UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GRACIELE MARCELA ALMEIDA MACEDO

COMPARAÇÃO DE DUAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA CONCEPÇÃO DE NOVOS PRODUTOS: ESTEREOLITOGRAFIA E MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO (FDM) - UM ESTUDO DE CASO

JUIZ DE FORA
2010

GRACIELE MARCELA ALMEIDA MACEDO

COMPARAÇÃO DE DUAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA CONCEPÇÃO DE NOVOS PRODUTOS: ESTEREOLITOGRAFIA E MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO (FDM) - UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Marcos Martins Borges

JUIZ DE FORA

2010

Macedo, Graciele Marcela Almeida.
Comparação de duas diferentes tecnologias de prototipagem rápida na concepção de novos produtos : estereolitografia e modelagem por deposição de material fundido (FDM) – um estudo de caso / Graciele Marcela Almeida Macedo. – 2010.
66 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

1. Desenvolvimento de produtos (protótipo). I. Título.

CDU 658.512.2

GRACIELE MARCELA ALMEIDA MACEDO

COMPARAÇÃO DE DUAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA CONCEPÇÃO DE NOVOS PRODUTOS: ESTEREOLITOGRAFIA E MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO (FDM) - UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 9 de novembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

_____

Titulação, Nome (Orientador)

Instituição

_____

Titulação, Nome (Co-Orientador)

Instituição

_____

Titulação, Nome

Instituição

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força de vontade para escrever. Agradeço a minha mãe que sempre me apoiou e me deu todo o suporte que precisei. Aos meus avós por terem me dado a oportunidade de estar onde estou. Agradeço ao Tácio por ter tido toda compreensão com a minha falta de disponibilidade, e por ter me feito muito feliz todo esse tempo.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo no qual a Prototipagem Rápida é apresentada como importante ferramenta para o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto). O objetivo de projetar produtos é satisfazer as necessidades dos clientes e melhorar a competitividade da empresa no mercado. A prototipagem auxilia o processo de desenvolvimento de produto, uma vez que possibilita a simulação do produto em escala real, permitindo a identificação de erros de projeto. Neste trabalho será feita a comparação de dois processos de Prototipagem Rápida: Estereolitografia e FDM (Modelagem por Deposição de Material Fundido), utilizando para tal duas peças de mesma geometria, fabricadas por duas instituições tecnológicas distintas. Por fim, pretende-se identificar o melhor processo de Prototipagem Rápida utilizado pela empresa fabricante de relógios de ponto.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, FDM e Estereolitografia.

ABSTRACT

This monograph contains a study in which Rapid Prototyping is presented as an important tool for the PDP (Product Development Process). The aim of designing products is to meet clients' needs and improve the company's competitiveness in the market. Prototyping helps the process of product development once it makes it possible to simulate the product in real scale as well as to identify errors in product design. Two Rapid Prototyping process will be compared and contrasted here: Stereolithography (SLA) and Fused Deposition Modeling (FDM). Two parts with the same geometry made by two distinct technological institutions will be used in the comparisons. Finally, the intention here is to identify the better process of Rapid Stereotyping used by a company which makes time clocks.

Keywords: Rapid Prototyping, FDM, SLA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Utilização de métodos e técnicas no Processo de Desenvolvimento de Produto 15
Figura 2 – Custos de alteração de projeto ao longo do ciclo de Desenvolvimento de Produto 27
Figura 3 – Fases do ciclo de vida do produto 32
Figura 4 – Fatiamento do arquivo STL. 36
Figura 5 – Fases de desenvolvimento da Prototipagem Rápida 37
Figura 6 – Esquema básico de desenvolvimento da Estereolitografia 39
Figura 7 – Peça desenvolvida a partir de Estereolitografia. 40
Figura 8 – Esquema básico de desenvolvimento de peças por meio de FDM. 41
Figura 9 – Peça desenvolvida a partir de FDM. 42
Figura 10 – Principais aplicações dos protótipos executados em PR 45
Figura 11 – Representação da tampa do gabinete do impressor 56
Figura 12 – Imagem da Viper™ SLA® system. 57
Figura 13 – Peça prototipada pelo Núcleo de Prototipagem Rápida - SENAI 58
Figura 14 – FDM Vantage 59
Figura 15 – Imagem da peça prototipada pelo LAMOT (vista frontal e interior) 60
Figura 16 – Peças prototipadas a partir da Estereolitografia e FDM. 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das etapas do processo de projeto 30
Tabela 2 – Tabela comparativa dos processos de Prototipagem Rápida..... 62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 15
1.2 JUSTIFICATIVA 16
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 17
1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES 17
1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 18
1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 18
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 20

2. REVISÃO DE LITERATURA 21

2.1 O PROJETO 21
2.1.1 O PROJETO POR MEIO DO TEMPO 21
2.1.2 CONCEITO DE PROJETO 24
2.1.3 TIPOS DE PROJETOS 28
2.1.4 ETAPAS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO 29
2.1.5 REPRESENTAÇÃO DO PROJETO 33
2.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA 35
2.3 ESTEREOLITOGRAFIA 39
2.4 MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO 40
2.5 COMPARAÇÃO ENTRE DUAS METODOLOGIAS DE PR: ESTEREOLITOGRAFIA E FDM 42
2.6 REALIDADE BRASILEIRA 44

3. DESENVOLVIMENTO 46

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA 46
3.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE 48
3.2.1 MERCADO ATUAL DA INDÚSTRIA FABRICANTE DE RELÓGIO DE PONTO 48
3.2.2 A EMPRESA 49
3.2.3 VISÃO GERAL DO PROJETO 51
3.2.4 UTILIZAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO PROJETO 54

4. RESULTADOS..... 60

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROTÓTIPOS DO ESTUDO DE CASO 60

4.2 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA 62

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 63

6. REFERÊNCIAS 65

7. TERMO DE AUTENTICIDADE..... 67

1. INTRODUÇÃO

O mercado vive um período de grande avanço tecnológico, que exige que as empresas mantenham alto nível de flexibilidade e de inovação. As exigências do mercado aliadas ao aumento da concorrência fizeram com que o ciclo de vida dos produtos diminuísse, e o desenvolvimento desses se tornasse mais rápido e criterioso. Para Volpato (2007) “a garantia de sucesso comercial de um produto está associada à habilidade da empresa em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos que atendam satisfatoriamente a essas necessidades” (p.1).

Atualmente, os ativos mais valiosos de uma empresa são a informação, o conhecimento e, principalmente, a capacidade de atender as necessidades de consumo no momento em que elas surgem. A utilização de tecnologias de informação contribui para a integração dos setores da organização, por meio do conhecimento dos indivíduos e dos equipamentos utilizados, promovendo, portanto, resultados positivos no desenvolvimento de projetos que envolvem toda a empresa. O sucesso do projeto de um novo produto está vinculado à eficácia e eficiência de seu processo de desenvolvimento, uma vez que a capacidade de projetar com rapidez e qualidade é fator decisivo para a sobrevivência no mercado. A integração e a rapidez nos projetos de desenvolvimento de produtos são elementos chaves na avaliação da competitividade das empresas (Selhorst Junior, 2008).

Além do aumento das exigências dos consumidores, a complexidade dos processos produtivos atingiu o PDP, uma vez que os produtos se tornaram cada vez mais diversificados no que tange o número de formas e quantidade de componentes. A diminuição dos erros de desenvolvimento, a inserção de elementos que garantam a robustez do produto, e por fim, o alinhamento dos requisitos dos clientes com as características do produto são formas de garantir o sucesso do PDP (Pizzolito, 2004).

Nesse cenário, a tecnologia de Prototipagem Rápida ganha espaço, pois permite a construção de modelos físicos dos produtos, que auxiliam a equipe do projeto na avaliação e tomada de decisões dirigidas em várias fases antes da conclusão do projeto. A transmissão dos conceitos do produto a toda equipe e ao Setor de Produção é um fator preponderante para que o projeto seja concluído.

A prototipagem rápida tem uma importante participação no projeto de produto, ora como forma eficaz de comunicação entre a equipe de projeto e auxílio no processo de decisão, ora na antecipação de testes que indicam erros cometidos no projeto ainda nas fases iniciais de

desenvolvimento. Assim, a utilização da prototipagem rápida diminui o tempo de desenvolvimento do produto além de favorecer a antecipação rápida de falhas, reduzindo ou eliminando retrabalhos nas soluções de projeto. "O ganho de tempo pode ser empregado tanto para otimização do produto, como para a redução do tempo de lançamento" (Netto et al. 2003).

Segundo Pizzolito (2004) apud Rosenau (1996), a pesquisa realizada entre membros do PDMA (Product Development and Management Association) cujo objetivo era determinar o grau de importância do uso de técnicas e ferramentas utilizadas nos projetos de desenvolvimento de produto, apontou a Prototipagem Rápida como a ferramenta mais importante no processo de desenvolvimento de produto, quando comparada a Engenharia Simultânea, CAD, FMEA, dentre outras. Entretanto, a utilização dessa tecnologia ainda é baixa em relação a ferramentas e técnicas como CAD e FMEA, fato esse que pode ser explicado pelo pouco tempo de lançamento dessa tecnologia no mercado e pela pouca disseminação no ambiente das empresas. A Figura 1 mostra a comparação das ferramentas utilizadas no desenvolvimento de produtos quanto a sua utilização nas empresas.

Este trabalho propõe, então, discutir como a tecnologia de Prototipagem Rápida pode ser utilizada em projetos de desenvolvimento de produto, para que o tempo de desenvolvimento seja reduzido e a qualidade dos produtos finais seja melhorada. Além disso, esse trabalho visa colaborar com outros projetos de pesquisa que descrevem essa tecnologia, uma vez que essa linha de estudos ainda é incipiente no país.

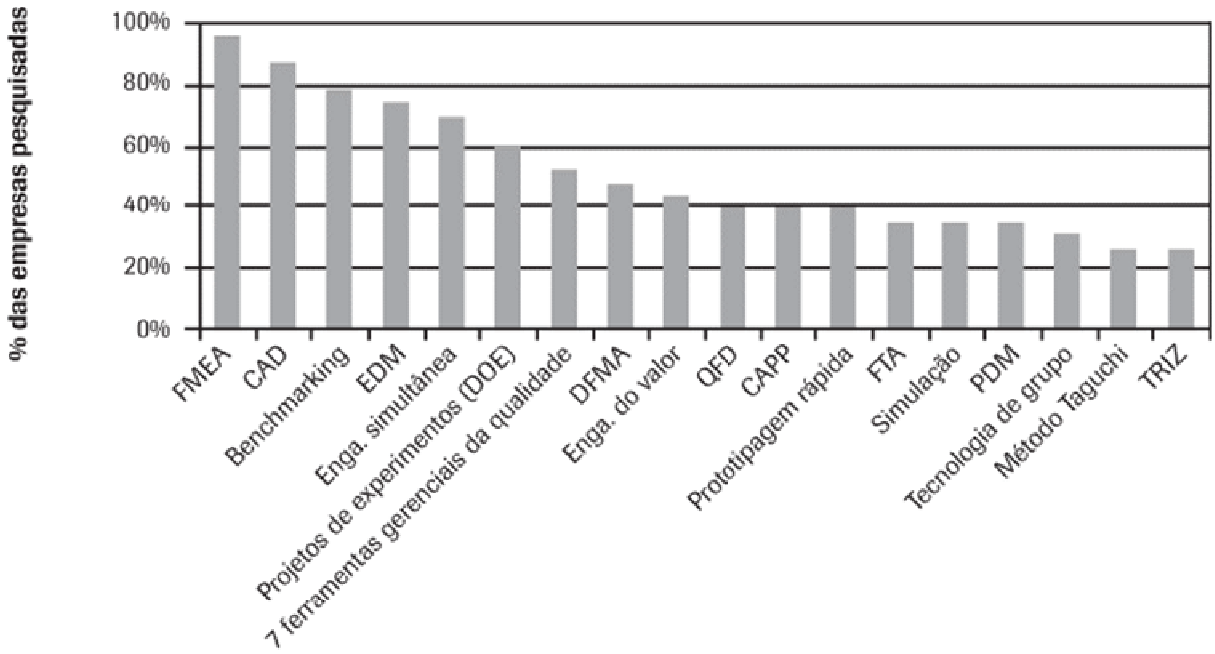

Figura 1 – Utilização de métodos e técnicas no processo de desenvolvimento de produto
Fonte: Toledo, 2008.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os benefícios do projeto interativo, no qual ocorre a fusão do projeto do produto com o projeto do processo que o produz, residem, principalmente, na redução do tempo de atividades do projeto, desde o conceito até a introdução no mercado, ou seja, a redução do tempo de lançamento - TTM (time to market) do produto. A redução do tempo de lançamento do produto aumenta a competitividade da empresa, uma vez que essa tem a oportunidade de melhorar o desempenho de seus produtos.

A identificação e a resolução de problemas encontrados no início de um projeto de desenvolvimento de produto diminuem os custos e aumentam as chances de implementação das soluções encontradas, uma vez que esse processo é menos oneroso nessa fase. O desenvolvimento de produto vem sendo beneficiado pela utilização de processos de Prototipagem Rápida, uma vez que as peças prototipadas permitem avaliação visual dos possíveis erros de projeto com a simulação do produto em escala real. Além disso, essas representações do produto permitem uma maior integração da equipe do projeto, já que facilita a comunicação e auxilia no processo de tomada de decisão. Segundo Saura (2003), a Prototipagem Rápida se faz válida pelas inúmeras aplicações nas várias fases do PDP

(Processo de Desenvolvimento de Produto), uma vez que pode ser aplicada para diversas finalidades, tais como: aprendizagem, integração e marcos do projeto.

Adicionalmente, a taxa de sucesso do PDP pode ser melhorada por meio da utilização do protótipo, devido ao aumento da confiabilidade das informações que serão obtidas nas análises dos mesmos. Cada ciclo do projeto, no qual se utiliza a tecnologia de prototipagem representa um ganho de experiência e se traduz em novas informações que serão úteis no direcionamento correto da equipe para o incremento de melhorias no produto.

Por fim, com a utilização da tecnologia de Prototipagem Rápida é possível, numa fase mais conclusiva do Projeto de Desenvolvimento do Produto, determinar os meios de produção e o processo produtivo pelo qual irá obter-se-á o produto, com menor custo e maior qualidade.

Por isso, este trabalho irá analisar a utilização de Prototipagem Rápida no desenvolvimento de produto em uma empresa, e as vantagens de maior qualidade, rapidez e menor custo dos projetos desenvolvidos por ela. A comparação entre as duas tecnologias de Prototipagem Rápida: FDM (Deposição por Material Fundido) e Estereolitografia - servirão para o apontamento das vantagens e desvantagens da utilização de cada uma dessas ferramentas, bem como, para selecionar a melhor tecnologia para o desenvolvimento de um produto.

