

# ENQUADRAMENTO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA (PR) NA METODOLOGIA DE PROJETO DE GRANDES EMPRESAS

**Eng. Ms. Emerson Alexandre Pizzolito**

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Rua Mendeleye, 200 CEP 13083-970 Cidade Universitária Zeferino Vaz

pizzolito@fem.unicamp.br

**Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini**

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Rua Mendeleye, 200 CEP 13083-970 Cidade Universitária Zeferino Vaz

dedini@fem.unicamp.br

**Resumo.** *Este trabalho desenvolveu uma análise que permitiu avaliar as formas de utilização da tecnologia de PR na metodologia de projetos de grandes empresas. Para isto foi necessário estudar e conhecer diferentes metodologias de projetos e as aplicações da PR no desenvolvimento de produtos. Foi realizado um estudo analítico das formas de utilização da PR dentro de cada metodologia de projeto estudada e do impacto desta no ciclo de desenvolvimento de produtos para dar sustentação aos estudos de caso realizados em quatro grandes empresas de diferentes setores. O conhecimento gerado a partir das análises pode ser confrontado com a experiência e prática dos profissionais que atuam com desenvolvimento de produtos em grandes empresas. Os resultados obtidos identificaram como a tecnologia de PR é utilizada na metodologia de projeto de grandes empresas e delimitou as maneiras e motivos de seu uso, posicionando de forma sistêmica, o momento em que a tecnologia de PR deve ser empregada ao longo do ciclo de desenvolvimento de produtos. Dos resultados deste trabalho concluiu-se como os projetistas ou equipes de projeto utilizam a PR, em quais fases do projeto são aplicados protótipos e quais as vantagens da utilização destes no ciclo desenvolvimento de produtos.*

**Palavras-chave:** prototipagem rápida, metodologia de projeto, desenvolvimento de produtos

## 1. INTRODUÇÃO

Protótipos são elementos conhecidos dentro do ambiente de Engenharia. As diferentes formas de utilização e conceitos atribuídos aos protótipos mudam de acordo com a experiência e comportamento dos projetistas, dos integrantes da equipe de projeto e da metodologia de projeto em que este é inserido.

De forma geral, qualquer modelo físico ou virtual que possa ser construído dentro de um determinado projeto passa a ser chamado de protótipo. Porém, cada tipo de protótipo possui características particulares que diferenciam e classificam sua forma de atuação e impactos dentro do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Kaminski e Oliveira (2000) propõem uma divisão em quatro grupos principais:

- descriptivos: permitem o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno;
- preditivos: permitem prever (dentro dos limites do modelo) o comportamento do fenômeno ou sistema real;
- icônicos: são utilizados para visualização do produto em seus vários aspectos, e

- analógicos: protótipos ou modelos reduzidos do produto utilizados para avaliar o funcionamento através de medidas experimentais.

Para validar as possibilidades de análise de um protótipo, alguns aspectos críticos devem ser considerados. Kai, Fai e Chu-Sing (2003) destacam três aspectos. O primeiro aspecto define o nível de prototipagem que existe inserido em uma mesma análise, ou seja, se o produto completo é um protótipo, se um sistema é um protótipo, se um sub-sistema é um protótipo ou se o componente é um protótipo. O segundo aspecto define o grau de representatividade do protótipo, ou seja, se o protótipo representa grosseiramente ou fielmente o comportamento da peça final. São considerados neste aspecto os dados relativos a material, forma geométrica e acuracidade dimensional. O terceiro aspecto define o grau de amadurecimento do projeto de forma geral, ou seja, se o protótipo foi construído a partir de um projeto bem discutido - onde premissas e disciplinas de engenharia foram aplicadas - suas chances de sucesso através da identificação de problemas críticos que fogem ao ambiente de projeto são maiores.

Além dos aspectos abordados por Kai, Fai e Chu-Sing (2003), a análise dos impactos de protótipos depende da metodologia de projeto adotada.

Devido as diversificações, as metodologias de projeto possuem particularidades que a diferenciam no detalhamento da atividade de projeto. Uma tarefa dividida em tarefas de níveis inferiores pode ser melhor analisada do ponto de vista técnico porém, a análise pode ser prejudicada se considerar o problema como sendo de todo o conjunto ou produto. Portanto, uma mesma metodologia aplicada em um ambiente diferente pode apresentar resultados distintos.

