

MAURÍCIO TERREO

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

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Automotiva.

São Paulo
2007

OK
/

MAURÍCIO TERREO

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

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Automotiva.

Área de concentração:
Engenharia Automotiva

Orientadora: Prof^a. Livre Docente Marly
Monteiro de Carvalho

São Paulo
2007

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha Mariana
e a minha esposa Gláucia

AGRADECIMENTOS

A professora Marly Monteiro de Carvalho, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos amigos que ajudaram na pesquisa e contribuíram com o seu conhecimento para a execução deste trabalho.

Só sabemos com exatidão quando sabemos
pouco; à medida que vamos adquirindo
conhecimentos, instala-se a dúvida
(Johann Wolfgang von Goethe)

RESUMO

O objetivo desta dissertação é investigar os fatores que influenciam o uso de protótipos virtuais na validação de produtos complexos. Adicionalmente, se pretende identificar quais são os fatores inibidores da substituição de um Protótipo Físico (PF) por um Protótipo Virtual (PV).

Com base no levantamento bibliográfico identificaram-se os seguintes fatores relevantes para a análise: a utilização de *softwares* apropriados de CAD e de PLM, além de *hardware* com capacidade adequada; a existência de um plano de desenvolvimento de novos produtos com processos bem definidos; e a adaptação do time de projetos às ferramentas digitais e ao mundo virtual.

A abordagem metodológica adotada foi a de estudo de caso, cuja unidade de análise correspondeu à área de engenharia do produto de uma empresa do setor automotivo de grande porte. Os questionários foram distribuídos aos colaboradores envolvidos na elaboração de arquivos CAD. Foram obtidos 42 questionários válidos, utilizando um instrumento de pesquisa com questões fechadas, o que permitiu um panorama da percepção da unidade de análise quanto ao uso dos Protótipos Virtuais. Foram feitas também 4 entrevistas com especialistas e responsáveis da área de engenharia do produto.

Como conclusão constatou-se a importância dos fatores apresentados anteriormente para a confiabilidade dos protótipos virtuais, pois eles podem influenciar de forma positiva ou negativa o uso do PV em uma empresa do ramo automotivo.

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

ABSTRACT

The goal of this dissertation is to investigate the factors that affect the use of Virtual Prototype in validation of complex products. In addition, it aims to identify what are the factors affecting inhibition of substitution of Physical Prototype (PF) for Virtual Prototype.

Based on bibliographic research there was identified the following factors of relevance for the analysis: the utilization of appropriated CAD and PLM *software*, besides a well dimensioned *hardware*; the existence of a new product development plan with well defined process; and the adaptation of the project team to the digital tools and to the virtual world.

The methodological approach used was case study, whose analysis unit was the product engineering department of a large automotive company. The questionnaires were distributed to employees working on CAD files. There was get 42 valid questionnaires. Using a research instrument with closed questions, it allowed a wide view of the perception of the Analysis Unit with respect of the use of Virtual Prototypes. There was also made 4 interviews with specialists and responsible for product engineering area.

As a conclusion it was verified the importance of previously showed factors to the reliability of virtual prototypes, once they can have positive or negative influence in the use of PV in an automotive company.

Key words: Product Development. Automotive Project. CAD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Exemplo de protótipo físico.....	34
Figura 3.2 - Desenho de um veículo na década de 30.....	38
Figura 3.3 - Protótipo produzido no final dos anos 1920s.....	39
Figura 3.4 - Ferramentas digitais na definição do estilo.....	40
Figura 3.5 - Modelo em argila a partir das informações de modelo digital.....	41
Figura 3.6 - Conceito em 3D do painel e bancos do Chevrolet SSR.....	42
Figura 3.7 - Esquema da evolução dos protótipos virtuais.....	45
Figura 3.8 – O ciclo de desenvolvimento de produtos.....	48
Figura 3.9 – Exemplo de sobreposição de atividade nas fases do processo de desenvolvimento de produtos.....	51
Figura 3.10 - Milestones e convenções adotadas na Indústria Automobilística.....	52
Figura 3.11 - Exemplo de projeto denominado 33/20 na Indústria Automobilística.....	53
Figura 3.12 - Tipos de projetos de desenvolvimento de produtos.....	55
Figura 4.1 - Distribuição dos trechos com evidências encontradas pelos pressupostos para as duas fontes de referências.....	58
Figura 4.2 - Distribuição das evidências para cada pergunta de pesquisa para as duas fontes de referências.....	59
Figura 4.3 - Representação esquemática do primeiro item básico para se trabalhar com PVs.....	67
Figura 4.4 - Adaptação para a indústria automobilística da representação esquemática apresentada por Soper (2003) sobre o Produto Virtual.....	69
Figura 4.5 – Adaptação para a indústria automobilística da representação esquemática apresentada por Fuxin (2005) para a estrutura de organização de arquivos.....	71
Figura 4.6 - Representação esquemática do segundo item básico para se trabalhar com PVs.....	72
Figura 5.1 – Estrutura organizacional simplificada da engenharia de produtos da Unidade de Análise.....	87

Figura 5.2 - Fases do DNP na Unidade de Análise.....	88
Figura 5.3 - Caracterização da amostra.....	92
Figura 5.4 - Resultados da pergunta 1a do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	94
Figura 5.5 - Resultados da pergunta 1b do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	95
Figura 5.6 - Resultados da pergunta 2 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	96
Figura 5.7 - Resultados da pergunta 3 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	97
Figura 5.8 - Resultados da pergunta 4 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	98
Figura 5.9 - Resultados da pergunta 5 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	100
Figura 5.10 - Resultados da pergunta 6 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	101
Figura 5.11 - Resultados da pergunta 7 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	103
Figura 5.12 - Resultados da pergunta 8a do questionário aplicado na Unidade de Análise	104
Figura 5.13 - Resultados da pergunta 8b do questionário aplicado na Unidade de Análise	105
Figura 5.14 - Resultados da pergunta 9 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	106
Figura 5.15 - Resultados da pergunta 10 do questionário aplicado na Unidade de Análise.....	108
Figura 5.16 - Análise comparativa dos resultados.....	109
Figura 5.17 - Exemplo de peça rígida modelada em sólido 3D no CAD na Unidade de Análise.....	111
Figura 5.18 - Exemplo de arquivo com modelo CAD de uma determinada peça, com controle das diversas revisões criadas ao longo da vida do projeto.....	114

Figura 5.19 - Diagrama usado na Unidade de Análise para exemplificar o desenvolvimento do protótipo virtual durante o desenvolvimento do produto.....	117
Figura 5.20 - Evidência da sistematização do uso de protótipos virtuais durante o desenvolvimento de um produto na Unidade de Análise.....	119
Figura 5.21 - Exemplo de PV de um produto da Unidade de Análise usado nas reuniões de revisão de projeto.....	121
Figura 5.22 - Exemplo de documento usado na Unidade de Análise para comunicar falhas de projeto ou oportunidades de melhoria encontradas durante a análise de um protótipo virtual	128

LISTA DA TABELAS

Tabela 2.1 – Relação do escopo de cada parte da entrevista às fontes primárias de informação.....	28
Tabela 4.1 – Síntese das relações encontradas nos artigos analisados com as questões da pesquisa para os artigos da SAE	60
Tabela 4.2 - Síntese das relações encontradas nos artigos analisados com as questões da pesquisa para os artigos da revista Computer Aided Design	61
Tabela 5.1 – Perfil dos Entrevistados.....	110
Tabela 5.2 - Síntese dos Resultados dados Qualitativos.....	129
Tabela 6.1 - Síntese dos resultados cruzados dos dados qualitativos.....	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVDP	<i>Advanced Vehicle Development Process</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAX	<i>Computer Aided (Designação Genérica)</i>
CBT	<i>Computer Based Training</i>
DMU	<i>Digital Mock-Up</i>
DNP	Desenvolvimento de Novos Produtos
DSI	<i>Document of Strategic Intent</i>
GM	General Motors
GVDP	<i>Global Vehicle Development Process</i>
PAS	<i>Product Assembly Structure</i>
PDM	<i>Product Data Management</i>
PDMS	<i>Product Data Management System</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PF	Protótipo Físico
PLM	<i>Product Life Management</i>
PV	Protótipo Virtual
SORP	<i>Start of Regular Production</i>
TI	Tecnologia da Informação
VDR	<i>Verified Data Release</i>
VFB	<i>Virtual Functional Build</i>
VI	<i>Virtual Integration</i>
VPI	<i>Vehicle Program Initiation</i>
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	18
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	20
2.1 SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA	20
2.2 O MÉTODO DO ESTUDO DE CASO.....	21
2.3 PLANO DA PESQUISA.....	24
2.3.1 As questões do estudo.....	24
2.3.2 Quadro teórico dos pressupostos do plano de pesquisa.....	25
2.3.3 Unidade de Análise.....	26
2.3.4 Lógica que une os dados aos pressupostos.....	28
3 OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS.....	31
3.1 OBJETIVOS E FUNÇÕES DOS PROTÓTIPOS EM GERAL.....	31
3.1.1 Classificação dos protótipos.....	31
3.1.2 Propósito dos protótipos.....	33
3.1.3 Escolha do tipo de protótipo.....	37
3.2 OS PROTÓTIPOS E A EVOLUÇÃO DO MODO DE TRABALHAR.....	38
3.3 EVOLUÇÃO DOS PROTÓTIPOS VIRTUAIS.....	44
3.4 OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS	46
3.4.1 Conceito do desenvolvimento de novos produtos.....	46
3.4.2 Tipos de Projetos de Novos Produtos	54
4 CONSTRUÇÃO DO QUADRO TEORICO.....	57
4.1 ANÁLISE GERAL DOS PROCEDIMENTOS DE BUSCA NA LITERATURA ...	57

4.2	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 1.....	63
4.3	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 2.....	67
4.4	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 3.....	73
4.5	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 12.....	75
4.6	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 4.....	77
4.7	LITERATURA RELACIONADA ÀS QUESTÕES DE PESQUISA 5 E 6.....	78
4.8	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 7.....	79
4.9	LITERATURA RELACIONADA ÀS QUESTÕES DE PESQUISA 8, 9 E 10...	80
4.10	LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 11.....	82
4.11	CONCLUSÃO DO QUADRO TEÓRICO.....	83
5	O ESTUDO DE CASO.....	85
5.1	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	85
5.2	QUESTIONÁRIO APLICADO NA UNIDADE DE ANÁLISE.....	91
5.2.1	Caracterização da amostra.....	93
5.2.2	Resultado da pergunta 1 do questionário.....	93
5.2.3	Resultado da pergunta 2 do questionário.....	95
5.2.4	Resultado da pergunta 3 do questionário.....	97
5.2.5	Resultado da pergunta 4 do questionário.....	98
5.2.6	Resultado da pergunta 5 do questionário.....	99
5.2.7	Resultado da pergunta 6 do questionário.....	100
5.2.8	Resultado da pergunta 7 do questionário.....	102
5.2.9	Resultado da pergunta 8 do questionário.....	104
5.2.10	Resultado da pergunta 9 do questionário.....	106
5.2.11	Resultado da pergunta 10 do questionário.....	108
5.2.12	Síntese dos resultados do questionário 91.....	109
5.3	ENTREVISTAS APLICADAS NA UNIDADE DE ANÁLISE.....	110
5.3.1	A questão 1 da entrevista.....	110
5.3.2	A questão 2 da entrevista.....	113

5.3.3 A questão 3 da entrevista.....	116
5.3.4 A questão 4 da entrevista.....	116
5.3.5 As questões 5a e 5b da entrevista.....	118
5.3.6 A questão 6 da entrevista.....	122
5.3.7 A questão 7 da entrevista.....	123
5.3.8 A questão 8 da entrevista.....	124
5.3.9 A questão 9 da entrevista.....	125
5.3.10 A questão 10 da entrevista.....	126
5.3.11 Síntese dos resultados das entrevistas.....	128
5.4 CONCLUSÃO DESTA ANÁLISE.....	129
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	130
6.1 CONCLUSÕES FINAIS.....	130
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
APÊNDICE A - SAE TECHNICAL PAPER SERIES.....	138
APÊNDICE B - ARTIGOS DA REVISTA “COMPUTER-AIDED DESIGN”	140
APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO APLICADO NA UNIDADE DE ANÁLISE.....	143
APÊNDICE D - ROTEIRO DA ENTREVISTA APLICADA NA UNIDADE DE ANÁLISE.....	147
APÊNDICE E - ESTATÍSTICA APLICADA NESTE TRABALHO.	149

1 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 (PV) 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.

Enquanto não se estabelecem procedimentos de avaliação do grau de confiança que se pode ter em um protótipo virtual, tem-se a necessidade de construir protótipos reais para validar e/ou encontrar falhas nos projetos.

O tempo disponível para o desenvolvimento desta dissertação proposta foi aproximadamente igual ao tempo de desenvolvimento de um projeto de um veículo novo (em torno de 18 meses). Este tempo permitiu o estudo da relação entre protótipos reais e virtuais em todas as fases do desenvolvimento de um projeto.

Saber identificar os fatores que levam um Protótipo Virtual a ser suficientemente confiável para substituir um Protótipo Físico (PF) na validação de um projeto mecânico complexo é o ponto que se pretende esclarecer com a pesquisa que será desenvolvida.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

Os objetivos da pesquisa 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

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, conforme descrito neste tópico.

O Capítulo 2, **METODOLOGIA DA PESQUISA**, tem como objetivo descrever a abordagem metodológica selecionada para a **pesquisa**. Apresenta-se inicialmente a seleção da estratégia de pesquisa. Posteriormente são descritos o projeto da pesquisa de campo, o plano e o protocolo de pesquisa, cuja abordagem será a de estudo de caso. Finalmente, faz-se a análise dos artigos escolhidos com tema sobre protótipos virtuais, identificando-se e classificando-se a literatura relacionada ao tema da pesquisa.

O Capítulo 3, **OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS**, tem com objetivo descrever os principais modos de classificação para protótipos e suas aplicações. Apresentam-se ainda as principais características e aspectos importantes de protótipos. Na seqüência, são apresentados os protótipos virtuais e suas que aplicações, suas capacidades e suas deficiências. Apresenta-se uma breve descrição da evolução das tecnologias, ferramentas e recursos de *software* de engenharia, tais como os programas de CAD, CAE (*Computer Aided Engineering*) e PLM (*Product Lifecycle Management*), bem como as tendências futuras. Aborda-se na seqüência as questões referentes a adaptação das pessoas e das organizações as ferramentas

para se trabalhar “virtualmente”. Finalmente, discute-se o os protótipos virtuais no processo de desenvolvimento de novos produtos, apresentando um breve histórico da evolução do gerenciamento de desenvolvimento de novos produtos, as fases de um projeto, os conceitos e definição de alguns termos usados no desenvolvimento de produtos na indústria automobilística, dentro do contexto das novas tecnologias da informação, e seu papel no planejamento do uso de PVs.

O Capítulo 4, **CONSTRUÇÃO DO QUADRO TEORICO**, descreve o resultado da pesquisa sobre o uso de protótipos virtuais feita em publicações especializadas. Esta parte tem como objetivo comprovar que os pressupostos e as perguntas de pesquisa refletem as preocupações reais das empresas que procuram trabalhar com o desenvolvimento virtual de produtos.

O Capítulo 5, **ESTUDO DE CASO**, descreve a análise dos dados obtidos por meio de entrevistas, questionários e observações resultantes da pesquisa de campo feita na engenharia de produtos da Unidade de Análise, e mostra o resultado da aplicação, ou não, dos pressupostos desta pesquisa nos resultados da utilização de PVs. O resultado busca ser a síntese da percepção de vários profissionais envolvidos no processo.

O Capítulo 6, **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**, apresenta as conclusões obtidas a partir deste estudo e sugestões para novos trabalhos voltados para o mesmo tema.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo apresenta-se a abordagem metodológica desta dissertação, detalhando-se a seleção da estratégia de pesquisa, o encadeamento dos objetivos, proposições, e questões de pesquisa, além do protocolo da pesquisa de campo.

2.1 SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo Booth; Colomb e Williams (2000), pesquisar é reunir informações necessárias para encontrar uma resposta a uma pergunta e assim chegar à solução de um problema.

Para se desenvolver um estudo o pesquisador pode optar por um dos vários métodos de pesquisa existentes como o levantamento, o experimento e o estudo de caso ou uma combinação deles. Segundo Donaire (1997) cada um desses métodos apresenta uma forma distinta de coletar e analisar a evidência dos dados empíricos, portanto, cada uma deles apresenta vantagens e desvantagens. Um equívoco comum é considerar que existe uma hierarquia entre os vários métodos, pois o importante é utilizar o método mais apropriado para as questões proposta e para atingir os objetivos da pesquisa.

Pode-se dividir a pesquisa em dois tipos principais, a pesquisa qualitativa e da pesquisa quantitativa.

A pesquisa quantitativa tem como ponto de partida a pesquisa teórica e tenta criar um modelo que explique algum fenômeno natural ou algum aspecto da realidade. Partindo de princípios, leis e raciocínio lógico o pesquisador procura deduzir hipóteses, as quais serão verificadas durante do desenvolvimento da pesquisa. Alguns fatores importantes a serem observados para executar uma pesquisa quantitativa são listados a seguir:

- A hipótese deve conter conceitos que possam ser medidos para sua verificação.
- A hipótese também deve demonstrar uma relação de causa-efeito, seja de forma explícita ou implícita.

- Devem-se buscar conclusões que possam ser generalizadas além dos limites restritos da pesquisa.
- A pesquisa deve permitir reprodução, ou seja, permitir aos demais pesquisadores a verificação dos resultados encontrados através do uso dos mesmos procedimentos.

A pesquisa qualitativa focaliza a perspectiva da pessoa que está sendo pesquisada. As suas principais características são:

- O pesquisador observa os fatos da ótica de alguém interno a organização.
- A pesquisa busca uma profunda compreensão do contexto da situação.
- A pesquisa enfatiza o processo dos acontecimentos, isto é, a seqüência dos fatos ao longo do tempo.
- O enfoque da pesquisa é menos rígido, permitindo maior flexibilidade para redirecionamento.
- A pesquisa pode empregar mais de uma fonte de dados.

Conforme apresentado no Capítulo 1, o objetivo deste estudo é *“identificar os fatores que influenciam no grau de confiabilidade de um protótipo virtual, em ambiente CAD, no desenvolvimento de produtos complexos.”* Posto as características de cada tipo de pesquisa discutido neste tópico, o tipo mais adequado ao objetivo deste trabalho corresponde à forma **qualitativa**.

Embora se pretenda adotar o recorte setorial para esta dissertação, optando-se pelo setor automobilístico, acredita-se que o resultado do estudo poderá ser aplicável a empresas que projetem sistemas mecânicos complexos, desde que o projeto do produto seja feito totalmente em ambiente CAD, com infra-estrutura e organização suficientes para montar protótipos virtuais.

2.2 O MÉTODO DO ESTUDO DE CASO

Segundo Yin (2001), o estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes. O estudo de caso conta com muitas das técnicas utilizadas pelas pesquisas históricas, mas acrescenta duas fontes de

evidências que usualmente não são incluídas no repertório de um historiador: observação direta e série sistemática de entrevistas.

Um estudo de caso é uma investigação empírica que pesquisa um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

Ainda segundo Yin (2001), as fontes de evidências que podem ser usadas em um estudo de caso podem ser agrupadas em seis categorias: documentação, registros em arquivos, entrevistas, observação direta e observação participante e artefatos físicos.

A **documentação** é um tipo de informação que pode assumir muitas formas, e deve ser objeto de planos explícitos da coleta de dados. Como exemplo de documentos pode citar:

- ◆ Cartas, memorandos e outros tipos de correspondências.
- ◆ Agendas, avisos e minutas de reuniões, e outros relatórios escritos de eventos em geral.
- ◆ Documentos administrativos - propostas, relatórios de aperfeiçoamentos e outros documentos internos.
- ◆ Estudos ou avaliações formais do mesmo "local" sob estudo.
- ◆ Recortes de jornais e outros artigos publicados na mídia.

O uso mais importante de documentos, nos estudos de caso, é corroborar e valorizar as evidências oriundas de outras fontes.

Os registros em arquivos, geralmente em sua forma computadorizada, podem ser encontrados como:

- ◆ Registros de serviço.
- ◆ Registros organizacionais, como as tabelas e os orçamentos de organizações em um período de tempo.
- ◆ Mapas e tabelas.
- ◆ Listas de nomes
- ◆ Dados oriundos de levantamentos,

As **entrevistas** são uma das mais importantes fontes de informação para um estudo de caso. Elas podem ser classificadas conforme a forma como são conduzidas. Os principais tipos são: espontânea, focal e estruturada.

Na entrevista conduzida de forma espontânea, além de indagar o entrevistado sobre fatos, o entrevistador pode solicitar a opinião e até mesmo, em alguns casos, pedir a interpretação do entrevistado sobre determinado fato.

Na entrevista focal o entrevistador pode seguir um conjunto de perguntas que se originam do protocolo de estudo de caso. Normalmente as entrevistas são curtas - uma hora, por exemplo - e assumem o caráter de uma conversa informal.

A entrevista estruturada assume a forma de um levantamento formal.

O desenvolvimento do estudo de caso desta dissertação utilizou ambos os tipos de entrevistas, tanto entrevista focal como levantamento, conforme será detalhado nos tópicos seguintes deste capítulo.

A **observação direta** é feita ao se realizar uma visita de campo ao local escolhido para o estudo de caso.

A **observação participante** é uma modalidade especial de observação na qual o pesquisador não é apenas um observador passivo, mas pode assumir uma variedade de funções e participar de fato dos eventos em estudo.

Os **artefatos físicos** completam as fontes de evidências podem ser, por exemplo, um aparelho de alta tecnologia, uma ferramenta ou instrumento, uma obra de arte ou alguma outra fonte de evidência física.

Os benefícios de se utilizar várias destas seis fontes de evidência em um estudo de caso podem ser maximizados se forem seguidos os seguintes princípios para a coleta de dados:

Princípio 1: utilizar várias fontes de evidência. Embora qualquer uma das fontes de evidências mencionadas anteriormente possa ser utilizada com única base de dados para um estudo de caso inteiro, o uso de várias fontes de evidência nos estudos de caso permite que o pesquisador desenvolva linhas convergentes de investigação.

Princípio 2: criar um banco de dados para o estudo de caso. Este princípio refere-se a maneira de organizar e documentar os dados coletados para os estudos de caso. A documentação, em geral, pode ser dividida em: 1. Os dados ou a base comprobatória; e 2. O relatório do pesquisador, sob a forma de artigo, relatório ou livro.

Princípio 3: manter o encadeamento das evidências. Este princípio consiste em permitir que um observador externo - o leitor do estudo de caso, por exemplo - possa perceber que qualquer evidência proveniente de questões iniciais da pesquisa leve às conclusões finais do estudo de caso. Além disso, o observador externo deve ser capaz de seguir as etapas em qualquer direção (das conclusões para as questões iniciais da pesquisa ou das questões para as conclusões).

2.3 PLANO DA PESQUISA

Segundo Yin (2001) o plano de pesquisa é a seqüência lógica que conecta os dados às questões iniciais do estudo e as conclusões. Segundo o autor, o plano de pesquisa possui cinco componentes, que são listados a seguir:

- As questões de um estudo,
- Pressupostos,
- Unidade de Análise,
- Lógica que une os dados aos pressupostos,
- Critérios para se interpretar as descobertas.

2.3.1 As questões do estudo.

Alinhada ao objetivo desta dissertação, a questão da pesquisa é:

“Quais são os fatores que influenciam no grau de confiabilidade com que um protótipo virtual de um sistema mecânico complexo representa a realidade?”

“Quais são os fatores restritivos à substituição dos protótipos físicos pelos virtuais?”

2.3.2 Quadro teórico e os pressupostos do plano de pesquisa.

Para a elaboração do quadro teórico e estabelecimento dos pressupostos da pesquisa, foi inicialmente realizada uma análise de artigos publicados com temas relacionados aos protótipos virtuais. Nesta etapa preliminar foram selecionadas as seguintes publicações como fontes de referência: *SAE Technical Paper Series* e o periódico acadêmico "*Computer-Aided Design*"

SAE Technical Paper Series - Pesquisados no período de 1999 a 2006. Foram escolhidos artigos com uma ou mais das seguintes palavras chave: *Virtual, Prototype, CAD, Virtual Reality, Product Development*. Após a leitura dos resumos foram escolhidos 12 artigos para uma análise mais detalhada. Estes artigos estão listados no Apêndice A.

O periódico "*Computer-Aided Design*", consultado através da base de dados "*Science Direct*", foi pesquisado no período de 1999 a 2006. Primeiramente foram selecionados os artigos listados em uma das seguintes categorias:

- CAD interfaces para testes e análises, incluindo método de elementos finitos.
- Desenho e planejamento para manufatura, incluindo controle numérico, prototipagem rápida e robótica.
- Gerenciamento e troca de dados de engenharia, incluindo banco de dados, seleção de componentes, modelos de produtos e controle do ciclo de vida de produtos.
- Interfaces para usuários de CAD, incluindo computação gráfica e realidade virtual.

No segundo passo, com base na leitura do resumo de todos os artigos que atendiam aos critérios de busca, escolheu-se 28 artigos para uma análise mais detalhada. Estes artigos estão listados no Apêndice B.

Outros livros e periódicos foram considerados também na revisão da literatura desta dissertação, mas não foram objetos de busca sistemática como os dois relatados anteriormente.

Com base nestes estudos, que estão discutidos em maior profundidade no Capítulo 3 e 4 foram estabelecidos os seguintes pressupostos:

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”.

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”.

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”.

2.3.3 Unidade de Análise

O critério principal para seleção da unidade de análise foi a existência de uma estrutura por parte da empresa que possibilitasse o uso de protótipos virtuais, semelhante ao descrito por Siefkes (2005) e discutido no próximo capítulo desta dissertação.

Para este estudo a unidade de análise selecionada corresponde a Engenharia de Produtos de uma multinacional do setor automotivo, que possui um quadro de colaboradores com mais de 800 engenheiros e técnicos, atuando no desenvolvimento de produtos para o mercado nacional e internacional. Esta empresa já faz uso de protótipos virtuais há vários anos, de forma que já possui experiência e conhecimento acumulado sobre a utilização deste tipo de tecnologia.

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. Este instrumento de pesquisa está disponível no Apêndice C. Os resultados e a análise destas entrevistas estão da seção 5.2 desta dissertação.

A entrevista focal foi realizada com base em um roteiro com 10 questões abertas, que permitia ampla abertura para comentários do entrevistado. Esta entrevista foi aplicada a 4 colaboradores da área de Engenharia do Produto, sendo um coordenador e 3 especialistas. O roteiro das entrevistas está disponível no Apêndice D. O roteiro das entrevistas foi dividido em três partes, com escopos diferentes, conforme mostrado na Tabela 2.1. Os resultados e a análise destas entrevistas estão da seção 5.3 desta dissertação.

As entrevistas foram realizadas pessoalmente pelo pesquisador e, anteriormente à aplicação do questionário, os entrevistados receberam informações sobre o objetivo da pesquisa, assim como apresentação sumária do conteúdo do questionário.

Partes a Entrevista	Parte 1	Parte 2	Parte 3
		Importância dos recursos de TI e a relação com os PVs.	Fases de um projeto e a relação com os PVs.
Escopo	Buscar evidências de o adequado suporte de TI faz com se aumente a confiança que se tem nos PVs.	Buscar evidências de que o aprimoramento das fases de um projeto, com a inclusão de o que exatamente deve ser liberado de dados matemáticos em cada fase do projeto e com que qualidade tem relação com a confiança que se tem nos PVs.	Buscar evidências de que o uso de PVs na engenharia muda o perfil do funcionário, exige um novo comportamento e também um complemento na formação.

Tabela 2.1 – Relação do escopo de cada parte das entrevistas às fontes primárias de informação.

2.3.4 Lógica que une os dados aos pressupostos

Estes componentes representam as etapas de análise dos dados da pesquisa e determinam a validade do estudo.

A seguir são listados os dados referentes a cada proposição:

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”.

Questões do instrumento de pesquisa relacionado com o pressuposto 1:

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".

Questões do instrumento de pesquisa relacionado com o pressuposto 2:

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".

Questões do instrumento de pesquisa relacionado com o pressuposto 3:

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?

Os resultados da pesquisa de campo serão analisados face ao quadro teórico e aos pressupostos da pesquisa no Capítulo 5 desta dissertação.

3 OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS

Este capítulo tem por objetivo descrever o uso dos protótipos de forma geral, a influência do aparecimento dos protótipos virtuais na forma de trabalho de engenheiros e técnicos e o papel dos protótipos virtuais no desenvolvimento de produtos.

3.1 OBJETIVOS E FUNÇÕES DOS PROTÓTIPOS EM GERAL

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.

3.1.1 Classificação dos protótipos

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 estão em processo de fabricação.

3.1.2 Propósito dos protótipos

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 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.



Figura 3.1 - Exemplo de protótipo físico. Fonte: <http://www.acarplace.com/brands/gm/ssr/photos.html> consulta em 17-jun-06.

Como os protótipos acompanham as fases do desenvolvimento do produto, é comum na indústria automobilística os protótipos de veículos serem divididos em três categorias, conforme a fase do projeto em que são construídos.

Os **Veículos de Arquitetura** são construídos na fase inicial do projeto. Frequentemente recebem o nome de "Veículo Conceito" ou "Mula". Servem para avaliar alguns sistemas e subsistemas, tais como o sistema de arrefecimento, a suspensão e a posição do motorista e dos passageiros, gerando as informações necessárias ao prosseguimento do desenvolvimento. Estes veículos normalmente são construídos a partir de um veículo existente que tenha características parecidas, fazendo todas as adaptações necessárias para representar o novo veículo de forma artesanal.

Os **Veículos de Integração** devem representar as informações liberadas pela engenharia, servindo de base para o desenvolvimento e validação de todos os sistemas, subsistemas e componentes do projeto. Podem ser veículos completos ou partes de um veículo. Por exemplo, construindo-se apenas a parte frontal do veículo já se pode testar a montagem e a desmontagem de diversos componentes, o acesso de ferramentas, e outros pontos de interesse.

Por último os **Veículos Piloto** já devem ser produzidos em uma linha de montagem e são altamente representativos do produto final. Podem ser usados para a obtenção de aprovações finais e homologações junto a órgãos oficiais. Os veículos do tipo piloto devem ser melhorados até se atingir a "Validação do Processo". Os componentes comprados já devem ter sido aprovados pela Engenharia de Qualidade de Fornecedores e os componentes internos aprovados.

O tipo de informação que é gerada e os tipos de problemas que são resolvidos a partir da análise dos protótipos depende de qual papel os protótipos desempenham no processo de desenvolvimento de NP. Protótipos podem ser usados, por exemplo, para permitir verificações no desenho final; seguindo extensivos testes e análises, engenheiros podem construir um protótipo para assegurar que determinados detalhes irão funcionar corretamente. Alternativamente, o protótipo pode ser uma parte integral do processo de desenvolvimento de NP,

neste caso os engenheiros irão construir o protótipo o mais rápido possível logo após os desenhos preliminares e testa-lo em muitos modos diferentes.

Clark e Fujimoto (1991) apontaram dois paradigmas contrastantes na utilização dos protótipos: "uso do protótipo como detector de problemas em fases iniciais do projeto" e "uso do protótipo como modelo de referência". Com os protótipos virtuais este paradigma desaparece porque o protótipo virtual, que supostamente é uma antecipação do modelo que será produzido, é usado como ferramenta para detectar problemas bem no início do projeto é composto pelos próprios modelos matemáticos que darão origem as ferramentas de produção do produto final. Portanto o PV cumpre com excelência estas duas funções.

3.1.3 Escolha do tipo de protótipo

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 subseqüentes 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.