1.2 JUSTIFICATIVA

Por meio da análise de exemplos de projetos de desenvolvimento de produto, observa-se que a representação física do objeto a ser fabricado é fundamental para a análise e entendimento dos requisitos do mesmo pela equipe do projeto. Por essa razão, foi proposta neste estudo a comparação de duas formas de Prototipagem Rápida.

Este trabalho trata de um estudo de caso baseado na análise de duas peças de mesma geometria, desenvolvidas para um projeto de desenvolvimento de produto de uma empresa fabricante de relógios de ponto. Para a conclusão do projeto era necessária a realização de um teste integrando todas as partes do equipamento, assim, foram desenvolvidas duas peças, que formavam o gabinete do produto, por meio de Prototipagem Rápida. As peças por meio foram fabricadas a partir de processos de Estereolitografia e de Deposição por Material Fundido, cada uma para uma fase do teste. A partir destes testes e de análises das próprias peças foi

realizado um trabalho de comparação das duas tecnologias de PR, bem como a contextualização dessa tecnologia nos projetos de desenvolvimento de produto.

O trabalho ganha importância no cenário acadêmico atual, pois trata de um assunto ainda pouco abordado pelos projetos de pesquisa. Este tema ainda é incipiente no país, tanto pelo fato de ser uma tecnologia nova no mercado, quanto pelo alto custo das máquinas e da própria fabricação dos protótipos, o que inviabiliza a rápida disseminação desses processos nas organizações.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Este estudo envolverá uma empresa fabricante de relógios de ponto, localizada na cidade Juiz de Fora/MG. A empresa, recentemente, passou por um processo de reformulação de sua linha de produtos, utilizando no projeto de desenvolvimento dos novos relógios os dois tipos de Prototipagem Rápida estudadas neste trabalho.

Por meio de realização de testes e de análises das próprias peças pôde-se estabelecer parâmetros de comparação entre a Estereolitografia e a FDM. Este trabalho irá apresentar, portanto, os resultados destes testes e análises e determinará qual das tecnologias apresentou maior funcionalidade para esse projeto. Além disso, será abordada a utilização de todas as tecnologias de Prototipagem Rápida em projetos de Desenvolvimento de Produto.

1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES

Neste trabalho pretende-se mostrar a importância da Prototipagem Rápida como ferramenta no processo de desenvolvimento de produto. A obtenção de protótipos tornou-se mais rápida e fácil com a evolução das tecnologias de PR, permitindo assim um maior uso dos mesmos e a conseqüente melhora nos projetos de PDP.

O surgimento dessa tecnologia pode ser considerado um marco na manufatura de protótipos, uma vez que transformou uma tarefa demorada e especializada em uma atividade rápida, e que contribui para a qualidade do produto final como um todo.

Por fim, este estudo apresenta as peças prototipadas como um protótipo funcional, ou seja, um protótipo mais elaborado do produto, que permite a realização de testes e demonstrações formais em condições reais de utilização.

1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Para a compreensão do objetivo desse trabalho é necessário a definição dos termos Projeto, Desenvolvimento de Produto e Prototipagem Rápida. Projeto pode ser caracterizado por um conjunto de atividades realizadas para a solução de problemas, definidas por meio de um processo de planejamento e busca de informações que suportam a tomada de decisão. Segundo Volpato (2007), o processo de desenvolvimento de produto pode ser entendido como um conjunto de procedimentos, que se utiliza de ferramentas adequadas, para buscar dentre várias soluções aquela que atenda as necessidades do cliente, contemplando todos os requisitos determinados por estes. A Prototipagem Rápida, por sua vez, pode ser caracterizada como uma dessas ferramentas de apoio ao desenvolvimento de produto, uma vez que permite a observação e a avaliação dos produtos a serem projetados.

Com base nessas definições, o objetivo dessa pesquisa é caracterizar a tecnologia de Prototipagem Rápida como principal ferramenta de Desenvolvimento do Produto em projetos realizados com essa finalidade. Além disso, este trabalho irá comparar duas formas de Prototipagem Rápida: FDM e Esteriolitografia, a fim de identificar o melhor processo de prototipagem, baseado nas peças prototipadas para o projeto da nova linha de produtos da empresa fabricante de relógios de ponto.

Para que o objetivo seja atingido será caracterizado o cenário do desenvolvimento de produtos, bem como a utilização das tecnologias de Prototipagem Rápida e a realização do projeto propriamente dito. Serão avaliadas, ainda, duas peças de mesma geometria segundo as seguintes variáveis: forma, custo, tempo de execução, nível de precisão de detalhes e utilização do protótipo. Este estudo contribuirá para o conhecimento de duas das mais modernas técnicas de fabricação de protótipos utilizados pelas indústrias.

1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A principal etapa de elaboração de um trabalho é a determinação das ferramentas de pesquisa a serem utilizadas. Sendo assim, faz-se necessário o estabelecimento das técnicas mais adequadas ao tipo de investigação empregado. Partindo dessa definição, este trabalho terá como característica uma abordagem qualitativa, de natureza aplicada e caráter exploratório, de acordo com as orientações metodológicas do Estudo de Caso.

A pesquisa qualitativa tem como objetivo a observação, a descrição, e principalmente, a interpretação de um fenômeno que se observa. Além disso, esse tipo de abordagem não busca enumerar ou medir eventos e, geralmente, não emprega modelos estatísticos. O foco da pesquisa qualitativa é amplo e é resultado do contato direto do pesquisador com o objeto de estudo.

Objetivando comparar duas formas de Prototipagem Rápida por meio de um estudo de caso em uma empresa de pequeno porte foram estabelecidas as seguintes fases de desenvolvimento do trabalho:

1. Pesquisa bibliográfica preliminar: análise do tema e verificação de viabilidade de desenvolvimento do estudo;
2. Definição do problema;
3. Pesquisa bibliográfica;
4. Experimentação:
    a. Seleção de dois processos de prototipagem rápida;
    b. Seleção de uma peça fabricada por cada um dos processos de prototipagem rápida;
5. Análise comparativa entre os dois processos de prototipagem rápida, por meio das seguintes variáveis:
    a. Tempo de fabricação;
    b. Custo de fabricação;
    c. Adequação do processo a geometria da peça;
    d. Qualidade.

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria eletrônica focada no desenvolvimento de soluções tecnológicas para o mercado de gestão de pessoas, tendo como base uma linha de relógios de ponto informatizados desenvolvida com tecnologia nacional, situada na cidade de Juiz de Fora. Essa empresa foi selecionada pelo fato de seu setor de Pesquisa e Desenvolvimento ser destaque em território nacional pelo lançamento de soluções inovadoras nesse nicho de mercado. O setor de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) da empresa é responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, pesquisa de novas tecnologias a serem aplicadas na empresa e desenvolvimento de softwares para a utilização em conjunto com os relógios de ponto.

A partir de uma Portaria lançada pelo Ministério do Trabalho e Emprego teve de ser iniciado um projeto de desenvolvimento de novos modelos da linha de produtos da empresa, a

fim de que esses se adequassem as normas que a disciplinavam a partir de seu lançamento o registro eletrônico de ponto. Na etapa de projeto detalhada foram utilizadas duas tecnologias de Prototipagem Rápida para a construção de duas peças do gabinete do equipamento para a realização de testes de integração do produto como um todo (firmware e hardware).

Nesse sentido, esse trabalho foi conduzido por meio de testes e análises, com base nos parâmetros de comparação estabelecidos previamente, das peças prototipadas. Foi selecionada uma peça de cada tecnologia de Prototipagem Rápida (Estereolitografia e FDM), e realizados testes de integração de outras partes do hardware do equipamento, bem como análise visual e de documentação do projeto de cada uma das peças. Após a comparação, foram elaboradas tabelas com os resultados obtidos, que serão apresentados no decorrer desse trabalho.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo I foi desenvolvida a introdução e a contextualização da tecnologia de Prototipagem Rápida no processo de desenvolvimento de produto. Além disso, foi aplicada a justificativa do trabalho, apresentado o objetivo, bem como o delineamento do estudo de caso e da metodologia a ser aplicada no desenvolvimento do estudo.

No capítulo II foi realizada uma revisão de literatura, na qual foi realizada uma contextualização dos protótipos em projetos de produto. Foram abordados, também, os principais tipos de Prototipagem Rápida, as vantagens e desvantagens dessa tecnologia, e por fim foi realizada uma comparação inicial entre as tecnologias.

No capítulo III foi apresentado o estudo de caso sobre a utilização da Prototipagem Rápida no desenvolvimento de novos produtos da linha de registradores de ponto na indústria eletrônica.

No capítulo IV foram apresentados os resultados obtidos na análise comparativa das duas peças manufaturadas por meio de Estereolitografia e FDM.

No capítulo V foram feitas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta as considerações gerais relacionadas a projeto, focando, principalmente, no desenvolvimento de produtos. As considerações são a respeito do contexto histórico do projeto de produto e de sua conceituação. A seguir o texto foca no ciclo de desenvolvimento de produto com referencial em uma metodologia atual e utilização de conceitos e procedimentos usuais, com o objetivo de estruturar requisitos para um bom projeto.

Por fim, serão apresentadas tecnologias de prototipagem rápida: a estereolitografia e a deposição por material fundido, apresentando inicialmente um contexto da prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de produto, a fim de compreender melhor como acontecem e com que finalidade há o desenvolvimento destas

A discussão proposta pretende estabelecer o entendimento aprofundado no que se refere à aplicação da metodologia e tecnologias apresentadas no desenvolvimento de produtos.

2.1 O PROJETO

2.1.1 O PROJETO ATRAVÉS DO TEMPO

As atividades projetuais são bastante antigas, apesar de ser difícil apurar com precisão quando esta surgiu. Pode-se considerar que o ser humano projeta e constrói artefatos desde a invenção de ferramentas com pedra lascada até os modernos sistemas de transporte a pelo menos cinco mil anos. Todos estes tipos de objetos representam o resultado final de um longo e freqüentemente complexo processo de projeto (Borges, 2004). Entretanto, vale ressaltar que a atividade de projetar nesse contexto não estava relacionada com os projetos de produto que conhecemos hoje: a concepção passava diretamente para os materiais a serem processados, sem representações prévias do produto.

As sociedades romanas e chinesas já planejavam e produziam seus artefatos, dividindo as tarefas de acordo com as habilidades dos artesãos (Oliveira, 2001). Esse sistema proporcionava volumes grandes de produção, mas baixa padronização dos bens produzidos, ao contrário do que se verifica na produção industrial atualmente. Antes da era industrial, projetar estava intimamente ligado a obras de arte e artesanato.

Com o advento da Revolução industrial começaram a aparecer as primeiras práticas consagradas de projeto, que padronizaram a solução a determinados problemas. Além disso, surgiram novas máquinas, que possibilitaram a padronização e intercambialidade de peças constituintes dos produtos, delimitando, assim, a fronteira entre a produção artesanal e industrial. Após a Primeira Guerra Mundial surgiu um novo sistema de produção, caracterizado pela produção em massa, baseada nas técnicas de Henry Ford.

De acordo com Rozenfeld (2006), os princípios da administração científica, de divisão de tarefas e da estruturação funcional das organizações moldaram o surgimento da função de desenvolvimento de produto nas organizações. Esse modelo de desenvolvimento é seqüencial, pois define as informações sobre o produto em uma ordem lógica de uma área funcional a outra. Entretanto, não havia uma interação forte entre as áreas desenvolvedoras do projeto durante ou após a execução das atividades. Não existia uma formalização do gerenciamento das áreas, o que gerava cultura e padrões próprios de cada uma das áreas.

Como conseqüência dessa falta de vínculo entre as partes integrantes do projeto surge à necessidade de se criar um meio confiável de comunicação entre as áreas. Um marco importante para o desenvolvimento de produto foi a proposição e difusão de Metodologias de Projeto. A proposta era desenvolver uma seqüência de etapas considerada mais racional para as atividades projetuais.

Nesse contexto surge também o início do desenvolvimento das linguagens de projeto, que seriam capazes de descrever o artefato a ser projetado e unificar as definições do produto para todas as partes integrantes do projeto.

A atividade de projetar se transformou em elemento estratégico em termos de qualidade e de produtividade, no decorrer do século XX, quando conhecimentos científicos foram incorporados ao projeto e métodos foram utilizados na solução de problemas, bem como na produção dos bens. Estas mudanças proporcionaram a fragmentação dos conhecimentos do produto e a falta de uma visão compartilhada do seu ciclo de vida. Se na produção artesanal, o mestre artesão possuía uma visão geral e sistêmica em relação ao produto que este manufaturava, na produção em massa o operário necessita apenas de um fragmento deste conhecimento, ou seja, apenas o entendimento necessário para a execução de procedimentos bem mais simples.

A complexidade e o dinamismo dos ambientes econômicos, tecnológicos, e sociais foram aumentando ao longo dos anos, com destaque para o crescimento da variedade dos produtos e para a valorização dos prazos de entrega e custos. A intensificação das exigências

do mercado consumidor levou a diversas proposições a respeito do desenvolvimento de produto, as quais geraram profundas transformações na gestão do desenvolvimento dos produtos.

O movimento da Engenharia Simultânea, iniciado no contexto descrito anteriormente, mudou a estrutura organizacional do desenvolvimento de projeto, criando equipes multifuncionais. As equipes multifuncionais promoviam uma integração maior entre as áreas do projeto e promoviam a diminuição de custos e tempo, bem como o aumento de qualidade. Foi nesse momento que técnicas como QFD (Desdobramento da Função Qualidade), FMEA (Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos), e a Análise de Valor foram sistematizadas e usadas em conjunto no desenvolvimento de produtos. Outra contribuição foi o alinhamento entre as atividades de projeto e o Planejamento Estratégico da empresa, que permitiu uma forma sistemática de desenvolvimento de produtos que compartilhe de componentes chaves, mas cujas características e funções atendam um segmento específico de mercado. Isso permite atender melhor os clientes, dentro de um custo de projeto e manufatura viável.

Somente no final da década de 90 é que as primeiras definições de desenvolvimento de produto como processo surgiram e foram difundidas nas empresas como método de excelência no desenvolvimento de produtos. Dessas definições pode-se citar a Stage-Gates, Engenharia Simultânea e Funil, que comungam várias características semelhantes e influenciaram uma às outras. Juntas, podem ser denominadas de Desenvolvimento Integrado do Produto, que é uma evolução do desenvolvimento seqüencial. Segundo Rozenfeld (2006), algumas vantagens competitivas obtidas são a maior capacidade de projetar e produzir uma maior variedade de produtos, atingindo diferentes nichos de mercado e obtendo uma maior taxa de renovação de produtos, tornando as empresas competitivas frente ao mercado.

Na atualidade, a atividade de projeto está intimamente relacionada à estratégia de inovação tecnológica traçada em cada organização, sendo considerada como um fator de bom desempenho empresarial. As empresas vinculam seu sucesso no mercado à maneira como projetam seus produtos e de sua habilidade de se organizar para atender aos consumidores, processando e aprendendo com a análise do ciclo de desenvolvimento de seus produtos. Tem sido crescente a preocupação das empresas com seus modelos de desenvolvimento e gestão de projetos, além da própria avaliação do nível de maturidade em que estes modelos de gestão se encontram.

