USP

Campus de São Carlos

ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DE DADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE DE MANUFATURA VIRTUAL

CARLOS ALBERTO RAVELLI

Orientador: Prof. Assoc. Arthur José Vieira Porto

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DE DADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE DE MANUFATURA VIRTUAL

Carlos Alberto Ravelli

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 11/07/03
Ass.:

DEDALUS - Acervo - EESC
31100043505

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto**

EESC-USP
Biblioteca
CAMPUS DE S. CARLOS

São Carlos

2003

Class. TESE-EESC
Cutt. 4688
Tombo T168/03
Sysno 1322359

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R252a

Ravelli, Carlos Alberto
Análise da interoperabilidade de dados para a implementação de um ambiente de manufatura virtual / Carlos Alberto Ravelli. -- São Carlos, 2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.
Área: Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto.

1. Interoperabilidade. 2. Manufatura virtual. 3. Formatos neutros. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **CARLOS ALBERTO RAVELLI**

Dissertação defendida e julgada em 15-05-2003 perante a Comissão Julgadora:

APROVADO

Prof. Assoc. **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Assoc. **JONAS DE CARVALHO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

JORGE ALBERTO LUZ RIBEIRO
(Especialista - Caterpillar Brasil Ltda. (Tractors))

Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica

Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

À minha esposa Anelisa e ao meu filho Reinaldo,

com muito amor.

Agradecimentos:

Ao Professor Dr. Arthur José Vieira Porto, pela orientação acadêmica e de pesquisa, e pela amizade proporcionada desde o início deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC/USP, Marcelo, Jandira, Sayuri, Mariella e Mamoru, pelo compartilhamento de informações no esforço de desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC/USP, pela colaboração.

Ao Professor Dr. Antônio Batocchio, da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, pela cooperação.

Aos colegas Dennis J.V. Porto, Jorge A.L. Ribeiro e João Luiz Sanches, da Caterpillar Brasil Ltda., pelo apoio ao meu crescimento profissional.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS viii

LISTA DE TABELAS x

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS xi

RESUMO xiii

ABSTRACT xiv

1. INTRODUÇÃO 1

2. O AMBIENTE DE MANUFATURA VIRTUAL 5

2.1. Conceituação, escopo e paradigmas da Manufatura Virtual 5
2.2. Interação da MV com o processo de desenvolvimento de produtos 9

3. O PROBLEMA DA FALTA DE INTEROPERABILIDADE DE DADOS E INFORMAÇÕES 14

3.1. Definições e custos 14
3.2. A complexa interação entre empresa, subsidiárias e fornecedores ... 16
3.3. Paradigmas no mercado de *software* 18

4. FUNCIONALIDADE DOS SISTEMAS DE SUPORTE À MANUFATURA VIRTUAL 20

4.1. Planejamento do Processo 22
4.2. Gerenciamento de Recursos 26
4.3. Programação *Off-line* 27
4.3.1. Centros de usinagem, tornos e MMC 27
4.3.2. Robótica 29
4.4. Validações 31
4.4.1. Simulação 32
4.4.2. Realidade Virtual 35

5. PADRÕES DE FORMATO NEUTRO DE ARQUIVOS PARA A TROCA DE DADOS NO AMBIENTE DA MANUFATURA VIRTUAL 38

5.1 . Formatos Neutros 39
5.1.1. STEP 41
5.1.2. IGES 48
5.1.3. UPR 49
5.1.4. STL, STH, CFL, RPI 52
5.1.5. SDX 54
5.1.6. VRML 56
5.1.6. VDA-FS 57
5.1.7. DXF 58

5.2. Comparação entre formatos neutros para a troca de dados 59

6. PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE FORMATOS NEUTROS PARA HABILITAR A INTEROPERABILIDADE NO AMBIENTE DA MANUFATURA VIRTUAL 65

6.1. Requisitos de interoperabilidade no ambiente da MV – MODELO DE ESTUDO e SOLUÇÃO PROPOSTA 66
6.2. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Planejamento do Processo de Fabricação e Montagem" 69
6.3. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Gerenciamento de Recursos no chão-de-fábrica" 72
6.3.1. Gerenciamento, seleção e projeto de máquinas, ferramentas e dispositivos 72
6.3.2. Definição do *layout* de Fábrica 75
6.4. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Programação *Off-line*" 75
6.5. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Validações (Simulação e Realidade Virtual)" 77
6.5.1. Simulação de Processos e Sistemas de Manufatura 77
6.5.2. Realidade Virtual 79

7. ESFORÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES PARA A MELHORIA DA INTEROPERABILIDADE 81

7.1. Esforços no desenvolvimento do padrão STEP 83
7.2. Esforços no desenvolvimento de formatos neutros – Demais padrões abordados neste trabalho 89

8. CONCLUSÕES 91

ANEXO A – NÚCLEOS DE MODELAGEM DE *SOFTWARES* APLICATIVOS E ARQUITETURA ORIENTADA A OBJETO 95
A.1. ACIS 95
A.2. Parasolid 96
A.3. XML 97
A.4. CORBA 98
A.5. OAGIS 98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL CONSULTADA 108

APÊNDICE I - Glossário de Termos, Abreviaturas e Siglas

APÊNDICE II - Relação de Empresas e *Softwares* que habilitam a implementação da Manufatura Virtual

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Metodologia do estudo 3

FIGURA 2.1 - Conceituação do ambiente de Manufatura Virtual 6
FIGURA 2.2 - Escopo do desenvolvimento do produto e processo e o suporte de sistemas à Manufatura Virtual 8
FIGURA 2.3 - Ambiente de desenvolvimento do produto e processo de manufatura anterior à implementação da MV 10
FIGURA 2.4 - Ambiente de desenvolvimento do produto e processo de manufatura com o uso de ferramentas de Manufatura Virtual 11

FIGURA 3.1 - Interação na indústria entre empresa, fornecedores e prestadoras de serviços 17
FIGURA 3.2 - Caminhos de soluções alternativas 19

FIGURA 4.1 - Principais grupos de tarefas relacionados ao ambiente da MV 22
FIGURA 4.2 - Atividades básicas do Planejamento do Processo 23
FIGURA 4.3 - Exemplo de um sistema de Planejamento do Processo 25
FIGURA 4.4 - Exemplo de programação de máquina de medição por coordenadas MMC 28
FIGURA 4.5 - Exemplo de uma célula de trabalho robotizada 29
FIGURA 4.6 - Exemplo de aplicação de simulação no processo de fabricação 33
FIGURA 4.7 - Uso da RV no projeto de um produto 35

FIGURA 5.1 - Eficiência de formatos neutros na troca de dados 39
FIGURA 5.2 - Transferência de dados entre dois sistemas usando formato neutro 40
FIGURA 5.3 - Um formato neutro capaz de descrever muitas representações ... 40

FIGURA 5.4 - Organização técnica dos dados no formato STEP 42
FIGURA 5.5 - Lista de "Partes" do padrão ISO10303 STEP..... 43
FIGURA 5.6 - Arquitetura de dados STEP 44
FIGURA 5.7 - Integração da cadeia de desenvolvimento do produto através do STEP AP214 46
FIGURA 5.8 - Escopo do Protocolo de Aplicação 214 46
FIGURA 5.9 - Integração entre sistema CAD e sistema de simulação com o uso do padrão SDX 55

FIGURA 6.1 - Modelo de Estudo: Fluxo de dados no ambiente da MV 67
FIGURA 6.2 – Relação de formatos neutros como uma solução para a interface entre o projeto do produto e as tarefas da MV 67

FIGURA A.1 - Canal de integração de dados Parasolid 97
FIGURA A.2 - OAGIS 8.0 - uma linguagem canônica de negócio 100

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1. Representações e formatos para dados de projeto 3D correspondentes 59
TABELA 5.2. Comparação de formatos de troca de dados 3D 60
TABELA 5.3. Resultados da troca de dados – Geometria 63
TABELA 5.4. Resultados da troca de dados – Conjunto Montado 63

TABELA 6.1. Requisitos de entrada de dados para o Planejamento do Processo, suas representações e formatos 70
TABELA 6.2. Requisitos de dados para o Gerenciamento de Recursos no chão-de-fábrica, suas representações e formatos 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - bidimensional

3D - tridimensional

AGV - *Automated Guided Vehicle* / Veículo Dirigido Automatizado

ANSI - *American National Standards Institute* / Instituto de Padrões Nacionais Americanos

AP - Protocolo de Aplicação

BOM - *Bill Of Materials* / Lista de Materiais

B-rep - *Boundary Representation* / Representação por Limites

CAD - *Computer Aided Design* / Projeto Assistido por Computador

CAE - *Computer Aided Engineering* / Engenharia Assistida por Computador

CAM - *Computer Aided Manufacture* / Manufatura Assistida por Computador

CAPP - *Computer Aided Process Planning* / Planejamento do Processo Assistido por Computador

CAVE - *Cave Automated Virtual Environment* / Ambiente de Caverna Virtual Automatizada

CFL - *Cubital Facet List* / Lista de Facetas da Cubital

CGI - *Common Gateway Interface* / Interface de Portal Comum

CN - Controle Numérico

CSG - *Constructive Solid Geometry* / Geometria Sólida Construtiva

DFA - *Design for Assembly* / Projeto para a Montagem

DFM - *Design For Manufacture* / Projeto para a Manufatura

DXF - *Data eXchange Format* / Formato da Troca de Dados

EDI - *Electronic Data Interchange* / Troca Eletrônica de Dados

ERP - *Enterprise Resource Planning* / Planejamento de Recursos da Empresa

IGES - *Initial Graphics Exchange Specification* / Especificação Inicial de Troca Gráfica

ISO - *International Organization for Standardization* / Organização Internacional para a Padronização

MBOM - *Manufacturing Bill of Material* Lista de Material de Manufatura

MES - *Manufacturing Execution System* / Sistema de Execução da Manufatura

MMC - Máquina de Medição por Coordenadas

MV - Manufatura Virtual

NACFAM – *National Coalition for Advanced Manufacturing* / Coalisão Nacional para a Manufatura Avançada

NASA - *National Aeronautics and Space Administration* / Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NATIBO - *North American Technology and Industrial Base Organization* / Organização Norte-Americana para as Bases Tecnológica e Industrial

NIST - *National Institute of Standards and Technology* / Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia

OAGIS - *Open Applications Group's Integration Specification* / Especificação de Integração do Grupo de Aplicações Abertas

OASIS - *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* / Organização para o Avanço de Padrões de Informação Estruturada

OEM - *Original Equipment Manufacture* / Fabricante de Equipamento Original

OO - Orientado a Objeto

ORB - *Object Request Broker* / Intermediador de Requisição de Objeto

PDM - *Product Data Management* / Gerenciamento de Dados do Produto

PTC - *Parametric Technology Corporation*

QFD - *Quality Function Deployment* / Desdobramento da Função Qualidade

RPI - *Rensselaer Polytechnic Institute* / Instituto Politécnico Rensselaer

RV - Realidade Virtual

SDX - *Simulation Data eXchange* / Troca de Dados de Simulação

STEP - *Standard for the Exchange of Product model data* / Padrão para a troca de dados do modelo do produto

STH - *Surface Triangles Hinted* / Superfícies Triangulares Indicadas

STL - *Surface Triangularization* / Triangularização de Superfície

UPR - *Universal Product Representation* / Representação Universal do Produto

VDA - *Verband der Automobilindustrie* / Padrão da indústria automobilística

VRML - *Virtual Reality Modeling Language* / Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual

X3D - *Extensible 3D*

XML - *Extensible Markup Language* / Linguagem de Marcação Extensiva

RESUMO

RAVELLI, C.A. (2003). *Análise da interoperabilidade de dados para a implementação de um ambiente de Manufatura Virtual*. São Carlos, 2003. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Apresenta uma análise sobre requisitos de *interoperabilidade* de dados na cadeia de desenvolvimento do produto e processo em empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias, relacionados com a implementação da *Manufatura Virtual*. As informações foram coletadas de livros, artigos de conferências, revistas, páginas da Internet, e discussões com especialistas. Descreve as principais características de *formatos neutros* de dados e núcleos de modelagem de sistemas. Aborda a viabilidade na padronização dos requisitos de informação e a representação de dados, de maneira a selecionar uma relação de *formatos neutros* para a troca de dados compatíveis para uma variedade de sistemas da *Manufatura Virtual*. Relata os principais esforços no desenvolvimento de *formatos neutros* para a melhoria da *interoperabilidade* de dados.

Palavras-chave: interoperabilidade; Manufatura Virtual; formatos neutros.

ABSTRACT

RAVELLI, C.A. (2003). *Analysis of data interoperability for a Virtual Manufacturing environment implementation*. São Carlos, 2003. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This paper presents an *interoperability* requirement analysis of the product and process development chain for automotive and off-road vehicle factories for a *Virtual Manufacturing* implementation. All information was collected from articles, technical magazines, Internet, books, and discussion with specialists. A description is given of major features of *neutral data formats* and system modeling kernels. Also provided is an analysis of the feasibility of standardizing the informational needs of *Virtual Manufacturing* systems. Finally a representation of input data is presented in order to select *neutral data formats* suitable for a variety of *Virtual Manufacturing* systems. The paper concludes by reporting the major worldwide efforts on developing *neutral data standards* to improve interoperability.

Key-words: interoperability; Virtual Manufacturing; neutral data formats.

1. INTRODUÇÃO

As empresas de manufatura estão enfrentando o aumento da pressão do mercado para constantemente melhorar a qualidade, encurtar o ciclo de desenvolvimento do produto e reduzir custos. Para ter sucesso nesse ambiente, essas empresas precisam tomar decisões confiáveis e eficientes antecipadamente, e planejar e gerenciar melhor o processo industrial desde a fase conceitual do desenvolvimento do produto e processo até a implementação em produção.

Segundo LIN et al. (1997), o projeto de Manufatura Virtual (MV) propõe prover uma estratégia para integração dos vários processos de manufatura que produzem o Método Planejado. A Manufatura Virtual pode ser utilizada em um ambiente computadorizado integrado para o planejamento, projeto, simulação e otimização de uma fábrica completa. Desta maneira, estará fornecendo uma solução integrada e escalonável para o ambiente de desenvolvimento do produto e processo.

Contudo, não há 100% de interoperabilidade entre os processos de dados e produtos para a maioria dos sistemas da Manufatura Virtual, um ambiente múltiplo CAD / CAE / CAM / CAPP / PDM / Simulação. Estudos realizados pelo NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST, 1999) mostram que a falta de interoperabilidade na cadeia de fornecimento do meio automotivo apresenta um custo econômico estimado em um bilhão de dólares por ano, dados esses levantados em pesquisas com subsidiárias, grandes fornecedores e fabricantes de ferramentas, onde o principal motivo desse custo está na correção de defeitos na troca de dados.

Historicamente, os desenvolvedores de *software* consideram as representações proprietárias dos dados – uma fonte significante de problemas de interoperabilidade – como parte de suas vantagens competitivas. Os trabalhos para

eliminar as barreiras para a interoperabilidade são vistos pelos fornecedores de *software* como algo que proporciona às empresas clientes comprar e usar um produto da concorrência ao invés daqueles fornecidos por eles. Assim, esta é uma das principais razões que os esforços de organizações e centros de pesquisa, para integrar padrões para a troca de dados, em gerações existentes de *software*, encontram resistência dos desenvolvedores, apesar das solicitações pelas empresas da indústria automobilística (SZYKMAN et al., 2001).

A necessidade para que múltiplas aplicações compartilhem eficientemente dados de engenharia (produto e processo) tem conduzido o desenvolvimento de padrões para formatos neutros intermediários. Tal abordagem permite a uma empresa evitar o desenvolvimento e manutenção de diversas interfaces de sistemas específicos, e habilita que aplicações sejam dirigidas diretamente a um arquivo compartilhado (GOLDSTEIN et al., 1998).

O objetivo deste texto é apresentar uma análise sobre os requisitos de interoperabilidade no ambiente de desenvolvimento do produto e processo em empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias, relacionados com a implementação da Manufatura Virtual. A viabilidade na padronização dos requisitos de informação e a representação de dados de entrada é analisada, de maneira a selecionar uma relação de formatos neutros para a troca de dados, compatíveis para uma variedade de sistemas da MV. Essas questões são discutidas no contexto de padrões internacionais, assim como padrões proprietários.

O escopo engloba a coleta e análise de informações técnicas relacionadas ao esforço de pesquisa, de capacidades tecnológicas, no desenvolvimento de padrões neutros e interoperabilidade dos dados na implementação da MV.

Para tanto, a pesquisa foi desenvolvida de maneira exploratória, por meio de observação direta dos fatos - com a participação na fase de estudo de implementação da MV em uma empresa de grande porte do ramo de máquinas rodoviárias - e também em conjunto com a revisão de assunto exposto no ambiente bibliográfico e documental, conforme apresentado na figura 1.1. Os dados

coletados e analisados foram obtidos de artigos de conferências, revistas, páginas da Internet, e discussões com especialistas dessa empresa multinacional.

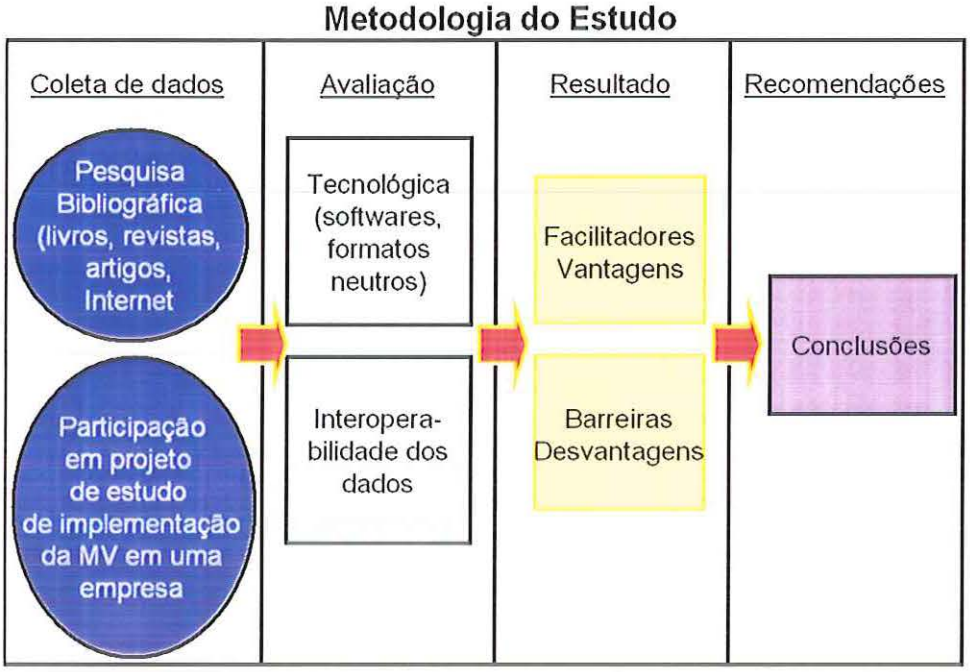


FIGURA 1.1 – Metodologia do estudo.

A Manufatura Virtual habilita a colaboração no desenvolvimento do produto e processo, isto é, a revisão e troca de informação entre participantes de múltiplos locais de trabalho através de um portal de comunicação. A Manufatura Virtual acelera a introdução de novos produtos e otimiza a produção. O capítulo 2 aborda definições e paradigmas envolvidos na implementação desse conceito com informações obtidas principalmente de revisão bibliográfica. Esse capítulo também apresenta a interação da MV no ciclo de desenvolvimento de novos produtos.

O problema da interoperabilidade de dados e informações é discutido no capítulo 3, abordando os elevados custos com a falta de interoperabilidade entre os sistemas, paradigmas no mercado de *software*, e os complexos processos de troca de informações dentro de uma empresa, seus fornecedores, subsidiárias, e clientes.

No capítulo 4, diversas ferramentas relacionadas à Manufatura Virtual são listadas, incluindo *software* para o Planejamento do Processo de montagem e

fabricação, Programação *Off-line*, Gerenciamento de Recursos no chão-de-fábrica, Realidade Virtual e Simulação de processos de manufatura.

O capítulo 5 descreve as principais características de formatos neutros de arquivos, incluindo os formatos STEP, IGES, UPR *Proficiency,* SDX, VRML, STL, VDA e DXF, e apresenta um estudo de comparação entre esses principais formatos neutros de suporte à MV, baseado em Estudos de Casos. As informações apresentadas nesse capítulo foram obtidas principalmente de revisão bibliográfica.

No capítulo 6 é analisada a proposta de integração baseada em dados, com a seleção de uma relação de formatos neutros, que permita habilitar a interoperabilidade de dados no ambiente da MV. Essas questões são discutidas no contexto dos formatos padrões descritos no capítulo 5, onde os dados e as informações relevantes para mais de uma aplicação (limites de um objeto 3D, parâmetros de projeto e manufatura) são armazenados em um banco de dados para o compartilhamento em um ambiente colaborativo.

O capítulo 7 aborda os esforços no desenvolvimento de formatos neutros, com ênfase no padrão STEP. As informações apresentadas nesse capítulo foram obtidas principalmente de pesquisa na Internet e revisão bibliográfica.

2. O AMBIENTE DA MANUFATURA VIRTUAL

Conforme a complexidade dos produtos aumenta e competitivos ciclos de desenvolvimento do produto são reduzidos, a criação de modelos virtuais para simulação da manufatura torna-se um dos maiores gargalos para o sucesso no lançamento de novos produtos. Devido a esses gargalos, os fabricantes estão percebendo a necessidade de rapidamente institucionalizar em todo o processo de desenvolvimento práticas de projeto e manufatura baseadas em simulação, num ambiente denominado Manufatura Virtual, a fim de assegurar melhor desempenho e qualidade de seus produtos.

2.1. Conceituação, escopo e paradigmas da Manufatura Virtual

A Manufatura Virtual pode ser definida como "o modelamento de sistemas e componentes de manufatura com o uso efetivo de características áudio-visuais e sensores para simular ou projetar alternativas para um ambiente real de manufatura, principalmente com o uso de computadores" (BANERJEE & ZETU, 2001). Uma outra definição de Manufatura Virtual "é o uso de modelos computacionais e simulações de processos de manufatura para auxílio no desenvolvimento e produção de produtos manufaturados. É um ambiente integrado e sintético da manufatura que averigua uma ou mais proposições para melhorar todos os níveis de decisão e controle" (LIN et al., 1995).