3.2 OS PROTÓTIPOS E A EVOLUÇÃO DO MODO DE TRABALHAR

No início da indústria automobilística, os desenhistas usavam quadros negros do tamanho de uma parede para desenhar em escala um para um os veículos, como ilustrada na Figura 3.2. Deles os engenheiros desenvolveram diversos instrumentos

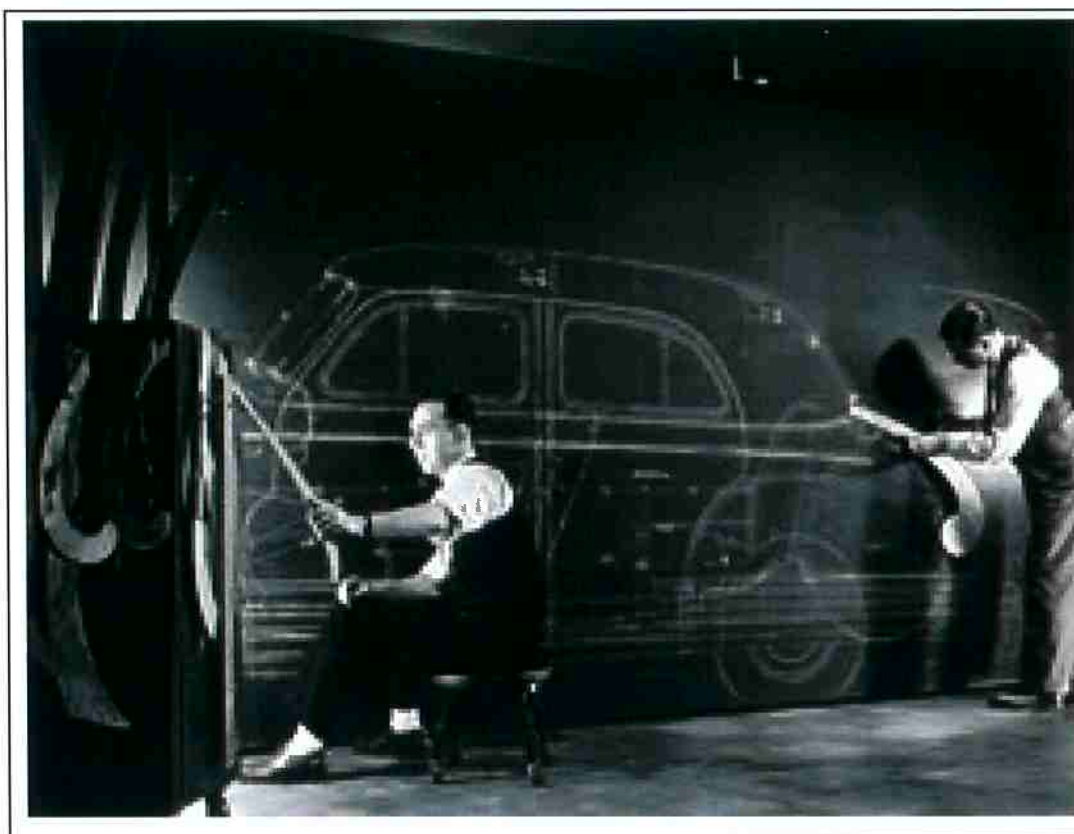


Figura 3.2 - Desenho de um veículo na década de 30. Fonte: http://www.gm.com/company/gmability/eu_k-12/5-8/making_vehicles/road_lab_math.html. Acesso em 01-jan-2006.

para ajudar no desenho e diversas técnicas para transformar aqueles traços em protótipos físicos que representassem os produtos que tinham em mente, de chapelonas de madeira aos modelos em argila feitos em escala natural, como mostrado na Figura 3.3.

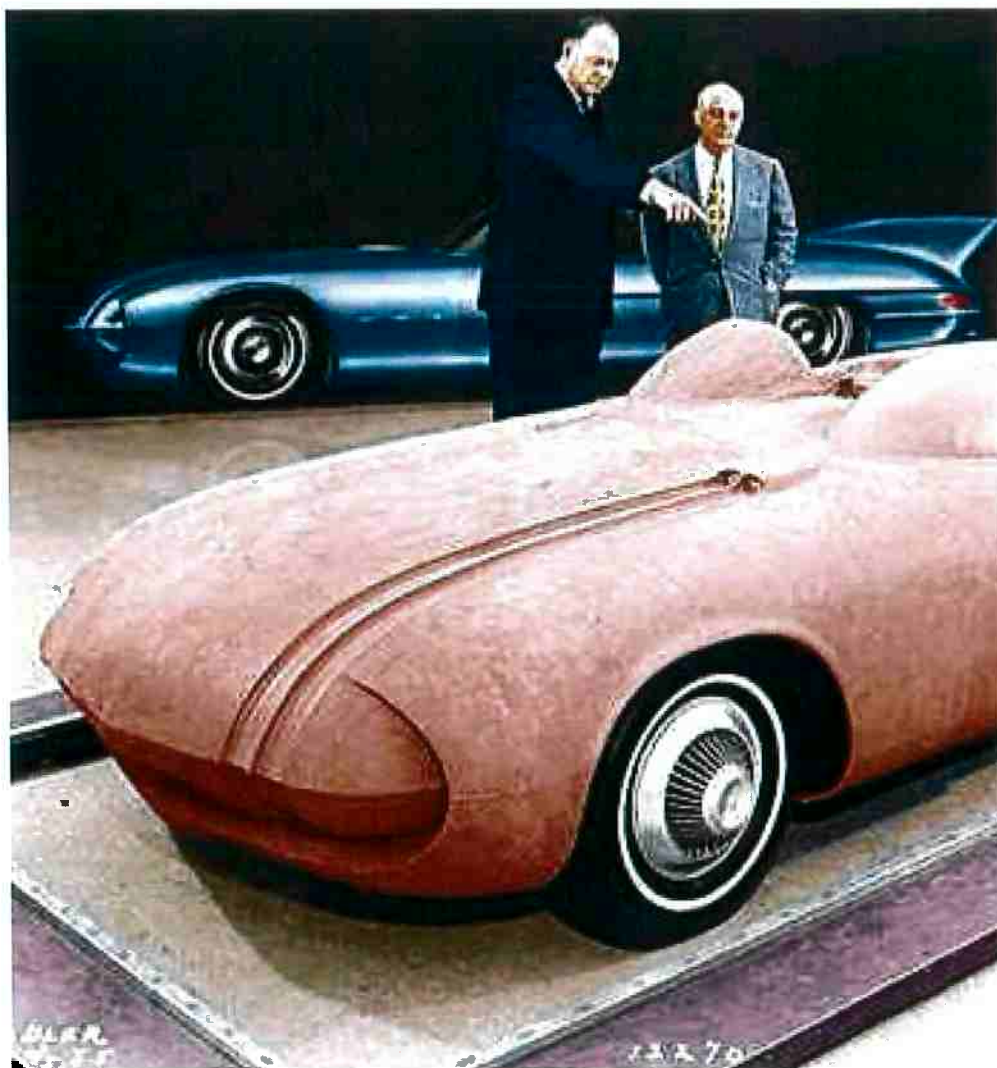


Figura 3.3 Protótipo em argila no final dos anos 1920s.
Fonte: <http://www.carofthecentury.com>

Muitas das técnicas herdadas desta época permanecem até agora. Ainda hoje muitos dos projetistas mais experientes relatam que trabalharam traçando os estudos na mesa, sobre um rolo de papel vegetal ou poliéster, usando réguas, curvas francesas, escalas e compassos. A partir destes desenhos eram feitos protótipos de forma totalmente artesanal, com a construção de modelos em argila

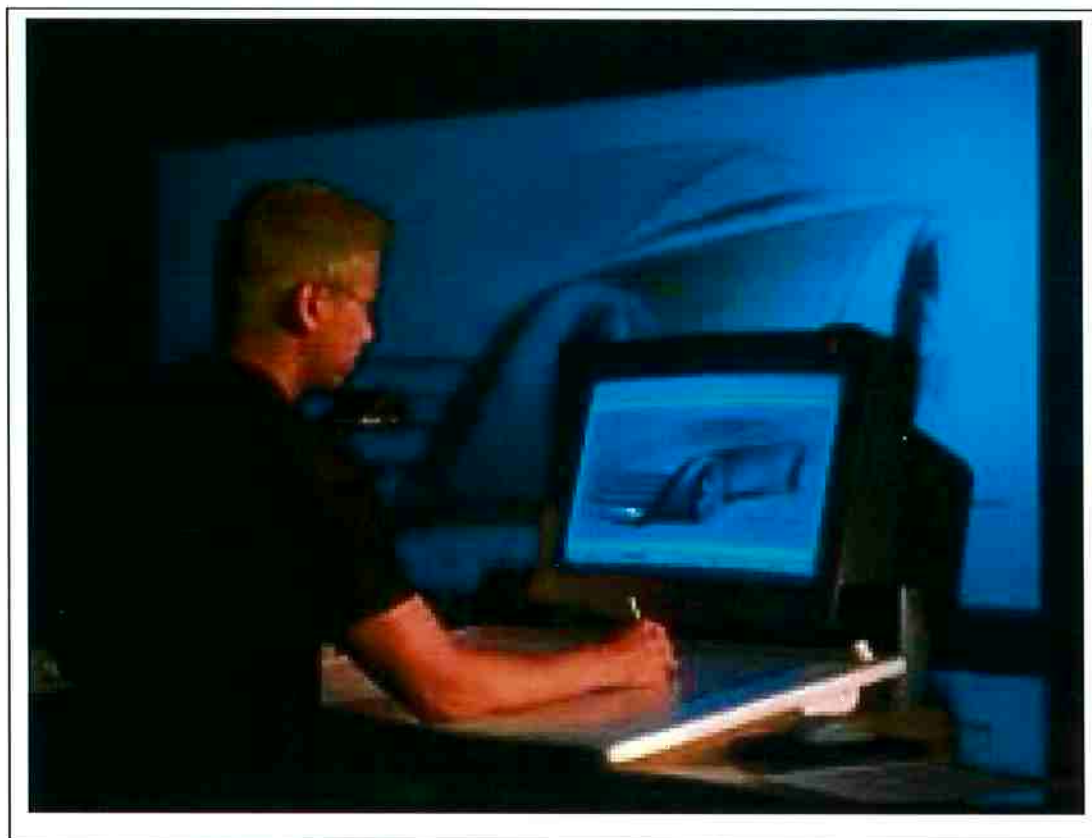


Figura 3.4 - Ferramentas digitais na definição do estilo

Fonte: http://www.gm.com/company/gmability/edu_k-12/5-8/making_vehicles/road_lab_math.html

para confirmar se as formas desenhadas realmente ficariam conforme o desejado em um modelo tridimensional.

As técnicas evoluíram durante o passar do século XX, passou-se a usar a mesa de desenho e pranchetas, mas a mudança radical veio somente nas últimas duas décadas do século, quando os sistemas de CAD se popularizaram e

rapidamente eliminaram as técnicas anteriores de desenho. Ao mesmo tempo as técnicas de produção de protótipos passaram a incorporar novas técnicas, como o uso de máquinas de comando numérico e estereolitografia.

O avanço da TI vem criando novas ferramentas que dão liberdade aos engenheiros e estilistas para poderem desenvolver um novo conceito de como criar e documentar novos produtos, como ilustra a Figura 3.4.

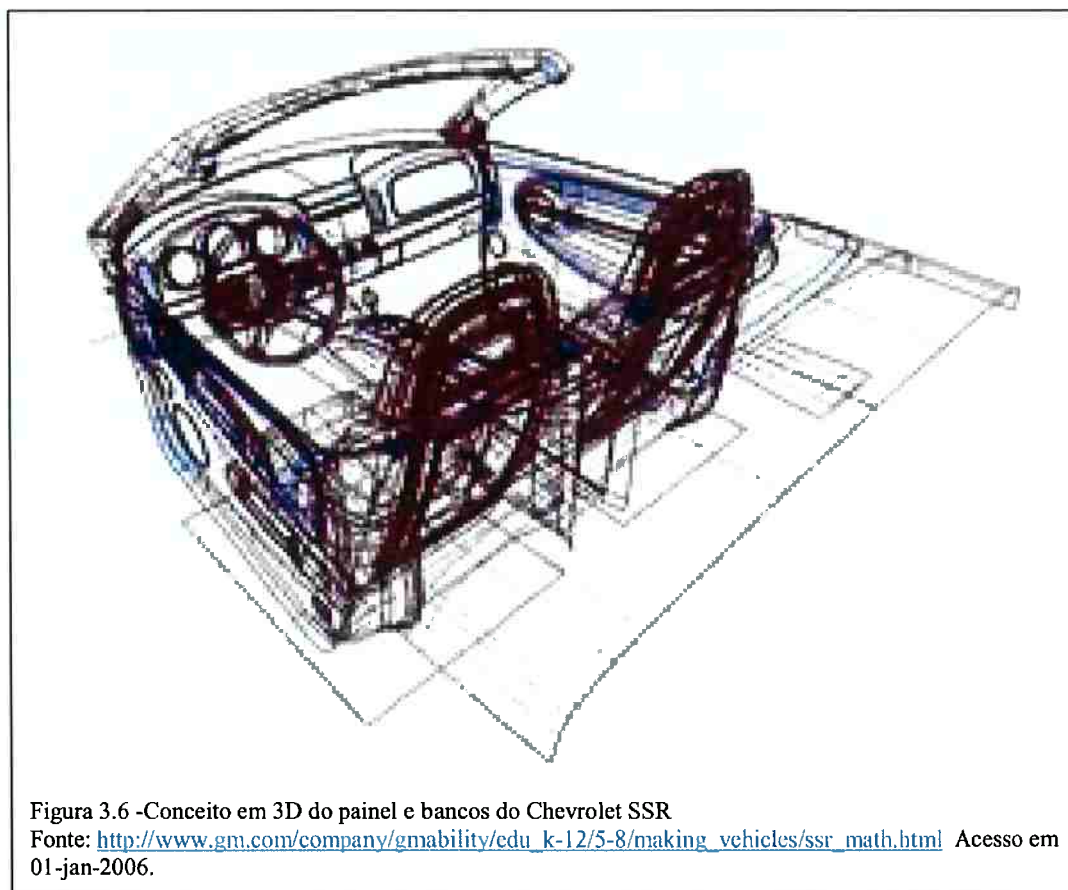


Figura 3.5 - Modelo em argila a partir das informações de modelo digital.

Fonte: http://www.gm.com/company/gmability/edu_k-12/5-8/making_vehicles/ssr_clay.html Acesso em 01-jan-2006.

Segundo Wayne K. Cherry, vice-presidente do "Design Center" das Operações da GM na América do Norte, em entrevista à revista americana "Automotive Design and Production", no desenvolvimento do veículo "Chevy SSR" foram usados apenas modelos e ferramentas digitais entre a primeira proposta dos desenhistas de estilo e a construção do primeiro carro conceito real. Todo o trabalho de análise das propostas, estudo de aceitação no mercado, viabilidade técnica e

outras atividades nesta fase de conceito de um novo veículo foram totalmente feitas de forma digital. O protótipo físico em argila (*clay model*) só foi construído para a aprovação final da proposta escolhida. Este modelo é mostrado na Figura 3.5.



Wayne K. Cherry é ainda mais enfático ao afirmar que o uso de modelos matemáticos, ou digitais, é a maior mudança no modo como os veículos são concebidos, desenvolvidos e produzidos que ocorreu em toda história da indústria automobilística. Existe uma clara tendência na GM em direcionar seus recursos de desenho para os modelos matemáticos, ou digitais. Para que isto aconteça é necessário que toda uma curva de aprendizagem seja vencida pelos engenheiros, projetistas e desenhistas da empresa. Na Figura 3.6 é mostrado um modelo matemático usado na fase de conceito de um produto. Não apenas aqueles

envolvidos diretamente com as ferramentas de CAD e CAE, mas também de outros profissionais que precisam aprender a interpretar e visualizar os modelos digitais mostrados em salas de realidade virtual, ou apenas na tela de computadores como se fossem modelos reais. Entre estes profissionais estão aqueles que têm a função de aprovar as fases de um projeto, os engenheiros de processos, o pessoal de marketing, vendas de praticamente todos na empresa que tem contato com os veículos ainda em desenvolvimento.

Cherry prevê ainda que em breve os times de desenhistas de estilo e de engenheiros de desenvolvimento dos veículos estarão trabalhando simultaneamente, o que causará uma redução significativa no tempo de desenvolvimento de um novo veículo. A eliminação dos protótipos físicos, que já está em processo, deve se acelerar e restarão apenas alguns modelos físicos somente para as funções de prova de conceito (*prove out*), certificação e aprovação final. Um benefício de se conceber e desenvolver o veículo completamente de forma digital é a grande velocidade que se obtém. Cherry destaca que, uma vez criado o modelo em 3D, usar os modelos ou as ferramentas a partir dos dados do arquivo CAD, pós processados pelo CAM (*Computer Aided Manufacturing*), é um processo cada vez mais rápido.

Outro benefício que o uso de modelos virtuais traz, conforme apontado por Cherry, é a possibilidade de um número muito maior de grupos multifuncionais, que podem usar as facilidades de comunicação dos sistemas digitais para acelerar a comunicação, independentemente da localização geográfica em que eles estão.

Corroboram desta visão Bejarano et al. (2006) definem equipes virtuais como aquelas nas quais os membros estão separados fisicamente por espaço e/ou tempo, ou mais precisamente fuso horário diferente, e interagem primariamente por meios eletrônicos, através de redes de computadores e telefones. Exemplos de equipes virtuais são as formadas por pessoas que realizam trabalho interdependente e pelo qual são coletivamente responsáveis, porém trabalham em diferentes regiões geográficas, inclusive em países distintos. Indústrias com centros de desenvolvimento de engenharia situados em países diferentes criam a condição para a existência de equipes virtuais e com o uso de protótipos virtuais como a mais forte ferramenta de comunicação. Assim algumas empresas que fornecem software

de engenharia já disponibilizam ferramentas para possibilitar uma seção de CAD conjunta com usuários de locais diferentes.

3.3 EVOLUÇÃO DOS PROTÓTIPOS VIRTUAIS

A adaptação das pessoas e das empresas as ferramentas para se trabalhar “virtualmente” é fundamental para o sucesso dos PVs. Neste sentido, elaborou-se uma representação esquemática de como os protótipos virtuais evoluíram nos últimos anos e de como tendem a evoluir nos próximos anos, conforme ilustra a Figura 3.7.

Os protótipos virtuais começam a ser criados pelos usuários de CAD, normalmente ligados ao departamento de desenho de produto, e designados de “DMU” – *Digital Mock-Up*. Na segunda fase o PV é associado a uma forma estruturada de organizar os arquivos que contém as informações geométricas de cada peça que compõem o produto. Este avanço adiciona uma funcionalidade aos PVs, permite que usuários de CAD usem o PV como uma forma prática de identificar todos os componentes de uma dada região do produto ou de um sistema funcional. Na próxima fase novos usuários começam a sentir interesse na utilização do DMU, que já passa a ser uma entidade que ultrapassa os limites da engenharia de produtos.

Na última fase, o PV passa a se chamar produto virtual, recebe recursos de configuração e normas de utilização. Passa a ser considerada uma referência oficial do produto da empresa, ou até mesmo a referência mais importante. Com o uso de *softwares* de visualização seu uso é expandido a diversas áreas da empresa. Ocorre um processo de inserção do PV na cultura de desenvolvimento de produtos da empresa.

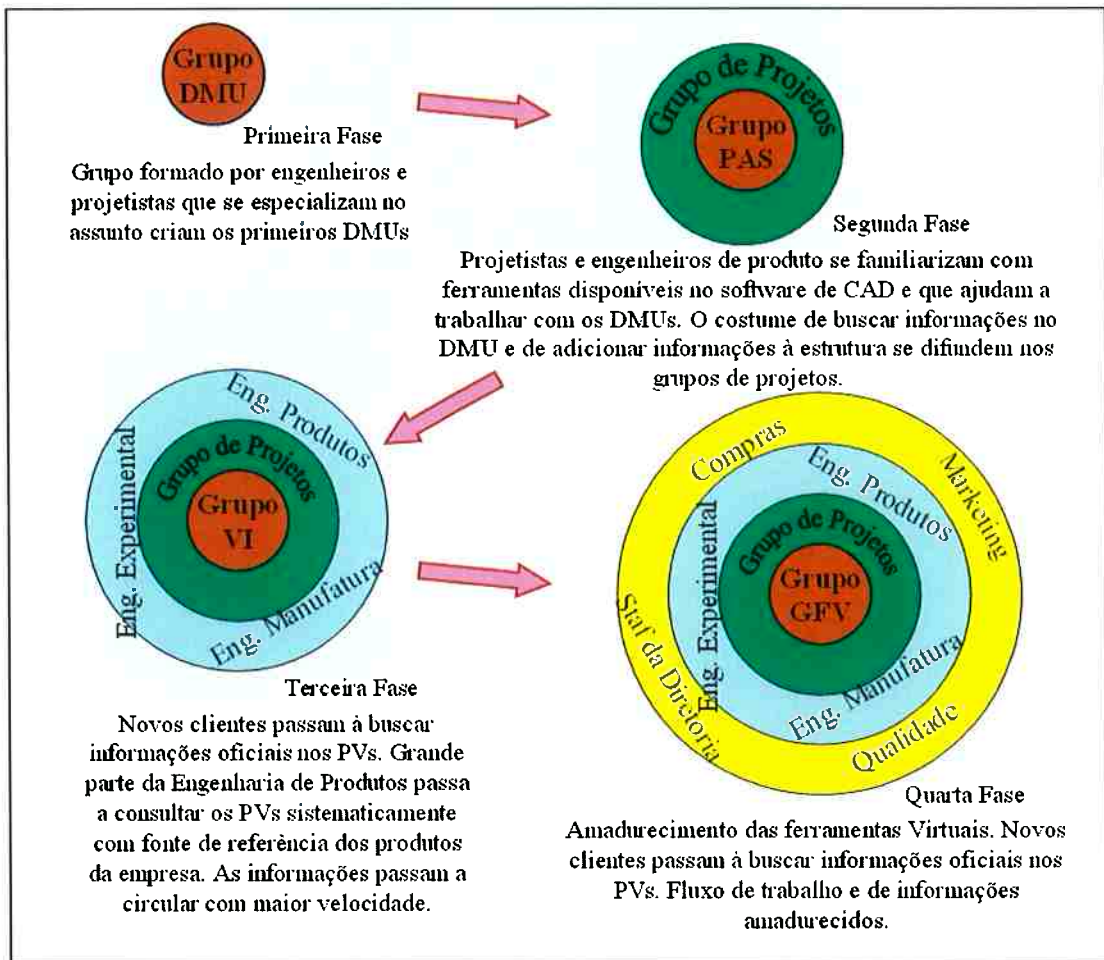


Figura 3.7 - Esquema da evolução dos protótipos virtuais.

3.4 OS PROTÓTIPOS VIRTUAIS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Segundo Clark e Fujimoto (1991) o projeto e o desenvolvimento de um novo modelo de automóvel tem tradicionalmente sido uma série de ciclos de "desenho-construção-teste". No final dos anos oitenta já se percebia esforços significativos para melhorar os processos de projeto e desenvolvimento de forma que falhas pudessem ser detectadas em estágios cada vez mais iniciais do projeto. Nesta época o desenvolvimento das ferramentas de CAD e CAE já começavam a permitir que algumas análises em computador pudessem detectar problemas nas fases iniciais do desenvolvimento do projeto. Permitindo uma antecipação em relação a tradicional técnica de construção de protótipos.

Evidencias de diversas indústrias comprovam que detectar problemas em fases iniciais é muito melhor do que descobri-los somente nas fases finais do projeto. Dada a complexidade dos produtos e dos processos da indústria automotiva, existem características do produto que, de acordo com Clark e Fujimoto (1991), somente podem ser testadas pela construção de protótipos. Porém, com o aumento do conhecimento acumulado e da evolução das ferramentas de análise virtual, atualmente em várias situações os protótipos físicos já podem ser substituídos por protótipos construídos de modo virtual.

O estabelecimento de um processo para o DNP (Desenvolvimento de Novos Produtos) é importante para permitir o planejamento do uso dos PVs. Este planejamento é um dos fatores de sucesso para o uso dos PVs e será explorado nesta seção.

3.4.1 Conceito do 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 têm como característica 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.

As abordagens por processo modelam os procedimentos em desenvolvimento de produtos, oferecem uma seqüência de passos e descrevem as atividades que devem estar contidas em cada passo.

Ulrich e Eppinger (2000) modelaram o processo de desenvolvimento de produtos em seis fases seqüenciais, como ilustrado na Figura 3.8. Estas fases são descritas a seguir:

- **Fase 0: Planejamento** – Esta fase precede a aprovação do projeto e o lançamento do processo de desenvolvimento do produto propriamente dito. É nesta fase que as estratégias da corporação e os objetivos de mercado são estudados.
- **Fase 1: Desenvolvimento do Conceito** – Nesta fase as necessidades do mercado alvo para o produto são levantadas e identificadas. Alternativas de

conceito do produto são criadas e avaliadas. O conceito é a descrição da forma, função e características do produto. Também é feita uma análise dos produtos concorrentes e o estudo econômico do projeto.

- **Fase 2: Projeto dos Sistemas** – Nesta fase é definida a arquitetura do produto. O produto é decomposto em sistemas, subsistemas e componentes. O esquema de montagem também é definido.
- **Fase 3: Detalhamento do Projeto** – Nesta fase é feita a especificação completa do produto e de sua geometria. São definidos os processos de fabricação e o ferramental necessário para cada peça.
- **Fase 4: Testes e Refinamento** – Esta fase em geral envolve a construção e avaliação de diversos protótipos do produto. Busca-se eliminar todos problemas que o projeto possa ter.
- **Fase 5: Início da Produção** – Nesta fase ocorre o início de produção. Envolve o treinamento dos operários e a solução dos problemas remanescentes.

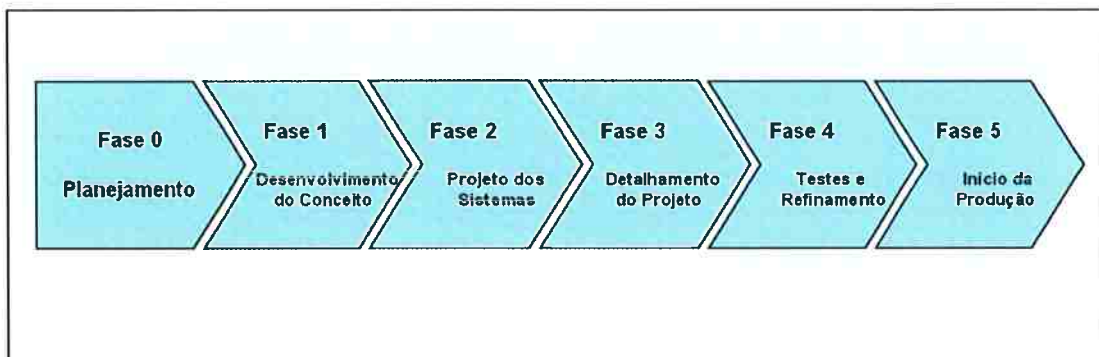


Figura 3.8 – O ciclo de desenvolvimento de produtos

No entanto, Clark e Fujimoto (1991) apontaram várias desvantagens desta abordagem tradicional, tais como dificuldade em projetar com simplicidade e confiabilidade, fracasso no tratamento de questões sobre a qualidade do produto manufaturado, longo tempo gasto no desenvolvimento, fraco envolvimento com os fornecedores, e baixo comprometimento com a melhoria contínua. Com objetivo de superar estas desvantagens relacionadas com o processo de desenvolvimento de produtos tradicional, a engenharia simultânea propõe a realização de processos simultâneos desenvolvidos por times multifuncionais de desenvolvimento.

Na literatura sobre desenvolvimento de produtos tornou-se uma premissa básica que a engenharia simultânea é um requisito indispensável para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos e para o sucesso da própria organização (CLARK; FUJIMOTO, 1991; WHEELWRIGHT; CLARK, 1992; MORGAN, 2002). Basicamente, a engenharia simultânea é a prática de executar em paralelo, atividades que são necessárias ao desenvolvimento de produtos.

Wheelwright e Clark (1992) sugerem uma estrutura de desenvolvimento de produto que inclui questões organizacionais, tais como: cooperação inter-funcional, aprendizado e formação de competências.

Rosenthal (1992) descreve o uso de *gates* entre as fases de um processo de desenvolvimento e destaca as seguintes funções:

- Forçar a disciplina e a consistência.
- Identificar e reduzir os riscos.
- Alocar recursos.
- Melhorar o controle do projeto.
- Delegar poder ao time de projetos.
- Resolver problemas técnicos do produto.
- Suavizar a passagem do desenvolvimento para a manufatura.

Segundo Rozenfeld (2006) no final de cada fase de desenvolvimento deve haver uma revisão e aprovação formal dos produtos. Adota-se o termo em inglês *gate*, que traduzido literalmente significa portão. Quer dizer, é a passagem de uma fase para outra. A introdução da sistemática formalizada de *gates* é uma prática que traz grandes benefícios para o desempenho da empresa. Ainda segundo Rozenfeld (2006) a realização de *gates* é uma atividade coletiva e, tal como, acontece basicamente por meio de reuniões.

A abordagem da engenharia simultânea combinada com as abordagens por *gates* pode ser rotulada de *Desenvolvimento Integrado de Produtos*.

Rozenfeld (2006, p.19-20) apresenta as principais características desta abordagem, como reproduzido abaixo:

- O desenvolvimento de Produtos é visto como um processo.
- A P&D e o DP são inseridos na estratégia geral da empresa e de sua cultura.
- O uso de projetos plataforma e modularizados para criar grande variedade de produtos, atendendo aos diferentes segmentos, com baixo investimento.
- O desenvolvimento de tecnologias e de produtos é visto como fundamental para a estratégia e a capacidade competitiva da empresa, e faz parte das preocupações maiores da alta administração.
- Há simultaneidade e superposição de informações e atividades
- Há maior capacidade e intensidade de comunicação entre os setores e departamentos, possibilitando forma de trabalhos em grupo.
- Os projetos são conduzidos por meio de times de desenvolvimento multifuncionais.
- Os fornecedores são envolvidos desde o início do desenvolvimento e há mais facilidade de fazer alianças estratégicas para o projeto.
- Os projetos são constantemente submetidos à revisão e avaliação técnica e de custos, bem como do seu alinhamento com a estratégia de marketing e de produto.
- Os recursos aplicados no DP devem ser justificados pelas necessidades e são controlados e avaliados constantemente.
- Os profissionais tendem a serem mais generalistas; na carreira, há promoção tanto vertical quanto horizontal e há muita mobilidade de pessoal internamente para áreas externas, para outras áreas da organização.
- O treinamento e a seleção de pessoal reforçam os atributos mais gerais, como a capacidade de trabalho em grupo. A visão ampla é tão importante quando a especialidade ou a competição técnica.
- O estímulo à participação das áreas envolvidas ocorre em todas as fases dos projetos de desenvolvimento, mas, particularmente no início, ela é fundamental para que haja consenso sobre os parâmetros básicos dos projetos, evitando divergências posteriores. Desse modo, tomadas as decisões básicas de modo consensual, o projeto pode transparecer de forma mais fluida e sem divergências.

Desta forma o projeto pode ser representado por fases, com *gates*, nos quais o projeto deve ser verificado e aprovado, mas as atividades não necessariamente devem começar e terminar dentro de uma mesma fase. As atividades, além de

serem sobrepostas, podem passar por duas ou mais fases, como representado na Figura 3.9.

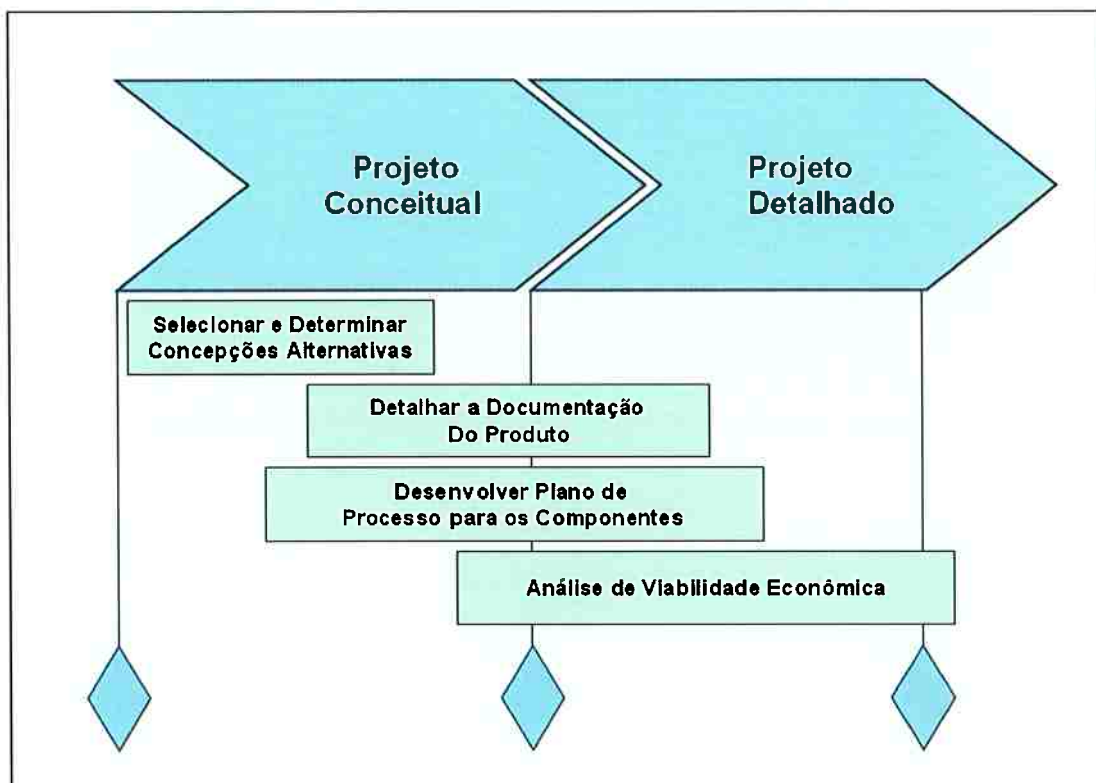
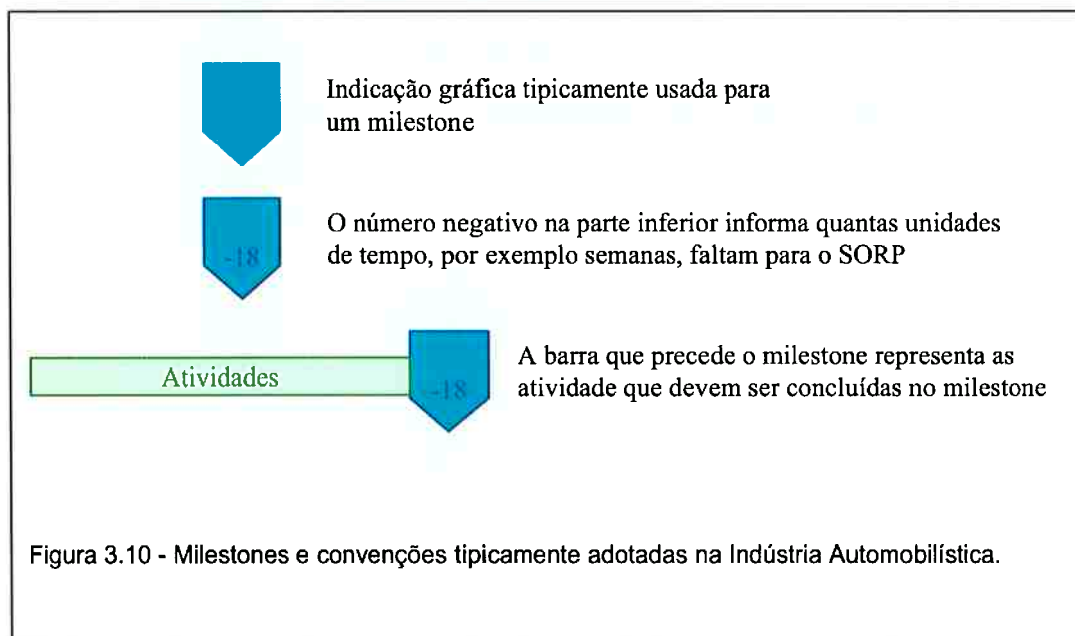


Figura 3.9 – Exemplo de sobreposição de atividade nas fases do processo de desenvolvimento de produtos. Adaptado de Rozenfeld (2006)

Os protótipos virtuais possuem várias características que atendem as necessidades desta abordagem 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.