2.1.2 CONCEITO DE PROJETO

As principais mudanças organizacionais e as iniciativas para gerar vantagens competitivas têm sido executadas, em sua maior parte, por meio de projetos organizacionais. O PMI (Project Management Institute, 2004) define projeto como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único. Então, para que um conjunto de atividades seja considerado um projeto é necessário que sejam definidas as datas para seu início e seu término. Além disso, um projeto também precisa gerar algo único, ou seja, é necessário que haja a transformação de uma situação existente em uma nova situação. A definição de que um projeto é uma atividade que produz a descrição de um artefato que ainda não existe de modo a viabilizar sua manufatura é uma das mais difundidas atualmente. Entretanto, não há uma definição satisfatória para projeto, mesmo que seja delimitado o seu campo de atuação. O que existe é um senso comum a respeito das atividades projetuais.

Projetar exige uma grande quantidade de conhecimentos tácitos, os quais só são adquiridos por meio da prática. A geração de idéias depende do desenvolvimento de habilidades, associada à experiência dentro do domínio do objeto a ser projetado. Do ponto de vista do trabalho, projetar é uma atividade intelectual, criativa, que requer conhecimentos em áreas multidisciplinares, além de conhecimento do campo a ser trabalhado. Além disso, projetar é um processo de otimização de requisitos que variam em função do tempo, com objetivos predeterminados e condicionantes em partes conflitantes.

Segundo Pahl (2005), o projeto participa de forma significativa do ciclo de vida do produto. O ciclo se inicia por uma demanda do mercado, começando pelo planejamento do produto e, após a sua utilização, terminando na reciclagem ou descarte. Caso o desenvolvimento não seja destinado para um produto completo, mas para apenas um subconjunto, os limites dos requisitos será ainda mais estreito, exigindo, assim, que a relação com as demais áreas envolvidas no projeto seja ainda mais bem definida.

De modo geral, pode-se caracterizar o desenvolvimento de produto como um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades dos consumidores e das restrições tecnológicas impostas pelo contexto, bem como a posição estratégica da organização, elaborar os requisitos de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. (Rozenfeld, 2006)

Nas organizações orientadas por projetos de produto, a responsabilidade de desenvolvimento e de subseqüente produção compete a diferentes setores da empresa. A

subdivisão de tarefas exige que estas sejam formuladas, bem como uma coordenação, muitas vezes realizadas por um gerente de projetos, seja definida.

Segundo Borges (2004), o principal problema envolvido na atividade projetual se refere a como explicitar e representar as soluções desenvolvidas pela equipe do projeto, bem como a decodificação dessas informações para a estruturação de especificações ainda incompletas do projeto. Dentro dessa linha de abordagem, destacam-se algumas propostas que definem que projeto é:

- Um processo de tomada de decisão;
- Uma atividade de resolução de problema;
- Um processo de planejamento e busca;
- Um processo de satisfação de restrições.

Segundo a abordagem para a conceituação de projetos originada pela Sociologia, projeto é um processo de construção coletiva de um objeto viabilizado pela organização que a sustenta. Nessa vertente, a atividade projetual pode ser considerada como um processo interativo e paralelo as demais atividades. Além disso, pode-se destacar que nessa abordagem a identificação das diversas tarefas do projeto constituindo o todo, define as fronteiras entre as diversas etapas do projeto.

Podem-se citar quatro aspectos referentes ao processo de desenvolvimento de um projeto, que se apresentam com uma importância significativa tanto para um melhor entendimento da atividade projetual em si, quanto para contribuir para a estruturação de ambientes colaborativos ao projeto. São os seguintes aspectos:

Organização: A escolha da estrutura organizacional do projeto depende das características do projeto e de restrições externas a ele, como uma política organizacional já existente. A organização das atividades é definida pela estrutura do objeto que se forma ao longo do desenvolvimento do projeto. A identificação de todas as tarefas a serem desempenhadas delimita as fronteiras do escopo do projeto e estabelece as relações entre os envolvidos no mesmo. Além disso, o estabelecimento de subprojetos pode ser feito segundo os critérios que melhor se adequarem ao projeto; entretanto o mais importante é a elaboração de uma interface clara entre os subprojetos, que determina o sucesso do projeto como um todo.

Contextos: O contexto em que estão inseridos os projetos descreve o ambiente em que o projeto opera. Sua observação é fundamental, já que o gerenciamento das atividades do dia-a-dia é necessário, mas não é o suficiente para o sucesso do projeto. Porquanto, deve-se

levar em consideração padrões e regulamentos, bem como questões pertinentes a situação cultural da empresa em que está sendo desenvolvido o projeto. O contexto também pode ser definido como o universo de competências da equipe do projeto, bem como os modelos utilizados para as representações projetuais. Os envolvidos no projeto (stakeholders) implementam soluções segundo seus universos de especialização, agregando parte de seu conhecimento as atividades do projeto. Assim, cada participante da equipe do projeto deve criar interfaces de correlação com os demais contextos do projeto.

Condicionantes: Os condicionantes de um projeto são as premissas e as restrições que norteiam suas diversas partes constituintes. Premissas são fatores que devem ser considerados verdadeiros para fins de planejamento e oferecem um grau de risco caso não sejam atendidas. Já as restrições são os fatores que afetam diretamente o desempenho do projeto e a maneira com que uma atividade será executada. As restrições podem ser diversas, variando desde restrições tecnológicas até restrições de custo, desempenho ou processamento. Convém ressaltar que tanto premissas como restrições, além de serem expostas no Termo de Início, também devem ser descritas na Declaração de Escopo do Projeto ou em um documento específico, tornando-se assim, parte integrante do projeto.

Discurso: O discurso de um projeto pode ser entendido como a linguagem utilizada pela equipe do projeto para a integração de informações dos diversos subprojetos. Deve-se estabelecer uma linguagem padrão para cada projeto segundo o contexto em que ele está inserido e os elementos constituintes do projeto.

Os projetos se caracterizam precisamente pela falta de rotina, ou seja, pela presença do inesperado. Um dos motivos da presença da incerteza vem do fato de os projetos serem progressivamente elaborados, isto é, em suas fases iniciais não existem as especificações detalhadas no nível necessário, e à medida que o projeto é desenvolvido informações incrementais são adicionadas ao projeto. Normalmente, considera-se que as escolhas de alternativas ocorridas no início do ciclo de desenvolvimento são responsáveis por aproximadamente 85% dos custos do produto final. Ou seja, é exatamente no momento de maior incerteza sobre o produto e suas especificações que a maior parte das decisões são tomadas.

Deve ser considerado, também, que o risco de ajustes no projeto deve ser mitigado nas fases seguintes, uma vez que o custo de modificações aumenta ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto. Segundo Saura (2003), o gerenciamento das incertezas num processo 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 2, na qual é exibido o crescimento dos gastos ao longo das fases do projeto.

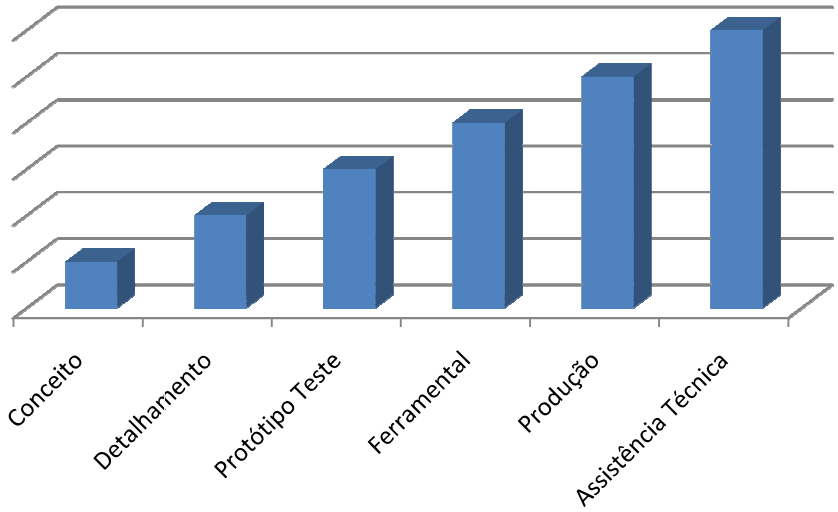

Figura 2 – Custos de alteração de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento de produto
Fonte: VOLPATO, 2007 (Adaptado).

Por mais que se procure tomar as melhore decisões e acertar as definições no início do desenvolvimento, sempre ocorrerão mudanças no projeto. O custo de uma modificação de uma decisão tomada nas fases iniciais aumenta ao longo do desenvolvimento do projeto, pois, para se efetivar as mudanças solicitadas, as definições anteriores são invalidadas.

Assim, defini-se que o segredo para o sucesso das decisões tomadas é o gerenciamento de incertezas. A mitigação das dúvidas por meio de informações confiáveis e controle do atendimento dos requisitos favorecem o bom desenvolvimento de produto.

Segundo o PMI (2004), os projetos surgem quando uma organização demanda ações que não podem ser executadas dentro de seus limites operacionais normais. Essas ações são conseqüência de uma necessidade estratégica identificada, tais como: uma demanda legal, um avanço tecnológico, ou uma demanda de mercado.

Quanto maior for o projeto, mais difícil será para compartilhar sem transtornos as informações entre todos os membros da equipe e as parte interessadas. Isso se aplica especialmente nos casos em que mais de uma pessoa trabalha na mesma entrega. Por isso, o planejamento do gerenciamento da documentação gerada ao decorrer do projeto é uma das atividades mais importantes da gestão de projetos. Entretanto, as representações gráficas, as especificações técnicas e os documentos em geral não encerram o projeto, são apenas partes

ou artefatos do objeto da atividade projetual, caracterizando um dos meios que estruturam o processo (Oliveira, 2001).

Sendo assim, as atividades desempenhadas e o projeto em si, devem contemplar não só o produto resultante do processo, mas também o próprio processo e a estrutura organizacional mobilizada para o desempenho do mesmo, bem com as interfaces criadas entre os subprojetos. Neste sentido, a atividade projetual só existe quando considerado o todo; a rede que este processo coletivo é capaz de mobilizar.

Pode-se verificar que as organizações que conseguem aumentar sua participação no mercado, com a conquista de novos clientes, precisaram integrar, em algum momento, as novas habilidades e metodologias de projeto. Estudos recentes comprovam que a incorporação de novas estratégias e atividades de projetos mais amplas e baseadas em Tecnologia de Informação possibilita aumento da capacidade competitiva das empresas. Cabe ressaltar ainda que o aumento da interação das empresas com os clientes, o que permite incorporação de sugestões aos produtos desenvolvidos, promove o atendimento das necessidades dos clientes de uma maneira mais direta.

2.1.3 TIPOS DE PROJETOS

O projeto de desenvolvimento de produtos pode ser classificado segundo o seu caráter inovador, isto é, segundo o grau de mudança que o projeto representa em relação a projetos anteriores. A maioria dos projetos, no entanto, não tem conteúdo inovador – não muda o conceito original do produto, são apenas melhorias que vão se agregando ao produto, constituindo o que se chama de projeto incremental.

Abaixo estão citados os três tipos de projeto dos vários existentes, podendo haver superposição das classes, a saber: (Naveiro, 2001)

- **Projeto radical ou original:** Criação de um novo produto, nova categoria, ou nova família de produtos completamente diferentes dos demais, envolvendo mudanças significativas. Nesse tipo de projeto são incorporados novas tecnologias e materiais, eles também requerem um processo de manufatura inovador;
- **Projeto adaptativo ou incremental:** Consiste na modificação de componentes ou de partes do produto, mantendo o conceito original. É uma tarefa estruturada, pois as principais variáveis do problema já estão definidas e as soluções já estão definidas. Esses projetos incluem redução de custos de

produtos e requerem menos recursos, pois partem de produtos já existentes, estendendo a sua aplicabilidade e ciclo de vida;

- **Projeto Variante:** Trata-se de casos onde se faz uma modificação de tamanho ou do arranjo já existente para criar um novo produto. São alterações significantes no projeto sem a introdução de tecnologia ou de materiais, mas representando um novo sistema de soluções para o cliente.

A importância da classificação dos projetos está na possibilidade de se planejar estrategicamente e de forma conjunta todos os projetos de desenvolvimento, os quais possuem necessidade de recursos específicos. Com isso, pode-se priorizar os projetos e adequar a quantidade de recursos disponíveis a cada um dos projetos a serem executados.

2.1.4 ETAPAS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

A competitividade do mercado exige que as empresas desenvolvam novos produtos que sejam capazes de atender seguimentos específicos de mercado, que incorporem tecnologias diversas, que sejam capazes de se integrar a outros produtos e usos e que por fim se adéqüem a novos padrões e restrições legais. Segundo Rozenfeld (2006), o lançamento eficaz de novos produtos bem como a melhoria da qualidade daqueles já existentes compõe o escopo do PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto) e são relevantes para a capacidade competitiva das empresas.

Na tabela 1, pode-se observar um recorte do ciclo de desenvolvimento total dos produtos. Considera-se que já existe a demanda pelo desenvolvimento do produto e depois de constatada essa, o planejamento da produção é realizado integrado a este desenvolvimento.

Etapa	Descrição
Especificação do problema	Verificação das necessidades de usuários. Exame das possibilidades de realização.
Estruturação do problema	Decomposição do problema global em subproblemas.
Geração de alternativas	Proposição de soluções globais para o problema proposto inicialmente. Proposição de soluções para os subproblemas identificados anteriormente.
Seleção de alternativa	Uso de metodologias para escolha da alternativa de solução mais adequada para os problemas identificados.
Detalhamento do projeto	Elaboração da documentação final, detalhamento dos componentes, planejamento da produção, entre outros aspectos.

Tabela 1 – Síntese das etapas do processo de projeto
Fonte: Borges, 2004

A primeira etapa é de problematização, ou seja, os pontos duvidosos são esclarecidos, os requisitos e as restrições são formulados e por fim, um plano de trabalho é estabelecido. Esta etapa diminui o grau de indefinição do projeto, bem como define um cronograma a ser seguido. Na estruturação do problema são organizadas as funções do produto e são identificados os princípios de solução para cada função. Uma vez confrontados requisitos e restrições, parte-se para a terceira etapa, na qual é definida a concepção preliminar do produto e o arranjo esquemático de suas partes constituintes. Entretanto, o objeto ainda não tem corpo, e os conceitos gerados são representados por esboços. Na etapa de seleção da alternativa as representações tomam corpo e recebem dimensões. Nessa etapa também são definidos os materiais a serem utilizados e determinam-se os processos de manufatura. Por fim, na etapa de detalhamento e documentação final são feitos os desenhos e listas de montagem e é estabelecido o planejamento do processo produtivo.