PORTO & PALMA (2000) descrevem com mais detalhes a definição de LIN. O ambiente integrado da manufatura é o suporte para a construção e uso da simulação de manufatura distribuída pela sinergia provinda de uma coleção de ferramentas de análise, de simulação, de controle, modelos (produtos, processos e recursos), equipamento, metodologias e princípios organizacionais. Além disso, é

sintético, pois propõe uma mixagem do real com objetos, atividades e processos simulados. Como resultado, melhora todos os níveis, visto que aumenta o valor, a precisão e a validade do conceito de produto à disponibilização, do chão-de-fábrica à comitiva executiva, do equipamento de fábrica ao empreendimento e além da transformação de material à transformação de conhecimento. Em relação ao processo decisório, entende o impacto da mudança (visualizar, organizar, identificar alternativas). Por fim, no aspecto de controle, prediz os efeitos reais.

O projeto de Manufatura Virtual propõe prover uma estratégia para integração dos vários processos de manufatura que produzem o Método Planejado. A Manufatura Virtual poderá reduzir o número de alterações de processos pela "fabricação" em um computador antes da "fabricação" física, conforme mostrado na figura 2.1. Desta maneira, estará fornecendo uma solução integrada e escalonável para o ambiente de desenvolvimento do produto e processo.

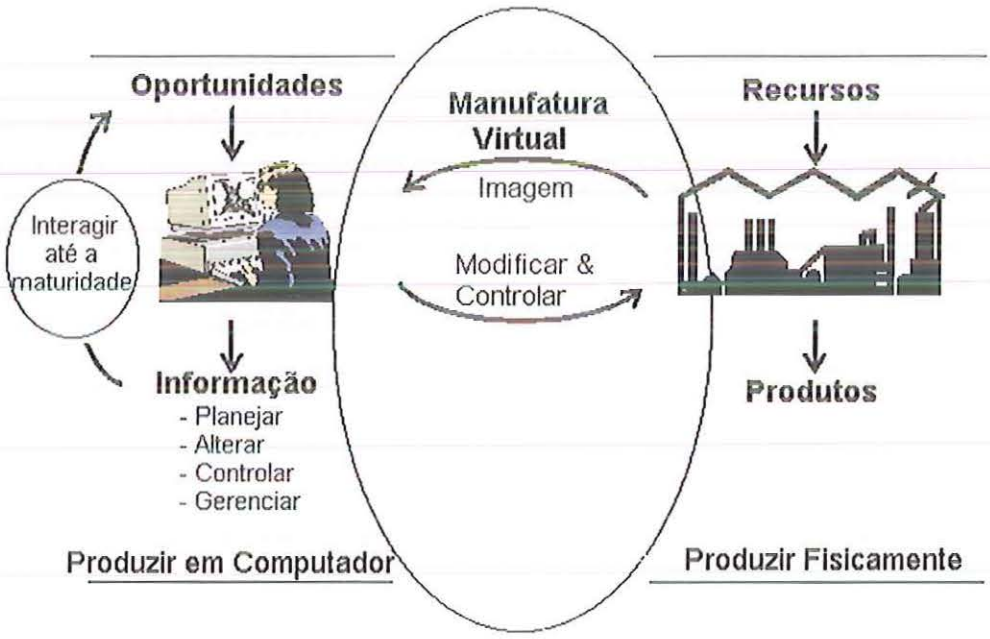


FIGURA 2.1 - Conceituação do ambiente de Manufatura Virtual (LIN et al., 1997).

O escopo do projeto de Manufatura Virtual engloba todos os aspectos de Engenharia de Manufatura que produzem o Método Planejado. É "Centralizada no Projeto", por onde as informações de manufatura são providas ao projetista durante a fase de desenvolvimento. É "Centralizada na Produção", por onde a simulação é usada durante o planejamento da produção para otimizar linhas/fábricas, incluindo

a avaliação de alternativas de processamento. É "Centralizada no Controle", por onde os modelos de controle de máquinas são usados em simulação (LIN et al., 1995).

- *Centralizada no Projeto*: simulação de alternativas de manufatura e a criação de protótipos virtuais, pela "Manufatura no Computador"; otimização do projeto do produto e processo para montagem (DFA) e manufatura (DFM); avaliação de diferentes cenários para tomadas de decisão de projeto.

- *Centralizada na Produção*: simulação de diversas alternativas de processos para otimizar a fábrica; validação de novos processos; efetivamente balancear opções de projeto com equipamentos de produção (por exemplo, a adição de uma nova máquina poderá ser uma opção muito mais custosa que uma outra opção de projeto com o equipamento existente).

- *Centralizada no Controle*: otimização durante o ciclo real de produção.

A Manufatura Virtual visa suportar todas as atividades relacionadas ao desenvolvimento do Planejamento do Processo e gerenciamento de Recursos do chão-de-fábrica, e conseqüente validação do Método Planejado através do uso de simulação, conforme mostrado na figura 2.2. A integração com os sistemas aplicativos das áreas de PROJETO e INFORMAÇÃO DO PRODUTO é um ponto-chave para se conseguir obter os resultados esperados.

FIGURA 2.2 – Escopo do desenvolvimento do produto e processo e o suporte de sistemas à Manufatura Virtual.

Há algum tempo, o uso do modelamento sólido 3D está provendo mudança às empresas de manufatura através de uma melhor maneira de definir produtos, em comparação com os limites de desenhos bidimensionais (2D). Ultimamente, observa-se a mesma reação com sistemas de simulação de manufatura. As diversas ferramentas disponíveis no mercado têm sido melhoradas com imagens tridimensionais e interfaces amigáveis, tornando-as mais acessíveis e aplicáveis.

Pelo fato de cada programa ter características potenciais específicas, pode-se utilizar uma variedade enorme de ferramentas de simulação. Contudo, existe uma questão relacionada à falta de integração dos *softwares* de modelagem, planejamento do processo e simulação, que proporcionem a colaboração desde a fase inicial conceitual do produto até a sua introdução no chão-de-fábrica, dentro do conceito proposto da Manufatura Virtual.

Outra questão está relacionada ao uso de modelos largamente disponíveis, porém não otimizados para a simulação. Pelo fato deles existirem por outras

razões, são altamente dinâmicos, estando fora do controle do ambiente de simulação.

As empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias, e seus principais parceiros fornecedores, têm realizado substanciais progressos no uso de ferramentas de Manufatura Virtual para obter os benefícios de custos, tempo e qualidade. O uso dessas ferramentas provê soluções de sistemas em contrapartida às tradicionais soluções CAD/CAM/CAE. Habilitadores chave estão presentes no mercado para tornar essas tecnologias práticas.

No contexto da MV, o uso da simulação integrada ao *Plano do Processo* na área de *Manufatura*, pode resolver problemas relacionados ao aumento de taxa de rendimento de máquinas e sistemas, e aumento de produtividade. Na área de *Reengenharia de Processo de Negócios*, ajuda a determinar a capacidade da fábrica, assim como em maximizar a utilização dos recursos da fábrica. No *Planejamento de Operações*, colabora em justificar alterações, em baixar os níveis de inventário, e em reduzir os custos de produção (PORTO & PALMA, 2000).

Outros benefícios identificados estão relacionados à melhoria de qualidade, à flexibilidade da fábrica, ao menor ciclo de produção, ao melhor relacionamento e responsabilidade com os clientes.

Todos esses benefícios podem proporcionar a redução do tempo de Planejamento do Processo, num ambiente colaborativo, compartilhando informação, permitindo acesso fácil, e requerendo menor especialização dos processistas.

2.2. Interação da MV com o processo de desenvolvimento de produtos

O desenvolvimento de produto pode ser entendido como "um processo pelo qual a organização transforma dados sobre oportunidade de mercado e possibilidades técnicas em recursos de informação para a produção comercial. Assim, o processo de desenvolvimento de produto pode ser visto como um

processo de criação e transferência de informações" (CLARK & FUJIMOTO * apud TOLEDO et al., 2001).

CICLO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS
SITUAÇÃO ENCONTRADA NA MAIORIA DAS EMPRESAS

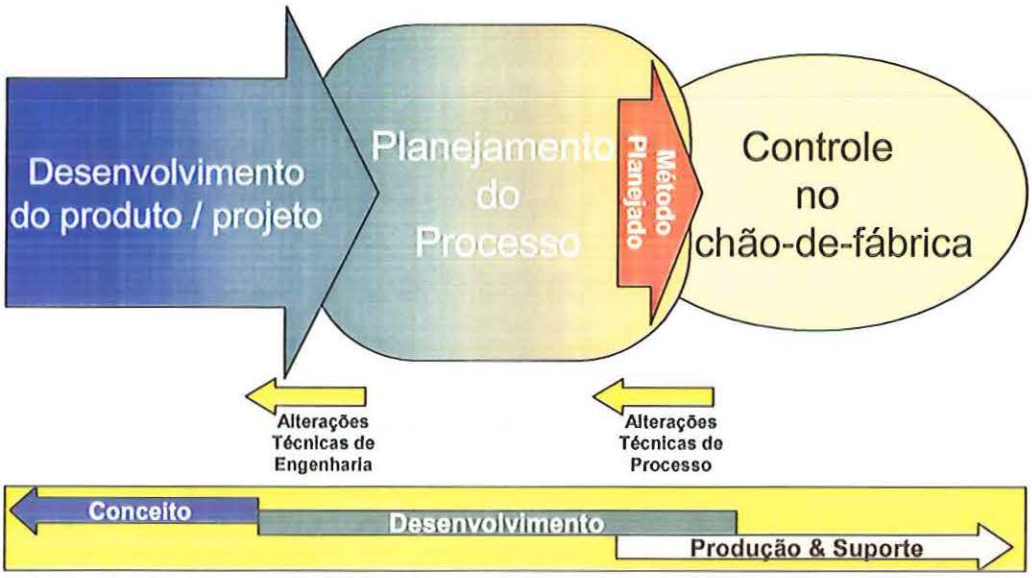


FIGURA 2.3 – Ambiente de desenvolvimento do produto e processo de manufatura anterior à implementação da MV.

A figura 2.3 mostra a interação entre as genéricas macro-etapas relacionadas ao processo de desenvolvimento de produtos - Conceito, Desenvolvimento e Produção & Suporte -, e a abrangência dos três aspectos da Engenharia da Manufatura que produzem o Método Planejado, abordado por LIN et al. (1995) - Desenvolvimento do Produto, Planejamento do Processo e o Controle de Execução da Manufatura (MES) no chão-de-fábrica, para um ambiente anterior à implementação da MV. Observa-se que as atividades de Planejamento do Processo iniciam-se ao final da etapa de Desenvolvimento do Produto. Com isso, há grande possibilidade da ocorrência de alterações técnicas de engenharia requeridas e identificadas somente na fase de Planejamento do Processo. Da mesma maneira, as atividades de Execução no chão-de-fábrica iniciam-se ainda na fase de desenvolvimento do Planejamento do Processo, onde alterações técnicas no

* CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. (1991). *Product development performance*: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston, MA. Harvard Business Press.

processo poderão ser requeridas. Também não se pode descartar a necessidade de alterações técnicas de engenharia somente identificadas na fase de Produção & Suporte.

A figura 2.4 apresenta a relação entre os três aspectos da Engenharia da Manufatura que produzem o Método Planejado, relacionadas ao processo de desenvolvimento de produtos, com a implementação do ambiente da Manufatura Virtual. A proposta é que haja grande interação entre o desenvolvimento detalhado do produto com a identificação de necessidades de manufatura nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, gerando o Método Planejado o mais próximo possível da realidade do chão-de-fábrica.

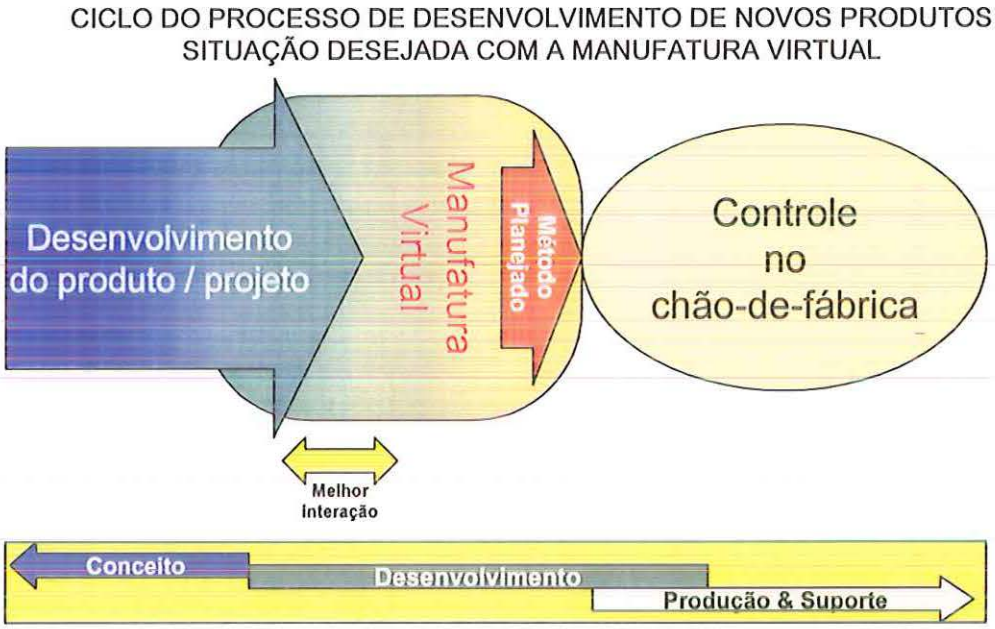


FIGURA 2.4 – Ambiente de desenvolvimento do produto e processo de manufatura com o uso de ferramentas de Manufatura Virtual.

Segundo RYAN (2001), em várias atividades executadas durante o ciclo de desenvolvimento simultâneo do produto e processo - compreendendo prototipagem e teste, refinamento e validação (fase piloto), e produção - está incluído o uso de ferramentas e soluções da Manufatura Virtual. Durante a fase conceitual, o ambiente virtual é usado para exercitar o novo modelo de sistema através de um

número limitado de cenários de testes reais, de maneira que os dados de desempenho possam ser coletados e a validação possa ser efetuada.

Na fase de desenvolvimento detalhado, os conceitos de MV são amplamente aplicados na elaboração dos diversos processos de fabricação, incluindo primeiras operações (corte e dobra de chapas), soldagem, pintura, programas de controle numérico para usinagem e máquinas de medição CN, aplicação de tempos padrões, ergonomia, capacidade de novas linhas de montagem e produção, e fluxo de material.

O teste de protótipos físicos envolve tradicionalmente tanto atividades em laboratório como no campo e exige várias configurações. Com a prototipagem virtual, a necessidade é criar componentes equivalentes virtuais desses testes em laboratório e campo. Muitas variações do sistema, dos componentes, de parâmetros e tolerâncias são examinadas através da simulação, e os resultados são usados para tomar decisões mais confiáveis sobre o novo produto.

Durante o processo de validação, os modelos físico e virtual são testados identicamente e os resultados são comparados. Discrepâncias são anotadas em resultados de desempenhos específicos. Análises de sensibilidade de projeto são desenvolvidas no modelo virtual para identificar parâmetros de projeto ou áreas dos modelos que contribuem significantemente para os resultados de desempenho que não estão correlacionados. Em seguida são aplicadas mudanças nos parâmetros do modelo identificados ou nos procedimentos de teste até que uma correlação aceitável seja alcançada e o modelo, assim, seja validado.

Refinar um protótipo virtual envolve dois aspectos – refinar a fidelidade e abrangência do modelo, e refinar o projeto do produto em si. Conforme o processo de desenvolvimento progride, o modelo de protótipo virtual é validado para investigar mais e mais a sua funcionalidade. Nesse momento, o uso de métodos estatísticos, como o Projeto de Experimentos (DOE), é utilizado para considerar o universo de combinações de mudanças e determinar quais combinações de parâmetros precisam ser simulados na bateria de testes virtuais, de maneira a dar um prognóstico estatístico relevante do desempenho operacional (RYAN, 2001).

Finalmente, para simultaneamente reduzir o tempo de desenvolvimento total, é necessário automatizar o processo de Manufatura Virtual. Uma vez que os analistas de engenharia tenham trabalhado em alguns ciclos de prototipagem virtual e tenham ajudado a criar modelos validados que possam ser exercitados para requisições de alterações de parâmetros por engenheiros de desenvolvimento, o ambiente de Manufatura Virtual pode ser automatizado pelo uso de sistemas de projeto baseados em padrões anteriores.

A seguir, o capítulo 3 apresenta os principais problemas e custos envolvidos com a falta de interoperabilidade entre os sistemas da MV, a complexa interação entre empresa, subsidiárias e fornecedores, e os paradigmas no mercado de *software* para solução desses problemas.

3. O PROBLEMA DA FALTA DE INTEROPERABILIDADE DE DADOS E INFORMAÇÕES

3.1. Definições e custos

Segundo a NORTH AMERICAN TECHNOLOGY AND INDUSTRIAL BASE ORGANIZATION (NATIBO, 1996), interoperabilidade é "a capacidade de aplicações sendo executadas em diferentes computadores trocar informação e operar cooperativamente usando essa informação". LOESGEN (2000) define interoperabilidade como sendo "a habilidade de uma entidade (empresa, dispositivo ou aplicação) conversar, trocar dados, e ser entendida por qualquer outra entidade".

O problema de interoperabilidade entre sistemas é o mesmo problema de comunicação entre pessoas que falam diferentes idiomas. Cada vez que as informações do produto são transferidas de um sistema para outro, elas precisam ser convertidas ou re-formatadas. Obviamente, o desenvolvimento desta etapa extra para compartilhar informação é ineficiente e dispendioso. Os custos se multiplicam quando muitos sistemas são envolvidos (CARVER & BLOOM, 1991).

O problema da falta de interoperabilidade de dados no desenvolvimento do produto e processo pode ser considerado sob dois aspectos, segundo a NATIONAL COALITION FOR ADVANCED MANUFACTURING (NACFAM, 2001). O primeiro é a corrupção ou perda dos dados entre *softwares* nominalmente compatíveis ou incompatíveis. O segundo é o alto custo da integração dos *softwares*.

Os custos da falta de interoperabilidade são alarmantes. Um estudo interno feito por uma grande empresa automobilística revela que a falta de interoperabilidade está custando a ela entre $200 a $400 milhões de dólares para

cada programa de desenvolvimento de um novo veículo (NACFAM, 2001). De acordo com um estudo de troca de dados do produto no setor automotivo (NIST, 1999), a inabilidade para eficientemente trocar dados do produto na cadeia de fornecimento tem um custo conservativo anual para a indústria de $1 bilhão de dólares.

Estudos feitos na Alemanha em 1998 mostram que somente a indústria automobilística e seus 900 fornecedores utilizavam aproximadamente 110 diferentes tipos de sistemas CAD. Esse ambiente bastante diversificado, com sistemas CAD que possuem interfaces deficientes de troca de dados, gera um altíssimo custo de re-trabalho manual dos dados transferidos. Somente nas empresas automotivas alemãs os custos com re-trabalho chegaram em 1993 a aproximadamente US$ 50 milhões por ano (SCHÜTZER & HENRIQUES, 2002).

No Brasil, atualmente está sendo realizada uma pesquisa coordenada pelo Laboratório de Sistemas Computacional para Projetos e Manufatura (SCPM), da Universidade Metodista de Piracicaba, junto com o centro de pesquisa ProSTEP AG que abrangerá mais de 97% dos fornecedores de autopeças. Um dos objetivos dessa pesquisa é analisar como tem sido feita a troca de dados no país e o quanto tem sido investido anualmente, para poder posteriormente auxiliar os fornecedores de autopeças a melhorarem seus processos no desenvolvimento do produto de forma a reduzir o tempo e os custos na troca de dados (SCHÜTZER & HENRIQUES, 2002).

Genericamente, a implementação de um projeto de Manufatura Virtual utiliza um ambiente flexível, que requer comunicação multi-direcional entre a empresa, outras subsidiárias e fornecedores. Os sistemas devem prover uma interface intuitiva comum, e a integração requerida para características e sistemas desse ambiente é fundamental para reduzir os custos de interoperabilidade de dados e informações.

3.2. A complexa interação entre empresa, subsidiárias e fornecedores

Os processos de troca de informações são complexos o suficiente dentro de uma empresa, mas se tornam muito mais quando fornecedores, subsidiárias, e clientes são adicionados. Uma empresa de manufatura (OEM) compartilha rotineiramente projetos de produtos com seus fornecedores, e espera que informações similares sejam retornadas. O aumento da demanda por produtos customizados significa que as preferências dos consumidores no projeto de um produto sejam comunicadas no nível de elementos operacionais, para permitir mudanças apropriadas nesse projeto (NACFAM, 2001).

Como as relações com fornecedores tornam-se mais críticas, aumenta a necessidade da troca de informações sem perda de dados ou erros. Muitos fabricantes têm implementado sistemas de *software* avançados para gerenciar essas necessidades complexas. Apesar do alto nível de funcionalidade nesses *softwares*, a troca de dados sem emenda permanece uma meta evasiva. A re-inclusão manual de dados mantém-se como uma atividade comum, mesmo em grandes corporações, e o erro humano e outros problemas são predominantes, adicionando tempo, custo, e risco para o desenvolvimento do produto e processo.

No passado, o desenvolvimento do produto e processo era freqüentemente feito dentro de um única companhia, através de times de projeto co-localizados. Em anos mais recentes, está ocorrendo uma mudança nos paradigmas com times de projeto distribuídos geograficamente e temporariamente, aliado a um alto nível de terceirização (SZYKMAN et al., 2001).

Nesse ambiente, os projetistas estão trocando informações mais cedo, através de times de projeto distribuídos, e reutilizando informações em uma extensão maior. Contudo, pelo fato de *softwares* atuais não capturarem um largo espectro das informações do produto, essas trocas ocorrem informalmente (face-a-face em uma reunião, por telefone, por papel). É a falta de representações formais que cria uma barreira significante para a troca e captura efetivas (SZYKMAN et al., 2001).

A maioria das peças e componentes entregue para as linhas de montagem das empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias provêem de fornecedores do "nível um", ou seja, dos fornecedores chave nos negócios dessas empresas. Aproximadamente 70-80% das peças entregues nas linhas de montagem vêm da base de fornecedores (NIST, 1999). Contudo, alguns fornecedores do "nível um", e seguramente a maioria dos fornecedores do "nível dois", não são capazes de pagar o custo da implementação das soluções de sistemas MV. Há uma preocupação quanto ao suporte e ao gerenciamento de múltiplas soluções, mas que devem ser analisados contra o custo de se migrar a base de manufatura por completo para um único conjunto de soluções, a fim de garantir a interoperabilidade no acesso à informação. Esta opção não é viável economicamente. Deve haver, sim, um conjunto mínimo aceitável de soluções que incluem as necessidades da base de fornecedores e das fábricas montadoras.

