (ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK *et al.*, 2008; PAHL *et al.*, 2007; OTTO E WOOD, 2001; ULRICH E EPPINGER, 1995; CROSS, 2005; DYM *et al.*, 2013) entre outras, no entanto, não fornecem um método objetivo para a seleção dos elementos a serem prototipados, caracterizando oportunidade de desenvolvimento de uma ferramenta para este fim.

Desta constatação, este trabalho propõe uma ferramenta que visa, partindo das definições da equipe de desenvolvimento e de suas dúvidas de projeto, identificar, através de uma abordagem sistemática, o número mínimo de elementos a serem incluídos em um protótipo para que este desempenhe a função à que se destina. Com isto, espera-se economia de tempo e recursos nos processos de projeto e manufatura de protótipos. O público alvo da ferramenta são profissionais com pouca experiência em Desenvolvimento de Produtos e criação de protótipos.

Este artigo está estruturado em cinco seções. Na segunda seção, são expostos conceitos do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), segundo o Modelo de Referência de Rozenfeld *et al.* (2006), e características e usos de

protótipos segundo diferentes autores. Estes fundamentos são utilizados para embasar o escopo da proposta de ferramenta, cuja estrutura é desenvolvida e explicada em detalhes na seção 3. A seção 4 complementa a explanação da seção 3 através de um exemplo de aplicação da ferramenta. Por fim, são apresentadas, na seção 5, as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras.

2 A INFLUÊNCIA DE PROTÓTIPOS NO PDP

2.1 Protótipos: características e usos

Sob o ponto de vista do Desenvolvimento de Produto, um protótipo é a instanciamento de uma proposta de produto, tendo como função responder a uma ou mais dúvidas de projeto, durante o PDP. O escopo destas dúvidas, ou seja, o propósito do protótipo, pode variar dependendo do contexto considerado: i) para o setor de marketing de uma empresa, ele pode ser um veículo para compreender e simular a resposta do cliente frente a um produto; ii) para a equipe de design, por outro lado, o protótipo pode ser utilizado para comunicar uma linguagem visual; iii) enquanto para a equipe de engenharia, de maneira geral, um protótipo tem a função responder dúvidas em relação à viabilidade de uma solução de projeto, da utilização de uma dada tecnologia ou da forma como está é implementada (WALL *et al.*, 1992; OTTO E WOOD, 2001). Estes contextos variados de aplicação dão origem a diferentes tipos de protótipo.

Assim, para delimitar o escopo da ferramenta proposta neste artigo, é importante identificar a qual tipo de protótipo ela será aplicável. A primeira definição relevante é de que a ferramenta tratará apenas de protótipos físicos funcionais, excluindo-se protótipos eletrônicos e *mock-ups* (protótipos físicos exclusivamente para avaliação visual das propostas de produto). Isto é definido com base na constatação de que os protótipos físicos funcionais, ou seja, os que apresentam componentes concretos do produto realizando, parcial ou totalmente, suas funções de projeto, têm maior custo e demandam maior tempo de fabricação quando comparados aos outros tipos, sendo assim mais relevantes para uma abordagem de otimização (YANG, 2005; WALL *et al.*, 1992). Dentro dos protótipos funcionais, segundo Ullman (2003), pode-se ainda identificar quatro diferentes classes:

- a) Protótipo de prova de conceito: utilizado nos primeiros estágios do PDP (Projeto Conceitual, ver seção 2.2). Tem a função de dar melhor compreensão sobre a viabilidade de uma solução proposta;
- b) Protótipo de prova de produto: aplicado, de maneira geral, na etapa de Projeto Detalhado do PDP (ver seção 2.2), com objetivo de responder uma ou mais dúvidas sobre especificações (característica física, geométrica, mecânica ou de funcionamento) de um produto ou de parte deste;

- c) Protótipo de prova de processo: tem a função de demonstrar se um ou mais processos de fabricação e materiais selecionados para o produto, ou seus componentes, tem o resultado esperado. Aplicado ao final do Projeto Detalhado ou início da fase de Preparação para Produção (seção 2.2);
- d) Protótipo de prova de produção: utilizado, na etapa de Preparação para Produção (seção 2.2) para demonstrar a efetividade do processo de produção completo do produto.

Devido à natureza dos protótipos de prova de processo e de prova de produção, que tem como objetivo a comprovação da efetividade dos processos de manufatura do produto, estes possuem pouca flexibilidade quanto à forma de prototipagem, materiais e componentes utilizados (ULLMAN, 2003). Assim sendo, estes não são interessantes sob o ponto de vista de análise em uma ferramenta destinada a sistematização da seleção de componentes para prototipagem, já que os componentes não são opcionais.