Ressalta-se que dentre os autores citados nesse texto verifica-se a ênfase em um ou outro aspecto referente a projetos e, que pesquisas mais atuais frisam a não seqüencialidade das abordagens metodológicas, isto é, o processo de desenvolvimento de produto se dá por uma aproximação variável do problema, em que a explicação e a estruturação do problema inicial são estabelecidas ao mesmo tempo em que soluções são estudadas (Borges, 2004). Entretanto, nesse estudo será elucidada, também, a abordagem de Rozenfeld (2006), que se

caracteriza por uma seqüência de fases a serem seguidas para a conclusão do desenvolvimento do produto.

Para Rozenfeld (2006), o projeto de desenvolvimento de produto pode ser separado em dois momentos distintos: o de design e desenvolvimento do produto e o do projeto propriamente dito. Caracteriza a etapa de design o estabelecimento de conceito do produto, a definição de suas aplicações e usuários, e por fim a definição de seus processos produtivos. Também é prevista nessa etapa a construção de protótipos e a realização de testes com estes modelos. Com a tecnologia disponível atualmente é possível construir um protótipo rápido com todas as funcionalidades do objeto real em apenas algumas horas. A etapa de projeto é caracterizada, por sua vez, pela definição dos meios e prazos para a construção do produto. Além disso, compreende a especificação completa dos materiais a serem utilizados, da forma geométrica e das tolerâncias, bem como a complementação da documentação.

O projeto conceitual do produto pode ser descrito pelas atividades da equipe do projeto do produto relacionadas com a busca e seleção de soluções para o problema do produto. O conceito do produto é representado por esboço, diagrama, protótipo simples ou até mesmo um conjunto de cálculos. Segundo Ferreira (2008), o objetivo dessa etapa é convergir idéias e conceitos para um produto específico que irá ao encontro de uma necessidade do mercado e que seja economicamente viável.

O passo seguinte é a definição dos componentes do produto e das funções que cada um deles exercerá. A definição de modelos funcionais permite que os produtos sejam representados por meio de suas funcionalidades, tanto aquelas realizadas pelo produto em sua interação com o meio externo, quanto às funções internas desempenhadas por suas partes. “De uma maneira geral, funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que tornarão um produto capaz de desempenhar seus objetivos e especificações” (Rozenfeld, 2006).

O projeto do processo de fabricação e montagem pode ser caracterizado, de uma forma simplificada, pelo estudo das formas de se manufaturar um produto. São utilizados como fonte de informação, o esboço e modelos do produto, conhecimento da linha de montagem, estimativas de custos, tempos de produção e volumes a serem produzidos. O planejamento do processo não ocorre de forma linear, uma vez que existe uma interdependência das informações obtidas e das demais varáveis que aqui não foram citadas. Não será elucidada a interdependência dessas informações, pois essa definição é complexa e específica de cada processo.

Ainda de acordo com Rozenfeld (2006), o plano de projeto de um produto deverá agrupar informações para a execução do projeto, tais como a definição das atividades a serem desenvolvidas, os recursos necessários e a melhor forma de integração entre eles. Um projeto de desenvolvimento de produto deve ser planejado para se adequar ao tempo propício ao lançamento do produto, pois atrasos na execução podem acarretar a perda de oportunidades de mercado, tornando o projeto inviável.

Apresentadas essas definições pode-se entender que existem várias etapas para o processo de desenvolvimento de produto, e o que determina o término de uma fase e o início de outra é a entrega de resultados (deliverables). A avaliação dos resultados entregues serve como análise do andamento do projeto, antecipando problemas e gerando aprendizado para a equipe. Para facilitar o entendimento das fases e de seus resultados, as fases foram organizadas segundo o esquema mostrado na Figura 3.

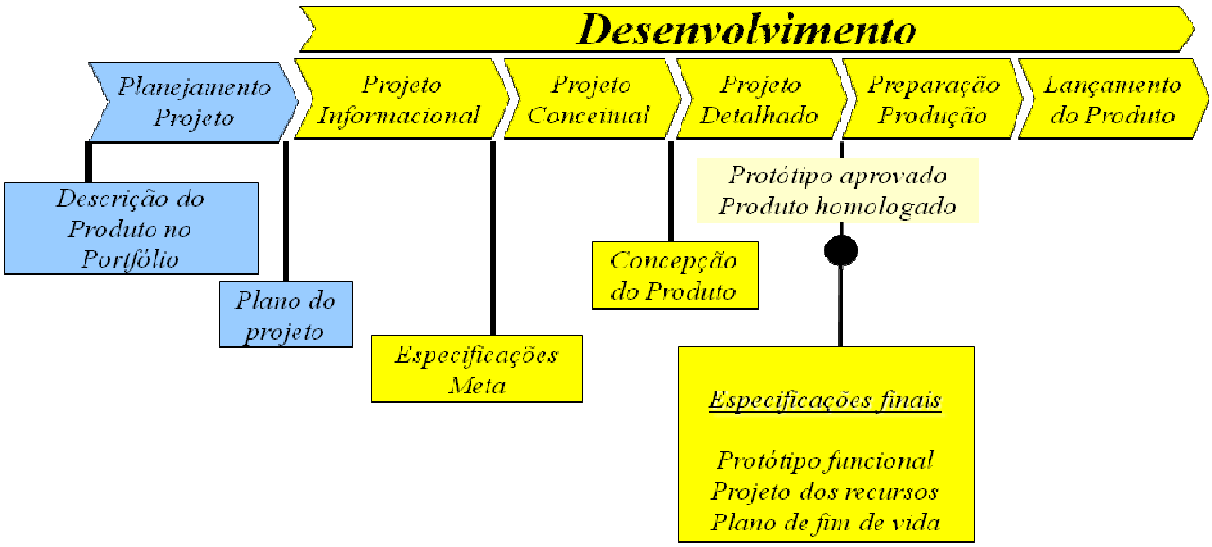

Figura 3 – Fases do ciclo de vida do produto
Fonte: Rozenfeld, 2006 (Adaptado)

Por esse modelo, entende-se que as tecnologias de Prototipagem Rápida (PR) estão inseridas nas fases pelas quais passam um projeto de desenvolvimento de produto, e que pode ser caracterizada como fator determinante para a transformação do conceito selecionado na fase de projeto conceitual em produto propriamente dito. As tecnologias de PR podem ser utilizadas tanto nas fases de conceituação do produto quanto nas fases de análise e preparação da produção do produto planejado.

De acordo com Naveiro (2001), a necessidade de reduzir o tempo de lançamento de um produto no mercado a preços competitivos e com a qualidade exigida faz com que as empresas agilizem a sua atividade de projeto, obrigando-as a adotar novas tecnologias e métodos de gestão que possibilitem o desenvolvimento simultâneo do projeto ao invés de seqüencial. A Engenharia Simultânea, na qual as atividades de desenvolvimento de projeto passam a ser realizadas em paralelo sempre que possível, vem ao encontro das necessidades das organizações.

A Engenharia Simultânea quebra os conceitos existentes na empresas, que consideravam o modelo seqüencial o mais adequado. Nessa prática as tarefas são superpostas, fazendo com que atividades que antes eram executadas em seqüência, sejam agora executadas em paralelo.

Além disso, a Engenharia Simultânea é viabilizada pela estruturação de equipes multifuncionais auxiliadas pelas tecnologias existentes que facilitam o trabalho. As tecnologias aplicadas no projeto auxiliam as equipes no que tange a viabilização da representação da evolução dos artefatos, bem como a disponibilização do projeto para que esse seja trabalhado a distância.

Por fim, a prática da engenharia simultânea conduz uma redução do tempo de execução do projeto, e ao mesmo tempo evita que o projeto tenha que ser retrabalhado, uma vez que impões um padrão de maior eficiência no desenvolvimento de atividades. As etapas sendo executadas em paralelo permitem uma conversão de informações, o que promove uma otimização do processo de projetar.

2.1.5 REPRESENTAÇÃO DO PROJETO

Segundo Borges (2004), a linguagem visual e de forma mais abrangente os meios visuais como auxílio às idéias deve ser considerado como indissociável do processo de projetar objetos. As representações abrangem desde descrições mais amplas do artefato por meio de esboços e perspectivas, até desenhos mais detalhados que fornecerão instruções precisas para a montagem do produto.

Alguns autores defendem que a utilização de esboços nas fases iniciais do projeto atua como extensão da memória dos projetistas e auxiliam, principalmente, na tarefa de explicação do problema levantado aos demais envolvidos no projeto. A representação deve assumir uma forma compreensível de maneira que seja possível manufaturar o bem a partir de seu desenho detalhado. O meio mais utilizado para atender essa necessidade é a representação

gráfica, que pode ser um desenho técnico elaborado pelo projetista de maneira manual ou por meio de softwares especializados.

Não é a intenção desta pesquisa uma discussão aprofundada em torno destes aspectos. Para os objetivos da presente pesquisa, a afirmação de Cross (2000) de que a aprendizagem na elaboração e interpretação destas representações se apresenta como uma parte significativamente importante dos processos de projeto de desenvolvimento de produto se mostra adequada.

Cada tipo de representação é estruturado a partir de um conjunto de conceitos que organizam as informações necessárias de forma a possibilitar sua comunicação. Nesse sentido o projetista deve adequar o tipo de representação aos seus objetivos, com base em critérios relacionados ao tipo e a quantidade de informação que se pretende demonstrar com esse registro. O desenho é utilizado de maneira abrangente pela equipe do projeto como instrumento de criação, desenvolvimento, refinamento e comunicação das idéias.

Nesta direção, Borges (2004) apud Ullman (1992) propõe quatro diferentes tipos de linguagem utilizados por projetistas para a descrição e argumentação de tópicos específicos no processo de projeto de produto:

- Semântica: representação verbal ou textual de um artefato;
- Gráfica: representação do artefato por meio de sua expressão gráfica ou a representação da geometria do objeto por meio do desenho.
- Analítica: descrição das funções do artefato, além de sua forma, por meio de equações, regras e procedimentos.
- Física: representação do objeto por meio de modelos físicos ou o próprio objeto em si.

Segundo Volpato (2007), as ferramentas de design, como modelos, mock-ups, protótipos, análises e representações do uso, atuam como lembretes para nossa observação e avaliação de sistemas e produtos a serem projetados, construídos e utilizados. Por meio de representações dá-se aos envolvidos no projeto a possibilidade de se expressar e compreender as restrições e possibilidades em jogo no projeto. Por fim, a representação se torna um artifício importante graças à sua capacidade de simulação.

Além disso, ao longo do processo de projeto existe um refinamento dessas representações, ou seja, um esboço simples de um determinado componente é melhorado até a sua representação em desenhos técnicos que obedecem a normas e padrões técnicos conhecidos pela equipe do projeto.

Porquanto, são relevantes os avanços em tecnologias digitais para a modelagem tridimensional e as possibilidades de construção imediata de modelos físicos a partir de arquivos digitais. A prototipagem rápida se configura como uma destas tecnologias e possibilita testes de usabilidade do produto que proporcionam importantes informações para a conclusão do projeto.

Um protótipo deve ser um elemento tangível criado como aproximação do produto final. Os testes de desempenho e redesenho do protótipo prosseguem até que este apresente um desempenho satisfatório. Além disso, os protótipos são uma excelente forma de se apresentar o novo produto aos clientes potenciais e a equipe do projeto. O protótipo de um produto torna-se parte essencial no processo de desenvolvimento quando permite que a análise de sua forma e funcionalidade seja feita numa fase anterior a fabricação do ferramental definitivo para a produção. (Volpato, 2007)

Por fim pode-se citar que os campos de aplicação dessa tecnologia estão ampliando-se à medida que aumenta o número de profissionais e empresas que tomam conhecimento e utilizam os protótipos rápidos no processo de desenvolvimento de produto.

2.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

O desenvolvimento de produto vem sendo apoiado, atualmente, pela evolução de tecnologias de Prototipagem Rápida (PR), que possuem a capacidade de reduzir o tempo e o custo dos projetos, garantindo a rápida concepção, produção e lançamento do produto no mercado.

A utilização de tecnologias como a PR pode ser determinante e estratégica para a sobrevivência da empresa no mercado, uma vez que a intensificação da concorrência aliada à complexidade dos produtos fabricados tem exigido que as empresas adéqüem o seu processo de desenvolvimento de produto. De acordo com Volpato (2007), as alterações realizadas no PDP envolvem tanto aspectos de gestão, como também de emprego de ferramentas e novas tecnologias de apoio a projeto, análise, simulação e otimização dos componentes fabricados. Essa afirmação corrobora com o fato do crescimento da utilização da Prototipagem Rápida nos projetos de desenvolvimento de produto nas empresas.

A Prototipagem Rápida pode ser definida como um processo de fabricação que utiliza a adição do material utilizado em forma de camadas planas sucessivas, ou seja, tem seu processo produtivo baseado na manufatura por camadas, conforme ilustrado na Figura 4.

Segundo Gorni (2001), o termo prototipagem rápida designa 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.

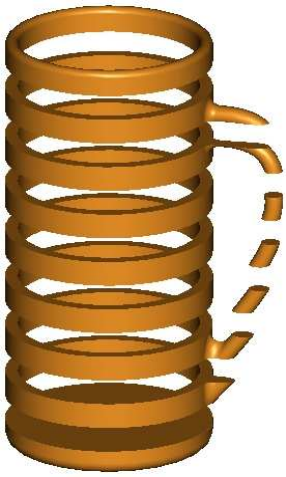

Figura 4 – Fatiamento do arquivo STL.
Fonte: UTFPR, www.nufer.citec.ct.utfpr.edu.br/O_QUE_E_PROTOTIPAGEM.html (Acessado em: 07/06/2010)

Os processos de Prototipagem Rápida podem ser classificados segundo o estado ou a forma inicial da matéria-prima utilizada na fabricação. Sendo assim, podem-se classificar as tecnologias de PR em processos baseados em líquido, sólido e pó. Conforme Volpato (2007) tem-se a seguinte classificação:

- Baseados em Líquidos: Nessa categoria, encontra-se a Estereolitografia, que se caracteriza pela polimerização de uma resina líquida por um laser Ultra-Violeta; e a Impressão a Jato de Tinta, na qual ocorre um jateamento de resina líquida por um cabeçote tipo jato de tinta e posterior cura pela exposição a uma luz Ultra-Violeta; entre outros.
- Baseados em Sólido: Nesse processo o material pode estar na forma de filamento ou lâmina. Alguns desses processos fundem o material, antes de sua deposição, como o FDM – Deposição por Material Fundido, enquanto outros somente recortam uma lâmina do material adicionado, como no caso da Manufatura Laminar de Objetos.
- Baseados em Pó: Pode ser utilizado laser para o seu processamento como no exemplo da Sinterização Seletiva a Laser, ou um aglutinote aplicado por um cabeçote tipo jato de tinta, utilizado na Impressão Tridimensional.

