

# ESTUDO DE CASO DE ENGENHARIA DE PRODUTO EM UMA EMPRESA DE FABRICAÇÃO DE MANEQUINS ODONTOLÓGICOS

*Vinicius Cesar Gomes Alves<sup>1</sup>*

*Viniciuscesar1985@gmail.com*

*Wagner Cardoso<sup>2</sup>*

*wagner.cardoso@uniube.br*

## RESUMO

As constantes mudanças do mercado exigem das empresas respostas rápidas e que supram a nova demanda. Desta forma, é natural que as organizações invistam cada vez mais em novas maneiras de desenvolver seus produtos de forma mais rápida. A exigência do mercado com relação ao desempenho, design, qualidade de material e outras características são fundamentais para o sucesso de qualquer organização na venda de seus produtos. E, além do desafio de atender a essas prerrogativas, as organizações devem fazê-lo de forma eficiente e menor custo operacional possível. A gestão de tecnologia, segundo o Instituto Europeu de Tecnologia e Inovação, determina a identificação, seleção, aquisição, desenvolvimento, exploração e proteção das tecnologias necessárias para manter uma posição de mercado e um desempenho de negócio que atendam aos objetivos da empresa. A utilização de modelagem 3D na etapa de desenvolvimento de produtos traz grande vantagem estratégica para empresa, pois diminuem incertezas no projeto e custos de fabricação. O presente estudo tem como objetivo abordar a importância do investimento e aplicação de tecnologias no desenvolvimento de produtos. Através do estudo de caso, realizado em uma empresa fabricante de manequins odontológicos, em Uberaba, demonstra-se o impacto da aplicação de tecnologia especializada em criação de produtos.

**Palavras-chave:** modelagem, custo, produtos, tecnologia, fabricação.

## PRODUCT ENGINEERING CASE STUDY IN A DENTAL MANIKINS MANUFACTURING COMPANY

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia de Produção na Universidade de Uberaba

<sup>2</sup>Orientador da Universidade de Uberaba, graduado em Engenharia de Produção e Mestre em Engenharia de Produção

## **ABSTRACT**

The constant market changes require companies to respond quickly and supply the new demand. This way, it is only natural that organizations are increasingly investing in new ways to develop their products faster. Market demands on performance, design, material quality and other characteristics are critical to the success of any organization in selling its products. In addition to the challenge of meeting these prerogatives, organizations must do so efficiently and at the lowest possible operating cost. Technology management, according to the European Institute of Technology and Innovation, determines the identification, selection, acquisition, development, exploitation and protection of technologies necessary to maintain a market position and business performance that meet the company's objectives. The use of 3D modeling in the product development stage brings great strategic advantage to the company, as it reduces design uncertainties and manufacturing costs. This study aims to address the importance of investment and application of technologies in product development. The case study, carried out in a dental mannequin manufacturer company in Uberaba, demonstrates the impact of the application of specialized technology in product creation.

**Keywords:** modeling, cost, products, technology, manufacturing.

## **1. INTRODUÇÃO**

O produto é resultado de um conjunto de fatores que envolve o desejo do cliente, baseado em características culturais, pessoais e até profissionais. As empresas, desta forma, buscam atender a este desejo e, por isso, estão em constante busca daquilo que deve ser objeto de satisfação para seus clientes.

A capacidade de atingir as expectativas dos clientes resulta em lucro. Desta forma, o setor de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) tem papel fundamental no sucesso estratégico da empresa e na sua capacidade competitiva de mercado (HAMEL, PRAHALAD, 1995).

De acordo com a Organization for Economic Co-operation and Development (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento), a atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D) é todo trabalho criativo, feito de forma sistemática, com o objetivo de aumentar o estoque de conhecimento, incluindo conhecimento humano, cultural e social; bem como o uso desse conhecimento para gerar novas aplicações.

Segundo Possas (2006), são estas vantagens competitivas que permitem que uma empresa sobreviva por mais tempo no mercado, obtendo capacidade de crescimento e lucros mais duradouros. E, uma das maneiras de gerar e manter estas vantagens é a criação de novos produtos ou serviços obtidos através do P&D e seus processos.

Crawford e Benedetto (2006) definem o processo de desenvolvimento de produtos como uma combinação de passos, atividades, decisões e objetivos que, se bem realizados, irão produzir os novos produtos da empresa.

As suas principais características são: participação de diversas áreas funcionais da organização, grande quantidade de informações, informações incertas e dinâmicas, e a constante necessidade de tomada de decisão (ROZENFELD, 2006).

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos construído por Crawford e Benedetto (2006) é dividido em cinco etapas ou fases: identificação e seleção de oportunidades para produtos, geração de conceitos de produtos, avaliação de conceito e projeto de produto, desenvolvimento do projeto do produto e lançamento do produto no mercado. A Figura 1 apresenta o modelo das fases e Gates do PDP de Crawford e Benedetto (2006).

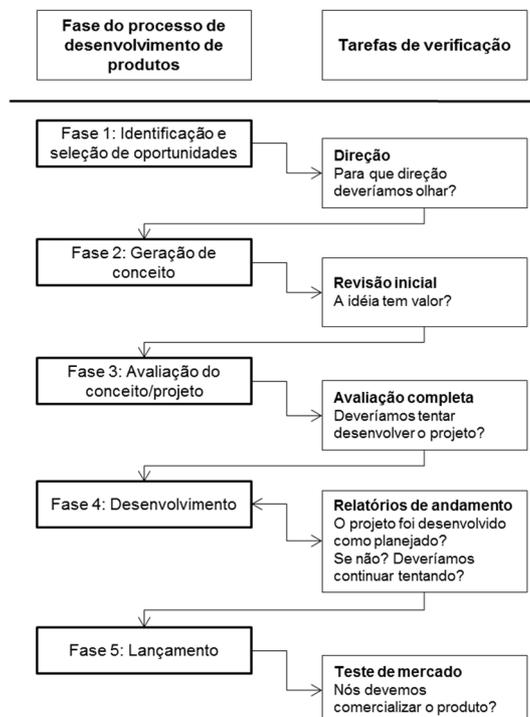


Figura 1. Modelo das fases e gates do PDP.

Fonte: Crawford e Benedetto (2006, p.36).

Além dessas fases, o modelo também propõe a realização de *Gates* (avaliação de resultados) entre cada uma delas, a fim de avaliar a evolução do projeto do produto. As três primeiras etapas são relacionadas à concepção do conceito do produto, compondo o pré-desenvolvimento do projeto do produto, enquanto as fases posteriores definem a fabricação do protótipo e sua aceitação no mercado.

## **2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

A função Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) é apontada por diversos trabalhos sobre gestão da inovação e da tecnologia e, gestão do PDP como uma das mais importantes e tradicionais formas encontradas nas empresas para o desenvolvimento de tecnologias (GRIFFIN, HAUSER, 1996; SOUDER et al., 1997; BOUND e HOUSTON, 2003; WHITNEY, 2007).

O desenvolvimento de produtos é o processo de conversão de necessidades em soluções comerciais e técnicas (SMITH, MORROW, 1999).

A demanda por novos produtos ficou ainda mais intensa considerando a internacionalização do mercado, pois as empresas não competem apenas com concorrentes nacionais, mas sim mundiais.

Esse ambiente competitivo impõe ao processo de desenvolvimento de produtos a necessidade de estar apto, em habilidades e competências, para atuar com dinamismo e flexibilidade em um grau até então não experimentado pelas empresas.

Dentro deste contexto, o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto) tem papel fundamental na gestão de desenvolvimento, pois, de acordo com Rozenfeld (2006), situa-se na interface entre a empresa e o mercado, cabendo a ele identificar — e até mesmo se antecipar — as necessidades do mercado e propor soluções (por meio de projetos de produtos e serviços relacionados) que atendam a tais necessidades.