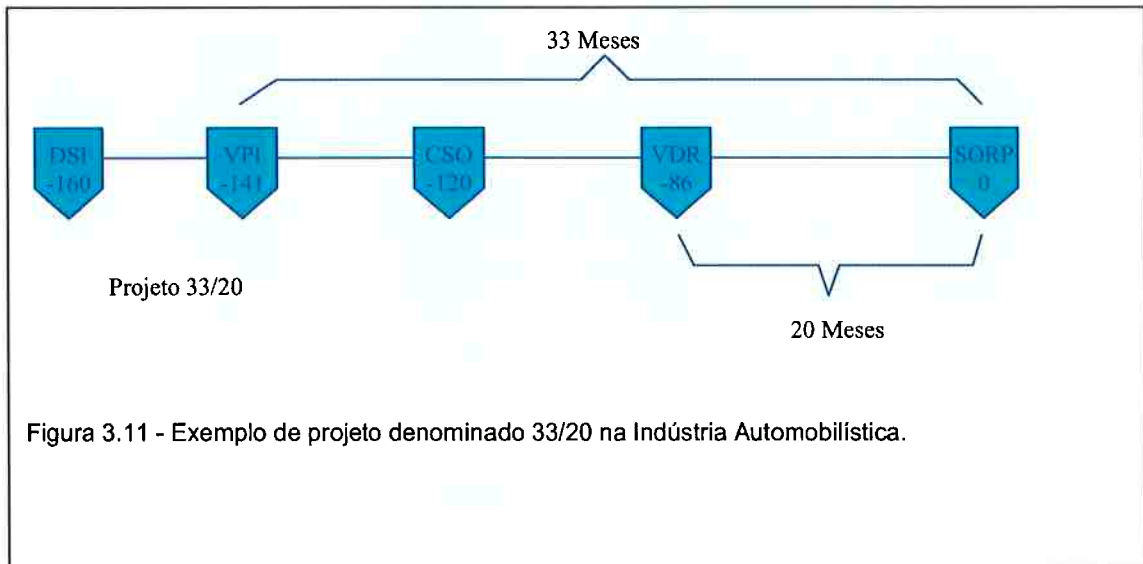
Um PDP define “O que deve ser feito” e “Quando deve ser feito”. Aos departamentos funcionais fica a responsabilidade de definir “Como deve ser feito” e “Qual é o ambiente de trabalho”. A Figura 3.10 mostra uma forma de representar os “*milestones*” e as atividades em um diagrama do tipo “*milestones templates*”. Estes diagramas são usados para verificar a saúde do programa em um dado ponto no tempo. Identificam a data de finalização de uma atividade importante. Podem gerar planos de ações de correção. Os “*milestones*” indicam o final de um importante período de trabalho. As entregas (*deliverables*) são um conjunto integrado de instruções multifuncionais que definem quais atividades devem ser completadas durante o desenvolvimento do produto.



Um projeto pode ser nomeado em termos do tempo necessário para a execução das atividades entre seus principais “*milestones*”, por exemplo, pode-se usar a distância temporal entre o VPI (*Vehicle Program Initiation*) e o SORP (*Start of Regular Production*) e a distância temporal entre o VDR (*Verified Data Release*) e o SORP. Estes são os eventos tipicamente usados para medir o tempo de desenvolvimento de um produto Indústria Automotiva, como ilustra a Figura 3.11.

Antes do VPI, várias atividades são realizadas, tais como a definição da arquitetura do veículo, a definição do conteúdo do programa e outras, mas que representam apenas uma pequena parcela do custo total de desenvolvimento de um

novo produto, de forma que se antes do VPI houver uma decisão pelo não prosseguimento do programa a perda financeira é pequena.



Um dos principais "*deliverables*" que se deve obrigatoriamente ter antes do VPI é o "Tema Aprovado do Veículo". Para se chegar nele os recursos de Realidade Virtual já são usados (Cherry, 2004).

Pugh (1991) alerta para a possibilidade do processo de desenvolvimento de produto ser tratado sob duas abordagens: o processo dinâmico para produtos inovadores e o estático para o produto convencional. O *processo estático* é aplicado para produtos cujos conceitos base são considerados fixos por longos períodos de tempo e as mudanças do produto estão no nível de componentes e subsistemas. Pugh (1991) cita como exemplos de produtos que seguem o processo estático os navios, as bicicletas, os automóveis entre outros. No processo de desenvolvimento de produto estático a seqüência das fases iniciais do processo equivale a especificações de mercado, design conceito – que neste caso já está previamente definido nas especificações de produto. O desenvolvimento de novos modelos de veículos na indústria automobilística tende a seguir o *processo estático*, mas pode apresentar também desenvolvimentos dinâmicos, como é o caso dos motores multi-combustível (*flex*).

O *processo dinâmico* é aplicado para produtos inovadores onde as mudanças não ocorrem somente no nível de componentes, mas na formação do

conceito geral do produto. Neste caso, segundo Pugh (1991), as fases iniciais do desenvolvimento de produto seguem as especificações de mercado, especificações de produto e design conceito. Como exemplo de processo dinâmico pode-se citar o processo de desenvolvimento do forno de microondas na época de sua criação ou o desenvolvimento de motores com combustíveis alternativos.

É comum que empresas do ramo automotivo possuam PDPs altamente detalhados e focados no tipo de produto que desenvolvem. O processo dinâmico somente é usado para o desenvolvimento de novas tecnologias, que quando validadas, são colocadas à disposição dos grupos que trabalham no desenvolvimento de novos modelos.

3.4.2 Tipos de projetos de novos produtos

Segundo Ulrich e Eppinger (2000) os projetos de novos produtos, de forma geral, podem ser divididos em quatro categorias:

- ◆ **Novas plataformas de produtos:** Este tipo envolve um grande esforço de desenvolvimento para criar uma nova família de produtos baseada em uma nova, mas comum, arquitetura.
- ◆ **Derivativos de uma plataforma existente de produtos:** Estes projetos criam novos produtos a partir de uma arquitetura de produtos já existente, com o objetivo de preencher uma lacuna em um mercado já conhecido.
- ◆ **Melhorias incrementais em produtos já existentes:** Estes projetos apenas mudam ou adicionam alguns detalhes do produto com o objetivo de manter a linha de produtos atualizada e competitiva.
- ◆ **Produtos conceitualmente novos:** Estes projetos envolvem a criação de produtos radicalmente novos, com inovação no produto e ou no processo de produção do produto. Podem significar a entrada em um mercado novo para a empresa.

Segundo Rozenfeld (2006) um dos critérios que podem ser usados para classificar um projeto de desenvolvimento de produto é o grau de mudanças que o projeto apresenta em relação a projetos anteriores. Esta classificação pode refletir

especialidades de cada setor. Na Figura 3.12 é mostrada a classificação de projetos de desenvolvimento de produtos usual para os setores de bens de capital e de bens de consumo duráveis.

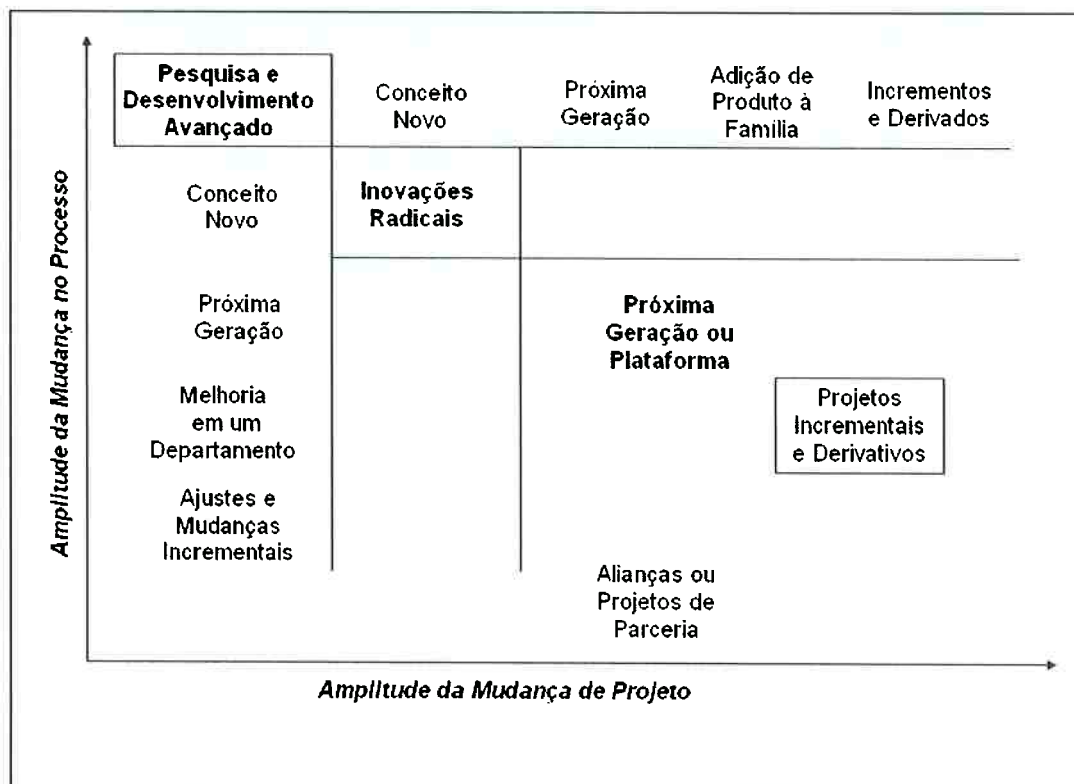


Figura 3.12 – Tipos de projetos de desenvolvimento de produtos. Adaptado de Rozenfeld (2006)

- **Projetos Radicais:** São os que envolvem significativas modificações no projeto do produto ou do processo existente, podendo criar uma nova categoria ou família de produtos para a empresa. A incorporação de novas tecnologias e materiais neste tipo de projeto normalmente implica em um processo de manufatura também inovador.

- **Projetos plataforma ou próxima geração:** normalmente representam alterações significativas no projeto do produto e/ou no processo. Porém, não apresentam introdução de novas tecnologias e materiais. Como estes projetos representam um novo sistema de soluções para o cliente, eles podem representar uma próxima geração de um produto ou de uma família de produtos anteriormente existente.
- **Projetos Incrementais ou derivados:** envolvem projetos que criam produtos e processos que são derivados, híbridos ou com pequenas modificações em relação aos projetos já existentes.

Os PVs podem ser usados em qualquer tipo de projeto, mas neste trabalho o foco é o uso de protótipos virtuais em projetos do tipo “Próxima Geração ou Plataforma” e do tipo “Projetos Incrementais e Derivativos”. Estes tipos de projeto são mais freqüentes na indústria automobilística brasileira.

4 CONSTRUÇÃO DO QUADRO TEORICO

Neste capítulo apresenta-se a construção do quadro teórico desta dissertação, que utilizou como fonte de referência as publicações SAE *Technical Paper Series* e o periódico acadêmico "*Computer-Aided Design*", no período de 1999 a 2006.

Para a elaboração deste quadro teórico seguiu-se o procedimento de busca apresentado no Capítulo 2 desta dissertação. A seguir é apresentada a análise detalhada dos artigos citados de metodologia, seção 2.3.2, e nos Apêndice A e B.

4.1 ANÁLISE GERAL DOS PROCEDIMENTOS DE BUSCA NA LITERATURA

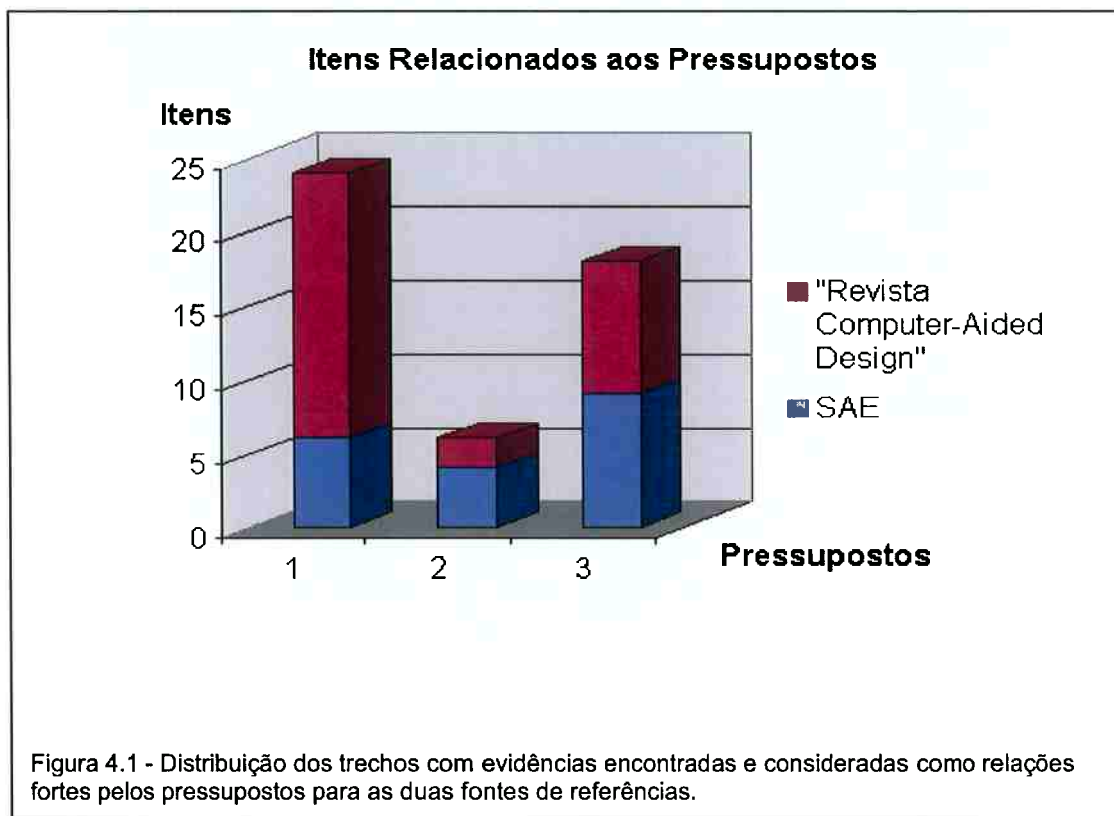
Nesta análise geral foram identificados todos os trechos dos artigos que apresentam relação com as questões de pesquisa desta dissertação. As relações foram classificadas em "fortes" ou "fracas".

Os artigos que não apresentaram relação com as perguntas da pesquisa tratavam, em geral, de técnicas de programação ou dos algoritmos usados para desenvolver os softwares que suportam os PVs ou ainda de protótipos de softwares,

Alguns artigos também foram descartados por apresentarem uma conotação predominantemente comercial, tratando de um software ou sistema específico.

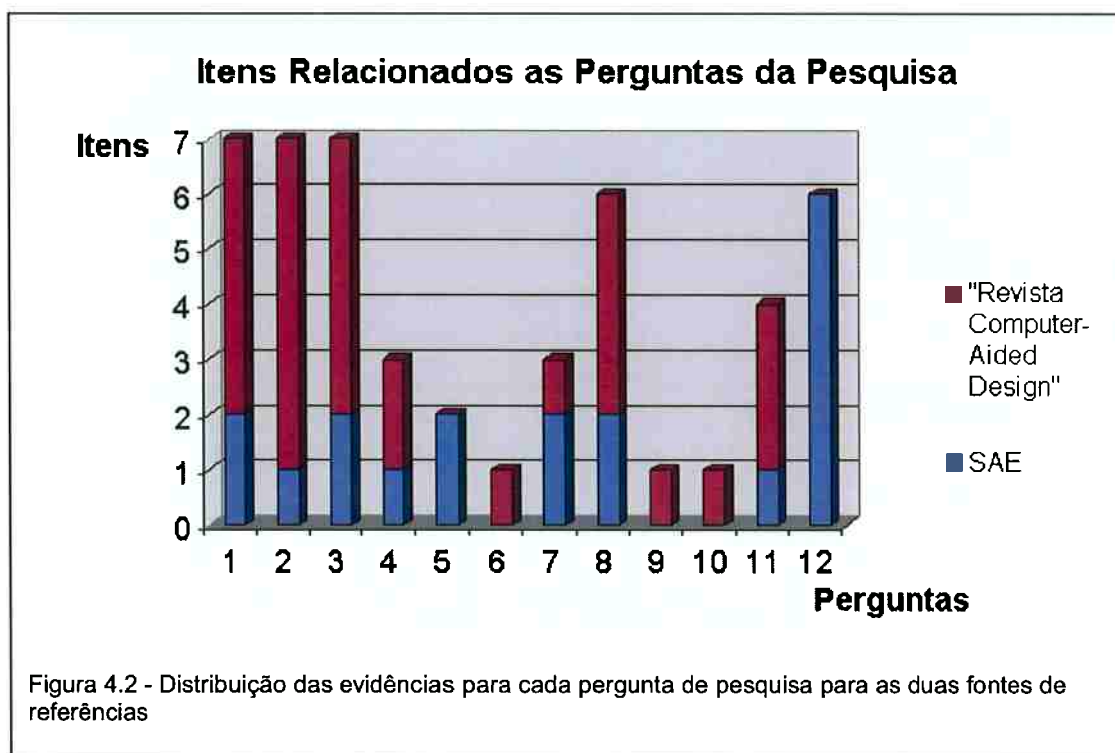
Assim dos 12 artigos da SAE selecionados inicialmente, ficaram 7 artigos nos quais foram encontrados 19 trechos que podem ser classificados com relação forte com uma ou mais das perguntas da pesquisa, e dos 28 artigos da revista *Computer Aided Design* selecionados inicialmente, ficaram 12 artigos, em que foram encontrados 29 partes classificadas com relação forte. Nos artigos em que havia mais de um trecho para uma mesma questão de pesquisa foi escolhido apenas o mais significativo para efeito da contagem, embora mais de um trecho possa estar sendo comentado nos itens seguintes.

Numa primeira análise foram encontrados trechos com evidências nos artigos selecionados que fornecem sustentação aos pressupostos. As evidências se distribuem pelos pressupostos como mostrado na Figura 4.1.



Numa análise mais aprofundada foram separados trechos de cada artigo que podem ser considerados como relacionados a cada uma das perguntas da pesquisa. Nesta análise dos artigos foi verificado que as perguntas de pesquisa que mais refletiram as preocupações dos autores foram as perguntas 1, 2 e 3 com sete trechos relacionados como "fortes" cada uma, seguidas pela questões 8 e 12 com seis trechos. Estes números já apresentam uma indicação de que as preocupações principais ainda são voltadas para os softwares e hardwares necessários para que o sistema seja capaz de lidar com protótipos virtuais e para o resultado final do uso de

PVs no processo de desenvolvimento de produtos das empresas. A distribuição dos trechos por pergunta da pesquisa pode ser vista na Figura 4.2.



A síntese das relações encontradas nos artigos analisados está nas Tabelas 4.1 e 4.2, para os textos da SAE e da *Computer Aided Design*, respectivamente. As tabelas relacionam os artigos com os pressupostos e as questões de pesquisa desta dissertação.

Tabela 4.1 – Síntese das relações encontradas nos artigos analisados com as questões da pesquisa para os artigos da SAE

Autor(es) / Ano Publicação	Pressuposto 1				Pressuposto 2			Pressuposto 3					
	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9	Questão 10	Questão 11	Questão 12	
Gerth 2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	□
Eberhard e Brewerton 2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
Verma 2006	-	-	-	-	□	-	-	□	-	-	✓	-	-
Cachat 2005	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Khalaf et al 2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
Hosagrahara e Smith 2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cafeo e Thacker 2004	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	□	□	-
Boudry et al 2004	-	-	-	-	-	-	□	-	-	-	-	-	□
Ranky 2003	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soper 2003	□	□	□	□	□	✓	□	□	-	-	-	-	□
Clemerte 2003	□	-	□	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	□
Zwaanenburg 2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	□
Total por Questão	2	1	2	1	2	0	2	2	0	0	1	6	
Total por Pressuposto	6				4			9					
Legenda	□ Relação Forte				✓ Relação Fraca			- Sem relação					

Tabela 4.2, parte1 – Síntese das relações encontradas nos artigos analisados com as questões da pesquisa para os artigos da revista Computer Aided Design

Autor(es) / Ano Publicação	Pressuposto 1				Pressuposto 2			Pressuposto 3				
	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9	Questão 10	Questão 11	Questão 12
Chen et al 2006	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gu, Tang e Frazer 2006	☑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sudarsan et al 2005	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	-	-	-	-
Subramania e Gurumoorthy 2005	☑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li, Ong e Nee 2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li, W.D. et al 2005	☑	☑	-	-	-	-	-	☑	-	-	-	-
Fuxin 2005	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>	-	-	-	☑
Fuh e Li 2005	-	-	-	-	☑	-	☑	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-
Piegl 2005	☑	-	-	-	-	-	-	☑	-	-	-	-
Field 2004	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	<input type="checkbox"/>	-	-	<input type="checkbox"/>	-
Dankwort et al 2004	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	☑	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Kim et al 2004	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cera et al 2004	☑	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Theodosiou e Sapidis 2004	☑	☑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Choi e Chan 2004	-	-	-	☑	-	-	<input type="checkbox"/>	-	-	-	-	☑
continua												

Tabela 4.2, parte 2 – Síntese das relações encontradas nos artigos analisados com as questões da pesquisa para os artigos da revista Computer Aided Design

continuação	Pressuposto 1				Pressuposto 2			Pressuposto 3				
Autor(es) / Ano Publicação	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9	Questão 10	Questão 11	Questão 12
Wang et al 2002	-	-	-	-	☹	-	-	-	-	-	-	-
Chen, Feng e Ding 2002	☹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zhang e Xue 2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chen e Li 2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oh, Han e Suh 2001	-	☐	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yin, Ding e Xiong 2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	☹
Abrahamson et 2000	☐	☐	☐	☹	☹	-	☹	-	-	-	-	-
Tolone 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Regli e Cicirello 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huang, Huang e Mak 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bsharah e Less 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xue, Yadav e Norrie 1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rezayat 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	☐	-
Total por Questão	5	6	5	2	0	1	1	4	1	1	3	0
Total por Pressuposto	18				2			9				
Legenda	☐ Relação Forte				☹ Relação Fraca			- Sem relação				

Nas seções seguintes deste capítulo serão comentados os trechos relacionados a cada questão da pesquisa. Destaca-se que nesta seção o termo "Unidade de Análise" se refere a empresa ou organização que o autor de cada artigo usou como objeto de estudo de caso nos respectivos artigos, ou seja, não se trata da unidade de análise estudada nesta dissertação.

4.2 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 1

A questão de pesquisa 1, "*O produto da Unidade de Análise pode ser adequadamente representado por modelos 3D gerados com o uso do software de CAD utilizado na Unidade de Análise?*" marca um dos fundamentos do desenvolvimento virtual de produtos. Em geral os autores dos artigos analisados consideram que o CAD já é uma tecnologia madura e seu uso bem consolidado entre as empresas que trabalham com produtos mecânicos. De forma que as maiores preocupações reportadas nos artigos foram com respeito a detalhes de produtos que ainda não possuem uma forma de representação padronizada entre os diferentes usuários e empresas. Alguns exemplos citados nos artigos com respeito a estes detalhes são: como representar juntas de um sistema mecânico, como representar peças flexíveis e como representar a variação dimensional do processo de produção de uma peça ou de um conjunto de peças. Outra preocupação é com o processo e a disciplina necessária para manter os modelos 3D atualizados e representativos do produto.

Abrahamson *et al.* (2000) colocam que nos últimos anos do século XX o CAD fez uma transição para além dos limites da geometria e passou a incluir estreitas ligações com CAE, gerenciamento das revisões dos desenhos 2D (bidimensional) e dos modelos 3D, lista de materiais, além de otimização paramétrica. Esta colocação mostra que já no ano 2000 o estágio de desenvolvimentos dos sistemas CAD comerciais satisfaziam as necessidades de criação de modelos geométricos e começava uma expansão das funções dos sistemas CAD e da capacidade de comunicação destes sistemas com outros sistemas. Esta visão é reforçada quando Clemente *et al.* (2003) relatam que há alguns anos, o usual na indústria automobilística era que os componentes de um veículo fossem projetados em

desenhos 2D feitos em CAD e os protótipos reais construídos com bases nestes desenhos. Clemente *et al.* (2003) avaliaram que esta técnica não permitia a avaliação virtual de conjuntos nem a integração dos componentes ao veículo de forma digital. Como consequência, para que verificações do projeto pudessem ser feitas era necessária a construção de protótipos físicos. Já nos primeiros anos do século XXI a maioria dos componentes dos veículos passou a ser modelada em sólidos virtuais 3D, com o uso de softwares de CAD. Ainda segundo Clemente *et al.* (2003) estes modelos podiam ser combinados para criar conjuntos de arquivos, e estes montados de forma a representar veículos inteiros, permitindo que diversos tipos de análises e simulações fossem feitos enquanto o produto ainda estava em fase de desenvolvimento.

No mesmo ano, Soper (2003) colocou que grande parte das práticas nas empresas, com relação ao desenvolvimento virtual de produtos, estão centradas em torno do uso de Digitais MockUps (DMUs). Os DMUs são conjuntos de arquivos feitos em CAD, com todas as peças ou sistemas que compõem um produto. O termo DMU normalmente se refere a um conjunto de arquivos que não possui associado o recurso de configuração do produto. No sentido de auxiliar as empresas que querem desenvolver produtos de forma virtual, Soper (2003) aconselhou que uma das práticas que as empresas deveriam adotar é a criação de um produto virtual que servirá como referência para todas as atividades de engenharia durante o ciclo de vida do produto, incluindo as análises e testes. O produto virtual na fase de desenvolvimento pode ser também referenciado como Protótipo Virtual. Este conselho pode ser considerado como a direção da evolução do DMU para algo mais amplo, com muitas aplicações.

Soper (2003) sugere ainda 4 ações para aumentar a confiança no modelo 3D utilizado para compor os PVs. A primeira ação é fazer uma liberação oficial e um processo de manutenção do modelo 3D do produto, que deve ser tido como principal documento do produto. A segunda ação é o estabelecimento de um processo que garanta que os desenhos 2D e os modelos 3D estejam associados e mantidos no mesmo nível de atualização. A terceira ação é a criação de um processo que detecte eventuais falhas de projeto, usando os dados do PV, antes da construção de qualquer protótipo físico. A quarta ação é a criação de um PV que sirva como base para a verificação do processo de montagem do produto, com ênfase na alocação de espaço de cada componente, na análise de interferências e folgas mínimas, e na

validação do processo de montagem utilizado na manufatura. Estas ações devem produzir efeitos rápidos na melhoria do projeto de produtos da empresa e na confiança nos modelos 3D, além de poderem ser implementadas com um custo relativamente baixo.

Fuxin (2005) ressalta a grande importância dos modelos CAD 3D quando cita que no processo de desenho do produto de muitas empresas os modelos geométricos são a espinha dorsal para a representação dos produtos nos estágios iniciais do desenvolvimento de novos produtos. O ambiente CAD e a geração de modelos geométricos 3D são muito importantes, dado que a eficiência das empresas no desenvolvimento de produtos depende de sua capacidade de explorar seus recursos de modelação geométrica e de torná-la disponível para um número muito maior de usuários do que aqueles que trabalham nas tradicionais funções de desenho de produto. Neste trecho é mostrada que já existe um delineamento de tipos de usuários que utilizam um protótipo virtual dentro de uma empresa. Existem os usuários que criam os arquivos contendo a geometria das peças que compõem os protótipos virtuais, que seriam os usuários que trabalham nas tradicionais funções de desenho de produto, e existem os usuários que apenas visualizam esta geometria em busca de informações, que seriam usuários que passam a ter suas atividades impactadas pela existência do PV na empresa. Estes grupos podem ser denominados respectivamente de "Criadores" e de "Visualizadores".

Sobre os detalhes físicos e geométricos dos produtos Kim *et al* (2004) apresentam a preocupação de como representar juntas em modelos CAD. Estas juntas podem ser pontos de solda, adesivos, rebites, além de muitos outros. Segundo os autores, falta uma padronização para os diferentes tipos de juntas que podem ocorrer em conjuntos de produtos mecânicos. Eles definem que as relações entre as partes de um conjunto são muito importantes para determinar quais componentes serão montados e como estes componentes serão unidos. Embora neste artigo se trate apenas de conjuntos de peças, a preocupação mostrada pode ser transportada para um PV de um produto completo.

Ligado ainda ao tema de como representar o produto em um modelo CAD 3D, Chen *et al* (2006) levantam a questão de como fazer a representação da variação dimensional dos produtos físicos em um modelo matemático. Segundo eles, em conjuntos de "sheet metal", ou peças feitas de chapas de metal, as variações dimensionais para um dado processo decorrem principalmente de três fontes:

variações da peças, variação do ferramental e variações do processo. Para cada solução de seqüência de montagem e tipos de juntas, tolerâncias de determinadas dimensões de cada peça podem ser calculadas para satisfazer os valores especificados para as dimensões principais, que são obtidas na montagem de conjuntos compostos por vários componentes. Porém, este cálculo é feito em um software separado do sistema CAD. Este artigo mostra que este é um ponto que merece ser mais desenvolvido e integrado ao sistema CAD, para poder ser trabalhado diretamente junto com o uso de PVs.

Quanto à adequação dos sistemas CAD ao projeto de produtos mecânicos, Field (2004) colocou que algumas características, tais como tempo para salvar os arquivos, criação da geometria, manutenção dos dados e precisão do modelo, que há alguns anos eram questionadas e/ou vistas como problemas, hoje são pontos que mostram a qualidade e a robustez dos sistemas CAD. Segundo Field (2004) a melhoria contínua e o grande avanço tecnológico ocorrido neste campo deram força para que o CAD passasse a exercer um papel central no desenvolvimento de produtos na indústria automotiva.

Dadas às evidências apresentadas nos artigos considera-se que a questão de pesquisa número 1 está bem colocada, uma vez que se trata de um item básico para quem deseja trabalhar com protótipos virtuais. Observa-se que ao longo do tempo, as restrições de representação foram sendo reduzidas, mas que ainda algumas características demandam cuidados, desta forma, uma questão adicional que pode ser investigada durante as entrevistas na unidade de análise é se eles têm ou tiveram dificuldades com a representação de algum detalhe do produto.