Geralmente, os sistemas de prototipagem rápida apresentam uma seqüência de etapas de operação, englobadas em pré-operação, processamento propriamente dito e pós-operação. O ciclo dessas etapas pode ser observado na Figura 5 e pode ser girado quantas vezes se fizer necessário. Essa seqüência é enumerada a seguir de maneira simplificada:

- **Pré-Operação:** chamamos de fase de pré-operação aquela que atua como elo entre o projeto 3D realizado no CAD, SolidWorks , ou outro software de design e o processamento propriamente dito, incluindo a preparação dos dados geométricos. Nela estão compreendidas as etapas de modelagem em 3D e conversão dos dados para o formato (STL) compatível ao processo que irá gerar o modelo físico.
- **Processamento:** a fase de controle de geração do objeto tem como função propiciar a fabricação do modelo físico. De acordo com Netto et al. (2003), o modelo 3D STL é verificado, posicionado, orientado e, em processos de prototipagem rápida como a Estereolitografia e a Modelagem por Deposição de Material Fundido, são adicionadas estruturas de suporte às camadas. Posteriormente, inicia-se a etapa de fabricação, onde cada uma das camadas é reproduzida, construindo o objeto por inteiro.
- **Pós-Processamento:** na fase denominada preparação do modelo, há o processo de cura, remoção da estrutura de suporte e limpeza da peça.

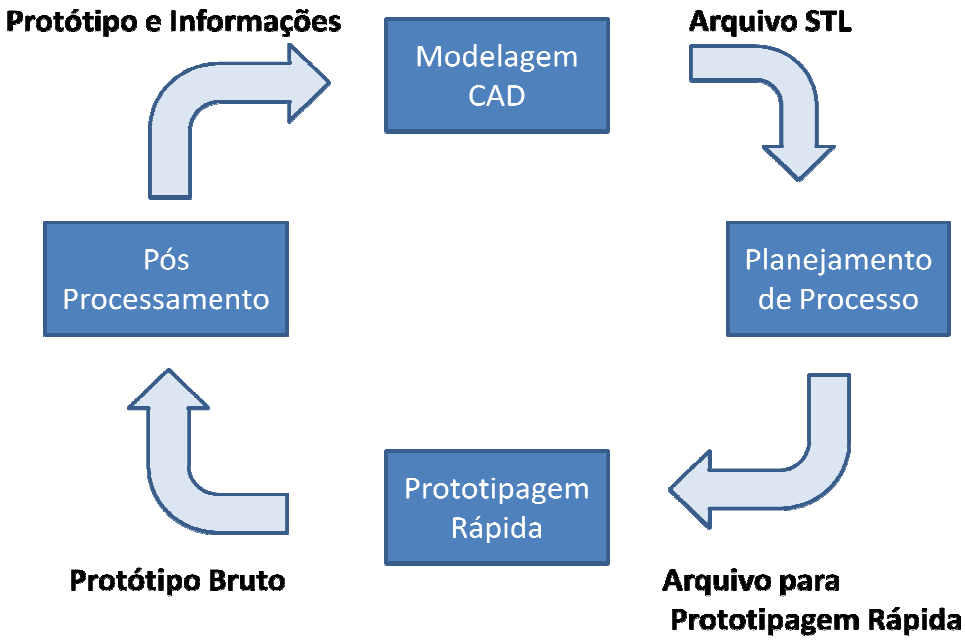

Figura 5 – Fases de desenvolvimento da Prototipagem Rápida
Fonte: Volpato, 2007 (Adaptado).

Segundo Mello (2006), a utilização da prototipagem rápida como ferramenta de apoio de projetos de produto apresenta os seguintes pontos fortes com relação a outras ferramentas:

- Capacidade de produzir formas tridimensionais complexas e detalhadas;
- Possibilidade de sua instalação em ambientes não industriais;
- Redução substancial de tempo de desenvolvimento, em razão da diminuição do retrabalho e;
- Melhoria da manufaturabilidade, pelo fato de o protótipo auxiliar a revelar erros de projeto, antevendo possíveis deficiências que o processo de manufatura poderá apresentar.

Entretanto, a PR ainda apresenta restrições e deficiências como processo de fabricação, pois é uma tecnologia nova no mercado. Podem-se citar as seguintes desvantagens:

- Os equipamentos ainda têm limitação de volume na produção do protótipo (até 500 mm3);
- O número de materiais disponíveis para a prototipagem rápida com adição de materiais é ainda limitado;
- Em virtude da natureza termoquímica desses processos, observam-se, algumas das vezes, distorções, empenamento e inchamento dos protótipos; (VOLPATO, 2007)
- A precisão e o acabamento superficial são inferiores aos das peças obtidas por processo de usinagem, pois o fato das peças serem construídas por meio de adição de camadas planas cria um efeito de escada em regiões inclinadas e curvas; (VOLPATO, 2007)
- A qualidade final da superfície do protótipo rápido gerado, normalmente, necessita de acabamentos secundários, tais como limpeza e cura.

Para Aguliar Junior (2008), os protótipos provem aos designers e engenheiros uma peça rápida para se ver, encaixar, testar funções e perceber a possibilidade de produção deste produto. Uma das grandes contribuições que a prototipagem rápida traz para o desenvolvimento de produtos é justamente a construção de protótipos que muitas vezes não são possíveis de se fazer de maneira seriada. Isso faz com que cresça 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.

Essas considerações são importantes na medida em que essa pesquisa visa comparar as duas tecnologias de prototipagem rápida – Estereolitografia e FDM – e sua utilização no processo de desenvolvimento de produto.

2.3 ESTEREOLITOGRAFIA

A Estereolitografia foi a primeira tecnologia de Prototipagem Rápida apresentada ao mercado. O equipamento de Estereolitografia utiliza uma resina fotocurável líquida para a construção do protótipo por meio de superposição de camadas. De acordo com o desenho criado em CAD, os raios laser UV solidificam a resina polimérica, camada a camada dos contornos do objeto pretendido até completar a formação da peça (Selhorst Junior, 2008).

Conforme pode ser observado no esquema da Figura 6, a resina fotocurável é inserida num recipiente que contém uma plataforma mergulhada que se desloca para baixo a cada camada construída. A plataforma é inicialmente coberta por uma fina camada de resina (aproximadamente 0,15 mm). O equipamento já possui as informações relativas a geometria da primeira camada, então, o feixe de laser é movimentado por meio de um conjunto óptico que reproduz a geometria 2D obtida no fatiamento da peça representada no sistema CAD. Quando a resina é exposta ao laser, esta se polimeriza mudando do estado líquido para o sólido formando, assim, uma camada. O processo é repetido até que todas as camadas do objeto tenham sido formadas.

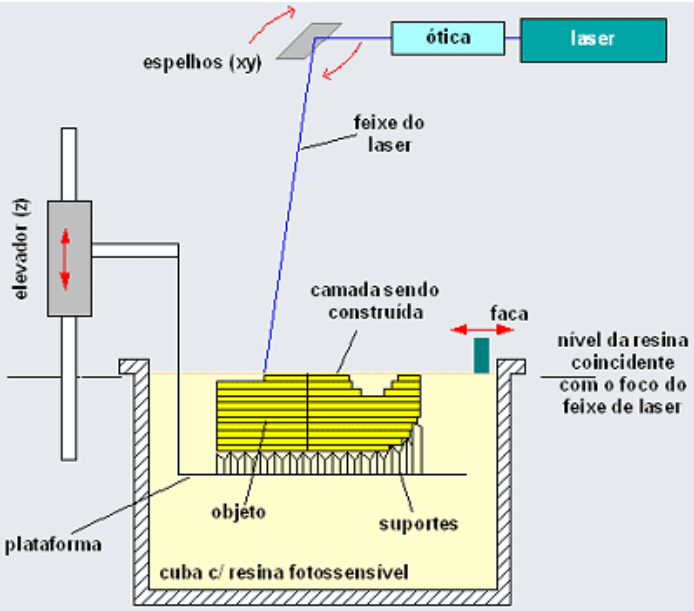

Figura 6 – Esquema básico de desenvolvimento da Estereolitografia
Fonte: BEAL, 2002

Por fim, ao se retirar a peça ainda em estado “verde” da máquina, é realizada a limpeza com solvente para que seja retirada dos resíduos de resina não curada. Logo após, são removidos os suportes e é iniciado um processo de cura do protótipo num forno de radiação ultravioleta, que proporciona a cura total da resina.

As formas geométricas que possuem partes desconectadas requerem estrutura de suportes para evitar que essas se deformem ou se desprendam do objeto e flutuem na resina líquida.

Pode-se apresentar como vantagens da utilização dessa tecnologia de Prototipagem Rápida a precisão e a elevada qualidade superficial, sendo considerada uma das melhores entre os processos de prototipagem. Entretanto, há ainda algumas deficiências nesse processo, pois o número de materiais que podem ser utilizados está restrito a resinas poliméricas, e é necessário um processo de pós-cura com a peça após a retirada da mesma da máquina de Estereolitografia.

Na Figura 7 pode ser observado um exemplo de peça construída por meio desse processo.

Figura 7 – Peça desenvolvida a partir de Estereolitografia.
Fonte: http://express.redeyeondemand.com/SLA.aspx (Acesso em: 17/02/2010)

2.4 MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO

Modelagem por Deposição de Material Fundido é o segundo processo mais utilizado para a construção de protótipos rápidos e, ao contrário da Estereolitografia não utiliza laser durante o processo. Os protótipos são fabricados por meio da extrusão e deposição controlada de filamentos de termoplásticos. Para a fabricação dos protótipos por meio desse processo de PR é utilizado como material principal o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), que é um

material termoplástico rígido e leve. Conforme exibido na Figura 8, a cabeça de extrusão se movimenta nos eixos X-Y, enquanto a plataforma se movimenta no eixo Z. O cabeçote recebe continuamente o material na forma de um fio, aquecendo-o até o ponto semi-líquido ou pastoso. Quando o filamento fino de material extrudado entra em contato com o material da superfície da peça, ele se solidifica e adere à camada anterior. Nesse momento o suporte é movimentado para baixo no eixo Z num valor igual a espessura da camada a ser depositada, o processo é repetido até a peça esteja completamente formada.

Diversos materiais estão disponíveis para o desenvolvimento desse processo, inclusive cera para aplicação em processo de cera perdida. O ABS oferece boa resistência e é o material mais utilizado por essa tecnologia, entretanto, materiais como policarbonato e polifenilsulfona apresentam melhor resistência à temperatura e estão sendo inseridos nesse processo.

A tecnologia de FDM não requer processos de pós-cura dos materiais e pode ser utilizada em ambientes silenciosos, uma vez que não apresenta ruídos durante o processo de construção dos protótipos. Ainda é preciso melhorar a precisão do processo, que não é muito alta e a velocidade do processo, que é limitada pela taxa de fluxo do material na cabeça de extrusão por um bico. Pode-se observar as características visuais de um protótipo originado de um processo de FDM na Figura 9.

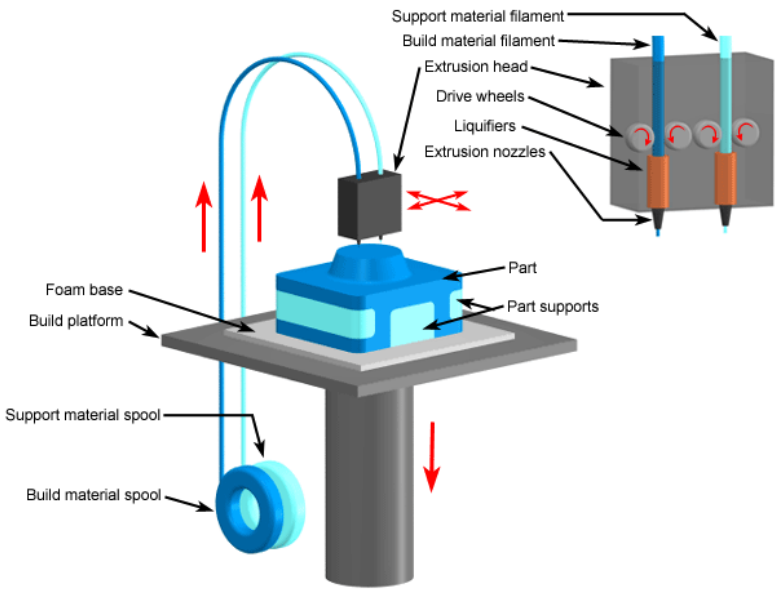

Figura 8 – Esquema básico de desenvolvimento de peças por meio de FDM.
Fonte: http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling (Acesso em: 29/05/2010)

Figura 9 – Peça desenvolvida a partir de FDM.
Fonte: http://express.redeyeondemand.com/SLA.aspx (Acesso em: 17/02/2010)

2.5 COMPARAÇÃO ENTRE DUAS METODOLOGIAS DE PR: ESTEREOLITOGRAFIA E FDM

Para identificar qual o melhor processo de prototipagem rápida devem ser utilizados alguns critérios de comparação. Como principais indicadores de avaliação podem ser citados: custo, tempo de desenvolvimento e qualidade.

Segundo Capuano (2000), estão atreladas ao critério de qualidade, as seguintes características específicas: estanqueidade (técnica de inspeção não destrutiva que permite medir a quantidade de material vazando), fidelidade geométrica e aparência. Com relação ao critério custo, avaliam-se os requisitos despesa de aquisição do equipamento e, principalmente, custo médio de um protótipo. E por fim, com relação ao critério tempo são avaliados o tempo médio de construção do protótipo e o tempo médio total de processamento.

A utilização dos processos de prototipagem rápida para o desenvolvimento de produtos vem se mostrando bastante satisfatória, uma vez que a aparência final do modelo é muito semelhante a do produto final. Essa aparência pode ser justificada pela construção dos protótipos em um bloco único dispensando a utilização de emendas. Algumas vezes são identificadas distorções pequenas nas peças desenvolvidas por meio da PR, possivelmente ocasionadas pela espessura das camadas na construção dos protótipos. Para a tomada de decisão da tecnologia de prototipagem rápida a ser utilizada deve-se avaliar a eficiência desta para cada produto específico.

Para Saura (2003), há uma regra geral de fatores a serem analisados para se escolher o tipo de tecnologia que mais se adéqüe ao protótipo a ser fabricado:

1. Fatores Tecnológicos: Se referem à qualidade do protótipo e como ele atende as demandas e ao desempenho necessário:
    a. Propriedade das matérias-primas: busca-se o melhor conjunto – material, aplicação e tecnologia;
    b. Precisão: depende da tecnologia empregada no processo, da competência do técnico em relação ao posicionamento das peças, da exposição ao ambiente e da necessidade de trabalhos de acabamento;
    c. Estabilidade: capacidade de o protótipo manter suas dimensões ao longo de sua vida;
    d. Pós-processamento: o ideal seria a não existência de trabalhos posteriores a execução da PR. Se for inevitável, deve-se buscar o de melhor trabalhabilidade;
    e. Resistência ao ambiente: os protótipos devem ter o mínimo de resistência a condições ambientais adversas tais como temperatura elevada, vapores, produtos químicos dentre outros;
    f. Estrutura de suporte: a existência de suportes que estabilizem e dêem apoio ao fabrico de protótipo é indesejado por envolver duas atividades a mais no processo – uma anterior a execução que é a criação geométrica deles e, uma posterior a prototipagem que é a retirada dos mesmos.
2. Fatores de uso: Analisa a utilização a que se destina o protótipo. As vantagens e desvantagens do processo na ótica do usuário/cliente.
    a. Visual: utilização como demonstração do produto a ser fabricado aos demais integrantes da equipe do projeto;
    b. Funcional, forma e adequabilidade: permitir a detecção de erros de projeto na fase inicial deste, poupando tempo e custos com projetos ineficazes.