### **2.1. O papel do PDP no Brasil**

O Brasil, assim como outros países emergentes, tem seu desenvolvimento de produtos, em sua maioria, concentrado na melhoria ou modificações de produtos já existentes.

Nacionalmente, em muitos setores industriais, a tendência em termos de desenvolvimento de produto é no sentido de consolidar uma competência local para

adaptar projetos do exterior para o mercado local ou regional (por exemplo, Mercosul), ou mesmo para participar de projetos de desenvolvimento mundiais — responsabilizando-se por atividades e/ou etapas específicas desses projetos em função das capacitações existentes no país (ROZENFELD, 2006).

Vale ressaltar, então, que as empresas que importam um produto e participam de seu lançamento e todas as atividades do pós-desenvolvimento, também fazem parte do processo de Desenvolvimento do Produto. Portanto, uma parte considerável deste processo fica a cargo de empresas nacionais.

## **2.2. Características do PDP**

De acordo com Rozenfeld (2006), são características do PDP:

- elevado grau de incertezas e riscos das atividades e resultados;
- decisões importantes devem ser tomadas no início do processo, quando as incertezas são ainda maiores;
- dificuldade de mudar as decisões iniciais;
- as atividades básicas seguem um ciclo iterativo do tipo: Projetar (gerar alternativas)-Testar-Otimizar, Construir;
- manipulação e geração de alto volume de informações;
- as informações e atividades provêm de diversas fontes e áreas da empresa e da cadeia de suprimentos; e
- multiplicidade de requisitos a serem atendidos pelo processo, considerando todas as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes.

Com papel cada vez mais estratégico dentro das empresas, o PDP necessita de muitas informações para desenvolver um produto. Assim, é de extrema importância que estas informações fluam de forma constante e clara dentro da empresa. Esta fluidez de informações diminuem as incertezas do projeto e aumentam as chances de que o produto seja lançado com sucesso e seja consumido.

Devido a esta importância, segundo Rozenfeld (2006), todas as outras definições e decisões a serem tomadas ao longo do ciclo de desenvolvimento, após as fases iniciais, determinam 15% do custo, como indicado na figura abaixo. Em outras palavras, depois da definição dos materiais, tecnologia, processos de fabricação e principais soluções construtivas, resta ao time de desenvolvimento: determinar as tolerâncias das peças; construir e testar o protótipo; definir os fornecedores; o arranjo

de parceiros da cadeia de suprimentos e o arranjo físico da produção; a campanha de marketing; assistência técnica etc. E essas definições, quando comparadas com as anteriores, exercem menor influência no custo final do produto.

Assim, quanto ao escopo do PDP, há uma ampliação em ambos os sentidos do processo de negócio, ou seja, a montante e a jusante de seu tradicional núcleo central, conforme pode ser acompanhado na Figura 2.

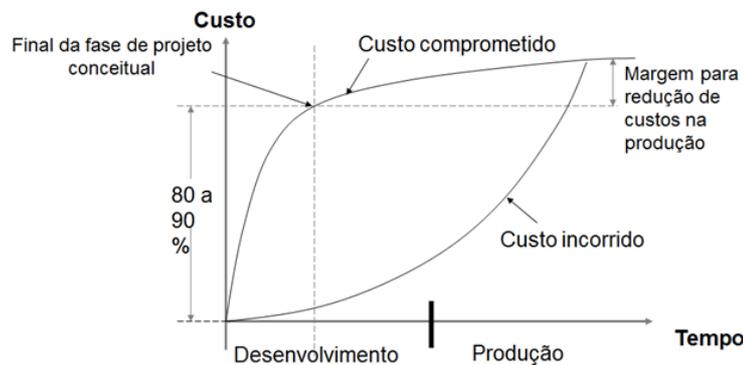


Figura 2. Curva de comprometimento do custo do produto.

Fonte: Rozenfeld et al. (2006, p. 7)

### 2.3. Escopo do PDP

Para Rozenfeld (2006), o desenvolvimento de produto envolve muitas atividades a serem executadas por diversos profissionais de diferentes áreas, tais como: Marketing, Pesquisa & Desenvolvimento, Engenharia do Produto, Suprimentos, Manufatura e Distribuição — cada uma vendo o produto por uma perspectiva diferente, mas complementares. Dentro deste cenário, deve-se citar a importância do departamento financeiro, que de acordo com as informações farão pesquisas para compras de materiais e outros recursos necessário para o projeto, bem como auxiliar na formação de preços dos produtos em desenvolvimento.

Cada vez mais são incorporadas nesse processo as estratégias de produto, de mercado e tecnológicas da empresa, além das atividades necessárias para suportar a produção, o lançamento e o acompanhamento do produto no mercado e a decisão de sua descontinuidade.

## 2.4. Visão geral do modelo de desenvolvimento de produtos

As macrofases Pré e Pós desenvolvimento tem formato generalizado e pode ser adaptado a necessidade das empresas. A macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção. Portanto, tais atividades são dependentes da tecnologia envolvida no produto (ROZENFELD, 2006). A figura 3 a seguir ilustra o processo de desenvolvimento de produtos dividido em Macrofases.

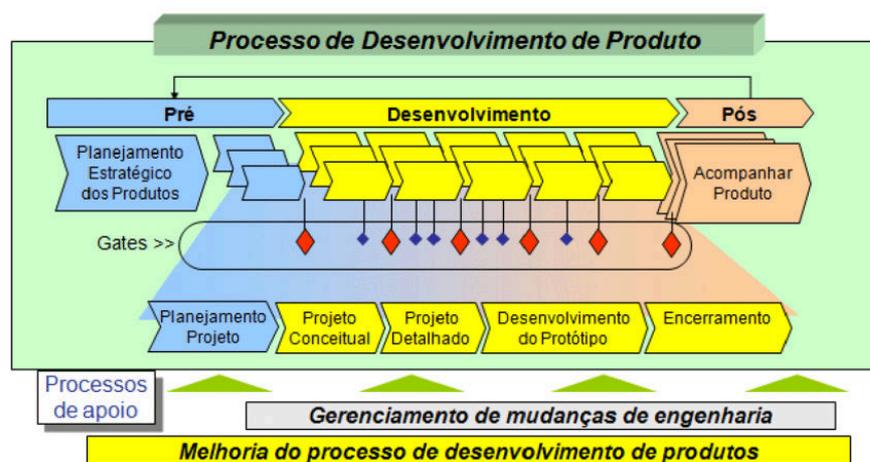


Figura 3. Visão geral do modelo de referência

Fonte: Rozenfeld et al. (2012, p. 44)

## 2.5. Macrofase de Pré-Desenvolvimento

O pré-desenvolvimento, fase inicial do processo de criação de produtos, deve garantir que o processo de concepção esteja dentro do direcionamento estratégico da empresa. Desta forma, nesta etapa, são discutidas, segundo Rozenfeld (2006), as idéias de todos os atores internos e externos envolvidos com os produtos, para que as oportunidades e restrições sejam sistematicamente mapeados e transformados em um conjunto de projetos bem definidos, isto é, o portfólio dos projetos que deverão ser desenvolvidos.

Esta macrofase contém o Planejamento Estratégico de Produtos que envolve todos os produtos que a empresa poderá desenvolver e Planejamento do Projeto que, focado em um produto, visa diminuir riscos do projeto e busca opções ou inovações que possam agregar valor ao produto final.

Os dois objetivos principais dessa macrofase, segundo Rozenfeld (2006), são:

- 1) garantir a melhor decisão sobre o portfólio de produtos e projetos, respeitando a estratégia da empresa e as restrições e tendências mercadológicas e tecnológicas;
- 2) garantir que haja uma definição clara e um consenso mínimo sobre o objetivo final de cada projeto, partindo de uma visão clara sobre as metas do projeto para a equipe e evitando um “desvio de rota” em relação ao papel de cada produto dentro do portfólio da empresa.