No caso de empresas, estas variações também acontecem, criando metodologias específicas de projeto, aplicadas a um determinado segmento de produtos ou em empresas específicas.

## 2. FORMAS DE UTILIZAÇÃO DE PROTÓTIPOS NO PDP

As interações entre as características dos protótipos e seus aspectos críticos definem as formas de utilização do protótipo no PDP. Para que as ações referentes à utilização da tecnologia de PR ocorram de forma satisfatória, faz-se necessário definir um processo morfológico básico para qualquer metodologia de projeto em que a análise por protótipos está inserida. O processo morfológico básico proposto por Bach (1976) e apresentado no disco externo da Fig. (1), serviu como elemento de análise das metodologias de projeto citadas na seção 3 deste trabalho. Os números a frente das formas de utilização são referências para melhor entendimento das figuras apresentadas na seção 3.

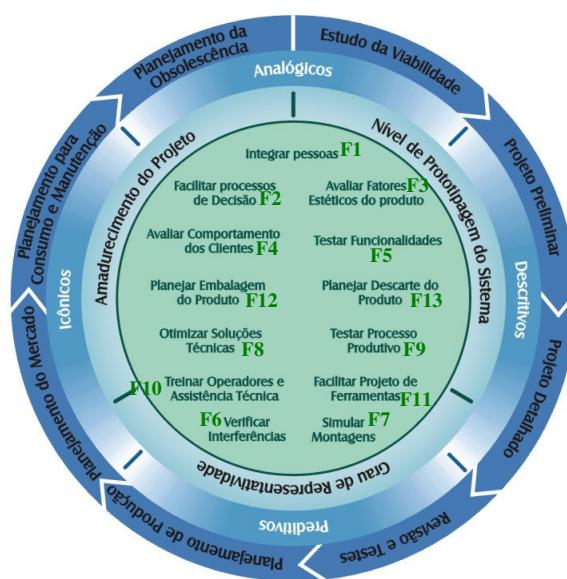


Figura 1. Morfologia básica, fatores condicionantes e formas de utilização da PR no PDP.

Confrontando os fatores condicionantes, descritos nos dois discos internos da Fig. (1) com o processo morfológico básico proposto por Bach (1976), delimitou-se formas para utilização de protótipos dentro de qualquer PDP.

Pode-se afirmar que a utilização de protótipos como elemento de integração de pessoas ocorre em qualquer nível e atividade do projeto, independente da metodologia utilizada e da forma como é composta a equipe de projeto. Nesta afirmação, recorre o fato de profissionais que necessitam tomar decisões e partilhar informações importantes de projeto apresentarem dificuldades na visualização e entendimento de desenhos 2D e modelos matemáticos 3D.

Reuniões de análise crítica de projeto, discussões técnicas e a aplicação de algumas ferramentas de Qualidade como FMEA, podem ter suas sessões otimizadas, melhorando o nível das informações trocadas entre os integrantes quando da utilização de protótipos como elementos de integração.

Os processos de decisão também são facilitados quando há geração de informação concisa e de conteúdo plausível. A alimentação de informação dos processos decisórios é beneficiada pela oportunidade que o protótipo oferece de colocar todos os profissionais em um mesmo referencial, eliminando problemas de falsa interpretação de desenhos.

A visualização do protótipo como um produto permite utilizar a tecnologia de PR para produzir modelos conceituais e avaliar os fatores estéticos do produto final, como curvas, superfícies, forma, tamanho e ergonomia. Esse tipo de avaliação quando estendida ao consumidor ou cliente final permite identificar a reação deste diante da proposta do produto. A pesquisa de aceitação ou pesquisa de mercado, pode ser realizada em uma etapa prévia de projeto e seus resultados retornam ao ciclo, tornando a voz do cliente uma parte integrante do projeto do produto.

No ambiente de projeto definem-se as funcionalidades do produto, que são os parâmetros específicos de funcionamento para satisfazer determinadas funções para as quais este foi projetado. Estas funcionalidades podem ser testadas a partir das fases iniciais de desenvolvimento por meio de protótipos que condizem com as características, formas e precisão dimensional das peças projetadas.

Para o perfeito entendimento e validação dos testes funcionais, os protótipos são submetidos a condições iguais ou, em casos de testes de laboratório, a condições mais severas, a que a peça final irá trabalhar. Neste caso o protótipo obtido deverá reproduzir de maneira fiel o comportamento da peça final. Após análises, os resultados destes testes retornam como informação para o desenvolvimento para que sejam considerados no processo de melhoria e correção do projeto.

