

O USO DE PROTÓTIPOS VIRTUAIS NA VALIDAÇÃO DE PROJETOS MECÂNICOS COMPLEXOS: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO³

Maurício Terreo

General Motors do Brasil
Engenharia de Produtos
Av. Goiás, 2769
CEP 09550-051 – São Caetano do Sul - SP
mauricio.terreo@gm.com

Marly Monteiro de Carvalho

Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Produção
Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa 3 nº 380
CEP 05508-900 - São Paulo - SP
marlymc@usp.br

Abstract: The use of virtual prototypes in new products development and validation needs that companies develop the following factors: use of adequate Computer-Aided Design (CAD) and Product Lifecycle Management (PLM) systems, besides Information Technology (IT) infrastructure; the existence of a new product development plan with process well defined and that include the virtual validation; and the adaptation of project team to virtual tools and the virtual world. The research developed indicates that these factors can influence in a positive or a negative way the result of the virtual product development in a company.

Key words: Product Development. Automotive Project. CAD

Resumo: A aplicação de protótipos virtuais no desenvolvimento e validação de novos produtos requer que as empresas desenvolvam os seguintes fatores: a utilização de recursos adequados de CAD (*Computer-Aided Design*) e de PLM (*Product Lifecycle Management*), além de infra-estrutura de Tecnologia da Informação (TI); a existência de um plano de desenvolvimento de novos produtos com processos bem definidos e que incluam a validação virtual; e a adaptação do time de projetos às ferramentas digitais e ao mundo virtual. O estudo desenvolvido indica que estes fatores podem influenciar positiva ou negativamente o desempenho do desenvolvimento virtual de produtos de uma empresa.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produtos. Projeto Automotivo. CAD.

³ Artigo extraído do Trabalho de Conclusão de Curso “O uso de protótipos virtuais na validação de projetos mecânicos complexos: um estudo de caso no setor automobilístico” de Maurício Terreo, apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva, sob a orientação da Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho.

INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento do projeto de um produto complexo tal como um novo modelo de veículo é necessário a fabricação de vários protótipos, os quais são construídos para validar determinadas etapas ou características do projeto. Ocorre que durante o tempo da construção dos protótipos físicos o projeto continua em desenvolvimento, conseqüentemente quando o protótipo fica pronto ele estará representando uma situação do projeto de algum tempo atrás. Na indústria automobilística este tempo é tipicamente de algumas semanas. Como conseqüência o protótipo pode apontar uma falha do projeto que já tenha sido solucionada ou pode não indicar uma falha que passou a existir no desenho do produto. Esta é uma situação que compromete a utilização do protótipo quando sua função principal for de integração, uma das quatro funções de um protótipo de acordo com Ulrich e Eppinger (2000).

Atualmente o projeto de produto em grandes empresas do setor automobilístico utiliza intensamente os recursos da Tecnologia da Informação (TI), o que consiste no primeiro passo para tornar possível a criação de Protótipos Virtuais (PVs). Estes protótipos podem substituir os protótipos físicos com ganho de tempo e custo, isto porque o Protótipo Virtual pode ser montado simultaneamente a conclusão dos modelos tridimensionais criados em um sistema CAD (*Computer Aided Design*). Estes modelos CAD 3D (tridimensional) servem como informação básica para a construção de vários tipos de peças. Verifica-se, porém, que os protótipos virtuais ainda não são usados como forma de validação de uma etapa do projeto na maioria das empresas. Como conseqüência permanece a necessidade da construção de protótipos físicos.

Se uma empresa que trabalha com projetos mecânicos complexos tiver segurança para validar seus projetos com protótipos virtuais, ela poderá atingir os seguintes benefícios, segundo Wöhlke e Schiller (2005):

- ◆ Economia do custo de produzir os protótipos reais.
- ◆ Redução do tempo de projeto.
- ◆ Detecção de falhas de projetos em estágios do desenvolvimento do produto anteriores ao possibilitado por protótipos reais, permitindo mais agilidade na solução dos problemas.

Além disto, o estágio atual de desenvolvimento dos sistemas CAD e da Tecnologia da Informação, aliado ao elevado grau de conhecimento sobre o comportamento de sistemas mecânicos, permite que sejam construídos protótipos virtuais de sistemas mecânicos complexos. Para este trabalho vamos definir o termo “sistema mecânico complexo” como um sistema composto de várias peças, com movimentos relativos entre algumas delas, com formas geométricas complexas e onde ocorrem vários fenômenos físicos que influenciam o funcionamento esperado do sistema.