Assim, por exclusão, define-se que a ferramenta proposta neste artigo focará na análise de protótipos de prova de conceito e de prova de produto, já que é na manufatura e projeto destes que a seleção de componentes é um fator relevante.

O próximo passo para a compreensão do escopo da ferramenta é identificar, a partir dos tipos de protótipo que serão abordados, em quais etapas do PDP ela poderá ser aplicada e, assim, quais serão seus requisitos mínimos de entrada e quais devem ser suas entregas.

2.2 Conceitos fundamentais e a aplicação de protótipos no PDP

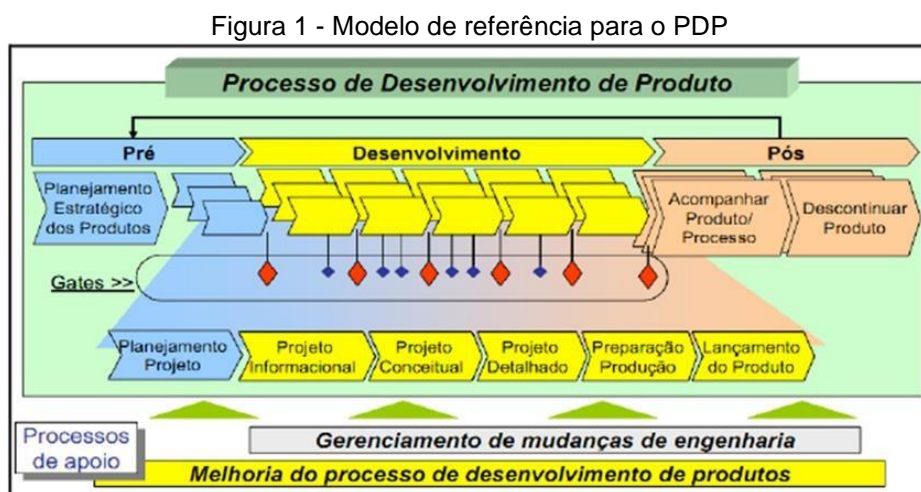
Segundo Pahl *et al.* (2007) a sistematização do desenvolvimento de produtos tem por objetivo racionalizar as atividades subjetivas realizadas por projetistas e engenheiros na criação de novos produtos. Desta racionalização, surge o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), que organiza estas atividades em uma sequência lógica visando, a partir das necessidades do mercado e possibilidades tecnológicas, produzir um bem ou serviço que possui valor para um grupo específico de clientes (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Na literatura, existem diferentes modelos de abordagem para o PDP. No contexto deste trabalho, será utilizado o modelo de referência proposto por

Rozenfeld *et al.* (2006), que organiza o PDP em três macro-fases: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento, mostradas na Figura 1.

As etapas de Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, contidas na macro-fase de Desenvolvimento, receberão enfoque e serão brevemente tratadas a seguir, pois são nelas que se concentram as atividades que, em geral, demandam a confecção de protótipos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Posto isso em consideração, a etapa de Projeto Informacional consiste em transformar as informações obtidas nas etapas de planejamento (pré-desenvolvimento) e as recebidas de outras fontes, como da análise de concorrentes e do histórico de desenvolvimento da empresa, em requisitos de produto. Os requisitos devem ser capazes de atender às necessidades dos clientes e as oportunidades identificadas nas fases anteriores de planejamento do projeto. O documento final da etapa de Projeto Informacional é a lista de especificações-meta, que são parâmetros quantitativos e mensuráveis que o produto projetado deverá ter para atender às necessidades do cliente (ROZENFELD *et al.*, 2006).



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Na fase de Projeto Conceitual, a partir das especificações-meta, é definida a função global e estrutura funcional do produto. A estrutura funcional, que descreve a cadeia de sub-funções que possibilita a execução da função global, é utilizada para gerar um ou mais conceitos de produto que atendam à necessidade dos clientes. Os conceitos são avaliados em relação à viabilidade técnica/econômica e outros critérios pertinentes e é realizada a seleção do conceito mais promissor, que é levado para a próxima fase do projeto. É nesta etapa que, em geral, são realizados

os primeiros *Mock-ups*, para avaliação visual das propostas de produto, e protótipos de prova de conceito, para a validação das soluções propostas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Na etapa seguinte, a de Projeto Detalhado, o conceito de produto selecionado, até então abstrato e apenas com componentes-chave identificados, tem seus subconjuntos e peças definidos, especificados e dimensionados para formar o produto final. O amadurecimento do projeto se dá, em geral, através de ciclos de detalhamento, envolvendo atividades de projeto, testes, avaliação e reprojeção. São nas sequências testes e avaliações que, de maneira geral, os protótipos de prova de produto são utilizados. Seu objetivo é responder a dúvidas sobre especificações dos sistemas, incluindo grandezas físicas, grandezas mecânicas, tolerâncias de montagem, aplicação de materiais, processos de tratamento superficial, entre outros (ROZENFELD *et al.*, 2006). O documento final da etapa de Projeto Detalhado é a lista completa de componentes do produto, contendo todas as especificações para fabricação e montagem do conjunto final já homologado e verificado nas etapas de testes.