A figura 3.1 apresenta uma situação onde o fabricante automotivo contratou serviços de uma empresa prestadora de serviços de engenharia para projeto de um determinado componente, cujo processo de fabricação requer fundição. Nesse caso, para a confecção do molde de fundição, os dados do projeto foram convertidos por duas vezes em todo o processo, e o produto final poderá não ser exatamente aquele determinado pelas especificações e requisitos caso haja algum problema na interoperabilidade dos dados durante essas conversões.

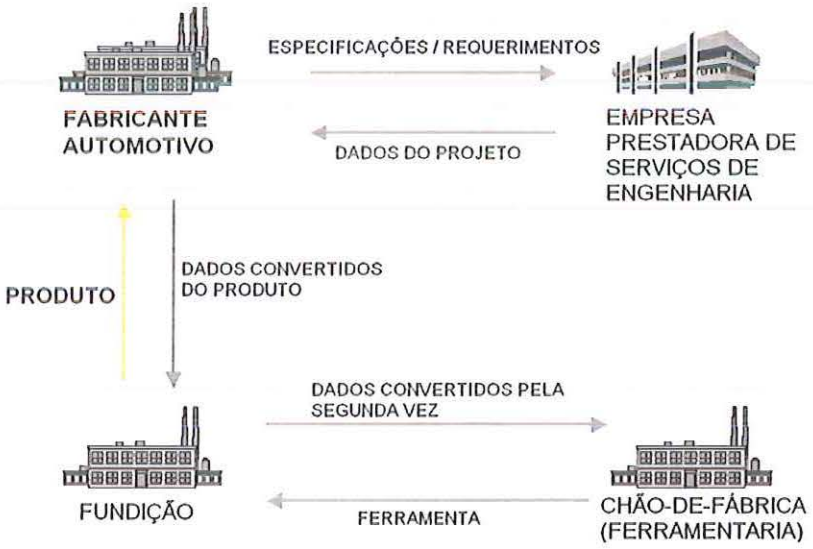


FIGURA 3.1 – Interação na indústria entre empresa, fornecedores e prestadora de serviços.

3.3. Paradigmas no mercado de *software*

Historicamente, os desenvolvedores de *software* consideram as representações proprietárias dos dados – uma fonte significante de problemas de interoperabilidade – como parte de suas vantagens competitivas. Os trabalhos para eliminar as barreiras para a interoperabilidade são vistos pelos fornecedores de *software* como algo que proporciona às empresas clientes comprar e usar um produto da concorrência ao invés daqueles fornecidos por eles. Esta falsa percepção para a vantagem competitiva não provê incentivo para esses fornecedores de *software* endereçarem problemas de interoperabilidade. Assim, esta é uma das principais razões que os esforços de organizações e centros de pesquisa, para integrar padrões de troca de dados, em gerações existentes de *software*, encontram resistência dos desenvolvedores, apesar das solicitações pelas empresas da indústria automobilística (SZYKMAN et al., 2001).

A integração de dados do produto e processo não é possível a não ser que haja um mecanismo que permita o compartilhamento das informações entre os diferentes sistemas de manufatura (a serem abordados no capítulo 4). O mecanismo precisa ser uma representação digital padrão para os dados do produto e processo. Esses padrões são a chave para a implementação da Manufatura Virtual.

A Internet e as intranets são utilizadas para a troca de informações no desenvolvimento do produto e processo. Como um resultado desse novo paradigma, há uma grande necessidade de *software* para efetivamente suportar a representação formal, captura e troca de informações.

A figura 3.2 mostra uma visão simplista da larga gama de opções que desafiam as empresas nesta área. A situação atual é caracterizada por aplicações de *software* únicas que freqüentemente não são interoperáveis com outros componentes de *software*. Aplicações integradas oferecem a solução mais simples para os problemas na troca de dados para um par de aplicações – o conjunto é interoperável entre seus próprios componentes -, porém, segundo MECKLENBURG (2001), para múltiplos sistemas, essa solução pode ser impraticável a médio prazo

devido à complexidade da integração requerida para ambientes complexos de desenvolvimento.

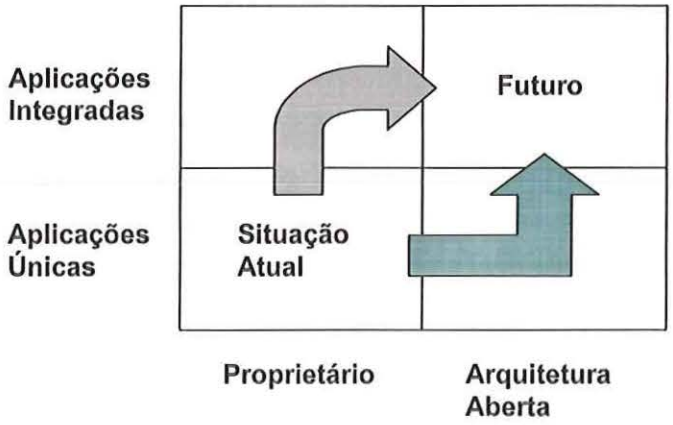


FIGURA 3.2 – Caminhos de soluções alternativas (NACFAM, 2001).

O capitulo 4, a seguir, apresenta as principais características e funcionalidades requeridas pelos sistemas aplicativos que compõem o ambiente da Manufatura Virtual.

4. REQUISITOS FUNCIONAIS DOS SISTEMAS DE SUPORTE À MANUFATURA VIRTUAL

O ambiente de Manufatura Virtual compreende a utilização de sistemas para quatro grandes grupo de tarefas: (1) a elaboração dos Planos de Processos macro e detalhados, tanto de processos de fabricação como de montagem, (2) todas as atividades de identificação de Recursos de máquinas, ferramentas, dispositivos, (3) a Programação *Off-line* de máquinas de usinagem, robôs e máquinas de medição, e (4) Simulação e Realidade Virtual.

Segundo PORTO & PALMA (2000), busca-se a integração de dados e sistemas, padronização de ferramentas e programas. Não há um único produto que domina o mercado da família de *softwares* que compõem a MV, e como os pacotes variam consideravelmente em muitos aspectos – custo, funcionalidade, flexibilidade, facilidade de uso, plataforma -, a seleção das ferramentas deverá se direcionar para aquelas que permitam:

- melhorar a tecnologia para obter recursos;
- permitir associatividade gerenciável;
- reduzir recriação de geometria, onde os projetos de produtos, máquinas, ferramentas e outras entidades são baseados em modelamento sólido;
- eliminar desenhos em papel;
- permitir trabalho em paralelo / simultâneo;
- prover integração entre ferramentas de *software* de ERP;
- acesso de fornecedores usando a Web / Portal;
- uso de modelos em fase de desenvolvimento (trabalho em processo);
- fluxo de trabalho integrado com sistema de gerenciamento de projeto.

Para maximizar os benefícios do desenvolvimento simultâneo do produto e processo, conforme proposto pela MV, os vários sistemas precisam ser capazes de determinar como, por exemplo, o formato ou dimensões foram derivados e por que determinado componente precisa ser fabricado de um material específico. A não ser que tal informação denominada "intenção do projeto" esteja presente, é difícil diminuir o risco de fazer modificações e melhorias no produto e manufatura, e reparar processos.

O desenvolvimento de padrões para a representação da "intenção do projeto" é necessário para incluir um melhor entendimento do processo do projeto. A meta é que sistemas que compõem a MV recebam as descrições do produto e interpretem-nas em operações para atingir as especificações geométricas, tolerâncias e de material desejadas. Com uma representação padrão para tais informações, as saídas dos sistemas de projeto CAD poderão ser usados por uma variedade de sistemas da MV. Os pontos chave são a integração dos bancos de dados do projeto e de manufatura, e a integração de métodos de descrições de conversão de projeto em processos de manufatura e programas de controle numérico.

Pode-se afirmar que existem soluções isoladas ou parciais para cada uma das tarefas relacionadas ao ambiente MV, mas basicamente são usadas para atenderem aos principais grupos de tarefas listados na figura 4.1 - Planejamento do Processo, Gerenciamento de Recursos, Programação *Off-line* e Validações.

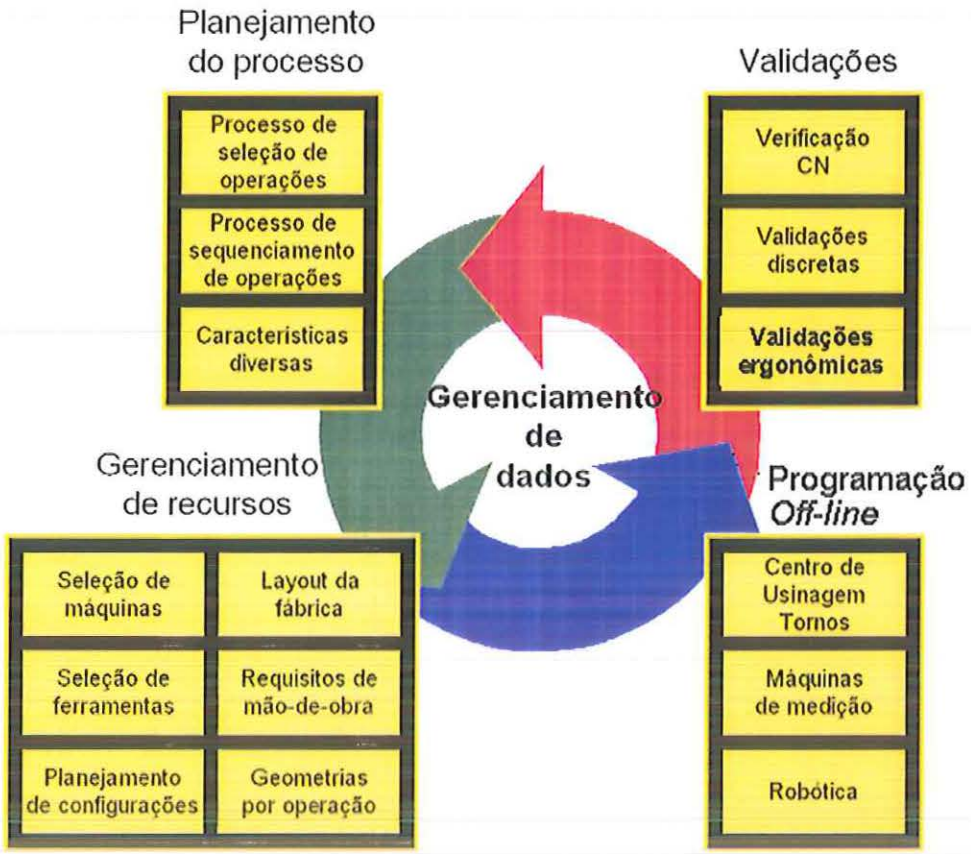


FIGURA 4.1 – Principais grupos de tarefas relacionados ao ambiente da MV.

4.1. Planejamento do Processo

O sistema de Planejamento de Processo é a aplicação central que permite aos processistas elaborarem o processo completo de manufatura e identificarem os elementos que definem os produtos. Um modelo genérico de dados do processo de manufatura é um componente essencial de tal aplicação, conforme mostrado na figura 4.2. Esse modelo de dados deve dar suporte ao planejamento macro e detalhado dos processos. Um ambiente de manufatura integrado engloba dados do processo que descrevem como os produtos são fabricados usando os recursos disponíveis. Isto impõe que o modelo de dados proposto habilite a colaboração de dados do produto, dados do processo e dados de recursos.

FIGURA 4.2 – Atividades básicas do Planejamento do Processo (HALEVI & WEILL, 1995).

O sistema para o desenvolvimento do Plano de Processo, integrado a outras aplicações específicas, deve permitir ao usuário elaborar as instruções detalhadas de trabalho para um processo de operação específico, como por exemplo, tratamento térmico, solda por robô e usinagem.

As principais funcionalidades buscadas nos *softwares* para a elaboração dos planos de processos macro e detalhados são:

- Definir necessidades geométricas – habilidade para definir requisitos baseados no projeto do produto (arquivo CAD 3D).
- Definir necessidades não-geométricas - a habilidade para definir o consumo do material que não é detalhado no projeto do produto.
- Criar listagem de material de manufatura (MBOM) – habilidade para criar uma listagem de material de manufatura e informações associadas, tais como listagem das estações de consumo e datas de efetivação.

- Planejar o ponto de uso - habilidade para planejar como componentes comprados devem ser entregues ou armazenados para consumo pelo chão-de-fábrica.
- Definir roteiro primário – habilidade para definir a seqüência primária de operações a serem realizadas.
- Definir máquinas ou estações para fabricação / montagem: habilidade para definir as máquinas ou estações que podem ser usadas para execução de uma operação.
- Definir configurações (*setups*) de máquinas e estações.
- Definir listagem de material processada – habilidade para definir quais componentes são consumidos para uma determinada operação.
- Determinar sub-montagens: para melhorar o processo de manufatura.
- Definir seqüência relativa de operações.
- Definir tempo de ciclo de cada operação.
- Incluir instruções textuais e gráficas.
- Emitir o Método Planejado.
- Elaborar instruções detalhadas de primeiras operações (corte e dobra de chapas).
- Elaborar instruções detalhadas de solda.
- Elaborar instruções detalhadas de pintura.
- Elaborar instruções detalhadas de tratamento térmico.
- Aplicar tempos padrões.

Um exemplo de *software* aplicativo é mostrado na figura 4.3, onde se observam algumas das principais funcionalidades acima apresentadas, incluindo imagens em diferentes formatos, descrição detalhada da operação a ser executada, dados do local de execução da operação e tempos padrões.

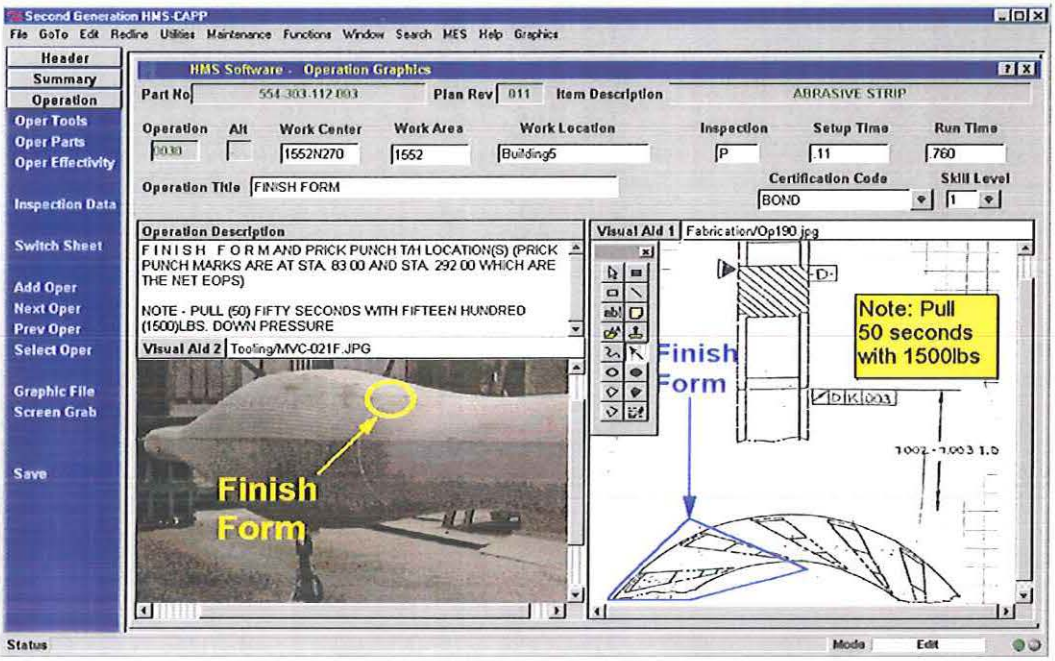


FIGURA 4.3 – Exemplo de um sistema de Planejamento do Processo (HMS, 2000).

Aliado à necessidade de funcionalidade descrita acima, novas ferramentas de *software* e modelos são necessários para permitir a medição de propriedades tais como manufaturabilidade, desempenho do produto e processo, custo do produto e processo, impactos de alterações de uma alternativa de projeto a outra, e configuração de manufatura. Modelos para vários processos de manufatura, tais como corte, forjados, modelagem para injeção e fundidos, podem ser usados para alterar a geometria do produto ou parâmetros de processo através de diversas análises de engenharia; modelos para montagem e custo para prover ao projetista estimativas de custo e opções de projeto para produtos de maior facilidade de montagem; modelos geométricos de posicionamento e caminho para manuseio do produto também são úteis; a integração de modelos de capacidade e capabilidade na manufatura permite ao projetista simular e analisar os processos de manufatura, os processos tecnológicos, e o projeto de métodos de controle estatísticos de qualidade; modelos de engenharia de fábrica para prover os dados requeridos para configurar novas fábricas podem ser usadas para mostrar como uma decisão para melhorar um processo na fábrica pode resultar em alterações simultâneas nos dados mantidos em diversas aplicações associadas.

Algumas alterações que podem ocorrer automaticamente incluem revisões nos desenhos de "*layout*" de fábrica, modelos de simulação, projeções de retorno sobre investimentos, e documentos de especificações de compras para o sistema proposto.

4.2. Gerenciamento de Recursos

Recursos incluem máquinas de controle numérico, máquinas de manuseio manual, espaço no chão-de-fábrica, células de fabricação e montagem, equipamentos especiais, dispositivos de suporte e requisitos de mão-de-obra (especialização e carga de trabalho).

As principais funcionalidades requeridas nos sistemas aplicativos de Gerenciamento de Recursos, integrados ao Planejamento do Processo, são:

- Avaliar recursos de chão-de-fábrica para determinar se os recursos são suficientes para atender às necessidades para execução do Método Planejado.
- Elaborar *layout* da fábrica.
- Gerenciamento de ferramentas e calibradores.
- Seleção de ferramentas e calibradores similares e existentes: verificar a existência de ferramentas e calibradores; pesquisar a disponibilidade nos almoxarifados; usar referências do modelo geométrico e requisitos de manufatura.
- Projeto de ferramentas e calibradores.
- Solicitação de Serviços de projetos e ferramentas e calibradores.
- Escrever ordens de serviço para execução de atividades no chão-de-fábrica não especificadas no Método Planejado (por exemplo, instalar ou movimentar uma máquina).
- Definir localizações de ferramentas e calibradores no chão-de-fábrica.
- Comunicação com o sistema de controle de chão de fábrica (*Manufacturing Execution System* - MES).

4.3. Programação *Off-line*

De uma maneira geral, os sistemas para a programação *off-line* de máquinas de controle numérico (CN), cujas principais atividades estão relacionadas com: (1) a recuperação do Plano do Processo, projeto do componente, projeto do dispositivo, projeto da peça bruta, dados de ferramental, (2) a adição de métodos de usinagem e informações de seqüência, (3) a seleção de caminhos de corte e/ou inspeção, e (4) verificação dos programas, devem propiciar a execução dessas atividades em um ambiente virtual 3D, usando modelos visuais para eliminar colisões da ferramenta ou ponta de prova, assim como problemas de programação que podem estar presentes antes de executá-lo fisicamente no equipamento.

As funcionalidades de programação *off-line* relatadas nesse item englobam aplicativos nas seguintes áreas:

- Programação de centros de usinagem e tornos
- Programação de Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC)
- Programação de Robôs (solda, pintura, montagem, corte)

4.3.1. Programação *Off-line* – Centros de Usinagem, Tornos e MMC

Como as operações de manufatura demandam maiores eficiências, os *softwares* CAM usados para usinar ou medir peças devem apresentar ferramentas mais precisas para o corte ou medição de peças complexas. As novas tendências em *software* CAM - associatividade completa entre a geometria do modelo e os caminhos das ferramentas (programação CN) e ponta de prova (programação MMC); usinagem e medição baseadas no conhecimento; reconhecimento de "*features*"; e capacidade de usinagem e medição de modelos sólidos -, detalhados abaixo, requerem uso de modelos sólidos 3D ou superfícies com precisão. O uso dessas novas tendências em CAM, em conjunto com simulação de processo, pode reduzir drasticamente o tempo de programação e correção de erros.

Associatividade implica que a geometria e o caminho da ferramenta ou ponta de prova do sistema estejam relacionados entre si. Assim, quando uma

informação do modelo ou da ferramenta é alterada, um caminho da ferramenta atualizado pode ser gerado com um comando no computador.

Software CAM baseado no conhecimento captura técnicas de usinagem de um operador experiente ou de um programador de controle numérico (centros de usinagem, tornos, robótica, máquinas de medição), permitindo automatizar a programação de tarefas repetitivas obtidas de boas práticas, minimizando o problema causado pela troca de mão-de-obra.

O reconhecimento de "*features*" permite ao sistema automaticamente reconhecer características da peça e configurar padrões de operação. Por exemplo, baseado nas necessidades de tolerância, decidir automaticamente a seqüência de operações (desbaste e alargamento) que deve ser aplicada a um dado "*feature*".

Os *softwares* de programação de inspeção, usados para criar e otimizar máquinas de medição por coordenadas (MMC), propõem permitir menores ciclos de programação, aumento da produtividade dos equipamentos e eliminação de erros de programação e colisões da ponta de prova. Conforme os programas são criados e editados, os usuários podem visualizar o equipamento MMC, pontas de prova, peças e dispositivos em modelos gráficos 3D em tempo real, conforme exemplo ilustrado na figura 4.4. Outra característica importante é a capacidade em acessar informações de dimensão e tolerância geométrica importadas com os modelos CAD.

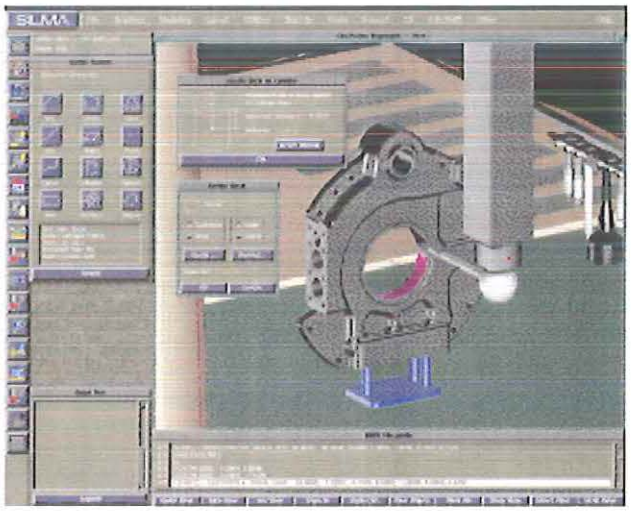


FIGURA 4.4 – Exemplo de programação de máquina de medição por coordenadas MMC (ADEPT, 2002).