No entanto, a substituição do protótipo físico pelo virtual envolve diversos fatores dentro de uma organização, que influenciam no grau de confiança que se pode ter em um protótipo virtual e, conseqüentemente na decisão de substituição do protótipo físico pelo protótipo virtual. Estes fatores envolvem não somente aspectos técnicos, mas também aspectos normativos e organizacionais.

OBJETIVO DO TRABALHO

Os objetivos da pesquisa aqui apresentada são:

- Identificar os fatores que influenciam no grau de confiabilidade de um Protótipo Virtual, em ambiente CAD, no desenvolvimento de produtos complexos.
- Identificar os fatores restritivos à substituição dos protótipos físicos pelos virtuais

ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Com base na literatura sobre o tema foram estabelecidos 3 pressupostos sobre o uso de PVs na validação de produtos complexos e questões de pesquisa para direcionar o estudo durante a construção do quadro teórico e no levantamento de informações na unidade de análise.

Os pressupostos levantados com as respectivas questões de pesquisa são:

Pressuposto 1 – “A utilização de softwares apropriados de CAD e de PLM, além de hardware com capacidade adequada, é um dos fatores que influenciam no grau de confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais”.

Questão 1: O produto da Unidade de Análise pode ser adequadamente representado por modelos CAD gerados pelo software utilizado na Unidade de Análise?

Questão 2: O desenvolvimento e a manutenção do produto da Unidade de Análise podem ser adequadamente controlados pelo software de PLM utilizado na Unidade de Análise?

Questão 3: O hardware usado pela Unidade de Análise tem capacidade para lidar com o volume de informações necessário para representar os produtos modelados em CAD e gerenciados pelo PLM?

Questão 4: Com a combinação dos recursos de CAD, PLM e hardware disponível na Unidade de Análise os usuários podem configurar e visualizar o protótipo virtual do produto que desejam?

Pressuposto 2 - "A existência de um plano de desenvolvimento de novos produtos com processos bem definidos, é outro fator que influencia no grau de confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais”.

Questão 5: Identificar se o processo de desenvolvimento de produtos utilizado na Unidade de Análise estabelece claramente o que deve ser criado de dados matemáticos em cada fase do desenvolvimento do produto.

Questão 6: Caso a resposta do item anterior seja positiva, avaliar se esta informação é bem disseminada a todos os membros da equipe de projetos.

Questão 7: Identificar como o protótipo virtual criado com as informações de cada fase do projeto é usado dentro da na Unidade de Análise.

Pressuposto 3 - "A adaptação do time de projetos as ferramentas digitais e ao mundo virtual, aliado ao alto nível de conhecimento do produto, é outro fator que influencia a confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais”.

Questão 8: Como foi feita a adaptação do time de projetos da Unidade de Análise a estas novas ferramentas digitais?

Questão 9: No caso de funcionários novos, como é feita a integração deles a todos estes recursos de TI na Unidade de Análise?

Questão 10: Todo o grupo de projetos da Unidade de Análise tem facilidade para trabalhar com protótipos virtuais?

Questão 11: Qual é o nível de conhecimento do produto, prático e teórico, necessário para se trabalhar com protótipos virtuais?

Questão 12: Qual é o resultado do uso de protótipos virtuais na Unidade de Análise?

OBJETIVOS E FUNÇÕES DOS PROTÓTIPOS

Os trabalhos de Ullman; Wood e Craig (1990), Suwa e Tversky (1997) e Cross (1999) descrevem como os desenhos técnicos representam uma linguagem de projetos, o modo como expressam o pensamento dos projetistas e registram a intenção do projeto de forma a permitir a comunicação para outros projetistas ou técnicos que conheçam esta linguagem. A construção de protótipos 3D pode também ser considerada como um tipo de linguagem de projeto. Entretanto, a criação de protótipos requer um conjunto de habilidades e tempo, além de necessitarem de uma série de recursos. Ullman (2002) coloca que modelos matemáticos feitos em CAD podem ser considerados como protótipos virtuais e em muitos casos substituírem os protótipos físicos. Os protótipos virtuais podem ser um meio de juntar diretamente os desenhos técnicos e os protótipos em uma só entidade, uma vez que ambos podem ser tidos como linguagens de projeto.