Por fim, pretende-se nesse trabalho realizar a análise das peças prototipadas e comparar os dois processos de tecnologia de Prototipagem rápida por meio de um tabela comparativo, com os parâmetros estabelecidos previamente.

2.6 REALIDADE BRASILEIRA

Em países em desenvolvimento como o Brasil as atividades de desenvolvimento de produtos se concentram, na maioria das vezes, na realização de adaptações e melhorias de produtos existentes, ou seja, os projetos e os produtos são adequados de acordo com as necessidades do mercado local, com a estrutura de fornecedores existente e por fim, pelos processos produtivos disponíveis.

No Brasil, em muitos setores industriais, a tendência em termos de desenvolvimento de produto é no sentido de consolidar uma competência local para adaptar projetos mundialmente atuais para o mercado local.

De acordo com Rozenfeld (2006), o país necessita exportar produtos de maior valor agregado, em vez de matérias-primas e produtos semi-processados. Isso exige uma maior capacitação e esforço concentrado na área de desenvolvimento de produtos, para dispor, ao mercado local, produtos nacionais com padrões semelhantes aos importados, além de capacitar o país a exportar produtos de padrão internacional.

Para que esse objetivo seja atingido é necessário que haja a capacitação do corpo técnico e gerencial das organizações brasileiras que estão voltadas para os projetos de produto. Também é necessário que as empresas no Brasil promovam a participação colaborativa, integrada e sincronizada de várias empresas no propósito do êxito do processo de desenvolvimento.

Este ambiente promove o aumento da qualidade do produto e a diminuição do custo e do tempo do ciclo de desenvolvimento do projeto do produto. Além disso, problemas tardios na operação da cadeia de suprimentos podem ser diminuídos.

No Brasil, este ainda é o paradigma da engenharia atual. O ambiente colaborativo entre empresas para o desenvolvimento de produtos está sendo desenvolvido a partir de utilização de métodos como:

- Engenharia Simultânea;
- Prototipagem Virtual;
- Testes pré-produção;
- Gerenciamento da Qualidade Total;
- Prototipagem Rápida Física, o alvo deste estudo.

Segundo Selhorst Junior (2008), no Brasil, principalmente entre as pequenas empresas produtoras e prestadoras de serviços de desenvolvimento de produtos, os protótipos

são executados pelos seguintes propósitos, além dos que já foram expostos: percepção para análises objetivas, dimensionais e funcionais, até análises mais subjetivas, formais e semióticas, mas em proporções diferentes em sua utilização.

O levantamento de usuários de prototipagem Rápida no Brasil apresentado por Saura (2003) revelou as principais aplicações dos protótipos em prototipagem rápida, como pode ser observado no gráfico a seguir:

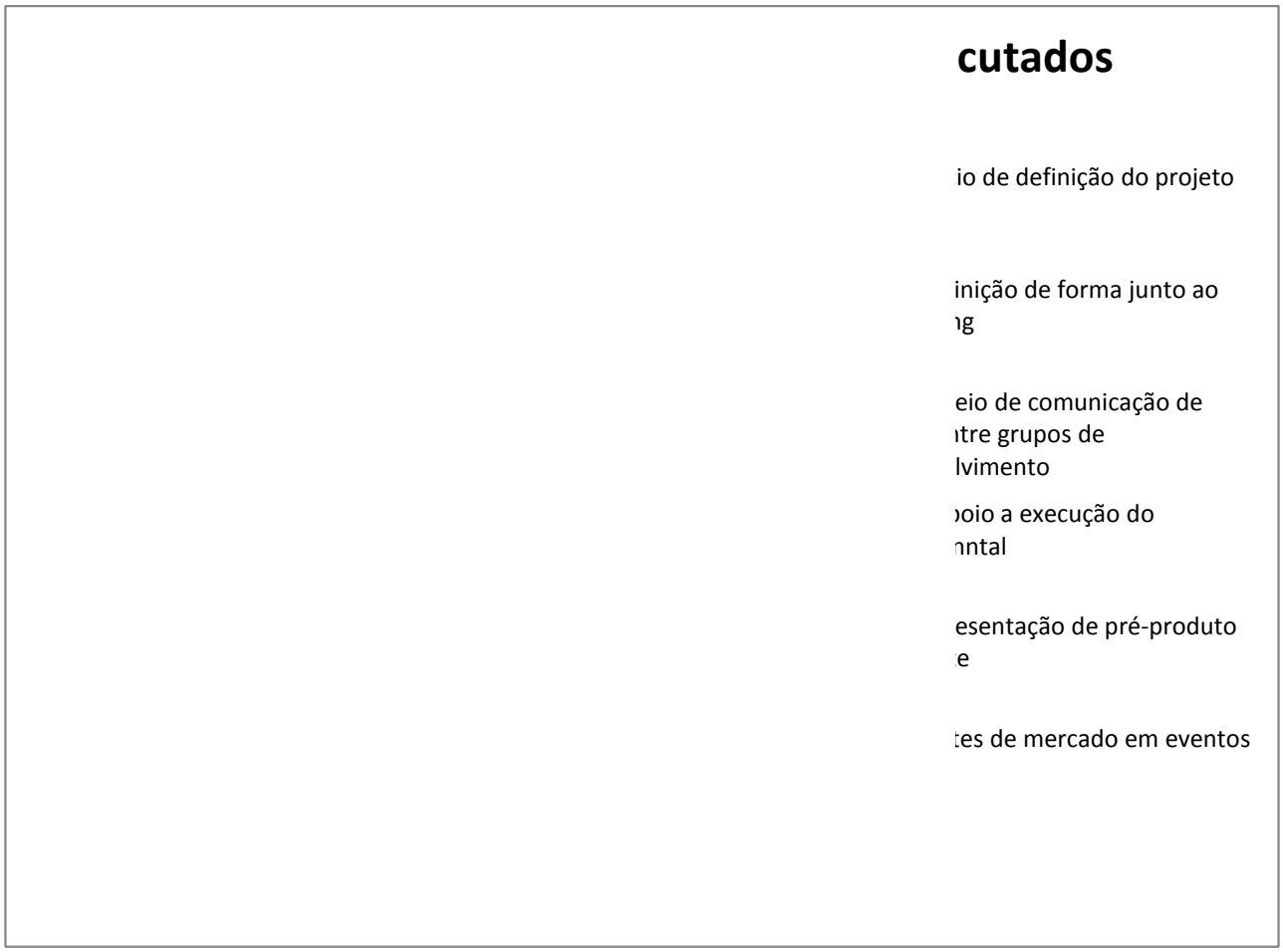

Figura 10 – Principais aplicações dos protótipos executados em PR
Fonte: Saura (2003)

Por fim, constata-se que a tendência para o futuro das empresas brasileiras é somente efetuar desenvolvimentos no contexto de sua competência central e de complementar o produto final com componentes terceirizados (outsourcing). Portanto, é importante ressaltar que mesmo que a tecnologia e a concepção dos produtos venham de fora do país, existem muitas atividades de desenvolvimento que estão inseridas no escopo do projeto dos produtos e que fazem parte das responsabilidades de empresas locais, e que por isso ainda precisam ser aperfeiçoadas nas empresas brasileiras.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA

A pesquisa é uma atividade questionadora, crítica e construtiva que sofre interferência da realidade. Inicia-se esta atividade com um problema que não se tem informações para solucionar, e se estabelece um conjunto de propostas para se encontrar as repostas para esse problema. Para que a investigação atinja seus objetivos é necessário que sejam adotados métodos científicos ao longo de seu desenvolvimento.

Para Bryman (1989), o desenvolvimento de uma pesquisa científica pode ter duas abordagens: a quantitativa e a qualitativa. A pesquisa quantitativa considera a tradução em números de informações para que estas possam ser classificadas e analisadas. Para tanto, são utilizados métodos e recursos estatísticos como a média, o desvio padrão, coeficiente de correlação, etc. Entretanto, a pesquisa qualitativa considera a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados ao mesmo. O processo e seu significado são os focos principais dessa abordagem.

Na pesquisa quantitativa o foco é o isolamento das causas e efeitos, a medição e a quantificação de fenômenos e por fim a formulação de leis gerais. As condições sob as quais os fenômenos são testados são controladas ao extremo. Os estudos são realizados de maneira a excluir ao máximo a influência do pesquisador.

Segundo Toulmin (1990), a pesquisa qualitativa apresenta alguns aspectos essenciais: tendência a formulação de teorias, realização de estudos empíricos e na manifestação da necessidade de dispor os problemas a serem estudados e as soluções a serem desenvolvidas dentro de seu contexto e de descrevê-los a partir dele.

Três grupos classificam a pesquisa quanto aos seus objetivos: estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos explicativos. Este trabalho tem objetivo de caráter exploratório, uma vez que visa proporcionar maior esclarecimento sobre o problema com vista a torná-lo explícito. Envolve levantamento de literatura já escrita sobre o assunto e análise de exemplos que estimulam a compreensão, assumindo, assim, as formas de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso.

Os estudos de caso são usados para vivenciar um momento atual e tem sido muito empregado nos trabalhos realizados. Segundo Gil (2002), algumas etapas podem ser seguidas na aplicação de um estudo de caso:

- Formulação do problema, que é a base da pesquisa e requer profunda reflexão das várias fontes bibliográficas utilizadas;
- Definição da unidade-caso, que se refere a um caso base de um determinado contexto;
- Elaboração do protocolo, que aumenta a confiabilidade do caso, pois define como será realizada a coleta de dados e sua aplicação;
- Coleta de dados, que utiliza de entrevistas, documentos e demais meios para adquirir as informações desejadas referentes ao assunto;
- Análise dos dados, que separa os dados coletados em informações úteis e não úteis, estruturando as mesmas em formato de relatório.

A revisão de literatura mostra ser possível definir uma metodologia para a abordagem teórica deste trabalho, sob a forma de um estudo de caso, no qual será analisada qual das duas tecnologias de prototipagem rápida apresentadas deve ser aplicada para diferentes complexidades geométricas definidas ao longo da pesquisa por meio da análise de duas peças.

Com base no texto introdutório desta dissertação, concluí-se que o problema formulado para esta pesquisa é: o desenvolvimento de produtos com a rapidez e a qualidade exigidas pelo mercado atual. Ainda com base na introdução pode-se dizer que a principal hipótese levantada pelo autor e relacionada ao problema é a contribuição das tecnologias de prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos de maneira a facilitar a avaliação do projeto e atender às necessidades de consumo no tempo em que elas ocorrem. Essa hipótese é confirmada por meio da pesquisa exploratória, tanto bibliográfica quanto de estudo de caso.

Com base no problema e na hipótese levantada foram desenvolvidos o plano de pesquisa e a revisão de literatura propriamente dita. Esta revisão foi feita por meio de levantamento de referências sobre o assunto, busca de fontes, leitura do material, organização da seqüência a ser adotada na elaboração do trabalho e a redação do texto. Foram pesquisados temas relacionados a projetos e seu gerenciamento, desenvolvimento de produtos e prototipagem rápida.

Este estudo de caso tem seu direcionamento em demonstrar qual o melhor processo de prototipagem rápida deverá ser aplicado na confecção de peças prototipadas, tendo em vista parâmetros como a geometria, as aplicações, o nível de detalhe, os custos e a qualidade.

Visando comparar os parâmetros utilizados na moldagem por injeção utilizando-se ferramental disponível no mercado para as tecnologias de prototipagem rápida Estereolitrografia e FDM foi realizado o estudo de caso. Foram construídas duas peças, cada uma por meio de um processo, que foram utilizados para testes de integração do produto e para o ensaio de tração.

No capítulo I desse estudo, já foram citadas a definição do problema (especificada no início desse capítulo) e a definição da unidade-caso (indústria eletrônica atuante em Juiz de Fora – MG).

3.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE

3.2.1 MERCADO ATUAL DA INDÚSTRIA FABRICANTE DE RELÓGIO DE PONTO

O controle eletrônico de ponto, previsto no artigo 74, parágrafo 2º da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), é amplamente utilizado pelas empresas brasileiras. Do ponto de vista empresarial esse tipo de sistema apresenta evidentes vantagens frente aos métodos manuais, pois facilita a aferição da jornada dos trabalhadores, e aumenta a velocidade de transmissão das informações para os sistemas de folha de pagamento.

Dada a falta de regulamentação sobre o tema, a tecnologia utilizada na elaboração dos sistemas controladores de ponto foi colocada em questão pelo Ministério do Emprego e Trabalho que considerou que o modelo utilizado pelas empresas poderia servir para esconder ou mascarar operações fraudulentas na marcação dos horários, como alteração de registros de horas trabalhadas.

O mercado atual de controle ponto sofreu grande transformação desde a publicação da norma regulamentadora para registro de ponto eletrônico estabelecida pelo M.T.E.. A Portaria Nº 1.510, de 21 de agosto de 2009, que foi resolvida pelo Ministério disciplina o registro eletrônico de ponto. Composto por 31 artigos, o documento enumera uma série de itens importantes que devem ser obedecidos tanto pelo empregador como pelo empregado para que o registro eletrônico de ponto seja eficiente e totalmente confiável.

Referida portaria estabelece e regulamenta a utilização do Sistema de Registro Eletrônico de Ponto – SREP, que consiste no conjunto de equipamentos e programas

informatizados, destinados à marcação, por meio eletrônico, da entrada e saída dos trabalhadores nas empresas empregadoras. Basicamente, a alteração trazida com essa Portaria é a regulamentação da utilização do sistema eletrônico de controle de ponto.

A norma também estabeleceu que o equipamento devesse ser único e monolítico dentro do mesmo gabinete, não podendo haver partes ou peças externas separadas fisicamente e unidas apenas por cabos. Pode haver apenas abertura de tampa que dê acesso ao compartimento de papel da impressora para troca do papel, desde que seja exclusivo e não dê acesso às outras partes internas. Para que seja considerado equipamento monolítico, partes justapostas, caso existam, são partes unidas fixa e definitivamente, não podendo ser dissociadas após a união.

Além disso, os dispositivos estabelecidos pela Portaria, bem como toda a regulamentação posta acaba por alocar responsabilidades tanto para empresa que utiliza o REP – Registrador eletrônico de Ponto, quanto para aqueles envolvidos no desenvolvimento de software e soluções para controle de funcionários e suporte para departamentos de recursos humanos.

Desde então, as empresas fabricantes de relógio de ponto brasileiras tiveram que adequar os projetos dos produtos de sua linha atual e seus respectivos processos produtivos, ou até mesmo começar um novo projeto, para se adaptar as normas estabelecidas pela Portaria e se manter competitivas nesse mercado.

