

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO**

**GERSON FERREIRA COSTA**

**APLICAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO DESENVOLVIMENTO DE UM  
PRODUTO: ESTUDO DE CASO**

Botucatu - SP

Junho– 2015

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO**

**GERSON FERREIRA COSTA**

**APLICAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO DESENVOLVIMENTO DE UM  
PRODUTO: ESTUDO DE CASO**

Orientador: Prof. Me. Ricardo Gasperini

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
FATEC - Faculdade de Tecnologia de Botucatu,  
para obtenção do título de Tecnólogo no Curso  
Superior de Produção Industrial.

Botucatu - SP

Junho– 2015

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a meus pais e amigos que sempre me deram muito apoio e torceram pela concretização de um dos meus objetivos que é a graduação.

Dedico também a minha fiel, grande cúmplice e companheira Milena Bariquelli que sempre me deu muito apoio e nunca me permitiu desistir dos meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me ajudou infinitamente desde o início do curso até a conclusão desta monografia.

Agradeço a minha grande companheira que no início do curso era namorada e hoje minha esposa Milena Bariquelli pelo incentivo e força.

Agradeço a meus pais pelo apoio e por nunca me deixarem desistir dos meus ideais.

Agradeço ao meu orientador Professor Me. Ricardo Gasperini, que me apoiou imensamente nesta monografia e sempre esteve presente nos momentos em que precisei.

Agradeço aos professores da instituição, que desempenham seu papel com muito afinho e determinação e mesmo com todos os percalços seguem firmes no seu objetivo de disseminar o conhecimento.

Agradeço a FATEC como um todo por permitir que muitas pessoas que tiveram poucas oportunidades na vida possam buscar um novo caminho através do ensino de nível superior nela adquirido.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

“Ele (Deus) é o dono de tudo. Devo a Ele a oportunidade que tive de chegar aonde cheguei. Muitas pessoas têm essa capacidade, mas não têm a oportunidade. Ele a deu pra mim, não sei porque. Só sei que não posso desperdiçá-la.”

Ayrton Senna

## RESUMO

Pouco conhecida, a utilização da Prototipagem Rápida (PR) vem adquirindo espaço na indústria por seus benefícios. O objetivo deste trabalho é foi apresentar alguns benefícios da PR e suas principais vantagens que se fala Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP). No decorrer do trabalho será abordado o modo de funcionamento da PR que ao contrario das maiorias das tecnologias de manufatura, ela trabalha com o princípio da adição de matérias e não do desbaste como utilizados por outras técnicas como a usinagem. Foi aplicado um caso pratico do desenvolvimento de um produto de uma indústria localizada na região de Botucatu, onde será demonstrado o resultado final da aplicação da RP e seus benefícios para o desenvolvimento.

**Palavras-chaves:** Manufatura. Prototipagem Rápida(RP). Projeto de Desenvolvimento de Produto(PDP).

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1– Curva de ciclo de vida do produto com relação às vendas .....	14
Figura 2 – Divisão das aplicações da Prototipagem Rápida por segmentos .....	18
Figura 3 – Parte de Crânio Reproduzido por Prototipagem Rápida .....	19
Figura 4 – Painel automotivo construído por RP para estudos.....	20
Figura 5 – Aeromodelo Construído com resina Fotocurável .....	21
Figura 6 – Mudança na ênfase das áreas de aplicação .....	21
Figura 7 – Esquema de funcionamento de um processo de RP baseado em líquido (estereolitografia-SL) .....	24
Figura 8 – Construção confeccionada em impressora 3D em tamanho real através das imagens geradas por ultrassom .....	25
Figura 9 – Esquema de funcionamento FDM.....	26
Figura 10 – Esquema de funcionamento PLT .....	26
Figura 11 – Esquema demonstrativo Sinterização à Laser.....	27
Figura 12 – Impressão em SLS de um componente de motor resistente ao calor.....	27
Figura 13 – Ciclo de desenvolvimento de produtos utilizando RP .....	28
Figura 14 – Etapas para a RP.....	29
Figura 15 – Software CATIA módulo de desenho técnico .....	30
Figura 16 – Software SOLIDWORKS módulo de desenho técnico .....	30
Figura 17 – Escaneamento da Roda de um Carro .....	31
Figura 18 – Escaneamento de uma peça pronta .....	31
Figura 19 – Origem de dados 3D para RP.....	32
Figura 20 – Comparação de um desenho CAD/Desenho convertido em STL.....	33
Figura 21 – Representação de malha STL.....	33
Figura 22 – Comparação de diferentes resoluções da malha de triângulos.....	34
Figura 23 – Comparação da resolução correta e incorreta da malha de triângulos.....	34
Figura 24 – Efeito degrau ou escada em função do ângulo de inclinação da superfície e espessura da camada.....	36
Figura 25 – Representação das principais etapas do processo de manufatura por RP .....	37
Figura 26 – Maquete Plataforma P52 da Petrobrás .....	39
Figura 27 – Modelo volumétrico jarra elétrica.....	39
Figura 28 – Mock-up fuselagem e cockpit do A380 em tamanho real.....	40
Figura 29 – Modelo de apresentação em escala reduzida de um carro conceito da Chevrolet apresentado no salão do automóvel em 2012.....	41
Figura 30 – Protótipo físico da carcaça de um telefone celular.....	42
Figura 31 – Análise de resistência (sistema CAE) de um componente mecânico indicando os pontos de uma possível ruptura por fadiga.....	43
Figura 32 – Protótipo funcional x Protótipo físico de uma alavanca de cambio automático.....	44

Figura 33 – Fases e etapas do desenvolvimento de produtos e o uso de protótipos .....	45
Figura 34 – Melhoria da comunicação através do uso de protótipos físicos.....	48
Figura 35 – Custo de alteração de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto conforme a etapa .....	49
Figura 36 – Ônibus rodoviário de modelo idêntico ao objeto do estudo.....	52
Figura 37 – Fases e etapas do desenvolvimento de produtos e o uso de protótipos .....	53
Figura 38 – Peças desenhadas em Software 3D .....	53
Figura 39 – Forma de fixação do “escoa água” .....	54
Figura 40 – Modelo 3D da janela .....	54
Figura 41 – Janelas do ônibus.....	55
Figura 42 – Esquema de funcionamento do “escoa água”-lado interno.....	56
Figura 43 – Peça prototipada instalada no veículo .....	56
Figura 44 – Fluxograma interno do processo com a utilização da RP .....	57
Figura 45 – Fluxograma interno do processo sem a utilização da RP.....	58
Figura 46 – Peças prototipadas para teste.....	59
Figura 47 – Peças prototipadas para teste.....	59
Figura 48 – Teste de fixação dos protótipos através da climpagem.....	60
Figura 49 – Condição da peça final no 3D .....	61
Figura 50 – fixação do “escoa água” através da climpagem .....	61
Figura 51 – Condição final do “escoa água” no produto final-pronto para o cliente.....	62



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

RP-PROTOTITAGEM RÁPIDA (RAPID PROTOTYPING)

PDP-PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

SL-ESTEREOLITOGRAFIA

CAD-DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR (COMPUTER AIDED DESIGN)

CAE-ENGENHARIA AUXILIADA POR COMPUTADOR (COMPUTER AIDED  
ENGINEERING)

CAM-FABRICAÇÃO ASSISTIDA POR COMPUTADOR (COMPUTER AIDED  
MANUFACTURING)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo .....	12
1.2 Justificativa .....	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1 Tecnologia e lançamento de produtos.....	13
2.2 Prototipagem Rápida .....	17
2.2.1 Introdução .....	17
2.2.2 Aplicações .....	18
2.2.3 Manufatura Aditiva.....	22
2.2.4 Tipos de tecnologias de RP .....	23
2.2.4.1 Processos baseados em líquidos.....	23
2.2.4.2 Processos baseados em sólidos.....	25
2.2.4.3 Processos baseados em pó .....	26
2.2.5 Desenvolvimento de um protótipo .....	27
2.2.5.1 Obtendo o modelo 3D.....	28
2.2.5.1.1 Criando um modelo 3D novo.....	29
2.2.5.1.2 Obtendo o modelo 3D através de scanners industriais .....	31
2.2.5.1.3 Obtendo o modelo 3D através de scanners médicos.....	32
2.2.5.2 Conversão para o formato STL.....	32
2.2.5.3 Corte do arquivo em STL .....	35
2.2.5.4 Construção camada por camada.....	36
2.2.5.5 Pós-processamento e acabamento. ....	37
2.3 Integração da Prototipagem Rápida com o processo de desenvolvimento de produto .....	37
2.3.1 Formas de representação do produto .....	38
2.3.1.1 Representações do produto nas fases iniciais do PDP.....	38
2.3.1.2 Representações do produto nas fases mais adiantadas do PDP .....	41
2.3.2 A finalidade das representações de produto no PDP .....	44
2.3.3 Vantagens para o PDP .....	47
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
3.1 Material .....	51
3.2 Métodos .....	51

<b>3.3 Estudo de Caso.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.1 A necessidade de desenvolvimento .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2 Projetos similares.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.3 Início do projeto.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.4 Modo de funcionamento do escoamento de água .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.5 A necessidade de elaborar os protótipos do modelo 3D (CAD).....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.6 A elaboração do protótipo físico .....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.7 Teste em campo.....</b>	<b>60</b>
<b>4 Resultados e discussão.....</b>	<b>63</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a intensificação da concorrência, aliada à crescente complexidade dos produtos fabricados, tem exigido das empresas alterações substanciais no Processo de desenvolvimento de Produto (PDP), visando reduzir o tempo total do desenvolvimento, juntamente com o aumento da qualidade e competitividade. Estas alterações envolvem tanto aspectos de gestão do processo de desenvolvimento, como também o emprego de novas técnicas e ferramentas computacionais para projeto, análise, simulação e otimização dos componentes fabricados. Muitas vezes, a garantia de sucesso comercial de um produto esta associada à habilidade da empresa de em identifica as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos que atendam satisfatoriamente as suas necessidades.

Dentre todas essas atividades envolvidas do PDP, a utilização do protótipo físico é essencial para melhorar a comunicação entre os envolvidos no processo, bem como reduzir a possibilidade de falhas e melhorar a qualidade do produto.

A tecnologia da Prototipagem Rápida (RP de Rápido Prototyping) permite que possamos visualizar um produto mesmo antes de ser fabricado de maneira definitiva, prevendo possíveis falhas de projeto e conseqüentemente refinando o processo de desenvolvimento possibilitando o desenvolvimento de um produto que atenda as necessidades a qual é proposto.

O termo Prototipagem Rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (C.A.D). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, de forma a constituir o objeto desejado. Eles

oferecem diversas vantagens em muitas aplicações quando comparados aos processos de fabricação clássicos baseados em remoção de material, tais como fresamento ou torneamento.

Diante desses recursos, o presente trabalho objetiva demonstrar que o uso desta ferramenta avançada de auxílio no desenvolvimento de produtos, tem viabilizado o aumento de competitividade no setor industrial. O presente estudo tem como objetivo salientar a importância da utilização desta ferramenta no processo de desenvolvimento de produtos, em particular os produtos oriundos da indústria metal mecânica, citando as principais vantagens que a mesma proporciona. Em uma aplicação prática realizada em uma indústria local, pretende-se mostrar o processo de aplicação desta ferramenta bem como os resultados.

### **1.1 Objetivo**

O presente estudo teve como objetivo disseminar a tecnologia de RP e seus princípios básicos de funcionamento e apontar os principais benefícios da aplicação do conceito de prototipagem rápida no projeto de desenvolvimento de produto (PDP) através de uma aplicação prática que surgiu de uma necessidade de uma empresa local.

### **1.2 Justificativa**

O desenvolvimento de novos produtos normalmente passa por várias fases até a concepção final do produto.

A justificativa do trabalho baseia-se na constante necessidade das empresas de desenvolverem produtos com ciclo de desenvolvimento menor resultando em um menor *lead time* final de lançamento do produto no mercado e prever antecipadamente falhas no projeto de maneira precoce gerando menores custos relacionados a correção e/ou modificação de um projeto.

A Prototipagem Rápida atualmente é o que temos de melhor em desenvolvimento de novos produtos gerando uma redução na etapa de projeto e desenvolvimento e contribuindo largamente para a definição das características do produto final e ainda, traz resultados satisfatórios que diminuem o nível de retrabalho e não conformidades durante a produção em massa, resultado esse, fruto do desenvolvimento melhor elaborado com uma análise mais aprofundada das variáveis do processo em sua fase de projeto uma vez que o produto pode ser fabricado na sua condição real antes de ser liberado para a produção em larga escala.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Tecnologia e lançamento de produtos**

Nos atuais contextos de competitividade, as empresas se vêem obrigadas a, cada vez mais, lançar novos produtos inovadores e atrativos para conquistar os consumidores cada vez mais exigentes. Em um mundo globalizado, a velocidade de informação, execução e implementação de um projeto são fundamentais para o sucesso de uma empresa. A gradual redução do tempo de vida de um produto faz com que as empresas necessitem desenvolver novos produtos num espaço de tempo cada vez menor. Esta realidade tem obrigado as empresas a recorrerem a metodologias e ferramentas de gestão do desenvolvimento de produtos que lhes permitam atingir estes objetivos. Considera-se que o sucesso de um produto no mercado está ligado (na maioria das vezes) a um binômio que engloba velocidade e flexibilidade em termos de desenvolvimento de um novo produto, ou seja, prioritariamente na capacidade da empresa em desenvolver rapidamente produtos diversos com qualidade. Consequentemente, essa velocidade e flexibilidade passam necessariamente pela eficiência e eficácia no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) pela empresa.

Conforme Back (1983) podemos definir o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) como sendo atividades, etapas e decisões que envolvem o projeto de desenvolvimento de um novo produto ou serviço, ou a melhoria em um já existente, desde a idéia inicial até descontinuação do produto, com o objetivo de sistematizar esse processo. No PDP são levantados os desejos dos clientes, traduzidos em especificações a serem desenvolvidas para

gerar soluções técnicas e comerciais. Tudo isso atrelado à estratégia, às restrições, às possibilidades operacionais da empresa e às necessidades dos clientes.