Os protótipos podem ser classificados em termos do objetivo para o qual são construídos, ou pelo tipo de questões sobre o desenho do produto que se espera responder. Ullman (2002) descreveu 4 tipos de protótipos, com base em sua função ou estágio de desenvolvimento do produto, quais sejam: ***prova de conceito, prova do produto, prova do processo e prova de produção.***

O tipo de protótipo denominado ***prova de conceito*** foca no desenvolvimento das funções de um produto, objetivando um melhor entendimento de conceitos aplicados no projeto de cada função do produto. É usado para a comparação com os requisitos dos clientes ou com as especificações de engenharia, sendo aplicado principalmente nas fases iniciais do projeto como uma ferramenta de aprendizagem. Para este tipo de protótipo em geral a exata geometria, os materiais e o processo de manufatura não são importantes. Na indústria automobilística, a prova de conceito apresenta dois usos distintos, na área de estilo e na análise de viabilidade funcional do produto, que são aplicados simultaneamente na fase inicial do processo de desenvolvimento de novos produtos. Na área de estilo, este protótipo representa a aparência do veículo, permitindo verificar se o conceito de design atingiu as expectativas para este produto. Na prova de conceito o principal é representar as formas visíveis do produto, assim como as sensações de texturas, cores e formas. No outro uso, procura-se buscar as informações sobre a viabilidade funcional do produto, feitas no início do processo de desenvolvimento de um novo produto, nas quais se enquadram uma parte das análises de CAE.

O protótipo ***prova do produto*** representa as formas físicas do produto, as relações mecânicas entre seus componentes e a viabilidade de manufatura do produto. Neste tipo de protótipo a exata forma geométrica, os materiais e o processo de manufatura são importantes como funções do protótipo. Neste caso se enquadram os protótipos virtuais feitos com objetivo de verificações de folgas, interferências, acesso de ferramentas, etc. Para uma boa representatividade do produto estes protótipos devem apresentar toda a variação de possibilidades de montagens para o produto em estudo. Este protótipo também é a informação básica para as análises de CAE mais detalhadas e que permitem um refinamento do dimensionamento do produto.

Prova do processo é o tipo de protótipo que se destina a mostrar que os métodos de produção e os materiais escolhidos podem atender as especificações do produto e também para verificar a geometria do produto. Neste caso é necessária uma grande interação entre as áreas de engenharia de manufatura e de produto. Estes protótipos devem ser feitos exatamente com os mesmos materiais que o produto será produzido e os mesmos processos usados para o produto final. São amostras para testes funcionais do produto.

Finalmente, o protótipo ***prova de produção*** já é uma amostra de pré-produção, capaz de mostrar se o processo de manufatura como um todo é eficaz. Este seria representado pelo protótipo virtual, montado com todos os sistemas e componentes, na exata versão em que foram liberados para a fabricação destes componentes. A sua principal função passa a ser de permitir uma revisão final do projeto. Se for encontrada alguma falha nesta revisão, as ações corretivas devem ser rápidas, uma vez que os itens já em processo de fabricação.

Segundo Ulrich e Eppinger (2000) no desenvolvimento de produtos os protótipos são usados para 4 propósitos: ***aprendizagem, comunicação, integração e marcos temporais (milestone).***

Protótipos são freqüentemente utilizados para ***aprendizagem*** ao longo do processo de desenvolvimento, ajudando a responder perguntas do tipo: "Isto vai funcionar?" ou "Quão bem isto vai atender as necessidades dos clientes?". Quando os protótipos são usados para responder a estas questões eles funcionam como ferramentas de aprendizagem. Na indústria automobilística um uso típico desta forma de protótipo são os protótipos de posicionamento do banco de motorista, onde é testado se a posição escolhida realmente atende as várias necessidades do motorista relacionadas com o a posição do banco, como por exemplo, visibilidade dos instrumentos e acesso de entrada e saída do veículo.

Além disto, os protótipos enriquecem e facilitam a ***comunicação*** com os dirigentes de empresas, vendedores, pessoas do time de desenvolvimento de produtos, parceiros, clientes e investidores. Isto é muito importante quando se deseja comunicar percepções tais como: a sensação tátil das texturas e o conjunto visual das formas e das cores. Uma representação tridimensional do produto é muito mais fácil de ser entendida do que figuras e ilustrações bidimensionais ou uma descrição verbal do produto. Um uso típico deste tipo de protótipo na indústria automobilística é o modelo de argila (clay) usado para representar um carro em tamanho real para a aprovação do estilo do veículo a ser desenvolvido.