Assim, segundo Rozenfeld (2006), a importância do pré-desenvolvimento está em contribuir com os seguintes aspectos:

- 1) foco nos projetos prioritários definidos pelos critérios da empresa;
- 2) uso eficiente dos recursos de desenvolvimento;
- 3) início mais rápido e mais eficiente; e
- 4) critérios claros para avaliação dos projetos em andamento.

A fase de planejamento do projeto encerra a macrofase de pré-desenvolvimento. Este planejamento é o resultado final de todas as informações e definições realizados e aprovados no Planejamento Estratégico de Projeto. As atividades dentro do Planejamento de produto identificam todos os recursos e melhor forma de integra-los para diminuir os riscos de execução do projeto

## **2.6. Macrofase de Desenvolvimento**

O final da Macrofase de Pré-desenvolvimento, que contém o portfólio de produtos e o planejamento do projeto, é marcado pelo início da Macrofase de desenvolvimento.

O projeto informacional, primeira fase de desenvolvimento, cria, a partir do Plano de projeto, as Especificações do Produto que são aquelas que deverão ser alcançadas ao fim das atividades de engenharia. Estas especificações englobam os requisitos e informações qualitativas sobre o produto a ser desenvolvido.

No projeto conceitual do produto, são estudadas soluções para atender às especificações citadas no parágrafo anterior. O objetivo em entender o problema é transcrever as exigências do cliente em especificações técnicas que precisam ser desenvolvidas (ULLMANN, 1997). Estas soluções são reunidas em uma lista de documentos, listados na Figura 4.

O projeto detalhado detalhará as informações de concepção de produto em especificações finais, compostas por documentos como o protótipo funcional, projeto de recursos, plano de fim de vida, dispositivos e ferramentas.

Segundo (PAHL; BEITZ, 1996), a complexidade do projeto definitivo se deve a:

- Muitas atividades devem ser executadas ao mesmo tempo;
- Alguns passos precisam ser repetidos em um nível maior de informação;
- Inclusões e alterações em uma área repercutem no projeto em outras áreas.

A figura 5 a seguir traz os resultados das fases de Planejamento de Projeto e Do Projeto Informacional.

Ao final do Desenvolvimento, onde o projeto é executado, tem-se, a produção de informações técnicas detalhadas de produção e comerciais relacionadas ao produto, da produção ao lançamento.

## **2.7. Macrofase de Pós-Desenvolvimento**

Ao final da Macrofase de Desenvolvimento inicia-se a Macrofase de pós-desenvolvimento. Esta fase é caracterizada pelo acompanhamento e documentação das melhorias de produto ocorridas durante o seu ciclo de vida (ROZENFELD 2006).

O acompanhamento e documentação do ciclo de vida do produto permitem que a organização utilize estas informações para incorporar ao planejamento estratégico e reavaliar viabilidade de relançamento do produto ou modificações para lançamento de novos produtos baseados no primeiro.

## **2.8. Mapeamento Tecnológico**

O desenvolvimento das etapas pontuadas na figura 1 são afetados pela escolha da tecnologia utilizada pela empresa para obtenção dos resultados. Dentro deste contexto, existe um método de gestão da tecnologia denominado *Technology Roadmapping* (Mapeamento tecnológico).

A gestão de tecnologia, segundo o Instituto Europeu de Tecnologia e Inovação, determina a identificação, seleção, aquisição, desenvolvimento, exploração e proteção das tecnologias (produto, processo e infra-estrutura) necessárias para manter uma posição de mercado e um desempenho de negócio que atendam aos objetivos da empresa.

O mapeamento tecnológico, segundo Phaal, Farrukh e Probert (2003), tem grande potencial para auxiliar o desenvolvimento e implantação de estratégia de negócios, produtos e tecnologias, providenciando para que as empresas possuam informações, capacidade de processo e ferramentas para fazê-lo. O mapeamento pode melhorar o

“radar” da empresa em termos de aumentar seus horizontes no que se refere a planos, identificação de oportunidades e ameaças no ambiente de negócios.

Willyard e McClees (1987) afirmam que o termo tecnologia foi usado no nome *technology roadmapping* em seu contexto mais amplo, no qual significa a aplicação de ciência para resolução de problemas de capacidade de desenvolvimento, de mercado, de competição e de desempenho.

Segundo Kappel (2001), o método mostra as prioridades entre os parâmetros de mercado, produto e tecnologia, além de encontrar objetivos interligados através deles. Como consequência da aplicação do *technology roadmapping* a empresa consegue justificar seus investimentos e ainda aprimorar a coordenação dos esforços para que os seus objetivos sejam alcançados.

De acordo com Phaal, Farrukh e Probert (2003), a abordagem mais comum é a forma genérica proposta pela EIRMA (Associação de Gerenciamento de Pesquisa Industrial Europeia). Este formato, construído em camadas, como mostra a figura 5, permite que a evolução do mercado, produtos e tecnologias sejam explorados, bem como o acompanhamento da descontinuidade dos mesmos.

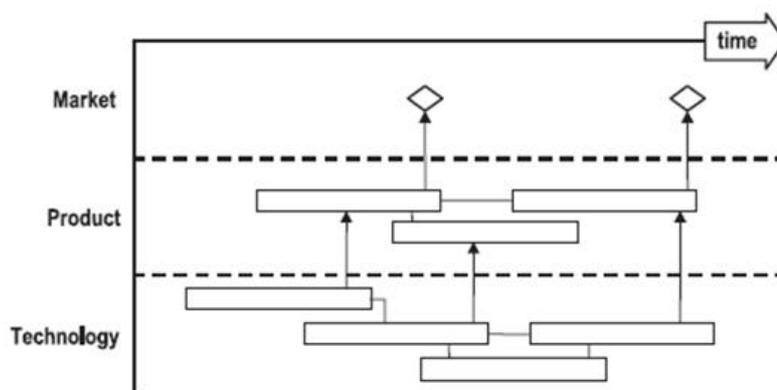


Figura 5. Diagrama de Mapeamento Tecnológico

Fonte: Phaal, Farrukh e Probert (2003, p.10)

Dentre os mais de 20 Mapas tecnológicos desenvolvidos em colaboração com diversas empresas que utilizam o método, segundo Phaal, Farrukh e Probert (2003), a abordagem Plano-T foi desenvolvida. Esta abordagem é composta por 4 fases ou camadas. As primeiras 3 camadas focam nas informações essenciais para a construção do mapeamento que são mercado/negócio, produto/serviço e tecnologia, com o mapeamento na 4ª camada, como descrito na figura 6.

O sucesso do *technology roadmapping* nas empresas depende do apoio de um patrocinador influente. Essa pessoa tem o papel de manter a alocação de recursos necessária para a aplicação do método e defender sua importância para a empresa (STRAUSS; RADNOR, 2004).

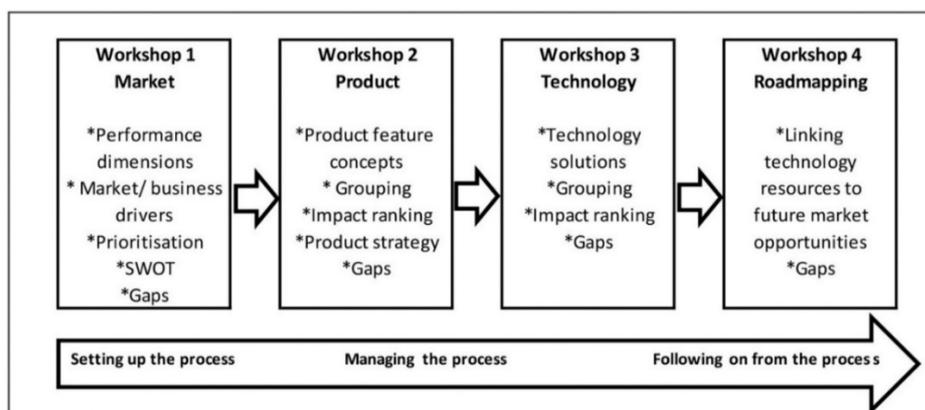


Figura 6. Plano-T: Etapas do processo padrão

Fonte: Phaal, Farrukh e Probert (2003)

A probabilidade de sucesso do método é influenciada pela presença de especialistas ou facilitadores no processo de aplicação. Esses atuam na condução do time, coordenam o trabalho, esclarecem dúvidas no processo e direcionam os esforços de acordo com as necessidades da empresa (ALBRIGHT; KAPPEL, 2003).