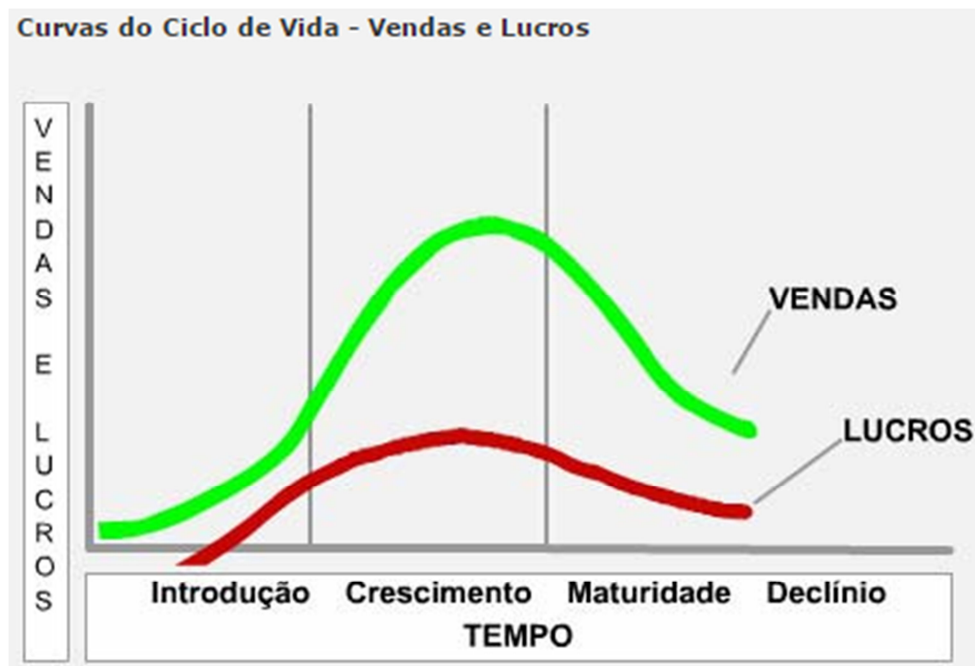
Segundo Filippini, Salmaso e Tessarolo (2004), o desenvolvimento de novos produtos de forma rápida tornou-se uma prioridade em muitas organizações que se apressam para comercializar tecnologias emergentes e para satisfazer as necessidades dos clientes. Fica claro que o PDP é essencial para que as empresas possam competir com sucesso no mercado global

Existe um número crescente de empresas que investem significativamente em iniciativas e recursos para desenvolver melhores práticas e para avaliar as práticas do PDP das empresas líderes do setor.

Chandra e Neelankavil (2008) afirmam que o PDP fornece uma plataforma para o sucesso financeiro em longo prazo, mas o PDP é um empreendimento complexo, arriscado e caro.

Na figura 1 podemos notar que a fase de desenvolvimento de produto e introdução do produto no mercado é a fase onde a empresa não obtém lucro com o produto a ser desenvolvido, é uma etapa somente de investimento e a garantia de que este investimento irá se reverter em receita passa por uma etapa de desenvolvimento bem realizada.

Figura 1– Curva de ciclo de vida do produto com relação às vendas



Fonte: [www.unama.br](http://www.unama.br) (2015)

Para Kotler (1988), um produto é qualquer coisa que pode ser oferecida a um mercado para aquisição ou consumo; incluindo-se objetos físicos, serviços, personalidades, lugares, organizações e idéias. Levando-se em consideração as definições e objetivos do marketing a tarefa maior de um produto é satisfazer as necessidades do mercado. McKenna (1993) coloca que, do ponto de vista do consumidor, um produto tem uma infinidade de significados, portanto é o mercado quem define o produto.

Segundo Kotler (1988), podemos distinguir 3 conceitos básicos de produto: tangível - objeto físico ou serviço que é oferecido ao mercado-alvo, sua configuração física, estilo, qualidade, embalagem e nome da marca; genérico - é a utilidade ou benefício essencial que está sendo oferecido ou procurado pelo comprador é aquilo que nem sempre pode ser visualizado e que acrescenta o na parte tangível do produto; ampliado - é a totalidade dos benefícios que a pessoa recebe ou experimenta na obtenção de um produto tangível é o plus, algo a mais, oferecido por um produto como instalação, entrega, crédito, garantia, serviço pós-venda.

Quanto à classificação dos produtos, Cobra (1988 citado por CAMARGO et.al, 2013, p.83) os coloca da seguinte forma:

- a) bens de consumo: duráveis (bens tangíveis que normalmente sobrevivem há muitos usos como roupas e automotores), bens não duráveis (produtos tangíveis que normalmente são consumidos em um ou em poucos usos como refrigerantes, e xampus) e serviços (atividades, benefícios ou satisfações que são oferecidas para a venda como alfaiate, despachantes etc.);
- b) bens Industriais: materiais e componentes (entram na fabricação de outros bens, são as matérias primas e os componentes), bens de capital (entram parcialmente na composição do produto auxiliando no processo de fabricação) e suprimentos e serviços (não entram na composição do produto final).

O processo de desenvolvimento de produto situa-se na interface entre a empresa e o mercado - daí sua importância estratégica - cabendo a ele: desenvolver um produto que atenda às expectativas do mercado, em termos da qualidade total do produto; desenvolver o produto no tempo adequado, ou seja, mais rápido que os concorrentes; e a um custo de projeto compatível ( ALLIPRANDINI et al., 2002).

Alliprandini et al. (2002) afirma que, além disso, também deve ser assegurada a manufaturabilidade do produto desenvolvido, ou seja, a facilidade de produzi-lo, atendendo às restrições de custos e de qualidade na produção.

O desempenho nessa área depende da capacidade das empresas gerenciarem o processo de desenvolvimento e de aperfeiçoamento dos produtos e de interagirem com o mercado e com as fontes de inovação tecnológica.



Assim, o lançamento eficaz de novos produtos e a melhoria da qualidade dos produtos existentes são duas questões de grande relevância para a capacidade competitiva das empresas. Ambas as atividades compõem o que normalmente se chama de Desenvolvimento de Produto.

Outro fator que atinge o PDP é que com o aumento das exigências do mercado e o desenvolvimento fabril, os produtos tornaram-se cada vez mais complexos tanto no que se refere a forma como quantidade de componentes.

A tecnologia também contribui para um bom PDP, uma vez que é um diferencial de extrema importância prover o desenvolvimento de produtos com métodos, equipamentos e ferramentas e demais recursos modernos de alto nível tecnológico.

Segundo Sabato e Mackenzie (1996) a tecnologia não é uma máquina, ou um diagrama, ou uma receita, ou um programa de computador, ou uma fórmula, ou uma patente, ou um desenho. É muito mais do que isso. Incorporada, como uma fábrica completa, desmembrada, como um grupo de projetos (ou em uma combinação conveniente dos dois tipos), tecnologia é um pacote de conhecimentos organizados de diferentes tipos (científico, empírico, etc.) provenientes de várias fontes (descobertas científicas, outras tecnologias, patentes, livros, manuais, etc.) através de diferentes métodos (pesquisa, desenvolvimento, adaptação, reprodução, espionagem, especialistas, etc.).

Assim, podemos definir um protótipo como uma tecnologia que pode ser aplicada durante o PDP.

Segundo Volpato et al. (2007) o protótipo de um produto ou componente é a parte essencial no seu processo de desenvolvimento, pois possibilita que a análise de sua forma e funcionalidade seja feita numa etapa anterior à produção de ferramental definitivo. Historicamente, as representações físicas dos produtos (ou simplesmente protótipos) vêm sendo utilizadas desde a antiguidade, evoluindo de manuais, ainda bastante utilizadas, para protótipos virtuais nos anos 80, com a disseminação dos sistemas CAD tridimensionais, e mais recentemente com protótipos rápidos.

## 2.2 Prototipagem Rápida

### 2.2.1 Introdução

Kai, Jacob e Mei (1997) definem a *Rapid Prototyping* (RP) – Prototipagem Rápida (RP) como um processo que produz peças camada por camada diretamente de um modelo gerado em CAD.

Segundo Lencina (2006) o princípio básico das tecnologias de prototipagem rápida se baseia na fabricação de objetos físicos tridimensionais, a partir de modelos CAD, pela adição sucessiva de finas camadas de material, explicou.

Como evolução natural, a tecnologia passou a ser aplicada não apenas em protótipos, mas também na construção de ferramentas para moldagem por injeção, fundição, extrusão, moldagem por sopro, termoformagem, estampagem e repuxo.

Para Pham e Gault (1998), a RP é como um grupo de novas tecnologias para produção precisa de peças diretamente dos modelos de CAD em algumas horas, com a mínima necessidade de intervenção humana. Kaminski (2000) define a RP como uma tecnologia que produz modelos físicos a partir de modelos tridimensionais de sistemas CAD e que compõe os modelos a partir de materiais básicos depositados em camadas subseqüentes cujo contorno é obtido diretamente destes sistemas.

Upcraft e Fletcher (2003) definem a RP como sendo um termo genérico para um número de tecnologias que disponibilizam componentes sem a necessidade de fabricação de ferramental em um primeiro momento, ou sem a necessidade de prototipadores.

Volpato et al. (2007) definem a RP como um processo de fabricação através da adição de material em forma de camadas planas sucessivas, permitindo fabricar componentes físicos em três dimensões (3D) com informações obtidas diretamente do modelo geométrico gerado no sistema CAD, de forma rápida, automatizada e totalmente flexível.

O termo Prototipagem Rápida refere-se a uma classe de tecnologias onde, basicamente, um computador interpreta informação de ambiente CAD ou CAE da geometria do objeto a ser construído e converte as informações para o ambiente CAM, onde uma máquina de Prototipagem Rápida constrói fisicamente o objeto. (BARBOSA, 2009)

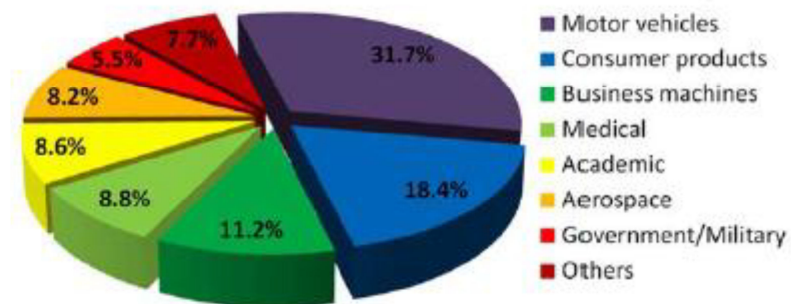
Conforme Oliveira (2008) Prototipagem Rápida (PR) é uma expressão que designa um conjunto de tecnologias aditivas baseadas na construção, camada-a-camada, de estruturas tridimensionais físicas, a partir de seus respectivos modelos digitais.

Segundo Lencina (2006) o princípio básico das tecnologias de prototipagem rápida se baseia na fabricação de objetos físicos tridimensionais, a partir de modelos CAD, pela adição sucessiva de finas camadas de material, explicou. Como evolução natural, a tecnologia passou a ser aplicada não apenas em protótipos, mas também na construção de ferramentas para moldagem por injeção, fundição, extrusão, moldagem por sopro, termoformagem, estampagem e repuxo.

### 2.2.2 Aplicações

A prototipagem rápida vem se apresentando úteis nos mais diversos campos de aplicação, desde setores diretamente ligados à fabricação de peças mecânicas para automóveis, aviação, setores aeroespacial e militar e até mesmo maquinário pesado como também áreas não diretamente correlatas como design (desde peças decorativas até embalagens de produtos), medicina dentre outros (NASCIMENTO, 2013). A aplicação da prototipagem rápida apresenta aproximadamente a divisão (em percentual) do gráfico apresentado abaixo:

Figura 2 – Divisão das aplicações da Prototipagem Rápida por segmentos



Fonte: [www.monografias.poli.ufrj.br](http://www.monografias.poli.ufrj.br) (2015)

Conforme Nascimento (2013) atualmente a medicina vem não só tirando proveito dessa área como também evoluindo bastante na área de próteses. O design e desenvolvimento de aparatos e instrumentos para a área médica é uma área que vem mostrando grandes resultados até então, especialmente no campo de ferramentas cirúrgicas.

Na área de próteses essa técnica vem se mostrando muito útil, pois a capacidade de construção rápida de próteses de acordo com as proporções físicas de cada paciente vem

substituindo velhas próteses pré-fabricadas de tamanhos padrões, às quais nem sempre eram de perfeita adaptação por meio dos pacientes (NASCIMENTO, 2013).

Carvalho e Coelho (2002) destacam em um estudo comparativo de um modelo médico tradicional e um modelo médico realizado através de RP que o erro nas dimensões não ultrapassou a 2% e destacam ainda que com base neste valor, é válido o uso da Prototipagem Rápida na geração de modelos a padrões na área médica.

Hoje já se faz grande uso de implantes espinhais, juntas de joelhos dentre outros. Um exemplo de implante que vem atraindo bastante atenção é a fabricação de próteses de orelhas de cera por meio da tecnologia de sinterização a laser a partir de um molde de orelha em gesso já existente. Outra área de aplicação na medicina também é a área de planejamento cirúrgico. O uso de modelos médicos em 3D ajuda o cirurgião não só a simular o procedimento que deverá performar, como a estudar a estrutura óssea do paciente antes da cirurgia. Isso, em geral, reduz não só o tempo, como o custo e principalmente o risco da cirurgia. A possibilidade de construção de tecidos em diferentes cores é de grande valia em casos de cirurgias de câncer, por exemplo, onde o tumor pode ser reproduzido e pintado com uma cor diferente, sendo então distinguido claramente (NASCIMENTO, 2013).

Na área médica tem-se usado muito a prototipagem rápida para o aprendizado dos estudantes, não sendo mais necessária a utilização de ossos de cadáveres. Ultimamente grande foco dos estudos dessa área é o design e a manufatura de tecidos biocompatíveis, o que possibilitaria a implantação imediata de tecidos de difícil reposição (NASCIMENTO, 2013).

Figura 3 – Parte de Crânio Reproduzido por Prototipagem Rápida



Fonte: [www.monografias.poli.ufrj.br](http://www.monografias.poli.ufrj.br)(2015).

Nascimento (2013) afirma que outras áreas de aplicação como o setor automobilístico e militar vem aplicando estas técnicas na criação de modelos em escala para testes funcionais, a aviação vem aplicando grandemente a prototipagem rápida também na área de criação de partes de avião, em escala, para testes em túnel de vento. Em aeromodelos a prototipagem rápida vem sendo aplicada para diminuir o peso dos aeromodelos fazendo estruturas mais delgadas, similares a osso de pássaros.

Figura 4 – Painel automotivo construído por RP para estudos



Fonte: [www.monografias.poli.ufrj.br](http://www.monografias.poli.ufrj.br)(2015).

Na indústria aeronáutica, até então, a maioria dos desenvolvimentos tem sido muito custosos. A prototipagem rápida vem ajudando muito não só no processo de redução de custos como na redução de tempo de construção de modelos. O aumento da complexidade geométrica das peças do ramo aeronáutico vem dificultando cada vez mais a construção por meios tradicionais, como também, vem dificultando a sua constante atualização, devido aos grandes custos de produção destas peças (NASCIMENTO, 2013).

Por exemplo, a Boeing já fabrica mais de 200 componentes em dez plataformas usando manufatura aditiva (GORNI, 2013).

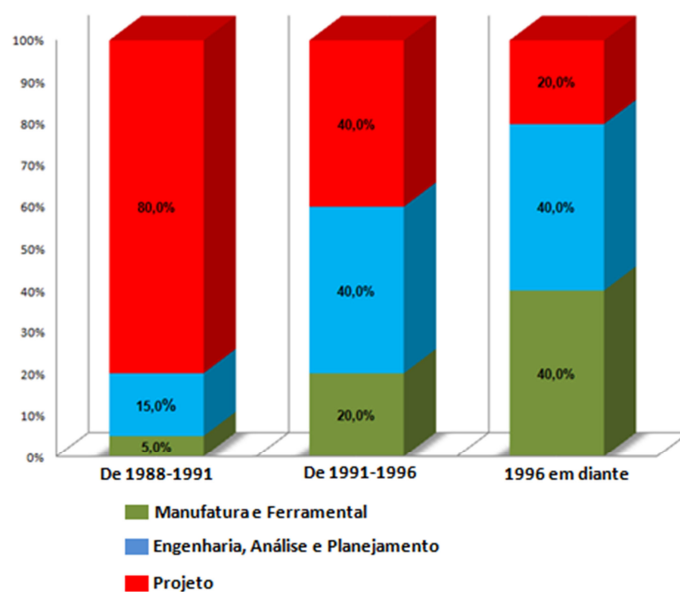
Figura 5 – Aeromodelo Construído com resina Fotocurável



Fonte: [www.monografias.poli.ufrj.br](http://www.monografias.poli.ufrj.br)(2015).