Protótipos são ainda usados para garantir a ***integração***, ou seja, se os componentes e os subsistemas do produto trabalham em conjunto da forma esperada. Protótipos físicos completos do produto constituem a mais eficiente ferramenta de integração no desenvolvimento de produtos por que eles requerem a montagem e a conexão física de todas as partes e subconjuntos que fazem o produto. A elaboração de protótipos físicos

exige uma coordenação entre os diversos membros da equipe de desenvolvimento do produto. Se a combinação de qualquer dos componentes do conjunto interfere no funcionamento geral do produto o problema deverá ficar evidente.

Finalmente, os protótipos podem ser usados como *milestones*, para demonstrar que o produto atingiu um determinado nível de desempenho em uma determinada data do projeto. Eles podem ser usados como metas tangíveis, demonstram o progresso atingido e servem para forçar o cumprimento do planejamento.

Quatro princípios podem ser aplicados na escolha de qual tipo de protótipo deve ser construído para cada etapa do desenvolvimento de produtos, conforme Ulrich e Eppinger (2000).

O primeiro princípio é *“Protótipos analíticos são mais flexíveis do que protótipos reais”*. Para os autores, os protótipos analíticos são representações matemáticas aproximadas do produto, eles contêm parâmetros que podem ser alterados de forma a representar alternativas de projeto. Em geral, alterar os parâmetros de um protótipo analítico é muito mais fácil do que mudar os parâmetros de protótipo físico. Assim, é aconselhável que o protótipo analítico seja sempre feito antes de se construir um protótipo físico. Como exemplo considere uma peça projetada em chapa de aço de espessura 1,0 mm, se a análise estrutural desta peça mostrar que ela não resiste ao esforço para a qual foi desenhada, no protótipo analítico é possível aumentar a espessura da peça ou acrescentar nervuras de modo a melhorar a resistência da peça de forma muito rápida, mas no caso de uma peça real seria necessário construir outra amostra desta peça para se examinar como ela se comportaria com outra espessura ou com a alteração de geometria proposta.

O segundo princípio advogado pelos autores é *“Protótipos físicos são necessários para detectar fenômenos não previstos”*. Os protótipos físicos podem mostrar comportamentos não previstos para o sistema, uma vez que nem todos os efeitos físicos possíveis são modelados. Adicionalmente, no protótipo físico todas as variações dimensionais e de processo estão presentes e de forma aleatória. A Figura 3.1 mostra um exemplo de protótipo físico usado na indústria automobilística.

O terceiro princípio é *“Protótipos podem reduzir o risco de iterações custosas”*. Assim a construção e testes em um protótipo podem evitar que atividades subsequentes prossigam sem a certeza de que até um dado ponto o desenvolvimento do produto está correto. Em algumas situações, o resultado de um teste pode determinar se algumas tarefas do desenvolvimento de produtos devem ser repetidas.

O quarto e último princípio apresentado pelos autores é *“O protótipo pode acelerar outros passos no desenvolvimento”*. Existem casos em que um protótipo pode possibilitar que a fase subsequente seja completada em um tempo menor. Por exemplo, a existência de um protótipo físico de uma peça pode permitir que o projeto da ferramenta seja feito em menor tempo, por facilitar o entendimento do modelo.

OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Ulrich e Eppinger (2000) definem um produto como algo que pode ser vendido por uma empresa aos seus clientes. Desta forma o produto de uma empresa pode ser algo material, mas também pode ser um serviço. Os mesmos autores definem desenvolvimento de produtos como “um conjunto de atividades que tem início com a percepção de uma oportunidade de mercado e termina na produção, venda e entrega de um produto”. Neste trabalho vamos adotar a definição de produto dada no GLOSSÁRIO DO PMBOK (PMI, 2005): “Produto é um objeto produzido, quantificável e que pode ser um item final ou um item componente”. Produtos também são chamados de materiais ou bens.

Clausing (1994) recomenda a utilização de um processo de desenvolvimento de produto organizado e estruturado, no qual seja oferecido um guia passo a passo para a engenharia simultânea, assim como as ferramentas que deverão ser utilizadas em cada fase do processo de desenvolvimento de produto.