## 2.9. Lean Design

Os princípios da produção enxuta, ou *Lean Manufacturing* (LM), foram desenvolvidos na década de 1960 pela Toyota como uma evolução do conceito de produção integrada e da estruturação das práticas de produção que eram adotadas nas fábricas da Toyota. Essa filosofia e abordagem de gestão foram sintetizadas em cinco princípios: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição (LIKER, 2004).

Os princípios citados são essenciais para a eliminação do que se chama desperdício, que é a alocação errônea de recursos de produção, seja matéria prima, força de trabalho, transporte e processos.

O projeto é estratégico para qualquer empreendimento, pois concede informações para a definição de especificações de recursos, prazos e custos consolidados nas

funções orçamento, planejamento e execução (ANDREY; CAMPOS; ARANTES, 2012).

Womack e Jones (1996) ampliaram o escopo de compreensão dos princípios enxutos, enfatizando que eles se aplicariam a toda a empresa, devendo ser estendidos para o processo de desenvolvimento de produtos (PDP). A aplicação da abordagem *lean* apenas nos processos fabris restringiria a obtenção dos seus benefícios potenciais, visto que a constante busca pela eliminação dos desperdícios passou a ser papel não apenas da manufatura, sendo responsabilidade de diversas áreas da organização, principalmente a de projetos de produtos, já que o seu resultado impacta diretamente o processo produtivo e o desempenho do produto e do processo.

Dessa forma, a abordagem *lean* poderá ser aplicada ao processo de desenvolvimento de produtos, objetivando a ampliação dos benefícios obtidos com a aplicação de seus princípios nos processos de produção, por meio da geração de produtos que agregam valor para o cliente com baixos índices de desperdícios (MORGAN, LIKER, 2006).

O lean design é decisivo na melhoria do projeto, pois oferece o desenvolvimento integrado entre vários projetos e informações específicas, apresentando como resultado a redução do tempo, do custo e maior qualidade (FREIRE, ALARCÓN, 2002).

Uma abordagem enxuta para o desenvolvimento de produtos é um ativo valioso e sua base é a importância da integração apropriada de pessoas, processos, ferramentas e tecnologias, para agregar valor ao consumidor e à sociedade (MORGAN, LIKER, 2006).

A estratégia por trás do desenvolvimento de produto enxuto é consolidar uma forte capacidade de reatividade às demandas do mercado e de posicionamento competitivo da empresa como líder em seu segmento de atuação (LIKER, MORGAN, 2006; REINERTSEN, 2005). Existem mais oportunidades para obter vantagem competitiva no desenvolvimento de produto do que em qualquer outro departamento ou área das empresas industriais (MORGAN, LIKER, 2006; SOUSA, TOLEDO, 2015; TOLEDO et al., 2008).

Segundo Reinertsen (2005), o desenvolvimento de produto enxuto tenta aplicar os princípios aprendidos em *Lean Manufacturing* na área de desenvolvimento de produto e que estes são utilizados para criar um fluxo que irá tornar esse processo mais ágil e eficiente.

A falta de interação entre a equipe de projeto e construção em relação aos requisitos do cliente, especificações construtivas e padrões de qualidade impactam em muitos problemas durante a fase de execução, suscitando a importância da verificação das interfaces projeto-construção (ALARCÓN, MARDONES, 1998).

Ferramentas adaptadas do *Lean Manufacturing* como *Kaizen*, 5S, mapeamento de processos e outras ferramentas básicas da qualidade, podem ser utilizadas desde que sejam adaptadas para o PDP. Por exemplo, no caso do 5S, a ideia é focar a eliminação de informações indesejadas ao invés, por exemplo, da limpeza do ambiente de produção (Womack, Jones, 1996). Em adição, ferramentas que auxiliam a visualização de um projeto e a comunicação dentro da equipe do projeto podem ser utilizadas para ajudar os membros da equipe a saberem quais são os seus papéis e a integração necessária. São exemplos dessas ferramentas: uma sala dedicada para cada projeto, um projeto gráfico (visual) no início do projeto e listas de tarefas do que precisa ser feito e priorizado (LIKER, MORGAN, 2006; REINERTSEN, 2005).

Algumas práticas utilizadas para alcançar os objetivos do desenvolvimento de produto enxuto são: engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis soluções (ESBC), envolvimento dos fornecedores e dos clientes o mais antecipado possível, gestão visual, trabalho em grupo e times multifuncionais (Karlsson & Ålhström, 1996). Padronizar o PDP, reduzir o tamanho de lotes de relatórios transmitidos de um estágio para outro e eleger um líder de projeto forte, que represente o cliente e seja capaz de efetivar sua capacidade, são fatores que tornam o fluxo do processo mais rápido (KRISTOFFERSON, LINDEBERG, 2006).

De acordo com Cusumano e Nobeoka (1998) o foco do desenvolvimento de produto enxuto é a gestão integrada de múltiplos projetos, com a maximização do número de modelos de novos produtos, por cada projeto plataforma, e a intensa reutilização de componentes e tecnologias entre projetos, visando economia de escala e de escopo.

Segundo Mascitelli (2004), o desenvolvimento de produto enxuto com o objetivo principal de alcançar uma integração entre as atividades de desenvolvimento de produto e o processo de fabricação, ou seja, um tipo de codesenvolvimento. O autor apresenta cinco princípios para o desenvolvimento enxuto de produtos:

- Princípio 1: Defina precisamente o problema do cliente e identifique a função específica que deve ser executada para resolver o problema;

- Princípio 2: Identifique o processo mais rápido pelo qual as funções identificadas possam ser integradas em um produto de baixo custo e alta qualidade;
- Princípio 3: Retire qualquer item de desperdício e custo redundante ou desnecessário, para revelar uma solução ótima de produto;
- Princípio 4: Ouça a voz do cliente frequente e interativamente durante todo o processo de desenvolvimento;
- Princípio 5: Introduza métodos e ferramentas de redução de custo tanto em suas práticas de negócios quanto em sua cultura, para permitir que a redução de custo seja contínua.

De acordo com Dal Forno et al. (2008), uma compilação das principais práticas enxutas do desenvolvimento de produtos mencionadas na literatura são:

- Mapeamento do Fluxo de Valor: visa desenvolver um retrato do estado atual para visualizar alguns desperdícios e calcular o *lead time*. A seguir, no mapa do estado futuro e no plano de ação, as melhorias são planejadas;

- Gestão visual: a gestão visual, seja de forma eletrônica ou física, atenta para a padronização, de modo a facilitar um entendimento comum da equipe, torna os problemas visíveis e mostra o escopo do projeto com indicadores de qualidade, tempo e custo. Um quadro visual com o cronograma das datas e fases dos projetos em andamento auxilia a visualização do cumprimento dos prazos e a tomada de medidas preventivas em tempo, conforme a frequência de conferência do desempenho do projeto (LOCHER, 2008).

- ESBC: na engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis alternativas, toda a equipe do desenvolvimento estabelece e desenvolve um conjunto de alternativas paralelas e independentes ao longo das fases do PDP e, ao final, a melhor alternativa gerada é testada no intuito de fazer certo da primeira vez (SCHÄFER, SORENSEN, 2010; MADHAVARAM, APPAN, 2010).

Desta forma, deve-se garantir que a informação e o conhecimento fluam de maneira cadenciada (*takt time*), contínua (sem esperas e sem retornos) e puxada (de acordo com a demanda real da próxima etapa) durante todo o desenvolvimento (MCMANUS, 2005).