Olhando somente para aplicação industrial tanto automobilística quanto aeronáutica ou militar, podemos observar então que a aplicação da RP que se iniciou no projeto foi estendida primeiramente para a engenharia, análises e planejamento e depois para as etapas de manufatura e ferramental. A tendência atual é aumentar cada vez mais o uso de protótipos na engenharia, manufatura e ferramental e esta pode ser visualizada pela mudança da demanda nas áreas de aplicações no decorrer dos anos como podemos analisar na figura a seguir (VOLPATO et al., 2007):

Figura 6 – Mudança na ênfase das áreas de aplicação



Fonte: VOLPATO, 2007.

### 2.2.3 Manufatura Aditiva

Conforme Nascimento (2013), o termo prototipagem rápida foi cunhado pela indústria com o intuito de designar processos de criação de sistemas ou parte deles objetivando representação de tal peça antes de sua versão final ou comercialização. Em outras palavras, a ênfase desse termo é na criação de um objeto rapidamente, onde o resultado desta criação é um protótipo ou modelo de base onde, a partir destes, outros modelos aperfeiçoados poderão ser criados.

Volpato et al. (2007, p.3) defende que devido ao fato de a concepção deste processo de fabricação ter sido aplicada inicialmente na produção rápida de peças visando uma primeira materialização de idéia(protótipos),sem muitas exigências em termos de resistência,foi denominado Prototipagem Rápida.

Volpato et al. (2007) afirma ainda que vários autores tenham sugerido outro nome como manufatura por camadas ou manufatura por bancada, mas o nome original vem prevalecendo.

Afirma Nascimento (2013) que a nomenclatura prototipagem rápida vem sendo considerada inadequada, além de não descrever alguns dos processos mais recentes deste tipo de tecnologia. Melhoras na qualidade de produção destas máquinas criaram uma correlação muito mais forte com o produto final. Em alguns casos, certas partes já são diretamente manufaturadas destas máquinas, o que faz com que o termo “prototipagem” seja avaliado como incorreto. Outra restrição deste termo é que ele negligencia o princípio básico de construção das peças por essa tecnologia, a construção por adição de camadas.

Diante das diferentes opiniões de diversos autores, Gibson (2010 citado por ALBERTI; D'OLIVEIRA; SILVA, 2014, p. 190) afirma que um comitê técnico da ASTM (American Society for Testing and Materials - Sociedade Americana para Materiais e Testes) concordou que uma nova terminologia deveria ser adotada e chegaram ao consenso que o termo “Manufatura Aditiva” representa melhor esse grupo de tecnologias.

Nascimento (2013) defende que o objetivo desta nova nomenclatura é deixar claro que com algumas maquinas desta tecnologia pode-se construir objetos finais à partir de modelos gerado em CAD, sem a necessidade de maiores planejamentos. Além disso, o problema de mencionar a técnica básica de construção desta tecnologia (superposição de camadas) foi contornada com o termo Manufatura Aditiva, que vem não só se tornando de grande importância para a indústria, como cada vez menos raro.

## 2.2.4 Tipos de tecnologias de RP

Segundo Kai (1998 citado por VOLPATO , 2007, P.09), existem mais de 20 sistemas de RP no mercado que, apesar de usarem diferentes tecnologias de adição de material, se baseiam no mesmo principio de manufatura por camadas planas.

Conforrme Upcraft e Fletcher (2003) existem aproximadamente 40 tipos semelhantes de processos de PR.

Os processos de PR atualmente mais importantes, considerando equipamentos instados e processos promissores, podem ser agrupados pelo estado ou forma inicial da matéria prima utilizada para a fabricação. Neste sentido, pode se classificar os mesmos em processos baseados em líquido, sólido e pó.

### 2.2.4.1 Processos baseados em líquidos

A matéria prima utilizada para fabricar a peça encontra-se no estado líquido antes de ser processada.

Nesta categoria encontram-seas tecnologias que envolvem a polimerização de uma resina líquida por um laser UV (ex.estereolitografia-SL, de *stereolithography*) ou o jateamento de resina líquida por um cabeçote tipo jato de tinta e posterior cura pela exposição de uma luz UV (ex. impresora jato de tinta), entre outros (VOLPATO et al., 2007).

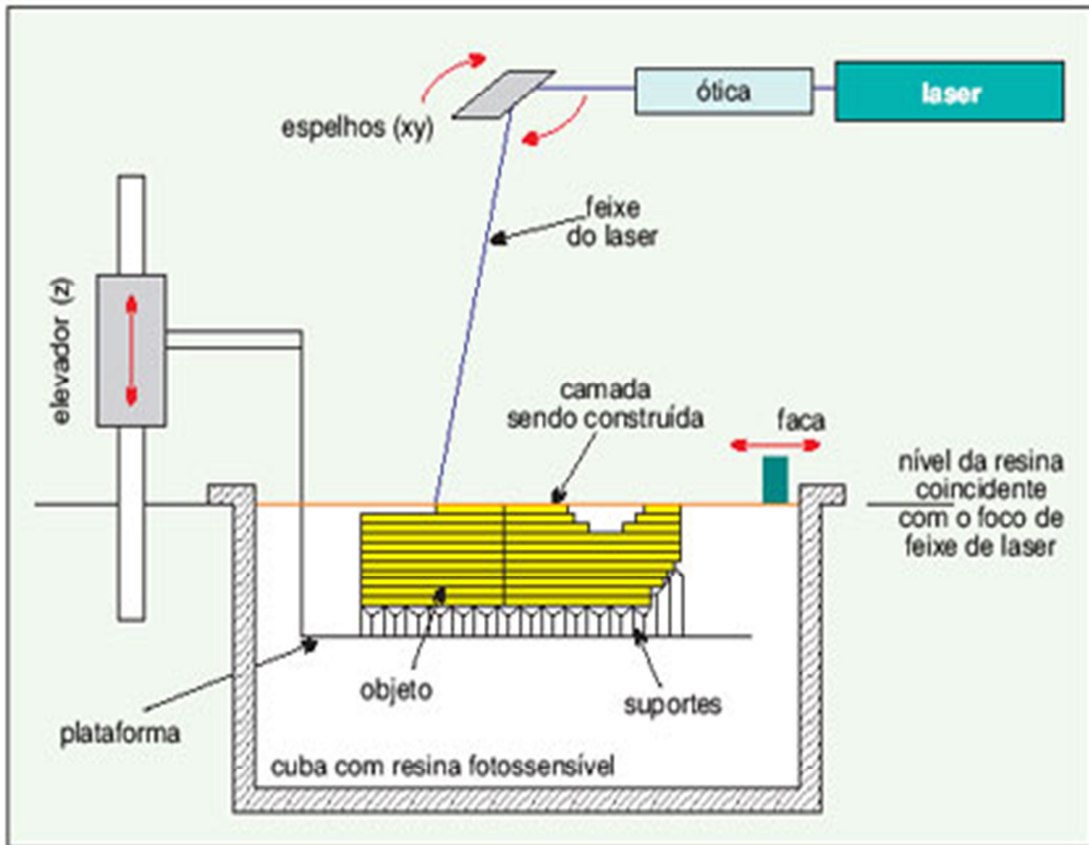
Segundo Gorni (2001 citado por BATISTA, 2012, P.20), “o modelo é construído sobre uma plataforma situada imediatamente abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica”.

Upcraft e Fletcher (2003) destacam a possibilidade de se produzir objetos de geometria complexa e boa precisão geométrica como sendo grandes vantagens deste processo.

Uma vez inserido o programa CAD, um sensor faz com que o feixe do laser se movimente até os pontos correspondentes a forma do produto a ser prototipado, conforme demonstrado na Figura 7. Quando a luz entra em contato com a resina, esta se solidifica, formando o perfil da primeira camada. A partir daí, a “mesa” ou elevador desce um nível (eixo Z), através de um elevador e o processo se repete, solidificando uma nova camada e unificando-a, formando o modelo 3D (BATISTA, 2012).



Figura 7 – Esquema de funcionamento de um processo de RP baseado em líquido (estereolitografia-SL)



Fonte: [http://www.keepcad.com.br\(2015\)](http://www.keepcad.com.br(2015)).

Abaixo temos uma aplicação inédita da aplicação da RP baseados em processos líquidos que foi utilizada para elaboração de modelos de fetos ainda no ventre materno.

Utilizando imagens captadas através dos exames de ultra-som e de ressonância magnética, as imagens foram convertidas em desenhos em softwares CAD e posteriormente impressas através de impressoras 3D (MOTTA, 2008).

A técnica permite a elaboração de modelos tridimensionais retratando com precisão o feto, da forma exata em que se encontra no útero materno no momento do exame médico.

Esta aplicação foi tema do desenvolvimento de uma tese de doutorado de um pesquisador no Royal College of Art, em Londres.

Conforme Motta (2008) a expectativa é que o método tenha grandes chances de se popularizar entre as grávidas mais curiosas, que adorariam guardar uma escultura em tamanho real do bebê que ainda carregam na barriga e ajudar no estudo da má formação dos fetos.

Figura 8 – Construção confeccionada em impressora 3D em tamanho real através das imagens geradas por ultrassom

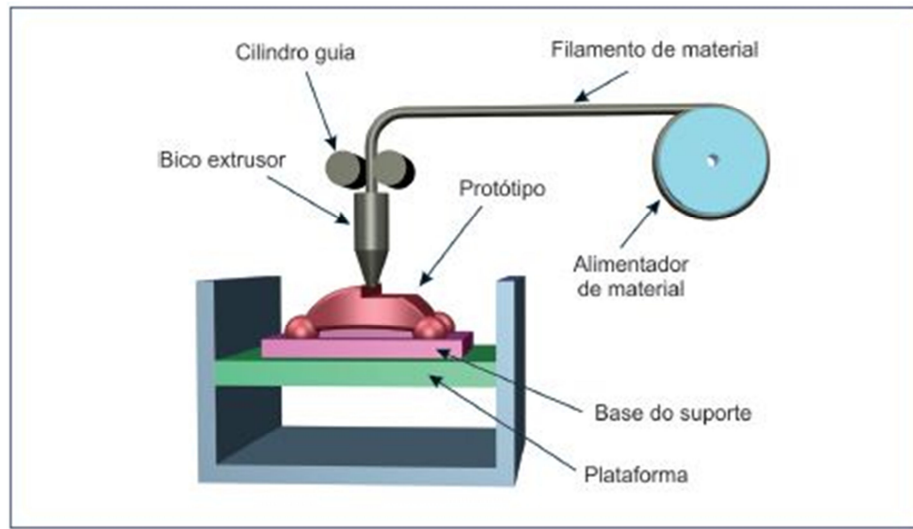


Fonte:www.faperj.br(2015).

#### **2.2.4.2 Processos baseados em sólidos**

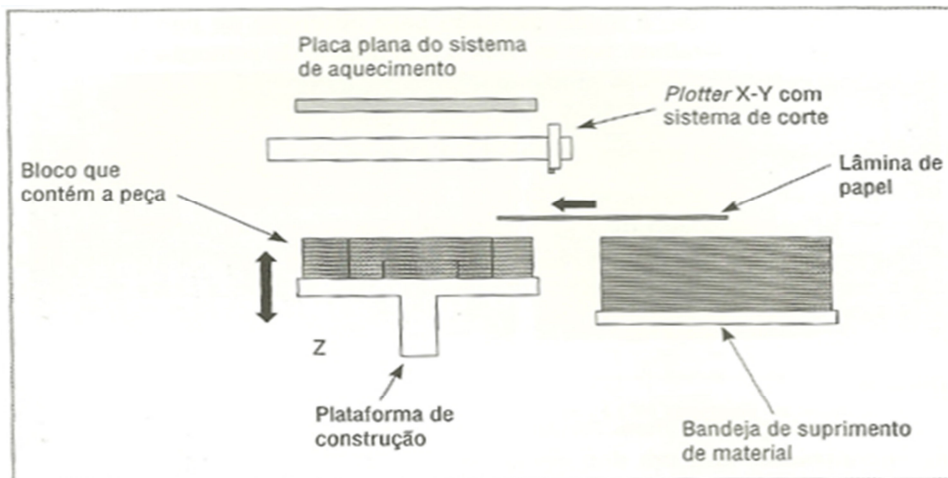
Nestes Processos o material utilizado encontra-se no estado sólido, podendo estar na forma de filamento, lamina, ou outra qualquer. Alguns dos processos fundem o material, antes da sua deposição ( ex.Modelagem por Fusão e deposição-FDM,etc).Outro somente recortam uma lamina de material adicionado(ex.ManufaturaLaminar de Objetos-LOM,Tecnologia com laminas de papel-PLT,ETC) (VOLPATO et al., 2007).

Figura 9 – Esquema de funcionamento FDM



Fonte: [www.up3dbrasil.com.br](http://www.up3dbrasil.com.br)(2015).

Figura 10 – Esquema de funcionamento PLT

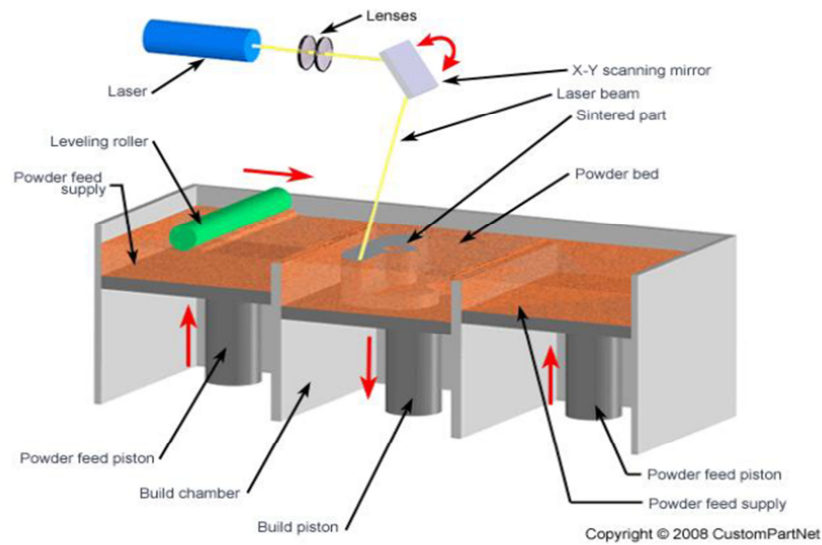


Fonte: VOLPATO, 2007.

### 2.2.4.3 Processos baseados em pó

A matéria-prima está na forma de pó antes do processamento. Pode-se utilizar laser para o seu processamento (ex. Sinterização Seletiva a Laser –SLS, Fabricação da Forma Final a Laser-LENS) ou um aglutinante aplicado por cabeçote tipo jato de tinta (ex. Impressora Tridimensional) entre outros processos (VOLPATO et al., 2007).

Figura 11 – Esquema demonstrativo Sinterização à Laser



Fonte: [www.monografias.poli.ufrj.br](http://www.monografias.poli.ufrj.br)(2015).