Neste ponto vale ressaltar a diferença entre processo e projeto. O GLOSSÁRIO DO PMBOK (PMI, 2005) define um processo como “Um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas realizadas para obter um conjunto especificado de produtos, resultados ou serviços”, podendo ainda ser enfatizado que os processos terem como características o fato de serem contínuos e repetitivos e de terem objetivos bem definidos. Na mesma referência os projetos são definidos como “Um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”, podendo ser enfatizado que os projetos são temporários e únicos e possuem objetivos únicos.

Pode-se definir o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) como um processo que conduz o desenvolvimento de um produto da fase de planejamento até o início de produção.

Os protótipos virtuais possuem várias características que atendem as necessidades das abordagens modernas de desenvolvimento de produtos como, por exemplo, a simultaneidade de informação. O PV pode estar disponível para usuários de vários departamentos de uma empresa ao mesmo tempo, sem que haja necessidade de deslocamento físico de pessoas, mesmo que os departamentos estejam em países diferentes. É o caso de um produto que é desenvolvido para ser produzido em mais de uma planta, o time de projetos pode usar o PV como instrumento de comunicação com grupos de manufatura de diversas localizações.

QUADRO TEÓRICO

Durante a construção do quadro teórico foram estudados 40 artigos de duas fontes, o periódico *Computer Aided Design* e o *SAE Technical Series*. Foram selecionados respectivamente 28 e 12 artigos publicados entre 1999 e 2006.

Na análise destes artigos foram encontradas evidências que fornecem suporte aos pressupostos da pesquisa.

Além disto, no estudo destes trabalhos puderam ser identificadas as seguintes características e conceitos que são desejáveis de se encontrar em um sistema que suporte o uso de PV no desenvolvimento e na validação de produtos.

- Deve permitir lidar com as variações de um produto de forma que o usuário possa escolher entre as opções possíveis para o produto qual a configuração que se deseja visualizar. Fuxin (2005)
- Deve permitir que seja feita uma liberação oficial do modelo 3D do produto, o qual deve ser considerado como principal documento do produto. Soper (2003)
- Deve suportar um processo de manutenção do modelo 3D do produto que garanta que este modelo 3D esteja sempre atualizado. Soper (2003)
- Deve permitir que os desenhos de estilo feitos de fase de conceito do produto possam ser comparados com os modelos gerados pelos engenheiros. Boundy *et al.* (2004)
- Deve dar suporte a um processo que detecte eventuais falhas de projeto, usando os dados do PV, antes da construção de qualquer protótipo físico. Soper (2003)
- Deve permitir visualizar o produto de forma mais abstrata, permitindo que sejam feitas sobreposições de sistemas de um mesmo produto e comparações com outros produtos. Fuxin (2005)
- Deve permitir a integração da informação sobre o produto da empresa através de todos os estágios do ciclo de vida do produto, assim como a integração das funções do negócio que suportam estes estágios, sendo possível configurar a informação de uma determinada fase do desenvolvimento de um projeto. Soper (2003).
- Deve ser simples para os usuários criarem conjuntos de arquivos, que são combinados para representar sistemas e estes montados de forma a representar veículos inteiros, permitindo que diversos tipos de análises e simulações sejam feitos. Zwaanenburg (2002) e Clemente *et al.* (2003)
- Deve permitir o controle ao acesso aos dados de CAD, de forma a manter a segurança dos dados confidenciais da empresa. Cera *et al.* (2004)

O ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso utilizou dois tipos de evidências: documentos e entrevistas. Foram reunidos e analisados documentos da unidade de análise, tais como relatórios, normas e procedimentos. Já a principal fonte primária de informações foi o conjunto de entrevistas, as quais buscaram extrair de cada entrevistado a sua percepção sobre o quanto são importantes às relações entre os protótipos virtuais e os três pressupostos desta pesquisa.

O estudo na unidade de análise foi conduzido por meio de uma série de entrevistas abertas, do tipo focal, e aplicação de um questionário fechado no formato de levantamento. Para participar das entrevistas

foram escolhidos profissionais de destacada atuação em suas áreas de trabalho e que de alguma forma estejam envolvidos com o desenvolvimento de novos produtos e com processos virtuais de validação do produto. Para responder aos questionários foram convidados profissionais que usam a ferramenta de CAD durante o seu trabalho rotineiro.

A entrevista do tipo levantamento foi realizada com um instrumento com questões predominantemente fechadas e foi aplicado a uma amostra aleatória de 42 colaboradores da unidade de análise.