## **2.10. Prototipagem**

A exigência do mercado com relação ao desempenho, design, qualidade de material e outras características são fundamentais para o sucesso de qualquer

organização na venda de seus produtos. E, além do desafio de atender a essas prerrogativas, as organizações devem fazê-lo de forma eficiente e menor custo operacional possível. Desta forma, as empresas e, principalmente, os projetistas investem e adotam novos modelos, práticas e tecnologias para obter maior eficiência na criação de produtos e, até mesmo, serviços.

Dentro do processo de criação do produto existe o risco de ajustes no projeto que devem ser mitigados nas fases seguintes, uma vez que o custo de modificações aumenta ao longo do ciclo de projeto do produto. Segundo Saura (2003), o gerenciamento das incertezas num projeto de desenvolvimento de produto, onde as decisões de maior impacto são necessariamente tomadas, ou seja, nas fases iniciais permite que sejam minimizados os gastos com o projeto. A variação dos custos nos projetos de desenvolvimento de produtos pode ser observada na Figura 1, na qual é exibido o crescimento dos gastos ao longo das fases do projeto. A figura 7 traz os custos de alteração de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto.

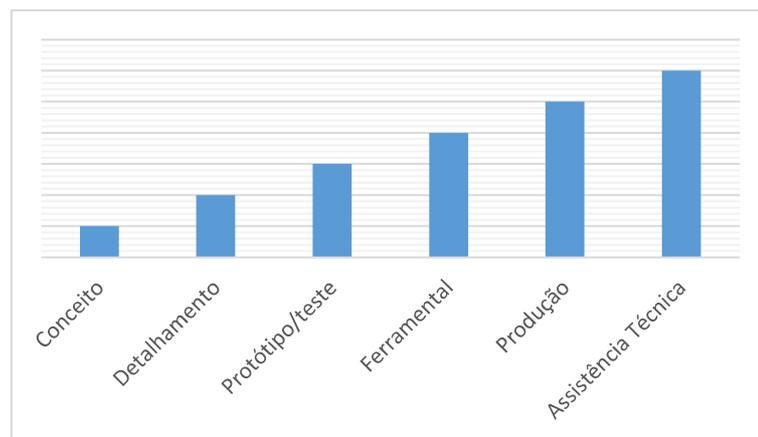


Figura 7. Custos de alteração de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento de produto

Fonte: VOLPATO, 2007, pág. 36 (Adaptado).

Com a evolução da tecnologia, as equipes de desenvolvimento e criação de produtos não utilizam a maneira arcaica de montar um protótipo com base na tentativa e erro. Esse método, largamente utilizado na indústria do século XX, consistia em desenvolver seus primeiros produtos de forma direta. Assim, assumiam inúmeros riscos que culminavam em falhas que, por sua vez, geravam retrabalho e outras questões que prejudicavam a eficiência de execução do projeto, bem como o produto em si.

O produto, independente do seu propósito, forma e preço possui aspectos que devem ser avaliados antes mesmo da concepção de um primeiro modelo ou protótipo. Esse primeiro modelo, ou protótipo, ainda que seja uma primeira versão daquilo que foi idealizado, deve possuir características e desempenho que se aproximem do ideal, para que o processo de criação seja o mais eficiente possível.

De acordo com Gorni (2001), a prototipagem rápida trata de um conjunto de tecnologias usadas para a fabricação de objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador.

Oliveira, Oliva, Bueno e Macarrão, (2004) afirmam que, mesmo que os projetos sejam desenvolvidos com a tecnologia CAD (3D), é necessária a construção de protótipos físicos para o processo de validação.

“A representação física de um produto é muito mais fácil de ser entendida do que um desenho técnico ou uma descrição verbal”. (VOLPATO, 1999).

Selhorst Junior (2008) afirma que os protótipos fornecem aos designers e engenheiros uma peça rápida para se ver, encaixar, testar funções e perceber a possibilidade de produção deste produto. Um grande diferencial são as contribuições que a prototipagem rápida traz para o desenvolvimento de produtos que é a construção de protótipos que muitas vezes não são possíveis de se fazer de maneira seriada. Isso aumenta o nível de percepção da equipe do projeto daquilo que é possível ou não de se produzir e analisar e diminuir a complexidade do produto a fim de viabilizar sua produção.

Aqui são apresentados os softwares utilizados neste estudo de caso:

### **2.11. Solid Works 2018®**

O SolidWorks é um software de CAD 3D usado por profissionais com propósito para o design e a criação de produtos.

As soluções de simulação do SOLIDWORKS® proporcionam um portfólio fácil de usar de ferramentas de análise para prever o comportamento físico de um produto no mundo real por meio de testes virtuais de modelos CAD.

### **2.12. Geomagic Design X®**

O Geomagic® Design X, software de engenharia reversa mais completo do setor, combina CAD baseado em histórico com processamento de dados de digitalização

em 3D para que você possa criar modelos sólidos editáveis e baseados em recursos com seu software CAD existente.

Este programa foi criado para o propósito de converter dados de digitalização em 3D em modelos CAD baseados em recursos e de alta qualidade. Ele faz o que nenhum software consegue fazer com sua combinação de extração de modelos sólidos guiados e automáticos, ajuste de superfície exato e incrivelmente preciso a digitalizações em 3D orgânicas, edição de malhas e processamento em nuvem de pontos. Agora, é possível digitalizar virtualmente tudo e criar designs prontos para fabricação.

### **2.13. Valor Presente Líquido**

A comprovação da viabilidade do investimento, foi analisada com base no VPL (Valor Presente Líquido).

Para Marquezan (2006), Valor Presente Líquido (VPL) é o valor das somas algébricas de fluxos de caixa futuros, descontados a uma taxa de juros compostos, em uma determinada data. Para Gitman (2002, p. 302), o VPL é uma “técnica de orçamento sofisticada, e o seu valor é determinado pela subtração do valor inicial de um projeto, do valor presente dos fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo do capital da empresa”.

Bruni, Famá e Siqueira (1998) consideram que o VPL representa a diferença entre os Fluxos de Caixa futuros trazidos a valor presente pelo custo de oportunidade do capital e o investimento inicial. O critério de decisão, quando o VPL é usado para tomar decisões do tipo “aceitar-rejeitar”, é o seguinte: Se o VPL for positivo, ou seja, a somatória dos fluxos futuros descontados à taxa mínima de atratividade é maior que o investimento inicial, aceita-se o projeto; se for negativo, ou seja, a somatória dos fluxos futuros descontados à taxa mínima de atratividade é menor que o investimento inicial, rejeita-se o projeto.

## **3. Estudo de Caso**

### **3.1. Característica da empresa**

A empresa, localizada na cidade de Uberaba, fabrica materiais odontológicos para fins acadêmicos. Presente a 20 anos no mercado, a empresa possui uma variedade de produtos que são utilizados em várias Universidades espalhadas pelo Brasil.

Dentre os produtos fabricados estão os manequins odontológicos que simulam a boca humana. Assim, alunos do curso de graduação em Odontologia podem simular e praticar operações cirúrgicas.

### **3.2. Caracterização do processo**

A concepção de um produto, da sua idealização à confecção de suas ferramentas de produção são feitas de maneira artesanal e prática. Não existe nenhum tipo de documentação ou anotações sobre o novo produto. Assim, o projetista parte de um modelo próximo a aquele que almeja alcançar e incrementa, adiciona ou elimina componentes até chegar no produto desejado. Durante este processo de desenvolvimento, são criados moldes de baixa precisão para fabricar estes componentes. O projetista, responsável por toda esta cadeia de eventos é o responsável por orientar a operação de fabricação baseado no processo produtivo criado por ele, pelas ferramentas desenvolvidas por ele.