Ainda dentro do ambiente de projeto, o protótipo pode ser usado para verificar a existência de interferências entre peças de um mesmo conjunto.

Com emprego de protótipos pode-se realizar simulações de montagem empregando elementos físicos que suportam as exigências críticas de montabilidade, que não foram consideradas ou plenamente exploradas durante o projeto da peça. Isto permite alinhar o projeto para um número menor de componentes, garantir projetos modulares, planejar montagens uni-direcionais, facilitar fixações através da eliminação de componentes de fixação, enxergar oportunidades de automação e eliminar ajustes que despendem tempo e habilidades específicas. Caracteriza-se nestes aspectos importantes relações entre protótipos e técnicas como o DFMA e Projeto Modular.

A integração entre projeto e manufatura e a consideração dos aspectos concernentes a estas áreas durante o ciclo de desenvolvimento, garantem a otimização das soluções técnicas a serem aplicadas no produto. Problemas de projeto e manufatura podem ter soluções quando protótipos são utilizados de maneira simultânea e integrada para verificação das necessidades de cada área.

Na manufatura, os protótipos podem ser utilizados para testar o processo produtivo de forma a garantir um reconhecimento prévio do procedimento de montagem e auxiliar no planejamento da atividade de processo por meio da identificação de ferramentas, materiais indiretos de produção e dispositivos necessários.

O treinamento de operadores e dos técnicos de serviços de pós-venda pode ser realizado por meio de protótipos e suas impressões, opiniões e sugestões serem utilizadas no desenvolvimento. Esta abordagem diminui o potencial de riscos da interpretação do produto no chão-de-fábrica, diminuindo os erros de montagem e melhorando o atendimento do cliente.

A etapa de projeto e construção de ferramentas pode ser beneficiada com a utilização de protótipos como elemento de familiarização do projetista de ferramenta com o produto que será transformado a partir da ferramenta projetada. Este profissional pode ter melhor visualização da peça e sugerir melhorias para simplificação da ferramenta e consequentemente, contribuir para a queda dos custos de confecção e manutenção.

O projeto da embalagem do produto se constitui em uma etapa importante dentro do ciclo de desenvolvimento devido ao fato de a embalagem proteger o produto e seus acessórios contra choques, intempéries e movimentação, além de se constituir custo adicional. Neste aspecto, os protótipos podem auxiliar o projeto de componentes da embalagem.

O planejamento do descarte do produto pode ser auxiliado pela PR quando o seu desenvolvimento é realizado a partir de um protótipo do produto ou de um componente. Atualmente, as questões ambientais pressionam as empresas para que estas atendam exigências quanto ao grau de reciclagem de seus produtos. O protótipo pode então, auxiliar no planejamento da desmontagem do produto e do destino que os componentes terão, se serão reciclados ou dispostos de maneira diferente, sem agredir o meio ambiente.

Para melhor aproveitamento nas aplicações das funções de projeto, deve-se reconhecer a metodologia de projeto empregada e definir onde cada função se encaixa, traçando um planejamento para a tecnologia de PR com relação a metodologia de projeto adotada, afim de extraír seus melhores resultados.

### **3. CONFRONTO ENTRE AS FORMAS DE UTILIZAÇÃO DE PROTÓTIPOS E METODOLOGIAS DE PROJETO**

Este tópico traz um estudo das formas de utilização de protótipos descritas no tópico anterior com as metodologias de projeto. O objetivo é mostrar como e em qual fase os protótipos obtidos por PR podem ser utilizados nas metodologias caracterizando uma distinção entre as abordagens tradicional e simultânea.

Tal distinção é necessária devido ao total potencial da tecnologia de PR ser explorado somente nas metodologias que utilizam a Engenharia Simultânea (ES) como referencial de trabalho. Barkan e Iansiti (1993) afirmam que a não utilização de protótipos em abordagens simultâneas pode gerar falhas de interpretação do projeto e comprometer a qualidade final do produto.

Na ES as atividades são realizadas ao máximo em paralelo e a integração da equipe de projeto, geralmente multifuncional e multidisciplinar, é realizada por meio de protótipos. Já em abordagens tradicionais, a adoção da PR não se apresenta totalmente explorada, devido as formas de aplicação estarem locadas em um departamento fechado, em cada etapa seqüencial de desenvolvimento.