4.3.2. Programação *Off-line* - robótica

Os *softwares* de programação de robôs são ferramentas de simulação para o projeto, avaliação e programação *off-line* de células de trabalho robotizadas, conforme ilustrado na figura 4.5. Incorporam robôs do mundo real e equipamentos periféricos, atributos de movimento, cinemática, produzindo com precisão programas e simulações. Em adição, permitem reduzir ou eliminar colisões entre robôs, componentes, ferramentas, dispositivos e objetos ao redor da célula.

Os principais esforços no desenvolvimento de aplicações da robótica sem dúvida recaem na indústria automobilística e de máquinas rodoviárias. Muitos robôs têm largo uso em tarefas de montagem e manufatura, como manipulação de material, soldagem a arco/ponto, montagem de partes, pintura, carga e descarga.

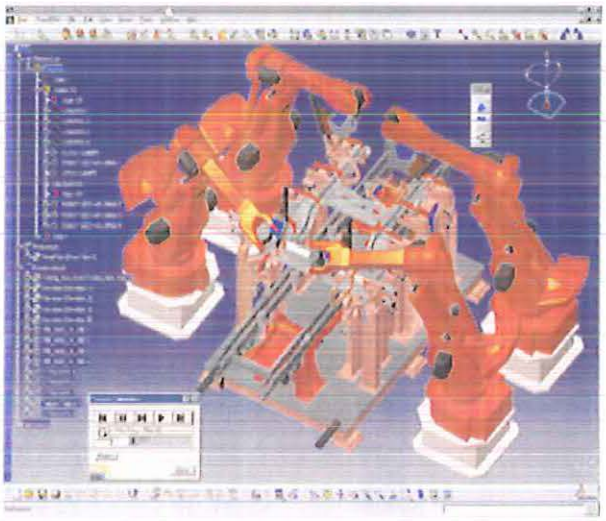


FIGURA 4.5 – Exemplo de uma célula de trabalho robotizada (DELMIA, 2002).

Para o ambiente da MV, busca-se soluções de sistemas de programação integradas, escalonáveis, flexíveis, de fácil uso, para configurações de células de trabalho robotizadas, programação, simulação e verificação, e as principais funcionalidades requeridas são listadas a seguir (DELMIA, 2002):

- permitir aos usuários carregar recursos de equipamentos e ferramentais de um catálogo de componentes (robôs de diversos fabricantes);

- ferramentas de *layout* de fábrica que permitam ajudar o trabalho de processistas no planejamento de recursos de chão-de-fábrica, através da adição ou refinamento de recursos assinalados ao processo, assim como o seu posicionamento;
- interface de programação gráfica 3D para ensinar e seqüenciar os dispositivos cinemáticos em uma célula de trabalho;
- estabelecer e gerenciar a precedência ou seqüência de operações;
- inserir operações através de ícones gráficos, ao invés do uso de linguagem de programação;
- converter automaticamente os pontos de solda assinalados para operações em localizações do robô;
- possibilidade de mostrar graficamente a localização da solda (dados do projeto) e localizações do robô (dados de manufatura);
- permitir que os processistas experimentem e resolvam questões de recursos e projeto do produto por estarem relacionados com o planejamento do processo de manufatura e então comunicar efetivamente com os engenheiros do produto, os quais têm a responsabilidade pelo produto;
- incluir ferramentas geométricas básicas que permitam aos engenheiros de manufatura melhor colaborarem com os engenheiros do produto;
- capabilidade de renderização em tempo real e integrado;
- suportar a troca de dados usando padrões da indústria.

A programação *off-line* necessita obrigatoriamente da existência de um modelo teórico do robô e do ambiente; o objetivo é usar esse modelo para simular o comportamento real do robô. A implementação da programação *off-line* encontra principalmente três problemas (HENRIQUES, 2002):

- dificuldade em desenvolver um sistema de programação generalizado que seja independente do robô e de suas aplicações;
- para reduzir a incompatibilidade entre robôs e sistemas de programação, faz-se necessário definir padrões para as interfaces;
- programas gerados *off-line* devem levar em conta os erros e imprecisões entre o modelo idealizado e o mundo real.

4.4. Validações

As validações relacionadas a programação *off-line*, assim como do processo produtivo, podem ser realizadas com a aplicação de *softwares* de Simulação e Realidade Virtual.

Partindo do conceito da MV, ou seja, a concepção e a execução dos processos de manufatura no computador simulando o que acontece no mundo real, verifica-se que a simulação está envolvida em todos os paradigmas da Manufatura Virtual (projeto, produção e controle), assim, as mais diversas ferramentas de simulação computacional na manufatura às vezes acabam sendo confundidas com a própria MV (PORTO & PALMA, 2001).

De fato, Realidade Virtual e Simulação são componentes em diversas áreas, incluindo a Manufatura Virtual, mas há diferenças entre elas. Ambas, Simulação e Realidade Virtual, são ferramentas que podem ser usadas para análise e teste de materiais, treinamento de pessoas de diversas maneiras, e o projeto e implementação de novas idéias e conceitos, segundo a NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA, 2001a).

Uma distinção importante entre elas é como os usuários operam a tecnologia. A Realidade Virtual freqüentemente requer mais interação física da parte do usuário, enquanto a simulação tipicamente é mais passiva. A Realidade Virtual é um processo tátil, incorporando luvas, controle "*joysticks*", telas em capacetes, óculos estéreos 3D, e paredes e telas para projeção de vídeo. Simulação envolve *software* de visualização com gráficos de alta resolução, usando modelos CAD 3D, operando em estações gráficas de alto desempenho. Ambas podem ser usadas em conjunto por projetistas e engenheiros para criar praticamente qualquer tipo de mundo artificial imaginável. Nestes ambientes digitais, muitos tipos de situações do mundo real, variáveis, e reações podem ser duplicados (NASA, 2001a).

4.4.1. Simulação

As empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias têm usado cada vez mais a simulação como uma proeminente ferramenta de suporte à decisão. A maioria faz uso de *softwares* de simulação de eventos discretos para modelar sistemas de manufatura, e em questões relativas a *layout* de fábrica, fluxo de processo, sistemas de manuseio de material, planejamento de capacidade, utilização de mão-de-obra, investimento em novos equipamentos, e programação de produção. Outras aplicações estão relacionadas à logística, configuração de ferramentas, programação *off-line*, e treinamento.

Os sistemas de simulação para suporte às atividades de Manufatura Virtual podem ser distribuídos basicamente em 4 grandes grupos: Simulação de Sistemas de Manufatura, Simulação de Processos de Manufatura, Simulação de Sistemas Mecânicos e Simulação de Elementos Finitos (SOUZA et al., 2002).

Os *softwares* de simulação de Sistemas de Manufatura incluem: processo de fabricação e montagem, os quais propõem prover um método sistemático para o projeto de fábrica (criação, análise e apresentação visual do modelo), habilitando a engenharia simultânea de toda a fabrica; análise de fluxo de material e *layout* de fábrica, integrando desenhos de fábrica e caminhos do fluxo de material com dados de produção e manuseio de material, possibilitando prever o desempenho e entender o impacto de mudanças nos sistemas de manufatura; eventos discretos, que permitem modelar questões de manuseio complexo de material e manufatura, provendo animações em escala real 3D enquanto o modelo está sendo executado.

Os sistemas de Processos de Manufatura englobam a programação de controle numérico, que simula interativamente o processo de remoção de material de um caminho de ferramenta CN, o movimento total da ferramenta na máquina, detecção automática de colisões de ferramentas, interferência entre peças e condições de corte inadequadas; e a programação de robôs, programação e otimização de aplicações em pintura, MMC, solda e células de manufatura.

A simulação de elementos mecânicos utiliza principalmente o Método de Elementos Finitos para verificar se as alterações nas condições de usinagem não

resultarão em esforços que comprometerão a qualidade de forma e de acabamento da peça.

Algumas capabilidades consideradas importantes, relacionadas aos *softwares* de simulação aplicados à MV, são listadas a seguir:

- Verificação se o Processo de Montagem está correto: assegurar que todo o processo de montagem funciona como um sistema; simular o fluxo do processo como um conjunto de operações; realizar análise de colisão, detecção de folgas, deslocamento de peças e dispositivos, conforme ilustrado na figura 4.6.
- Verificação do caminho da ferramenta em usinagem, robótica e medição.
- Simulação de eventos discretos.
- Verificação da ergonomia: assegurar que o Método Planejado é ergonomicamente correto. A simulação com modelos devem ser usados para análise de cansaço, esforços para braços e costas, e uso de ferramentas manuais.
- Integração com dados CAD do produto, equipamentos e *layout* de fábrica.

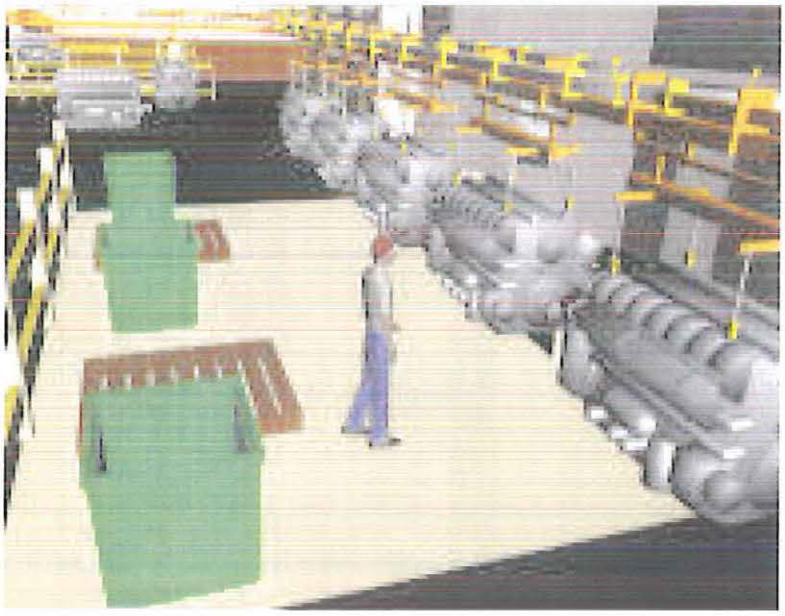


FIGURA 4.6 – Exemplo de aplicação de simulação no processo de fabricação (AUTOSIMULATIONS, 2002).

Uma limitação dos *softwares* de simulação no contexto da MV é que, para a grande maioria dos casos, para diferentes tipos de ferramentas de simulação – simulação de eventos discretos, simulação de fluxo de material, simulação de célula de trabalho –, operam independentemente um dos outros.

Uma das regras fundamentais do Planejamento do Processo de fabricação é o desejo de otimizar componentes do sistema. Em outras palavras, componentes individuais precisam operar a um fator de carga menor que a capacidade ótima para o sucesso da operação como um todo. Por exemplo, sob o ponto de vista de manuseio de materiais, é melhor agrupar estações de trabalho para minimizar a distância total de locomoção. Entretanto, isto pode não ser a melhor distribuição em termos de processo. Caso esteja se usando uma ferramenta para otimizar o processo de manufatura e uma outra para otimizar o fluxo de material, pode não ser fácil encontrar a melhor solução. A possibilidade de ter diferentes modelos de simulação interagindo entre si poderá fornecer um beneficio muito maior.

Processos que envolvam movimentação de peças, como é o caso da simulação de robôs, exigem estudos mais aprofundados através de simulação. A extensão das técnicas de CAD/CAM também é desejável no domínio da robótica. Entretanto, a cinemática envolvida nos movimentos do robô é consideravelmente mais complexa do que a relacionada com movimentos *"xyz"* dos centros de usinagem e com os movimentos das juntas do robô. Some-se a isso a necessidade de utilizar de um ambiente capaz de simular uma grande variedade de robôs e tipos de configurações disponíveis no mercado (HENRIQUES, 2002). Apesar dessas dificuldades, a simulação veio para prover um ambiente gráfico capaz de gerar uma interação suave com as diversas linguagens de programação de robôs existentes no mercado. Benefícios como detecção de colisões em *off-line*, avaliação e otimização de seqüências de programas sem necessidade da presença física do manipulador têm impulsionado o desenvolvimento das pesquisas em *softwares* de simulação de robôs.

4.4.2. Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV), por sua vez, também é uma tecnologia chave no desenvolvimento do produto e processo. A RV pode ser definida como "a habilidade em criar e interagir no *espaço cibernético*, isto é, um espaço que representa um ambiente com muita similaridade ao ambiente em torno de nós" (BANERJEE & ZETU, 2001).

Um sistema de RV envolve estudos e recursos ligados com percepção, *hardware*, *software*, interface do usuário, fatores humanos e aplicações (BISHOP et al., 1992). Para a elaboração de sistemas de Realidade Virtual é necessário ter algum domínio sobre dispositivos não convencionais de entrada e saída, computadores de alto desempenho e boa capacidade gráfica, sistemas paralelos e distribuídos, modelagem geométrica tridimensional, simulação em tempo real, navegação, detecção de colisão, avaliação, impacto social, projeto de interfaces, e aplicações simples e distribuídas em diversas áreas (KIRNER, 1996).

A vantagem principal dessa tecnologia é o desenvolvimento e a análise colaborativos do projeto, habilitando grupos de engenheiros visualizar e manipular, em tempo real, um objeto virtual tão facilmente como eles poderiam um objeto físico (NASA, 2001a), como mostrado na figura 4.7.

FIGURA 4.7 – Uso da RV no projeto de um produto (RAWLINGS et al., 1994).

A Realidade Virtual tem sido usada por companhias tais como *General Motors* e *Caterpillar* para construir protótipos eletrônicos de veículos, ao invés de protótipos físicos, reduzindo significantemente o tempo de desenvolvimento do produto.

Outro exemplo é o Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, através do Núcleo de Realidade Virtual - um grupo multidisciplinar de profissionais, cientistas, pesquisadores e alunos de pós-graduação e graduação interessados no desenvolvimento e pesquisa de projetos na área de RV -, que está desenvolvendo projetos de criação de mundos virtuais (modelos 3D, animação, tratamento de imagens, conversores) para a primeira Caverna Digital (CAVE) da América Latina com capacidade de imersão total (NÚCLEO DE REALIDADE VIRTUAL, 2003).

As principais vantagens esperadas com o uso da interface de RV na área de Manufatura Virtual são (PORTO & PALMA, 2001):

- projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais e funcionais avaliadas e testadas;
- desenvolver uma ergonomia funcional e confiável, sem ter de construir um modelo em escala real;
- projetar produtos que possuam contornos estéticos de acordo com a preferência de cada cliente;
- facilitar operações remotas e controle de equipamentos;
- desenvolver e avaliar processos que asseguram a manufaturabilidade, sem ter de produzir o produto em escala comercial;
- desenvolver planos de produção e itinerários, e simular se esses estão corretos;
- educar empregados em técnicas avançadas de manufatura, principalmente com ênfase em segurança no trabalho.

Os sistemas para desenvolvimento de projetos de produto 3D, como o VisConcept (EDS) e o DIVISION (PTC), podem ser usados para apresentar projetos conceituais como protótipos virtuais, e habilitar os fabricantes a avaliar e explorar

projetos de produto em um ambiente virtual realista. Permitem aos projetistas colaborarem na fase conceitual, ajudando-os a criar um produto que satisfaça os requisitos de mercado. Com esses sistemas, os usuários podem apresentar projetos em alta resolução, foto-realistas, em seus próprios computadores ou em largas telas dentro de ambientes de Realidade Virtual, conhecidos como "Cavernas Digitais" (CAVE). As funcionalidades básicas desses sistemas são a capacidade para definir ambientes interativos, seqüências de cenas e configurações de telas, aplicar múltiplas texturas, textos 3D primitivos, e métodos para modelar realisticamente superfícies brutas (DE-ONLINE, 2002).

A Manufatura Virtual e automação freqüentemente concentram-se na interface entre a tecnologia RV e a teoria e prática de manufatura. O capítulo 7 apresentará esforços no desenvolvimento da interface MV – RV, relacionado à interoperabilidade dos dados, onde se acredita que a direção da evolução da teoria e prática de manufatura irá se tornar mais clara no futuro assim que a função da tecnologia RV seja mais bem entendida para essa finalidade.

A seguir, o capítulo 5 apresenta as principais características de formatos neutros de dados, protocolos e padrões de interfaces que ajudam a habilitar a interoperabilidade entre os sistemas da Manufatura Virtual.

5. PADRÕES DE FORMATO NEUTRO DE ARQUIVOS PARA A TROCA DE DADOS NO AMBIENTE DA MANUFATURA VIRTUAL

O ingrediente crítico para o uso da Manufatura Virtual é a integração de dados do produto e processo. Esta integração fornece aos projetistas e processistas informações sobre o completo ciclo de vida de um produto, assim como informações sobre como suas decisões afetam todos os outros aspectos do produto. Conforme apresentado no capítulo 3, quanto mais as empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias cooperam ou compartilham informações, a interoperabilidade de sistemas torna-se a questão mais importante, e isto significa padronização. "Padrões não garantem interoperabilidade, mas trazem-na próxima da realidade" (CARVER & BLOOM, 1991).

A integração de dados do produto e processo não é possível a não ser que haja um mecanismo que permita o compartilhamento de informação entre os diferentes sistemas que compõem a MV. O mecanismo precisa ser uma representação digital padrão para os dados do produto e processo. Por isso que os padrões são chave para a implementação da MV em um ambiente distribuído.

Muitas empresas encontram dificuldades para forçar o uso de conjuntos comuns de ferramentas no ambiente da Manufatura Virtual dentro de suas organizações, e muito mais através da cadeia de desenvolvimento e entre parceiros de negócios. A necessidade para que múltiplas aplicações compartilharem eficientemente dados de engenharia (produto e processo) tem conduzido o desenvolvimento de padrões para um formato neutro intermediário. Tal abordagem permite a uma empresa evitar o desenvolvimento e manutenção de diversas interfaces de sistemas específicos, e habilita que aplicações sejam dirigidas diretamente a um arquivo compartilhado (GOLDSTEIN et al., 1998).

5.1 . Formatos Neutros

As aplicações relacionadas ao ambiente da MV geralmente não usam o mesmo formato para a entrada e a saída de dados. Por exemplo, uma empresa automobilística utiliza componentes de diferentes fabricantes. Essa empresa automobilística usa CATIA (*Dassault Systèmes*) como ferramenta CAD, enquanto os fornecedores utilizam diferentes sistemas. Cada um destes sistemas tem seu próprio formato de dados e a interoperabilidade se torna um interesse principal. Ilustrando a questão da interoperabilidade em um cenário potencial na troca de informação durante o projeto de um novo automóvel, para que essa empresa automobilística incorpore os componentes de seus fornecedores no projeto, o formato de dados tem que ser convertido do Pro/ENGINEER (*Parametric Technology Co.*) - usado pelo fornecedor - para o CATIA. Similarmente, para que o fornecedor de componentes compreenda as mudanças feitas pelos engenheiros da empresa automobilística, os dados necessitam ser convertidos de CATIA para o Pro/ENGINEER. Assim, necessita-se de 2 tradutores. Para três sistemas isto vem a 6 tradutores e para sistemas de ***n*** nós são necessários ***n(n-1)*** tradutores. Uma solução para este problema é usar um formato neutro e fazer todas as aplicações gerarem a saída de dados neste formato. Fazendo assim, o número dos tradutores é reduzido para ***2*n***, *isto é,* para cada sistema CAD necessitam-se dois tradutores - um do sistema fonte para o formato neutro e o outro do formato neutro para o sistema destino, conforme ilustrado na figura 5.1.

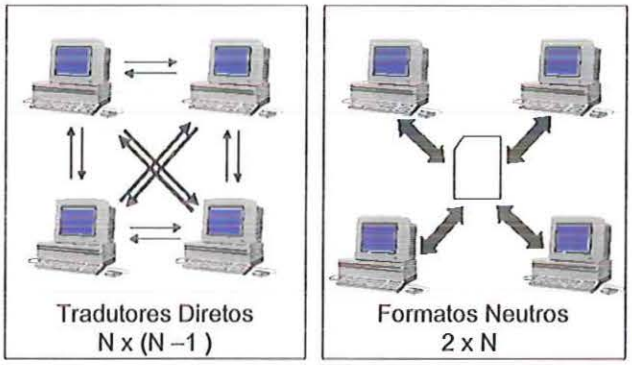


FIGURA 5.1. Eficiência de formatos neutros na troca de dados (GOLDSTEIN et al., 1998).

Um formato neutro é normalmente usado como um formato intermediário, uma vez que ambos os sistemas que estão enviando e recebendo têm seus próprios formatos internos nativos. A figura 5.2 mostra o princípio da troca de dados usando o formato neutro.

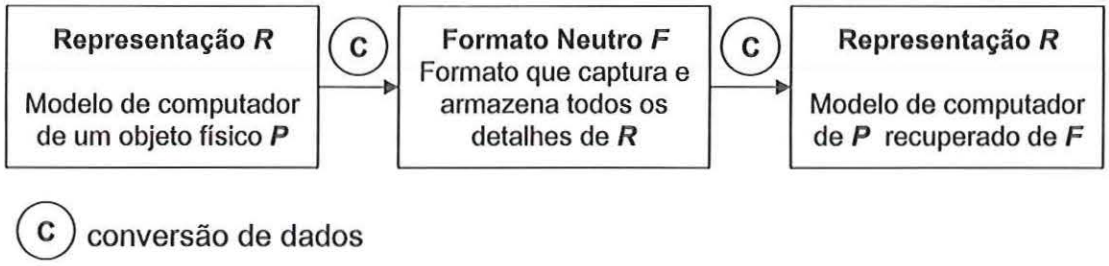


FIGURA 5.2. Transferência de dados entre dois sistemas usando formato neutro (MARSAN et al. 1998).

Um formato neutro precisa ser designado para a captura de uma larga variedade de diferentes representações internas de sistemas. Por exemplo, um formato neutro é usado como um padrão para a troca de dados de produto de forma eletrônica entre várias aplicações de projeto e manufatura. Os limites geométricos de um objeto podem ser representados por *B-reps*, CSG ou modelo sólido, dependendo da aplicação. A figura 5.3, abaixo, ilustra este conceito.