### **3.3. Diagnóstico Atual**

Os produtos são fabricados de maneira artesanal, com pouca utilização de ferramentas tecnológicas de precisão. Desta forma, os produtos, ainda que atendam ao propósito para o qual foram criados, possuem certo grau de imprecisão na montagem. Portanto precisam de muito trabalho de acabamento, tornando o processo de fabricação e montagem lento e, por isso, mais caro. Este valor pode chegar a R\$ 100,00/semana, em retrabalho, considerando a jornada de trabalho 40h/semana e salário base da empresa em R\$ 2000,00.

O tempo de desenvolvimento do produto varia entre 20 a 30 dias de trabalho, com gasto de recursos e mão de obra que giram em torno de R\$ 2.000,00 a R\$ 3.000,00, podendo variar para mais ou menos dependendo do projeto. E ainda que o produto seja desenvolvido, devido as imperfeições do processo de fabricação, existe o custo de retrabalho que pode chegar a R\$ 12.000,00 em 6 meses.

### **3.4. Implantação de melhorias**

A proposta de melhoria aplicada neste estudo de caso altera todo o portfólio de produtos da empresa, pois se trata de um componente que faz parte de 60% dos produtos fabricados. Dito isto, é importante citar todas as características do

componente dentro do contexto de criação de produto, em etapas demonstradas na revisão bibliográfica presente neste trabalho.

A Macrofase de Pré-desenvolvimento de produtos, já desenvolvida na empresa, culminou na criação de um portfólio de 6 produtos. Estes produtos possuem seus projetos de produto muito similares, pois apenas 2 a 3 componentes se diferem de um para outro

Dentro da Macrofase de Desenvolvimento tem-se a criação de fato, onde as informações são transformadas em componentes que, unidos, formam os produtos.

Para que seja formado o objeto digitalizado no Programa Geomagic Design x, é necessário o escaneamento do objeto físico.

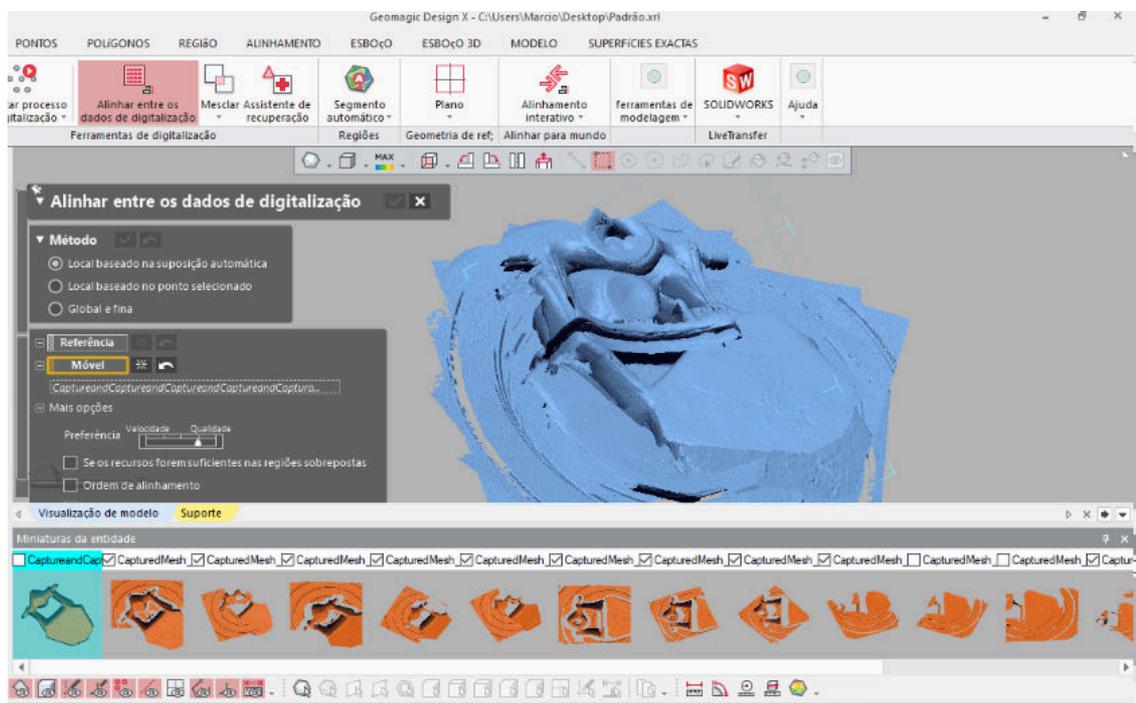


Figura 8. Parte Superior do Articulador, formas orgânicas

Fonte: Autor (2019)

Assim, são formadas várias imagens que são alinhadas com o assistente de alinhamento, formando, desta forma, o objeto fechado (Figura 8).

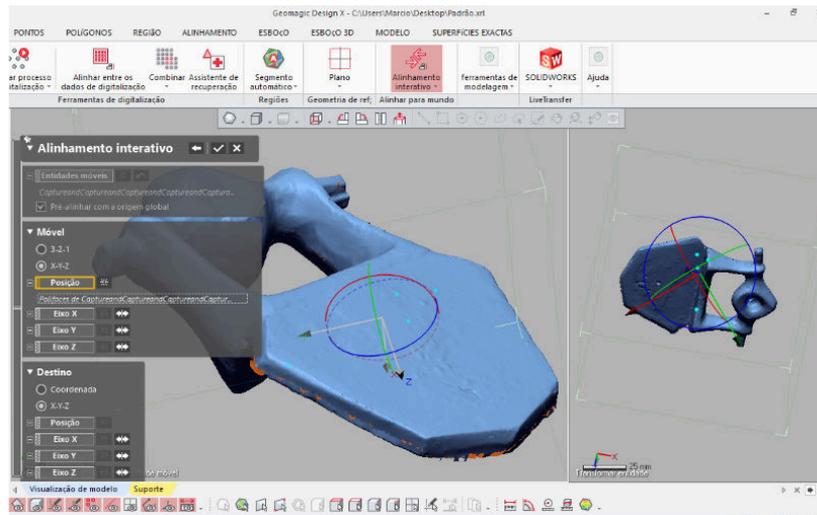


Figura 9. Parte Superior do Articulador, formas orgânicas  
Fonte: Autor (2019)

Com o objeto digitalizado e fechado (toda a superfície fechada e sem falhas), o programa apresenta o mesmo com as exatas características do objeto físico. Isso se deve a precisão do Scanner que consegue mapear toda a superfície do objeto.

Assim, utilizando estas ferramentas de modelagem de componentes, espera-se alterar o design do produto, transformando formas orgânicas em formas geométricas.

A figura 10 mostra, em 3D, a peça totalmente digitalizada.



Figura 10. Parte Superior do Articulador, formas orgânicas  
Fonte: Autor (2019)

Após a obtenção do objeto fechado, alinha-se o mesmo às coordenadas x,y,z. Nota-se, pela qualidade do escaneamento, na figura 8, as deformações do objeto, que correspondem de forma precisa com o objeto real. Vale salientar que para efeitos de fabricação de moldes, estas deformações são copiadas e repassadas a todas as outras peças que compõe vários produtos da empresa. Visto que estas deformações não têm objetivo funcional em relação ao propósito do produto, pode ser considerado como resultado processo de fabricação falho e de má qualidade.

O arquivo do objeto foi salvo em formato .STL para que seja reconhecido por outros programas de modelagem 3D que utilizam a extensão.

O arquivo em .STL foi aberto no Programa SolidWorks com sua estrutura idêntica ao que foi salvo no programa anterior. A partir deste ponto, foi feito um esboço, a partir da vista superior, do objeto, como mostra a figura abaixo.