Segundo Otto e Wood (2001), a utilização de protótipos no PDP pode trazer benefícios, como: i) redução de custos ao se perceber problemas de manufatura, montagem ou dimensionamento antes da industrialização do projeto, após a qual alterações em componentes passam a ter um custo elevado; ii) aceleração de atividades paralelas, já que facilita a troca de informações entre todos os participantes do PDP; iii) geração e seleção de conceitos de produto com maior grau de acerto, visto que os protótipos facilitam a exploração de características como forma, dimensões, materiais aplicados, processos, entre outros.

Por outro lado, os mesmos autores afirmam que, apesar dos benefícios, a utilização de protótipos em um PDP deve ser cuidadosamente planejada, uma vez que estes apresentam altos custos de produção, tanto em relação a recursos quanto a tempo. Isto, aliado a fabricação de modelos muitas vezes desnecessariamente detalhados/complexos, que nem sempre respondem às dúvidas de projeto de maneira apropriada e em tempo hábil para que as mudanças necessárias sejam implementadas, pode fazer com que a utilização de protótipos seja mais prejudicial do que benéfica. É neste contexto que se propõe a ferramenta-objeto deste artigo, apresentada na seção 3.

3 FERRAMENTA PARA SISTEMATIZAÇÃO DA SELEÇÃO DE ELEMENTOS A SEREM INCLUÍDOS EM UM PROTÓTIPO FÍSICO DE PROPOSTA DE PRODUTO

3.1 Estrutura genérica da ferramenta

Como descrito na seção 2.1, a ferramenta será aplicada a propostas de produtos, nas quais, durante seu desenvolvimento, se faz necessária a identificação de elementos a serem prototipados visando a avaliação de conceitos (prova de conceito) ou para verificações práticas de grandezas físicas, mecânicas ou de montagem (prova de produto).

Parte-se do pressuposto que, ao menos, a fase de Projeto Informacional do produto e que a de definição da estrutura funcional e desenvolvimento de alternativas de conceitos do Projeto Conceitual já foram realizadas. Assim, o produto já tem suas funções delimitadas e a equipe de projeto já possui, ao menos, uma lista preliminar de subconjuntos e componentes exigidos para a formalização de cada conceito. A partir desse ponto de maturidade do projeto, a ferramenta pode ser aplicada em qualquer fase de desenvolvimento subsequente.

Em linhas gerais, a ferramenta propõe, a partir de uma lista de potenciais dúvidas de projeto, um cruzamento de informações entre estas questões e a estrutura do produto, a fim de identificar os componentes a serem prototipados.

A estrutura genérica da ferramenta é mostrada na Figura 2. As quatro etapas básicas foram definidas visando a rápida redução de complexidade de análise e número de componentes envolvidos, partindo das definições de nível mais elevado e abstrato da composição do produto (funções) gradualmente até os elementos funcionais dos componentes.

Elementos funcionais são regiões ou porções de um componente físico que, conectados a outros elementos funcionais, realizam uma função específica dentro do conjunto da estrutura funcional do produto. Um componente pode ter um ou mais elementos funcionais, ou compartilhar elementos funcionais com outros componentes (ULRICH E EPPINGER, 1995).