Na seleção das metodologias que se enquadram no conceito da abordagem simultânea, foram agrupadas as metodologias de projeto que adotam equipes multifuncionais ou multidisciplinares, distribuição paralela de atividades e considera informações do ciclo de vida do produto desde o início do projeto. As metodologias selecionadas foram Ertas e Jones (1993), Clausing (1993), Pugh (1996), Suh (1990), Prasad (1996), Clark e Fujimoto (1991), Womack, Jones e Roos (1990) e APQP (1995).

Na seleção das metodologias que se enquadram no conceito da abordagem tradicional, foram agrupadas as metodologias de projeto que trabalham com foco nos projetistas e engenheiros, distribuição seqüencial de atividades e consideração das informações pertinentes ao ciclo de vida do produto inseridas em cada fase do projeto. As metodologias selecionadas foram Asimow (1968), Blanchard e Fabrycky (1990), Pahl e Beitz (1998) e VDI 2221 (1993).

Para realização das análises, as metodologias de projeto foram linearizadas e confrontadas com as formas de utilização de protótipos, gerando as disposições de atividades mostradas nas Fig. (2) e Fig.(3). Isto permitiu visualizar a utilização da PR para cada etapa, tendo como resultado um mapa de utilização.

A análise da distribuição das formas de utilização permitiu atribuir pesos para cada forma de utilização em relação as etapas específicas de cada metodologia e formar, a partir do conjunto de

todas as metodologias com uma mesma abordagem, um gráfico de distribuição. A Fig. (2) mostra a distribuição para a abordagem tradicional.



Figura 2. Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem tradicional.

Nesta abordagem, destaca-se a pulverização das formas de utilização ao longo do ciclo de desenvolvimento, caracterizada pela forma linear de distribuição, que limita o potencial de utilização apenas para uma etapa específica. Como exemplo, destaca-se o uso da PR na etapa de Projeto Detalhado (situada na faixa entre 30 e 50% da concretização do projeto) estar relacionada somente ao ato de projetar, deixando de aproveitar o potencial para planejamento do processo ou testes de performance.

A análise através de marcos de projeto, posicionados a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% do grau de concretização do projeto, mostra respectivamente, que 4, 2, 6, 6 e 2 formas de utilização estão sendo empregadas simultaneamente. Este tipo de interrupção no ciclo de utilização do protótipo deve-se as formas de utilização serem isoladas em cada etapa, não mantendo vínculos com as etapas anteriores e subsequentes.

A não continuidade na utilização do protótipo ao longo do ciclo de desenvolvimento é resultado da ausência de zonas de transição entre as etapas do projeto. A transição entre cada etapa ocorre a partir do fornecimento de um “pacote de informações”, tais como desenhos, especificações técnicas, procedimentos, que são considerados como resultado final de cada etapa e que, geralmente, não consideram informações importantes sobre o ciclo de vida do produto. Quem recebe estas informações muitas vezes não tem a visão global do projeto e portanto, não conhece as particularidades deste. Com isso o protótipo deixa de ser utilizado ao longo do desenvolvimento.

Outro fator predominante na abordagem tradicional é o fato de o sucesso do uso do protótipo estar ligado somente com o envolvimento do engenheiro/projetista no projeto, ou seja, as formas de utilização que efetivamente dão retorno se restringem entre o projeto preliminar e o projeto detalhado. Nestas fases pode-se usar o protótipo para testar funcionalidades, verificar interferências e simular montagens. A não consideração de aspectos do processo produtivo e ferramental durante o projeto preliminar e detalhado ocasionarão erros nas etapas mais tardias do desenvolvimento.

No caso da abordagem simultânea a distribuição das formas de utilização de protótipos, mostrada no gráfico da Fig. (3), apresenta comportamento diferente. A distribuição das formas de utilização de protótipos na abordagem simultânea apresenta-se de maneira mais agrupada e consistente ao longo do ciclo de desenvolvimento. A medida em que o projeto evolui, existem formas de utilização que acompanham esta evolução por quase todo o ciclo, fazendo com que os desdobramentos das formas de utilização tenham um comportamento constante ao longo da concretização do projeto.



Figura 3. Distribuição das formas de utilização de protótipos ao longo do ciclo de desenvolvimento para abordagem simultânea.