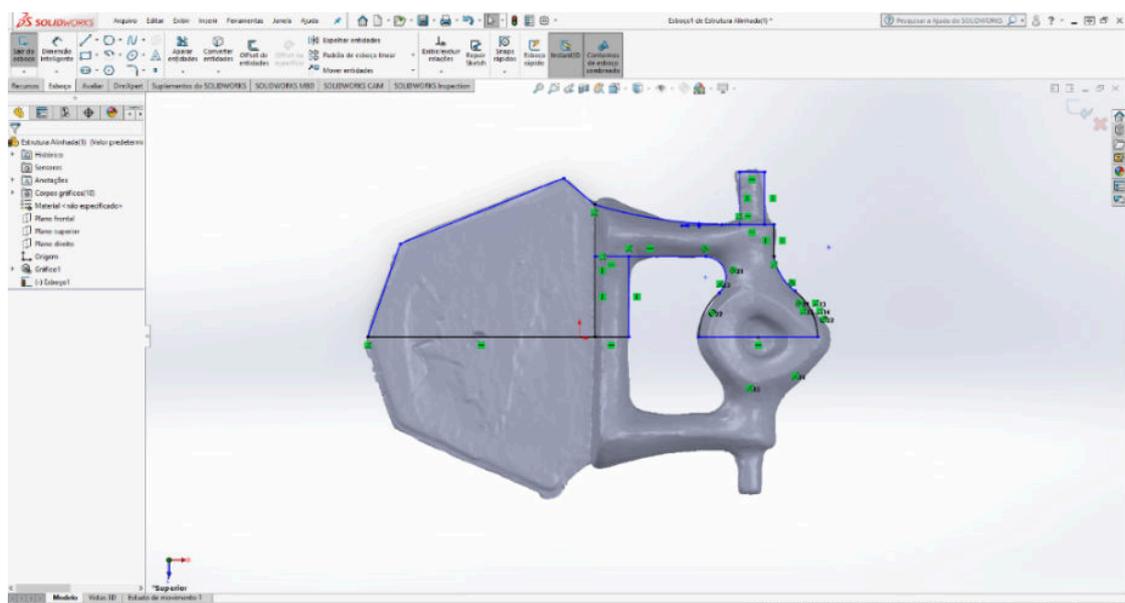


Figura 11. Criação do esboço a partir da vista superior

Fonte: Autor (2019)

Foram criados, a partir deste esboço, componentes tridimensionais que comporão esta peça.

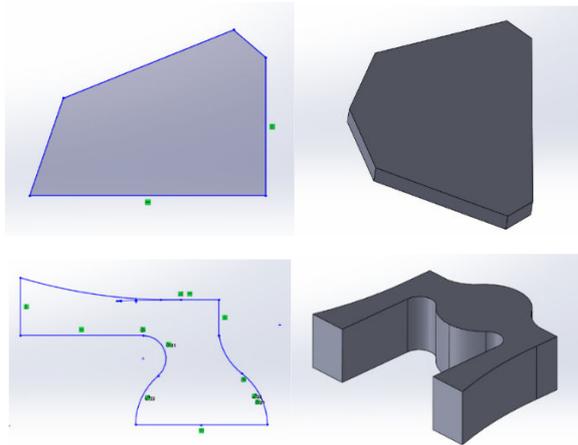


Figura 12. Criação tridimensional a partir do esboço  
 Fonte: Autor (2019)

A partir dos componentes tridimensionais, foi feita a montagem dos mesmos para compor a peça formada, como mostra a figura abaixo.

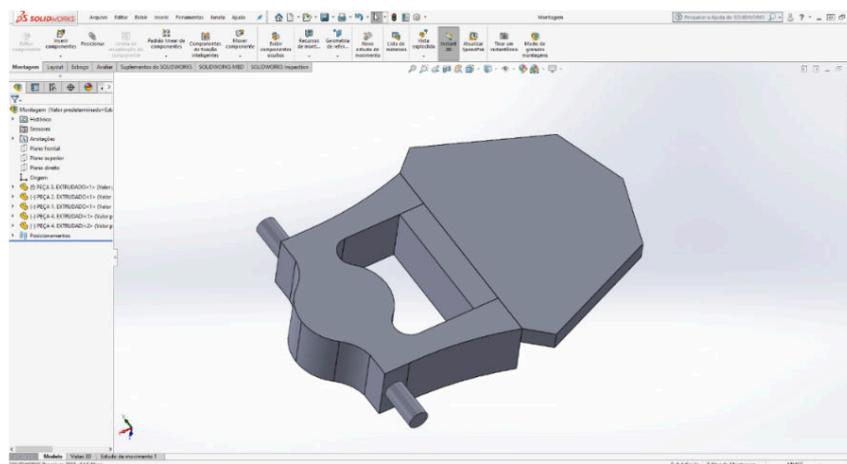


Figura 13. Modelo, em forma geométrica, da peça  
 Fonte: Autor (2019)

### 3.5. Dificuldades Encontradas

A implantação desta tecnologia tem um elevado custo de investimento, visto que todo o equipamento é importado e os cursos para operação são realizados por empresas especializadas no ramo. Vale ressaltar, também, o custo dos módulos dos programas de modelagem utilizados para este trabalho que gira em torno de, aproximadamente, R\$ 100.000,00 por ano, de acordo com pesquisa feita com fornecedores dos softwares em questão.

Dentro do contexto da própria operação, são feitos vários escaneamentos até que se obtenha fotos de qualidade, suficientes para fechar o objeto. E, após a obtenção do objeto, tem-se o mesmo em formas orgânicas (modelo em 3D que possui deformações em sua superfície). As deformações na superfície dificultam a definição de referências, visto que uma superfície plana do objeto pode facilitar o alinhamento do mesmo às coordenadas de trabalho x,y e z.

### 3.6. Análise de Viabilidade do Projeto

Observa-se, na tabela abaixo, que o valor, R\$ 60.181,80, **positivo**, indica que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas do caixa é maior que o presente das saídas. Dentro do horizonte de 2 anos de utilização dos programas, referente ao valor de R\$ 200.000,00, a empresa fará todas as atividades necessários nos programas de modelagem e o desativarão no fim do período citado. Caso haja necessidade de utiliza-los novamente, um novo cálculo de viabilidade será realizado.

A Taxa Mínima de Atratividade, representada pela sigla TMA na tabela, foi estipulada em 5,5%, baseando-se na taxa Selic, fornecida pelo Banco Central do Brasil, referente período em que este estudo foi realizado. Este número representa a taxa de juros utilizada nacionalmente para base de cálculo, considerado neste estudo como custo oportunidade.

Tabela 1. Cálculo de Valor Presente Líquido

Investimento	R\$ 200.000,00	Fluxo de Caixa Base	R\$ 60.000,00
TMA	0,055	Corte em Retrabalho	R\$ 12.000,00
		Corte Mínimo em Projeto	R\$ 1.300,00
Período	Fluxo de Caixa	Fórmula VPL	Fluxo de Caixa Atualizado
0	-R\$ 200.000,00	-R\$ 200.000,00	-R\$ 200.000,00
1	R\$ 60.000,00	R\$ 56.872,04	R\$ 56.872,04
2	R\$ 65.000,00	R\$ 58.399,41	R\$ 58.399,41
3	R\$ 70.000,00	R\$ 59.612,96	R\$ 59.612,96
4	R\$ 73.300,00	R\$ 59.168,99	R\$ 59.168,99
		VPL	R\$ 34.053,39

Fonte: Autor (2019)

### 3.7. Resultados Alcançados

Com base no *Lean Design*, todos os projetos de produto, utilizando a gestão visual, poderão se beneficiar de maior integração de pessoas, processos, ferramentas e tecnologia. O desenvolvimento dos produtos em ambiente virtual, permite que a

empresa possa responder de forma mais ágil às demandas do mercado, modificando o projeto antes mesmo que seja produzido o protótipo físico, podendo, assim, ter melhor posicionamento competitivo.

Os resultados gerados com a implementação desta tecnologia dentro do PDP foram:

- Eliminação de desperdício de material;
- Eliminação no tempo de retrabalho;
- Padronização de montagem;
- Melhoria no design do produto;
- Redução de custos de produção.

Estes resultados trarão considerável redução de custos, desde a concepção da ideia a fabricação dos componentes.