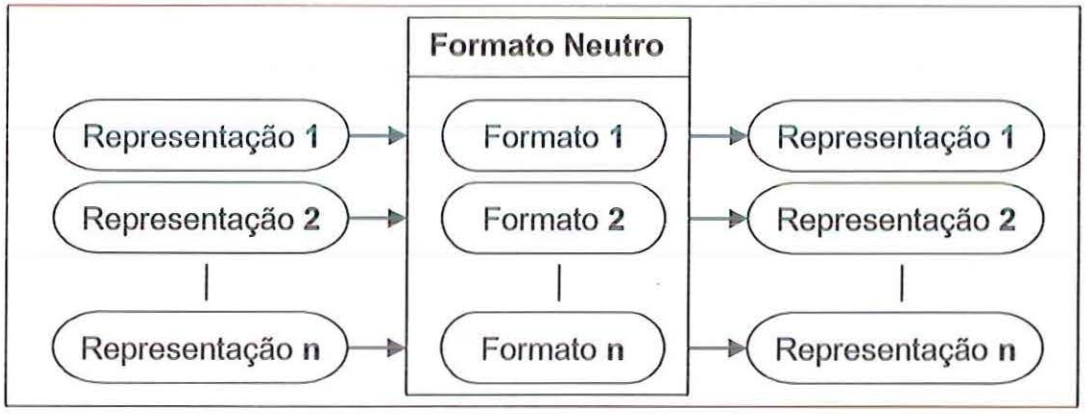


FIGURA 5.3. Um formato neutro capaz de descrever muitas representações (MARSAN et al., 1998).

Muitas organizações, tanto comerciais como governamentais, estão envolvidas no desenvolvimento de padrões de formatos neutros que provejam

capabilidade de conversão de informações para o ambiente da MV. Os esforços neste sentido são abordados no capítulo 7.

A seguir, são apresentados alguns dos principais formatos neutros (não-proprietários e proprietários) e suas principais características técnicas.

5.1.1. STEP

Um padrão de interesse primário é o ISO 10303, também conhecido como STEP (*STandard for Product data Exchange* / Padrão para a troca de dados do modelo do produto), desenvolvido pela *Organização Internacional para a Padronização* (ISO). Sua intenção é permitir a troca de dados do modelo do produto entre os diferentes módulos de um sistema de desenvolvimento, ou compartilhar esses dados pelos diferentes módulos com o uso de uma base de dados comum. As primeiras partes do STEP, para conseguir a posição de Padrão Internacional, foram publicadas em 1994, mas muitas outras partes têm sido publicadas ou estão em desenvolvimento e serão adicionadas eventualmente ao padrão.

O ISO 10303 STEP é composto de diversas camadas, conforme ilustrado na figura 5.4. A camada superior consiste em um conjunto de "protocolos de aplicações" (APs), que endereçam classes específicas do produto e estágios do ciclo de vida (por exemplo, mecânico, eletrônico, navios, automotivo, projeto, planejamento do processo). Protocolos de aplicação são padrões que definem o contexto, o uso, e o tipo de dados do produto que precisam estar no STEP para um propósito específico de manufatura, em um ciclo de vida do produto, tal como projeto, planejamento do processo, e programação *off-line*. Os protocolos de aplicação padronizam o uso do STEP para suportar confiavelmente e consistentemente uma função particular de manufatura. Estes protocolos de aplicação especificam os padrões na troca de dados, e para esse ambiente foi criada a série de números "200". Os APs são construídos de um conjunto dos módulos chamados de recursos integrados, que são comuns para todas as disciplinas. A linguagem para a modelagem das várias entidades do STEP e seus relacionamentos é chamada EXPRESS.

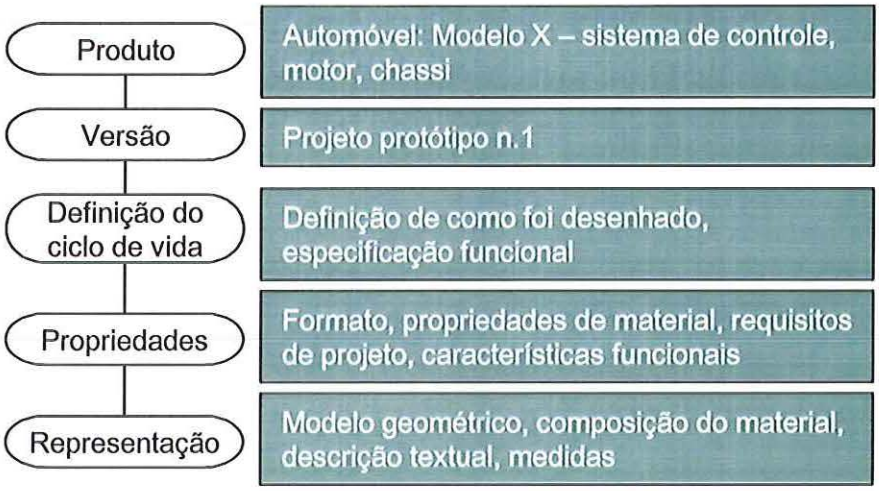


FIGURA 5.4. Organização técnica dos dados no formato STEP (MITCHELL et al., 1996).

Uma lista das "Partes" (Protocolos de Aplicação, Recursos, Construções e Métodos) que compõem o padrão STEP, assim como uma ilustração mais completa da arquitetura de dados STEP são mostradas nas figuras 5.6 e 5.7, respectivamente. O padrão inicial contém modelos de bloco de construção para a descrição de (MITCHELL et al., 1996):

- propriedades da forma do produto, como definido matematicamente pela geometria de topologia;
- como a forma é representada no modelo CAD, tal como "*wireframe*", superfície, representação por limites (*B-reps*), ou sólido;
- estrutura do produto e relações de montagem;
- apresentação, anotação, e convenções de desenho;
- identificação do produto e gerenciamento de alteração técnica de engenharia, incluindo aprovações;
- o contexto da aplicação e informações administrativas;
- material e propriedades do material;
- tolerâncias e dimensões geométricas;
- estruturas do processo;
- representações cinemáticas;
- representações paramétricas.

ISO TC184 SC4 **STEP em uma Página** ISO 10303

Protocolos de Aplicação e Conjuntos Associados de Testes Abstratos

I 201 Desenho/croqui explícito [ATS 301 = X]
I 202 Desenho/croqui associativo [X]
I 203 Projeto de configuração controlada (c2=I,a1=I)[X]
I 204 Projeto mecânico usando *Brep* [I]
X 205 Projeto mecânico usando repr. superfícies [W]
X 206 Projeto mecânico usando *wireframe* [X]
I 207 Planejamento e projeto de moldes p/chapas metálicas [I]
X 208 Processo de alteração do ciclo de vida do produto [X]
I 209 Análise Estrutural de compósitos e metais [X]
I 210 Projeto de montagem, interconexão e empacotamento eletrônicos [X]
X 211 Montagem Eletrônica P.C.: teste, diag.& remanuf.[X]
I 212 Projeto e Instalação Eletrotécnica [C]
X 213 Planos de Proc.Controle Numérico p/peças usinadas[X]
I 214 Dados principais para processos de projeto mecânico automotivo (e2=E)[F]
E 215 Arranjo de navios/embarcações [X]
E 216 Formas moldadas de embarcações [X]
X 217 Tubulação de embarcações [X]
E 218 Estruturas de embarcações [X]
X 219 Inspeção de dimensões [X]
O 220 Planej.Processo Fab/Mont. prod. camada elétrica[X]
C 221 Dados Func.& Rep.Esquemática p/processo fábrica[X]
X 222 Projeto/Manufatura p/ Estruturas Compósitas [W]
X 223 Troca info. Projeto&Manuf.prod. p/peças fundidas[@]
I 224 Def. Produto Mec.p/ Planej.Processo ...\[X,I]
I 225 Elementos de Constr.usando repr.formato expl. [C]
X 226 Sistemas Mecânicos de Embarcações [C]
I 227 Configuração espacial de fábrica (e2=C)[X]
X 228 Serviços de Construção: HVAC [X]
X 229 Info. Projeto&Manufatura prod. p/peças forjadas[X]
X 230 Quadro estrutural de construção: peças de aço [X]
X 231 Dados de engenharia do processo [X]
I 232 Empac.de dados técnicos: info.&troca principais [I]
W 233 Repr.de dados de Eng.de Sistemas [X]
X 234 Eventos, reg. e mens.operacionais de embarcações[X]
W 235 Info. Materiais p/projeto e verificação de produtos [X]
W 236 Dados de produto e projeto de móveis [W]
W 237 Dinâmica de Fluidos Computacional
A 238 Controladores Numéricos Computadorizados
W 239 Suporte ao ciclo de vida do Produto
W 240 Planos de Processo para produtos usinados

Métodos de Descrição

I 1 Visão Geral e princípios fundamentais
I 11 Manual de Referência da Linguagem EXPRESS (c1=I,c2=C,c2=C,c3=X)
I 12 Manual de Referência da Linguagem EXPRESS-I
X 13 Manual de Referência da Arquitetura e Metodologia
E 14 Manual de Referência da Linguagem EXPRESS X

Recursos Comuns

Recursos de Aplicações Integradas

I 101 Desenho/croqui (c1=I)
X 102 Estruturas de Embarcações
X 103 Conectividade E/E
I 104 Análise por Elementos Finitos
I 105 Cinemática (c1=I,c2=I)
X 106 Modelo de construção principal
C 107 Relações de definição FEA
C 108 Parametr.& Restr.p/modelos geom.prod
C 109 Modelo de Montagem p/ produtos
W110 Dinâmica.dos Fluidos Comp.bas. malha

Recursos Genéricos Integrados

I 41 Fund.da descr.& spec. Produto(e2=I,c1=I)
I 42 Repr.Geométrica e Topológica (c3=I, ...)
I 43 Especialização da Representação (e2=I...)
I 44 Config. Estrutura do Produto (e2=I,c1=I)
I 45 Materiais (c1=I)
I 46 Apresentação Visual (c1=I,c2=I)
I 47 Tolerâncias (C1=I)
X48 Características de Forma
I 49 Propriedades & Estrutura de Processo
I 50 Construções Matemáticas
E 51 Descrição Matemática
W52 Topologia baseado em malha
W53 Análise Numérica
C 54 Teoria do Conj.de Classificação
A 55 Rep. Procedural e Híbrida
W56 Estado
W57 Extensões de Expressão
A 58 Risco

Construções de Aplicações Interpretadas

I 501 *Wireframe* baseado em limites
I 502 *Wireframe* baseado em carcaça
I 503 *Wireframe* 2D limitado geométrica/
I 504 Anotação em Desenhos/croqui
I 505 Estrutura e Adm.de Desenho
I 506 Elementos de Desenho/croqui
I 507 Superfície limitado geométrica/
I 508 Superfície não-múltiplas
I 509 Superfície múltipla
I 510 *Wireframe* limitado geométrica/
I 511 Superfície topologicamente limitada
I 512 *B-rep* facetada
I 513 *B-rep* elementar
I 514 *B-rep* avançada
I 515 Geometria Sólida Construtiva
X516 Contexto de Projeto Mecânico
I 517 Apres.Geom.Proj.Mecânico(c1=I)
I 518 Apres.Sombreada Proj.Mecânico
I 519 Tolerâncias Geométricas (c1=I)
I 520 Elementos de Des./croqui Assoc.
@521 Sub-superfícies múltiplas
E 522 Características de Usinagem
A 523 Sólido de Revolução de Curvas

Métodos de Implementação

I 21 Estr.Troca Codif. Texto(c1=I,e2=I)
I 22 Interface Padrão de Acesso de Dados
I 23 Conexão da ling. C++ (p/ #22)
I 24 Conexão da linguagem C (p/ #22)
C25 EXPRESS p/ OMG XMI
X 26 Conexão da linguagem IDL (p/ #22)
I 27 Conexão da ling. JAVA (p/#22)
@28 Repr. XML p/ EXPRESS \ (DTS)
X 29 Conexão Ltwt Java (p/ #22)

Metodologia e Estrutura do Teste de Conformidade

I 31 Conceitos Gerais
I 32 Requisitos nos testes em laboratórios e clientes
X 33 Estrutura e uso de conjuntos de testes abstratos
I 34 Métodos de testes abstratos para a implementação da Parte 21
C 35 Métodos de testes abstratos para a implementação da Parte 22

Legenda: posição da **Parte** (E,F,I seguro para implementar)
0=O =Estágio Preliminar (Proposta → aprov. p/ voto NP)
10=A =Estágio de Proposta (circ. voto NP → aprov. NP)
20=W=Estágio Preparatório (desenv. Projeto → reg.CD)
30=C =Estágio de Comitê (circ. CD → reg. DIS)
40=E=Estágio de Consulta (circ. DIS → reg. FDIS)
50=F=Estágio de Aprovação (FDIS → Padrão Internacional)
@=na ISO, aprovada para publicação (40.95 ou 50.99)
60= I =Estágio de Publicação (Padrão Internac. Publicado)
98=X =Projeto cancelado

FIGURA 5.5 – Lista de "Partes" do padrão ISO10303 STEP – versão 07/Abril/2003 (NIST, 2003)

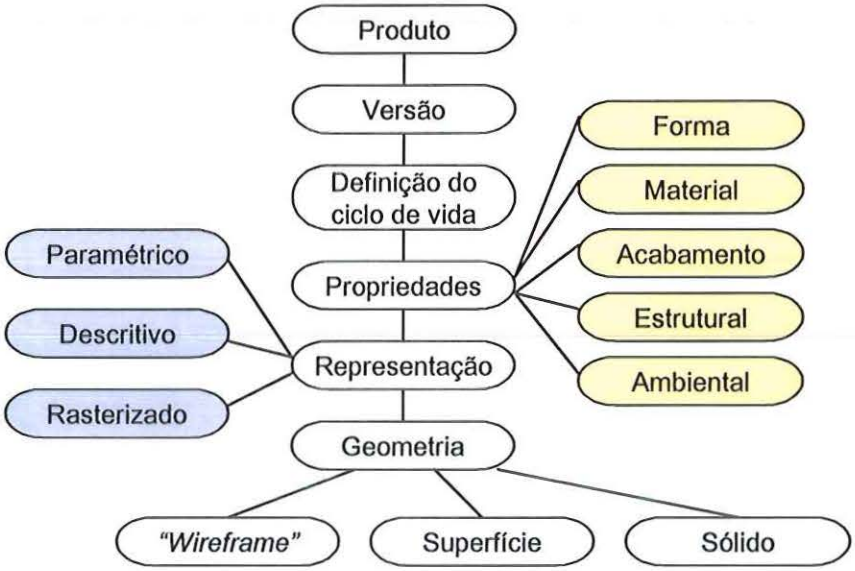


FIGURA 5.6. Arquitetura de dados STEP (MITCHELL et al., 1996).

Um dos protocolos de aplicação STEP mais relevante para sistemas CAD tradicionais é chamado **AP203** e intitulado "Projetos 3D de configuração controlada de peças e conjuntos mecânicos". A ênfase do STEP AP203 está na descrição de formas e dados da configuração do produto. Facilidades foram fornecidas para capturar, em formato padrão, as seguintes representações: desenhos 2D, *wireframe* 3D, modelos de superfície, e modelos sólidos. Isto reflete o estado da tecnologia CAD desde o início dos esforços no desenvolvimento do STEP em meados da década de 1980. A tecnologia CAD progrediu desde esse tempo, e a maioria desses sistemas principais fornecem agora facilidades para o projeto paramétrico, variacional, ou baseado em características (*features*). Além disso, muitos deles têm as facilidades para gravar históricos do projeto. O esforço no curto prazo para as características paramétricas está sendo endereçado pelo Grupo de Trabalho 12 da ISO.

O AP203 engloba a seguintes informações (ProSTEP, 2002a):

- produtos (componentes e conjuntos mecânicos);
- representação de 5 tipos de formatos geométricos: *wireframe* e superfície sem topologia; *wireframe* com topologia; superfície com topologia; limites facetados; *B-reps*;

- representações alternativas (diferentes vistas no processo de manufatura durante o ciclo de vida do produto): dados organizacionais (responsabilidades, aprovação); montagens e lista de materiais (estrutura do produto, peças alternativas); controle de alterações técnicas; informações do projeto (material, processos, especificações de superfície); dados de teste e análise do projeto.

Como resultado, os processos suportados são o desenvolvimento e troca de dados de projeto com outras fases do ciclo de vida do produto, o desenvolvimento do projeto (conceito e detalhamento), as alterações técnicas, as aprovações e os contratos nos quais o desenvolvimento está baseado.

Estão fora do escopo do protocolo de aplicação STEP AP203 as informações de dados de configuração e do produto durante o completo ciclo de vida, que não estão relacionados com a fase de projeto, as representações alternativas que não estão relacionados ao processo do projeto (incluindo manufatura), e a representação geométrica CSG.

Outro protocolo de aplicação muito importante para a MV é o **AP214** – "Dados principais para os processos de desenvolvimento mecânico automotivo". O setor automotivo está concentrando esforços para criar a norma internacional STEP AP214, possibilitando a descrição de todos os dados do produto, ao longo da sua cadeia de desenvolvimento, conforme apresentado na figura 5.7. Segundo SCHÜTZER & HENRIQUES (2002), o AP214 descreve a estrutura de dados relevantes para representar as informações técnicas relacionadas com o processo de desenvolvimento mecânico. Ele pretende garantir que os dados possam ser trocados, compartilhados, estendidos e processados ao longo da cadeia de processo, o que implica em um cenário que envolve aproximadamente 1000 sistemas CADx somente na indústria automotiva na área de processamento de dados técnicos. Além dos dados especificados nos sistemas CAD para representar a geometria, visualização gráfica e desenhos técnicos, outras informações podem ser representadas na estrutura de dados baseados no AP214, conforme mostrado na figura 5.8.

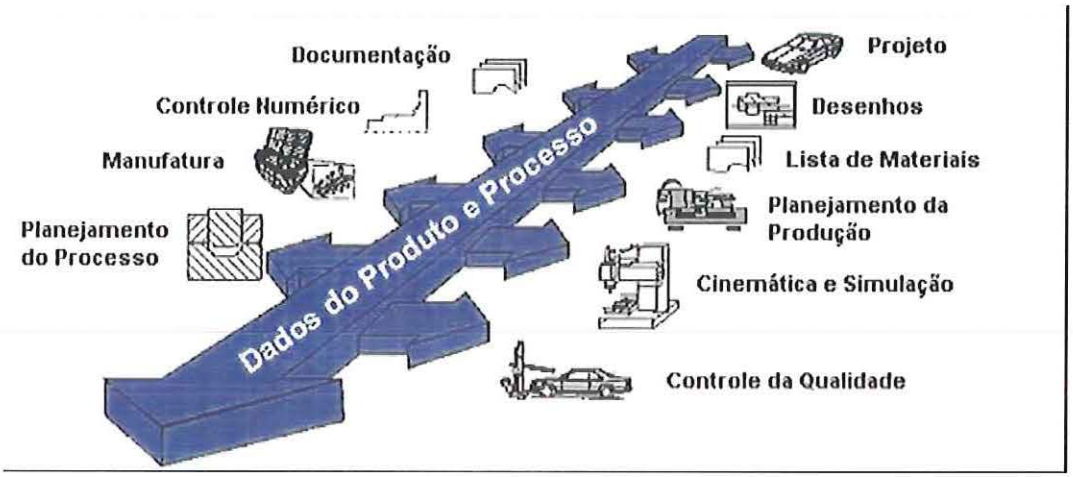


FIGURA 5.7. Integração da cadeia de desenvolvimento do produto através do STEP AP214 (ProSTEP, 2002b).

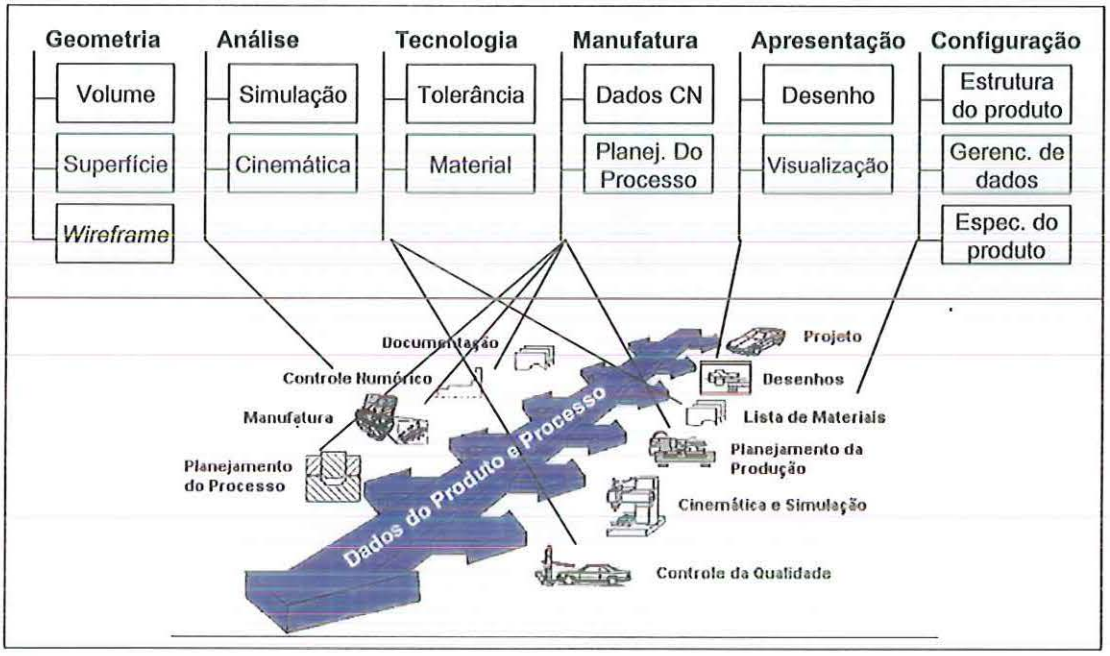


FIGURA 5.8. Escopo do Protocolo de Aplicação 214 (ProSTEP, 2002b).

O protocolo de aplicação AP214 descreve os dados de produto e processo das cadeias de processo de desenvolvimento na industria automotiva, e desde o início de 2001 é um Padrão Internacional no contexto da ISO 10303. O AP214 provê as seguintes informações (ProSTEP, 2002b):

- componentes e ferramentas, assim como conjuntos de componentes e ferramentas, incluindo informações do fornecedor e versão técnica;
- informações do Plano de Processo para o gerenciamento de relações entre componentes e ferramentas, os quais são específicos para as suas produções;
- informações do produto e dados de configuração, que estão relacionadas ao processo de desenvolvimento do produto;
- gerenciamento e documentação dos processos de projeto e alteração técnica;
- representações alternativas (diferentes vistas geométricas dos processos de manufatura);
- identificação de componentes padrões;
- dados organizacionais (responsabilidades, aprovações);
- 8 tipos de descrições geométricas (2D *wireframe*, 3D *wireframe*, superfície geometricamente limitada, superfície topologicamente limitada, limites facetados, *B-reps*, formato composto, CSG);
- dados que pertencem à representação visual de superfícies (cor, largura de linhas, sombreamento);
- características (*features*) de forma;
- documentação do produto através de desenhos explícitos e associativos;
- dados de simulação para a descrição de estruturas cinemáticas;
- propriedades de componentes e ferramentas;
- condições de superfície e tolerâncias.