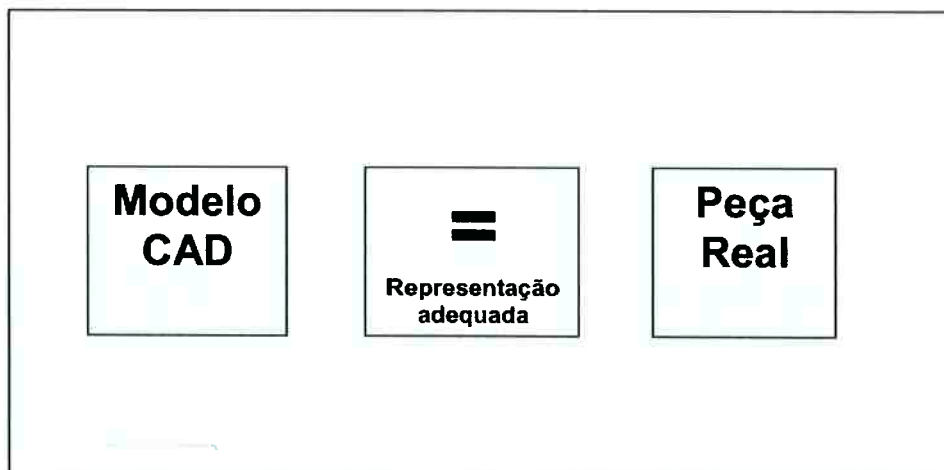


Figura 4.3 – Representação esquemática do primeiro item básico para se trabalhar com PVs.

4.3 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 2

A questão de pesquisa 2, "*O desenvolvimento e a manutenção dos produtos da Unidade de Análise pode ser adequadamente controlado pelo sistema de PLM utilizado na Unidade de Análise?*" reflete uma preocupação de quem deseja trabalhar com protótipos virtuais em seu processo de desenvolvimento de produtos. Foram identificadas em 7 dos artigos analisados respostas possíveis a esta pergunta.

O uso do PLM no controle das informações dos produtos é algo recente na indústria automobilística. Analisando as evidências que foram encontradas nos artigos vemos que no período de 2000 a 2001 as maiores preocupações eram com relação aos critérios que deveriam ser observados ao se fazer a escolha do sistema mais adequado a empresa. Adicionalmente, havia preocupação com a própria definição do termo PLM e sua distinção com relação ao PDM (*Product Data Management*). A preocupação com a escolha do sistema é mostrada por Abrahamson *et al.* (2000), quando destacaram que a integração proporcionada pelos sistemas PLM pode esconder alguns pontos de difícil decisão para as empresas. Como exemplo os autores citaram a decisão de escolha entre um sistema padrão ou

um sistema customizado. No primeiro caso os indivíduos ou as empresas envolvidos com uma solução padrão podem não reconhecer o valor dos processos e das metodologias existentes na empresa. Por outro lado, a customização tem seus custos associados, como por exemplo, o tempo dos profissionais para fazer a customização e a manutenção do sistema. Abrahamson *et al.* (2000, pg 98) colocaram que um ponto importante a ser considerado pela empresa no momento da escolha do sistema é a forma como irá ocorrer a interação entre as pessoas e as novas ferramentas.

Oh, Han e Suh (2001) dão uma definição funcional de PDM. O PDM é uma ferramenta que auxilia os engenheiros no gerenciamento tanto dos dados de engenharia como do processo de desenvolvimento de produtos através de todo o ciclo de vida do produto. As quatro principais funções que podem ser beneficiadas pelo uso de um sistema PDM, segundo estes autores são: 1 - o gerenciamento de banco de dados; 2 - o gerenciamento de processos; 3 - o gerenciamento da estrutura e a classificação do produto; 4 - o gerenciamento do programa do produto. Os sistemas de PDM são usados para reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e eles devem ter a capacidade de comunicarem dados diretamente com o sistema de CAD.

Já o PLM pode ser considerado como algo mais amplo. Soper (2003) escreveu a seguinte definição para PLM: "O PLM - *Product Lifecycle Management* - é uma combinação de software, hardware, serviços e consultoria que possibilitam as empresas a melhorarem o desempenho e a competitividade de seus negócios, pela integração da informação sobre seu produto através de todos os estágios do ciclo de vida do produto, assim como a integração das funções do negócio que suportam estes estágios". Desta forma o PLM abrange mais do que o gerenciamento da informação referente à geometria do produto.

Indo mais além, com relação ao Produto Virtual, Soper (2003) argumenta: "O Produto Virtual é o estado ideal do PLM, uma operação na qual o produto é desenhado, prototipado, testado, manufaturado e até testado quanto à serviços. Tudo isto em um ambiente 3D virtual, antes que algo aconteça no mundo real". Para este autor, conduzindo todos estes processos em uma realidade virtual, sem a necessidade de papel ou de protótipos físicos, será possível a geração dos valiosos benefícios potenciais do PLM, tanto no ponto de vista do produto físico, quanto do

ponto de vista dos negócios. A visão de Soper (2003) sobre o Produto Virtual está esquematizada na Figura 4.4, adaptada para a indústria automobilística.



Figura 4.4 - Adaptação para a indústria automobilística da representação esquemática apresentada por Soper (2003) sobre o Produto Virtual.

Dankwort *et al.* (2004) citam o PDMS - *Product Data Management System* - como a espinha dorsal do moderno desenvolvimento de produtos. Eles também informam que o PDMS está sendo ampliado para suportar todo o ciclo de vida de um produto. A expansão do PDM com a inclusão da capacidade de gerenciar dados relativos ao produto, mas não relacionados diretamente ao CAD, conduz a um sistema de PLM.

Ainda em 2003, entre as preocupações apresentadas nos artigos analisados aparecem também a correta aplicação, implementação e uso da ferramenta. Assim Soper (2003) destaca as vantagens potenciais do uso de softwares de PLM para o desenvolvimento e controle de produtos, tais como: reduzir o tempo dos ciclos de desenvolvimento, aumentar a produtividade, reduzir os custos de materiais, reduzir o número de modificações de engenharia e reduzir o número de funcionários necessários na atividade de desenvolvimento de produtos. Com tantas vantagens o PLM tornou-se uma ferramenta com significativo potencial de reduzir custos existentes, atualmente para empresas do ramo de manufatura. No entanto Soper (2003) ressalta que apesar de todas estas vantagens em potencial, elas só são atingidas se o sistema PLM for adequadamente aplicado e utilizado na empresa. Isto requer além do investimento em software, hardware e treinamento uma mudança cultural da empresa e a adaptação de todo o seu processo de desenvolvimento de produtos.

Cera *et al* (2004) mostram que os sistemas de desenvolvimento de produtos informatizados facilitam a comunicação de dados entre empresas, porém, fazem aumentar a preocupação com a segurança de dados confidenciais, especialmente em trabalhos onde existe a colaboração entre diversas empresas. Uma das preocupações citadas é de que as empresas não passem mais informações do que as que são realmente necessárias para os demais parceiros que irão atuar em alguma parte do projeto possam desenvolver as suas atividades. Este controle do acesso aos dados de CAD é uma capacidade que o sistema de PLM deve ter quando se trabalha em colaboração com outras empresas.

Fuxin (2005) escreve sobre o GMP - *Geometry Management Process*. Pela descrição dada pelo autor, este sistema faz as funções de um sistema PDM além de outras ligadas ao gerenciamento de informações do produto. O autor coloca que este sistema lida com aspectos organizacionais. Segundo o autor este tipo de sistema deve focar em quem são os usuários da geometria. Outro ponto que ele destaca é que se deve saber responder quais são os requisitos da geometria que representa o produto. Para tanto é necessário conhecer as necessidades dos usuários que usam esta geometria como fonte de informação para a execução de suas atividades. Ao sistema que é capaz de lidar com as variações de um produto e permitir ao usuário configurar a versão que ele deseja ver é dado o nome de GBPI - *Gometry-Based Product Information*. Para lidar com estas variações do produto em

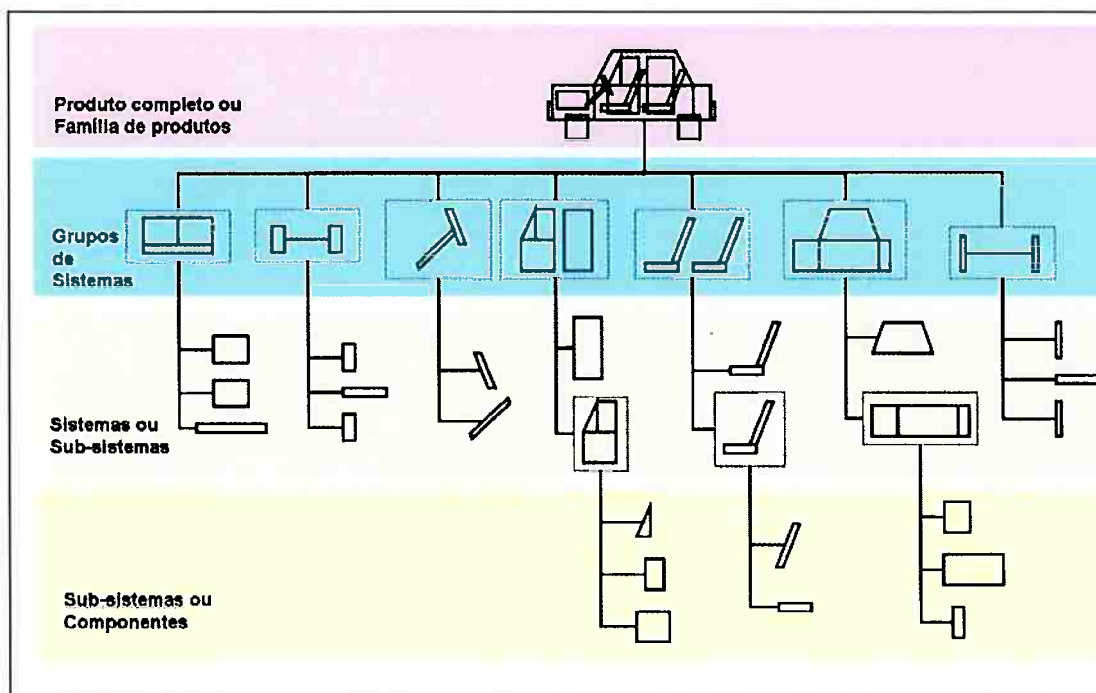


Figura 4.5 – Adaptação para a indústria automobilística da representação esquemática apresentada por Fuxin (2005) para a estrutura de organização de arquivos.

comenta que existe na empresa uma estrutura organizada onde os arquivos são colocados, como representado na Figura 4.5. Estes sistemas descritos por Fuxin (2005) são aplicados em uma empresa da área automotiva.

Segundo Sudarsan *et al.* (2005) sistemas de PLM estão ganhando aceitação para o gerenciamento de toda a informação sobre os produtos de uma empresa através do ciclo completo de vida de um produto. Um aspecto crítico dos sistemas PLM é o modelo da arquitetura de informação do produto. O conceito de PLM é uma estratégia de negócios para a efetiva criação, gerenciamento e uso do capital intelectual da empresa, desde a concepção de um produto até a sua retirada do mercado. Sudarsan *et al.* (2005) identificam os elementos que contribuem para a funcionalidade dos PLMs, quais sejam: a infra-estrutura de TI, o modelo da arquitetura de informação do produto, as ferramentas de desenvolvimento e o conjunto de aplicações específicas para o negócio da empresa.

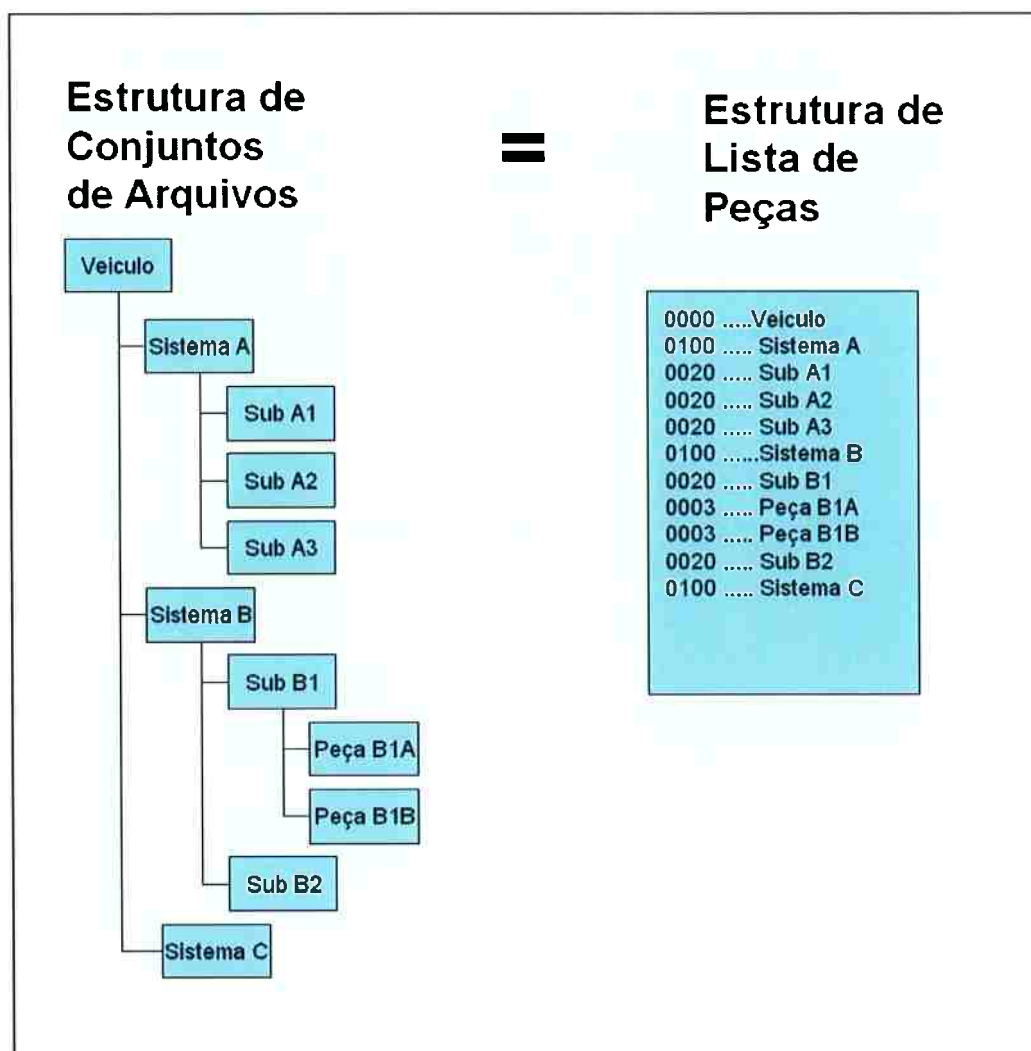


Figura 4.6 – Representação esquemática do segundo item básico para se trabalhar com PVs. O sistema CAD deve ser capaz de fazer a mesma estrutura utilizada a lista de peças de cada produto

Um ponto comum a todos os autores citados acima é que existe tendência do uso do PDM para se gerenciar os dados CAD e outras informações referentes aos produtos das empresas. Quando a variedade da informação cresce e o gerenciamento proporcionado pelo *software* passa a todo o ciclo de vida de um produto passamos a ter um sistema PLM. Este sistema é um ponto importante para

que possa ser possível a visualização e a configuração de um protótipo virtual em qualquer fase do desenvolvimento de um produto e também o protótipo virtual correspondente a qualquer etapa do ciclo de vida de um produto. Sendo assim considera-se que a questão 2 da pesquisa está bem fundamentada nos artigos analisados, uma vez que a criação de protótipos virtuais está estreitamente relacionada como o gerenciamento dos dados do produto através das etapas de seu ciclo de vida.

4.4 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 3

Quanto a questão de pesquisa 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?", para a qual foram encontradas 7 citações relacionadas, podemos perceber que os autores consideram fato consumado que para o uso das ferramentas de CAD em uma estação de trabalho local o hardware existente no mercado atualmente já é suficiente para a maioria das aplicações relacionadas a PVs. As maiores preocupações estão relacionadas com as redes que precisam ter velocidade de tráfego de dados cada vez maiores, com o número crescente de usuários e com o desenvolvimento de ferramentas que permitam o uso colaborativo do CAD, entre usuários de diversas localizações de uma empresa e mesmo entre empresas diferentes. Estas preocupações incluem a facilidade do uso, a forma de integração dos usuários, a segurança ao acesso de dados confidenciais, além de muitas outras.

Abrahamson *et al.* (2000) colocam três condições que devem ser observadas na estrutura de TI das empresas que desejam utilizar o desenvolvimento virtual de produtos: 1 - A arquitetura do sistema de informação deve permitir a distribuição e participação de diferentes usuários em diferentes ambientes, sem que estes tenham que fazer grandes investimentos em treinamento no sistema, nas ferramentas ou linguagens de modelação ou em outras particularidades que estejam além das especializações profissionais de cada usuário; 2 - o sistema deve permitir que cada usuário trabalhe com as ferramentas, representações, simulações ou modelos que forem mais convenientes para seu domínio; 3 - flexibilidade para um crescimento

robusto, mudanças, revisões, reuso de modelos e inclusão de ferramentas para resolver problemas.

Soper (2003) aconselhou que as empresas que querem trabalhar com o desenvolvimento virtual de produtos passem a otimizar a infra-estrutura de TI e os sistemas usados para dar suporte ao Produto Virtual. No mesmo ano Clemente et al. (2003) destacaram que instalações de CAD/CAE/CAM/PIM (Product Information Management) com estações de trabalho e servidoras conectando as diversas plantas de uma empresa, além de soluções de visualização que permitam que diversas áreas vejam os modelos de CAD em computadores com configurações inferiores as das estações de trabalho de engenharia, são pontos importantes para tornar mais ágil o desenvolvimento virtual de produtos.

Dankwort et al. (2004) colocam que o processo de criação de produtos recorre cada vez mais ao processo de geração de produtos virtuais. Lembrando que o processo se caracteriza pelo uso de "Engenharia Simultânea", o que eles definem como "realizar diferentes etapas do processo ao mesmo tempo" e de "Engenharia Concorrente", o que eles definem como "desenvolver componentes complementares em paralelo". Estas características do processo de criação virtual de produtos geram uma quantidade muito grande de dados, os quais, segundo Dankwort et al. (2004) devem ser controlados por um sistema eficiente de PDM.

Field (2004) cita que o hardware que suporta os sistemas CAD teve grande avanço nos últimos anos, como exemplos eles citam o grande aumento da velocidade e da capacidade de processamento dos computadores. Atualmente, os sistemas CAD com recursos para modelação de sólidos 3D permitem a visualização em tempo real e a manipulação de uma realidade virtual 3D.

Segundo Fuxin (2005), a formalização e o gerenciamento da configuração da estrutura de dados de um produto envolvem vários itens vitais: sistemas de CAD, sistemas de visualização e sistemas de gerenciamento de dados (PDM) combinados com metodologia de trabalho e processos apropriados. Processos estes que devem ser elaborados minuciosamente.

Sudarsan et al. (2005) colocam que a infra-estrutura de TI é a fundação para possibilitar o uso os PLMs, incluindo os PVs. Segundo eles esta infra-estrutura de TI inclui hardware, software e tecnologias de Internet, suportados por linguagens de programação.

Dadas às evidências encontradas considero a questão de pesquisa número 3 também está bem colocada. Trata-se de outro item básico para quem deseja trabalhar com protótipos virtuais, ter um hardware compatível com as necessidades dos softwares e da quantidade de dados que é usada. A falta de hardware compatível pode provocar lentidão no sistema, freqüentes quedas de sistema, travamento de estações de trabalhos e outros inconvenientes que acabam minando a confiança dos usuários no sistema.

4.5 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 12

Outra pergunta que encontrou bastante respaldo na literatura foi a questão de pesquisa 12, "Qual é o resultado do uso de protótipos virtuais na Unidade de Análise?", com 6 citações relacionadas. Percebe-se na leitura destes artigos que várias empresas já estão usando os PVs em seus processos de desenvolvimento de novos produtos sendo que algumas delas já estão atingindo níveis bem avançados do uso dos PVs. As evidências encontradas quanto ao resultado deste uso de PVs foram todas de relatos qualitativos. Nenhum dado quantitativo foi encontrado.

Um motivo provável pode ser a falta de uma metodologia que resulte em uma métrica que mostre o resultado desta técnica, principalmente para se quantificar o quanto se ganhou de dinheiro e de tempo. Muitas vezes faltam também as métricas de como era o desenvolvimento de produtos sem o uso das ferramentas virtuais para poder se calcular quanto de fato foi o ganho obtido. Neste sentido Soper (2003) aconselha as empresas que estão trabalhando com protótipos virtuais a criarem um sistema para medir e gerenciar o valor adicionado pelo produto virtual.

De acordo com Zwaanenburg (2002) muitas montadoras de veículos usam protótipos virtuais de sistemas como chassis, sistema de direção, sistemas de freios e outros para diversos tipos de análises. A combinação destes sistemas virtuais permite a construção de protótipos de veículos de forma inteiramente virtual, permitindo que seja feito um maior número de análises, além de mais completas, comparado com o que se fazia antes de iniciarem a construção de PVs. Segundo Zwaanenburg (2002) o crescente uso dos PVs nas empresas do ramo automotivo pode ser explicado por dois motivos. Primeiro é que um PV custa muito menos do

que um PF. Segundo é que um PV pode ser criado muito mais rapidamente e muito antes do que poderia ser feito para um PF. Como resultado o PV reduz o risco do projeto muito antes do que seria possível se fosse usado somente PF.

Segundo Clemente *et al.* (2003) diversos tipos de análises são feitos de modo digital, reduzindo o número de protótipos físicos em alguns casos e até mesmo eliminando totalmente protótipos físicos em outros casos. Como exemplo de análise os autores citam as análises de folgas entre componentes. Segundo eles a redução de custos obtida pela redução de protótipos físicos é grande, porém difícil de quantificar porque os projetos atuais, com o uso de recursos digitais, ocorrem em um ambiente muito diferente dos projetos antigos, os quais foram feitos antes da introdução destas ferramentas.

Boundy *et al.* (2004) descrevem uma técnica para se criar protótipos 3D virtuais a partir de desenhos de estilo 2D. Segundo eles relatam, com esta técnica consegue-se uma redução de tempo em relação ao processo tradicional, onde os protótipos de estilo são feitos em "Clay".

Cafeo e Thacker (2004) citam que os modelos numéricos são usados para completar a fase de desenvolvimento de um novo produto mais rapidamente do que se fossem usados protótipos físicos para a verificação do projeto e obter a resposta de dúvidas do projeto. No termo "modelo numérico" inclui-se modelos CAE e modelos CAD, possivelmente organizados em uma estrutura de PV.

Gerth (2006) menciona que os arquivos de peças modeladas em CAD 3D e montados em conjuntos podem ser considerados como PVs e constituem uma das bases de dados que suportam o VFB - *Virtual Functional Build*. O VFB consiste em uma montagem virtual das peças de um conjunto, utilizando-se as informações das peças reais escaneadas para um modelo de computador. O objetivo do VFB é possibilitar a análise dos efeitos de desvios dimensionais ocorridos em um grupo de peças pertencentes a um mesmo conjunto. Estas análises são feitas comparando as informações das peças escaneadas com as informações dos modelos CAD 3D, os quais são feitos na dimensão nominal. Como resultado quer se saber se os desvios podem ser admitidos ou se as peças devem ser corrigidas. Este já é um uso específico dos protótipos virtuais, voltado para o auxílio da manufatura. Este exemplo pode indicar uma tendência dos protótipos virtuais serem cada vez mais utilizados fora do tradicional ambiente de desenho do produto.

4.6 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 4

A questão de pesquisa 4, "Com a combinação dos recursos de CAD, PLM e hardwares disponíveis na Unidade de Análise os usuários podem configurar e visualizar o protótipo virtual do produto que desejam?", quando respondida positivamente mostra que a empresa já atinge um bom grau de integração das principais ferramentas de desenvolvimento virtual em seu desenvolvimento de produtos.

Segundo Fuxin (2005), para produtos de alta complexidade tais como um caminhão que pode ser composto por milhares de componentes, a especificação de um único produto pode ser bastante extensa. Outro fator que contribui para a especificação ser mais complicada é a existência de um grande número de variantes no produto. A estrutura do produto com as variantes é aplicável na maior parte do ciclo de vida do produto. Assim um sistema que permita a configuração do produto que se deseja ver, entre tantas combinações possíveis é de grande importância para o time de desenvolvimento de produtos.

Segundo Sudarsan *et al.* (2005) o conceito de funcionalidade do PLM inclui ferramentas de modelação matemática, visualização, padrões e procedimentos de troca de dados e bancos de dados. No modelo tradicional o sistema PLM acessa a informação via o sistema de PDM, o qual obtém descrições geométricas do sistema CAD. Desta forma as informações disponíveis são apenas as suportadas pelo sistema CAD, o que para um determinado uso de PVs pode ser suficiente. Não obstante, quando se busca uma integração maior das informações relativas ao produto pode ser interessante uma arquitetura mais ampla, do tipo do PLM.

Por último ressaltam-se os dois conselhos que Soper (2003) oferece para quem deseja trabalhar com o desenvolvimento virtual de produtos: "Gerencie os dados do produto e sua configuração" e "Gerencie e reuse o conhecimento e a experiência da empresa". O fato de a empresa possuir um sistema com capacidade de configurar o PV, cujo conhecimento pode estar depositado e ser sistematicamente utilizado por seus engenheiros, mostra um bom nível de maturidade de empresa no desenvolvimento virtual de produtos. Mas se, além disto,

estas informações estiverem disponíveis por todas as áreas da empresa envolvidas com o produto, bem como junto a cadeia de fornecedores envolvidos no projeto, a empresa já estará no patamar mais alto do desenvolvimento virtual de produtos.

4.7 Literatura relacionada às questões de pesquisa 5 e 6

As questões e pesquisa 5 e 6 - "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" e "Caso a resposta do item anterior seja positiva, avaliar se esta informação é bem disseminada a todos os membros da equipe de projetos" - por serem complementares serão analisadas conjuntamente.

Soper (2003) aconselha que as empresas integrem o Produto Virtual no negócio e no gerenciamento de projetos, além de usarem o produto virtual através de toda a empresa para formar uma rede de colaboração. Desta forma o PV estaria também integrado no processo de desenvolvimento de produtos.

Segundo Dankwort *et al* (2004) o conhecimento sobre o fluxo de trabalho da indústria combinado com o respectivo fluxo de informação e de gerenciamento é necessário para entender as necessidades e problemas dos processos industriais.

Verma (2006) colocou que muitas empresas da indústria automobilística estão passando por um processo de transição caracterizado pelo grande aumento das ferramentas virtuais em seus processos de desenvolvimento de produtos, isto porque o uso de PVs e de ferramentas de simulação são necessárias para reduzir o custo de desenvolvimento de novos produtos.

Como pode ser notado, estas questões foram pouco abordadas na literatura, e mesmo quando são abordadas não trazem um aprofundamento da análise. Este pode ser um indício de que se trata de um tópico pouco estudado até agora e que merece ser mais explorado.

4.8 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 7

Para a questão de pesquisa 7, “Identificar como o protótipo virtual criado com as informações de cada fase do projeto é usado na Unidade de Análise” foram encontrados 3 trechos relacionados.

Segundo Soper (2003) é importante estender o uso do Produto Virtual para análises e testes. Outra aplicação importante é o uso do Produto Virtual para desenvolver e simular o processo de produção.

Segundo Boundy *et al.* (2004) os PVs podem ajudar a comparar os desenhos dos estilistas na fase de no conceito do produto com os modelos gerados pelos engenheiros. Estes autores citam um exemplo no desenvolvimento de painéis de instrumentos, no qual a parte de estilo é muito importante.

Segundo Choi e Chan (2004) o PV pode ser usado para minimizar as deficiências da prototipagem rápida. O PV é usado para testar e avaliar características específicas de um produto ou processo de manufatura em um ambiente computacional. Desta forma, falhas relacionadas à fabricação, ao desenho do produto e ao planejamento da produção podem ser detectadas rapidamente. Isto reduz o número de iterações necessárias para se atingir um desenho adequado e conseqüentemente reduzem o custo de desenvolvimento. O custo para se corrigir o protótipo virtual e repetir o teste é reduzido. Durante o desenho do produto os PVs podem ser usados para vários tipos de análises, por exemplo testes funcionais, teste de forma e montagem, teste ergonômico, teste de montagem e/ou desmontagem de conjuntos. Os PVs podem ser usados também no projeto do processo de montagem dos produtos.

A utilização dos PVs em cada fase do projeto não é bem descrita nos artigos, sendo este um ponto que deverá vir a ter mais atenção conforme o uso do PV for sendo sistematizado no desenvolvimento de produtos.

4.9 LITERATURA RELACIONADA ÀS QUESTÕES DE PESQUISA 8, 9 E 10

Dado que as questões de pesquisa 9 e 10 encontraram pouco respaldo na literatura, apenas um artigo para cada questão, optou-se por fazer a análise delas em conjunto com a questão de pesquisa 8. Assim a questão de pesquisa 9, "No caso de funcionários novos, como é feita a integração deles a todos estes recursos de TI na Unidade de Análise?", e a questão de pesquisa 10, "Todo o grupo de projetos da Unidade de Análise tem facilidade para trabalhar com protótipos virtuais?", podem ser encaradas como complementares a questão de pesquisa 8, "Como foi feita a adaptação do time de projetos da Unidade de Análise a estas novas ferramentas digitais?". Foram encontradas um total de 6 citações relativas a estas perguntas:

Soper (2003) e também Fuh e Li (2005) colocam que cada vez mais os projetistas são expostos aos desafios de trabalhar em times multifuncionais de desenvolvimento de novos produtos. Para estas atividades eles necessitam de um crescente e diverso conjunto de habilidades. Muitas delas são relacionadas direta ou indiretamente ao uso de PVs. Dankwort *et al* (2004) destacam que o fator humano é muito importante quando se treina pessoas para trabalhar com ferramentas de CAX (designação genérica para ferramentas CAE, CAD, CAM e outras similares), e destacam três fatores que devem ser considerados: 1- O passado, a educação e a experiência de cada pessoa; 2 - O potencial humano e a habilidade para dominar as tarefas do moderno processo de desenvolvimento de produtos com o uso de tecnologias CAX, além das ferramentas de gerenciamento da informação; 3 - O ambiente na qual a pessoa trabalhou anteriormente e aonde ela está indo trabalhar.

Field (2004) descreve que em grandes empresas, tais como as montadoras de veículos e seus principais fornecedores, o grande número de pessoas envolvidas com os sistemas CAD torna fisicamente inviável sincronizar as atualizações de *hardwares*, versões de *softwares* e treinamentos em cada uma destas organizações. Estas empresas costumam estabelecer centros com classes de aulas bem equipadas e especializadas na educação e treinamento presencial. Além disso, elas investem também no treinamento à distância. Ainda segundo Field (2004), as oportunidades para os treinamentos à distância se multiplicam nos últimos anos e levam as oportunidades de aprendizagem além dos centros de treinamento. Com o

uso das modernas ferramentas de comunicação e tecnologias de ensino, que viabilizam os cursos via *Web*, o treinamento a distância tende a continuar se expandindo.

De acordo com Verma (2006) entre os principais fatores que afetam o processo de desenvolvimento de novos produtos, metade deles está relacionada com a comunicação e a colaboração. Porém, segundo Verma (2006), a colaboração não é uma atividade natural e requer ferramentas, processos e desenvolvimento das relações interpessoais. As novas ferramentas digitais e de internet são os grandes trunfos para permitir a colaboração. Verma (2006) considera a comunicação eletrônica como sendo o maior dos fatores para o sucesso no desenvolvimento de produtos. Estas colocações ressaltam a importância adaptação do time de desenvolvimento de novos produtos a estas novas ferramentas digitais.

Fuxin (2005) cita que é muito importante o adequado planejamento do treinamento que será necessário para a equipe de desenvolvimento de produtos que irá trabalhar com protótipos virtuais.

Segundo Dankwort *et al.* (2004) o treinamento de CAx deve ser muito mais do que ensinar a modelar em superfícies ou sólidos. A tarefa é muito mais ampla, o estudante ou funcionário, deve aprender sobre o processo completo de desenvolvimento de produtos sob a ótica da "Criação de Produtos Auxiliada por Computadores". Existem diversos métodos de treinamento que podem ser aplicados, tais como o Treinamento Guiado pelo Computador (*Computer Based Training* - CBT), os cursos práticos com a presença de instrutores, os treinamentos contínuos (*Follow-on Coaching*) e os suportes por telefone (*hotlines*). Existem também diversos treinamentos para cada função que a pessoa vai exercer dentro da empresa (DANKWORT *et al.*, 2004, pg. 1444). Ainda segundo estes autores, as pessoas possuem diferentes níveis de criatividade, eficiência e flexibilidade. Se fosse traçado um gráfico de "Número de Pessoas" X "Habilidades e Potenciais", este provavelmente resultaria em uma clássica Distribuição Gaussiana. Pessoas localizadas na extremidade direita da distribuição podem ser treinadas em pouco tempo e rapidamente serão muito produtivas, configurando-se os típicos "usuários piloto" na implantação de novas tecnologias e processos de trabalho, ou seja, são muito importantes para disseminar novas tecnologias nas empresas. Para o treinamento das pessoas que estariam no centro ou no lado esquerdo desta distribuição é necessário maior cuidado na escolha treinamento que será oferecido.