Este detalhe pode ser percebido pela ausência de espaços entre o início da utilização de protótipos em suas diversas formas. A análise através de marcos de projeto, posicionados a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% do grau concretização do projeto, mostra respectivamente, que 4, 5, 8, 11 e 6 formas de utilização estão sendo empregadas simultaneamente.

A concentração das formas de utilização na faixa que abrange de 30 a 70% do grau de concretização do projeto, se referem ao tratamento e consideração dos requisitos de produto e do processo produtivo desde as fases iniciais de desenvolvimento, aumentando a difusão das informações e o alcance dos benefícios da adoção da PR.

Como as equipes de projeto são formadas por membros de diferentes disciplinas, a informação gerada e compartilhada entre todos é mais concisa e portanto, corre menor risco de se perder ao longo do ciclo. Este fator também contribui para que o sucesso do uso do protótipo não esteja diretamente ligado ao engenheiro/projetista e sim, a toda a equipe de projeto.

Os fatores apontados reduzem o custo e tempo de desenvolvimento e aumentam a qualidade do produto, permitindo a exploração total dos benefícios da adoção da tecnologia de PR para a abordagem simultânea.

#### 4. IMPACTOS DA TECNOLOGIA DE PR NO PDP

A possibilidade de obter protótipos em estágios iniciais do PDP mudam as características do processo e o comportamento da equipe de projeto e diminui o caminho entre o conceito e o produto, fornecendo dinamismo ao desenvolvimento. A dinâmica imposta pela utilização de protótipos têm impacto direto sobre o rendimento do trabalho e a qualidade final do produto.

Entendendo o PDP como um processo completo, integrado e com foco sempre no produto, os impactos da PR extrapolam as aplicações técnicas e atingem fatores de cunho estratégico, administrativo e de competitividade. Os principais fatores de competitividade como custo, qualidade, flexibilidade e tempo de resposta são influenciados diretamente com a adoção da PR.

O primeiro impacto da adoção da tecnologia de PR reflete nos custos. Os custos de desenvolvimento são reduzidos com a aplicação de protótipos devido a possibilidade de identificar erros nas fases iniciais de projeto. Embora a PR carregue consigo o estigma de um alto custo associado, antes da PR, os custos e tempo envolvidos para a confecção de protótipos eram ainda maiores e os esforços referentes a identificação e correção dos erros de projeto eram aplicados somente na fase de produção do produto. Estes sinalizavam ajustes e correções quando os produtos estavam prestes a serem lançados ou já se encontravam em mercado.

Com a identificação prévia dos erros de projeto, diminui-se o custo geral do desenvolvimento do produto e consequentemente os custos relacionados a produção, garantia e assistência técnica. O

projeto auxiliado por PR pode então, ser benéfico para todo o ciclo de vida do produto, em relação aos custos distribuídos em cada fase da vida do produto.

Como a PR passa a ser adotada dentro do PDP, é fundamental que ocorra a dedicação de investimentos em protótipos dentro do planejamento de custos do projeto. A análise do projeto para identificar onde e quando devem ser usado protótipos, e quais peças devem ser prototipadas torna-se necessária, agregando mais um planejamento no plano geral de projeto, o plano de protótipos. Portanto, deve-se adicionar no plano geral de projeto os custos para confecção de protótipos. Esta prática pode tirar o estigma de que protótipos obtidos por sistemas de PR são caros devido a absorção deste serviço estar diretamente ligada ao custo geral do projeto. Quando o protótipo passa a ser visto como um recurso adicional às ferramentas tradicionais de projeto, certamente a aplicação da PR representa uma melhora substancial na qualidade do produto.

A diminuição dos erros de projeto confere qualidade ao PDP além de evitar custos extras para consertá-los. A possibilidade de testar funcionalidades com maior confiabilidade, aspectos mercadológicos com maior certeza de entendimento do público alvo e planejar o processo produtivo antecipadamente, garantem a possibilidade de alinhar os desejos dos consumidores com o produto, promovendo o conceito de satisfação total do cliente, pré-requisito para a competitividade.

Na proporção em que os erros diminuem o tempo de cada etapa também diminui. A relação direta destes dois impactos está baseada na possibilidade de prever problemas de projeto e corrigi-los nas fases iniciais do desenvolvimento.