Figura 12 – Impressão em SLS de um componente de motor resistente ao calor



Fonte: [www.imprima3d.com](http://www.imprima3d.com)(2015).

### 2.2.5 Desenvolvimento de um protótipo

Para o desenvolvimento de um protótipo utilizando Prototipagem Rápida, existem algumas etapas essenciais e serem seguidas e nos tópicos a seguir, serão abordadas de maneira resumida estas etapas.

Em geral cria-se um modelo 3D no CAD ou importa-se para o CAD um modelo previamente scaneado de uma peça já existente, a qual se deseja recriar com programa adequado (engenharia reversa) e a partir daí escolhe-se uma técnica de prototipagem rápida

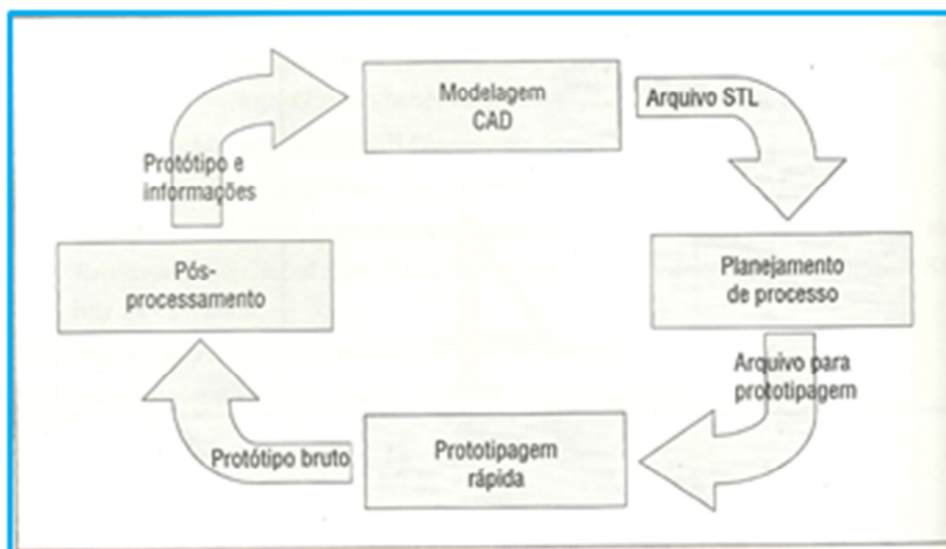
para se reproduzir fisicamente a peça. Em geral todos os métodos existentes se desenrolam a partir de cinco passos básicos (NASCIMENTO, 2013):

1. Criar ou importar um modelo em 3D no computador utilizando o CAD;
2. Converter o modelo feito no CAD para o formato STL;
3. Fatiar o modelo de extensão STL em camadas de fina espessura;
4. Construção do modelo a partir do empilhamento dessas camadas;
5. Acabamento do modelo (seja este a cura do protótipo, ou posteriores tratamentos da superfície do material, remoção de rebarbas, etc).

Durante o desenvolvimento das etapas citadas acima, é muito comum e em alguns casos é até uma situação desejável que todo este ciclo seja se repetido mais de uma vez em um único projeto com objetivo de correções de imperfeições detectadas durante o ciclo.

Assim, com o protótipo em mãos que podemos classificar como primeiro exemplar, as informações dele obtidas retornam ao processo de modelagem 3D (etapa 1) até que o ciclo seja completado de forma satisfatória, com o protótipo atendendo aos requisitos de projeto. Este ciclo ilustrado na figura a seguir pode se repetir quantas vezes for necessário.

Figura 13 – Ciclo de desenvolvimento de produtos utilizando RP



Fonte: VOLPATO, 2007.

### 2.2.5.1 Obtendo o modelo 3D

Existem três formas de se obter o modelo 3D de uma peça a ser prototipada:

- Criando um modelo novo;
- Obtendo o modelo 3D através de scanners industriais;
- Obtendo o modelo 3D através de scanners médicos;

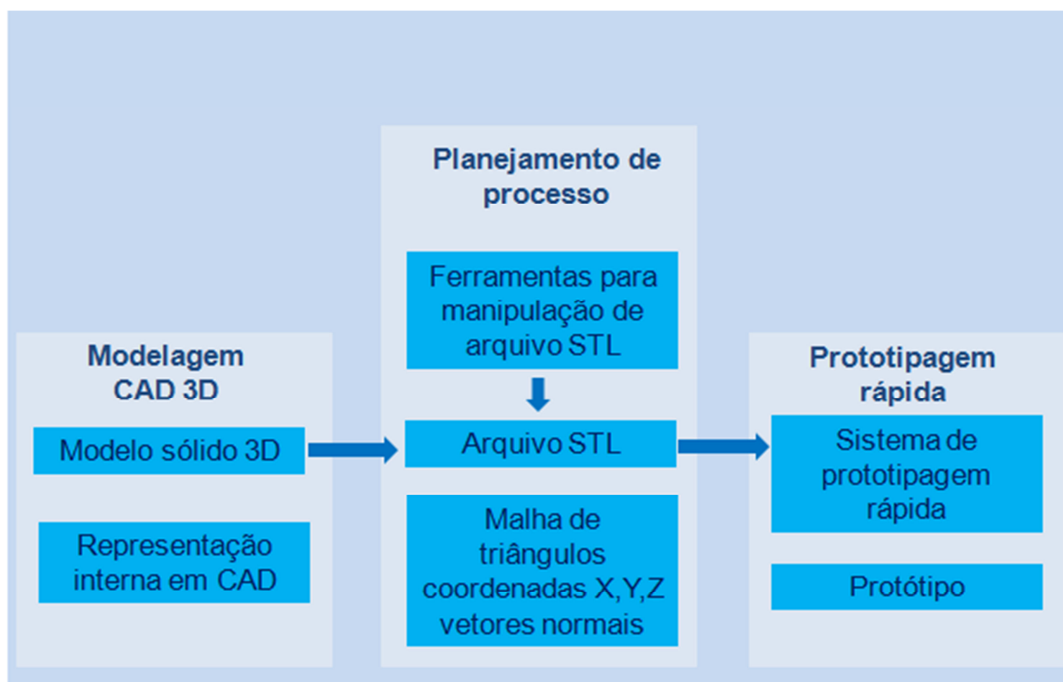
Em um deles a modelagem é iniciada do zero e em outras duas técnicas, aproveita-se um modelo já existente fisicamente.

### 2.2.5.1.1 Criando um modelo 3D novo

Uma forma de modelagem 3D pode ocorrer com a utilização direta de modeladores geométricos, mais conhecidos como sistema CAD.

Na figura abaixo ilustra a passagem de um sistema CAD para a prototipagem.

Figura 14 – Etapas para a RP



Fonte: VOLPATO, 2007.

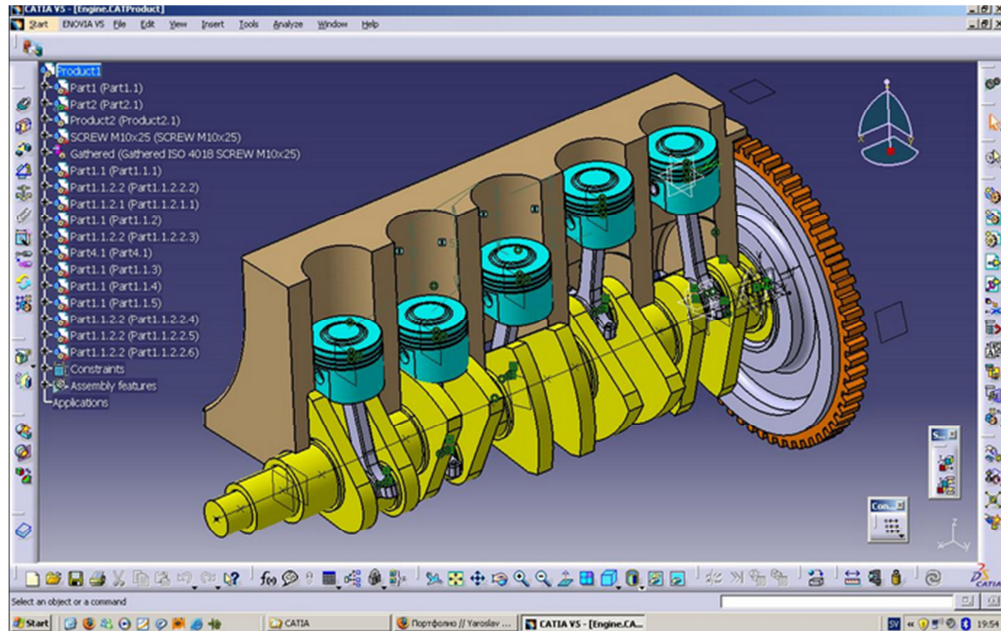
De maneira simplificada, podemos definir esta fase como desenhar o produto ou peça que se deseja prototipar.

Entre os principais softwares conhecidos podemos citar o AutoCAD, CATIA, I-DEAS, Pro-Engineer, SolidWorks, e Unigraphics entre outros.

Normalmente, a aparência dos softwares de modelagem 3D são similares no que tange a ferramentas, funcionalidade e modo de utilização.

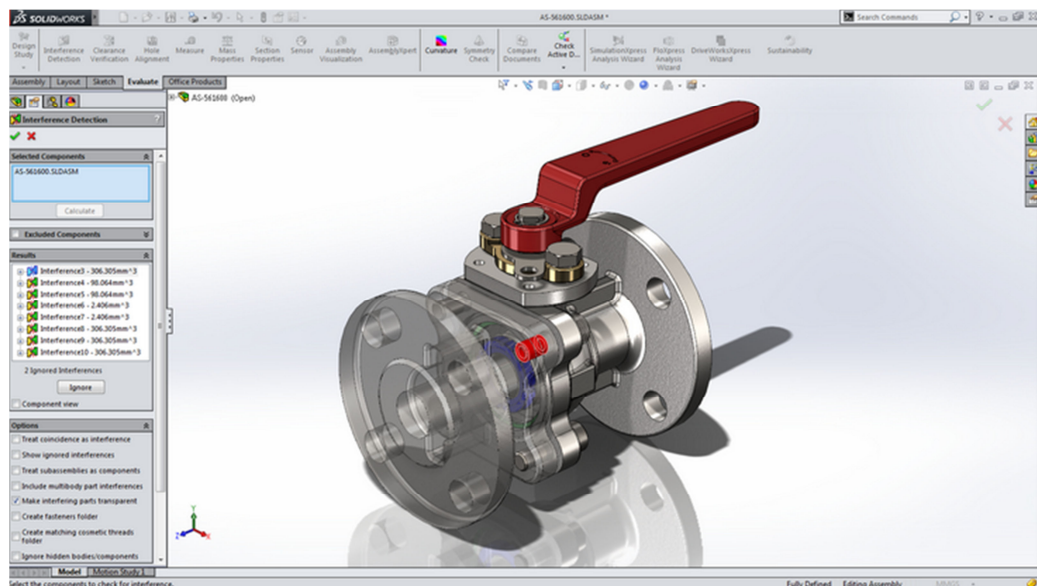
Conforme Nascimento (2013) quase sempre partimos de um modelo 2D com dimensões definidas para em seguida adicionar a terceira dimensão (profundidade) obtendo assim o modelo 3D.

Figura 15 – Software CATIA módulo de desenho técnico



Fonte: print screen da tela do CATIA V5.

Figura 16 – Software SOLIDWORKS módulo de desenho técnico



Fonte: print screen da tela do SOLIDWORKS.

### 2.2.5.1.2 Obtendo o modelo 3D através de scanners industriais

Uma segunda forma de se obter modelos 3D é através de scanners industriais (a laser ou luz branca) que são capazes de copiar a geometria de um objeto físico gerando nuvens de pontos que são tratadas e convertidas em superfícies, dando origem aos modelos de engenharia reversa.

Figura 17 – Escaneamento da Roda de um Carro



Fonte: [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)(2015)

Esse fato ocorre em grande parte, nos casos em que se deseja reproduzir uma peça, não se criando essa do zero, em casos em que o projeto original foi perdido, não está disponível ou tem-se o arquivo corrompido e recuperação de formas que foram modeladas manualmente ou ainda não tenham sido representadas por desenhos 2D. Peças quebradas ou desgastadas também podem ser reconstruídas a partir de tal método (NASCIMENO 2013).

Figura 18 – Escaneamento de uma peça pronta



Fonte: [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)(2015)

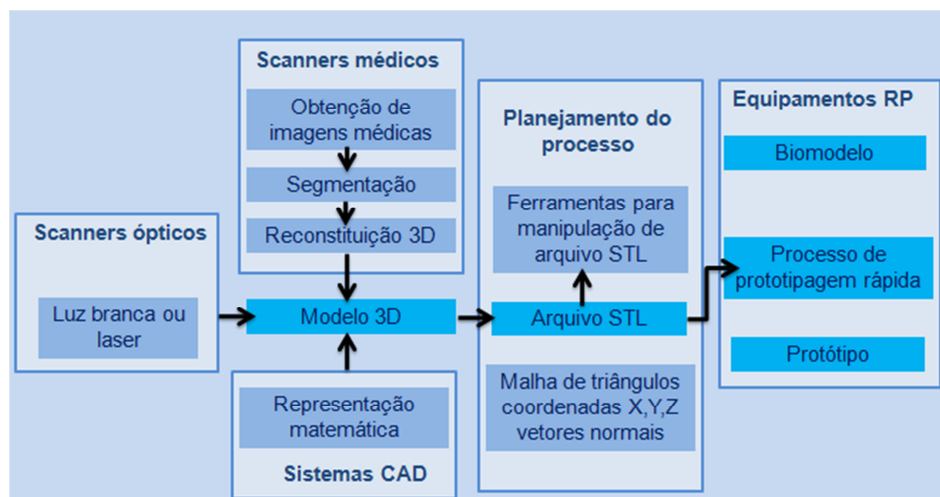


### 2.2.5.1.3 Obtendo o modelo 3D através de scanners médicos

Uma terceira maneira de se obter as imagens 3D é através de scanners médicos como a Tomografia computadorizada (TC) ou a Ressonância Magnética (RM), onde as informações da anatomia interna de um paciente são tratadas por sistemas específicos de segmentação e reconstrução 3D. Como um dos resultados de tratamento e reconstrução 3D de imagens médicas, pode-se obter um arquivo STL de estrutura anatômica que será utilizado no tratamento de cirurgias complexas.

Prótese óssea e dentária também vem sendo construídas em larga escala a partir de tal método. Esta alternativa se mostrou de grande valia também pelo fato de poder dar a possibilidade de países não possuidores de tal design/peça à isenção da necessidade de re-importar tal peça, ou mesmo recriá-la (NASCIMENO 2013).