O AP214 não contempla as informações de dados financeiros para o gerenciamento do projeto do produto, as representações paramétricas, as simulações cinemáticas contínuas, e a análise por elementos finitos.

Como resultado, **os processos suportados pelo AP214 - definição do produto, projeto, prototipagem, planejamento do processo, projeto de ferramentas e dispositivos, produção de ferramentas e dispositivos, controle da Qualidade – estão estreitamente alinhados com os requisitos de interoperabilidade requeridos no ambiente da Manufatura Virtual.**

5.1.2. IGES

A Especificação Inicial de Troca de Gráficos / *Initial Graphics Exchange Specification* (IGES) é um padrão do AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI) para a troca de desenhos do produto. O IGES fornece uma definição e um formato neutros para a troca de dados específicos. Usando IGES, um usuário pode trocar modelos de dados do produto na forma de *wireframe* ou de representações sólidas, assim como representações de superfície. As aplicações suportadas pelo IGES incluem desenhos de engenharia tradicionais assim como modelos para análise e várias funções de manufatura. Além da especificação geral, o IGES inclui os protocolos de aplicação em que o padrão é interpretado para atender a exigências específicas (NIST, 2001).

A versão 1.0 da especificação foi adotada como um Padrão Nacional Americano (ANS Y14.26M-1981) em Novembro de 1981. As versões subseqüentes estão seguindo como especificações do ANS, sendo a versão 5.2 aprovada e adotada pelo ANSI em 1993. A versão atual, IGES 5.3, foi aprovada pelo ANSI sob as normas da U.S. PRODUCT DATA ASSOCIATION (US Pro) em Setembro, 1996.

As atualizações na especificação IGES são desenvolvidas através das atividades do projeto da Organização IGES/PDES. A versão 6.0 está programada para ser a próxima, e a última, liberação deste padrão. Assim que as melhorias no STEP se tornarem disponíveis, os membros do projeto IGES estarão focando uma parcela significativa de seus esforços no desenvolvimento de uma estratégia de migração IGES para STEP. Os planos atuais buscam a sustentação das atividades relacionadas na manutenção das potencialidades existentes no IGES com todos os novos requisitos que estão sendo enviados para a consideração nas partes apropriadas dos padrões STEP/PDES.

O formato do arquivo definido por esta especificação trata a definição de produto como um arquivo de entidades. As entidades são categorizadas como geometria e não-geometria. As entidades da geometria representam a definição da forma física e incluem pontos, curvas, superfícies, sólidos, e relações que são coleções de entidades estruturadas similarmente. As entidades não-geométricas

servem tipicamente para enriquecer o modelo, fornecendo anotações e dimensionamento apropriados ao desenho.

As entidades não-geométricas também fornecem atributos ou características específicos para uma única entidade ou grupos de entidades. As entidades não-geométricas típicas para a definição do desenho, anotação, e dimensionamento são as vistas, o desenho, notas gerais, as espessuras de linhas. As entidades não-geométricas típicas para atributos e agrupamentos são as entidades de propriedade e de associatividade.

Como os dados IGES estão no formato texto ASCII, todos os meios desejados para se transferir o arquivo IGES podem ser usados, de disquetes à Internet. Para o último, um tipo de mensagem na Internet de "modelo/iges" foi registrado. Além da transferência CAD-CAD (ou CAM), o destino pode ser um visualizador gráfico. Um número de empresas que desenvolvem ferramentas de visualização pode ser encontrado. Algumas destas ferramentas permitem editar e reparar arquivos IGES. Um editor de texto de finalidade geral pode ser usado para editar um arquivo IGES, porém como as entidades e as seções dos arquivos são interligadas por ponteiros, o uso de ferramentas específicas de edição IGES é desejável (NIST, 2001).

5.1.3. UPR

Segundo GRECO (2002b), várias empresas lançaram recentemente no mercado soluções para a tradução e conversão de dados entre sistemas CAD mecânicos. Entre os formatos proprietários apontados por GRECO - UPR (Proficiency), CADCAM-E (CADCAM-E), FlexiChanger (ASPire3D), Various Translators (Trade Technologies France - TTF), CADverter (Theorem Solutions), Acc-U-Trans (TTI) - o formato UPR é apresentado em mais detalhes a seguir para o Estudo de Caso desta dissertação.

O UPR (*Universal Product Representation* / Representação Universal do Produto), da empresa *Proficiency Inc.*, é um formato neutro de sistema para a representação do projeto, disponibilizado no mercado em 2001. Ele se propõe a

fornecer soluções que permitam a interoperabilidade e associatividade de dados entre diversos *softwares* CAD (NASA, 2001b).

O UPR é uma representação independente da inteligência do projeto, incluindo *features*, restrições, dimensões paramétricas, históricos, conjuntos, e *metadata*. É uma diferença crucial comparada a *softwares* e padrões de tradução tais como IGES e STEP, que entregam a geometria "sem inteligência", onde não há associatividade entre *features* ou histórico (TYRKA, 2002).

A empresa PROFICIENCY (2002) descreve o significado de "inteligência do projeto" da seguinte maneira. Quando um engenheiro cria o projeto para um componente mecânico em um sistema CAD de modelamento 3D paramétrico, ele o faz pela especificação de características (*features*) e dimensões que definem o componente, assim como restrições e tolerâncias. Durante o processo de projeto, o *software* também mantém um histórico das características usadas para construí-lo. Conforme o projeto se desenvolve, uma alteração pode ser feita em um parâmetro ou uma característica, e o resto do trabalho do projeto é mantido. Características, histórico e restrições formam a "inteligência do projeto", a qual captura um alto nível do pensamento do projetista. O compartilhamento da "inteligência do projeto" é a chave para a verdadeira colaboração entre projetistas.

O formato UPR também é o núcleo do "portal de colaboração" na Web da empresa *Proficiency*. Desenvolvido com a intenção de tornar a interoperabilidade CAD real, o "portal de colaboração" fornece uma solução para a tradução de arquivos CAD (TYRKA, 2002). O "portal de colaboração" inclui um histórico de trabalho para todas as traduções executadas. Informação do nível do *feature* e as propriedades físicas são gravadas para a importação e exportação, assim o usuário pode verificar a qualidade da conversão. Ele lê o modelo fora de um sistema CAD e constrói então um modelo nativo correspondente no sistema CAD novo, usando as características e inteligência desse sistema.

Entretanto, nem todas as características existem em todos os sistemas. Se um modelo estiver sendo traduzido e houver características que não existem na aplicação da importação, o portal de colaboração usará o equivalente lógico na

EESC-USP Biblioteca Campus de S. Carlos

aplicação. Mesmo quando isto não é possível, gerará a geometria reta, e indicará isto no relatório da conversão.

O "portal de colaboração" suporta a tradução de arquivos através de quatro aplicações CAD: CATIA, I-DEAS, Pro/Engineer, e Unigraphics. A versão 1 foi liberada em 2001, com potencialidades que a tornam muito eficaz para peças usinadas e moldadas. A versão 2, lançada em Novembro de 2002, permite a tradução de peças formadas de *chapas metálicas* (TYRKA, 2002).

O UPR armazena todos os níveis de dados que são gerados pelos sistemas CAD (limites facetados, *B-rep*, CSG). Em particular, o UPR armazena uma representação completa dos limites (equivalente ao nível de geometria sólida 3D do padrão STEP) e uma descrição completa dos "*features*" paramétricos do modelo sólido. Além disso, ele armazena geometrias auxiliares, informações de tolerância e dimensionamento geométricos (GD&T), e vários outros níveis de dados. Nenhuma outra solução no mercado suporta a funcionalidade de características paramétricas, a qual é um principais fatores de interoperabilidade no mundo de hoje (RAPPOPORT, 2002).

A empresa *Proficiency* também oferece o *software UPR Viewer*, permitindo que usuários que não manipulam *software* CAD visualizem a inteligência do projeto que foi extraído para o UPR. Diferentemente de outros *softwares* de visualização 3D, descritos no item 5.1.4, que somente apresentam a geometria ou facetas triangulares de um modelo sólido, o visualizador UPR mostra a árvore completa de histórico de características (*features*), e permite aos usuários "caminhar" através do modelo obtendo informações de como o mesmo foi criado, passo a passo. Adicionalmente, informações GD&T são mostradas, sendo um passo revolucionário de união de informações de projeto com atividades de manufatura (PROFICIENCY, 2002).

5.1.4. Visualização do produto – formatos de representação por limites triangulares (STL, STH, CFL, RPI)

Os formatos neutros de visualização de imagens 3D – representação por limites triangulares - são úteis na integração de sistemas que requerem somente a "carcaça" do modelo do produto, sem a necessidade de informações adicionais tais como atributos e parâmetros de manufatura. Pode ser aplicado na interface de *software* PDM em ambiente Web, em ambiente colaborativo, para rápida identificação das características morfológicas do produto, assim como na interface não associativa com aplicativos de diferentes fornecedores para o desenvolvimento de diversas atividades relacionadas à Manufatura Virtual.

O formato **STL** *(Surface Triangularization)*, desenvolvido inicialmente pela empresa *Albert Consulting Group for 3D Systems*, em 1987 – denominado *Stereo Lithography*, e voltado como padrão da indústria para a transferência de dados de componentes para os sistemas de planejamento do processo de prototipagem rápida -, também está amplamente disponível na maioria dos *softwares* aplicativos CAD.

No formato STL, a representação usada pelo modelo 3D é uma lista de facetas triangulares planares, cada triângulo sendo definido por três vértices distintos e um ponteiro na direção interior ao exterior do interior do objeto. O arquivo de formato STL inclui ambas as versões ASCII e binária, que na realidade não são completamente compatíveis. A versão binária, raramente usada, pode transferir informações adicionais de atributos, mas a maioria dos sistemas de prototipagem rápida não consegue interpretá-las. Conseqüentemente, a versão ASCII é usada para a maioria dos propósitos de produção.

Vantagens da representação por limites triangulares e o formato STL (MARSAN et al. 1998):

- *Fácil conversão*: o formato STL é muito simples pois contém somente uma lista de triângulos planares. A conversão de um modelo 3D para a representação de limites triangulares usa algoritmos padrões de triangulação de superfícies. Eles são simples, robustos e confiáveis quando

comparados a algoritmos para a geração de outros tipos de aproximações. Em adição, a precisão da saída pode ser facilmente controlada, e os possíveis tipos de degeneração são poucos.

- *Larga faixa de entrada*: a maioria das representações 3D pode ser convertida para uma representação de limites triangulares devido à larga aplicabilidade dos algoritmos de triangulação de superfícies disponíveis. Esta vantagem está ausente na maioria dos outros esquemas de aproximação.

As vantagens do STL surgem do uso de representação por limites triangulares do objeto, e do fato que o triangulo é a forma poligonal convexa mais simples. Por essas vantagens, o STL é freqüentemente usado como um formato para armazenamento de informações internamente no sistema de Planejamento do Processo, em adição ao uso para transferência do modelo.

Com relação às desvantagens da representação por limites triangulares, três tipos de problemas usualmente ocorrem com o STL: aqueles causados pela aproximação por limites triangulares; aqueles relacionados ao formato em si; aqueles relacionados aos algoritmos de transferência e conversão dos dados.

Segundo MARSAN et al. (1998), várias alternativas para o formato STL são propostos na literatura. O formato STH (*Surface Triangles Hinted* / Superfícies Triangulares Indicadas), desenvolvido pela empresa *Brock Rooney and Associates*, usa uma representação por limites triangulares, com regras flexíveis para o eficiente armazenamento das informações de vértice e conectividade. É mais compacto que o STL, e contém informações de estrutura opcionais sobre fontes de volume e superfícies.

O formato CFL (*Cubital Facet List* / Lista de facetas da Cubital), foi desenvolvido pela empresa *Cubital* para solucionar os problemas com o STL, mas não se tornou muito popular. Define uma representação por limites poliédrica de facetas planares, na qual as facetas podem conter múltiplos furos poligonais. O formato tem provisão para armazenamento de comentários textuais, e também

permite a descrição alternativa de um modelo como uma série de facetas de contornos.

O formato RPI (*Rensselaer Polytechnic Institute* / Instituto Politécnico Rensselaer) descreve ambas as representações por limites facetados e modelos CSG, definidos em termos de operações *booleanas* em volumes primitivos. O formato permite a especificação de transformações 3D e valores de parâmetros de processo. Esse formato tem a flexibilidade para definir e armazenar entidades em diversas maneiras, incluindo o armazenamento de informações de processo.

5.1.5. SDX

O padrão SDX (*Simulation Data eXchange* / Troca de Dados de Simulação) permite o intercâmbio de dados entre pacotes de *software* relacionados à simulação. Contém a estrutura da simulação e outros parâmetros chave. O SDX foi criado pela empresa *Engineering Animation Inc* (EAI), subsidiária da UGS, o fabricante do *software* FactoryCAD, e foi designado como uma maneira para os usuários CAD enviarem informações de *layout* de fábrica diretamente aos sistemas de simulação, sem ter que recriar esta informação manualmente. Este padrão pode armazenar informações adicionais tais como tempos de ciclo de máquinas, estatísticas e dados de roteiro de produtos (ELDER, 1999). O propósito básico deste formato é desenvolver um método automatizado e consistente de geração de modelos de simulação e animações de modelos 3D diretamente de desenhos CAD (MOORTHY, 1999).

Segundo SLY & MOORTHY (2001), o SDX é um padrão que está finalmente trazendo as atividades de projeto de manuseio de fábrica e material para o ambiente de simulação e análise. Como um padrão independente, desde 2001 gerenciado e coordenado pelo NIST, o SDX tem o suporte necessário para revolucionar a maneira na qual empresas de manufatura poderão integrar os sistemas de manufatura no ambiente da Manufatura Virtual.

O padrão SDX inclui um número de objetos CAD inteligentes para o projeto de *layouts* de fábricas. Esses objetos permitem ao projetista desenvolver e

modificar o *layout* com menos esforços e duplicação de desenhos. Esses objetos, incluindo esteiras, prateleiras, pontes rolantes, mesas, caçambas e mezaninos, contêm dados relevantes de simulação, tais como tempo de falha, tempo para reparos, taxas de refugo, velocidades de esteiras, junções de esteiras, veículos automáticos (AGV), entre outros. Uma rotina de extração inteligente exporta detalhes do objeto, como o tipo do objeto (máquina, esteiras, área de armazenamento, por exemplo), localização do objeto, e outros parâmetros físicos, assim como dados relevantes de simulação descritos anteriormente, para um arquivo texto no formato XML. Este arquivo elimina a necessidade de fisicamente recriar e mesmo executar informações de controle no pacote de simulação dinâmica. Este arquivo tem se tornado um formato padrão de dados que pode servir como uma entrada para a geração automática de modelos de simulação de eventos discretos, conforme mostrado na figura 5.9.

FIGURA 5.9 – Integração entre sistema CAD e sistema de Simulação com o uso do padrão SDX.

O conceito do SDX não requer a troca de dados gráficos para o sistema de simulação. Todos os objetos SDX podem ser representados nas ferramentas de simulação com suas capabilidades gráficas nativas, de maneira a sincronizar gráficos correspondentes obtidos através de tabelas de mapeamento (MECKLENBURG, 2001).

Para o ambiente da MV, outra aplicação importante desse formato é a troca de dados entre *softwares* de simulação de eventos discretos e *softwares* de visualização. O modelo de simulação com dados de animação pode ser disponibilizado para visualização e análise dinâmicas em diversas ferramentas de visualização e de simulação.

Os desenvolvedores de *software* de simulação estão incluindo em seus produtos o suporte às funcionalidades do SDX, muitos ainda em fase inicial, entre eles, as empresas AutoSimulations, Lanner e Simul8.

5.1.6. VRML

A VRML (*Virtual Reality Modeling Language* / Linguagem de Modelamento de Realidade Virtual) é uma linguagem orientada a objeto, estruturada através de um número de arquivos, cada arquivo contendo uma coleção de objetos VRML (BANERJEE & ZETU, 2000). É o formato padrão internacional de arquivo ISO/IEC14772 para descrever as multimídias 3D interativas na Internet, intranets e sistemas locais. Foi projetado primeiramente pela equipe VRML da empresa *Silicon Graphics*, com contribuições do centro de pesquisas da *Sony* e da *Mitra*.

O formato VRML é capaz de representar objetos multimídia e 3D estáticos e dinâmicos com "*hyperlinks*" para outros objetos tais como texto, som, filmes e imagens. O VRML tem sido escolhido para estudo por vários pesquisadores e desenvolvedores de *software* pelo fato de ser fácil aprender alguns dos seus conceitos básicos, e porque alguns dos "*browsers*" o estão suportando. O VRML também é pretendido a se tornar um formato de troca universal de dados para multimídia e gráficos 3D integrados. Pode ser usado em uma variedade de áreas de aplicação, tais como visualização de dados de engenharia, apresentações multimídia, títulos educacionais e páginas Web.

O Consórcio Web3D, uma associação sem fins-lucrativos, cuja função é agir como um mecanismo único para ação coletiva pela comunidade Web3D, foi formado para prover um fórum para a criação de padrões abertos para especificações Web3D, e para acelerar a demanda mundial para produtos baseados neste padrão, através da liderança do mercado e programas educacionais aos usuários. Essa organização tem liderado o desenvolvimento das especificações VRML, a qual provê a base para o desenvolvimento de aplicações associadas. A mais proeminente atividade técnica do Consórcio Web3D é incluir as especificações X3D (*Extensible* 3D), que é o VRML estendido, usando a XML (Web3D, 2002).

O formato VRML tem sido projetado para atender aos seguintes requisitos (Web3D, 2002):

- habilitar o desenvolvimento de programas de computador capazes de criar, editar e manter arquivos VRML, assim como programas para a conversão automática de outros formatos de arquivos 3D para arquivos VRML;
- prover a capacidade para uso e combinação de objetos dinâmicos 3D dentro do ambiente VRML;
- prover a capacidade de adicionar novos tipos de objetos não explicitamente definidos no VRML;
- capabilidade de implementação – capaz de ser implementado em uma larga lista de sistemas;
- desempenho – enfatizar escalabilidade, desempenho interativo em uma larga variedade de plataformas computacionais;
- escalabilidade – habilitar arbitrariamente ambientes 3D dinâmicos.

5.1.7. VDA-FS

O formato de dados de superfície *Verband der Deutschen Automobilindustrie* (VDA) é um padrão geométrico desenvolvido pela indústria automotiva alemã. O padrão VDA-FS (*Flachenschnittstelle des VDA*), oferece um formato de troca de dados competitivo com o IGES. O VDA foi criado em 1982 para aumentar a eficiência do processo de projeto e uso de sistemas CAD/CAM. Os alemães trouxeram o VDA-FS para discussão internacional para contribuir com os esforços de padronização de dados do modelo do produto (GOLDSTEIN et al., 1998).

A indústria alemã, através do VDA-IS (sub-conjunto IS-IGES), definiu subconjuntos de relevantes entidades de anotação para várias aplicações na manufatura automotiva. Esses subconjuntos foram criados para que compatibilidade pudesse ser testada. Os requisitos particulares de troca de dados atendidos por esses subconjuntos incluem informações de desenho, geometria 2D e 3D, e formas de superfícies.

Ambos os arquivos VDA-FS e IGES contêm uma representação matemática da peça em formato ASCII; contudo, o padrão VDA-FS concentra-se na informação da geometria. Informações adicionais cobertas pelo padrão IGES - tais como dimensões, textos, e cores – não são armazenadas no arquivo VDA-FS. Como resultado, o formato do arquivo é simplificado. Esse padrão também não inclui sólidos *B-reps*; um sólido no VDA-FS é definido por um conjunto de superfícies.

5.1.8. DXF

O DXF (*Data eXchange Format* / Formato da Troca de Dados) foi desenvolvido originalmente pela empresa Autodesk Inc., a fornecedora do *software* AutoCAD. Ele tornou-se um padrão "de fato" entre a maioria de fornecedores CAD e é amplamente usado para trocar dados 2D/3D *wireframe*. Um arquivo DXF é uma representação completa da base de dados extraída do AutoCAD, sendo assim algumas características ou conceitos não podem ser usados por outros sistemas CAD. O DXF suporta *wireframe*, superfície, e representações sólidas.

Como qualquer outro processo de interpretação, esse formato ainda é inexato. Os programadores precisam assumir suposições sobre o que alguns itens significam em um arquivo DXF. Características escritas em programas CAD que não foram escritas no AutoCAD não têm suporte direto no DXF e precisam ser corrigidas. Não há um código padrão, usado na programação DXF para as rotinas de importar e exportar, disponível para os desenvolvedores de *software*, desta maneira cada empresa de *software* escreve seus programas para manusear as entidades de maneiras diferentes, dependendo como eles interpretam o item DXF (WEBER, 1996). Um ponto importante para se notar sobre arquivos DXF é que eles são arquivos textos simples que podem ser lidos ou modificados na maioria dos processadores de textos.

Esse formato não atende aos requisitos de troca de dados da MV, mas é bem utilizado para *layouts* de plantas de chão-de-fábrica. A especificação é de propriedade da Autodesk e não está disponível no domínio público. É recomendado somente para o uso quando trocando dados com o AutoCAD (BRYAN, 1998).

5.2. Comparação entre formatos neutros para a troca de dados

A comparação entre formatos neutros apresentada a seguir consiste na análise de Estudos de Casos obtidos de referências bibliográficas.

Entre os formatos apresentados no item 5.1, o IGES, o VDA e o DXF não são considerados para a análise de alternativas de formatos neutros para facilitar a interoperabilidade no ambiente da MV. O primeiro é amplamente usado como formato de troca de dados CAD pelos setores automotivo e máquinas rodoviárias, contudo, quando a última versão do IGES (Versão 6) estiver pronta, um plano de migração será implementado, habilitando os usuários IGES na gratuita migração para o uso do STEP. Da mesma maneira que o padrão IGES, o VDA-FS apresenta limitações para seu uso no ambiente de MV. O DXF é um formato proprietário de transferência de modelos, fornecido pela empresa Autodesk Inc, e conforme relatado por BRYAN (2002), tem sua aplicação restrita dentro da MV, estando, portanto, fora do escopo deste estudo.

Usando como base estudos realizados por MARSAN et al. (1998), GRECO (2002a), GRECO (2002b) e RAPPOPORT (2002), e características e informações relatadas no item 5.1 deste capítulo, a tabela 5.1 mostra as principais representações gráficas de dados 3D, usadas pelos sistemas da MV, e seus possíveis formatos correspondentes.