Esses cuidados na escolha do tipo de treinamento, considerando-se o que é necessário para a função e o que mais se adapta a cada pessoa, são aspectos abordados pela literatura e que podem influenciar a resposta da pergunta 10.

4.10 LITERATURA RELACIONADA À QUESTÃO DE PESQUISA 11

A questão 11, "Qual é o nível de conhecimento do produto, prático e teórico, necessário para se trabalhar com protótipos virtuais?", trata de um assunto muito importante para as empresas que pretendem trabalhar com protótipos virtuais, pois permite prospectar o preparo necessário à a equipe de desenvolvimento de novos produtos de uma empresa.

Com respeito a esta questão Rezayat (2000) colocou que se pode categorizar os usuários em uma empresa em dois tipos: *consumidores da informação* e *criadores da informação*. O primeiro grupo, *consumidores da informação*, é composto pelas pessoas que necessitam ver os dados e ter acesso de leitura ao material relativo a geometria do produto, por exemplo: pessoas atuando no gerenciamento, *marketing*, vendas e suporte entre outros. O segundo grupo, *criadores da informação*, são os profissionais que, além de ver as informações, necessitam acesso rápido e fácil para criarem dados ou modificar dados existentes, como exemplos se pode citar os engenheiros de produto e de processo, os analistas e os projetistas.

Dankwort *et al* (2004, pg 1440) citaram que os modelos em CAD são apenas uma parte do processo de desenvolvimento de produtos. O processo começa com uma idéia, requisitos e especificações para um produto e termina com uma produção em série. O CAD é utilizado juntamente de outras tecnologias CAX. Para evitar ciclos desnecessários os engenheiros devem ter o conhecimento dos processos ao redor de seu trabalho, do tipo e da qualidade de dados matemáticos que eles requerem, e da informação que eles necessitam e produzem.

Cafeo e Thacker (2004) observaram que a credibilidade em uma análise virtual é em muitos casos igual a confiança que se tem no analista, ou seja, um valor subjetivo baseado nas experiências passadas. Para se criar um parâmetro mensurável que ajude a quantificar a confiança que se pode ter em um modelo

numérico, é necessário determinar a correlação da predição feita na análise do modelo numérico com a realidade, por meio de um processo formal que determine como faz esta correlação.

Segundo Field (2004), conforme o uso dos *softwares* comerciais de CAD se torna cada vez mais fácil, isto possibilita que qualquer pessoa com um mínimo de conhecimento possa usar estas ferramentas "no estado da arte" para lidar com problemas de engenharia cada vez mais sofisticados. Isto pode causar alguns problemas se os conceitos da engenharia que estão por traz do *software* não forem de domínio do usuário. Os engenheiros têm que ter um conhecimento maior dos fenômenos físicos que ocorrem no produto podem extrair as respostas corretas do sistema, e não aceitarem respostas com falhas conceituais que eventualmente possam ser produzidas por um computador.

4.11 CONCLUSÃO DO QUADRO TEÓRICO

A maioria das questões de pesquisa está bem colocada e refletem as principais preocupações dos autores que tratam do assunto PVs em revistas especializadas.

Ressalva deve ser feita às questões 5, 6, 8, 9 que foram pouco abordadas na literatura pesquisada.

De todos os artigos analisados neste capítulo, 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.

- 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; 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)

5 O ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na pesquisa de campo desenvolvida em uma empresa do setor automotivo, destacando-se os resultados obtidos na aplicação do questionário fechado com 42 colaboradores da área de engenharia de produtos, bem como das entrevistas realizadas.

5.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

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 nesta seção.

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 a reestruturação em centros globais, uma arquitetura de veículo para uso mundial (suspensão, assoalho, painel de instrumentos e estrutura dos bancos) só será desenvolvida em um determinado centro de engenharia. Desta forma, segundo o diretor da engenharia do produto, “o centro responsável terá de se preocupar com os países que usarão a arquitetura que ele está desenvolvendo. Por exemplo, um projeto de carro grande, como aqueles comuns nos Estados Unidos, mas que não têm demanda por aqui, não terá, provavelmente, a participação do Brasil, logo os nossos requisitos não serão considerados. O veículo projetado deve atender todos os países envolvidos, porém, a cobertura, a aparência do veículo, pode mudar conforme a região. Se algum país achar que a aparência não será bem aceita pelo mercado local, tem liberdade para modificá-la.”

Além destes “Centros Globais” esta empresa possui outros 15 centros regionais de engenharia. Desta forma seus centros de engenharia se beneficiam de uma colaboração global em busca das melhores práticas de engenharia e tecnologias disponíveis. Com objetivo de maximizar os benefícios de possuírem centros de engenharia em países diferentes, as melhores práticas são disseminadas entre os centros, passando por um processo de padronização dos procedimentos de engenharia, incluindo os processos que envolvem o uso de protótipos virtuais no processo de desenvolvimento de novos produtos.

Com o aumento de volume de trabalho de engenharia ocorrido devido à nomeação para Centro Global Engenharia, a Unidade de Análise passou por um rápido crescimento de seu número de colaboradores. No final de 2003, a Engenharia de Produtos tinha 500 engenheiros e técnicos, em 2005 passou para 660 e no final de 2006 já contava com mais de 900 profissionais ligados ao desenvolvimento de produtos.

Esta força de trabalho é necessária para poder lidar simultaneamente com dois ou mais projetos de grande porte, além de vários outros de médio ou pequeno porte.

A Figura 5.1 mostra a estrutura organizacional simplificada da engenharia de produtos da Unidade de Análise. A pesquisa de campo concentrou-se no Desenho do Produto, onde foram feitas as entrevistas e onde trabalham 79% dos respondentes da pesquisa. Os demais respondentes estão distribuídos pelas outras

áreas. Nesta área também atuam o coordenador e os especialistas entrevistados. O coordenador trabalha com um grupo de 48 engenheiros e/ou projetistas. Os especialistas lideram grupos de em média 12 engenheiros e/ou projetistas.

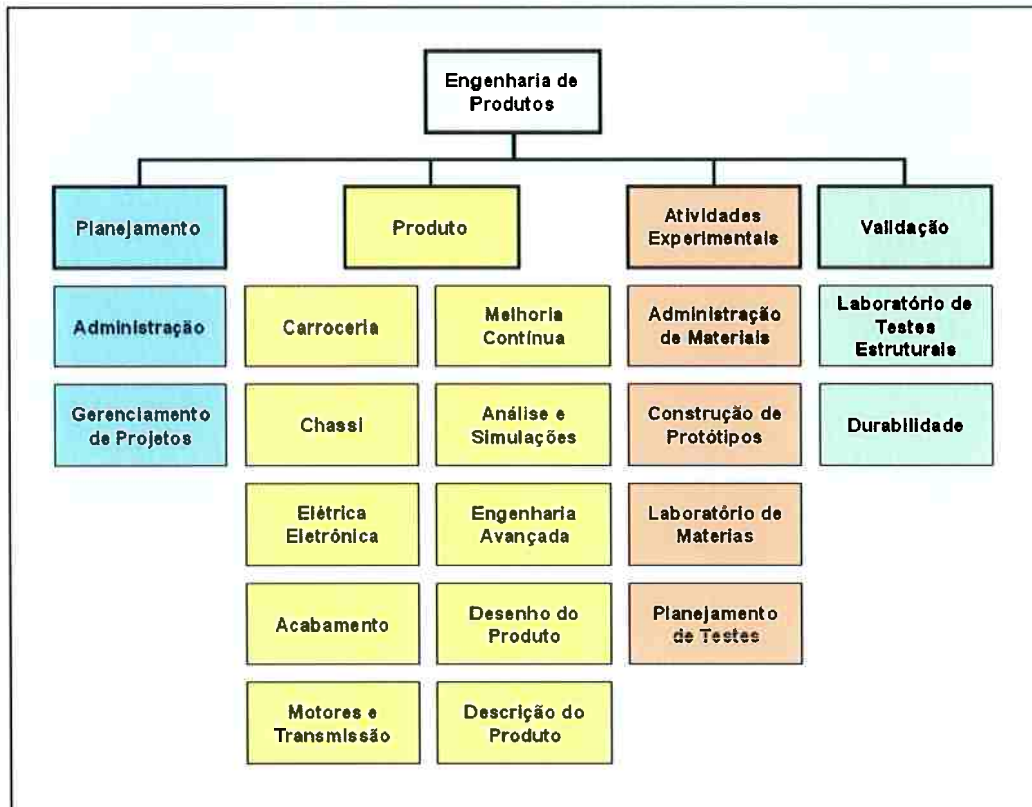


Figura 5.1 – Estrutura organizacional simplificada da engenharia de produtos da Unidade de Análise

De forma simplificada, o processo de desenvolvimento de produtos na Unidade de Análise pode ser dividido em três grandes fases, como descritas na Figura 5.2.

A primeira fase corresponde ao “*Desenvolvimento do Plano de Portifolio*”. Nesta fase a definição de quais produtos a empresa deve ter é feita a partir de uma análise bastante ampla do mercado, considerando macroeconomia, tendências, posicionamento das marcas concorrentes e oportunidades.

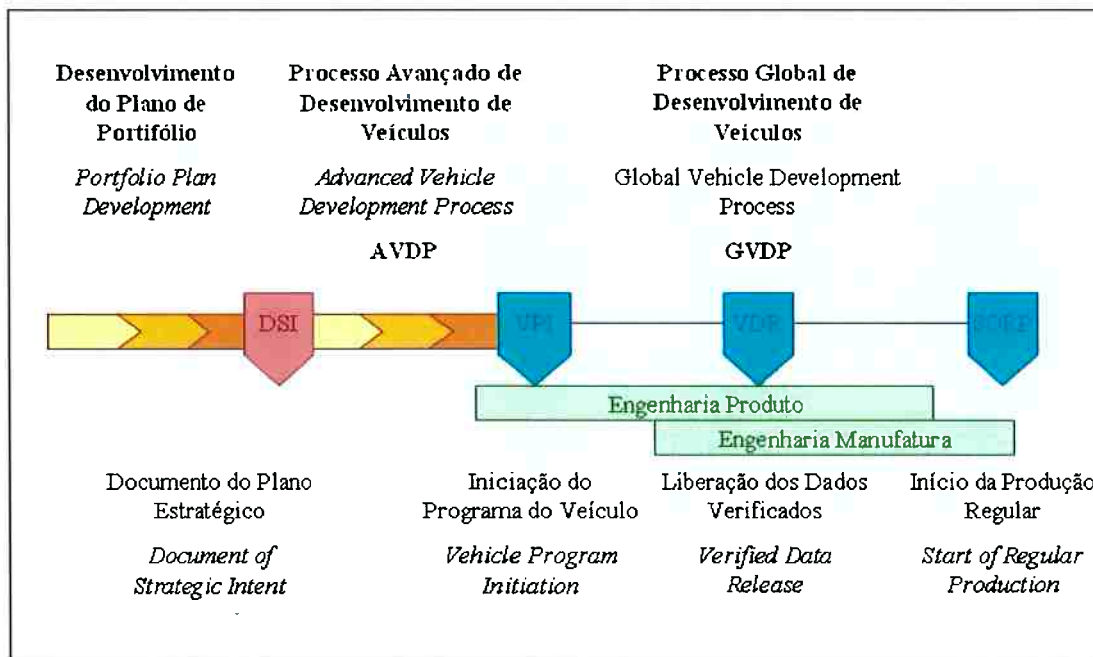


Figura 5.2 - Fases do DNP na Unidade de Análise.

Para cada produto estudado é feito um "Estudo de Caso de Negócio". Estes estudos são baseados em análises sobre retrospectiva de vendas, tendências de crescimento, movimentação dos segmentos, preços, lançamentos e estratégias previstas nos produtos da concorrência e pesquisas de mercado.

Nesta fase os produtos são tratados como "programas" e a cada um é associado uma conta e um Grupo de Projetos. Estes grupos são responsáveis pelo gerenciamento dos programas de novos produtos. Atualizações dos produtos existentes também podem seguir este fluxo.

Para atingir os objetivos estes grupos atuam como integradores entre diversas outras áreas, tais como: Pesquisa de Mercado, Marketing, Engenharia de Materiais, Design, Engenharia do Produto, Engenharia de Manufatura, Vendas/Comercial, Pós Vendas & Serviços, Compras, Finanças e Qualidade.

Este grupo também é responsável pela estratégia de desenvolvimento visando à aprovação do programa perante o comitê executivo da companhia para programas de novos produtos.

Uma vez validado o programa de desenvolvimento de um novo produto, tem-se uma aprovação executivo-estratégica, documentado pelo Documento de Intenção Estratégica (DSI - *Document of Strategic Intent*), aprovando-se assim a passagem para a segunda fase.

A segunda fase corresponde ao "Processo Avançado de Desenvolvimento de Veículos", na qual se inicia o processo de desenvolvimento virtual de produtos da Unidade de Análise. É nesta fase que é criada uma estrutura em um arquivo CAD que pode coletar todas as informações geométricas criadas neste estágio e, portanto, de especial importância para esta dissertação.

As principais atividades desenvolvidas nesta fase são:

- Concepção do estilo do veículo. É criada uma superfície 3D que define a forma externa do produto. É este dado matemático que direciona os trabalhos preliminares de detalhamento do veículo pela Engenharia do Produto. Esta superfície também é usada para a aprovação do tema, ou seja, definição preliminar da forma e das características do projeto.
- Definição e validação do conceito do veículo, com análises de CAE e testes em veículos adaptados para protótipos ("Mula"). Para isto são realizadas análises virtuais de determinados componentes e subsistemas. Como exemplo pode-se citar o assoalho e a estrutura do painel de instrumentos. Também são feitas as primeiras avaliações virtuais de desempenho direcionadas a impacto, aerodinâmica, durabilidade, fadiga e dinâmica de veículos.
- Especificação dos critérios técnicos de projeto. Incluem requisitos de desempenho, legislação e conforto. Uma série de estudos preliminares é necessária para a escolha e aprovação da arquitetura definitiva para o programa, estes estudos podem ser feitos com a utilização de veículos existentes, bem como através de avaliações virtuais.
- Definição dos principais fornecedores.
- Caracterização funcional do processo de fabricação com volumes de produção prevista para sua proposta orçamentária de investimentos, envolvendo instalações, logística, cadeia de fornecedores e previsão de projetos de processos.

Durante esta fase os gastos com o programa ainda são pequenos, comparados com o desenvolvimento total. O foco é dado no desenvolvimento virtual e a construção de protótipos físicos é bem limitada.

Uma vez validado o Processo Avançado de Desenvolvimento de Veículos, tem-se uma nova aprovação executivo-estratégica, onde são autorizados os investimentos para o programa seguir em desenvolvimento, e documentado pelo Documento de Iniciação do Programa do Veículo (VPI – *Vehicle Program Initiation*), aprovando-se assim a passagem para a fase seguinte.

A terceira fase corresponde ao Processo Global de Desenvolvimento de Veículos, GVDP (*Global Vehicle Development Process*). Esta é a fase onde ocorre a maior parte do desenvolvimento do novo produto, detalhando-se todas as especificações do produto que vai ser produzido, executando-se os testes de validação do produto e desenvolvendo projetos dos meios de fabricação.

Nesta fase existe interação entre diversas áreas funcionais, tais como: Marketing, Estilo, Engenharia do Produto, Engenharia de Processos, Finanças, Compras, Qualidade e Serviços.

Com o objetivo de facilitar este processo interativo são criados times multifuncionais, com foco em cada subsistema do veículo.

No GVDP as atividades são todas padronizadas e existem cronogramas de desenvolvimento com descrição de todas as atividades padrões, com as entradas e saídas de cada atividade bem definidas. Esta padronização é feita levando em consideração os diferentes tipos de projeto que podem ocorrer. Estes tipos de projetos são correspondentes ao descrito por Ulrich e Eppinger (2000) e mostrado no item 3.4.2 desta dissertação.

Esta fase termina no evento “Início da Produção Regular” (SORP), onde se consolidam todos os processos de validação do produto e dos processos.

A partir deste ponto os projetos passam para a alçada da equipe de melhoria contínua do produto.

5.2 QUESTIONÁRIO APLICADO NA UNIDADE DE ANÁLISE

Como primeiro passo para analisar os pressupostos na Unidade de Análise, foi aplicado o questionário em um grupo de 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.

Na maior parte das perguntas do questionário foi solicitados aos respondentes para escolher a resposta em uma escala de 1 a 7, entre duas palavras ou frases de significado bem definido, sendo a opção número 4 correspondente a uma resposta neutra. Foi também colocada uma opção de resposta "não sei" para evitar que uma pessoa que não sabe a resposta simplesmente marque uma alternativa qualquer. Segundo Morrel-Samuels (2002) estas medidas fazem os respondentes darem respostas mais confiáveis.

Onde aplicável foi calculada uma curva de distribuição de probabilidade que se ajuste de modo satisfatório aos dados obtidos nos questionários. Para facilitar a comparação entre os dados limitou-se a dois tipos de distribuição, a Normal e a Lognormal, posto que com o uso destas duas distribuições se obteve um ajuste satisfatório para todas as amostras. No Apêndice E são mostradas as formulas correspondentes a cada uma destas distribuições de probabilidade.

O questionário que foi aplicado neste estudo pode ser visto no Apêndice C.

A seguir é apresentada a caracterização da amostra e são relatados os resultados obtidos para cada uma das perguntas do questionário.

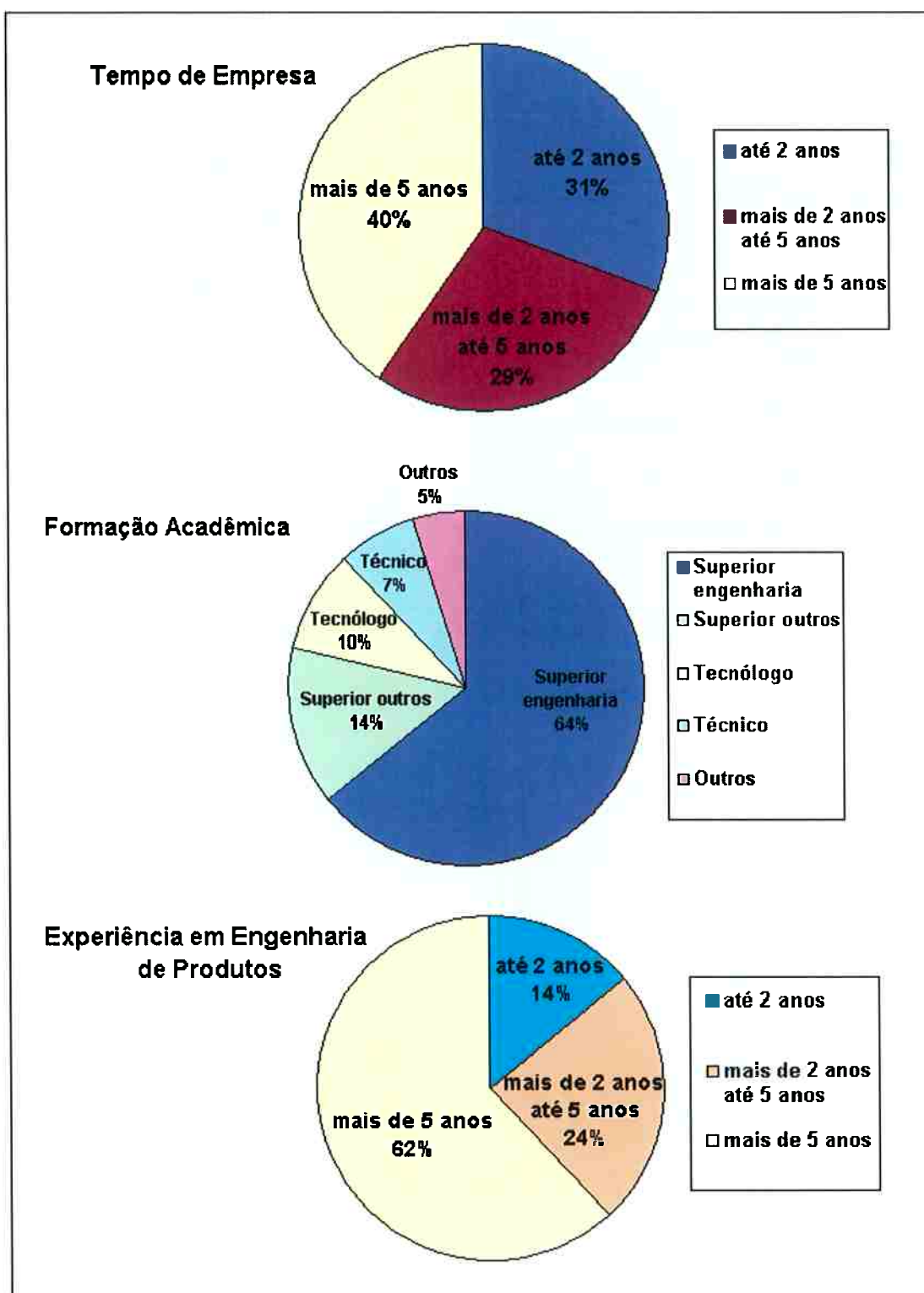


Figura 5.3 – Caracterização da amostra

5.2.1 Caracterização da amostra

A Figura 5.3 mostra as principais características da amostra dos respondentes da pesquisa, quais sejam: formação acadêmica, experiência profissional em engenharia de produtos e tempo de trabalho na Unidade de Análise.

Os dados mostram que 62% dos respondentes têm mais de 5 anos de experiência na área de engenharia de produto, no entanto, a maioria (60%) tem menos de 5 anos de empresa. No que concerne à formação, 78% tem curso superior, sendo a maioria (64%) em engenharia.

5.2.2 Resultado da pergunta 1 do questionário

A pergunta 1 em sua primeira parte tinha por objetivo verificar a percepção do grupo de projetos sobre como é a representação do produto da Empresa por modelos matemáticos 3D, gerados pelo CAD, com relação as peças físicas. Na segunda parte foi questionado se na opinião do grupo existe algum tipo de detalhe do produto que apresenta dificuldades para ser modelado em 3D no sistema CAD utilizado na Unidade de Análise. Foi também aberto um espaço para que citassem exemplos, se fosse o caso.

Na Figura 5.4 vemos o resultado da primeira parte da pergunta. Os dados obtidos nesta pergunta se ajustam a uma distribuição Lognormal, mostrando uma concentração de opiniões em concordância com a afirmação de que os modelos CAD constituem uma representação fiel das peças reais. Porém, percebe-se que existe uma parte do grupo, a qual correspondente a aproximadamente 10% da amostra, com opiniões neutras ou levemente discordantes. Esta discordância é evidenciada na segunda parte da questão onde 39% do grupo consideraram que existem detalhes do produto que ainda apresentam alguma dificuldade para serem representados pelos modelos CAD. Estes dados podem ser vistos na Figura 5.5.

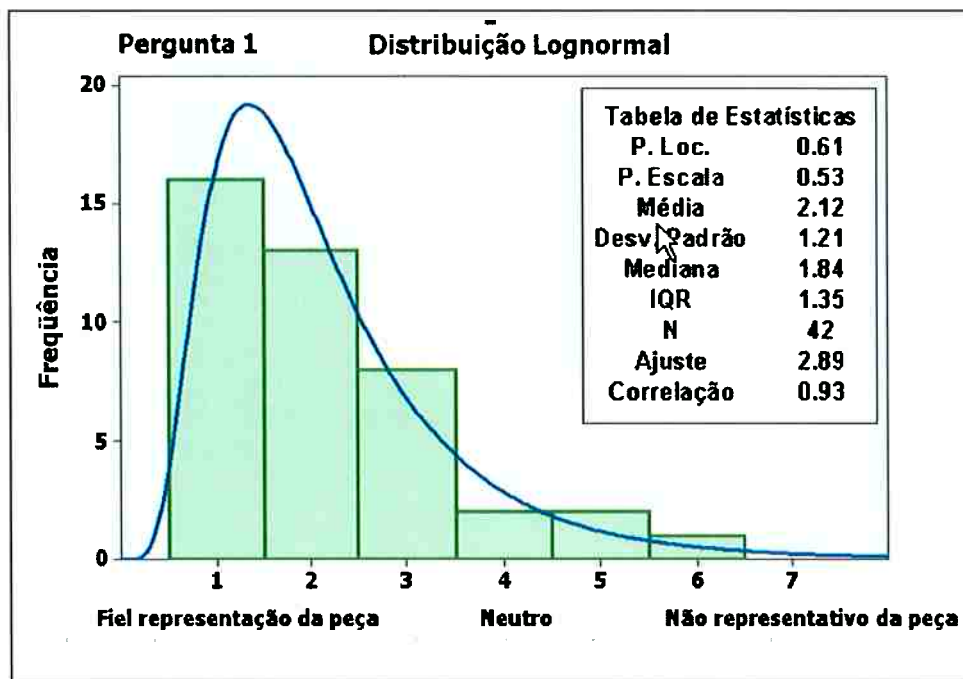


Figura 5.4 – Resultados da pergunta 1a do questionário aplicado na Unidade de Análise.

O espaço aberto para exemplos sobre detalhes que ainda apresentam dificuldades para serem representados por modelos CAD foi utilizado por 9 respondentes. As dificuldades apontadas estão na maioria das vezes associadas a tipos de peças cuja geometria se deforma durante o processo de montagem ou o uso da peça. Como exemplos foram citados cabos de acionamento de sistemas mecânicos (2 vezes), guarnições de borracha (2 vezes), rotas de mangueiras flexíveis (1 vez), peças “moles” de tecido ou espuma (2 vezes) e rotas de chicotes elétricos (2 vezes).

Peças que apresentam variação de espessura, enrugamento ou elasticidade no processo de fabricação também foram citadas (uma vez cada). É importante ressaltar que o fato destes tipos de peças apresentarem dificuldades para serem modelados não significa que peças destes tipos não possam ser modeladas. O software utilizado na unidade de análise possui recursos para modelar estas peças.

Como uma provável justificativa para esta discordância observou-se que nestes casos, em geral, é necessário o conhecimento de funções mais avançadas

do CAD e técnicas de modelamento em sólidos 3D mais sofisticadas. Outra justificativa pode ser o fato de que em muitos casos falta uma padronização do modo de criar estes modelos matemáticos.

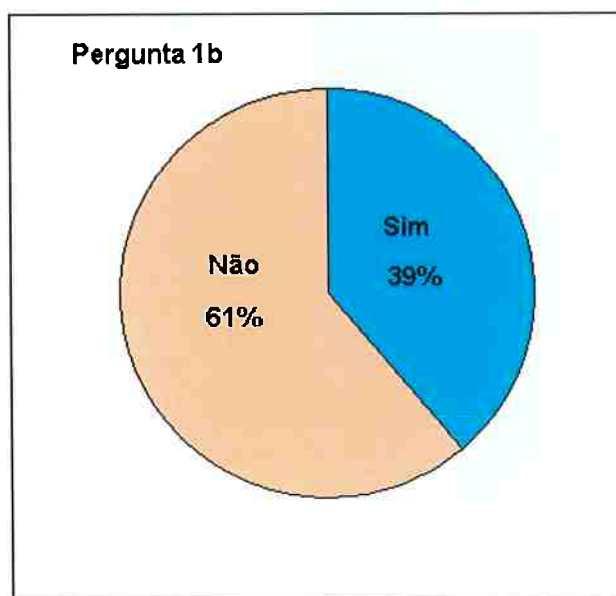


Figura 5.5 – Resultados da pergunta 1b do questionário aplicado na Unidade de Análise

Os resultados desta questão concordam com o exposto na literatura pesquisada, em particular nos detalhes que apresentam dificuldades para serem modelados. Estes tipos de peças correspondem a uma pequena parcela das peças aplicadas no produto da unidade de análise.

5. 2.3 Resultado da pergunta 2 do questionário

A pergunta 2 tinha por objetivo avaliar se o grupo considera que desenvolvimento e a manutenção do produto da Empresa podem ser adequadamente controlados pelo software de PLM utilizado na Unidade de Análise. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão dois da pesquisa. Como

pode ser visto na Figura 5.6, os dados obtidos nesta pergunta se ajustam a uma distribuição Lognormal.

A maior concentração das respostas esta na região de concordância com a afirmação de que o software de PLM pode controlar adequadamente os dados referentes ao produto da empresa. Porém, como pode ser observado existe uma parte correspondente a 17% dos entrevistados com respostas negativas ou neutras. Isto pode ser uma evidência de que o processo de adaptação do time de projetos a esta forma de trabalho ainda não está concluída ou que tenha ocorrido alguns problemas que estejam causando a desconfiança de alguns usuários em relação ao software de PLM.

O resultado obtido esta de acordo com o que foi apontado na literatura pesquisada, uma vez que a Unidade de Análise segue a tendência de uso de softwares de PLM para controle de todos os dados geométricos referentes ao produto e também de diversos dados não geométricos.

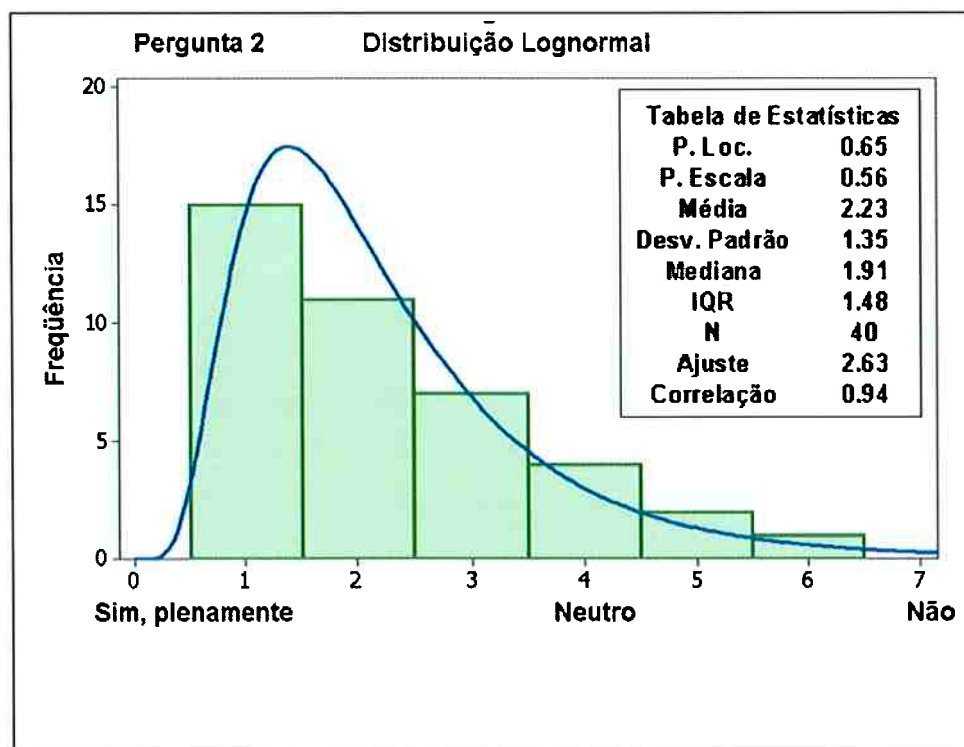


Figura 5.6 – Resultados da pergunta 2 do questionário aplicado na Unidade de Análise

5.2.4 Resultado da pergunta 3 do questionário

O objetivo da pergunta três era avaliar se o grupo de projetos considera que 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. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão três da pesquisa. Neste caso os dados obtidos se ajustaram a uma curva de distribuição de probabilidades normal, conforme ilustra a Figura 5.7.