Figura 19 – Origem de dados 3D para RP

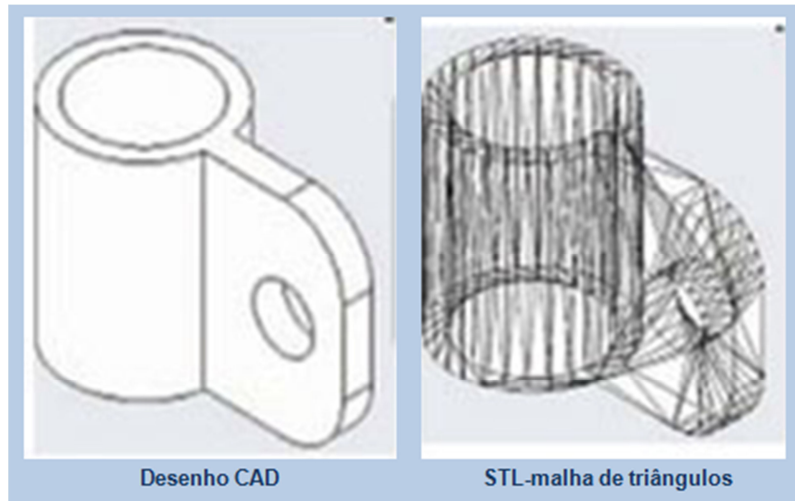


Fonte: VOLPATO, 2007.

### 2.2.5.2 Conversão para o formato STL

O segundo passo, portanto, é o de converter o arquivo CAD em formato STL. Os vários pacotes CAD usam um número de diferentes algoritmos para representar objetos sólidos. O formato STL (estereolitografia) é o mais usado na indústria de prototipagem rápida atualmente.

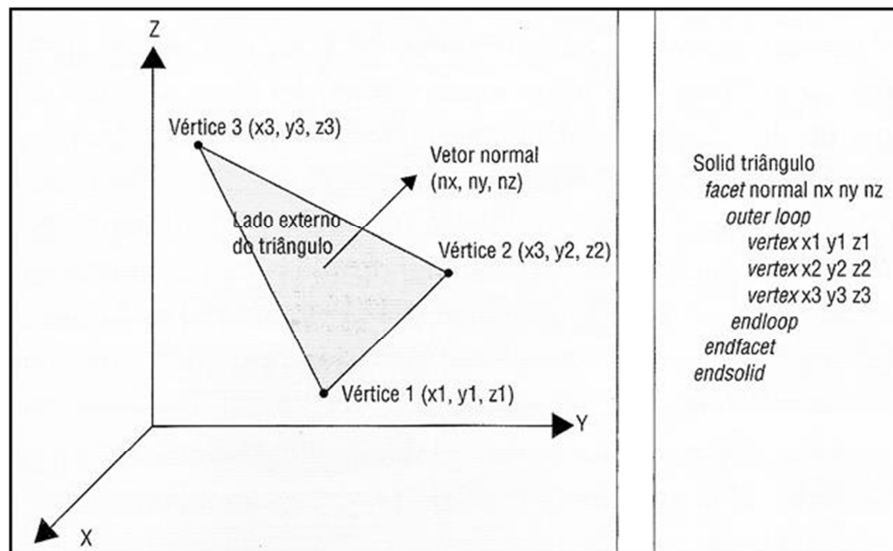
Figura 20 – Comparação de um desenho CAD/Desenho convertido em STL



Fonte: www.scielo.br(2015).

Este formato representa uma superfície tridimensional “recortada” ou redesenhada como um conjunto de triângulos. O arquivo contém as coordenadas dos vértices e a direção da normal externa de cada triângulo (VOLPATO et al., 2007).

Figura 21 – Representação de malha STL



Fonte: VOLPATO, 2007.

Como os arquivos STL usam elementos planos, eles não podem representar superfícies curvas exatamente. Pode-se aumentar o número de triângulos melhorando-se a aproximação à custa de um arquivo de maior tamanho. Arquivos grandes e complicados requerem mais tempo de pré-processo e construção. A grande tarefa do projetista é saber balancear a precisão que é necessária à construção do projeto e o tempo/custo para construção do projeto (VOLPATO, 2007).

Figura 22 – Comparação de diferentes resoluções da malha de triângulos



Fonte: [www.r3ald.com](http://www.r3ald.com)(2015)

Um erro muito comum e que ocorre principalmente com os novos usuários de RP, é a geração de arquivos STL com número reduzido de triângulos por desconhecimento de parâmetros de controle na geração destes arquivos e não verificação de modelo obtido em STL (VOLPATO et al., 2007).

Figura 23 – Comparação da resolução correta e incorreta da malha de triângulos



Fonte: [www.malgaba-ingenieros.com](http://www.malgaba-ingenieros.com)(2015)

### 2.2.5.3 Corte do arquivo em STL

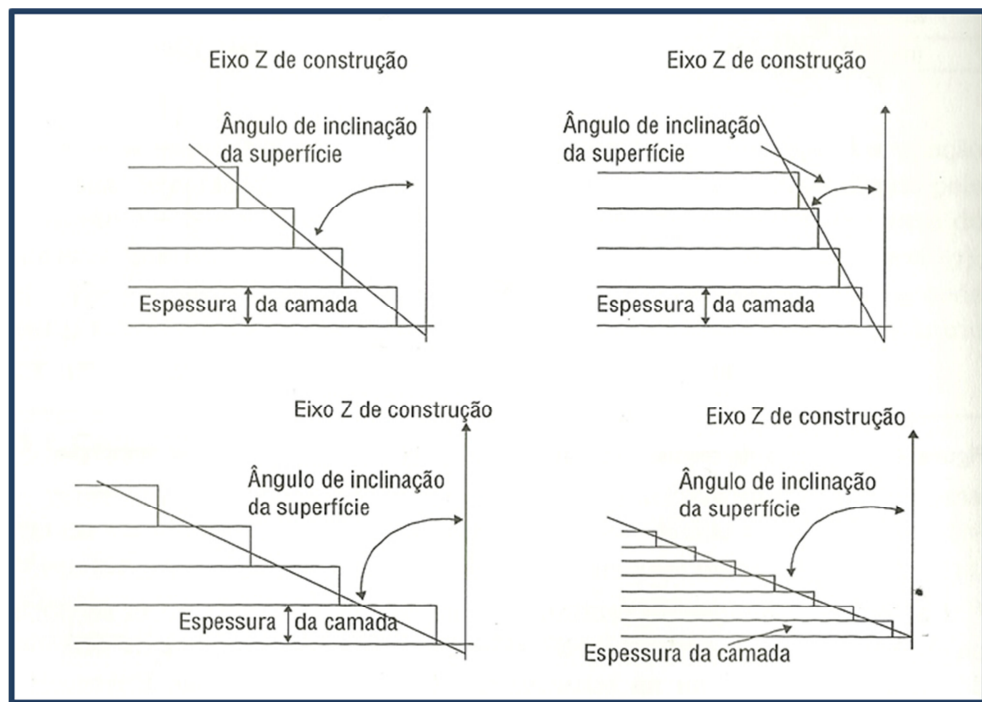
Na terceira etapa, um programa de pré-processamento prepara o arquivo STL do modelo a ser construído. Essa etapa permite ao usuário ajustar o tamanho e orientação do modelo. Essa fase é importante, pois algumas decisões precisam ser tomadas pelo engenheiro/operário encarregado da tarefa. Por exemplo, os protótipos são normalmente mais fracos e menos precisos na direção “Z” (vertical) em relação ao plano “XY”. Além disso, a orientação da peça, em parte, determina a quantidade de tempo necessário para construir o modelo. Colocar a menor dimensão na direção “Z” reduz o número de camadas, encurtando assim o tempo de construção. As fatias de pré-processamento de software do modelo STL em geral têm variados tamanhos de espessura, cada um dependendo da técnica de construção.

Um dos principais pontos de atenção dos engenheiros/operadores nesta etapa é o “efeito degrau ou escada”.

O efeito degrau, inerente ao processo de construção por camadas, aparece em todas as superfícies planas ou não-planas que estiverem inclinadas em relação ao eixo de construção “Z”.

O efeito degrau ou escada pode ser minimizado pela diminuição da espessura da camada, porém este é um limitante forte em vários sistemas de RP, pois a mínima espessura de camadas ainda é considerada grande. Outro problema é que normalmente a relação linear de redução pela metade da camada dobra o tempo de construção (VOLPATO et al., 2007).

Figura 24 – Efeito degrau ou escada em função do ângulo de inclinação da superfície e espessura da camada



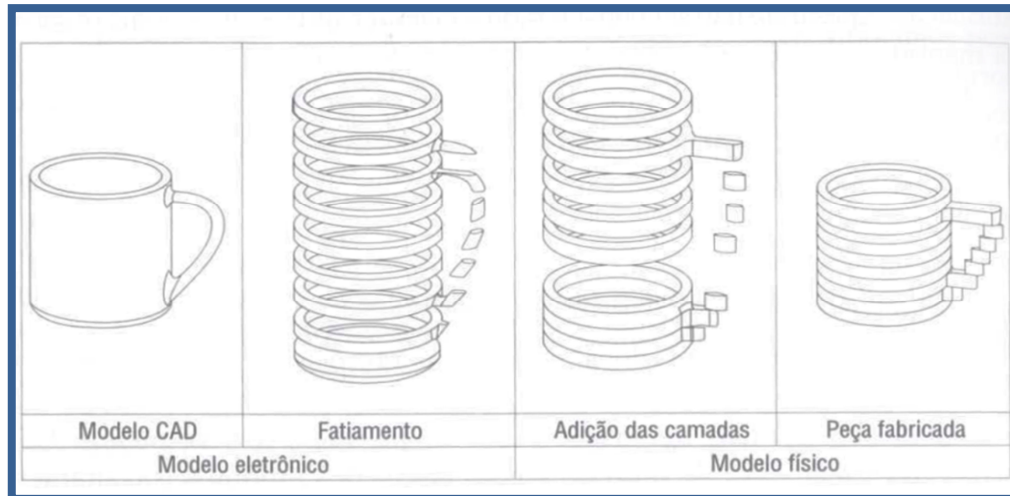
Fonte: VOLPATO, 2007.

A definição final da aplicação da espessura da camada depende da aplicação do protótipo, pois a variação de camada pode implicar, no caso de alguns protótipos em mudanças significativas de parâmetros de processo como acréscimo na potência do laser, para sinterizar camadas mais espessas mantendo a resistência estrutural do protótipo (VOLPATO et al., 2007).

#### 2.2.5.4 Construção camada por camada

O quarto passo é a construção real da peça. Usando uma das várias técnicas que serão aqui citadas, as máquinas constroem uma camada de cada vez a partir de matérias primas como: polímeros, papel, metal em pó e etc. A maioria das máquinas são bastante autônomas, precisando de pouca intervenção humana. Esta construção por camadas apresentam certas limitações, não só por parte do software, como mais criticamente, por parte da construção física. Após pesquisa junto à fabricantes, tem-se que a espessura das peças construídas hoje por meio da prototipagem rápida podem ser reduzidas até 0,0006 polegadas ou 0,016 milímetros variando com a técnica escolhida e máquina escolhida.

Figura 25 – Representação das principais etapas do processo de manufatura por RP



Fonte: VOLPATO, 2007.

### 2.2.5.5 Pós-processamento e acabamento.

O pós-processamento e o acabamento são atividades muito importantes na etapa de desenvolvimento de produtos utilizando a RP. O pós-processamento deve ser responsável pela melhoria da qualidade final do protótipo. Esta atividade é responsável:

- Por finalizar a cura da resina caso aplicável.
- Limpeza e retirada do material em excesso ou ligeiramente fixado ao protótipo.

O acabamento é uma etapa posterior ao pós-processamento e objetiva a adequação do protótipo ao fim que se destina. Nesta operação, pode-se utilizar processos convencionais como pintura, revestimentos, texturização, colagem, polimento, usinagem, etc. (VOLPATO et al., 2007)

## 2.3 Integração da Prototipagem Rápida com o processo de desenvolvimento de produto

O sucesso de um produto esta muitas vezes associado à habilidade da empresa em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos de forma a atendê-las, a um custo competitivo. Para atingir este objetivo, a aplicação de uma metodologia de projeto e o uso de ferramentas computacionais CAD/CAE/CAM são fundamentais para auxiliar no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Este potencial pode ser colocado como sendo um ponto-chave para o sucesso do desenvolvimento.

Ao longo do PDP, podem-se utilizar várias formas de representação do produto, seja bidimensionais ou tridimensionais, físicas ou não. O objetivo destas representações é facilitar a comunicação entre a equipe de projeto, fornecedores e clientes; integrar conhecimentos envolvidos no processo; auxiliar na tomada de decisão, enfim facilitar a condução de desenvolvimento do produto. Dependendo do estágio do PDP, há sempre uma representação mais apropriada. Os diferentes tipos de representação variam conforme o meio da construção e fidelidade dos detalhes e processos de fabricação. Embora o papel geral seja o mesmo, isto é, sanar ou reduzir ao máximo as dúvidas no PDP, as representações abordam diferentes aspectos do produto, com diferentes finalidades e intenções (VOLPATO et al., 2007).

### **2.3.1 Formas de representação do produto**

Como mencionado, dependendo do estágio do desenvolvimento do produto, recorre-se a determinadas representações para auxiliar no processo. Procurando uma forma de organizar a nomenclatura encontrada que nem sempre é consenso, optou-se por dividir os diferentes termos em dois grupos. O primeiro grupo refere-se aos termos utilizados principalmente nas fases iniciais do PDP, e o segundo, a terminologia comumente encontrada nas fases subsequentes da engenharia (VOLPATO et al., 2007).

#### **2.3.1.1 Representações do produto nas fases iniciais do PDP**

Nas fases iniciais do PDP, que envolvem estudos de diferentes concepções, formas, análise ergonômica, etc., vários tipos de representações tridimensionais do produto podem ser empregadas para fins distintos. As designações usadas para estas representações podem variar de empresa para empresa, e mesmo dentro da mesma empresa, bem como de acordo com cada setor industrial (VOLPATO et al., 2007)

- Maquete

A maquete é um instrumento necessário no trabalho arquitetônico que acompanha os croquis. As maquetes de conceito facilitam a variabilidade que nos insinua o desenho. Elas são classificadas como (VOLPATO et al., 2007):

- 1-Experimentais (para simulações reduzidas)
- 2-Analógicas (analogias e fenômenos)
- 3-Didáticas (para ensino de arquitetura e engenharia).

Figura 26 – Maquete Plataforma P52 da Petrobrás



Fonte: [www.ideiatrip.com.br](http://www.ideiatrip.com.br)(2015)

- Modelos volumétricos

Volpato et al. (2007) defini um modelo volumétrico como sendo um “rascunho tridimensional” de confecção simples e com materiais baratos.

Primeiro estudo que visa a redução de formas à dimensão básica e serve para visualizar sua ocupação no espaço. O objetivo é facilitar o entendimento inicial do problema de projeto e definir informações principais do produto (cotas, formas básicas, restrições, etc.).

Figura 27 – Modelo volumétrico jarra elétrica



Fonte: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)(2015).



- Mock-ups

Conforme Volpato et al. (2007) significa modelo físico que imita o produto final, geralmente em escala natural. É um estudo posterior à volumetria, para fins de estudos ergonômicos iniciais ou este simulado para a equipe de projeto; possibilita a reavaliação do produto, caso necessário sem custos elevados (sem comparado com o modelo de apresentação). Os mesmos materiais utilizados nos modelos volumétricos também podem ser utilizados no mock-up.

Conforme Macarrão (2004) Mock-up é um modelo preliminar em tamanho natural, construído em material de baixo custo e de rápida modelagem. Não requer moldes ou ferramentas.

Figura 28 – Mock-up fuselagem e cockpit do A380 em tamanho real



Fonte: [www.pbase.com](http://www.pbase.com)(2015).