3.2.2 A EMPRESA

O estudo de caso foi realizado em uma empresa fabricante de relógios de ponto, de pequeno porte, situada na cidade de Juiz de Fora – MG. A empresa está a cinco anos no mercado e já possui mais de 80 revendas espalhadas por 18 estados do país. A escolha dessa empresa se deu pela estrutura de seu setor de Pesquisa e Desenvolvimento, que tem a gestão da inovação como principal foco. Além disso, a empresa foi selecionada pela grande capacidade de crescimento apresentada pela mesma nos últimos anos, justificada pelo crescimento de 108% do ano de 2005 para o ano de 2009.

A PROVEU INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA é uma empresa focada no desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras para o mercado de gestão de pessoas, tendo como base uma linha de relógios de ponto informatizados desenvolvida com tecnologia genuinamente nacional.

A Empresa é graduada na Incubadora de Base Tecnológica do CRITT - Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia da Universidade Federal de Juiz de Fora. O Critt é órgão institucional da UFJF, vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico - Sedetec - e criado, em maio de 1995, por resolução do Conselho Superior, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento tecnológico da região.

A linha de relógios de ponto eletrônico da Proveu é chamada de Kurumim. A linha possui diversas inovações com relação aos demais produtos apresentados no mercado, pois é desenvolvida com tecnologia nacional, destacando-se pela sua simplicidade, alta capacidade de memória e pela grande variedade de recursos.

Em outubro de 2004 foi iniciado o primeiro projeto da Proveu: o Kurumim USB. Esse projeto é um exemplo da inovação buscada pela empresa para atender as necessidades dos consumidores. O Kurumim USB foi o primeiro relógio de ponto do mercado nacional a utilizar um cartucho de memória com a tecnologia USB (Universal Serial Bus) para a comunicação entre o computador e o equipamento. A empresa expandiu ao longo dos anos seu portfólio de produtos e conseguiu consolidar a linha de seus produtos no mercado.

A linha Kurumim fabricada pela empresa Proveu antes da realização do projeto que será elucidado a seguir, era composta por modelos de equipamentos que atendiam a várias formas de comunicação: por meio de cartucho de memória USB, cabo serial ou ethernet (rede local).

A área de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa é composta por um gerente de projetos, dois técnicos e um programador. O setor é responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, pesquisa de novas tecnologias a serem aplicadas na empresa e desenvolvimento de softwares para a utilização em conjunto com os equipamentos registradores de ponto. A etapa de desenvolvimento de novos produtos da empresa faz parte do ciclo da inovação, que vai da descoberta de um novo conhecimento até a sua transformação em um produto comercial para ser lançado no mercado.

Atendendo às determinações da Portaria 1510/2009 do MTE, foram lançados no mercado novos modelos de registradores eletrônicos de ponto no início do ano de 2010. Foi desenvolvido, então, o projeto da linha Kurumim REP, que atendia às normas estabelecidas pela Portaria e foi certificado por órgão responsável.

3.2.3 VISÃO GERAL DO PROJETO

Alguns autores, como Clark (1991), Barclay (1992), mostram em seus estudos que as empresas buscam, atualmente, tornar o processo de desenvolvimento de produto mais competitivo, aperfeiçoando a organização e o gerenciamento desse processo com o objetivo de garantir a qualidade do projeto do produto e reduzir o lead time e o custo do desenvolvimento.

Consideram-se três aspectos da gestão do processo de desenvolvimento de produto que podem influenciar o seu desempenho global: divisão de tarefas entre a equipe do projeto, ou seja, criação de subprojetos para maior agilidade no desenvolvimento do projeto; capacidade técnica e capacidade gerencial requerida e existente na equipe para a realização dessas atividades; e, por fim, mecanismos de integração das atividades de desenvolvimento entre as unidades, como, por exemplo, a utilização de linguagens de projeto tal qual a Prototipagem Rápida.

O objetivo do projeto a ser descrito era desenvolver um produto que se adequasse as normas instituídas pela Portaria 1.510, resolvida pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que disciplina o resgistro eletrônico de ponto e a utilização do Sistema de Registro Eletrônico de Ponto – SREP. Para o produto ser lançado no mercado foi necessário que o mesmo passasse por um processo de homologação por um dos órgãos certificadores responsáveis.

A primeira atividade desenvolvida no projeto foi focada em estabelecer os termos para criação e produção da nova linha de relógios de ponto da Proveu para atender as determinações do Ministério. Durante essa atividade foram elaborados os documentos: Termo de Abertura do Projeto; Declaração do Escopo do Projeto e o documento Plano de Gerenciamento do Escopo. Posteriormente, o gerente do projeto propôs e formatou a Proposta do Projeto, documento esse, que é o primeiro documento utilizado para dar origem a um projeto. O projeto foi identificado como “Desenvolvimento de novos modelos de aparelhos para coleta de dados com função de controle de freqüência baseados em microprocessadores, da linha Kurumim”.

No escopo desse projeto foi definido o que seria realizado para coletar informações sobre as cláusulas da Portaria. Com base nas informações coletadas, foram identificados os pontos convergentes e obtidos os requisitos e as especificações para projetar a linha de Sistema de Registro de Ponto da Proveu em conformidade com a legislação. Posteriormente a lista dos requisitos foi apresentada para a equipe do projeto de forma a proporcionar

conhecimento e massa critica para colher idéias e sugestões, que iriam apontar o diferencial e a identidade da linha de novos relógios da Proveu.

O projeto foi dividido em vários subprojetos para tornar mais fácil o gerenciamento das atividades da equipe e tornar mais ágil o desenvolvimento do mesmo. Foram definidos responsáveis para cada um dos subprojetos, e priorizadas as atividades necessárias a conclusão do produto, para este ser levado a certificação. Teve de ser organizado cronograma de cada subprojeto, para que fossem disponibilizados os recursos necessários para a conclusão do mesmo no período estipulado. Foram realizadas reuniões freqüentes para atualização de toda equipe do status do projeto até aquele momento, para estabelecimento de ações e determinação de riscos. Além disso, foram elaborados relatórios semanais sobre a situação do andamento do projeto e preenchimento de planilha de atividades de cada membro da equipe do projeto.

No subprojeto do chassi e peças metálicas foram desenvolvidos os projetos de cada um dos suportes dos componentes internos, além do desenvolvimento do projeto do chassi. Além disso, foram desenvolvidos os protótipos para teste e validação junto às tampas do módulo coletor e impressor do equipamento. Para isso, foi contratado o serviço de uma empresa para o desenvolvimento do projeto técnico e desenvolvimento dos protótipos a serem testados. O desenho de todas as peças foi feito em SolidWorks para que as dimensões prévias fossem definidas.

O subprojeto do hardware teve como resultado o desenvolvimento do esquema elétrico e layout das placas de circuito impresso que compõe o equipamento. Para a realização dos testes foram desenvolvidos protótipos das placas nuas e montadas as mesmas por um montador da Proveu. Foram realizados testes e a validação da versão da placa que seria utilizada para a fabricação dos produtos finais.

O subprojeto do firmware (software embarcado) foi iniciado após a conclusão do hardware. Foram geradas várias versões do firmware que foram submetidas a teste para o levantamento de possíveis bugs e a correção dos mesmos.

No subprojeto do software foi desenvolvido o levantamento dos requisitos para desenvolvimento das aplicações de comunicação e configuração do REP. Além disso, foram elaborados os protótipos que seriam submetidos à aprovação. Foram propostos os modelos de dados das aplicações como diagramas de tabelas relacionadas, diagramas UML e o protocolo de comunicação com o REP. Por fim, foi realizado o confronto entre as funcionalidades do

software que era utilizado pelos modelos Kurumins da linha antiga e levantamento das necessidades de adequação do mesmo para o funcionamento com o REP.

O subprojeto da embalagem foi desenvolvido para que esta absorvesse o impacto sofrido pelo relógio durante o seu transporte. A embalagem é formada por caixa externa e dois calços (com compartimento para o equipamento e para as outras peças). Foram construídos protótipos para a validação do projeto da caixa desenvolvido. Para isso foram realizados testes destrutivos, nos quais os relógios foram submetidos à queda.

O subprojeto do gabinete teve como principal resultado o desenvolvimento de dois protótipos rápidos desenvolvidos por meio da tecnologia de prototipagem rápida. O protótipo foi desenvolvido para a realização de testes de integração com todo o equipamento. Para que fosse desenvolvido o protótipo foi necessário o envio do projeto de design desenvolvido por uma terceirizada em SolidWorks. O projeto de design foi desenvolvido em visitas realizadas a Proveu, pois era necessário o acompanhamento e a validação de cada uma das partes que compunham o projeto. Além disso, dentro desse mesmo subprojeto foi desenvolvido o desenho em 3D das peças internas ao gabinete, tais como bateria, placa principal, fonte de alimentação e memória, para a validação das dimensões dessas junto ao gabinete.

Com a finalização do desenvolvimento de todas as partes que compõe o hardware e o gabinete do REP, foi realizado teste de integração, no qual todas as peças foram montadas e um teste de funcionamento foi realizado.

Na condução do projeto, a execução das fases foi dinâmica e não conclusiva, porque, as fases eram dependentes e recorrentes entre si. Portanto, na execução de uma atividade do projeto, teve-se a necessidade de recorrer a uma ou mais fases que já tinham sido executadas para buscar complementação da informação desejada.

As mudanças que foram solicitadas durante a execução do projeto foram avaliadas e aprovadas pelo comitê executivo mediante análise de relatório de impacto e revisão do cronograma, bem como do escopo do projeto.

Cada subprojeto foi responsável por gerar um produto a ser entregue, ou seja, um deliverable do projeto. Para ser concluído o subprojeto foi necessária a análise, validação e teste dos entregáveis e selecionados seu respectivo fornecedor, para que esse produto fosse entregue ao setor de produção da empresa para entrar na linha de fabricação da Proveu. Essa etapa foi denominada Transferência para a Produção.

Os produtos resultantes das fases do projeto foram apresentados para o patrocinador e para o comitê executivo do projeto nas reuniões de ponto de controle. Nessas reuniões, os

documentos foram apresentados pelo gerente do projeto e submetidos a processo de homologação pelo comitê executivo e quando avaliado necessário, foi apresentado aos outros stakeholders.

Para finalização e fechamento da documentação do projeto, foram criados o relatório de lições aprendidas e o relatório final do projeto. O relatório de lições aprendidas é a documentação histórica do projeto, no qual consta a descrição das ocorrências do projeto, e como os problemas e dificuldades foram superados. O relatório final descreve como o trabalho foi desenvolvido, faz um balanço geral das aquisições e formaliza a desmobilização dos recursos do projeto.

Pôde-se observar na conclusão do projeto que dividir o projeto em etapas, na qual os trabalhos de mais de uma etapa foram executados ao mesmo tempo, foi determinante para a conclusão do projeto no menor tempo possível. Além disso, foi detectado que a principal dificuldade dos integrantes da equipe que participam do projeto é a concorrência com as operações diárias e a prioridade dessas.

3.2.4 UTILIZAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO PROJETO

Para que a etapa de desenvolvimento das partes que compunham o hardware e dos demais componentes físicos fosse dada como concluída, foi necessária a realização de um teste de integração de todo o produto. O teste foi dividido em duas etapas: a primeira ficaria responsável pela validação das dimensões de todas as partes integrantes do produto; e a segunda etapa seria composta de testes de funcionamento e resistência do equipamento. Os modelos físicos seriam montados em escala real (1:1), assumindo a forma de um mock-up. Os mock ups possibilitam a reavaliação do projeto do produto pela equipe do projeto, sem custos elevados.

Foram construídos dois protótipos, uma para cada etapa do teste de integração. As peças que se utilizaram da prototipagem rápida foram as tampas do gabinete da parte de coletor e do gabinete da parte do impressor. Cada uma das peças foi fabricada a partir de uma tecnologia de prototipagem rápida, selecionada a partir dos requisitos do teste.

A primeira peça foi construída pelo SENAI (Centro de Formação Profissional “Euvaldo Lodi”), por meio de estereolitografia, na máquina Viper™ SLA® system. A outra peça foi construída no Laboratório de Modelos Tridimensionais do Instituto Nacional de Tecnologia, por meio de modelagem por deposição de material fundido, na máquina FDM Vantage.

A peça escolhida para a análise retratada nesse trabalho é referente à tampa do gabinete do impressor. A peça foi desenvolvida, num primeiro momento, em SolidWorks, como pode ser visto na Figura 11. A descrição de cada instituto onde foi realizada a prototipagem rápida, a caracterização das peças fabricadas, bem como a comparação dos aspectos de cada uma delas será desenvolvida a seguir.

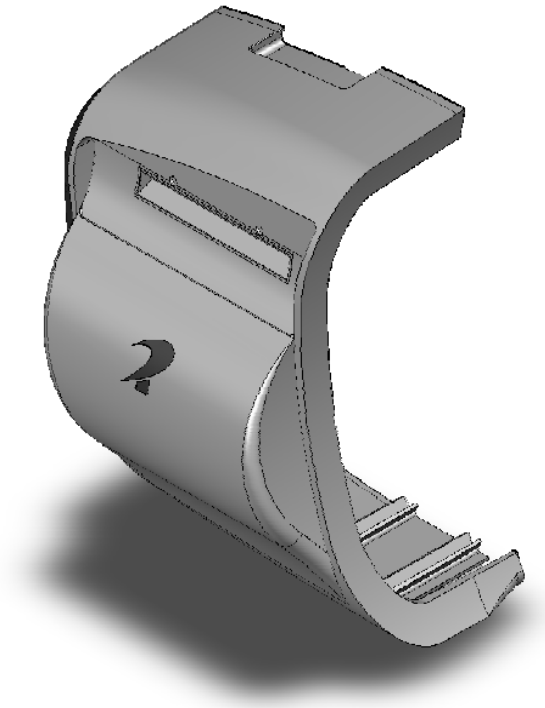

Figura 11 – Representação da tampa do gabinete do impressor
Fonte: Documentação do Projeto

3.2.4.1 NÚCLEO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA - SENAI

O centro de Formação Profissional “Euvaldo Lodi”, disponibiliza à indústria mineira o Núcleo de Prototipagem Rápida e, com ele, o mais moderno processo de desenvolvimento de protótipos de produtos, sejam eles mecânicos, elétricos, eletrônicos, de jóias ou maquetes.

O núcleo confecciona as peças tridimensionais a partir de desenhos gerados em programas CAD/CAM ou digitalizados por *scanne* 3D, por meio de um processo que fatia o objeto e vai adicionando camada por camada de resina até formar o objeto sólido. Este sistema permite a criação de sistemas com características internas complicadas, difíceis de serem reproduzidas por outros métodos, e que podem receber acabamentos específicos para a apresentação do produto. Por meio desse processo é gerada uma economia de 70% a 90% de custos e de tempo.