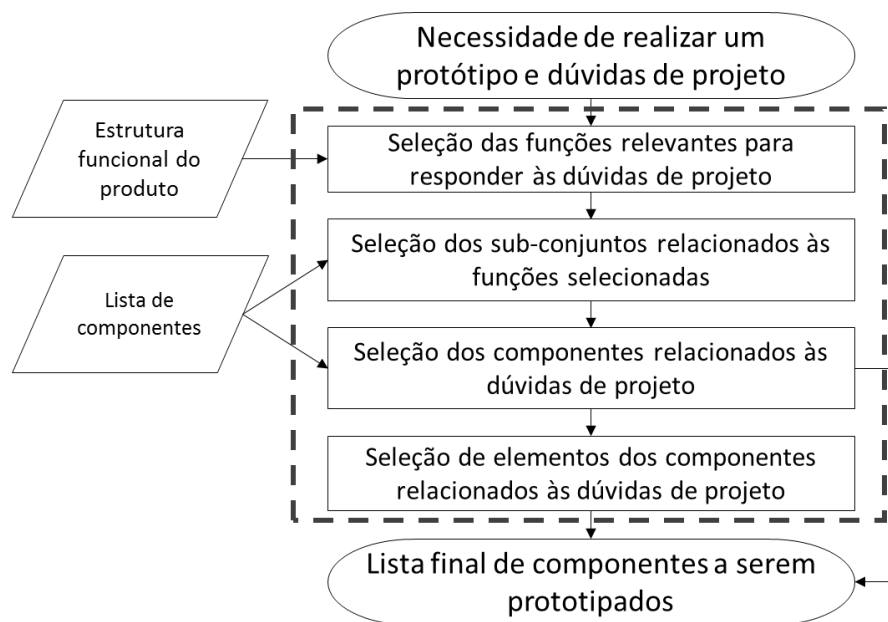
Assim, a primeira análise realizada é um cruzamento de informações para a definição das funções do produto relacionadas às dúvidas de projeto. Utilizando as funções selecionadas na primeira etapa, é realizada uma segunda comparação, com a finalidade de definir os subconjuntos do produto relacionados a estas

funções. Os subconjuntos selecionados têm seus componentes comparados às dúvidas de projeto, com o objetivo de identificar dentre estes, quais são relevantes para respondê-las. Em seguida, para casos específicos, o componente é subdividido em seus elementos funcionais, para identificar quais delas são relevantes para o protótipo e, assim, devem compô-lo.

A saída final da aplicação da ferramenta é a lista de componentes a serem prototipados, resultado da aplicação das fases 3 e 4.

O cruzamento de informações será feito através de uma sequência de matrizes de relação simples, de “Tipo L”, utilizada para correlacionar dois grupos de fatores (STAMATIS, 1997).

Figura 2 – Diagrama esquemático ferramenta proposta



Cada fase será detalhadamente explicada nas seções a seguir.

3.2 Descrição detalhada da ferramenta proposta

3.2.1 Fase 1 – Dúvidas de projeto vs. funções do produto

O objetivo da primeira fase é determinar as relações entre as questões a serem respondidas pelo protótipo e as funções do produto em estudo.

Na matriz de cruzamento, as questões são enumeradas nas linhas, e as funções, nas colunas. Pode haver quantas dúvidas e funções forem necessárias.

Devem ser atribuídos indicadores para as relações seguindo as indicações seguintes:

a) Sem relação: se não houver nenhuma relação entre a função e a dúvida de projeto.

Símbolo: “O”;

b) Com relação: se houver relação, direta ou indireta, entre a função e a dúvida de projeto. Símbolo: “X”;

c) Relação incerta: se existe dúvida sobre a existência de relação. Símbolo: “?”.

As funções que receberem uma ou mais marcações “X” ou “?” devem ser selecionadas e conduzidas para a próxima fase. As funções que receberem apenas marcações “O” devem ser descartadas da proposta de produção de protótipo.

Caso todas as funções recebam marcação de “Sem Relação”, as dúvidas de projeto devem ser revistas e a necessidade de um protótipo reavaliada.

Um exemplo genérico da aplicação da matriz da Fase 1 é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo genérico da aplicação da matriz de seleção na Fase 1 da ferramenta

	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5
Questão 1	O	X	X	O	X
Questão 2	?	X	O	O	X
Questão 3	O	?	X	O	X

Do exemplo mostrado na Tabela 1, as funções selecionadas para as próximas fases seriam a 1, 2, 3 e 5, sendo que a 4 não necessita ser examinada por protótipo.

Para situações onde houver mais de uma questão a ser respondida e cada função receber marcação de “com relação” ou “relação incerta” para apenas uma questão, pode-se considerar a realização de mais um protótipo, separadamente. Um exemplo desta situação é mostrado na Figura 3.

No exemplo da Figura 3, dois protótipos são sugeridos: i) “A”, responde à “Questão 1”, usando as “Função 6” e “Função 7”; ii) o protótipo “B” responderia à “Questão 2” e “Questão 3”, usando as funções de 1 a 4.

Figura 3 - Fase 1, caso especial onde deve ser considerada a realização de protótipos separados por questão.

	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5	Função 6	Função 7
Questão 1	O	O	O	O	O	?	X
Questão 2	X	O	O	X	O	O	O
Questão 3	O	X	X	O	O	O	O

Caso, na Fase 1, após um resultado similar ao mostrado na Figura 3, faça-se a opção por utilizar mais de um protótipo separado, as análises a seguir (Fases 2, 3 e 4) devem ser realizadas separadamente para cada protótipo. Se, ao final da Fase 4, houver uma quantidade significativa de componentes iguais selecionados para prototipagem em dois ou mais protótipos separados, esses podem ser reagrupados, se conveniente.