- Modelos de apresentação

Volpato et al. (2007) afirma que são modelos para apresentação em eventos (exposições, feiras, etc.), em escala ou não, fotografia, demonstração a clientes de finalização de um projeto, ou seja, serve para as mais diversas finalidades de se aproximar ao máximo da aparência final do produto. O mais importante é que o aspecto do modelo é bem próximo do futuro produto industrializado (pinturas, adesivos, etc.).

Figura 29 – Modelo de apresentação em escala reduzida de um carro conceito da Chevrolet apresentado no salão do automóvel em 2012



Fonte: [www.taiguaramotors.blogspot.com](http://www.taiguaramotors.blogspot.com)(2015).

### 2.3.1.2 Representações do produto nas fases mais adiantadas do PDP

Nas etapas de projeto preliminar e detalhado, que envolvem o detalhamento técnico de produto, tem-se a tendência de se utilizar de forma bastante genérica o termo protótipo, que vem do grego *prototypus* (*proto*=primeiro, *typus*=tipo). Porém na literatura também é possível encontrar o termo modelo com significado semelhante, sendo que alguns autores diferenciam protótipo e modelo, principalmente baseado na representação parcial (modelo) ou completa (protótipo) de um produto. No entanto na prática esta diferenciação não parece ser tão clara.

Wall (1992 citado por VOLPATO, 2007, p. 22) definiu protótipo como sendo o primeiro da do seu tipo.

Kay e Fai (1998 citado por VOLPATO, 2007, p. 22) definem protótipo como sendo o primeiro ou o exemplo do original de algo que foi ou será copiado ou desenvolvido.

O protótipo é definido com uma aproximação do produto ao longo de uma ou mais dimensões de interesse. Com base nestas definições, o protótipo pode ser visto como uma entidade que exhibe algum aspecto do produto de interesse do pessoal de desenvolvimento (URICH; EPPINGER 1995 citado por VOLPATO, 2007, p. 22.)

Warner e Steger (1995 citado por VOLPATO, 2007, p. 22) definem protótipo como sendo resultado do projeto e geração de uma ou mais características do produto que ajudam o pessoal de projeto a testá-las e confronta-as com os requisitos do usuário.

Santos (1995 citado por VOLPATO, 2007, p. 22) define protótipo como qualquer modelo tridimensional físico de um peça, componente, mecanismo ou produto que se realize antes de sua industrialização com a finalidade de validar alguma característica.

Assim, protótipo pode ser utilizado para se referir a uma peça isoladamente (componente), uma parte do produto (subconjunto) ou o produto como um todo.

- Protótipo físico ou visual

È um artefato tangível criado para aproximar o componente ou produto.

È um protótipo de prova de conceito (às vezes referenciada como protótipo conceitual), utilizado para testar rapidamente uma idéia e realizar montagens experimentais (formas de encaixe) de um produto. È focalizado na geometria e não nos aspectos de material. Em alguns casos pode ser denominado de mock-up do produto (VOLPATO et al., 2007).

Figura 30 – Protótipo físico da carcaça de um telefone celular



Fonte: [www.cyncoconut.blogspot.com.br](http://www.cyncoconut.blogspot.com.br)(2015).

- Protótipo analítico ou virtual

È uma maneira intangível, usualmente matemática, de representar um componente ou produto. Ao invés de serem construídos fisicamente, os aspectos importantes do produto são analisados computacionalmente. Como exemplo é possível mencionar análises com sistemas de equação em uma planilha de calculo, análise de montagem (verificação de interferência) realizada com modelos computacionais tridimensionais em um sistema CAD e análise numérica com sistemas CAE (análise de tensões, deformação, injeção, etc.) (VOLPATO et al., 2007).

Figura 31 – Análise de resistência (sistema CAE) de um componente mecânico indicando os pontos de uma possível ruptura por fadiga



Fonte: [www.keepcad.com.br](http://www.keepcad.com.br)(2015)

- Protótipo parcial ou focalizado

È um protótipo que programa alguns atributos de um produto, sendo geralmente um sistema do mesmo, representando um conjunto de características que permite o teste de algum aspecto funcional. Os materiais utilizados podem ser similares ao material final da produção.

Uma placa de circuito feita com fios (ao invés de serem impressos) para investigar a performance eletrônica de um produto, pode ser considerada como protótipo focalizado.

- Protótipo completo ou funcional

È aquele que implementa a maioria, se não todos, os atributos de um componente individualmente ou de um produto como um todo (em escala real e geralmente uma versão completa operacional do produto). O processo de manufatura pode não ser exatamente o processo de produção em serie, mas o material dos componentes são geralmente os de produção (VOLPATO et al., 2007).

Figura 32 – Protótipo funcional x Protótipo físico de uma alavanca de cambio automático



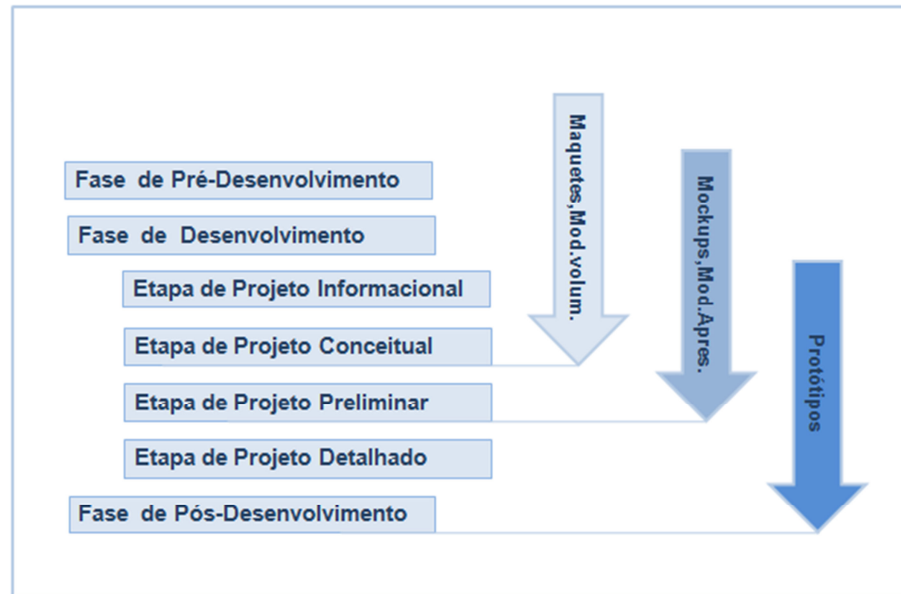
Fonte: [www.protoavanzados.blogspot.com.br](http://www.protoavanzados.blogspot.com.br)(2015)

### 2.3.2 A finalidade das representações de produto no PDP

O PDP pode ser entendido como sendo um conjunto de procedimentos sistematizados, através dos quais, empregado-se ferramentas adequadas, busca-se dentre varias soluções uma que atenda às necessidades dos clientes e que contemple os aspectos, as recomendações, as imposições, as limitações e as restrições relacionados aos distintos campos de conhecimento envolvidos nesta atividade. Estes campos são constituídos pelas engenharias responsáveis pelo

desenvolvimento do produto ao longo do seu ciclo de vida. Para cada uma das principais fases e etapas deste processo, recomenda-se um tipo de representação que pode ser utilizada.

Figura 33 – Fases e etapas do desenvolvimento de produtos e o uso de protótipos



Fonte: VOLPATO, 2007.

De uma forma geral, as varias representações podem ser utilizadas pra diferentes finalidades, entre as quais destacam-se as apresentadas a seguir (VOLPATO et al., 2007):

- **Aprendizagem**

As representações físicas são construídas principalmente para responder a questões de projeto funcionando como uma ferramenta de aprendizagem e tomada de decisões a cada iteração em que são utilizadas.

- **Comunicação**

Desempenham um papel principal no compartilhamento de idéias, atuando como catalisadores pra troca de informações num ambiente de projeto composto por pessoas com deferentes habilidades e pontos de vista. A comunicação fica facilitada em todos os níveis, pois a representação física é mais fácil de ser entendida do que um desenho ou uma descrição verbal.

- Integração

Promove a integração entre as diversas áreas de uma organização multicultural e multifuncional como meio de comunicação, entendimento e informações em comum, promovendo, por exemplo, soluções antecipadas para problemas de encaixe e submontagens que interligadas entre si formaram um único produto.

- Identificação de erros

Permite identificar com mais facilidade atritos, folgas, clash (invasão entre peças) indesejáveis no projeto evitando modificações dispendiosas em fases mais avançadas do projeto

- Marco de projeto

Podem ser usados como marco no PDP, através de estabelecimentos de objetivos a serem alcançados, possibilitam demonstrando o progresso e reforçando a utilização de cronogramas.

- Redesign

No redesenho de produtos, torna-se necessária a elaboração de modelos de comparação e/ou modificação direta, pois desta forma é possível realizar e visualizar concretamente variações (dimensionais, funcionais, etc.), acrescentando ou retirando partes de determinado produto e verificando diretamente as mudanças.

- Publicidade e auxílio em vendas/Pesquisa de Mercado

Construção de modelos tridimensionais para realizar pesquisas de mercado, avaliando o retorno do investimento a ser implementado e somente após uma resposta favorável do mercado, é liberado recursos para fabricação, ferremental, etc.

Veiculação publicitária, feiras, exposições de modo a trazer retorno em forma de encomendas, contratos antes mesmo de o produto ser produzido.

- Usabilidade estudos ergonômicos

Antecipar se as más condições ergonômicas de um produto como, por exemplo, posição de uso, peso, empunhadura, movimento, pegada, postura de utilização entre outros aspectos ergonômicos que podem ser corrigidos/melhorados com o modelo físico.

### 2.3.3 Vantagens para o PDP

São varias as vantagens competitivas e de desenvolvimento utilizando representações físicas do produto.

Neste tópico, serão destacadas as principais vantagens que podemos considerar como justificativas mais que plausíveis para a utilização da prototipagem rápida durante o PDP (VOLPATO et al., 2007).

- Facilitar a otimização do produto

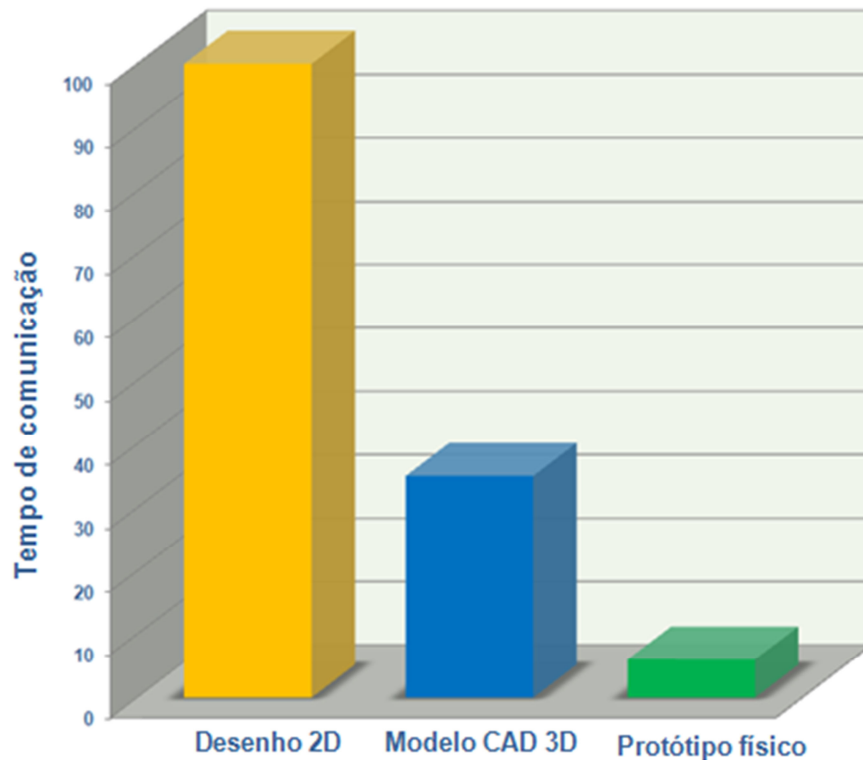
O produto pode ser otimizado de varias formas com o uso de representações físicas, em especial com o uso de protótipos. Uma contribuição fundamental é a possibilidade de facilitar o processo de decisão baseado em resultados de simulações, avaliações, testes e integração dos clientes e fornecedores nas fases iniciais do projeto. Com a possibilidade de se obter protótipos rapidamente (no caso da utilização das tecnologias de RP), o produto pode ser otimizado pelo teste de diferentes hipóteses ou seja, explorando e avaliando soluções alternativas.

O ditado que diz que “uma imagem vale mais do que mil palavras” tem sido atualizado e complementado coma introdução da tecnologia de RP sugerindo que passe a ser “um protótipo físico vale mais do que mil figuras”

Por mais experiente que uma pessoa seja na interpretação de desenhos técnicos, anda é difícil de comunicar como será o objeto real final.



Figura 34 – Melhoria da comunicação através do uso de protótipos físicos



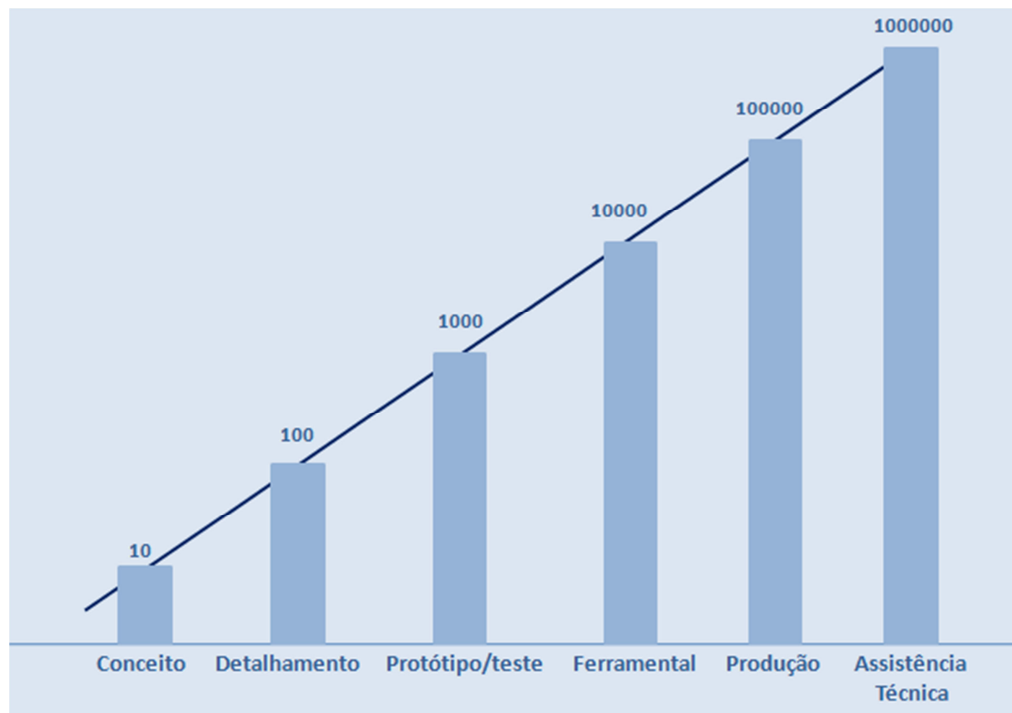
Fonte: VOLPATO, 2007.