A Unidade de Análise é a engenharia de produtos da filial brasileira de uma empresa multinacional do ramo automotivo com sede em Detroit, Michigan (US) e que possui negócios em diversos países. Esta empresa é líder mundial na produção de veículos, tendo produzido 9,2 milhões de unidades em 2005, correspondendo a uma participação de 13,5% do mercado mundial. Na Unidade Brasileira foram produzidas 463 mil unidades no ano de 2006, incluindo veículos destinados à exportação. No mercado interno ela terminou 2006 com uma participação de 22,4% (ANFAVEA, 2006). Globalmente ela produz veículos comercializados com 12 marcas diferentes.

Esta empresa possui cinco “Centros Globais” de engenharia de produto. Em 2005 o Brasil foi nomeado um deles, ao lado de EUA, Alemanha, Austrália e Coréia do Sul. Por “Centros Globais” entendem-se centros de engenharia com capacidade de desenvolver veículos para o mercado de qualquer um dos países onde a empresa possui plantas fabris.

Embora há algum tempo a unidade de análise desenvolva projetos inteiramente no Brasil, segundo o diretor da engenharia do produto no Brasil, com a nomeação da unidade de análise como Centro Global de Engenharia “essa capacidade foi oficialmente reconhecida”, ele destaca ainda que “é recente essa iniciativa da empresa de nomear centros mundiais com esse formato”.

Com base na análise de documentos corporativos e das entrevistas realizadas, agregando a isto dados secundários, foi possível traçar o perfil da unidade de análise apresentado a seguir.

Como primeiro passo para analisar os pressupostos na Unidade de Análise, foi aplicado um questionário em um grupo de 42 engenheiros e projetistas da engenharia de produtos, escolhidos aleatoriamente. Como requisito os respondentes devem ser criadores dos arquivos CAD que contém os modelos 3D, os quais são em alguma fase do desenvolvimento de produtos adicionados a um PV utilizado na empresa. Outro requisito é que eles dediquem no mínimo 50% do seu tempo de trabalho diário a esta atividade. A amostra dos usuários corresponde a 20% dos usuários ligados ao desenvolvimento de produtos que atendem a condição acima.

As respostas indicam que a Unidade de Análise vem aplicando os PVs no seu processo de desenvolvimento de produtos de forma sistemática. Os recursos de infra-estrutura de TI, softwares de CAD, PLM e processos tem possibilitado a equipe de projetos usar os PVs como ferramenta usual de trabalho. O time de projetos demonstra uma boa adaptação a nova forma de trabalho possibilitada pelas ferramentas virtuais. Na percepção deste grupo o uso de PVs no desenvolvimento e na validação de produtos tem contribuído para a redução do tempo de projeto, do custo de desenvolvimento e ainda tem facilitado o trabalho de desenvolvimento de produtos.

Nas entrevistas com quatro especialistas em desenvolvimento de produtos da Unidade de Análise foi seguido um roteiro básico de perguntas. Em adição, foi dada uma oportunidade para que cada entrevistado pudesse acrescentar informações sobre os pontos nos quais possui maior domínio, desde que relacionadas com o uso dos PVs na validação de produtos. Todos os entrevistados têm trabalhado diretamente no uso e aprimoramento do processo de desenvolvimento virtual de veículos, em especial no que se refere ao uso de CAD, protótipos virtuais e validação virtual do produto.

Como resultados, nas entrevistas foram obtidos várias informações que contribuem na confirmação de que os pressupostos da pesquisa são importantes para o uso de protótipos virtuais, em especial a integração destes com o processo de desenvolvimento de produtos da empresa. Determinando que o PV é a forma oficial de validação de várias características do projeto.

Um especialista da Unidade de Análise forneceu a seguinte descrição da forma como aplicam o PV: “Temos em nosso sistema uma estrutura onde ficam todos os arquivos de uma dada família de veículos, organizados de forma padronizada, o que permite a configuração de um determinado modelo desta dada família de veículos. Quando queremos fazer uma análise virtual o primeiro passo é configurar um veículo específico onde se quer realizar a análise. O segundo passo consiste em visualizar a parte desejada deste veículo, pode ser no CAD ou no software de visualização. O terceiro passo é executar a análise, que pode ser, por exemplo, a verificação da existência de um espaço livre mínimo entre um conjunto de peças e o restante

do veículo. O quarto passo consiste em registrar a análise ou reportar algum problema que eventualmente tenha sido encontrado nesta análise. No caso de ter sido encontrado um problema o passo seguinte é acompanhar o trabalho de solução do problema e repetir o processo com a solução dada. Estes passos devem ser repetidos a cada *gate* virtual do projeto e sempre que se sentir a necessidade de verificar um ponto específico do projeto”.