No caso de peças que requerem a construção de ferramentas, a utilização da PR permite identificar os erros de desenvolvimento durante a etapa de projeto da peça e não mais após a construção da ferramenta.

Para aplicações onde a inovação está presente, a PR se enquadra como um elemento de verificação do que foi projetado e desenvolvido, trazendo a possibilidade de identificação de problemas durante o desenvolvimento. Estas informações retornam ao ciclo de projeto, para refino da base tecnológica associada à inovação.

A possibilidade de construir protótipos a partir de modelamentos 3D e obtê-los com precisão dimensional e características geométricas muito próximas a peça final aumentam a confiabilidade dos testes funcionais. Devido a este fato, idéias e propostas de projeto podem ser testadas rapidamente e este resultados considerados durante o desenvolvimento.

Como os protótipos são construídos para verificação do cumprimento dos requisitos de projeto, e a partir dos ensaios e testes são geradas análises com os mais variados enfoques, pode-se afirmar que a utilização da PR produz um fenômeno sistêmico que ocorre a cada iteração entre os requisitos de projeto e os resultados de testes: o fator aprendizagem. Aprender com PR significa observar o comportamento dos protótipos durante os testes, interpretar resultados de ensaios e convergir estas informações aos requisitos de projeto.

Dentro do PDP, Barkan e Iansiti (1993) defendem um padrão de aprendizagem acelerado devido ao uso freqüente de protótipos. Os fatores por eles analisados são o tempo e o grau de acabamento do produto ou processo, descrevendo o comportamento de dois projetos, um com o uso freqüente de protótipos e outro com o uso limitado. Para o projeto com uso freqüente existe um aumento no número de interações e diminuição do tempo de desenvolvimento. Para o projeto com uso limitado existe um número menor de interações e consequentemente o tempo de desenvolvimento aumenta. A taxa em que ocorre o aprendizado também é maior na condição de prototipagem freqüente.

Como o aumento de interações no PDP diminui o tempo de desenvolvimento e este fenômeno se caracteriza um importante dado administrativo, a PR pode servir como uma ferramenta de verificação do andamento do projeto, definindo marcos de projeto, atividades de verificação técnica e chaves de decisão vai-não-vai, englobados no cronograma de projeto. Como exemplo, pode-se atrelar a medida de desempenho do time de projeto com a apresentação de protótipos que descrevem as soluções aos problemas de projeto, pode-se verificar a eficácia técnica desta solução e decidir o prosseguimento ou não do projeto. A verificação dos erros de projeto e a certeza de que o trabalho está direcionado para o caminho certo são fatores de motivação.

Desta forma, a PR extrapola o âmbito técnico e passa a atuar no âmbito administrativo, formando interações entre as duas áreas. A exploração destas interações, têm impacto na redução do tempo de desenvolvimento do produto. Este impacto é o principal ganho da adoção da PR no PDP.

## 5. ESTUDOS DE CASOS

Os estudos de casos foram realizados em quatro grandes empresas, divididas em diferentes setores: automobilístico, eletrodoméstico, eletrônico e metal-mecânico. Este tipo de pesquisa foi utilizado para validar a teoria desenvolvida nos tópicos anteriores e confrontá-la com a prática e experiência dos profissionais que utilizam a tecnologia.

As metodologias de projeto encontradas nos estudos variam de acordo com a visão, aspectos culturais, experiências vividas em desenvolvimentos de projetos semelhantes e conhecimentos acadêmicos adquiridos pelos profissionais envolvidos. Estas variações criam metodologias específicas de projeto, aplicadas a um determinado segmento de produtos ou em empresas específicas. Por estes motivos ganham aplicabilidade industrial, ao menos no âmbito em que esta foi adotada como a metodologia padrão para desenvolvimento de novos produtos.

Independente das visões parciais existentes, identifica-se uma linha mestra composta das seguintes etapas: Estudo de Viabilidade, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Revisão e Testes, Planejamento da Produção, Planejamento de Mercado, Planejamento para Consumo e Manutenção e Planejamento para Obsolescência. Estas etapas confirmam o proposto por Back (1976).

O time de projeto é composto por integrantes de diversas áreas da empresa, caracterizando uma estrutura multifuncional que consegue trabalhar e prever ações com informações preliminares de engenharia. Dependendo do tamanho do projeto e a influência deste sobre as atividades departamentais, o representante cede um maior período de tempo e mais força de trabalho.