3.2.2 Fase 2 – Funções selecionadas na Fase 1 vs. subconjuntos do produto

Na Fase 2 da ferramenta, são relacionados os subconjuntos do produto às funções resultantes da Fase 1, a fim de identificar quais subconjuntos têm influência sobre a implementação destas funções.

São propostas duas categorias de relações:

- a) Sem relação: se não houver nenhuma relação entre a função e a o subconjunto.

Símbolo: “O”;

- b) Com relação: se houver relação entre o subconjunto e a função. Símbolo: “X”.

Os subconjuntos marcados apenas com “O”, não necessitam ser examinados no protótipo, por não afetarem a implementação das funções relevantes para a solução das questões de projeto. Os subconjuntos assinalados com uma ou mais marcações “X” serão selecionados para a Fase 3.

Continuando com o exemplo genérico da Tabela 1:

Tabela 2 - Exemplo genérico da aplicação da matriz de seleção na Fase 2

	Subconj 1	Subconj 2	Subconj 3	Subconj 4	Subconj 5	Subconj 6
Função 1	O	O	O	X	O	O
Função 2	O	X	O	O	X	O
Função 3	O	X	O	O	X	O
Função 5	O	O	O	O	X	O

No exemplo da Tabela 2, apenas os subconjuntos 2, 4 e 5 seriam selecionados para a Fase 3 da ferramenta.

3.2.3 Fase 3 – Componentes dos subconjuntos resultantes da Fase 2 vs. Dúvidas de Projeto

A terceira Fase da ferramenta faz a correlação entre os componentes dos subconjuntos selecionados na Fase 2 com as Questões de Projeto.

São propostas três categorias de relações:

- Sem relação: se não houver nenhuma relação entre a questão de projeto e o componente. Símbolo: “0”;
- Relação fraca: se houver relação indireta ou de apenas parte dos elementos (regiões ou características) do componente com a questão de projeto. Símbolo: “1”;
- Relação forte: se houver relação direta e total entre o componente e a questão de projeto. Símbolo: “2”.

Caso o componente receba apenas marcações “0”, não necessita ser examinado por protótipo. Se o componente receber apenas marcações “1”, ele deve ser conduzido à análise na Fase 4. Caso ele receba uma ou mais marcações “2”, ele deve ser integralmente incluído no protótipo.

Na Tabela 3 é mostrada a continuação da aplicação do exemplo genérico da Tabela 2.

Tabela 3 - Exemplo genérico da aplicação da matriz de seleção na Fase 3

	Subconj 2				Subconj 4		Subconj 5		
	Comp 2.1	Comp 2.2	Comp 2.3	Comp 2.4	Comp 4.1	Comp 4.2	Comp 5.1	Comp 5.2	Comp 5.3
Questão 1	2	0	1	0	0	0	2	0	2
Questão 2	2	0	1	0	2	1	0	2	2
Questão 3	1	0	1	0	0	0	2	0	2

Para o exemplo da Tabela 3, os componentes “2.1”, “4.1”, “5.1”, “5.2” e “5.3” seriam incluídos integralmente no protótipo; os componentes 2.3 e 4.2 seriam conduzidos à análise na Fase 4; e os demais não seriam incluídos na proposta de protótipo.

Principalmente para produtos complexos, com vários níveis de sub-montagens, pode ser necessário aplicar a Fase 3 mais de uma vez, até que todas os subconjuntos sejam desmembrados em componentes ou até satisfazer as dúvidas da equipe de projeto.

3.2.4 Fase 4 – Elementos dos componentes selecionados na Fase 3 vs. Questões de Projeto

O objetivo da Fase 4 é auxiliar o projetista a identificar se componentes do produto podem ser parcialmente prototipados, de acordo com seus elementos funcionais, potencialmente simplificando e reduzindo o volume de recursos gastos com a fabricação do protótipo.

Assim, os componentes selecionados na Fase 3 para seguirem para a Fase 4 devem ser subdivididos em seus elementos funcionais e, então, relacionados às dúvidas de projeto.

São propostas duas classificações para as relações:

- a) Sem relação: se não houver nenhuma relação o elemento funcional e a questão de projeto. Símbolo: “O”;
- b) Com relação: se houver relação entre o elemento funcional e a questão de projeto. Símbolo: “X”.

Caso o elemento funcional receba uma ou mais marcações “X”, ele deverá ser incluído no protótipo. Caso o elemento funcional receba apenas marcações “O”, este não necessita ser considerado para o protótipo.