TABELA 5.1. Representações e formatos para dados de projeto 3D correspondentes.

Representação	**Formatos**
Limites triangulares	STL, STH, CFL, RPI, STEP, UPR Viewer
Limites facetados	CFL, RPI, STEP, UPR Viewer
Superfícies	STEP, UPR
Sólido *B-rep*	STEP, UPR
Sólido CSG	RPI, STEP, UPR

A tabela 5.2 traz a comparação de formatos de troca de dados 3D agrupadas em duas avaliações tabulares: "Questões sobre formatos neutros" e "Questões sobre representação 3D secundárias". A escolha das medidas em duas avaliações tabulares reflete os requisitos considerados importantes para um formato neutro. A maioria dessas medidas estão relacionadas às propriedades dos esquemas de representação e formatos neutros de troca de dados, os quais provêem um conjunto proveitoso de orientações para o estudo da interoperabilidade na MV.

TABELA 5.2. Comparação de formatos de troca de dados 3D (MARSAN et al., 1998, GRECO, 2002b, e RAPPOPORT, 2002).

Questões	Propriedades	STL	STH	CFL	RPI	STEP	UPR
Formato neutro	Integralidade	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	Neutralidade	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
	Eficiência	R	R	M	B	M	B
	Expansibilidade	R	R	R	B	B	B
	Habilidade para inspeção	M	M	B	B	B	B
	Robustez	M	M	M	M	M	M
	Compatibilidade	B	B	M	B	B	B
	Domínio	DG	DG	DG, DT	DG, DT	Todos	DG, DT
Representação 3D	Tipo	LT	LT	LF	LF, CSG	LT, LF, B-rep, CSG	B-rep, CSG
	Precisão	M	M	M	M	M-B	B
	Eficiência	R	R	M	M-B	M-B	B
	Redundância	R	M	B	B	B	B
	Manutenibilidade	M	M	M	M	M	M

DG: Dados Geométricos
DT: Dados Topológicos
DP: Dados do Processo

B: Bom
M: Médio
R: Ruim

LT: Limites Triangulares
LF: Limites Facetadas
B-rep: Representação Limites
CGS: Geometria Sólida Construtiva

São listadas abaixo as medidas usadas na tabela 5.2, incluindo breves explanações, agrupadas nos cabeçalhos "Questões sobre formatos neutros" e "Questões sobre representação 3D secundárias".

a) Questões sobre formatos neutros para troca de dados:

- Integralidade: o formato neutro precisa capturar toda a informação necessária para a fabricação de um componente que está presente, ou que pode ser derivado, do seu modelo CAD primário;

- Neutralidade: o formato neutro precisa ser independente dos sistemas de envio e recebimento, e da natureza representacional do modelo do componente inicial;

- Eficiência: o formato precisa ser conciso e portanto econômico nos requisitos de armazenamento;

- Expansibilidade: o formato deve ter a flexibilidade para permitir a definição de novas entidades, de maneira que seu domínio possa ser expandido para atender a necessidades futuras;

- Habilidade para inspeção: o formato neutro precisa ser apropriado para inspeção e verificação;

- Robustez: o formato neutro precisa ser a prova de erros;

- Compatibilidade: a representação básica usada deve permitir mapeamentos simples de sistemas CAD ou outros modelos de entrada, para assegurar que a conversão não requer intenso processamento computacional;

- Amplitude do domínio: está relacionado à Integralidade acima. O campo Domínio nas tabelas indica os tipos específicos de dados que podem ser armazenados pelo formato relacionado (por exemplo, geometria, topologia, material, processo, tolerâncias).

b) Questões secundárias sobre representação do modelo 3D:

- Tipo de representação: este campo na tabela especifica os esquemas de representação que cada formato pode armazenar;

- Precisão: a representação não deve aproximar o objeto, a não ser que tal aproximação é considerada suficiente pelo usuário para a tarefa em mãos;

- Eficiência: a representação deve permitir o uso de um formato de modelo, permitindo a recuperação e manipulação eficientes dos dados;

- Redundância: a representação não deve armazenar excessiva informação redundante. Alguma redundância pode ser considerada desejável para permitir o processamento eficiente do arquivo, mas isto claramente impacta os requisitos de armazenamento. Tais comprometimentos são características de representações de modelamento;

- Manutenibilidade: erros na representação do modelo que ocorrem durante a transferência dos dados precisam ser facilmente e rapidamente corrigidos.

Todas as avaliações mostradas na tabela 5.2 não são quantitativas. O assinalamento de níveis qualitativos para os vários formatos é uma matéria de opinião de MARSAN et al. (1998), GRECO (2002b) e RAPPOPORT (2002).

O STEP AP214 está sendo avaliado pela associação ProSTEP, e os resultados apresentados nas tabelas 5.3 e 5.4 foram obtidos durante o evento chamado 7° *Benchmark* (ProSTEP, 2001, SCHÜTZER & HENRIQUES, 2002). Um modelo de produto foi construído em todos os sistemas CAD relacionados nas tabelas, e exportado para o formato neutro AP214. A tabela 5.3 mostra os resultados relacionados à avaliação de Geometria. Neste teste é avaliado o volume ou a área da superfície do modelo. É considerada uma troca sem problemas aquela em que o volume ou a área da superfície do modelo resultante possa ser calculada e não desvie mais de 1% do volume ou da área, em comparação com o modelo original. A tabela 5.4 mostra a avaliação do Conjunto Montado. Três variáveis são avaliadas: posicionamento dos componentes no espaço geométrico; nome dos componentes; e estrutura do conjunto.

TABELA 5.3 - Resultados da troca de dados – Geometria (ProSTEP, 2001).

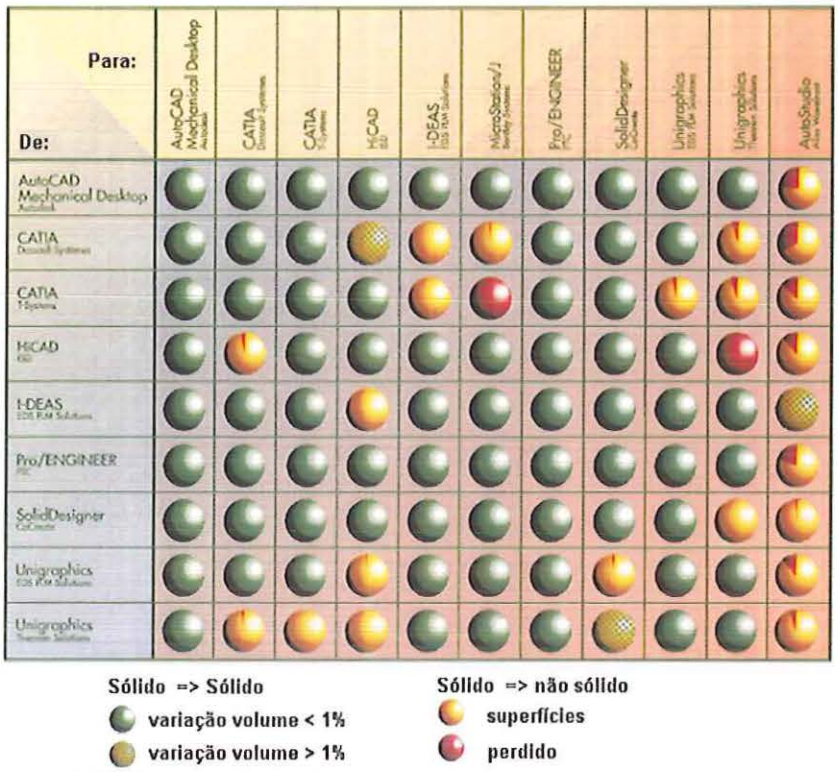
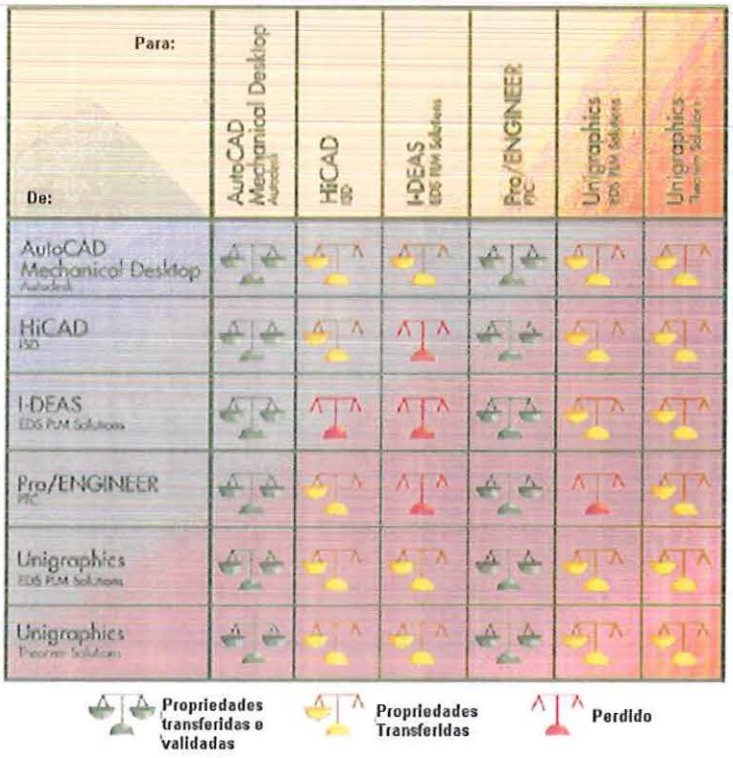


TABELA 5.4 - Resultados da troca de dados – Conjunto Montado (ProSTEP, 2001).



Uma vez mostrado o valor da Manufatura Virtual, os problemas de interoperabilidade de dados e informações, as principais características e funcionalidades requeridas pelos sistemas aplicativos que compõem a MV, e os formatos de arquivos neutros que possibilitam melhorar a troca de dados e informações, a questão agora é como suportar a implementação da MV para a maioria dos parceiros de negócios envolvidos no desenvolvimento simultâneo do produto e processo. O capítulo 6 trata de alternativas de uso de formatos neutros para habilitar a interoperabilidade de dados na implementação de um ambiente de Manufatura Virtual, conforme modelo de referência proposto.

6. PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE FORMATOS NEUTROS PARA HABILITAR A INTEROPERABILIDADE NO AMBIENTE DA MANUFATURA VIRTUAL

No ambiente da MV, a interoperabilidade entre os sistemas é alcançada quando um arquivo de um modelo convertido é inteiramente funcional no sistema da MV desejado. A completa funcionalidade envolve mais que a habilidade de mover ou redefinir uma característica geométrica, e detalhes da definição da geometria devem estar disponíveis à aplicação de modo que possam inteiramente ser analisados e manipulados (TRANSLATION, 2002).

Por exemplo, uma vez que o projeto do produto está completo em um sistema CAD, ele é armazenado em um arquivo de dados. Algumas das informações naquele arquivo de dados representam o formato e o tamanho do produto. Em um ambiente de sistemas de informações integrados, como proposto pela MV, o projetista precisa ser capaz de mandar este arquivo de dados para o sistema de Planejamento da Manufatura. Os mesmos dados precisam então ser usados pelo sistema de planejamento para determinar o processo de manufatura deste produto, baseado em parte no formato e tamanho especificados. Se o sistema de planejamento pode ler o conteúdo do arquivo de dados do projeto, ele pode obter as informações de formato e tamanho que ele precisa. Pode-se dizer que essas duas aplicações estão integradas.

Neste capítulo é analisada a viabilidade da padronização dos requisitos de informação e a representação de dados, conforme Modelo de Estudo, de maneira a apresentar uma relação de formatos neutros para a troca de dados compatíveis a uma variedade de sistemas da MV. O foco primário neste estudo são os dados que descrevem os limites de um objeto 3D e os parâmetros de projeto e manufatura. Essas questões são discutidas no contexto dos formatos padrões descritos no

capítulo 5, onde os dados e as informações relevantes para mais de uma aplicação são armazenados em um banco de dados para o compartilhamento em um ambiente colaborativo.

6.1. Requisitos de interoperabilidade no ambiente da MV - MODELO DE ESTUDO e SOLUÇÃO PROPOSTA

Os principais grupos de tarefas envolvidos com o ambiente da Manufatura Virtual – Planejamento do Processo, Gerenciamento de Recursos no chão-de-fábrica, Programação *Off-line*, Validações (Simulação e Realidade Virtual) –, discutidos no capítulo 4, requerem diferentes níveis de interoperabilidade.

Para cada grupo dessas tarefas há diferentes necessidades de acesso à informação, associatividade entre os sistemas, freqüência de troca de dados, nível de detalhe dos dados transferidos e convertidos entre esses sistemas.

As alternativas de utilização de padrões neutros relacionadas à interoperabilidade das informações para o grupo de tarefas da MV são propostos conforme o Fluxo de Dados do Modelo de Estudo apresentado na figura 6.1. Os requisitos de entrada de dados, suas representações e formatos são analisados em relação às seguintes informações: ***A*** (tolerâncias e especificações do projeto), ***B*** (geometria) e ***C*** (informações de manufatura).

A solução proposta para habilitar a interoperabilidade para esse Fluxo de Dados (entre o projeto do produto e as tarefas da MV) é apresentada na figura 6.2. Ela indica a criação e o gerenciamento de arquivos em formatos neutros, em adição ao modelo CAD fonte. **Os dados gerados pelo sistema CAD do Projeto do Produto, e os dados criados ou alterados pelos sistemas do ambiente da MV, são armazenados e gerenciados no banco de dados no seu formato fonte proprietário, assim como novos arquivos nos formatos neutros listados.** Procedimentos automáticos para geração desses arquivos adicionais aos formatos neutros, assim como o controle das alterações técnicas, e o acesso à informação, devem ser gerenciados pelos sistemas PDM pertencentes ao ambiente de desenvolvimento do produto e processo.

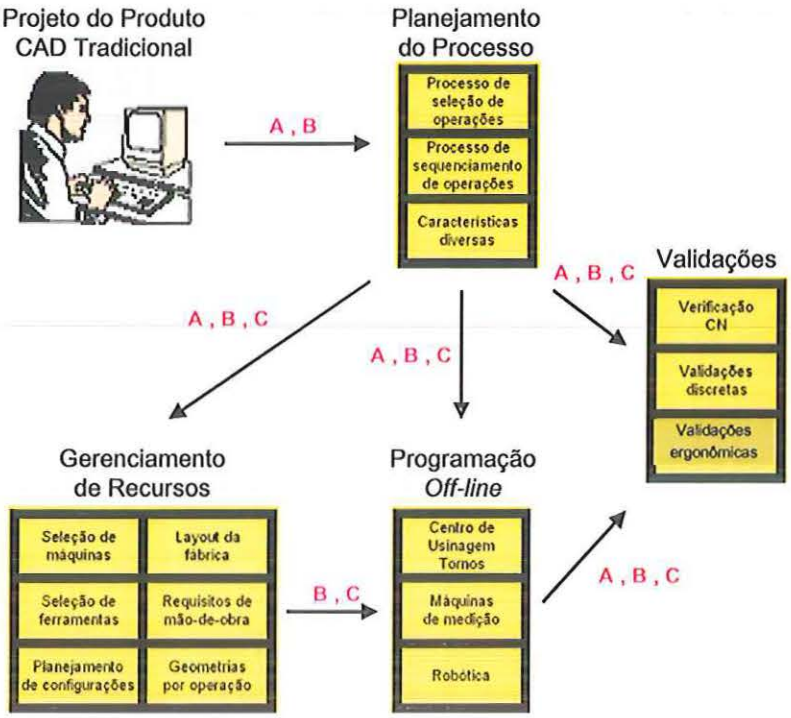


FIGURA 6.1 – Modelo de Estudo - Fluxo de Dados no ambiente da MV – **A** (tolerâncias e especificações do projeto), **B** (geometria), **C** (informações de manufatura).

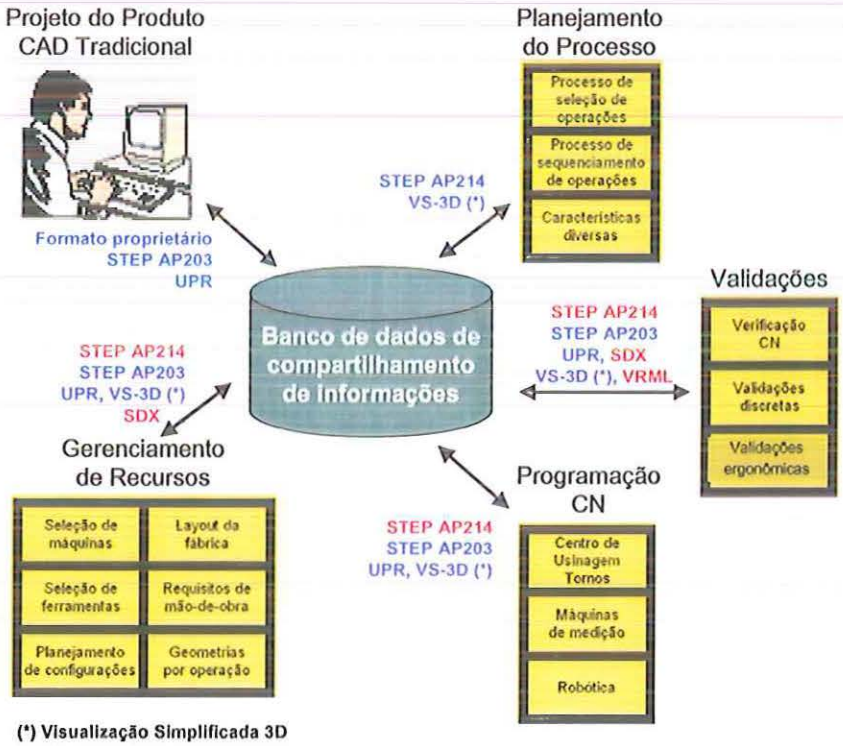


FIGURA 6.2 – Relação de formatos neutros como uma solução para a interface entre o projeto do produto e as tarefas da MV.

Com base nas informações descritas no capítulo 5, os formatos IGES, VDA e DXF não são considerados como alternativas de padrões para o ambiente da MV.

Os protocolos de aplicação STEP AP203 e AP214 possuem arquitetura de dados voltada à solução da interoperabilidade para uma diversidade de sistemas que compõem a MV, e são tratados como a base de referência para a comparação com os demais formatos. Conforme relatado no item 5.1.1, os processos suportados pelo AP214 - definição do produto, projeto, prototipagem, planejamento do processo, projeto de ferramentas e dispositivos, produção de ferramentas e dispositivos, controle da qualidade – estão estreitamente alinhados com os requisitos de interoperabilidade requeridos pelos principais grupos de tarefas da Manufatura Virtual.

O UPR apresenta grande potencial para a troca de dados entre sistemas CAD tradicionais, e apesar da pouca informação disponível na literatura até o momento para seu uso no ambiente da MV, é considerado neste estudo como uma alternativa no uso de formato proprietário. O STEP e a Proficiency (fornecedora do UPR) estão resolvendo dois níveis diferentes da representação de dados do projeto e do problema de troca de dados. O formato UPR é uma solução para troca de representações de projeto baseada em características (*features*). O UPR contém dados de projeto paramétricos e algoritmos que formam o modelo, e isto pode ser escrito para um outro programa CAD com a precisão requerida, principalmente, para aplicações de Programação *Off-line*.

Os formatos neutros de visualização 3D (Limites Triangulares) são incluídos nessa comparação. As vantagens dos formatos simplificados de visualização 3D surgem do fato de poderem ser usados como um formato para armazenamento de informações internamente aos sistemas da MV, em adição ao uso para transferência do modelo. Além disso, alguns formatos têm a flexibilidade para definir e armazenar entidades em diversas maneiras, incluindo o armazenamento de informações de processo.

Os próximos itens apresentam em mais detalhes as vantagens e desvantagens das soluções propostas na figura 6.2, para cada grupo de tarefas da MV.

6.2. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Planejamento dos Processos de Fabricação e Montagem"

Formatos neutros selecionados: **STEP AP214**; **visualização simplificada 3D - Limites Triangulares**

Neste item o foco está na explanação das vantagens e desvantagens da proposta de formatos neutros para a troca de dados apresentada para o estágio de Planejamento do Processo, dentro do ciclo de desenvolvimento do produto e processo. Este estágio envolve diversas tarefas, conforme apresentado por HALEVI & WEILL (1995) na figura 4.2 - interpretação da peça e especificações, seleção do processo primário, seleção de dispositivos de fixação, seleção e agrupamento de operações, seleção de máquina e seqüência de operações, seleção de ferramentas, e edição da folha de processo detalhado – as quais requerem requisitos de dados específicos. Esses dados estão resumidos na tabela 6.1, desenvolvida com informações de pesquisas de MARSAN et al. (1998).

Com relação aos limites geométricos, as tarefas de Planejamento do Processo normalmente não requerem o uso de modelos sólidos CAD de alto-nível. Para o ambiente MV proposto, busca-se o uso de modelos gráficos simplificados 3D, para que possam ser usados para visualização da geometria do produto de modo fácil e rápido. É desejável que estes modelos gráficos simplificados 3D sejam criados em um formato que permita visualização em um *software* integrado, e que sejam capazes de mostrar informações de parâmetros do modelo fonte nesse ambiente de visualização. Como já relatado nesse estudo, várias empresas estão fornecendo esta capacidade pelo uso de núcleos de modelagem comuns. Quando não há essa facilidade, pode se fazer uso de formatos neutros de visualização de imagem, mostrados na tabela 6.1, criados e gerenciados em adição ao modelo CAD fonte.

TABELA 6.1. Requisitos de entrada de dados para o Planejamento do Processo, suas representações e formatos.

Dados de entrada		Representa-ções	Formatos	Tarefas
B (Geometria)	Limites geométricos	Limites triangulares	STL, STH, CFL, RPI, STEP AP214	Entendimento do componente; Seleção do processo primário; Seleção e agrupamento de operações; Seleção de dispositivos de fixação; Seleção de seqüência de operações;
		B-rep	STEP AP214	
		CSG	RPI, STEP AP214	
A (tolerâncias e especificações do projeto)	Material	Atributos estruturais	STEP AP214	Seleção de máquina; Seleção de ferramentas; Seleção de dispositivos de fixação; Determinação de tempos e custos; Seleção do método da qualidade; Determinação das tolerâncias de produção.
	Acabamento Superficial	Atributos	STEP AP214	
	Tolerâncias	Atributos estruturais	STEP AP214	

Os formatos de visualização simplificada 3D foram desenvolvidos inicialmente para servir como um formato de troca de dados para o processo de esteriolitografia (a primeira tecnologia comercial de manufatura por camadas). Apesar disso eles têm servido muito bem a indústria, uma vez que o princípio da representação triangular tem sido razoavelmente compatível com as representações usadas pela maioria dos sistemas CAD (MARSAN et al., 1998). Se a atividade no domínio do Planejamento do Processo se mantiver na "verificação do projeto", e obtém-se sucesso na geração de arquivos sem erros, a representação por limites triangulares pode continuar a servir adequadamente. Esses formatos são adotados pela fácil criação de maquetes (*mock-ups*) para verificação do projeto. Neste contexto, a aproximação dos limites 3D de um objeto mostra ser adequado para as atividades de Planejamento do Processo de Montagem.