Conforme Jacobs (1992 citado por VOLPATO, 2007, p. 22) uma vantagem básica de se utilizar o protótipo é que não existe maneira melhor de se certificar que uma peça complexa possui todas as características desejadas do que segura-la na mão, gira-la algumas vezes e olhá-la de todos os ângulos.

- Redução de tempo e custo de desenvolvimento

A fase de projeto, que corresponde a um dos estágios iniciais do PDP, tem grande influencia no tempo e custo comprometidos do produto. Os custos despendidos em avaliação explorativa nas fases iniciais darão retorno na forma de grandes economias em estágios avançados. Ainda assim, encontra-se resistência alocação das etapas de prototipagem no PDP, argumentando-se que estes requerem muito tempo. Mas o custo de alteração de projeto é maior quando em estágios mais adiantados do PDP. O custo das mudanças aumenta aproximadamente em cerca de uma ordem de magnitude quando se passa de uma fase para a seguinte (VOLPATO et al., 2007).

Figura 35 – Custo de alteração de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto conforme a etapa



Fonte: VOLPATO, 2007.

Ainda conforme Volpato et al. (2007) uso de protótipo possibilita a detecção de problemas que poderiam de outra forma, ser descobertos depois de finalizadas algumas atividades dispendiosas do PDP. Por exemplo, um molde de injeção pode necessitar ser retrabalhado ou mesmo refeito, se a peça injetada não se encaixar perfeitamente com sua outra metade.

- Redução dos riscos a inovação

Produtos considerados de natureza revolucionária, que envolvem o uso de novas tecnologias e que possuem alto custo associado a uma falha de projeto, representam campo importante para a prototipagem. O risco de falha é agravado pela inovação de entrar em território desconhecido. Nesta fase, a procura minuciosa por defeitos ajuda a reduzir os riscos da inovação, pois o projeto é suficientemente flexível para absorver alterações com o mínimo de dificuldades (VOLPATO et al., 2007).

- Encurtando etapas

Algumas atividades podem ser realizadas mais rapidamente se um protótipo físico for inserido ao PDP. Uma situação comum, onde este efeito é facilmente visualizado, é na etapa de projeto de um molde de injeção. O projeto de molde para uma peça de geometria complexa pode ser realizado mais rapidamente se um protótipo físico da peça for fornecido à ferramentaria, ao invés de somente enviar-se o seu modelo geométrico 3D do CAD ou ainda pior, o seu desenho técnico 2D (VOLPATO et al., 2007).

- Outros

Na manufatura, os protótipos podem atuar como base para outros processos de fabricação, a exemplo de modelo mestre pra fundição em cera perdida ou a vácuo, entre outros. Podem também auxiliar na simulação e aprovação do processo de manufatura, possibilitando a verificação de ferramentas e dispositivos (VOLPATO et al., 2007).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

Para elaboração deste projeto foi utilizados os materiais abaixo:

- Um laptop CCE com processador Corel 2 Duo com acesso a internet e equipado com o pacote office 2010;
- Materiais de escritório (caneta, lápis, papel, impressora, pen-drive, etc);
- Software de desenho Solid Works;
- Foi utilizada também uma máquina de prototipagem rápida de modelo não fornecido, gentilmente cedido por uma universidade estadual localizada na cidade de Bauru, bem como a matéria-prima resina para a fabricação das peças;

#### **3.2 Métodos**

O procedimento metodológico inclui pesquisa bibliográfica em livros e revistas, inclusive eletrônicas, e em sites na internet.

Foram analisados também artigos e monografias referentes ao presente tema.

Também foi utilizado como objeto de estudo, a necessidade de uma indústria encarregadora de ônibus rodoviário da região que tinha como objetivo desenvolver uma peça que iria atuar como escoador de água do interior para fora do veículo.

Para esta necessidade, diante das dificuldades apresentadas e particularidades do projeto, a prototipagem rápida foi apontada como a solução mais eficiente para o

desenvolvimento deste componente de modo a atender as expectativas e objetivos definidos no início do projeto.

### **3.3 Estudo de Caso**

#### **3.3.1 A necessidade de desenvolvimento**

Muitos produtos que são lançados no mercado, partem de inovações, idéias, aprimoramentos ou simplesmente a continuidade com melhorias de algo que já existe, outros partem das necessidades para resolver ou sanar um problema existente. O desenvolvimento deste projeto partiu da necessidade de criar uma peça que escoe a água do ônibus que fica retida nos trilhos da janela durante a utilização. Esta água pode ser originada de infiltrações por pequenas frestas durante a utilização na chuva, lavagem do veículo ou até mesmo em casos extremos através da condensação.

Neste estudo de caso a peça desenvolvida será chamada de “escoa água”.

Figura 36 – Ônibus rodoviário de modelo idêntico ao objeto do estudo



Fonte: [www.irizar.com.br](http://www.irizar.com.br)(2015)

#### **3.3.2 Projetos similares**

Diante na necessidade foi verificado na região, empresas do mesmo ramo que tinham soluções já desenvolvidas para o problema.

Na cidade foi encontrada somente uma empresa do mesmo segmento que já tinha uma solução pronta para este problema, mas a solução utilizada não poderia ser aplicada na carroceria, pois comprometeria o acabamento ônibus além de gerar a necessidade de refazer o projeto de componentes da carroceria (janelas, escotilhas) já definidos.

Figura 37 – Fases e etapas do desenvolvimento de produtos e o uso de protótipos



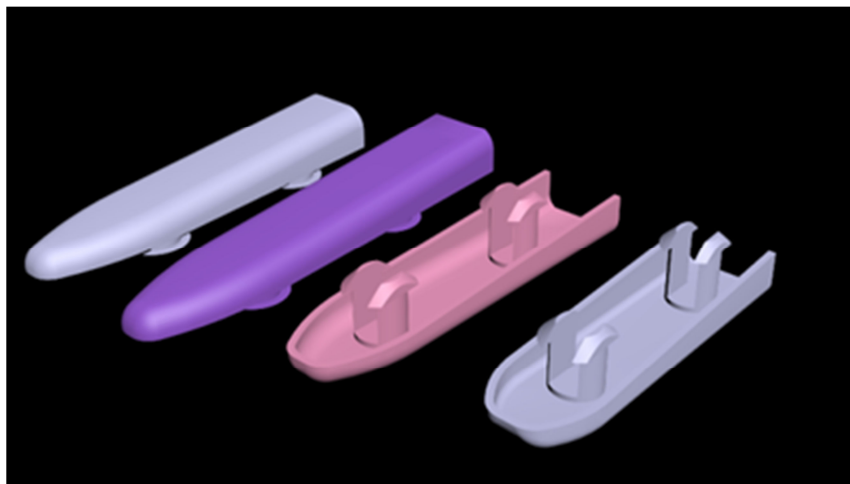
### 3.3.3 Início do projeto

Uma vez pesquisado e não encontrado soluções já existentes no mercado, foi dado início o desenvolvimento do escoa água.

O escoa água foi projetado em Software 3D Solid Works junto ao desenho já existente do produto formando um encaixe junto às janelas do ônibus

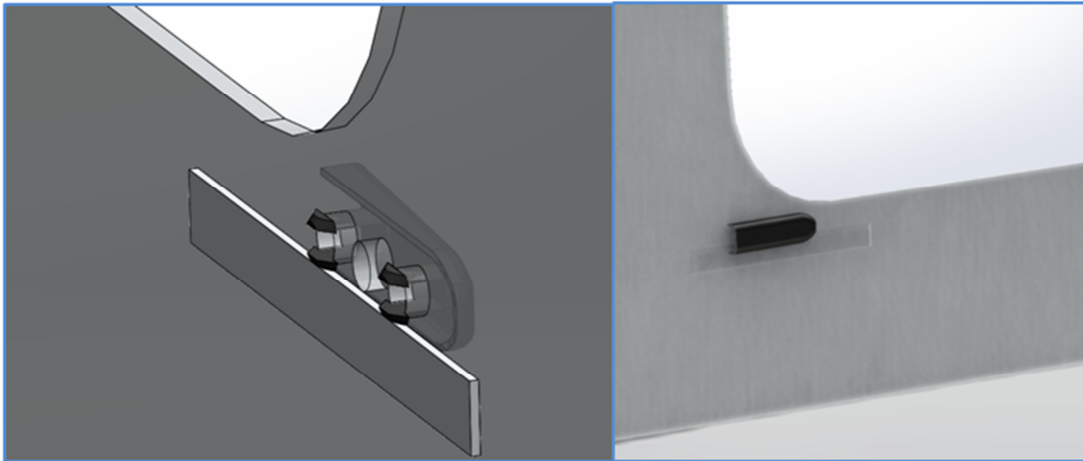
Nesta etapa foram desenhados quatro tipos de escoa água com geometrias diferentes, pois não se sabia qual era a melhor opção para fabricação.

Figura 38 – Peças desenhadas em Software 3D



O único detalhe que não se diferenciava entre eles era o sistema de fixação que eram iguais para que todos pudessem ser encaixados nos furos existentes nas janelas através de climpagem.

Figura 39 – Forma de fixação do “escoa água”



Cada ponto de fixação do escoa água na janela era composto por três furos sendo 1 furo para o escoamento da água e 2 furos para fixação da peça.

Figura 40 – Modelo 3D da janela

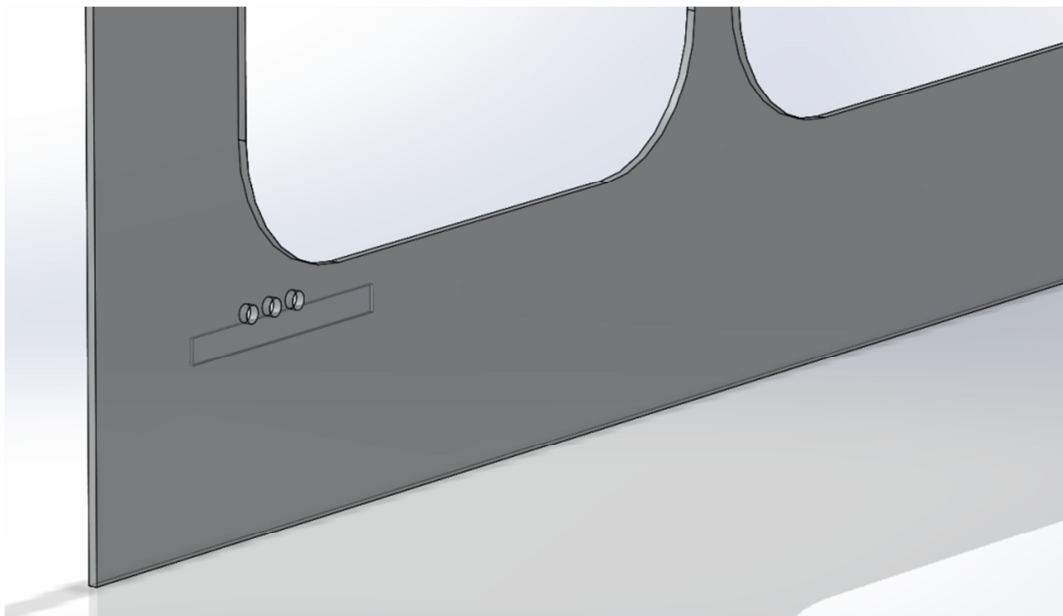


Figura 41 – Janelas do ônibus



### 3.3.4 Modo de funcionamento do escoa água

O modo de funcionamento do escoa água seria através da ação do vento gerado pela movimentação do ônibus.

Com o vento gerado através da movimentação do ônibus, a água existente na parte interna do trilho da janela seria automaticamente sugada para o lado de fora passando pelo furo de dreno do escoa água



Figura 42 – Esquema de funcionamento do “escoa água”-lado interno



Figura 43 – Peça prototipada instalada no veículo



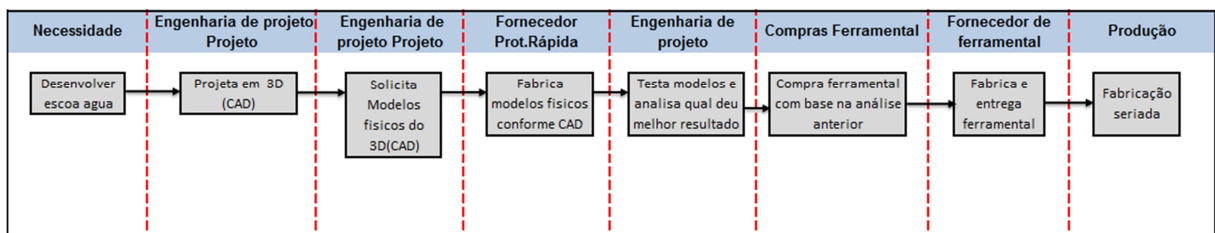
Vale lembrar que as ilustrações acima com o modelo físico são somente para explicar sobre o funcionamento e facilitar o entendimento, pois até então só estava disponível o modelo CAD do escoa água.

### 3.3.5 A necessidade de elaborar os protótipos do modelo 3D (CAD)

Diante dos modelos CAD projetados, não era possível saber qual iria se comportar melhor na estrutura do ônibus conferindo maior eficiência no escoamento da água.

Era necessária a obtenção dos modelos físicos para a simulação em campo e identificar qual era a melhor geometria a ser fabricada em serie para instalação.

Figura 44 – Fluxograma interno do processo com a utilização da RP

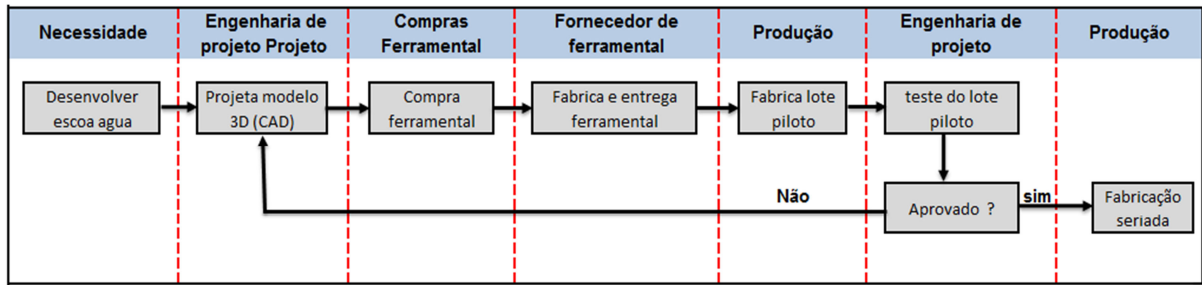


A fabricação de ferramental era totalmente inviável financeiramente, pois caso fosse fabricado um ferramental (molde de injeção) para uma das quatro peças desenhadas e a mesma não atingisse o resultado esperado nas análises de campo, o ferramental seria totalmente perdido.

Além da grande chance da perda do ferramental (molde de injeção) que para estas peças foram estimados em R\$ 28.500,00, seria gerado um atraso no projeto gerando uma reação em cadeia conforme explicação abaixo.

Após a chegada do ferramental e fabricado os primeiros modelos físicos (lote piloto), ao verificar que a peça fabricada não desempenhou a função esperada, seria necessário refazer o projeto, solicitar a compra de um novo ferramental a aguardar a fabricação do mesmo, ou seja, todo o ciclo de desenvolvimento seria repetido do ponto inicial.