Do exemplo genérico da Tabela 3, tem-se:

Tabela 4 - Exemplo genérico da aplicação da matriz de seleção na Fase 4

	Comp 2.3				Comp 4.2	
	Elem. 2.3.1	Elem. 2.3.2	Elem. 2.3.3	Elem. 2.3.4	Elem. 4.2.1	Elem. 4.2.2
Questão 1	X	O	X	O	O	O
Questão 2	O	X	X	O	X	O
Questão 3	X	O	O	O	O	O

No exemplo da Tabela 4, os elementos funcionais “2.3.4” e “4.2.2” não seriam incluídos na proposta de protótipo, sendo os demais integrados a esta juntamente com os componentes selecionados na Fase 3, concluindo a aplicação da ferramenta tendo como produto final a lista de componentes a serem prototipados.

4 APLICAÇÃO DESCRITIVA DA FERRAMENTA

Na presente seção, será apresentada a aplicação descritiva da ferramenta proposta. Para tanto, foi selecionado como produto alvo um *mouse* de computador com fio, três botões (sendo um com movimento rotativo) e sensor ótico. O produto foi escolhido por ser um item bastante comum, com número de componentes e complexidade suficientes para permitir a aplicação completa da ferramenta.

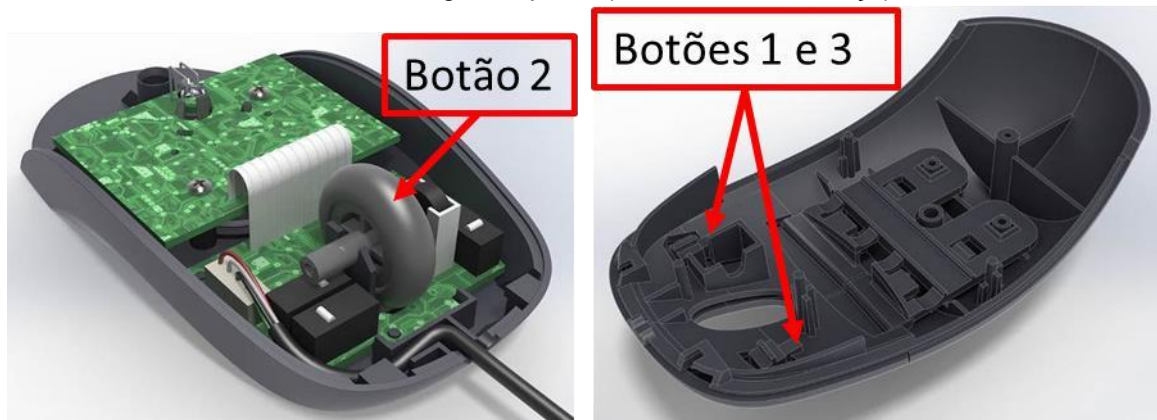
O *mouse* em questão é mostrado nas Figuras 4 e 5:

Figura 4 – *Mouse* utilizado no exemplo de aplicação da ferramenta proposta



Fonte: Stevens (2012)

Figura 5 – A esquerda, montagem inferior (base, componentes eletrônicos, botão 2) do *mouse*. A direita, montagem superior (botões 1 e 3 e carcaça)



Fonte: Stevens (2012)

Como já existe um modelo 3D bem definido do produto, será aqui assumido, para efeito de exercício, que o projeto está na fase de Projeto Detalhado, com componentes a primeira versão de itens dimensionados e detalhados, aguardando a verificação por protótipo para liberação da produção ou para serem efetuadas revisões no projeto.

Como dúvida de projeto geradora da necessidade de um protótipo para testes, será proposta a verificação do nível de ruído do acionamento dos botões 1 e 3 do *mouse*.

Assim, de acordo com a seção 3, além da dúvida de projeto a ser abordada, é necessária, para aplicação da ferramenta, a estrutura funcional e lista de componentes do produto, ambas apresentadas para o *mouse* em questão, nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 – Estrutura funcional do *mouse*

<p>Nível 1: Função principal</p>	<p>1 - Conectar o usuário ao cursor na tela do computador através de interface física a ser utilizada com uma mão</p>	
<p>Nível 2: Subfunções 1</p>	<p>1.1 – Movimentação do cursor no plano da tela</p>	<p>1.2 – Execução de quatro comandos básicos através do cursor</p>
<p>Nível 3: Subfunções 2</p>	<p>1.1.1 – Captar a movimentação que se deseja realizar no cursor</p>	<p>1.2.1 – Captar os comandos individuais fornecidos pelo usuário</p>
	<p>1.1.2 – Transformar o movimento capturado em sinais elétricos/lógicos para movimentação do cursor na tela</p>	<p>1.2.2 – Transformar os comandos físicos captados em sinais elétricos/lógicos para execução dos mesmos pelo cursor</p>
	<p>1.1.3 – Transferir os sinais para movimentação do cursor ao computador</p>	<p>1.2.3 – Transferir os sinais para execução dos comandos do cursor ao computador</p>