Em todos os casos estudados é utilizado um líder de projeto como responsável pelos assuntos administrativos e técnicos relativos ao projeto. Apesar da participação de representantes de todos os departamentos, o estilo de gerenciamento deste líder é o de convencer os membros do time a cooperar devido as grandes influências de interesses departamentais no desenvolvimento do projeto.

Nestas condições, pode-se classificar o PDP como sendo uma ordem lógica de execução onde cada representante do time alimenta o ciclo de desenvolvimento com informações pertinentes as necessidades do produto.

O conhecimento da tecnologia de PR por parte dos profissionais ocorre através de visitas técnicas/comerciais e a participação em feiras especializadas e congressos. O serviço de prototipagem é adquirido em sua maior parte de escritórios de serviço e em sua menor parte de institutos que desenvolvem pesquisas na área.

Os sistemas mais empregados são a Estereolitografia (SLA) e a Sinterização Seletiva por Laser (SLS). As características dos protótipos obtidos pelos dois sistemas são similares as necessidades técnicas dos produtos que estes representam, permitindo prever dentro dos limites do modelo, o comportamento do fenômeno ou sistema estudado e avaliar o funcionamento da peça por meio de medidas experimentais. Porém, existe uma diferenciação entre as análises e testes realizados por empresas que produzem produtos com fatores dimensionais e estruturais mais rigorosos e as que produzem produtos com requisitos menos rigorosos.

No caso de requisitos mais rigorosos a avaliação da qualidade do protótipo, englobando aspectos dimensionais, de resistência mecânica, acabamento, durabilidade e representatividade, são classificados como de qualidade média e que necessitam evolução para atendimento pleno das exigências. Para os casos de requisitos menos rigorosos a qualidade é considerada satisfatória, necessitando evoluções em menos aspectos. As evoluções requeridas para ambos são: maior precisão dimensional, maior resistência mecânica, maior diversidade de materiais e melhor acabamento superficial. Devido as necessidades de melhoria da tecnologia a representatividade dos protótipos foi classificada como média.

As análises por meio de protótipos são realizadas em dois estágios de amadurecimento do projeto. Quando realizadas em um baixo grau de amadurecimento, percebe-se que os problemas

detectados com os protótipos podiam ser identificados com o auxílio de sistemas CAD. Neste tipo de análise não extrai-se todo o potencial da utilização de protótipos, pois a correção de projeto ocorre em um estágio inicial e a prototipagem não se torna freqüente.

Quando os protótipos são obtidos em um nível médio do amadurecimento do projeto, estes permitem identificar fatores de projeto e processo que dificilmente seriam identificados em sistemas CAD e otimizam a solução técnica do sistema como um todo ou do componente isoladamente.

A tecnologia de PR foi adotada para reduzir custos e prazos de desenvolvimento por meio da diminuição de erros de projeto. A adoção desta tecnologia agregou valores ao PDP melhorando o tempo de introdução de novos produtos no mercado, aumentando a aprendizagem e conhecimento dos envolvidos e aumentando a confiança do time na certeza da escolha da melhor proposta.

A utilização da PR ocorre com maior freqüência nas etapas de Projeto Preliminar, Projeto Detalhado e Revisão e Testes, sendo opinião em comum que seu resultado é melhor nas fases de detalhamento do projeto e testes funcionais. Basicamente é utilizada na identificação de erros de projeto, na confirmação dos atendimentos aos requisitos de projeto e como apoio para a aplicação de ferramentas como FMEA, DFMA e FTA.

## 6. CONCLUSÃO

Os impactos da utilização de protótipos obtidos por sistemas de PR trazem benefícios a todos os envolvidos no PDP. Como as atividades que sofrem o incremento da utilização de protótipos estão alocadas como responsabilidade da equipe de projeto, estes aproveitam diretamente os benefícios da tecnologia, possibilitando um alto rendimento da atividade de projeto.

As atividades de projeto executadas no âmbito do desenvolvimento extrapolam este ambiente e passa a exercer influências em ambientes externos. Este fenômeno causa o surgimento de benefícios indiretos da adoção da tecnologia para os clientes e consequentemente para a área de Marketing.