#### **4. CONCLUSÃO**

A utilização de modelagem 3D na etapa de desenvolvimento de produtos traz grande vantagem estratégica para empresa, bem como diminuição incertezas no projeto e custos de fabricação. Dentro do programa, podem ser feitos ensaios de montagem e correções em design e funcionalidades do produto. Assim, os custos de alteração do projeto do produto podem ser reduzidos de forma significativa.

A produção destes componentes na empresa também será afetada positivamente, visto que estes componentes criam a oportunidade para se desenvolver moldes de alto padrão. Estes moldes possibilitam a fabricação de componentes com o mínimo de desperdício de material e a eliminação da necessidade de acabamento nestes componentes.

O novo processo de desenvolvimento de produtos poderá reduzir para 7 a 10 dias o tempo necessário para criar um produto. Mesmo com alto custo de investimento, espera-se que o custo de desenvolvimento por produto caia para R\$ 700,00 a R\$ 1.000,00.

E como visto na análise de viabilidade de projeto, têm-se um panorama positivo de retorno do investimento em 2 anos, considerando que todos os componentes passarão pelo mesmo processo detalhado neste trabalho.

## 5. REFERÊNCIAS

ALARCÓN, L.F.; MARDONES, D.A. Improving the Design-Construction Interface' In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Guarujá, Brazil, 13-15 Aug 1998.

ALBRIGHT, R. E.; KAPPEL, T. A. Technology roadmapping: roadmapping the corporation. Research Technology Management Journal. Industrial Research Institute. v.46, p.31-40, 2003.

BOND, E U.; HOUSTON, M. B. Barriers to matching new technologies and market opportunities in established firms. The Journal of Product Innovation Management, v. 20, p. 120-135, 2003.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. O. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de monte carlo. Caderno de pesquisas em Administração. São Paulo, v.1, n.6, 1.trim.1998. Disponível em: <<http://www.infiniweb.com.br/albruni/academicos/bruni9802.pdf>>. Acesso em 17 out. 2019.

CUSUMANO, M. A.; NOBEOKA, K. Thinking beyond lean: how multi-project management is transforming product development at Toyota and others companies. New York: FreePass. 248 p., 1998.

CRAWFORD, M.; DI BENEDETTO, A. New Products Management. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 592 p., 2011.

DAL FORNO, A. J. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: integrando a abordagem Lean no projeto conceitual. Revista de Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru: UNESP, p. 45-58, 2008.

European Industrial Research Management Association. Technology roadmapping: delivering business vision, Paris: EIRMA. p.61, 1997.

FREIRE, J.; ALARCÓN, L. F., Achieving lean design process: improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 128, n. 3, p. 248-256, 2002.

GEOMAGIC DESIGN X. Disponível em: <https://br.3dsystems.com/software/geomagic-design-x>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GITMAN, L. J. *Princípios da Administração Financeira*. 7 ed. São Paulo: Harbra, 2002.

GORNI, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. *Revista Plástico Industrial*. São Paulo, p. 230-239, 2001.

GRIFFIN, A; HAUSER, J. R. Integrating R&D and marketing: a review and analysis of the literature. *Journal of Product Innovation Management*, v. 13, p. 191-215, 1996.

HAMEL, G; PRAHALAD, C.K. *Competindo pelo Futuro: Estratégias Inovadoras para Obter o Controle do seu Setor e Criar os Mercados de Amanhã*. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

KAPPEL, T. A. Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *Journal of Product Innovation Management*. v.18, n.1, p.39-50, 2001.

KRISTOFFERSON, A.; LINDEBERG, C. *Lean product development in swedish industry (Master's thesis)*. School of Economics, Stockholm. 2006.

KARLSSON, C.; ÅLHSTRÖM, P. The difficult path to lean product development. *Journal of Product Innovation Management*, v. 13, p. 283-295, 1996.

LIKER, J. *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill. 2004.

LIKER, J.; MORGAN, J. *The Toyota product development system: integrating people, process and technology*. New York: Productive Press. 2006.

LOCHER, D. A. Value Stream Mapping for Lean Development: a how-to guide for streamlining time to market. Estados Unidos: Productivity Press. 2017.

MACARRÃO JR., L. Importância do uso de “mock-up”s e de técnicas de prototipagem rápida e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva. São Paulo, 2004, 141 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da USP, SP. 2004.

MASCITELLI, R. The lean design guidebook: everything your product development team needs to slash manufacturing cost. Northridge: Technology Perspectives. 2004.

MADHAVARAM, S.; APPAN, R. Developing complex, business-to-business products: issues and implications. Management Search Review, v. 33, p. 715-733. 2010.

MARQUEZAN, L. H. F. Análise de Investimentos. Revista Eletrônica de Contabilidade Curso de Ciências Contábeis, Santa Maria, v.3, n.1 janjun. 2006. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/contabilidade/article/view/21>>. Acesso em 17 nov. 2019.

MCMANUS, H. L. Product development value stream analysis and mapping manual (PDVSM). Cambridge: The Lean Aerospace Initiative, Center for Technology, Policy, and Industrial Development, Massachusetts Institute of Technology, 2005.

OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT). Frascati Manual 2002: Proposed standard practice for surveys on research and experimental development, 2002. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2002\\_9789264199040-en](https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2002_9789264199040-en). Acesso em: 01 dez. 2012.

PAHL, G.; BELTZ, W.; FELDHUSEN, W. Engineering Design: A systematic approach. London: Springer, 1996.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.J.P.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping: A planning framework for evolution and revolution. 2003.

POSSAS, S. Concorrência e inovação. In: PELAEZ, V.: SZMRECSÁNYI, T. (Org). Economia da Inovação Tecnológica. São Paulo: Hucitec, Cap. 1, p 13-40. 2006.

REINERTSEN, D. Let It flow: how lean product development sparked a revolution. Industrial Engineering, v. 37, p. 40-45. 2005.

ROZENFELD, H. et al. Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAURA, C. E. Aplicação da Prototipagem Rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em médias e pequenas empresas. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Campinas: Unicamp, 2003.

JUNIOR, A. S. Análise comparativa entre processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos: um estudo de caso para determinação do processo mais indicado. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – Centro de Ciências Exatas e de tecnologia, Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.

MENDES, G. H. de S.; TOLEDO, J. C. Organizational characteristics in concurrent engineering: Evidence from Brazilian small and medium enterprises in the medical device industry. Concurrent Engineering, v. 23, p. 135-144. 2015.

SOLIDWORKS. Disponível em: <https://www.solidworks.com/ptbr/category/simulation-solutions>. Acesso em: 12 out. 2019.

SCHÄFER, H.; SORENSEN, D. J. Creating options while designing prototypes: value management in the automobile industry. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 21, p. 721-742. 2010.

SOUDER, W. E.; BUISSON, D.; GARRET, T. Success through customer-driven new product development: a comparison of US and New Zealand small entrepreneurial high technology firms. *Journal of Product Innovation Management*, v. 14, p. 459-472, 1997.

SMITH, R. P.; MORROW, J. A. Product development process modeling. *Design Studies*, v. 20, p. 237–261. 1999.

TAXA SELIC. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 12 out 2019.

TOLEDO, J. C. et al. Fatores críticos de sucesso no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica de pequeno e médio porte. *Gestão & Produção*, v. 15, p. 117-134. 2008.

ULLMAN, D. G. *The Mechanical Design Process*. Singapore: David Ullman LLC. 1997.

VOLPATO, N. (organizador). *Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2007.

VOLPATO, N. Prototipagem rápida / ferramental rápido no processo de desenvolvimento do produto. *Revista Máquinas e Metais*. São Paulo: Aranda, p. 76-89, 1999.

WILLYARD, C. H.; MCCLEES, C. W. Motorola's Technology Roadmap Process. *Journal Research Management*, v.30, p.13-19, 1987.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster. 1996.

WHITNEY, D. E. Assemble a technology development toolkit. *Journal Research Technology Management*, p. 52-58, 2007.