Figura 7 – Vista explodida, com indicação dos componentes, do *mouse*



Fonte: adaptador de Stevens (2012)

A descrição dos itens enumerados na Figura 7 são mostrados na Tabela 5:

Tabela 5 – Lista de componentes do *mouse* (ver figura 7)

Nível 1	Número	Nível 2	Número	Quantidade
Montagem inferior	1	Carcaça inferior	1.1	1
		Lente	1.2	1
		Sensor movimento	1.3	1
		Placa eletrônica e cabo	1.4	1
		Sensores click botões	1.5	3
		Sensor rotação	1.6	1
		Botão 2 com rotação	1.7	1
		LED	1.8	1
		Parafuso	1.9	2
Montagem superior	2	Carcaça superior	2.1	1
		Botões 1 e 3	2.2	1
Parafuso	3	-	-	1
Sup. deslizamento traseira	4	-	-	1
Sup. deslizamento dianteira	5	-	-	1

De posse dessas informações, é possível iniciar a aplicação da abordagem aqui proposta.

Seguindo a estrutura apresentada na seção 3, inicia-se com o cruzamento das funções do produto com a dúvida de projeto apresentada. Assim, a partir das informações da seção 3.2.1:

Tabela 6 – Aplicação da Fase 1 da ferramenta ao produto (*mouse*)

Dúvidas de projeto	Funções (ver Figura 6)					
	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.2.1	1.2.2	1.2.3
Questão 1: Qual o nível de ruído ao se utilizar os botões 1 e 3?	O	O	O	X	O	O

De acordo com o resultado observado na Tabela 6, a única função do produto relacionada à dúvida de projeto é a “1.2.1 - Captar os comandos individuais fornecidos pelo usuário”. Esta função será selecionada para a aplicação da Fase 2 da ferramenta, juntamente com a lista de subconjuntos do produto, enumerado no “Nível 1” da Tabela 5:

Tabela 7 – Aplicação da Fase 2 da ferramenta ao produto (*mouse*)

Funções	Subconjuntos				
	1	2	3	4	5
1.2.1	X	X	X	O	O

Segundo o resultado da tabela 7, os subconjuntos “1”, “2” e “3” serão levados para a Fase 3, mostrada na Tabela 8:

Tabela 8 – Aplicação da Fase 3 da ferramenta ao produto (*mouse*)

Dúvidas de projeto	Subconj 1									Subconj 2	Subconj 3	
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	3
Questão 1: Qual o nível de ruído ao se utilizar os botões 1 e 3?	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	2	2

Do resultado da Tabela 8, conclui-se que, os componentes “1.5”, “2.2” e “3” devem ser incluídos integralmente no protótipo, pois possuem relação direta com a questão de projeto levantada. Os componentes “1.1”, “1.4” e “2.1”, por sua vez, devem ser analisados na Fase 4 da ferramenta, para determinar quais de seus elementos funcionais são sugeridos para serem incluídos no protótipo. A lista simplificada de elementos funcionais destes componentes é mostrada na Tabela 9:

Tabela 9—Lista simplificada de elementos funcionais dos componentes “1.1”, “1.4” e “2.1” do exemplo

Componente	Elemento Funcional	Num.	Imagem	Componente	Elemento Funcional	Num.	Imagem
	Mancal roda	1.1.A			Fixação botões 1 e 3	2.1.A	
	Posicionador placa	1.1.B			Posicionador carcaça inferior	2.1.B	
	Posicionador cabo	1.1.C			Fixação carcaça inferior	2.1.C	
	Posicionador montagem superior	1.1.D			Mancal roda	2.1.D	
	Fixação frontal montagem superior	1.1.E					
	Fixação traseira montagem superior	1.1.F					
	Transmissão dados	1.4.A					
	Posicionador carcaça inferior	1.4.B					
	Posicionador sensores click botões	1.4.C					

Fonte: adaptado de Stevens

(2012)

Vale salientar que nem todos os elementos funcionais foram listados, por não ser pertinente à demonstração da ferramenta. Aplicando a Fase 4 da ferramenta aos elementos funcionais mostrados na Tabela 9, tem-se:

Tabela 10 – Aplicação da Fase 4 da ferramenta ao produto (*mouse*)

Dúvidas de projeto	Comp 1.1						Comp 1.4			Comp 2.1			
	1.1.A	1.1.B	1.1.C	1.1.D	1.1.E	1.1.F	1.4.A	1.4.B	1.4.C	2.1.A	2.1.B	2.1.C	2.1.D
Questão 1: Qual o nível de ruído ao se utilizar os botões 1 e 3?	O	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	O

Para os componentes que tiveram elementos selecionados na Fase 4, propõe-se uma prototipagem parcial, incluindo apenas os elementos funcionais indicados como relacionados à questão de projeto.