Além desse serviço, o SENAI presta serviços de modelagem de sólidos e superfícies em software, elaboração de programas CNC para cavidades, pesquisa na área de modelagem, prototipagem rápida e rapid tooling, e, por fim, desenvolve processos de Engenharia Reversa, que permite o escaneamento 3D de objetos.

No desenvolvimento do protótipo solicitado pela equipe do projeto desenvolvido na Proveu foi utilizado o serviço de prototipagem rápida desenvolvido pelo SENAI. A tecnologia utilizada foi a estereolitografia por meio da máquina Viper™ SLA® system.

A Viper™ SLA® system permite a construção de peças com detalhes extremamente finos, tais como jóias e conectores eletrônicos de aparelhos auditivos. Além disso, o laser utilizado pela máquina tem longa duração, aproximadamente 7500 horas e o software de apoio ao equipamento (Buildstation TM) é de fácil utilização. A espessura de cada camada construída pela máquina é de no mínimo 0,02 mm a no máximo 0,10 mm. A velocidade típica durante a construção dos protótipos é de 5 mm / s. Por fim, vale ressaltar que este sistema está em conformidade com a legislação federal sobre desempenho de lasers e com os padrões de desempenho exigidos. A imagem do maquinário pode ser visto na Figura 12.

O protótipo da tampa do gabinete do impressor fabricada pelo SENAI pode ser observado na Figura 13. A peça não foi pintada e nem passou por nenhum processo posterior a sua fabricação no Núcleo de Prototipagem Rápida que pudesse modificar seu aspecto físico, por isso manteve suas características originais.

Figura 12 – Imagem da Viper™ SLA® system.
Fonte: http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=10152 (Acesso em: 20/10/2010)

Figura 13 – Peça prototipada pelo Núcleo de Prototipagem Rápida - SENAI.
Fonte: Foto tirada pelo autor

3.2.4.2 LABORATÓRIO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS – INT

A Divisão de Desenho Industrial - DvDI atua, por meio de seus laboratórios, no desenvolvimento de pesquisa aplicada, bem como na prestação de serviços técnicos especializados nas áreas de design, ergonomia e modelagem. A DvDI tem as seguintes principais linhas de atividade: desenvolvimento de produtos, avaliação da usabilidade de produtos e serviços, análise ergonômica de layout industrial e comercial, avaliação e projeto de salas de controle, pesquisas antropométrica e biomecânica, design de embalagens além de prototipagem rápida, convencional e virtual de produtos.

Para geração e construção de modelos virtuais e reais o LAMOT (Laboratório de Modelos Tridimensionais) conta com equipamentos de última geração, tais como: sistema de prototipagem rápida; FDM, que trabalha com plástico ABS; SANDERS, que trabalha com cera; scanner tridimensional; softwares de modelagem tridimensional; fresadora CNC; máquina de vacuum-forming; e Injetora de baixa pressão. Possui ainda uma oficina convencional completa, apta a trabalhar com plásticos, madeiras e metais.

Para o desenvolvimento do protótipo rápido solicitado pela gerência do projeto de produto da Proveu foi utilizada a máquina de modelagem por deposição de material fundido disponível no laboratório do INT, FDM Vantage, mostrada na Figura 14.

A FDM Vantage é capaz de produzir peças em tamanho real, de material termoplástico, diretamente de arquivos digitais. A velocidade de saída de material do equipamento pode ser personalizada de acordo com as necessidades do cliente. Os modelos são produzidos dentro de uma exatidão de 0,005 polegadas (0,127 milímetros) até 5 polegadas (127 mm), dependendo da geometria das peças. Além disso, a FDM Vantage usa o programa Insight Software para importar os arquivos STL, que corta automaticamente o arquivo e gera as estruturas de apoio a extrusão do material.

A peça fabricada pelo Laboratório para o desenvolvimento da segunda etapa do teste de integração do produto desenvolvido pelo projeto da Proveu pode ser observada na Figura 15. A peça foi pintada porque nessa fase do teste era necessária a demonstração do produto a alguns clientes, o que exigia que este estivesse com as características o mais próximo da realidade. Além disso, foi colado no protótipo o painel adesivo projetado para o produto. Na imagem da parte interior do gabinete podem ser observadas algumas características originais da peça.

Figura 14 – FDM Vantage
Fonte: http://www.factoryoffactories.com/fof_br/rapidprotot_br.htm (Acesso em: 20/10/2010)

Figura 15 – Imagem da peça prototipada pelo LAMOT (vista frontal e interior).
Fonte: Foto tirada pelo autor

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROTÓTIPOS DO ESTUDO DE CASO

A simples comparação das imagens dos protótipos construídos nos processos da tecnologia de prototipagem rápida FDM e Estereolitografia, já demonstra a grande diferença entre eles. Nas comparações atentas aos detalhes das imagens notam-se as diferentes texturas formadas e os diferentes níveis de detalhamento das peças, tanto o dimensional quanto a estrutura das peças apresentam diferenças entre si. Além disso, os aspectos funcionais dos protótipos também apresentam diferentes graus de satisfação pela equipe do projeto. As duas peças podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 – Peças prototipadas a partir da Estereolitografia (à esquerda) e FDM (à direita).
Fonte: Foto tirada pelo autor

O custo da peça produzida por estereolitografia se apresentou 41% maior que o custo da peça fabricada em plástico ABS pelo processo de modelagem por deposição de material fundido, como pode ser observado na Tabela 2. Entretanto, o custo e a rapidez de confecção das peças são inversamente proporcionais, pois a tecnologia que se apresentou mais cara é também a mais ágil.

O item da tabela referente ao acabamento superficial é resultado de avaliação empírica, ou seja, de teste prático e avaliação subjetiva que levam em consideração a qualidade da textura estabelecida como requisito no projeto desenvolvido. Na observação crítica dos protótipos, pôde-se observar que as duas peças apresentam uma aparência final muito satisfatória, justificada pelo fato de terem sido construídas a partir de um bloco único e não precisarem de emendas. Outro fato observado se refere à opacidade apresentada pelo protótipo de FDM, enquanto o protótipo construído a partir da estereolitografia é translúcido permitindo a visualização de detalhes internos.

Quanto à fidelidade geométrica das peças, pode-se observar que existem algumas distorções dimensionais pequenas, possivelmente devido a espessura das camadas de construção dos protótipos. Estas falhas dimensionais foram desconsideradas, uma vez que não interferiu nos testes realizados. Para a realização da comparação desse parâmetro foram utilizados os equipamentos metrológicos necessários (paquímetro).

As duas tecnologias de prototipagem rápida se apresentaram altamente flexíveis, pois é possível construir por meio delas amplas formas geométricas.

Por fim, é possível afirmar que ambas as tecnologias apresentaram grande semelhanças no que tange a qualidade das peças e a flexibilidade do processo, apresentando diferenças significativas basicamente no custo e tempo de fabricação dos protótipos. O tempo se torna fator primordial na escolha da tecnologia de prototipagem quando este é fator estratégico dentro do contexto do projeto. Quanto ao custo essa relação também é válida.

Processo de PR	**Estereolitografia**	**FDM**
Equipamento	Viper™ SLA® system	FDM Vantage
Material de Construção	Resina Fotossensível	ABS
Tempo de execução	4h	7h
Custo	R$ 3865,80	R$ 2740,00
Acabamento superficial	Bom	Bom
Variedade de materiais	Pequena	Média
Translucidez	Sim	Sim
Precisão	Excelente	Boa
Pós-processo	Sim	Sim
Pós-cura	Sim	Não

Tabela 2 – Tabela comparativa dos processos de Prototipagem Rápida
Fonte: Autora, (2010)

4.2 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA

A seleção da melhor tecnologia de prototipagem rápida, geralmente vem do tempo disponível para a execução do protótipo e o custo que esse processo irá significar dentro da execução do projeto, mas principalmente deve-se levar em consideração a utilidade desse protótipo dentro do desenvolvimento do produto. Conhecendo-se os fatores relacionados no item anterior e as questões de utilização é possível definir qual tecnologia de prototipagem rápida foi mais útil na execução do projeto em questão.

Para essa definição foi necessário responder aos seguintes questionamentos:

- Para que o protótipo foi construído;
- Tamanho da peça a ser prototipada;
- Recursos disponíveis para a fabricação do protótipo;
- Tempo disponível para a fabricação do protótipo;
- Precisão desejada;
- Acabamento superficial.

No estudo de caso realizado as peças prototipadas foram construídas para serem submetidas a testes de integração do produto. Na primeira etapa, na qual era necessária a validação das dimensões das peças componentes do produto, foi utilizado o protótipo construído a partir de estereolitografia, e esse superou as expectativas da equipe em sua qualidade de acabamento e precisão das dimensões. Na segunda etapa do teste, na qual deveria ser realizado teste de funcionamento do equipamento e de resistência, foi utilizado o protótipo de ABS, que não apresentou as características esperadas pela equipe, pois as peças menores e mais frágeis quebraram durante a execução do teste. Não é possível afirmar que a quebra das peças é de responsabilidade do processo em si, ou da máquina que construiu o protótipo. Além disso, é possível que a tecnologia escolhida não seja a que melhor se adequaria para o teste definido.

Todos os dois protótipos foram fabricados em tempo e com o custo planejados pela gerência do projeto, por isso esses dois fatores não contribuíram para a decisão da melhor tecnologia aplicada.

Por fim, o acabamento superficial das peças se difere no que tange a percepção das camadas que compõe os protótipos. No protótipo fabricado a partir da FDM é possível distinguir as camadas, principalmente nas regiões curvas da peça, enquanto no protótipo de resina essa distinção é mais difícil. Portanto, no estudo de caso apresentado a estereolitografia foi considerada a melhor tecnologia de prototipagem rápida para a confecção dos protótipos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O que este estudo buscou entender foi como as tecnologias de prototipagem rápida podem contribuir para os projetos de desenvolvimento de produto. Além disso, por meio do estudo de caso realizado procurou-se estabelecer qual a melhor tecnologia para ser utilizada na concepção dos produtos, reduzindo com esta definição o tempo de ciclo de desenvolvimento e aumentando a qualidade de pré-produção de um produto.

Foram realizadas comparações entre as tecnologias de Prototipagem Rápida Estereolitografia e FDM e foram estabelecidas as diretrizes para a tomada de decisão de qual foi a melhor tecnologia utilizada no projeto. Entretanto, nesta busca o que ficou evidente é que é necessário levantar informações e definir os objetivos da construção do protótipo para que seja estabelecido o processo a ser utilizado. Cada produto passa pelo processo de desenvolvimento necessitando de protótipos ao longo deste ciclo, portanto, para cada fase há

uma tecnologia que melhor se adéqua a necessidade. Deve-se avaliar o quanto se pretende gastar, o tempo disponível, a qualidade superficial exigida, a resistência mecânica e a precisão dimensional, em fim é a aplicação do protótipo que definirá qual a tecnologia a ser utilizada.

Observando os resultados dos testes realizados com os protótipos construídos a partir das tecnologias de estereolitografia e FDM, por exemplo, é possível identificar diferenças que determinam qual processo se adéqua a cada tipo de necessidade advinda das fases do projeto. Quando o ganho de tempo é o ponto estratégico do projeto, a tecnologia mais adequada seria a estereolitografia, por outro lado quando o fator estratégico for o custo deve-se adotar a tecnologia FDM. Já no que se refere à flexibilidade e qualidade dos protótipos rápidos, é possível afirmar que ambas as tecnologias possuem alta qualidade e flexibilidade, com sutis diferenças entre si que também deverão ser consideradas no momento da escolha. Portanto, o essencial é determinar previamente que características são consideradas estratégicas para o projeto específico e então, fazer a escolha criteriosa da tecnologia PR que mais se adapta a ele.

Mediante os resultados analisados, algumas sugestões podem ser apresentadas para trabalhos futuros:

- Comparar os processos de tecnologia de prototipagem rápida aos demais processos existentes e que não foram citados nessa pesquisa;
- Buscar novas revisões bibliográficas, pois as novas tecnologias surgem a passos mais largos que o desenvolvimento de estudos como este;
- Estudar métodos para a tomada de decisão;
- Por fim, realizar um estudo mais abrangente sobre os produtos fabricados a partir de injeção plástica, pois esses estão cada vez mais inseridos no mercado.

REFERÊNCIAS

BARCLAY, I. The new product development process: improving the process of new product development. R&D Management, v.22, n.4, p.307-317, 1992.

BEAL, Valter Estevão. Avaliação do uso de insertos obtidos por estereolitografia na moldagem de pós metálicos por injeção. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. Março de 2002.

BRYMAN, ALAN. Reserch methods and organization studies. London: Unwin Hyman, London, 1989.

CAPUANO, E. A. P. CARVALHO, M. M. Prototipagem Rápida: a escolha da tecnologia PR mais adequada à estratégia para o desenvolvimento de produtos. In: ENEGEP, 2000, Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos. Disponível em: < www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000_E0001.PDF>. Acesso em: 10/01/10.

CLARK, K.B. & FUJIMOTO, T. Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston-Massachusetts, HBS Press, 1991. 405p.

CUSTOMPART.NET. Olney - EUA: CustomPartNet; Sem data de atualização; Acesso em: 29/03/2010. Disponível em: http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling.

FERREIRA, E. P. F. Considerações sobre o desenvolvimento de produtos com diferencial em serviços. Dissertação de mestrado, Mestrado em Engenharia Mecânica – Escola Politécnica da USP, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

GIL, ANTONIO CARLOS. Como elaborar um projeto de pesquisa. São Paulo: Atlas, (2002).

GORNI, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. Revista Plástico Industrial. São Paulo, v. (não informado), p. 230-239, 2001.

MELLO, C. H. P. SILVA, C. E. S. COSTA, S. C. Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo e tempo. In: ENEGEP, 2006, Fortaleza. Anais Eletrônicos. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR490328_7839.pdf>. Acesso em: 10/01/10.

NAVEIRO R. M. & OLIVEIRA V. F. (organizadores). O Projeto de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial: Conceitos, Reflexões, Aplicações e Formação Profissional. Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

PAHL, G. et al. Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PIZZOLITO, E. A. Enquadramento da prototipagem Rápida na metodologia de projetos de grandes empresas. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Campinas: Unicamp, 2004.

REDEYE EXPRESS. Eden Prairie - EUA: Redeye; Sem data de atualização; Acesso em: 29/03/2010. Disponível em: http://express.redeyeondemand.com/Default.aspx.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. e outros. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Editora 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.

SELHORST JUNIOR, A. 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.

TOLEDO, J. SILVA, S. L. ALLIPRANDINI, D. H. MARTINS, F. M. FERRARI, F. M. Práticas de gestão no desenvolvimento de produtos em empresas de autopeças. Produção, São Paulo, volume 18, nº 2, 2008.

TOULMIN, S.: The Hidden Agenda of Modernity. Cosmópolis New York: The Free Press. 1990.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campos Curitiba. Curitiba: UTFP; Sem data de atualização; Acesso em 18/06/2010. Disponível em: http://www.nufer.citec.ct.utfpr.edu.br/O_QUE_E_PROTOTIPAGEM.html

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

TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.