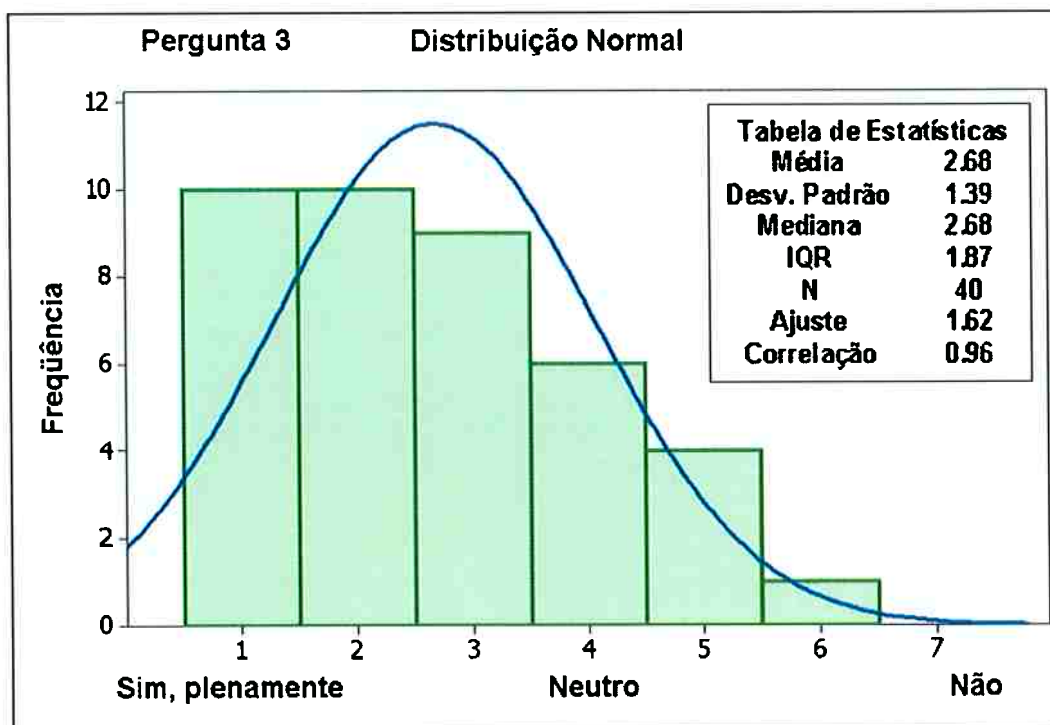


Figura 5.7 – Resultados da pergunta três do questionário aplicado na Unidade de Análise

Nesta questão tivemos uma considerável dispersão nas opiniões, como mostra o desvio padrão de 1,39. Vários fatores podem ter influenciado esta resposta. Por exemplo, percebe-se que muitos usuários expressam a situação que estão vivenciando no momento, assim usuários que trabalham com a modelação de partes mais complexas do produto ou que necessitam visualizar um veículo completo com

maior frequência tendem a ser mais exigentes quanto ao desempenho do hardware. Outro fator que pode ter contribuído para a dispersão é o fato de que nem todos os usuários dispõem do mesmo tipo de equipamento, embora todos acessem a mesma servidora e a mesma rede.

5.2.5 Resultado da pergunta 4 do questionário

A pergunta 4 tinha como objetivo avaliar se o grupo considera que com a combinação dos recursos de CAD, PLM e hardware disponíveis na Unidade de Análise os engenheiros e outros usuários podem configurar e visualizar o protótipo virtual do produto que desejam.

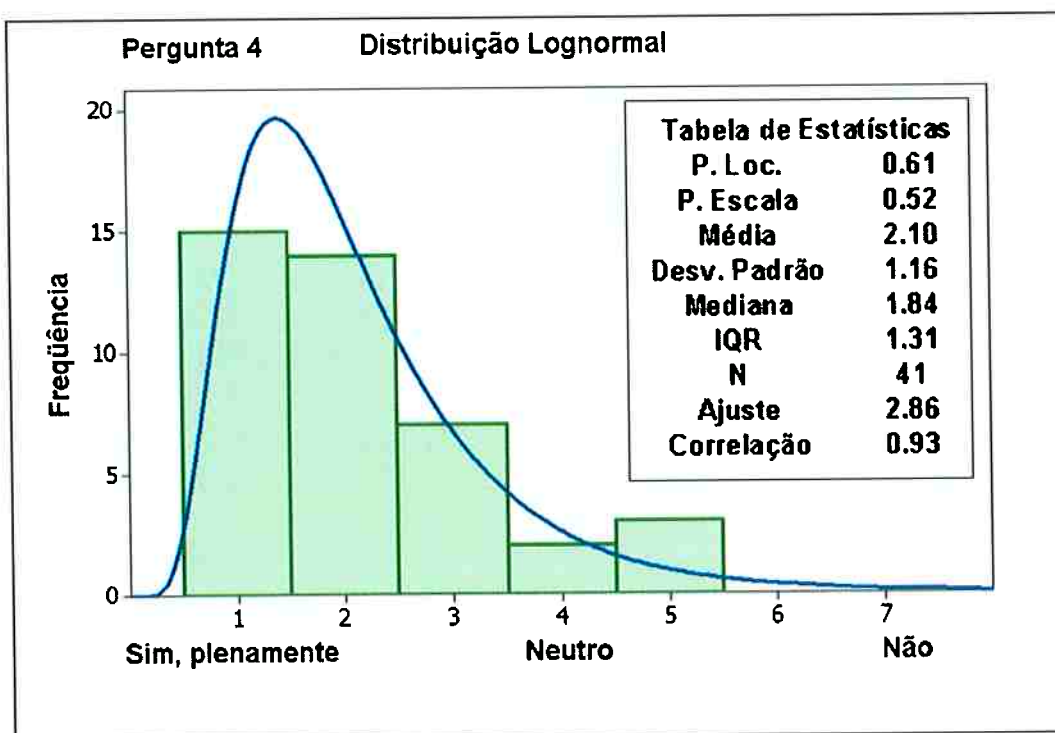


Figura 5.8 – Resultados da pergunta 4 do questionário aplicado na Unidade de Análise

Os dados obtidos se ajustam a uma distribuição lognormal. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão 4 da pesquisa. Como pode ser visto na Figura 5.8 as respostas concentram-se na região positiva, evidenciando que a maior parte do grupo concorda com esta afirmação e que provavelmente já estão realmente trabalhando com PVs em suas atividades diárias.

É interessante que esta pergunta se refere à combinação dos itens das três perguntas anteriores, mas neste caso tivemos uma concordância maior do que nos casos anteriores. Este pode ser um indicativo de que a combinação dos três elementos pode vir a surtir um efeito melhor do que o esperado observando-se apenas um dos itens anteriores.

5.2.6 Resultado da pergunta 5 do questionário

A pergunta 5 tinha como objetivo avaliar se o grupo considera que 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. Esta pergunta está relacionada com as questões 5 e 6 da pesquisa. Os resultados obtidos se ajustaram a uma curva de distribuição Normal. Os resultados são mostrados na Figura 5.9. Neste caso 85% das respostas ficaram na faixa de concordância, enquanto que 15% ficaram na região neutra ou discordante. Isto mostra que existe uma regra estabelecendo o que deve ser criado de dados matemáticos em cada fase do desenvolvimento do produto e que grande parte do grupo conhece esta regra.

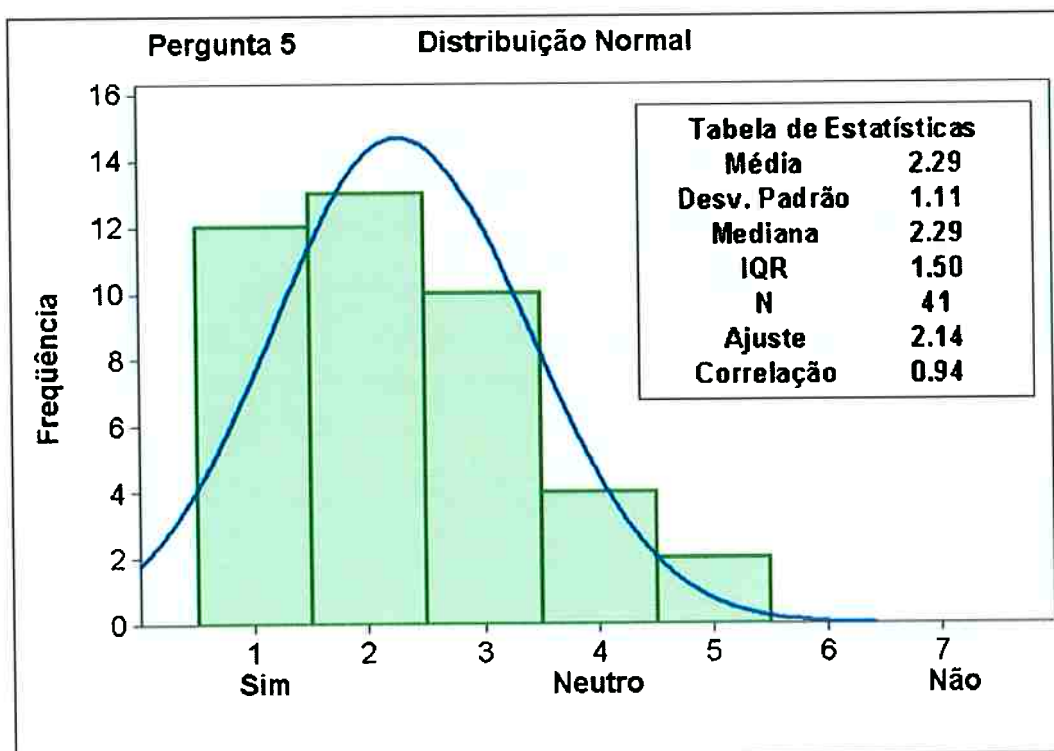


Figura 5.9 – Resultados da pergunta 5 do questionário aplicado na Unidade de Análise

5.2.7 Resultado da pergunta 6 do questionário

A pergunta 6 tinha como objetivo avaliar a percepção do grupo sobre a forma como o protótipo virtual, criado com as informações de cada fase do projeto, é usado dentro da Unidade de Análise. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão 7 da pesquisa. Neste caso foram dadas as seguintes alternativas:

1 - O protótipo virtual é criado a cada fase do projeto, para cada produto, e serve de referência para várias atividades. Esta resposta evidencia o uso sistematizado dos protótipos virtuais no processo de desenvolvimento de produtos da Unidade de Análise.

2 - O protótipo virtual é criado apenas uma vez no final do projeto. Esta alternativa mostra um uso menos desenvolvido do PV, onde o PV é criado apenas no final do projeto para conferência do mesmo.

3 - O protótipo virtual é criado conforme necessidade. Esta opção é um estágio intermediário entre a alternativa 1 e a alternativa 2. Mostra que o PV é usado durante o desenvolvimento, mas não de forma sistematizada. As alternativas 1, 2, e 3 não se anulam mutuamente, pois existe a possibilidade de a Unidade de Análise estar trabalhando com um processo em alguns projetos e outro processo em outros projetos, com diferentes regras para a criação do PV.

4 - Não sei. Esta alternativa mostra o desconhecimento sobre este assunto do usuário.

Os resultados são mostrados na Figura 5.10.

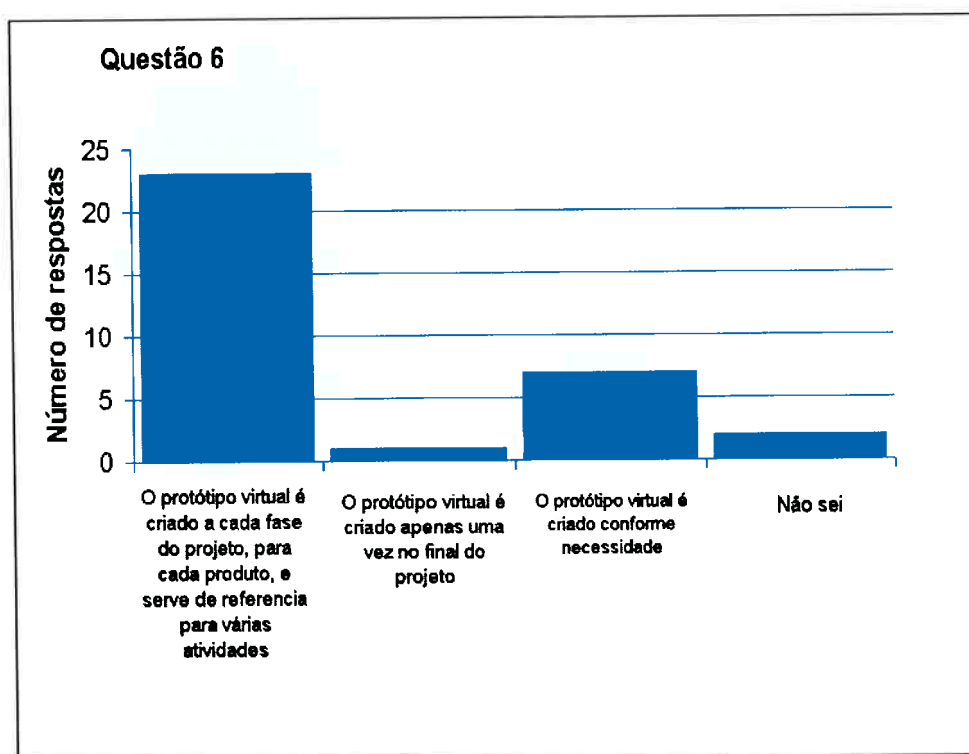


Figura 5.10 – Resultados da pergunta 6 do questionário aplicado na Unidade de Análise

Como complemento foi solicitado se o grupo poderia citar um ou mais usos dos protótipos virtuais na Unidade de Análise. Como resultados foram citados os seguintes usos: Verificação do projeto quanto a interferências e folgas críticas, visualização de uma dada configuração de veículo, nivelamento de informações pelas diferentes áreas da empresa ligadas ao desenvolvimento de produtos, substituição de protótipos físicos da engenharia experimental, da área de estilo e da

manufatura, verificação do projeto de cada peça antes da liberação da mesma para fabricação, estudo de montagem de componentes, auxílio no estudo de tolerâncias de dimensões de conjuntos, fonte de informação para estudos de engenharia, verificação de acesso de ferramentas, fonte de informações para o grupo de análise estrutural e geração de imagens para área de marketing.

Esta variedade de aplicações mostra que os PVs estão sendo incorporados na cultura de desenvolvimento de produtos da empresa e que o número de áreas da empresa afetadas pela existência dos PVs está crescendo e indo além dos grupos de engenharia que tradicionalmente trabalhavam com CAD.

5.2.8 Resultado da pergunta 7 do questionário

A pergunta 7 tinha como objetivo avaliar a percepção do grupo sobre a forma como foi feita a adaptação do time de projetos da Unidade de Análise as novas ferramentas digitais. Esta pergunta está relacionada com as questões 8 e 9 da pesquisa.

Foram dadas as seguintes alternativas: “houve treinamentos via WEB”, “houve treinamentos presenciais”, “não foi feita adaptação” e “não sei”. O resultado é mostrado na Figura 5.11.

Em adição foi aberto um espaço para comentários sobre este tema. Nestes comentários um respondente comentou que grande parte da adaptação ocorre realmente na prática, conforme aparece a necessidade do uso das novas ferramentas. Além disso, dois respondentes questionam a eficiência dos treinamentos via WEB.

Outro problema apontado por um respondente é a falta tempo para se fazer todos os treinamentos que seriam necessários para o pleno domínio das ferramentas disponíveis para o trabalho de engenharia.

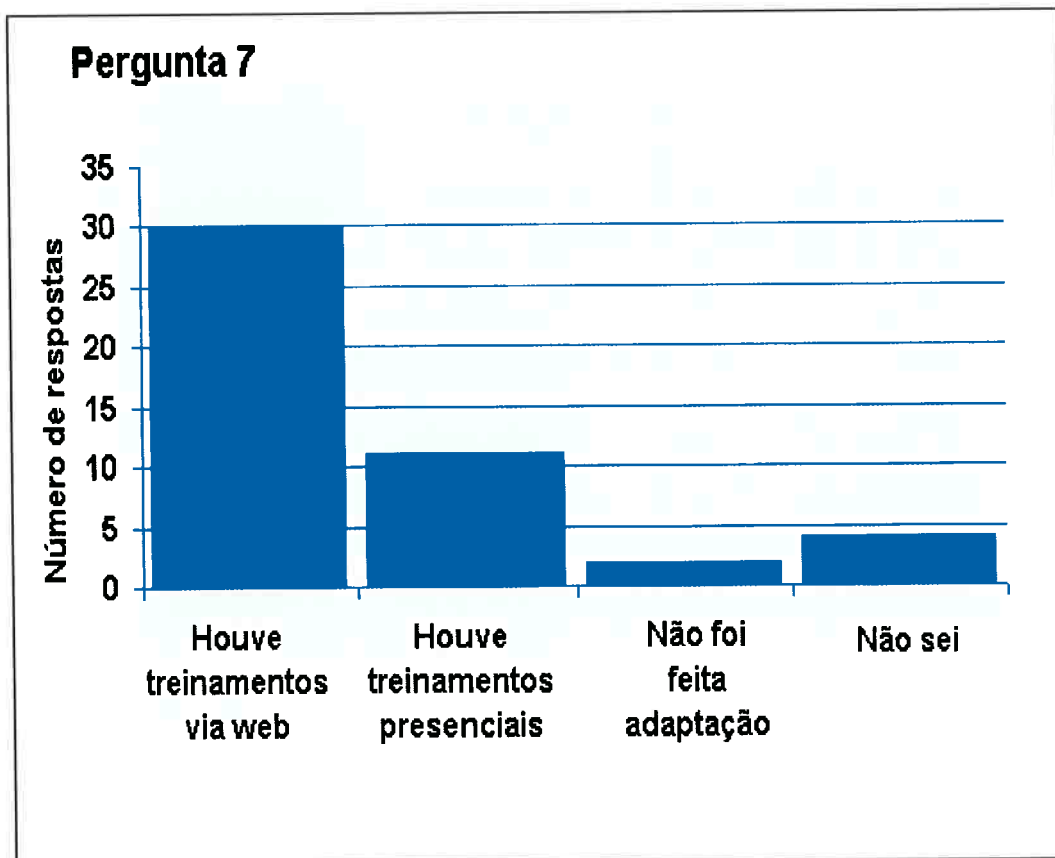


Figura 5.11 – Resultados da pergunta 7 do questionário aplicado na Unidade de Análise

5.2.9 Resultado da pergunta 8 do questionário

A pergunta 8 tinha como objetivo avaliar a percepção do grupo sobre a facilidade que os engenheiros, projetistas e demais funcionários da engenharia de produtos da Unidade de Análise tem para trabalhar com protótipos virtuais e ferramentas virtuais em geral. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão 10 da pesquisa. O resultado é mostrado na Figura 5.12.

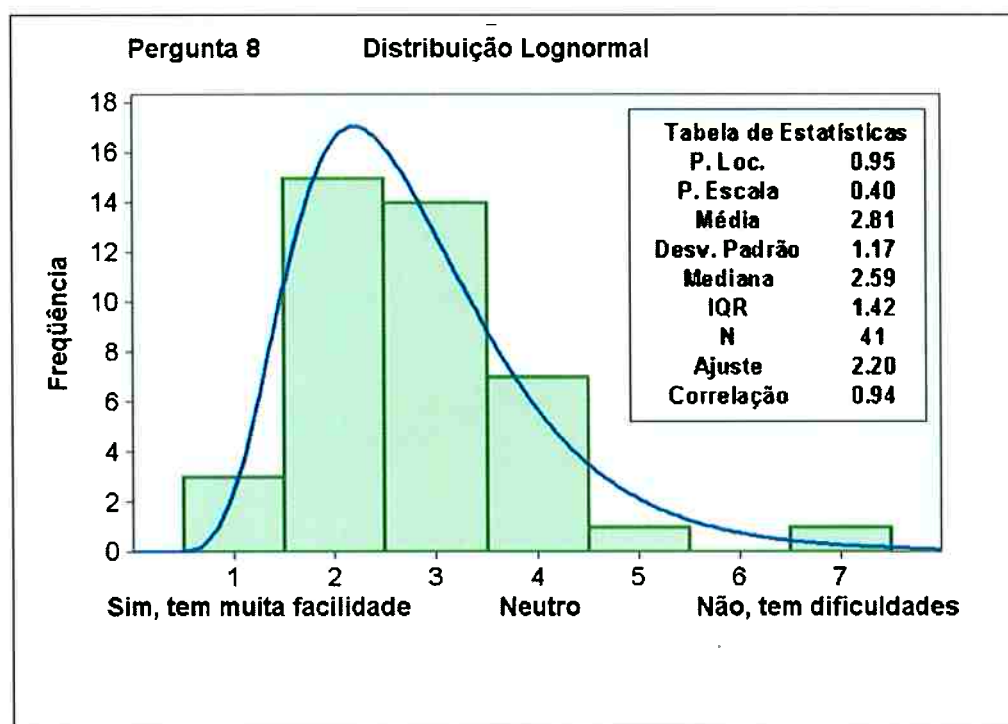


Figura 5.12 – Resultados da pergunta 8a do questionário aplicado na Unidade de Análise

Como complemento foi perguntado sobre a forma como é feita a integração dos funcionários novos a todos estes recursos que permitem a utilização dos protótipos virtuais na Unidade de Análise. Foram dadas as alternativas: “Através

de treinamentos na intranet”, “Através de treinamentos em sala de aulas”, “Através de prática”, “Não é feita integração” e “Não sei”, ver Figura 5.13.

Um resultado importante é que não houve nenhuma resposta “Não é feita integração”, isto mostra que o grupo inteiro considera que existe um processo de integração dos funcionários novos a estas tecnologias.

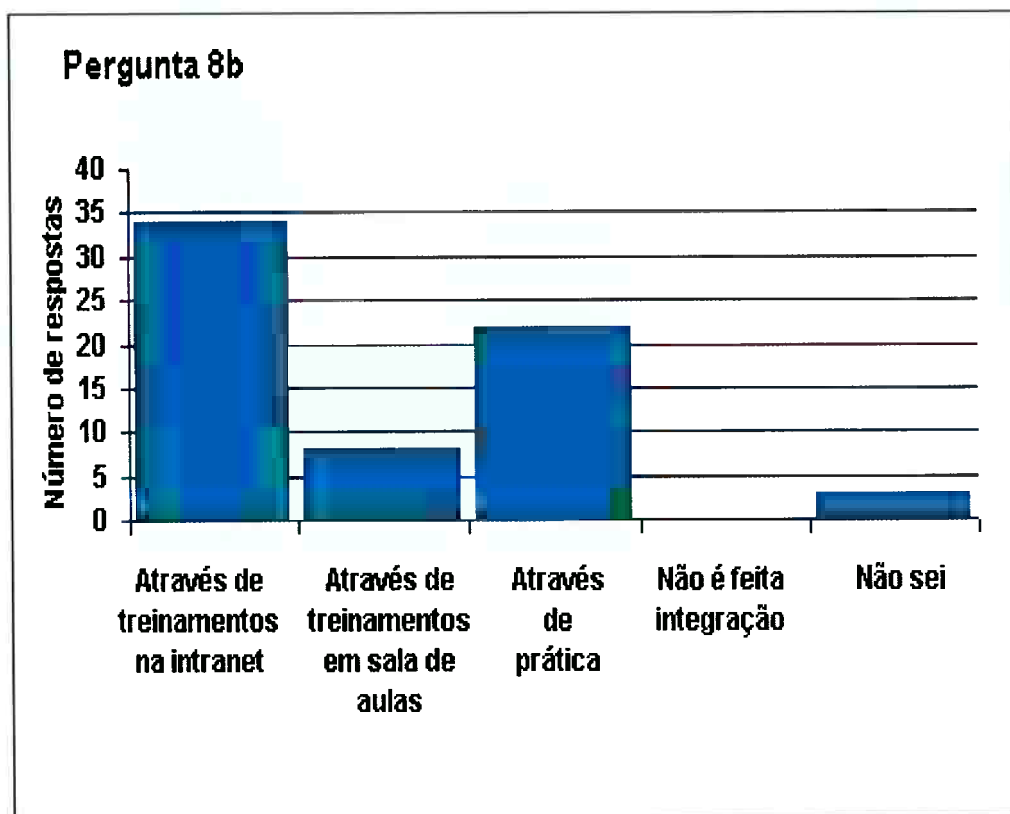


Figura 5.13 – Resultados da pergunta 8b do questionário aplicado na Unidade de Análise

5.2.10 Resultado da pergunta 9 do questionário

A pergunta 9 tinha como objetivo avaliar a percepção do grupo sobre a o nível de conhecimento do produto, prático e teórico, necessário para se trabalhar com protótipos virtuais e/ou desenvolvimento virtual de produtos. Esta pergunta está diretamente relacionada com a questão 11 da pesquisa. Os dados obtidos foram ajustados a uma curva de distribuição Normal. O resultado é mostrado na Figura 5.14.

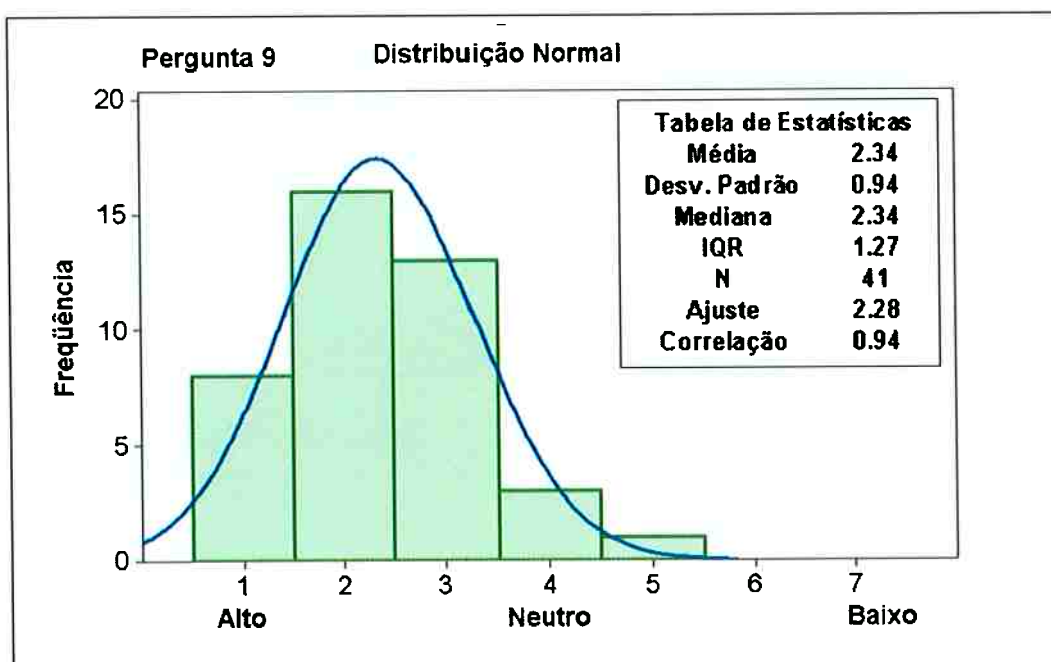


Figura 5.14 – Resultados da pergunta 9 do questionário aplicado na Unidade de Análise

A maioria do grupo considera que o conhecimento sobre o produto que é necessário para se trabalhar com PVs é alto, maior do que no processo tradicional, com protótipos físicos.

5.2.11 Resultado da pergunta 10 do questionário

A pergunta 10 tinha como objetivo avaliar a percepção do grupo o resultado do uso de protótipos virtuais na Unidade de Análise. Esta pergunta é ligada à questão 12 da pesquisa. Foram dadas as seguintes alternativas:

- 1 - Tem proporcionado ganhos de tempo.
- 2 - Tem proporcionado ganhos de qualidade.
- 3 - Tem proporcionado redução de custo.
- 4 - Não apresenta resultados na prática.
- 5 - Tem facilitado o trabalho de desenvolvimento de produtos.
- 6 - Tem dificultado o trabalho de desenvolvimento de produtos.
- 7 - Não sei.

Os resultados são mostrados na Figura 5.15. É importante observar que havia quatro alternativas positivas em relação ao uso dos PVs e duas alternativas negativas. Nenhuma resposta foi colocada nas alternativas negativas e todas as alternativas positivas tiveram aproximadamente o mesmo número de citações. Este resultado mostra que a percepção geral do grupo é de que os resultados do uso de protótipos virtuais no desenvolvimento de produtos vêm apresentando bons resultados, em especial destaca-se que o grupo percebe que o uso desta ferramenta facilita o trabalho de desenvolvimento de produtos.

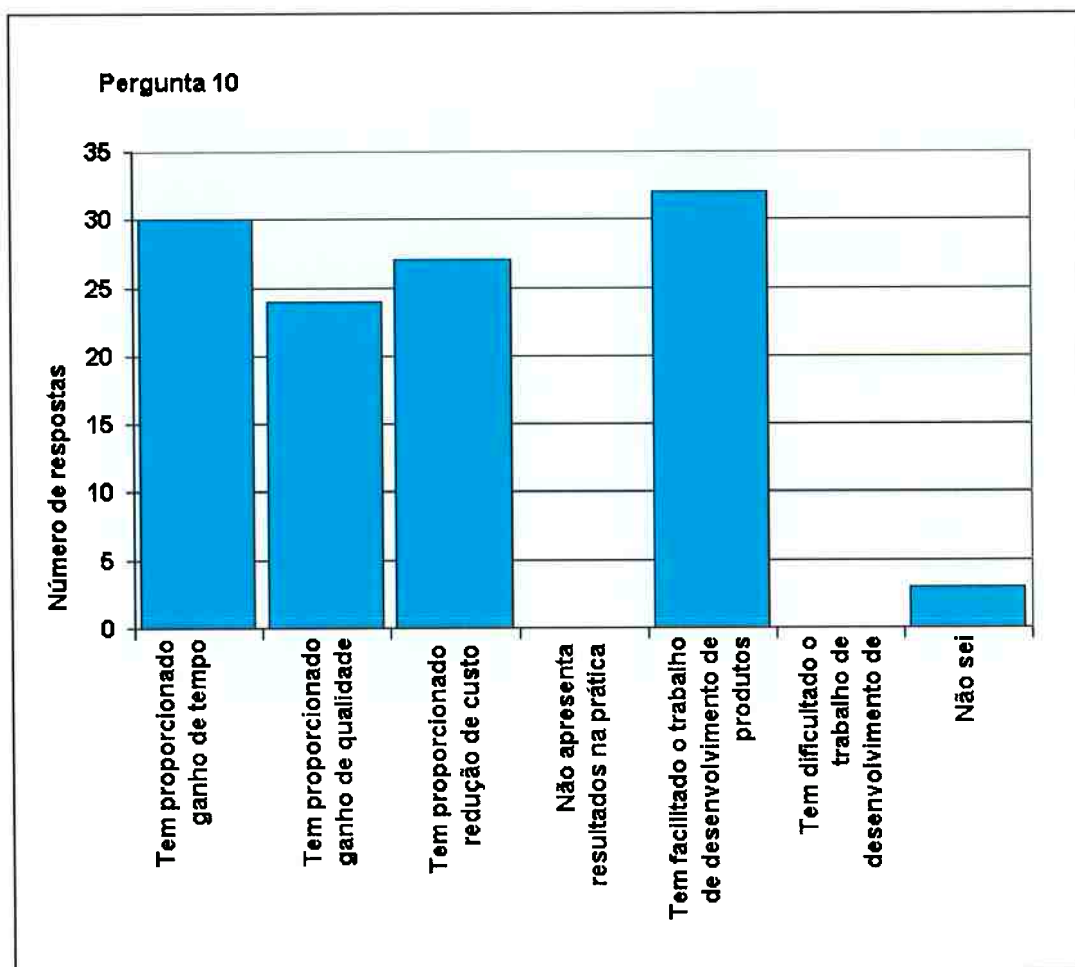


Figura 5.15 – Resultados da pergunta 10 do questionário aplicado na Unidade de Análise

5.2.12 Síntese dos resultados do questionário

A Figura 5.16 ilustra a análise comparativa dos resultados obtidos nas questões sobre percepção de concordância dos respondentes. A maioria dos quarenta e dois respondentes apresentam concordância nas questões 1a, 2, 3, 4, 5, 8 e 9, com média acima de 2.

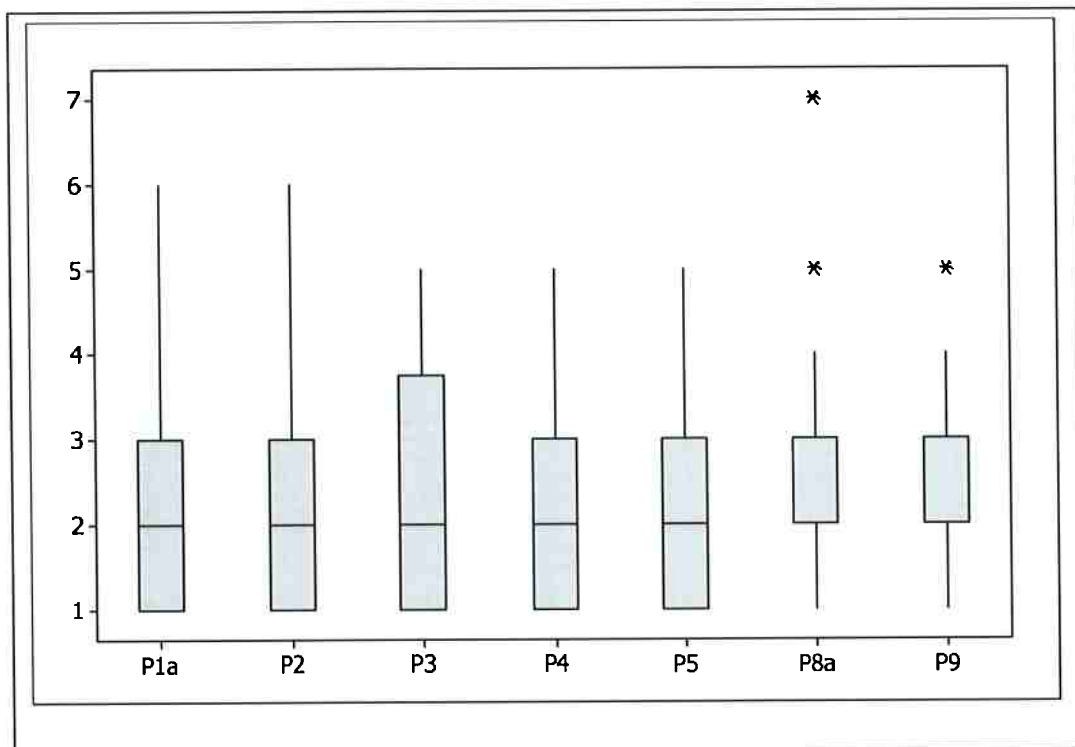


Figura 5.16 – Análise comparativa dos resultados

Observa-se ainda que a maioria dos respondentes nestas questões se localizaram nas pontuações 1 a 3. Nas questões 8^a e 9, três respondentes destoaram do restante da amostra (outliers), sendo dois na questão 8^a e 1 na questão 9.