As observações de campo confirmam as principais preocupações dos autores que tratam do assunto PVs

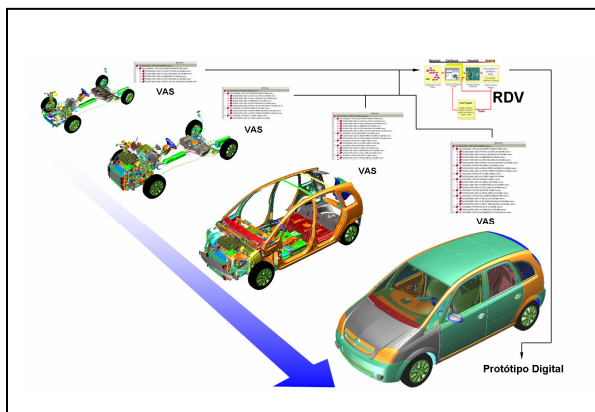


Figura 1 – Diagrama usado na Unidade de Análise para exemplificar o desenvolvimento do protótipo virtual durante o desenvolvimento do produto.

levantadas no estudo da literatura e na construção do quadro teórico.

Um destaque deve ser dado para o fato de a Unidade de Análise estar utilizando os PVs em seu PDP de forma oficial e sistemática, como ilustrado na figura 1.

Outro fato que ficou evidente é que a fase de adaptação das pessoas as ferramentas digitais já está bem avançada.

Das observações feitas na Unidade de Análise, podem ser destacadas as seguintes características e conceitos que são desejáveis de se encontrar em um sistema que suporte o uso de PV no desenvolvimento e na validação de produtos, em adição às que foram citadas no final do item Quadro Teórico deste trabalho:

- Deve manter o histórico de todos os dados que foram adicionado ou modificado ao longo do tempo, mantendo desta forma a rastreabilidade das informações sobre o produto.
- Deve possuir ferramentas que ajudem os usuários em suas tarefas diárias.
- Deve ser simples para ser mantido sempre atualizado, e ter controles para prevenir que alguma falha humana comprometa o conjunto de dados.

CONCLUSÕES

Todas as evidências obtidas tanto no levantamento da literatura como na pesquisa de campo confirmam o **pressuposto 1**, além do que, mostram que este é o mais importante, pois se estes recursos não estiverem presentes o PV fica praticamente inviabilizado. Para dar uma maior abrangência ele pode ser rescrito da seguinte forma: **“A utilização de softwares apropriados de CAD e de PLM, além de infraestrutura de TI com capacidade adequada, é um dos fatores que influenciam no grau de confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais”**.

O pressuposto 2 também é apoiado pelas evidencias encontradas, e embora presente na literatura investigada, foi mais contundente nas entrevistas realizadas na unidade de análise. Face às evidências obtidas,

a redação mais adequada para este pressuposto, acrescentada que os processos devem ser bem definidos e incluir a validação virtual do produto como um conjunto de atividades obrigatórias, de forma similar ao que foi encontrado na Unidade de Análise. Assim ele poderia ser escrito da seguinte forma: **"A existência de um plano de desenvolvimento de novos produtos com processos bem definidos e que incluam a validação virtual do produto, é outro fator que influencia no grau de confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais"**.

Com relação ao **pressuposto 3** os dados obtidos indicam que é importante ter um time de projetos adaptado às ferramentas digitais que dão suporte aos PVs. No entanto, a fase de adaptação só é importante quando se está levando um time ainda não adaptado ao processo novo de trabalho. Pessoas novas no grupo que já tragam o conhecimento destas técnicas podem dispensar a fase de adaptação. Nos dados coletados na pesquisa de campo foi observado um conflito de opiniões no ponto referente ao conhecimento do produto necessário para se trabalhar com PVs. O grupo que respondeu o questionário fechado considerou que para se trabalhar com PVs é necessário ter mais conhecimento sobre o produto do que para se trabalhar na maneira convencional, com protótipos físicos. Já o grupo de especialistas entrevistados considera em sua maioria que é necessário menor conhecimento específico sobre o produto, justificando que a informação está acessível de forma muito mais fácil e rápida do que antigamente. Incorporando estas considerações, o pressuposto 3 pode ser reescrito da seguinte forma: **"Um time de projetos adaptado às ferramentas digitais usadas no desenvolvimento de produtos, aliado a um bom nível de conhecimento do produto, é outro fator que influencia a confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais"**.