Considerando o PDP com uma abrangência ampla, desde a identificação da oportunidade de mercado, seja ela latente ou explícita, até a obsolescência do produto, tanto os benefícios diretos como os indiretos apontam para dentro do PDP, aumentando a eficiência do ciclo. Neste caso a PR passa a ser intrínseca ao PDP, ou seja, a atividade de obter protótipos, analisá-los e explorá-los transformasse em atividades obrigatória do projeto. Dentro desta condicionante, a equipe de projetos tem seu comportamento modificado quando da utilização de protótipos. Se o comportamento da equipe se altera, todo o PDP sofre alterações para adequar-se a adoção desta nova ferramenta de auxílio ao desenvolvimento.

A abordagem teórica desenvolvida neste trabalho confirma as mudanças no PDP devido a adoção da tecnologia de PR. Esta mudança pode ser confirmada com os estudos de casos desenvolvidos.

## 7. REFERÊNCIAS

- Asimow, M., 1968, "Introdução ao Projeto: Fundamentos do Projeto de Engenharia", Editora Mestre Jou, São Paulo, Brasil, 171p.
- Back, N., 1976, "Introdução ao Projeto: Fundamentos do Projeto de Engenharia", Mestre Jou, 171p.
- Barkan, P. and Iansiti, M., 1993, "Prototyping: a Tool for Rapid Learning in Product Development", Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol.1, pp.125-134.
- Blanchard, B. S. and Fabrycky, W. J., 1990, "Systems Engineering and Analysis", Prentice Hall, New Jersey, USA, 721p.
- Clark, K. B. and Fujimoto, T., 1991, "Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry". Harvard Business School, Boston, USA, 409 p.
- Clausing, D., 1994, "Total Quality Development: a Step-by-Step Guide to World Class Concurrent Engineering", ASME Press, New York, USA, 506p.
- Ertas, A. and Jones, J. C., 1993, "The Engineering Design Process", Wiley Text Books, New York, USA 624p.

- International Organization for Standardization, EUA. 1995, "APQP, Advanced product quality planning", EUA, 101p.
- Kai, C. C., Fai, L. K. and Chu-Sing, L., 2003, "Rapid Prototyping: Principals and Applications". 2a. Edição, World Scientific Publishing, New York, USA, 448p.
- Kaminski, P. C. and Oliveira, J. H. S. A., 2000, "A Prototipagem Rápida Inserida nas Diferentes Fases de um Projeto como Instrumento de Inovação", Proceedings of Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), Caucáia, Ceará.
- Pahl, G. and Beitz, W., 1988, "Engineering Design: a Systematic Approach", Design Council, London, UK, 397p.
- Prasad, B., 1996, "Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization", PTR Prentice Hall, New Jersey, 528p.
- Pugh, S., 1996, "Creating Innovative Products Using Total Design", Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, USA, 527p.
- Suh, N. P., 1990, "The Principles of Design", Oxford University Press, New York, USA, 401p.
- Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. VDI-2221, 1993, "Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products", Düsseldorf, Germany, 44p.
- Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D., 1992, "A Máquina que Mudou o Mundo", Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil, 347p.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

## RAPID PROTOTYPING (RP) IN PROJECT METHODOLOGY OF WORLD CLASS COMPANIES

### Eng. Ms. Emerson Alexandre Pizzolito

School of Mechanical Engineering – State University of Campinas – UNICAMP  
 Mendeleye Street, 200 ZIP 13083-970 Cidade Universitária Zeferino Vaz  
 pizzolito@fem.unicamp.br

### Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

School of Mechanical Engineering – State University of Campinas – UNICAMP  
 Mendeleye Street, 200 ZIP 13083-970 Cidade Universitária Zeferino Vaz  
 dedini@fem.unicamp.br

**Abstract.** This work developed an analysis that allowed to evaluate the forms of use of the RP technology in the projects methodology of world class companies. For this purpose was necessary to study different projects methodologies and the RP applications in product development. An analytical study of the forms of RP use for each studied project methodology and the impact of this in the products development process was development through to give basement to the case studies in four companies of different sectors. The knowledge generated from the analyses was alligned with the practical experience of the professionals who work in products development process in world class companies. The results identified as the PR technology is used in the project methodology and delimited the ways and reasons of its use, locating of structured form, the moment where the RP technology must be used along of the product development process. The results of this work allow to conclude as the designers or project teams use the PR, in which phases of the project are applied prototypes and which the advantages of the use of these in the product development process.

**Keywords.** rapid prototyping, projects methodology , product development.