5.3 ENTREVISTAS APLICADAS NA UNIDADE DE ANÁLISE

Nas entrevistas com os 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.

Nos comentários que se seguem eles serão referenciados como: Coordenador "A", Especialista "B", Especialista "C" e Especialista "D".

A Tabela 5.1 apresenta o perfil dos entrevistados.

Entrevistado	Nível Hierárquico	Área na unidade de Análise	Tempo que desenvolve PV
"A"	Coordenador	Desenho do Produto	6 anos
"B"	Líder de Grupo	Desenho do Produto	3 anos
"C"	Líder de Grupo	Desenho do Produto	6 anos
"D"	Líder de Grupo	Desenho do Produto	2 anos

Tabela 5.1 – Perfil dos Entrevistados

A seguir são mostrados os principais pontos de cada pergunta da entrevista.

5.3.1 A questão 1 da entrevista

As entrevistas começaram como a questão "Você considera que o produto da Unidade de Análise pode ser adequadamente representado por modelos sólidos 3D

gerados pelo software de CAD utilizado na empresa? Existe algum ponto que apresenta dificuldades para ser modelado?"

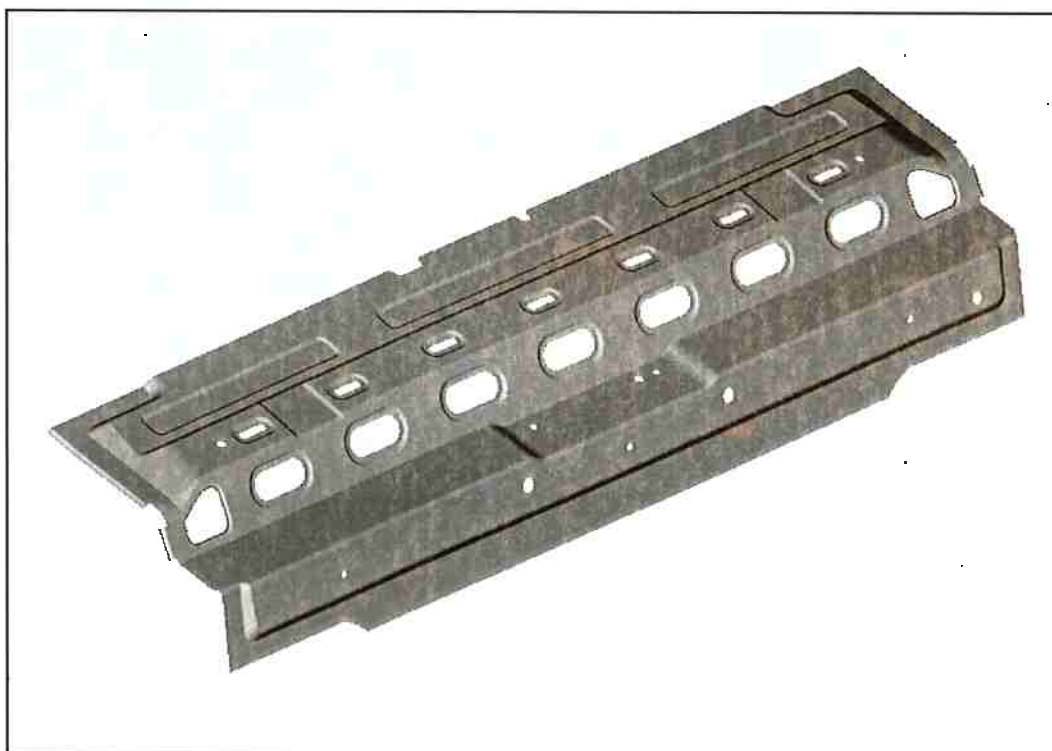


Figura 5.17 – Exemplo de peça rígida modelada em sólido 3D no CAD na Unidade de Análise

Segundo foi informado a engenharia de produtos da Unidade de Análise conta com mais de dez anos de experiência e conhecimento acumulado na modelação de peças em sólidos 3D no sistema CAD que usam atualmente. Esta experiência é reforçada com a troca de conhecimentos e das práticas de engenharia com os outros centros de engenharia do grupo. Desta forma, todas as peças projetadas por esta engenharia, e também as desenvolvidas por seus fornecedores, são modeladas em sólidos 3D e seguem um padrão de qualidade definido em documentos internos da empresa. Uma parte destes requisitos de qualidade dos modelos 3D é verificada automaticamente antes que o usuário do sistema CAD possa liberar a informação contida neste modelo para ser vista por outras áreas da empresa. Muitos destes arquivos também possuem várias características parametrizadas, o que facilita a

modificação da geometria existente ou criação de outra geometria com base na forma anterior. Como exemplos de características de peças que tem sido parametrizada frequentemente foram citadas as espessuras de peças de chapa, os ângulos de saída de ferramenta em peças plásticas e a posição e as dimensões de furos e flanges. A figura 5.17 mostra um exemplo de peça modelada na unidade de análise.

Todos os especialistas entrevistados concordam que todas as peças que compõem um veículo podem ter modelos matemáticos bem representativos das peças reais, isto porque o software de CAD que eles utilizam possui recursos para modelar qualquer tipo de peça. Porém, foram também unânimes em admitir que para alguns poucos tipos de peças ainda existem algumas dificuldades para que os modelos matemáticos se tornem uma boa representação da realidade. Os principais problemas descritos por eles podem ser classificados em três grupos, como descritos a seguir.

Grupo 1 - peças com modelos matemáticos antigos, feitos antes de se ter disponível e dominado todos os recursos e as técnicas de modelagem em sólidos 3D no CAD, e que eventualmente encontram-se em reuso em novos projetos. Para sanar este problema é necessário fazer a engenharia reversa, ou seja, passar a geometria de uma peça física já existente para um modelo CAD. Como na Unidade de Análise estes casos em geral correspondem a peças com formas complexas, esta tarefa implica no escaneamento da forma da peça real e a passagem dos dados para o CAD. Este processo tem custo e só é feito quando o benefício de adquirir os dados da geometria peça antiga para o sistema CAD é tido como compensatório.

Grupo 2 – peças que receberam modificações que não foram repassadas para o modelo matemático. Neste caso a solução para se prevenir este tipo de problemas pode ser obtida com um fluxo de trabalho que não permita modificar peças sem a respectiva atualização do modelo matemático. De fato, segundo o fluxo de trabalho atual, o modelo 3D deve ser atualizado sempre antes que alguma modificação seja feita na peça real. Desta forma pode se analisar virtualmente se esta modificação pode ter algum impacto negativo no produto.

Grupo 3 – peças flexíveis tais como mangueiras, chicotes elétricos, cabos de acionamento de dispositivos mecânicos e peças de espuma ou tecido. Estes tipos de peça devem ser modelados para cada aplicação e condição de uso. Além disso, elas

apresentam alterações da geometria conforme são expostas ao calor, à pressão do fluido interno no caso de mangueiras, à ação da força de gravidade, à ação do tempo e de muitos outros fatores, de forma que se torna difícil de prever exatamente qual será a geometria da peça na condição de uso da mesma. Uma solução apontada por eles é a criação de envelopes, isto é, uma superfície que delimita qual é o espaço máximo que a peça vai ocupar na condição de uso. Embora em alguns casos já se tenha uma boa técnica para o desenvolvimento destes envelopes, eles admitem que em alguns casos o conhecimento ainda não está totalmente dominado.

Foi também ressaltado pelo especialista “C” que as peças são modeladas conforme o projetista espera que ela seja produzida. Porém podem ocorrer desvios no processo de construção do ferramental de produção da peça, resultando em pequenos desvios em relação ao projeto inicial.

Ainda com relação ao *software* de CAD utilizado na Unidade de Análise foi citado que um dos requisitos para o sistema poder representar o produto adequadamente é que ele seja capaz de lidar com conjuntos de peças de vários níveis, da mesma forma como são compostos os conjuntos de componentes utilizados na empresa. Neste ponto o sistema CAD utilizado tem cumprido plenamente este requisito segundo os entrevistados.

O especialista “D” informou que apesar de já terem a modelação 3D bem desenvolvida o processo de liberação de informação oficial ainda usa os desenhos 2D. Com isso uma parcela da força de trabalho ainda fica voltada para a execução destes desenhos. Segundo este especialista este é um ponto que pode ser melhorado no futuro.

As informações obtidas nas entrevistas estão de acordo com os resultados dos questionários. As colocações dos entrevistados confirmam a percepção do grupo de que os modelos 3D das peças podem ser uma boa representação da realidade e confirmam que existem alguns problemas a serem superados para conseguirem que 100% do produto seja adequadamente representado por modelos 3D. Os resultados também estão em concordância com a pesquisa feita na literatura sobre este ponto.

5.3.2 A questão 2 da entrevista

A segunda questão abordada nas entrevistas foi “O desenvolvimento e a manutenção dos produtos da Unidade de Análise podem ser adequadamente controlados pelo software de PLM utilizado na empresa?”.

De acordo com o coordenador “A” e os especialistas “B” e “D”, a Unidade de Análise possui um software de gerenciamento de dados capaz de controlar

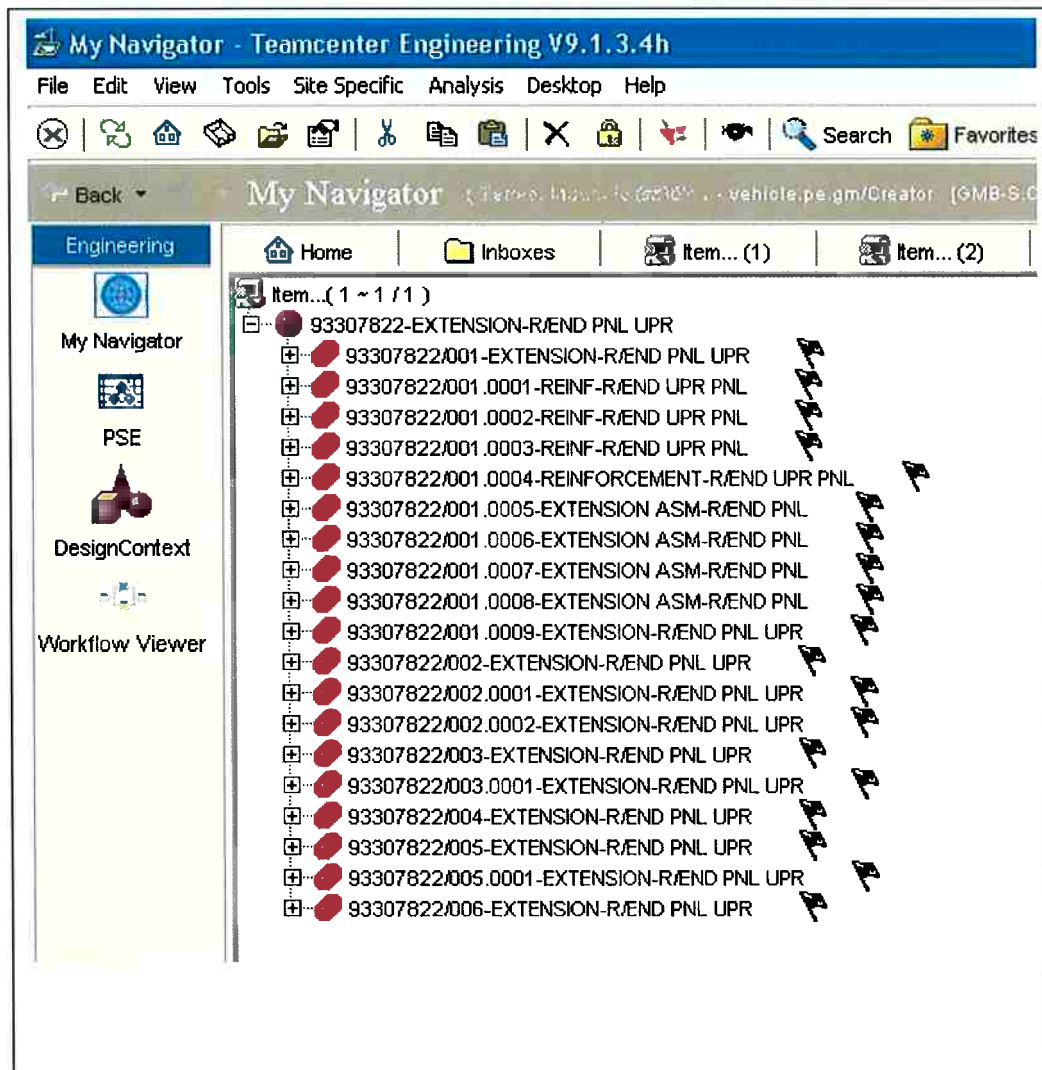


Figura 5.18 - Exemplo de arquivo com modelo CAD de uma determinada peça, com controle das diversas revisões criadas ao longo da vida do projeto. Além de permitir visualizar como era a geometria da peça a cada modificação, também se tem o controle de qual documento de engenharia autorizou a modificação, quem executou a modificação, além de uma série de outros dados importantes quando se busca rastrear o histórico de uma peça.

adequadamente a evolução do produto da empresa durante a fase de desenvolvimento e durante a vida útil do produto. O *software* fornece todas as ferramentas necessárias para que isto aconteça. Como este *software* é integrado com o sistema CAD, com o auxílio dele também é possível saber e visualizar qual a configuração de um determinado modelo de um veículo em determinado ano, assim como controlar o histórico de todas as revisões feitas em cada peça ou conjunto de peças, como exemplificado na Figura 5.18. Este recurso também permite que se trabalhe de forma global, com sincronização entre os dados das diversas unidades de engenharia da empresa. Este *software* é altamente customizado para a aplicação na empresa à qual pertence a Unidade de Análise.

Um dos poucos problemas apontados tanto pelo coordenador "A" quanto pelo especialista "B" está relacionado à disciplina no uso destes recursos. Disciplina esta que se não for seguida rigorosamente pode vir a causar falha no conjunto de informações. Outro problema apontado é com a falta de conhecimento de todos os recursos por parte dos usuários da engenharia, embora sempre que necessário eles possam contar com o suporte de especialista nas ferramentas e se necessário consultar especialistas de outras divisões, podendo-se em alguns casos até consultar a pessoa que criou a ferramenta. Para contornar este problema além dos treinamentos via Intranet, têm sido promovidos pequenos cursos internos para enfatizar o uso de algumas das ferramentas disponíveis no sistema.

O especialista "C" destacou que o sistema tem sido de grande ajuda, mas sem o ser humano não acontece nada. A competência dos engenheiros, projetistas e analistas, usuários deste sistema, é muito importante para que o produto possa ser configurado e visualizado adequadamente.

Já o especialista "D" comentou que ele espera que ocorra nos próximos anos uma integração maior entre o PLM e outros *softwares* corporativos, como o *software* de controle de lista de peças e de controle de ordens de trabalho de engenharia.

De forma geral existe concordância entre o resultado das entrevistas e a percepção do grupo de projetos apontada no questionário. A observação quanto à dependência de o sistema ser corretamente alimentado de informações pelos usuários pode ser uma justificativa adicional para a parte do grupo que apresentou respostas neutra ou negativa para este item.

5.3.3 A questão 3 da entrevista

A terceira questão abordada na entrevista foi: “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 software de PDM?”.

Os entrevistados foram unânimes em afirmar que a Unidade de Análise possui uma base de *hardware* capaz de lidar com o PV de seu produto. Conforme informou o especialista “B”, as estações de trabalho de engenharia podem carregar um veículo inteiro, com todos os detalhes. Embora muitos dos usuários sintam que o sistema perde um pouco de desempenho com conjuntos muito grandes, como é o caso do PV de um veículo completo. Para amenizar este problema eles contam também com um software de visualização, que permite visualizar e fazer vários tipos de análises em um PV, da mesma forma que se faria com o software de CAD utilizado, mas com um desempenho muito melhor. Este software de visualização pode também ser rodado a partir de um microcomputador comum, dispensando a necessidade do uso de uma estação de trabalho de engenharia. É com o apoio deste *software* de visualização que as reuniões de revisão do projeto são conduzidas. Como característica adicional este software permite a visualização colaborativa das imagens presentes na tela do computador. Isto permite que pessoas de outras localidades participem destas reuniões.

O especialista “C” destacou que não é todo e time e nem toda hora que se necessita abrir um veículo completo no sistema. Em muitas vezes abrindo-se apenas uma parte do produto já se têm as informações necessárias para um dado trabalho.

O especialista “D” destacou que existe todo um estudo para dimensionar adequadamente o *hardware* em função da utilização que ele deverá ter.

Segundo afirmou o coordenador “A” dispor de um *hardware* adequado é muito importante quando se trabalha com um produto composto por milhares de peças.

Neste ponto os entrevistados parecem mais convictos do que o grupo de projetos de que o *hardware* está adequado para o uso de PVs, mas de forma geral estão alinhados com os resultados da literatura a respeito deste item.

5.3.4 A questão 4 da entrevista

A questão seguinte na entrevista foi “Com a combinação dos recursos de CAD, PLM e hardwares disponíveis na Unidade de Análise os engenheiros e outros usuários podem configurar e visualizar o protótipo virtual do produto que desejam?”.

Segundo os especialistas entrevistados, a Unidade de Análise possui os recursos físicos necessários e uma parte grande de seu pessoal treinado, de forma que a resposta a esta questão é afirmativa. No momento eles passam por um processo de expansão de número de usuários e por treinamento destes novos usuários. Estes treinamentos além de incluírem o uso dos softwares necessários,

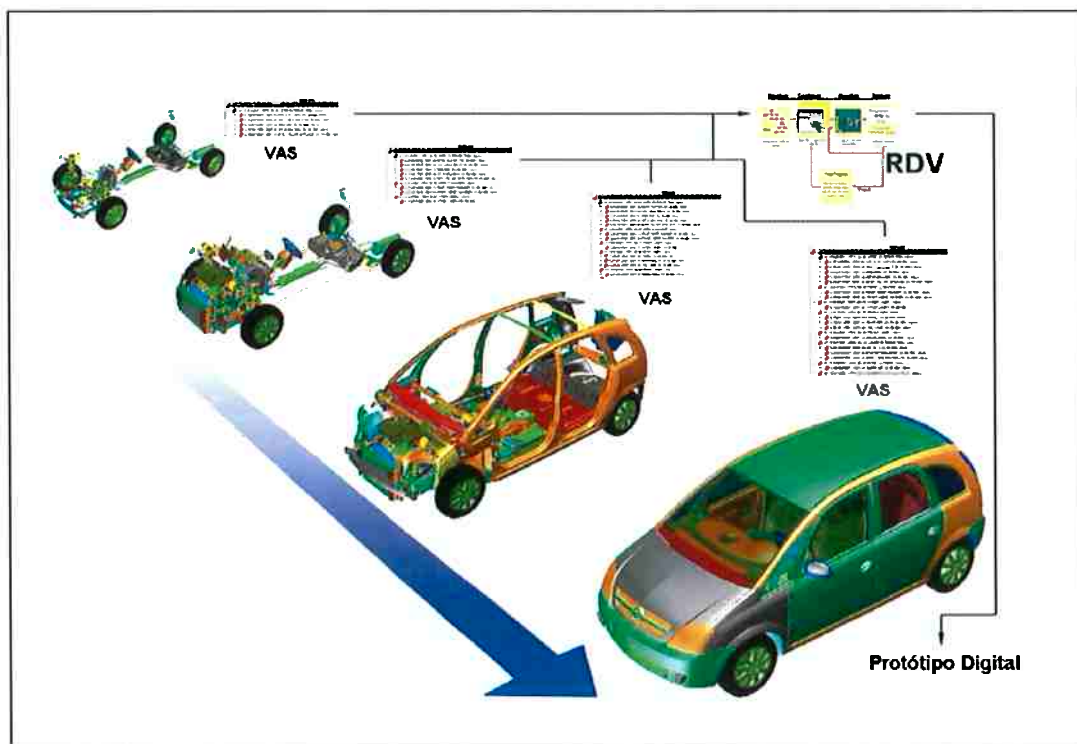


Figura 5.19 – Diagrama usado na Unidade de Análise para exemplificar o desenvolvimento do protótipo virtual durante o desenvolvimento do produto.

também mostram como usar os PVs no decorrer do desenvolvimento de um produto, como é exemplificado na figura 5.19.

O especialista “D” comentou que eles estão passando por um processo de experiência no uso dos PVs, e a cultura de considerar os PVs como protótipos representativos do projeto quanto um PF está em formação.

Também foi lembrado que para os usuários poderem configurar a versão do produto que desejam visualizar e ter 100% dos componentes de um determinado modelo é necessário que todos os usuários sigam rigorosamente as regras de montagem dos conjuntos que compõem os protótipos virtuais e que também incluam todas as informações complementares ao arquivo CAD. Os usuários que adicionam dados ao banco de dados de CAD da engenharia de produtos têm a responsabilidade de manter todas as informações referentes aos produtos da empresa sempre atualizadas. O fator responsabilidade do usuário foi destacado, apesar de ser também lembrado que existe um fluxo de trabalho que deve identificar alguma eventual falha e solicitar a correção.

5.3.5 As questões 5a e 5b da entrevista

As perguntas seguintes foram: “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?” e “Em caso de resposta positiva, na sua percepção esta informação é bem disseminada entre todos os membros da equipe de desenvolvimento de produtos?”. Com estas perguntas a entrevista entra na parte relacionada ao pressuposto 2.

Segundo os entrevistados “A” e “B”, existe na empresa a qual pertence a Unidade de Análise um processo chamado GVDP – *Global Vehicle Development Process* – o qual é o guia para o desenvolvimento de novos produtos na Unidade de Análise e em todos os centros de engenharia da corporação como um todo.

Este processo detalha como devem ser todas as etapas do desenvolvimento de um novo produto. As análises de protótipos virtuais já estão incorporadas neste processo. Desta forma, para o desenvolvimento de um novo veículo são definidos nove “*gates* virtuais”, isto é, reuniões para a análise de protótipos virtuais se tomada de decisões sobre o projeto (ver Figura 6.18).

Para cada *gate* virtual está definido qual o nível de qualidade dos dados matemáticos que deve ser atendido para cada tipo de peça e em cada fase do

desenvolvimento. A Figura 5.20 mostra como é feito o desenvolvimento do protótipo virtual ao longo do desenvolvimento do produto. Foram citados como exemplo de nível de qualidade de dados matemáticos o nível “final”, no qual o produto deve estar completamente representado por sólidos 3D gerados em CAD, com todos os detalhes necessários para representar completamente a intenção do projeto e permitir que sua geometria seja usada para a geração de ferramentas para a

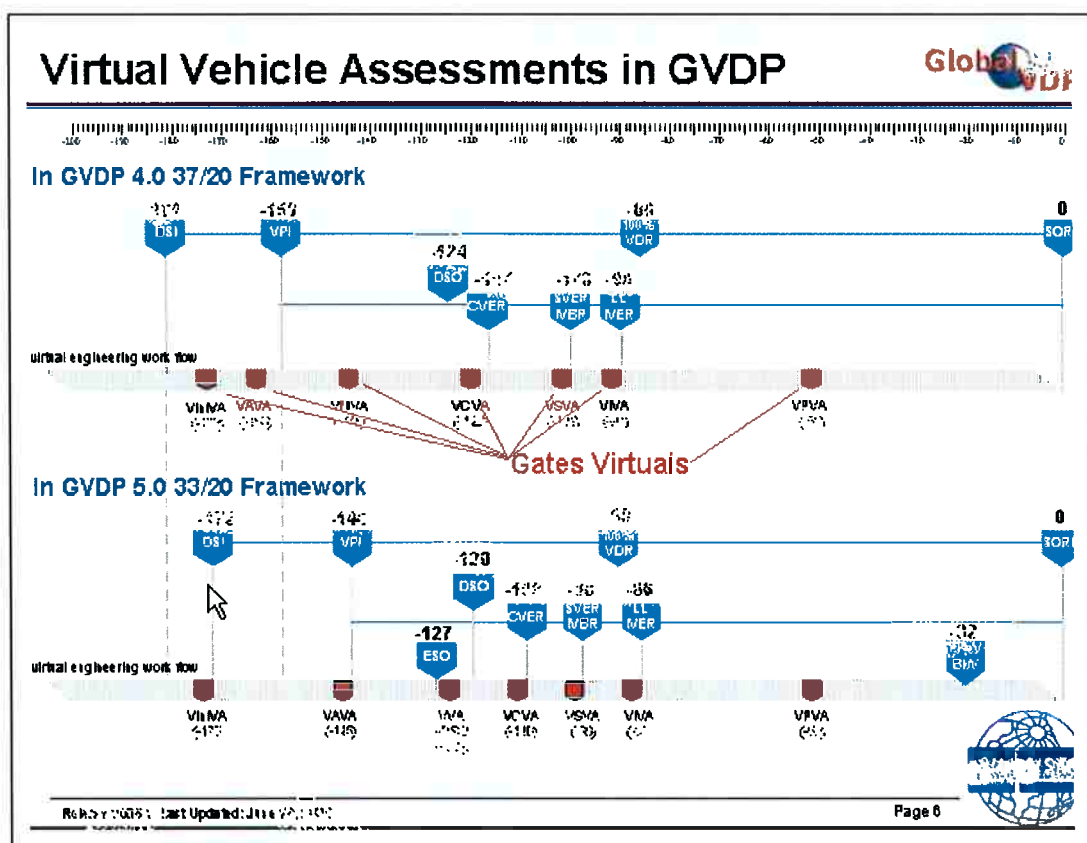


Figura 5.20 – Evidência da sistematização do uso de protótipos virtuais durante o desenvolvimento de um produto na Unidade de Análise. Existem várias etapas do projeto que devem ser validadas virtualmente. Algumas informações foram tornadas ilegíveis de forma proposital para evitar divulgação de informações confidenciais da empresa.

produção da peça. Este arquivo deve ainda atender a uma série de padrões da empresa, de forma a garantir a qualidade e a integridade dos dados nele contidos. Já no nível “intermediário”, o produto deve ser representado preferencialmente por sólidos, mas superfícies também são aceitas. Neste nível todas as principais formas do produto já devem estar definidas, mas alguns detalhes podem ainda estar

faltando. Este arquivo pode ser usado para a fabricação de protótipos físicos, caso seja necessário, mas não pode ser usado para produzir um ferramental para produção em série.

Segundo o especialista “D” respeitar estes estágios de maturação dos dados matemáticos é um fator muito importante e que tem sido enfatizado para o grupo de projetos.

Antes de cada *gate* virtual existem eventos chamados de “*data freeze*”, em que os dados matemáticos do projeto são congelados, ou seja, é feita uma cópia de como os dados estão naquele momento. É com estes dados que o projeto é analisado de forma virtual por uma equipe de analistas e o resultado apresentado nas reuniões dos *gates* virtuais. A Figura 5.21 mostra um exemplo de PV de um produto da unidade de análise usado em reuniões de revisão de projeto.

O GVDP também tem a função de ajudar a padronizar os processos de desenvolvimento de produtos em todos os Centros de Engenharia da Unidade de Análise, além de ajudar a equipe de desenvolvimento a manter o foco na velocidade do desenvolvimento, de forma a atingir o objetivo de colocar os novos produtos no mercado no tempo planejado, sem atrasos. O GVDP é usado para possibilitar um consistente (previsível e repetitivo) desempenho da organização. Como todo desenvolvimento de veículo segue este processo, ele foi aprimorado com os erros e acertos que ocorreram no desenvolvimento de vários projetos, e vem recebendo revisões periodicamente com o objetivo de reduzir o tempo de desenvolvimento de novos produtos.

Segundo os entrevistados um dos problemas que eles encontram é que devido à documentação ser muito extensa e um tanto quanto complexa, isto demanda um esforço considerável para que se tenha um bom entendimento do processo. Como consequência, muitos dos engenheiros e projetistas focam apenas na parte do processo que atinge diretamente as suas atividades. Apenas alguns destes profissionais possuem o conhecimento completo do sistema, normalmente são as pessoas responsáveis pela integração do projeto através das diversas áreas da engenharia. De forma geral eles colocam que um dos pontos que deve ser trabalhado junto a suas equipes é o melhor entendimento de todo este processo. Nesta mesma linha um dos especialistas lembrou que muitas vezes o problema é a falta de entendimento de quem recebe a informação, principalmente quando se está

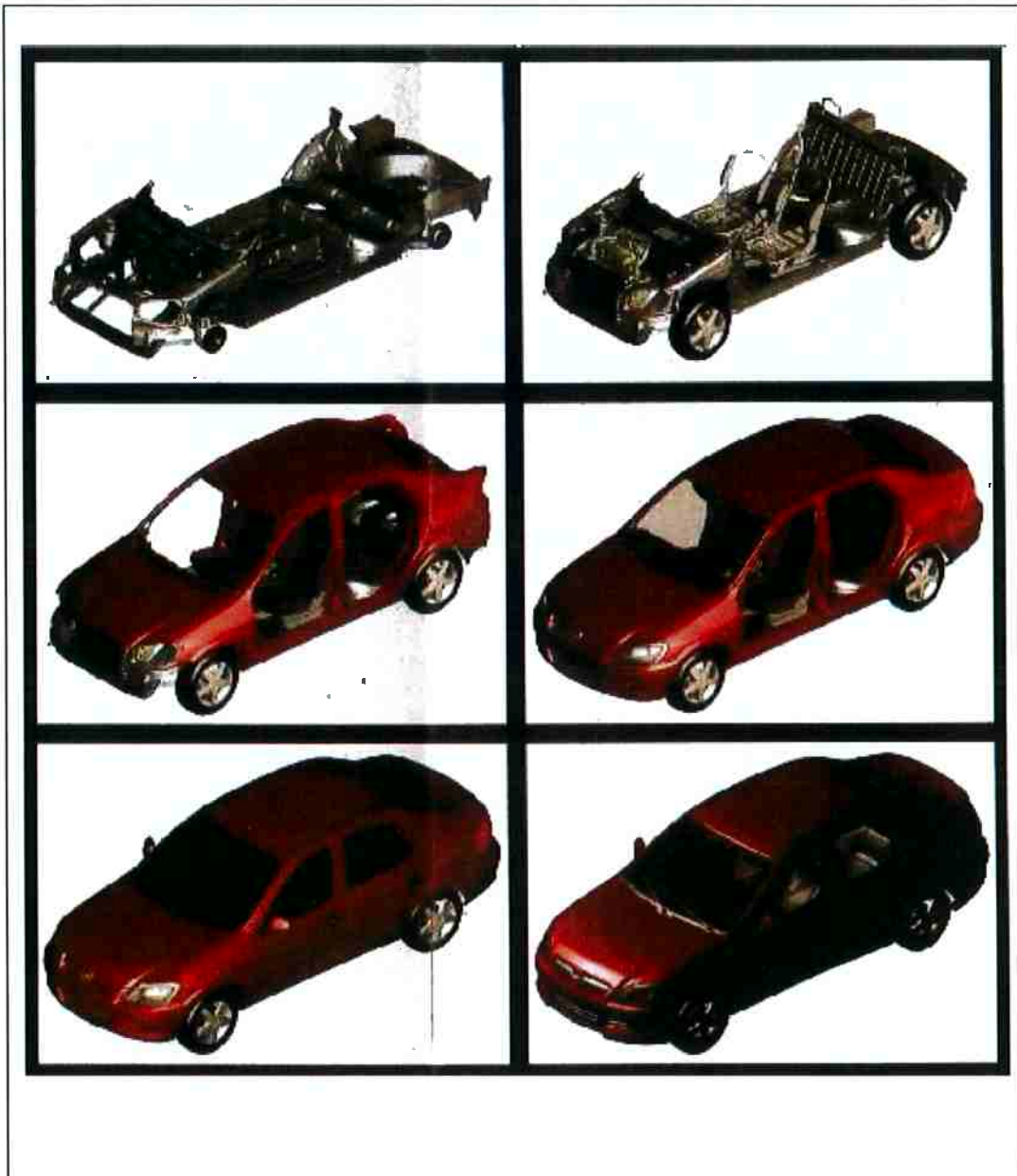


Figura 5.21– Exemplo de PV de um produto da Unidade de Análise usado nas reuniões de revisão de projeto. Fonte revista Panorama, ano 45, n. 10, out/2006

nas fases iniciais do desenvolvimento, onde é permitido emitir uma informação incompleta. O receptor daquela informação tem de estar ciente de quais são os usos autorizados para esta informação.