Considera-se que os pressupostos da pesquisa foram verificados e mostraram-se pertinentes, constituindo-se as bases para as empresas que desejam trabalhar com PVs no seu processo de desenvolvimento e validação de produtos.

Vale ainda destacar que os dados obtidos na Unidade de Análise mostram a pertinência dos pressupostos para a utilização dos Protótipos Virtuais na validação dos produtos no ambiente organizacional. Além disso, estes dados mostram que ela vem conseguindo utilizar os PVs em seu processo de desenvolvimento de novos produtos de forma sistemática. Um ponto importante é que seus especialistas reconhecem quais são os pontos nos quais o processo para utilização dos PVs no desenvolvimento de produtos deve ser melhorado e estão tomando ações neste sentido.

Os resultados obtidos na Unidade de Análise com a utilização dos PVs foram reportados como sendo bastante positivos. O fato de que muitos de engenheiros e projetistas estarem passando por um processo de adaptação a esta nova técnica abre um horizonte bem promissor, pois à medida que mais profissionais estiverem totalmente aptos a trabalhar com os protótipos virtuais e também tiverem incorporado esta nova realidade à cultura de desenvolvimento de produtos, a tendência é de que os resultados se tornem cada vez melhores.

Destaca-se que o campo realizado na unidade de análise no Brasil, apresentou resultados próximos aos relatados nos artigos mais recentes da literatura internacional, demonstrando que a unidade de análise trabalha próxima da fronteira do estado da arte deste tema, levantada no quadro teórico da dissertação de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA. **Estatísticas 2006**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>> Acesso em: 24 jan. 2007.

BOUNDY, T. M. et al. - **A Design Tool for Producing 3D Solid Models from Sketches** - SAE Technical Paper Series n. 2004-01-0482, 2004 SAE World Congress Detroit, Michigan, March 8-11, 2004.

CERA, C. D. et al - **Role-based viewing envelopes for information protection in collaborative modeling** - Computer-Aided Design 36 (2004) 873–886.

CLAUSING, D. **Total quality development: a step-by-step guide to world class concurrent engineering**. New York: ASME Press, 1994. 506p.

CLEMENTE, R. C. et al.- **The Evolution of the Product Development Process by the Strategic Contribution of the Information Technology in an Automaker Company** - SAE Technical Paper Series n. 2003-01-3722, 12º Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade, São Paulo, Brasil, 18 a 20 de novembro de 2003.

CROSS, N. **Natural intelligence in design**. Design Studies 20, p. 25-39, 1999.

FUXIN, F. - **Configurable product views based on geometry user requirements** - Computer-Aided Design 37 (2005) 957–966.

SOPER, D. J. - **Searching for World Class PLM: Results of a Virtual Product Innovation Global Benchmark** - SAE Technical Paper Series n. 2003-01-1301, 2003 SAE World Congress Detroit, Michigan, March 3-6, 2003.

PMI. **Glossário Oficial do PMBOK**. 3 ed. PMI, 2005 Disponível em <<http://www.pmtch.com.br/downloads/GlossarioPMI.pdf>> Acesso em : 28 jan. 2007.

SUWA, M.; TVERSKY, B. What do architects and students perceive in their design sketches: a protocol analysis. **Design Studies** ,v.18, n.4, p. 385-403, 1997.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development** . 2 ed. McGraw-Hill, 2000 .

ULLMAN, D.G.; WOOD, S.; CRAIG, D. The importance of drawing in the mechanical design process. **Computers & Graphics**, v. 2, n. 2, p. 263-274, 1990.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. 3 ed. New York McGraw-Hill Professional, 2002. 432 p. (McGraw Hill Series in Mechanical Engineering)

ZWAANENBURG, K. - **Integration of Physical and Virtual Prototypes** - SAE Technical Paper Series n. 2002-01-1290, SAE 2002 World Congress Detroit, Michigan, March 4-7, 2002.

WÖHLKE, G.; SCHILLER, E. Digital Planning Validation in automotive industry. **Computers in Industry**, v. 56, 2005. 393-405.