Figura 45 – Fluxograma interno do processo sem a utilização da RP



Além do atraso no projeto, o ferramental desenvolvido seria sucitado, pois estes ferramentais são fabricados sob medida para cada tipo de geometria e não oferecem possibilidade de retrabalho.

Os fluxos (organogramas) aqui apresentados são meramente ilustrativos para melhor compreensão. Cada empresa tem seus procedimentos internos e trâmites definidos que diferem entre si. As áreas responsáveis por cada etapa/ação dentro do PDP também podem sofrer variações de empresa para empresa.

### 3.3.6 A elaboração do protótipo físico

Uma vez identificada a necessidade de simular as condições com o protótipo físico antes de fabricar o ferramental, foi solicitado apoio a instituições especializadas na tecnologia.

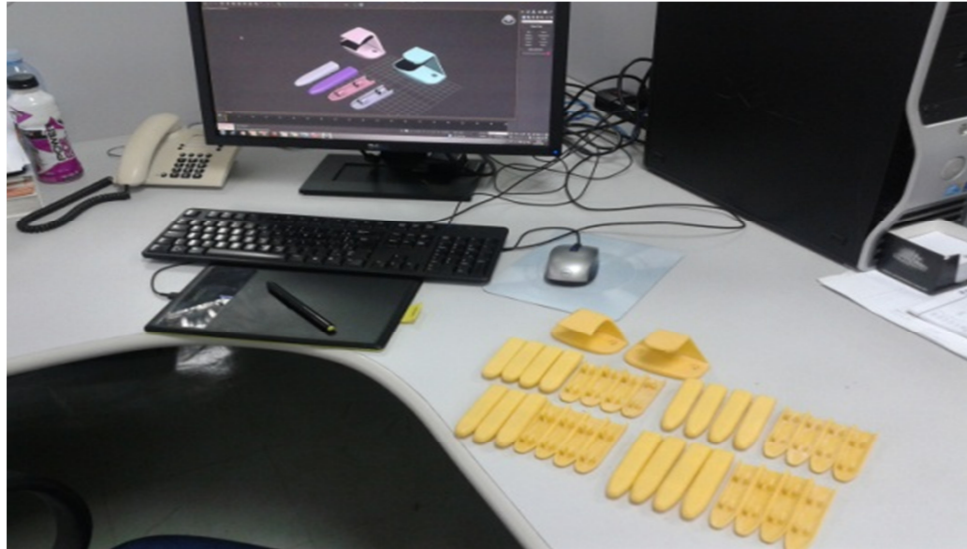
Foram contratados os serviços de uma faculdade da cidade de Bauru para fabricar os modelos desenhados no Solid Works.

O modelo da máquina que realizou a fabricação não foi informado, pelo motivo de segurança de informação da instituição.

O material em que foi confeccionado as peças foi a resina que tem 70% das características do plástico (PP-polipropileno) que seria utilizado para fabricação da peça final.

O critério para definir a resina como matéria prima do protótipo foi a propriedade elástica do material que se assemelhava ao plástico (PP-polipropileno), pois esta característica era essencial para testar o método de fixação através de climpagem

Figura 46 – Peças prototipadas para teste



Foram solicitadas a confecção de 34 peças divididas em 4 geometrias distintas. As 34 peças tiveram um custo total de R\$ 880,00 reais, em torno de R\$ 25,00 por unidade.

Figura 47 – Peças prototipadas para teste



Neste mesmo pacote foram adicionados 2 protótipos de um suporte para acomodar as cortinas, porém estes não serão objetos de estudo.

As peças não receberam tratamentos ou processos após a cura, ficando com a cor original da matéria prima (amarelo).

### 3.3.7 Teste em campo

Com a chegada dos modelos físicos, os 4 grupos de peças foram instalados na carroceria (um grupo por vez) para atestar que o modo de fixação através da climpagem é seguro.

Todos os grupos foram aprovados no teste de fixação, onde a resina (material utilizado no protótipo) se comportou conforme previsto no que tange a flexibilidade do material para a execução do teste.

Figura 48 – Teste de fixação dos protótipos através da climpagem

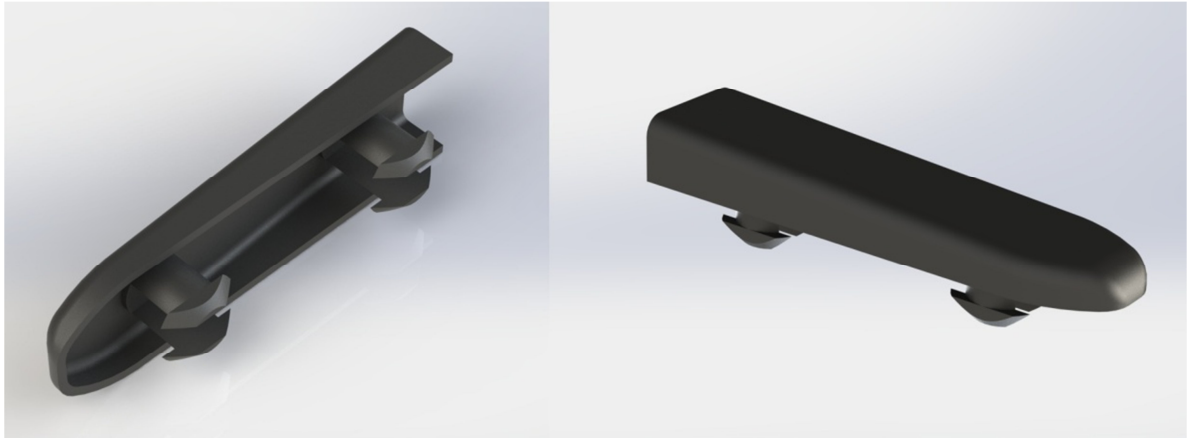


Após os testes da fixação, o veículo foi testado simulando condições reais de operação para analisar qual era a geometria do escoamento de água que desempenhou melhor resultado.

O veículo percorreu as estradas da cidade e durante o percurso ele foi molhado e pode ser observado se o projeto de escoamento de água se mostrou eficiente e qual obteve melhor eficácia.

Dentre os quatro grupos testados, um deles foi escolhido por ter sido considerado o que demonstrou melhor comportamento em termos de eficiência operacional e melhor acabamento no conjunto da carroceria, em resumo o melhor e mais bonito. O custo de fabricação não foi levado em conta para o fator de escolha, pois as diferenças entre eles era praticamente irrelevante.

Figura 49 – Condição da peça final no 3D



Após esta escolha, o modelo escolhido até então amarelo, foi pintado na cor final de projeto no caso o preto e reposicionado na carroceria para verificar a condição final.

Figura 50 – fixação do “escoa água” através da climpagem



A peça definida então foi enviada ao fornecedor para orçamento de fabricação do ferramental.

A fabricação do ferramental (molde de injeção) ficou em R\$ 28.000,00. Houve a necessidade de uma pequena alteração do fixador do escoa água para possibilitar sua

fabricação através do molde de injeção, mas não gerou qualquer alteração nos testes e ensaios realizados para validação.

Figura 51 – Condição final do “escoa água” no produto final-pronto para o cliente



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da Prototipagem Rápida no Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP) auxilia na identificação de problemas de projeto antes mesmo que cheguem à linha de montagem ou até mesmo nos clientes finais gerando despesas com correção de projeto, ferramental, *recall*, entre outros.

Através da análise do modelo físico deste estudo de caso, a RP possibilitou uma decisão embasada em testes e simulações com peças mais próximas possíveis de sua condição real. Isto faz com que as possibilidades de erros de projeto sejam reduzidas drasticamente, resultando em um tempo de desenvolvimento menor, pois não necessita retornar a etapa inicial do projeto após verificar em etapas mais avançadas que o resultado esperado não foi obtido.

Também ajuda a preservar gastos com ferramentais fabricados para peças que muitas vezes não temos a certeza de sua funcionalidade.

Ao investir R\$ 880,00 em protótipos, houve a oportunidade de testar o trabalho do escoa água antes de fabricar qualquer ferramental que para este caso estava orçado em R\$ 28.000,00.

Pode-se afirmar que ao comprar um ferramental para fabricar uma peça que não se comprovou sua funcionalidade, assume-se o risco da geração de prejuízo ao caixa da empresa em um dos seus momentos de maior vulnerabilidade, que é a etapa de desenvolvimento, onde o gasto com engenharia, projeto, ferramental, tecnologia, infra-estrutura, marketing, entre outros é elevado.



O compromisso de preservar os recursos e utilizá-los de maneira consciente é uma obrigação de todas as áreas de companhia principalmente nas fases de desenvolvimento.

Assim, a Prototipagem Rápida forneceu condições para um desenvolvimento mais enxuto reduzido os custos gerados por erros de projeto.

Vale salientar que para este estudo de caso, o objeto desenvolvido é simples e de baixo valor agregado. Normalmente nas indústrias, os desenvolvimentos são bem mais complexos e envolvem valores muito mais elevados aumentando a importância de um PDP com menores falhas possíveis.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho exemplificou a aplicação da prototipagem rápida durante o desenvolvimento de uma peça para uma carroceria de uma empresa do segmento metalúrgico local responsável pelo encarroçamento dos chassis dos ônibus rodoviários com alto nível de acabamento.

A prototipagem atendeu as expectativas dos projetistas no que tange às possibilidades de testes nos protótipos fornecendo resultados fidedignos às condições da peça real.

Estes testes serviram como referência para uma tomada de decisão baseado em resultados concretos, desprezando o “achismo” e suposições.

Os testes apontaram qual peça melhor atendia a necessidade, e seu ferramental de fabricação (molde de injeção) foi desenvolvido na certeza de seu funcionamento que foi validada por testes em situações reais de operação com os protótipos.

Foram gastos R\$ 880,00 com a prototipagem das peças, mas estas foram testadas e através dos resultados, reduziram drasticamente a possibilidade de se fabricar um ferramental para uma peça sem ter a chance de testá-la correndo o risco de não funcionar, gerando a perda de todo o investimento realizado no ferramental estimado em R\$ 28.500,00.

Vale ressaltar que não se deve tomar como referencia este estudo de caso para as demais situações de um modo geral.

O PDP (Projeto e Desenvolvimento de Produto) é muito complexo, onde incalculáveis variáveis estão envolvidas. Para cada caso requer um estudo prévio de viabilidade de aplicação ou não da prototipagem rápida.

O passo inicial é saber que a tecnologia existe e o que ela pode oferecer para refinar os processos de desenvolvimento.

Existem empresas especializadas no ramo que podem ser consultadas durante o PDP para esclarecer estas dúvidas, e uma vez identificada a oportunidade de implementar melhorias no desenvolvimento, trabalhar em conjunto propondo soluções de prototipagem rápida. Esta relação, quando baseada na ética e profissionalismo gera resultados positivos para ambos os lados.

## REFERÊNCIAS

ALBERTI, E. A.; D'OLIVEIRA, A. S. C. M.; SILVA, L. J. Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade. **Soldag. Insp.** São Paulo, Vol. 19, N°02, p.190-198, Abr/Jun 2014.

ALLIPRANDINI, D. H.; FERRARI, F. M.; MARTINS, M. F.; MARTINS, R. A.; SILVA, S. L.; TOLEDO, J. C. **Modelo de referência para a gestão do processo de desenvolvimento de produto: aplicações na indústria brasileira de autopeças. Relatório de pesquisa**, São Carlos: UFSCar/ FAPESP, 2002.

BACK, N. Metodologia de projeto de produtos industriais. **Guanabara Dois**: Rio de Janeiro/RJ, 1983.

BARBOSA, R. **Design e prototipagem: conhecimento e uso da prototipagem digital no design brasileiro**. Dissertação de apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (Mestrado). Bauru: UNESP, 2009 198f. Disponível em: <[http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bba/33004056082P0/2009/barbosa\\_rt\\_me\\_bauru.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bba/33004056082P0/2009/barbosa_rt_me_bauru.pdf)> Acesso em: 02.mar.2015.

BATISTA, L.C. **A prototipagem rápida como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de produtos, um estudo de caso envolvendo implantes ortopédicos**. 2012.97f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)-Escola de Engenharia de Piracicaba, Piracicaba, 2012.

CAMARGO, G. M.; KONNO, R. K.; LENARTEVITZ, V.; PINTO, A. D.L.; VALENTE, R.J.; SANTOS, D.M.P. Produto: Diferenciações Estratégicas. **Revista ampla de Gestão Empresarial**. Registro, N°02, art. 6, p.81-91, maio 2014. Disponível em: <[http://revistareage.com.br/artigos/segunda\\_edicao/06.pdf](http://revistareage.com.br/artigos/segunda_edicao/06.pdf)> Acesso em: 08.mar.2015.

CARVALHO, M. A. O.; COELHO, J. **Estudo da precisão dimensional de modelos médicos construídos através de Prototipagem Rápida**. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2.,2002, João Pessoa.

CHANDRA, M.; NEELANKAVIL, J. Product development and innovation for developing countries: Potential and challenges. **Journal of Management Development**, v. 27, n. 10, p. 1017-1025, 2008.

FILIPPINI, R.; SALMASO, L.; TESSAROLO, P. Product Development Time Performance: Investigating the Effect of Interactions between Drivers. **Journal of Product Innovation Management**, v. 21, n. 3, pp. 199–214, 2004.

GORNI, A. A. Prototipagem Rápida, a revolução 3D. **Plástico Industrial**, p. 24-35, 2013. Disponível em: <[http://www.gorni.eng.br/Gorni\\_PI\\_Nov2013.pdf](http://www.gorni.eng.br/Gorni_PI_Nov2013.pdf)> Acesso em: 22 mar. 2015.

KAI, C.C.; JACOB, G.G.K. MEI, T. Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems Part 1: A study of Existing Interfaces. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology** v.13, p.566-570, 1997.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos: Planejamento, Criatividade e qualidade**, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Ed., 2000.

KOTLER, P. **Marketing**, ed. comp. São Paulo:Atlas, 1988.

LENCINA, D. Produção de moldes ganha tempo com prototipagem. **Plástico Moderno**, São Paulo. p.19-27, 2006. Disponível em: <[http://www.gorni.eng.br/Gorni\\_PI\\_Nov2013.pdf](http://www.gorni.eng.br/Gorni_PI_Nov2013.pdf)> Acesso em: 13 mar. 2015.

MACARRÃO JUNIOR, L. **Importância do uso de mock-ups e de técnicas de prototipagem rápida e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva**. 2004. 19f. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MOTTA, D. Acervo do Museu Nacional ganha réplicas em 3D a partir da prototipagem rápida, Rio de Janeiro: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.faperj.br/?id=1372.2.5>. Acesso em: 15 mar. 2015.

NASCIMENTO, A.A. **Tendências tecnológicas em prototipagem rápida e manufatura aditiva**. 2013. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)- Departamento de Engenharia-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, M.F. **Aplicações da Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa**. 2008. 107f. Trabalho final de Mestrado (Mestre em Engenharia Mecânica)-Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Campinas, 2008.

PHAM, D. T.; GAULT, R. S. A Comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of Machines Tolls and Manufacture**, v.38, n.10-11, p.1257-1287, 1998.

SABATO, J. e MACKENZIE, M. **Tecnología y Estructura Productiva**. México (DF): ILET, Editorial Nueva Imagen, 1996.

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The rapid prototyping technologies. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 4, p. 318-330, 2003.

VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 244p.