Estas respostas condizem com a percepção do grupo, obtida com o questionário fechado, de que o processo determina o que deve ser criado de dados matemáticos. A aplicação sistematizada dos PVs na Unidade de Análise ao longo desenvolvimento do produto está nos estágios mais avançados descritos na literatura.

5.3.6 A questão 6 da entrevista

A questão seguinte foi: "Como o protótipo virtual criado com as informações de cada fase do projeto é usado dentro da Unidade de Análise?"

Segundo os três especialistas alguns dos usos dos PVs que se apresentam mais desenvolvidos dentro da Unidade de Análise são as validações do projeto do produto no que concerne a montagens, folgas, interferências e conformidade com os critérios de projeto. Neste ponto vale ressaltar que se está focando os protótipos virtuais feitos com modelos CAD, se o estudo for estendido para incluir análises de CAE veremos que este é um outro ponto forte da Unidade de Análise.

De acordo como o coordenador "A", atualmente o custo de retrabalho de protótipos na Unidade de Análise é praticamente zero devido à alta qualidade da informação liberada para a construção de protótipos físicos. Esta qualidade é conseguida mediante a análise virtual de todos componentes e sistemas antes de serem solicitados protótipos físicos. Segundo um dos especialistas entrevistados, pode ser afirmado com um bom nível de confiança de que o projeto não contém nenhuma falha de geometria quando é liberada a construção do ferramental. Os PVs também são usados para ajudar a identificar pontos onde o produto pode ser melhorado. Durante a fase de projeto os PVs são usados em várias reuniões. Nestas reuniões os PVs ajudam os engenheiros a buscar soluções para o projeto do produto, a verificar a incorporação dos critérios de projeto e também funcionam como demonstração do andamento do projeto. Os PVs são a base para diversas análises de engenharia.

Foi citado também que o PV é importante na manutenção dos modelos em produção, para todos os estudos de melhoria ou modificação do produto e como referencia para novos modelos.

O sistema de desenvolvimento de produtos requer que certa quantidade de PVs sejam criados ao longo do desenvolvimento de um novo produto.

Alguns outros departamentos como o marketing também já começam a usar a informação dos PVs, mas neste caso um funcionário da engenharia de produtos é encarregado de “pilotar” o *software* e passar as informações, que podem ser arquivos com modelos 3D ou imagens 2D.

O especialista “D” 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”.*

No que se refere aos usos dos PVs os especialistas entrevistados estão bem alinhados com as informações dadas pelo grupo de projetos. Estas informações também estão alinhadas com a literatura a respeito dos PVs e em muitos casos ultrapassando o que se tem descrito na literatura.

5.3.7 A questão 7 da entrevista

A questão seguinte “Como foi feita a adaptação do time de projetos da Unidade de Análise às novas ferramentas digitais?” já está relacionada com o pressuposto 3.

Segundo os entrevistados "A" e "B", a adaptação varia de pessoa para pessoa. A informação tem que chegar às pessoas quando é necessária, assim como os treinamentos têm de estar disponíveis no tempo certo. Há algum tempo eram feitos muitos treinamentos em salas de aula, atualmente a predominância é por treinamentos via Intranet com reforço de palestras curtas sobre alguns pontos mais importantes. Porém eles não dispõem de um processo formal de acompanhamento desta adaptação ou do aproveitamento dos treinamentos, nem uma política que enfoque a transformação cultural que estas novas tecnologias acarretam.

Segundo o coordenador "A", se for feita uma análise com um enfoque temporal longo, pode-se perceber que pessoas que tinham dificuldade para se adaptar as novas ferramentas acabaram saindo do grupo. O especialista "C" destacou que hoje o profissional de engenharia de produtos vive em constante adaptação às novas ferramentas, que não param de ser criadas e aperfeiçoadas, e segundo sua percepção vão continuar em um processo de grandes mudanças por muitos anos. Ainda segundo o especialista "C", a facilidade de se adaptar a novas situações, sem se sentir ameaçado pelas mudanças é uma característica que se busca nos novos funcionários. Neste ponto os funcionários novos, em geral mais jovens, tendem a ser mais receptivos para as novas tecnologias.

O especialista "D" ressaltou que o enfoque está no treinamento via Intranet, e que este tem apresentado resultado satisfatório. Ele comentou que tem recebido retorno positivo de alguns dos engenheiros que fizeram este tipo de treinamento e depois foram submetidos a situações onde o conhecimento adquirido no treinamento foi realmente necessário. Eles relatam que conseguiram executar as tarefas necessárias somente com o que tinham aprendido no treinamento.

Estas respostas das entrevistas foram além do foco do questionário, que era a forma de treinamento usada. Mostrou que este é um ponto importante e que merece ser trabalhado como maior atenção.

5.3.8 A questão 8 da entrevista

“O grupo de projetos da Unidade de Análise tem facilidade para trabalhar com protótipos virtuais e ferramentas virtuais em geral? Em especial no caso de funcionários novos, como é feita a integração deles a estes recursos de TI da Unidade de Análise?”

Segundo os entrevistados “A” e “B”, o grupo de engenheiros e projetistas que trabalham com CAD na maior parte do tempo, e em sua maioria, tem facilidades para lidar com PVs. Contudo, na engenharia como um todo, a cultura de se trabalhar com PVs está em processo de formação. Cada vez mais os profissionais de engenharia são expostos ao mundo virtual e percebem a necessidade de dominar as novas técnicas de trabalho.

Para os novos funcionários existem palestras internas sobre as ferramentas e sobre os processos, segundo destacou o especialista “C”, e como complemento existe, em algumas áreas da engenharia, a figura do tutor. O tutor é um profissional mais experiente e que tem a incumbência de ajudar o funcionário novo a se adaptar, mas isto não é exclusivo em relação aos recursos virtuais, é mais geral. O especialista “B” destacou que existe uma quantidade muito grande de informações que os funcionários podem ter ao seu dispor ao entrar na Intranet de empresa. É preciso saber filtrar o que é mais importante para o momento e focar em determinados pontos.

5.3.9 A questão 9 da entrevista

A questão é “Qual é o nível de conhecimento do produto, prático e teórico, necessário para se trabalhar com protótipos virtuais?”

Segundo o entrevistado “A”, o nível de conhecimento que o engenheiro ou projetista precisam ter, que são específicos sobre o produto, pode ser um pouco menor do que no processo convencional. Ele argumenta que sem os PVs era mais difícil ir atrás das informações, sendo necessário mais habilidade na interpretação de desenhos técnicos.

O especialista “C” destacou que a capacidade de abstração tinha de ser muito grande, mas atualmente, com os recursos de visualização 3D que dispõem tornou-se muito mais fácil entender os problemas geométricos. Já o especialista “B”

destacou que com os recursos virtuais o conhecimento está mais facilmente disponível para o usuário, mas deve-se considerar que atualmente muitas informações técnicas sobre os sistemas que compõem um veículo ficam com os fornecedores.

Porém todos concordam que em contrapartida é preciso ter maior familiaridade sobre o uso dos *softwares* específicos de engenharia e sobre informática em geral. É preciso sempre estar aprendendo para não ficar desatualizado.

5.3.10 A questão 10 da entrevista

Por último foi perguntado qual é o resultado do uso de protótipos virtuais na Unidade de Análise. Esta pergunta é ligada à questão 12 desta pesquisa.

Nas entrevistas com os especialistas, todos apontam que o uso dos protótipos virtuais foi um fator importante para se atingir a redução do tempo de projeto de novos produtos observada nos últimos anos. A maioria também considera ainda que o aperfeiçoamento da técnica de uso dos PVs constitui a maior oportunidade existente atualmente para a redução de custo do desenvolvimento de novos produtos.

A economia vem da redução do número de protótipos físico e da redução dos retrabalhos necessários em cada PF. Isto porque que a maioria das falhas de projeto pode ser identificada antes do início da construção do primeiro protótipo físico. Na Figura 5.22 é mostrado um documento usado na unidade de análise para reportar falhas de projeto e solicitar uma ação corretiva.

Com o aumento da qualidade da informação da engenharia de produtos tem-se também uma considerável redução no número de correções no projeto após o ferramental concluído.

Embora faltem dados concretos, um dos especialistas comentou que existe uma estimativa de que o custo de um protótipo virtual seja apenas 1% do custo de um protótipo físico e que o tempo de preparação e análise do protótipo virtual seja, em média, na ordem de 14% do tempo de preparação e teste de um protótipo físico.

O entrevistado "B" fez a seguinte observação no final da entrevista: "Apesar de nossa empresa utilizar os PVs há vários anos, no início com o nome de DMU, foi só recentemente que se passou a usar os PVs de forma sistemática para se validar e desenvolver os projetos. Isto explica porque no início os DMUs não ficavam completos e atualizados, eles eram construídos, faziam-se as análises e depois as

Virtual Integration - One Page Assessment

Product Design: **OPA PD: 916** | Virtual Hardware: **DMU** | PRTS N.º: [] | Closed Date: **21-Feb-2006** | Status: **Information Only**

Project: **Major** | Date Issued: **11-Nov-2005**

Designer: [] | Champion: []

Problem Description
Folga: circa 17,0mm entre o "Inner Hood Panel" e Motor

Measurements
Criteria: **35mm folga** | DMU: **17,0 mm** | Dim. Variation: []

Action Plan / Comments
A folga entre a parte superior do motor e o painel interno do capô será aumentada de 17 para 37 mm. Work Order # 500011, 29-nov-05

Reference Cars

Model	Dimension / Comment
Model: atual produção	33,1mm folga

Picture Area

Folga: 17,0 - 38,0

atual

- 9326.1035A018 OUTER PANEL - HOOD
- 9326.1035A018 PANEL INNER - HOOD
- 9326.1035A018 ENGINE 1 4 65M WPS AC

New shape

- HOOD A1M
- ALUMINE MEDIUM RESISTANCE
- PANEL CEVENT
- PANEL HOOD OTR
- PANEL ASP HOOD INS
- PANEL ASP HOOD INS
- REINFORCEMENT PANEL MATCH
- REINFORCEMENT PANEL MATCH
- PANEL HOOD BTR

Proposta feita em 26/11/2005

Figura 5.22 - Exemplo de documento usado na Unidade de Análise para comunicar falhas de projeto ou oportunidades de melhoria encontradas durante a análise de um protótipo virtual, antes que se tenha sido produzido o primeiro protótipo. Alguns textos foram suprimidos para proteger informações confidenciais. . (Adaptado de Documento da Unidade de Análise)

estrutura ficavam sem atualizações. Hoje a engenharia coloca o PV como base do trabalho de desenvolvimento de um novo produto. Foram criadas regras e ferramentas para a utilização dos PVs. Hoje tudo gira em torno do produto virtual,

desde o início do projeto até o final do produto. Com isso as pessoas estão adquirindo a cultura de como se trabalhar com estas ferramentas virtuais. Isto é um processo que ocorre aos poucos, a medida que as pessoas utilizam as regras e as ferramentas para se trabalhar com PVs. A nossa empresa está na vanguarda da utilização de PVs no Brasil.”

O coordenador “A” apresentou a seguinte preocupação: “Com o desenvolvimento virtual se perdem as técnicas e as habilidades necessárias para se fazer um produto sem a ajuda da informática. Tenho receio do resultado disto, mas como este é um caminho sem volta, resta tentar manter vivo o conhecimento e as habilidades que nos trouxeram até aqui”. Neste mesmo sentido o especialista “B” lembra que os engenheiros perdem a habilidade e o conhecimento de fazer certos tipos de cálculos, uma vez que algumas funções de cálculos de engenharia hoje são feitas automaticamente pelos *softwares*. Isto concentra o conhecimento nas poucas pessoas que desenvolveram estes programas.

Finalmente, todos os entrevistados concordam que a utilização de protótipos virtuais deve crescer nos próximos anos.

5.3.11 Síntese dos resultados das entrevistas

A Tabela 5.2 sumariza os dados qualitativos obtidos nas entrevistas. Observam-se coerências entre as respostas dos entrevistados.

Pergunta	Síntese dos Resultados dos dados Qualitativos			
	Coordenador "A"	Especialista "B"	Especialista "C"	Especialista "D"
1	A representação é adequada, existem poucas exceções.	A representação é adequada, existem poucas exceções.	A representação é adequada, existem poucas exceções. Desvios ferramental.	A representação é adequada, existem poucas exceções. Liberação oficial 2D.
2	O PLM é eficiente no gerenciamento dos dados, mas depende da disciplina do grupo.	O PLM é eficiente no gerenciamento dos dados, mas depende da disciplina do grupo.	O PLM é de grande ajuda mas depende do ser humano.	O PLM é eficiente no gerenciamento dos dados. Tende a crescer a integração com outros sistemas.
3	O hardware capaz para lidar com PVs. É importante para produtos com milhares de peças.	O hardware capaz para lidar com PVs. Podem carregar um veículo inteiro.	O hardware capaz para lidar com PVs. Não é toda hora que se necessita ver veículo inteiro	O hardware capaz para lidar com PVs. A existência de visualizadores é importante.
4	O conjunto tem mostrado bom resultado	O conjunto tem mostrado bom resultado	O conjunto tem mostrado bom resultado	O conjunto tem mostrado bom resultado. Mudança cultural em andamento.
5	O PDP inclui os PVs e o uso do PV é feito sistematicamente nas fases do PDV.	O PDP inclui os PVs e o uso do PV é feito sistematicamente nas fases do PDV.	O PDP inclui os PVs e o uso do PV é feito sistematicamente nas fases do PDV.	O PDP inclui os PVs. Estágios de maturação dos modelos geométricos.
6	O retrabalho de PF é zero devido a análise previa do PV.	PVs são a base para diversas análises de engenharia.	PVs são a base para diversas análises de engenharia.	Usado nos gates e para identificar falhas de projeto.
7	Não houve processo formal para acompanhar este processo.	Não houve processo formal para acompanhar este processo.	A capacidade de adaptação é uma característica valorizada.	Treinamento via intranet.
8	Sim, tem facilidade.	Sim, tem facilidade. Tem muita informação a disposição dos funcionários.	São usados muitos treinamentos via WEB e existe a figura do tutor.	
9	O conhecimento necessário pode ser um pouco menor.	O conhecimento do software precisa ser maior.	A capacidade de abstração pode ser menor.	É preciso sempre estar aprendendo.
10	Redução de tempo e custo de desenvolvimento.	Redução de tempo e custo de desenvolvimento.	Redução de tempo e custo de desenvolvimento.	Redução de tempo e custo de desenvolvimento.

Tabela 5.2 - Síntese dos Resultados dos dados Qualitativos

5.4 CONCLUSÃO DESTA ANÁLISE

As observações de campo confirmam as principais preocupações dos autores que tratam do assunto PVs levantadas nos capítulos 3 e 4 desta dissertação.

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.

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, e que não foram citadas no final do Capítulo 4 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.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta dissertação, discutidas em relação aos pressupostos e as questões centrais que direcionaram o desenvolvimento desta pesquisa. Para tanto, serão apresentadas neste capítulo as análises finais, que englobam a revisão teórica, a construção do quadro teórico, metodologia de pesquisa e pesquisa de campo. Este capítulo se encerra com as recomendações para trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES FINAIS

Faz-se nesta seção uma análise de cada pressuposto inicial da pesquisa e face aos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho.

O Pressuposto 1 foi colocado no início deste trabalho da seguinte forma:

“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”.

Todas as evidências obtidas tanto no levantamento da literatura como na pesquisa de campo confirmam este pressuposto, além do que, mostram que este é o mais importante, pois se estes recursos não estiverem presentes o PV fica praticamente inviabilizado. Sem o PLM, o PV pode até ser feito, mas nesta situação existirá muita dificuldade para que este permaneça atualizado. Pequenas deficiências em alguns destes recursos podem também causar problemas no uso de protótipos virtuais.

Para tornar este pressuposto um pouco mais abrangente poder-se-ia trocar a palavra “hardware” pelo termo “infra-estrutura de TI”, a qual é definida no item 4.4 deste trabalho.

Com esta alteração o Pressuposto 1 passa a ser escrito da seguinte da forma:

“A utilização de softwares apropriados de CAD e de PLM, além de *infra-estrutura de TI* com capacidade adequada, é um dos fatores que influenciam no grau de confiança que se pode ter nos Protótipos Virtuais”.

A discussão deste pressuposto nos capítulos 4 e 5 mostra quais são os recursos materiais, incluindo *software*, mínimos para se trabalhar com um protótipo virtual.

O Pressuposto 2 foi inicialmente escrito como:

“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”.

Este pressuposto também é apoiado pelas evidências encontradas, e embora presente na literatura investigada, foi mais contundente nas entrevistas realizadas na unidade de análise, conforme apresentado no Capítulo 5. Face as evidências obtidas, a redação mais adequada para este pressuposto, acrescentado 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”.

Em outras palavras, é necessário que exista um documento formalizando o plano de desenvolvimento de produtos da empresa. Neste plano deve conter de forma clara quais é o nível de informação que os arquivos CAD devem conter em cada fase do desenvolvimento do produto. Estes arquivos CAD devem ser usados em “*gates*” virtuais obrigatórios onde o projeto é avaliado. Desta forma a equipe de projetos deve saber o que criar de dados matemáticos e quando deve ser feito. Além do que, se tem o respaldo da importância destes dados estarem sendo usados para a aprovação oficial do projeto.

O Pressuposto 3 no início da pesquisa foi escrito da seguinte maneira:

"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".

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.

A síntese da análise cruzadas dos dados desta pesquisa face aos pressupostos e as questões é apresentada na Tabela 6.1.

		Síntese dos Resultados Cruzados dos dados Qualitativos		
Pressupos	Questão	Quadro teórico (Foca na opinião e/ou relatos dos autores pesquisados)	Pesquisa de Campo (Foca na situação pesquisada na unidade de análise)	
			Questionário Fechado	Questões Abertas e Observações Diretas
1	1	A adequada representação da peça física por modelo 3D é fundamental.	A representação é adequada, com algumas poucas exceções.	A representação é adequada, existem poucas exceções.
	2	O uso do PLM para gerenciar os dados do produto tende a crescer e tornar-se mais abrangente.	O PLM tem sido eficiente no gerenciamento dos dados, mas uma parte do grupo discorda.	O PLM é eficiente no gerenciamento dos dados, mas dependa da correta alimentação de dados por parte do grupo. Tende a crescer a integração.
	3	O hardware existente é suficiente, as ferramentas de integração e cooperação estão em desenvolvimento.	O hardware é suficiente, mas é necessário que todos disponham de equipamento atualizado.	O hardware é suficiente. A existência de visualizadores é importante.
	4	A combinação é muito importante para o uso dos PVs, que tem várias aplicações.	O conjunto tem mostrado bom resultado e tem permitido o uso dos PVs.	O conjunto tem mostrado bom resultado e tem permitido o uso dos PVs de forma sistemática.
2	5	O uso dos PVs cruzado com fases de desenvolvimento é pouco tratado na literatura.	É feito o uso do PV associado a cada fase do DNP.	O PDP inclui os PVs e o uso do PV é feito sistematicamente nas fases do PDV.
	6		Sim, existe procedimento.	A documentação que trata deste ponto é complexa e extensa.
	7	O resultado associado a cada fase não é bem tratado na literatura.	O PV é criado a cada fase do PDP e sempre que for necessário.	O PV tem sido usado de várias formas ao longo das fases do PDP.
3	8	O treinamento e a adaptação de pessoas são importantes. Devem ser planejados e considerados características individuais de cada profissional.	É usado predominantemente treinamento via WEB complementado com treinamentos presenciais e experiências no uso rotineiro das novas ferramentas.	Não houve processo formal para acompanhar este processo.
	9			São usados muitos treinamentos via WEB e existe a figura do tutor.
	10		Na maioria o grupo tem facilidade com os PVs.	Os que usam CAD com frequência tem facilidade, os demais estão passando por processo de adaptação.
	11	É necessário muito conhecimento.	É necessário muito conhecimento.	O conhecimento não precisa ser tão grande.
	12	Usos são descritos qualitativamente, nenhum dado quantitativo foi encontrado.	O uso dos PVs apresenta resultados positivos e facilita o trabalho de DNP.	Usos são descritos de forma qualitativa e com resultado positivo quanto a custo e redução de tempo de DNP.

Tabela 6.1 - Síntese dos resultados cruzados dos dados qualitativos.

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, levantado no quadro teórico desta dissertação.

6.2 RECOMENDAÇÕES

O uso de protótipos virtuais na validação e desenvolvimento de produtos pode ser considerado ainda recente na indústria automotiva e seu uso esta sendo incorporado na cultura de desenvolvimento de produtos das empresas deste ramo. Já se pode perceber que os benefícios são grandes, de forma que este é um processo sem retorno. Muitos pontos relacionados ao uso dos protótipos virtuais ainda requerem investigação, de forma que este é um campo que pode vir a receber contribuições de pesquisas futuras.

Um destes pontos é a colocação do uso dos PVs no processo formal de desenvolvimento de produtos de uma empresa, mostrando claramente quais são as

informações de entrada e de saída de cada PV que deve ser criado em cada fase do desenvolvimento e também quais são as características do produto que passam a ser validadas de forma virtual.

Outro ponto que pode ser tema de um estudo mais profundo é a discordância que foi observada no estudo de caso entre as respostas do grupo de projetos e a resposta dos especialistas sobre o nível de conhecimento necessário para se trabalhar com os PVs. Esta resposta pode ter implicações no tipo de formação esperada do profissional que pretende trabalhar na área de desenvolvimento de produtos, afetando desta forma tanto as empresas quanto as escolas que formam os profissionais que irão atuar nestas empresas.

Como terceiro ponto que se pode sugerir para ser estudado em maior profundidade é o processo de configuração de um produto quando se tem uma estrutura de dados de uma família de produtos.

Finalmente, embora tenham sido relatados na pesquisa de campo ganhos significativos no uso dos PV, estes dados não possuem base empírica e seria um objeto interessante de investigações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BEJARANO, V.C. et al. Equipes Virtuais: um estudo de caso na indústria têxtil norte-americana. **Revista Produção**, v. 16, n. 1, p. 161-170, jan./abr. 2006. Disponível em: [<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132006000100013&lng=pt&nrm=iso>](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132006000100013&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 18 jun. 2006.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **A arte da pesquisa**. São Paulo: Martins Fontes, 2000. 351 p.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization, and management in the world auto industry**. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press, 1991. 409 p.

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

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

DONAIRE, D. A utilização do estudo de caso como método de pesquisa na área da administração. **Revista IMES**, ano XIV, n.40, maio/ago. 1997.

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

MORREL-SAMUELS, P. **Getting the Truth into Workplace Surveys**. Harvard Business Review, feb. 2002.

ROSENTHAL, S. R. **Effective product design and development: how to cut lead time and increase customer satisfaction.** Homewood, Ill. : Business One Irwin, 1992. 341p

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

SIEFKES, D. **Virtual reality at general motors design center .** SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2005-01-1842.

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.

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

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.

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

Vasilash , Gary S. Designing with Digits. **Automotive design and production**, Jan. 2004. Disponível em: < <http://www.automfg.com/articles/040101.html> >
Acesso em :01 jan.2006.

YIN, R. K. **Estudo de Caso : planejamento e métodos.** 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 212 p.

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

APÊNDICE A

SAE TECHNICAL PAPER SERIES

GERTH, R. J. - **Virtual Functional Build: A Case Study** – SAE Technical Paper Series n. 2006-01-1651, 2006 World Congress, Detroit, Michigan, April 3-6, 2006.

EBERHARD, D.; BREWERTON S. - **Rapid Prototyping of Production Vehicle Control Systems** - SAE Technical Paper Series n. 2006-01-1657, 2006 World Congress Detroit, Michigan, April 3-6, 2006.

VERMA, D. - **Automotive Product Design and Development – the Current State and Looking into the Future** - SAE Technical Paper Series n. 2006-01-0153, 2006 SAE World Congress Detroit, Michigan, April 3-6, 2006.

2005-01-0525

CACHAT, J. M. - **CAD Driven Quality Systems** - SAE Technical Paper Series n. 2005-01-0525, 2005 SAE World Congress, Detroit, Michigan, April 11-14, 2005.

KHALAF, F. et al. - **Product Development Process: Views and Analysis** - SAE Technical Paper Series n. 2005-01-1214, 2005 SAE World Congress Detroit, Michigan, April 11-14, 2005.

HOSAGRAHARA, A.; SMITH, P. - **Measuring Productivity and Quality in Model-Based Design** - SAE Technical Paper Series n. 2005-01-1357, 2005 SAE World Congress Detroit, Michigan, April 11-14, 2005.

CAFEO, J. A.; THACKER, B. H. - **Concepts and Terminology of Validation for Computational Solid Mechanics Models** - SAE Technical Paper Series n. 2004-01-0454, 2004 SAE World Congress Detroit, Michigan, March 8-11, 2004.

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.

RANKY, P. G. - **A 3D-Web Collaborative Concurrent Automotive Engineering Method Based on our 'Distributed Digital Factory' and 'Digital Car' Models** - SAE Technical Paper Series n. 2003-01-0668, 2003 SAE World Congress Detroit, Michigan, March 3-6, 2003.

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.

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.

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.

APÊNDICE B

ARTIGOS DA REVISTA COMPUTER-AIDED DESIGN

CHEN, G. et al. - **A framework for an automotive body assembly process design system** Computer-Aided Design 38 (2006) 531–539.

GU, Z; TANG, M. X.; FRAZER, J. H. - **Capturing aesthetic intention during interactive evolution** - Computer-Aided Design 38 (2006) 224–237.

SUDARSAN, R. et al. - **A product information modeling framework for product lifecycle management** - Computer-Aided Design 37 (2005) 1399-1411

SUBRAMANIA, S.; GURUMOORTHY, B. - **Maintaining associativity between form feature models** - Computer-Aided Design 37 (2005) 1319–1334.

LI, W.D.; ONG, S.K.; NEE, A.Y.C. - **A Web-based process planning optimization system for distributed design** - Computer-Aided Design 37 (2005) 921–930.

W.D. Li, W.F. Lu, J.Y.H. Fuh, Y.S. Wong - **Collaborative computer-aided design—research and development status** - Computer-Aided Design 37 (2005) 931–940.

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

FUH, J.Y.H., LI, W.D. - **Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art** – Computer -Aided Design 37 (2005) 571–581.

PIEGL, L. A. - **Ten challenges in computer-aided design** - Computer-Aided Design 37 (2005) 461–470.

FIELD, D. A. - **Education and training for CAD in the auto industry** - Computer-Aided Design 36 (2004) 1431–1437.

DANKWORT, C. W. et al - **Engineers' CAx education—it's not only CAD** - Computer-Aided Design 36 (2004) 1439–1450.

KIM, K. Y. et al - **Design formalism for collaborative assembly design** - Computer-Aided Design 36 (2004) 849–871.

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

THEODOSIOU, G.; SAPIDIS, N. S. - **Information models of layout constraints for product life-cycle management: a solid-modelling approach** - Computer-Aided Design 36 (2004) 549–564.

CHOI, S.H.; CHAN, A. M. M. - **A virtual prototyping system for rapid product development** - Computer-Aided Design 36 (2004) 401–412.

WANG, L. et al.– **Collaborative conceptual design – state of the art and future trends** - Computer-Aided Design 34 (2002) 981-996.

CHEN, K. Z.; FENG, X.N.; DING, L. – **Intelligent approaches for generating assembly drawings from 3-D computer models of mechanical products** - Computer-Aided Design 34 (2002) 347-355.

ZHANG, F.; XUE, D. – **Distributed database and knowledge base modeling for concurrent design** - Computer-Aided Design 34 (2002) 347-355.

CHEN, L.; LI, S. – **A computerized team approach for concurrent product and process design optimization** - Computer-Aided Design 34 (2002) 57-69.

OH, Y.; HAN, S. H.; SUH, H. - **Mapping product structures between CAD and PDM systems using UML** - Computer-Aided Design 33 (2001) 521-529.

YIN, Z. P.; DING, H.; XIONG, Y. L. - **Virtual prototyping of mold design: geometric mouldability analysis for near-net-shape manufactured parts by feature recognition and geometric reasoning** - Computer-Aided Design 33 (2001) 137-154.

ABRAHAMSON, S. et al - **Integrated design in a service marketplace** - Computer-Aided Design 32 (2000) 97–107.

TOLONE, W.J. - **Virtual situation rooms: connecting people across enterprises for supply-chain agility** - Computer-Aided Design 32 (2000) 109–117.

REGLI, W.C.; CICIRELLO, V.A. - **Managing digital libraries for computer-aided design** - Computer-Aided Design 32 (2000) 119–132.

HUANG, G.Q.; HUANG, J.; MAK, K.L. - **Agent-based workflow management in collaborative product development on the Internet** - Computer-Aided Design 32 (2000) 133–144.

BSHARAH, F.; LESS, M. - **Requirements and strategies for the retention of automotive product data** - Computer-Aided Design 32 (2000) 145–158

XUE, D.; YADAV, S.; NORRIE, D.H. - **Knowledge base and database representation for intelligent concurrent design** - Computer-Aided Design 31 (1999) 131–145.

REZAYAT, M. - **The Enterprise-Web portal for life-cycle support** - Computer-Aided Design 32 (2000) 85–96.

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO APLICADO NA UNIDADE DE ANÁLISE

1a - Você considera que a representação do produto da Empresa por modelos matemáticos 3D gerados pelo CAD é em relação a peça real: (Marcar apenas uma alternativa)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7	Não sei
Fiel representação da peça real						Não representativa da peça real	

1b – Em sua opinião, existe algum tipo de detalhe do produto que apresenta dificuldades para ser modelado em 3D no sistema CAD utilizado na Empresa?

não sim

Em caso de resposta **sim**, você pode citar um ou mais exemplos:

.....

.....

2 - O desenvolvimento e a manutenção do produto da Empresa podem ser adequadamente controlados pelo software de PLM (TeamCenter) utilizado na Empresa? (Marcar apenas uma alternativa)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7	Não sei
Sim, plenamente						Não	

3 - Você considera que hardware usado pela Empresa tem capacidade para lidar com o volume de informações necessário para representar os produtos modelados em CAD e gerenciados pelo PLM? (Marcar apenas uma alternativa)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7	Não sei
Sim, plenamente						Não	

11 – Este espaço é livre para comentários sobre o uso de protótipos virtuais e desenvolvimento virtual de produtos na Empresa:

.....
.....
.....

Algumas informações sobre você:

a) Tempo de Empresa:

- Até 2 anos
- Mais de 2 anos até 5 anos
- Mais de 5 anos

b) Formação:

- Superior engenharia
- Superior outros
- Tecnólogo
- Técnico
- Outros

c) Tempo de experiência com engenharia de produtos:

- Até 2 anos
- Mais de 2 até 5 anos
- Mais de 5 anos

APÊNDICE D

ROTEIRO DA ENTREVISTA APLICADA NA UNIDADE DE ANÁLISE

Parte 1

1 - Você considera que o produto da Unidade de Análise pode ser adequadamente representado por modelos sólidos 3D gerados pelo software de CAD utilizado na empresa? Existe algum ponto que apresenta dificuldades para ser modelado?

2 - O desenvolvimento e a manutenção dos produtos da Unidade de Análise podem ser adequadamente controlados pelo software de PLM utilizado na empresa?

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?

4 - Com a combinação dos recursos de CAD, PLM e hardwares disponíveis na Unidade de Análise os engenheiros e outros usuários podem configurar e visualizar o protótipo virtual do produto que desejam?

Parte 2

5a - 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?

5b - Em caso de resposta positiva, na sua percepção esta informação é bem disseminada entre todos os membros da equipe de desenvolvimento de produtos?

6 - Como o protótipo virtual criado com as informações de cada fase do projeto é usado dentro da Unidade de Análise?

Parte 3

7 - Como foi feita a adaptação do time de projetos da Unidade de Análise a novas ferramentas digitais?

8 - O grupo de projetos da Unidade de Análise tem facilidade para trabalhar com protótipos virtuais e ferramentas virtuais em geral? Em especial no caso de funcionários novos, como é feita a integração deles a todos estes recursos de TI da Unidade de Análise?

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

10 - Qual é o resultado do uso de protótipos virtuais na Unidade de Análise?

APÊNDICE E

ESTATÍSTICA APLICADA NESTE TRABALHO

A. DISTRIBUIÇÃO LOGNORMAL

Uma variável X tem uma *distribuição lognormal* se a variável $Y = \ln(X)$, neste caso a função densidade de probabilidade – pdf - resultante tem como parâmetros μ e σ .

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} e^{-[\ln(x)-\mu]^2 / (2\sigma^2)} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Onde:

μ = parâmetro de localização (P. Loc.)

σ = parâmetro de escala (P. Escala)

A média e variância de uma variável X que tem uma distribuição lognormal são dadas respectivamente por:

$$E(X) = e^{\mu + \sigma^2 / 2} \quad V(X) = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

A mediana é dada por:

$$M = e^{\mu}$$

B. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

É a distribuição mais comum na análise de dados, sua pdf é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Onde:

μ = Média

σ = Desvio Padrão

A média e variância de uma variável X que tem uma distribuição normal são dadas respectivamente por:

$$E(X) = \mu$$

$$V(X) = \sigma^2$$

A mediana é igual a média para distribuição Normal.