Da conclusão da aplicação da ferramenta, tem-se a lista completa de itens a serem prototipados para a resposta das questões de projeto iniciais:

Tabela 11 – Lista de itens a serem prototipados no exemplo proposto (*mouse*)

Componentes	Descrição	Elementos Funcionais
1.5	Sensores click botões	Completo
2.2	Botões 1 e 3	Completo
3	Parafuso	Completo
1.1	Carcaça Inferior	Prototipagem parcial, incluindo elementos funcionais 1.1.B, 1.1.D, 1.1.E e 1.1.F
1.4	Placa Eletrônica	Prototipagem parcial, incluindo elementos funcionais 1.4.B e 1.4.C
2.1	Carcaça Superior	Prototipagem parcial, incluindo elementos funcionais 2.1.A, 2.1.B e 2.1.C

A partir desta aplicação descritiva, pode-se notar que a ferramenta é de fácil aplicação, delimitando a escolha dos elementos a serem prototipados em passos simples e bem definidos. A Fase 4, que tem por objetivo permitir a identificação de componentes que podem ser parcialmente prototipados sem prejudicar a função do protótipo, se mostra útil, principalmente considerando-se projetistas com pouco experiência em PDP ou projeto e manufatura de protótipos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho, proposto na seção 1, foi atingido. A ferramenta proposta e descrita nas seções 3 e 4, respectivamente, se mostrou de fácil utilização e vantajosa principalmente para projetistas com pouca experiência, pois, aponta em passos simples quais elementos devem ser prototipados para que o modelo físico responda às dúvidas de projeto da equipe de desenvolvimento.

Através do exemplo de aplicação, é possível notar como a ferramenta auxilia na visão geral do protótipo, guia a seleção de seus componentes através de um processo de escolha sistemático e auxilia na identificação de pontos passíveis de simplificação para confecção do protótipo, ao apontar elementos funcionais essenciais ao invés de componentes completos. O produto-alvo da aplicação descritiva, um *mouse* de computador, é relativamente simples, com poucos níveis de sub-montagens. Espera-se que o impacto da utilização da ferramenta para a simplificação da análise dos elementos a serem incluídos em um protótipo seja maior em produtos de maior complexidade.

Como sugestões para trabalhos futuros, cita-se:

- a) Realização de um teste comparativo sobre a aplicação da ferramenta proposta neste artigo contra a seleção de componentes para um protótipo sem a sua utilização.
- b) Expansão da ferramenta proposta neste artigo para incluir a seleção de processos de fabricação e materiais para a prototipagem.

REFERÊNCIAS

- BACK, N. *et al.* **Projeto Integrado de Produtos**: Planejamento, Concepção e Modelagem. Barueri: Manole, 2008.
- CROSS, N. **Engineering Design Methods**: Strategies for Product Design. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- DYM, C. L. *et al.* **Engineering Design**: A Project-based introduction. 4th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2013.
- PAHL, G. *et al.* **Engineering Design**: a systematic approach. 3rd ed. London: Springer-Verlag Limited, 2007.
- OTTO, K. WOOD, K. **Product Design**: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Michigan: Prentice Hall, 2001.
- OZER, M. A Survey of New Product Evaluation Models. **Journal of Product Innovation Management**, n.16, p.77-94, 1999.
- ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- STAMATIS, D. H. **TQM Engineering Handbook**. New York: Marcel Dekker Inc., 1997. p. 165-167.
- STEVENS, D. **Project Portfolio**: Computer Mouse. 2012. Disponível em: < <http://dstevensdesign.com/portfolio-item/computer-mouse/>>. Acesso em: 08 agosto 2014.
- ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- ULRICH, K. EPPINGER, S. **Product Design and Development**. New York: McGraw Hill, 1995.
- WALL, M. *et al.* Evaluating Prototyping Technologies for Product Design. **Research in Engineering Design**, n. 3, p.163-177, 1992.
- YANG, M. C. A Study of Prototypes, Design Activity, and Design Outcome. **Design Studies**, v.26, n.6, p 649-669, 2005.