Dados descrevendo os contornos de um objeto são comumente transferidos para os sistemas de Planejamento do Processo na forma de arquivo de visualização 3D. Das alternativas propostas, os formatos STEP e RPI podem transmitir a geometria exata e informações do processo. O STEP tem uma vantagem adicional que é a capacidade de manipular os dados de material e tolerância. Além disso, alguns protocolos de aplicação são padrões internacionais e têm sido extensivamente testados na troca prática de dados.

Contudo, a questão da substituição da representação por limites triangulares deve ser revista no contexto da Manufatura Virtual. Alguns dos principais aspectos que precisam ser considerados são:

- o prospecto que técnicas de sistemas de suporte à MV estarão se tornando apropriados para uso em produção. Isto trará um benefício extra na transferência da geometria exata do produto de um sistema CAD, em conjunto com informações de tolerâncias, acabamento superficial e materiais;

- o prospecto que algumas fases do Planejamento do Processo requerem o uso de sistema CAD.

A comparação entre os vários formatos 3D propostos para a MV e o resumo das tarefas do Planejamento do Processo e seus dados de entrada requeridos, mostrados na tabela 6.1, mostram o potencial do uso de um protocolo de aplicação STEP específico para esse propósito. Recursos STEP já existem no AP214 para a manipulação da maioria dos diferentes tipos de dados identificados para o Planejamento do Processo, incluindo parâmetros de processo, requisitos de tolerância e acabamento superficial, entre outros.

Os dados 3D podem ser transferidos usando a representação por limites facetados, ou melhor, como um sólido *B-rep* avançado contendo informação da topologia e superfícies. O STEP AP214 também permite a representação de sólidos CSG, mesmo que poucas aplicações de Planejamento do Processo aceitem este tipo de entrada de formato de dados.

O item 6.5 aborda em mais detalhes o uso dos padrões neutros propostos por este estudo no desenvolvimento dos Planos de Processos de Fabricação, relacionados à programação *off-line* (usinagem, robótica, máquina de medição por coordenadas).

6.3. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Gerenciamento de Recursos de chão-de-fábrica"

Formatos neutros selecionados: **STEP AP214**; **STEP AP203**; **UPR**; **visualização simplificada 3D – Limites Triangulares**; **SDX**.

A análise de uso dos formatos neutros propostos na figura 6.2, relativa ao grupo de tarefas de Gerenciamento de Recursos de chão-de-fábrica, é descrita a seguir para os sistemas de suporte a: (1) gerenciamento e projeto de máquinas, dispositivos de fixação e suporte, ferramentas e calibradores; (2) *layout* / espaço no chão-de-fábrica, células de fabricação e montagem. As questões relativas aos requisitos de mão-de-obra (especialização e carga de trabalho), e a capabilidade de células de fabricação e montagem são abordadas no item 6.6 – Validações (Simulação e Realidade Virtual).

6.3.1. Gerenciamento, seleção e projeto de máquinas, ferramentas e dispositivos

Considerando que se possa incorporar a maioria da funcionalidade de gerenciamento e seleção de ferramentas, calibradores e dispositivos em um único sistema, ou sistemas com o mesmo núcleo de modelagem, o gerenciamento de componentes é estabelecido em uma estrutura de grupos por classe. Desta maneira, tem-se uma definição principal dos componentes com o mínimo, mas suficiente, conjunto de atributos. Devido a não existência de qualquer padrão, e a dificuldade em se conseguir sinergia entre todos os fornecedores de componentes, esforços devem se concentrar nos principais fornecedores, o quanto for possível, para facilitar a disponibilidade de dados.

Neste contexto, a disponibilidade de múltiplos arquivos gráficos para conjuntos e componentes, incluindo os formatos neutros propostos por este estudo, devem estar disponíveis para o sistema de Gerenciamento de Máquinas, Dispositivos e Ferramentas. Aqui, deve se ter um cuidado especial em definir as características do modelo sólido 3D que preenchem as necessidades atuais e futuras, que, em conjunto com os atributos, devem ser suficientes para suportar as necessidades de simulação de usinagem.

As principais tarefas desenvolvidas no Gerenciamento de Recursos de chão-de-fábrica, listadas no capítulo 4, envolvem o fluxo de dados de entrada dos tipos **A** (tolerâncias e especificações do projeto), **B** (geometria) e **C** (informações de manufatura). A comparação entre os vários formatos 3D propostos para a MV, o resumo das tarefas, e dados de entrada requeridos, é mostrada na tabela 6.2, desenvolvida também com informações de pesquisas de MARSAN et al. (1998) e PROFICIENCY (2002).

Assim como mostrado no item 6.2 – Planejamento do Processo -, são semelhantes as vantagens no uso de formatos de visualização 3D e do padrão STEP para a troca de dados entre os sistemas de Gerenciamento de Máquinas, Dispositivos e Ferramentas, do grupo de tarefas Gerenciamento de Recursos de chão-de-fábrica. O padrão STEP AP214 destaca-se por atender a todos os dados requeridos.

TABELA 6.2. Requisitos de dados para o Gerenciamento de Recursos no chão-de-fábrica, suas representações e formatos.

Dados de entrada		Representações	Formatos	Tarefas
B (Geometria)	Limites geométricos	Limites triangulares	STL, STH, CFL, RPI, STEP AP214 STEP AP203 UPR Viewer	Entendimento do produto; Entendimento da operação; Seleção de ferramentas similares e existentes; Seleção de dispositivos de fixação; Projeto de ferramentas e dispositivos.
		B-rep	STEP AP214 STEP AP203 UPR	
		CSG	RPI, STEP AP214 UPR	
A (tolerâncias e especificações do projeto)	Material	Atributos estruturais	STEP AP214 STEP AP203 UPR	Seleção de máquina; Seleção de ferramentas; Seleção de dispositivos de fixação; Determinação de tempos e custos; Determinação das tolerâncias de produção.
	Acabamento superficial	Atributos	STEP AP214 STEP AP203 UPR	
	Tolerâncias	Atributos estruturais	STEP AP214 STEP AP203 UPR	
C (informações de manufatura)	Tolerâncias de Manufatura e outros dados do Planejamento do Processo	Atributos	STEP AP214	Determinação de tempos e custos; Seleção do método da qualidade; Solicitação de Serviços de projetos e ferramentas; Escrever ordens de serviço; Definir localizações de ferramentas no chão-de-fábrica; Comunicação com o sistema de controle de chão de fábrica(MES)

Com relação às atividades de projeto de máquinas, dispositivos e ferramentas, os projetistas fazem uso de *software* CAD tradicional, o que requer a troca de dados usando formatos neutros que representem dados com alta precisão, onde é proposto o uso dos padrões STEP AP203, STEP AP214 ou UPR.

6.3.2. Definição do *layout* de fábrica

Os *layouts* de fábrica de sistemas de produção existentes ou propostos freqüentemente formam a base de estudo de simulação dinâmica para provar o conceito do projeto e para determinar se a capacidade requerida pode ser alcançada. Tradicionalmente, isto requer ao especialista de simulação a duplicação do desenho CAD para o ambiente de simulação antes de ser capaz de modelá-lo. Com sofisticados sistemas de manufatura, tais como redes de esteiras, sistemas de manuseio de material, plantas automotivas, este trabalho pode se tornar muito difícil, consumir muito tempo e não ser à prova de erros.

Este estudo propõe o uso do formato SDX para prover uma integração automática das tecnologias de projeto de *layout* de fábrica e simulação para o ambiente da Manufatura Virtual. Essa recomendação é baseada em informações coletadas dos autores SLY & MOORTHY (2001). As vantagens estão no fato do SDX poder ser usado como informação de entrada para gerar e executar um modelo de simulação de um *layout* representado em um desenho. Como o arquivo contém informações da fonte do desenho, unidades do modelo de simulação, controles de execução, parâmetros de operação do ambiente, isto torna mais fácil para uma ferramenta de conversão ler esse arquivo SDX e construir um modelo. Além disso, a informação SDX pode ser salva em um formato XML, um padrão aceitável e extensivo de informações escritas.

6.4. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Programação *Off-line*"

Formatos neutros selecionados: **STEP AP214**; **STEP AP203**; **UPR**; **visualização simplificada 3D – Limites Triangulares**.

Pesquisas desenvolvidas por GRECO (2002a), GRECO (2002b), SCHÜTZER & HENRIQUES (2002) são usadas como referência na seleção dos formatos neutros para o grupo de tarefas de Programação *Off-line*.

Para o desenvolvimento de Programas de Controle Numérico, a recuperação de informações tais como plano do processo, projeto do componente, projeto do dispositivo, projeto da peça bruta, dados de ferramental, relatadas no capítulo 4, estão relacionadas com todas as informações do Modelo de Estudo: ***A*** (tolerâncias e especificações do projeto), ***B*** (geometria) e ***C*** (informações de manufatura).

As atividades na área de programação *off-line* para máquinas de usinagem e tornos (CAM) - adição de métodos de usinagem e informações de seqüência, seleção de caminhos de corte, e verificação dos programas -, requerem o uso de modelos sólidos CAD de alto-nível. Para sistemas de diferentes núcleos de modelagem, é razoável restringir a cobertura de formatos de transferência de arquivo CAD para o STEP e UPR porque: (1) os protocolos STEP AP203 e AP214 têm a estrutura de dados com capabilidade satisfatória, para a maioria dos casos apresentados no capítulo 5, para atender às representações da geometria e topografia de um objeto; (2) o formato proprietário UPR tem apresentado bons resultados quanto aos requisitos de reconhecimento de "*features*", comunicação bi-direcional e associatividade.

Nesse contexto, o formato proprietário UPR apresenta vantagens superiores ao padrão STEP, uma vez que possui características funcionais ainda não disponíveis no padrão STEP. Entre elas está o reconhecimento de "*features*" (a habilidade para reconhecer características tais como furos e chanfros, e recriá-los no sistema que está importando o arquivo) e a associatividade entre a geometria do modelo e os caminhos das ferramentas.

Ambos os padrões permitem selecionar individualmente entidades de superfície complexas, e assim assegurar que novas geometrias possam ser criadas a partir de faces existentes.

Quanto à programação *off-line* de máquinas de controle numérico MMC e células robotizadas, propõe-se o uso de formatos de: (1) visualização simplificada 3D (Limites Triangulares), para modelos cuja precisão possa ser atendida por esses formatos e que tenham a capacidade de armazenar informações de dimensão e tolerância geométrica; (2) STEP AP203, STEP AP214 ou UPR, para casos que

exijam alta precisão geométrica do modelo. A programação e a simulação usadas para criar e otimizar máquinas de medição por coordenadas (MMC) e células robotizadas buscam a identificação dos pontos de medição com a precisão desejada, aliada à eliminação de erros de programação e colisões da ponta de prova.

O uso de arquivos de visualização simplificada 3D pode ser aplicado principalmente para modelos CAD do equipamento, pontas de prova, peças e dispositivos, permitindo melhor desempenho computacional do *software* aplicativo para manipulação dos gráficos 3D em tempo real.

6.5. Alternativas de uso de padrões neutros para o grupo de tarefas "Validações (Simulação e Realidade Virtual)"

Formatos neutros selecionados: **SDX**; **VRML**; **visualização simplificada 3D – Limites Triangulares**; **STEP AP214**; **STEP AP203**; **UPR**.

6.5.1. Simulação de Processos e Sistemas de Manufatura

Os *softwares* de simulação de Sistemas de Manufatura requerem troca de dados para a análise de processos de fabricação e montagem, fluxo de material, eventos discretos, provendo animações em escala real 3D enquanto o modelo está sendo executado. Normalmente não requerem o uso de modelos sólidos CAD de alto-nível. Neste caso, o uso de modelos gráficos simplificados 3D (Limites Triangulares) ou VRML são as alternativas propostas para a troca de dados geométricos.

Baseado em estudos realizados por MECKLENBURG (2001), o VRML é selecionado como um formato preferencial para a troca de dados geométricos para os sistemas de simulação de Sistemas de Manufatura. O arquivo VRML pode conter objetos estáticos, tais como esteiras e máquinas, assim como elementos móveis, incluindo representações 3D de componentes do produto, carregadores e transportadores, mostrando ser a base comum para muitas aplicações de eventos discretos.

Como a maioria da transferência de dados para o ambiente da MV ocorre entre sistemas de eventos discretos e *layout* de fábrica, o estudo de seleção de formatos neutros é focado nesta área. Assim, a troca de informações de processo, em adição às informações de geometria, também é investigada. A maioria dos dados de processo podem ser expressos alfa-numericamente, e o formato SDX é um representante desta categoria.

Em simulação de Sistemas de Manufatura, o SDX é um padrão que está surgindo como uma solução para a troca de dados entre *softwares* de simulação de eventos discretos e *softwares* de visualização. O arquivo SDX tem um conjunto completo de dados organizados de ambos, modelo CAD, assim como, um banco de dados que contém roteiros de material e outros dados de manufatura relacionados, tornando-o uma solução potencial para atender aos requisitos de interoperabilidade solicitados para a MV.

Outra vantagem na utilização de dados SDX convertidos está na tentativa de se utilizar *softwares* de visualização 3D como um sistema centralizado para visualização de modelos de simulação, integrado ao banco de dados, permitindo que mais pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento do processo tenham acesso à informação. Isso se deve ao fato de não ser necessário adquirir licenças adicionais do *software* de simulação para cada usuário que deseje visualizar o resultado da simulação. Isto permite melhor compartilhamento das informações no ambiente colaborativo da Manufatura Virtual. O SDX é projetado para suportar dois procedimentos. Primeiro, para fornecer um conjunto de dados para o especialista em simulação iniciar o trabalho, e em segundo, para habilitar outros especialistas (não em simulação) na execução de modelos de simulação simples.

A troca de dados de movimento entre sistemas de Simulação de Manufatura também faz sentido neste ambiente (por exemplo, dados de movimento de um robô com um sistema de eventos discretos), podendo-se considerar o VRML 2.0 como um formato neutro conhecido nesta categoria de dados gráficos de movimento. Contudo, segundo MECKLENBURG (2001), é importante enfatizar que as capabilidades de importação da maioria das aplicações disponíveis no mercado não estão maduras o suficiente para suportar essa alternativa no curto prazo.

Quanto aos sistemas de Processos de Manufatura, aplicados às atividades de simulação de programação de máquinas de controle numérico, programação de robôs, programação e otimização de aplicações em pintura, MMC, e células robotizadas, normalmente eles estão integrados aos sistemas de programação *off-line* do grupo de tarefas de Programação *Off-line*, e o uso dos padrões STEP ou UPR é indicado para a troca de dados quando se exige alto-nível de precisão. A precisão é requerida para interativamente acompanhar o processo de remoção de material de um caminho de ferramenta CN ou condições de corte inadequadas, por exemplo.

Ao mesmo tempo, muitas análises de simulação podem ser executadas com o uso de formatos neutros simplificados 3D, em praticamente todas as atividades citadas acima, para o nível de acuracidade requerido. Como exemplo, esses arquivos podem ser usados para análise de movimento total da ferramenta ou ponta-de-prova na máquina, detecção automática de colisões de ferramentas e partes do robô, interferência entre pecas, entre outras.

6.5.2. Realidade Virtual

Os *softwares* usados para criar protótipos virtuais interativos, tais como o VisConcept (EDS) e o DIVISION (PTC), utilizam dados de projeto 3D, imagens 2D, e textos para definir ambientes, seqüência de cenários, e configurações de dispositivo de imagens. Essas informações são requeridas para o desenvolvimento do *layout* de uma apresentação foto-realista para visualização em grandes telas (tais como um ambiente CAVE).

Para assistir ao desdobramento de ambientes virtuais nos sistemas listados acima, relacionados aos grupos de tarefas colaborativas do desenvolvimento do processo de manufatura, o uso de padrões de visualização simplificada 3D (Limites Triangulares) e do VRML são as alternativas apresentadas.

O padrão VRML (que será renomeado para X3D) tem maior potencial de desenvolvimento e aplicação futura nesta área. Um número de formatos Web3D tais como X3D com o código VRML está em desenvolvimento. Há significativos

casos de sucesso no desenvolvimento de um número de conversores que produzem o formato VRML vindos de tecnologias proprietárias, e o trabalho com o padrão X3D mantém-se como o núcleo dos esforços de desenvolvimento, endereçando necessidade de áreas de aplicações particulares, entre elas a medição humana e a correspondente aplicação da segurança do projeto.

7. ESFORÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES PARA A MELHORIA DA INTEROPERABILIDADE

Enquanto os esforços existentes de padrões focam a `habilitação da interoperabilidade entre ferramentas que endereçam uma dada atividade do desenvolvimento do produto (tal como a geometria CAD), a demanda mais significante na próxima geração de *softwares* será por representações que permitam o uso ou geração de informação em várias atividades desse processo, para fornecer o compartilhamento bi-direcional entre aplicativos pela troca eletrônica direta (SZYKMAN et al., 2001).

A tendência no mercado de *software* é criar ambientes de integração heterogênea, muitas vezes baseados em padrões específicos vindos de acordos entre diferentes fornecedores. Com o amadurecimento da tecnologia de orientação a objetos (OO), cada fornecedor de *software* tende a oferecer objetos com funcionalidades específicas, bem definidas e restritas. A integração entre os aplicativos de engenharia passaria então a ser baseada na padronização das interfaces entre esses objetos (ROZENFELD et al., 2000).

Com relação aos esforços no compartilhamento de núcleos de modelagem proprietários, as empresas *Spatial* e *UGS*, fornecedoras dos núcleos de modelagem ACIS e Parasolid, respectivamente, tem concordado em trabalhar juntas para melhorar a interoperabilidade de dados 3D. Elas concordaram em compartilhar licenças de suas tecnologias de modelagem, e além disso, a *Spatial* irá fornecer para a *UGS Parasolid* os tradutores de dados para os formatos padrões e proprietários tais como IGES, STEP e CATIA (NASA, 2001b).

Nos Estados Unidos, um número de organizações, incluindo o Grupo de Aplicações Abertas (OAG) e o Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG) abordaram o Instituto Nacional de Normas e Tecnologia (NIST) sobre um "ambiente

de teste de prova" para a interoperabilidade. A idéia para esta facilidade do ambiente de teste de prova veio de um evento realizado em 2002, chamado "Desafio do Vendedor". Este evento atraiu mais de 20 desenvolvedores de *software* e várias empresas de manufatura. Cada empresa forneceu um cenário da integração da cadeia de fornecedores, para que os desenvolvedores de *software* a usassem na demonstração da interoperabilidade de suas ferramentas, baseadas nas especificações de interoperabilidade da OAG. Ao contrário do Desafio do Vendedor, que foi um evento único, espera-se que este ambiente de teste de prova possa ser perpetuado. Assim, terá uma potencialidade de teste e experimento contínuos, e estará aberto para o uso para uma grande coleção de potenciais colaboradores (JONES, 2002).

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), nos Estados Unidos, suporta diversos programas relacionados à melhoria da interoperabilidade entre os sistemas envolvidos no ambiente da MV.

O programa "Controle Inteligente de Arquitetura Aberta", por exemplo, desenvolve e valida padrões chave de interface para máquinas no chão-de-fábrica com os sistemas de projeto e planejamento do processo. A abordagem é alcançar a interoperabilidade pela facilitação e participação nos esforços da indústria na padronização do controle da arquitetura aberta. A interoperabilidade requer três etapas: 1) acordo dos desenvolvedores de *software* para uma arquitetura comum que defina os componentes do sistema e seus relacionamentos, 2) desenvolvimento e implementação de especificações de interfaces válidas, e 3) estabelecimento de testes de desempenho para determinar se os produtos executam fielmente as especificações. Esse programa desenvolve Oficinas de Trabalho, em colaboração com agências governamentais e também da indústria, para identificar os principais problemas de interoperabilidade. Estabelece ambientes de teste de prova com equipamentos de manufatura reais para implementar e testar as especificações de interface. Nos casos onde os testes de conformidade são necessários para assegurar a interoperabilidade, trabalha com membros da indústria para desenvolvê-los (PROCTOR, 2002).

Os próximos itens abordam em mais detalhes os esforços no desenvolvimento de formatos neutros, com ênfase no padrão STEP.

7.1. Esforços no desenvolvimento do padrão STEP

Atualmente, as implementações do STEP estão habilitando a troca de dados pela conversão de um formato CAD nativo, como por exemplo o CATIA ou o Pro/ENGINEER, para um formato de arquivo neutro baseado em um protocolo de aplicação. Esforços estão sendo aplicados para que as implementações STEP suportem o armazenamento de dados no formato de arquivo neutro STEP. Com o armazenamento de dados no formato STEP, todas as aplicações compatíveis com esse padrão poderão ser capazes de usar os dados sem conversão (IVT, 2001a).

Já se pode encontrar no mercado *software* de gerenciamento de dados baseado no padrão STEP, desenhado para assistir as companhias no gerenciamento e documentação do processo de desenvolvimento de novos produtos, desde o projeto inicial até a sua manufatura. O repositório incorpora padrões de programação emergentes e conjuntos de ferramentas para o desenvolvimento e criação de aplicações e serviços na Web. Um desses produtos, o ST-*Repository*, da empresa STEP *Tools Inc*, também inclui novos formatos para pesquisar e atualizar o banco de dados STEP. O *software* ST-*Repository* comunica com uma vasta variedade de sistemas CAD, CAM, CAE, CAPP e PDM. A principal tecnologia desse *software* consiste de dispositivos de mapeamento que habilitam que as informações sejam enviadas como objetos de negócios XML (IVT, 2001a).

Há vários desafios técnicos principais fazendo face aos desenvolvedores do STEP. A troca de dados é diferente da troca de informação. Dados precisam ser transmitidos com precisão e sem alterações. Em contraste, informação, apesar de ser composta de dados, precisa ser entendida e interpretada pelo receptor. Além disso, o receptor precisa ser capaz de aplicar a informação corretamente em novas situações. O desafio é que o STEP seja uma padrão para informação, e não somente para dados.

A necessidade para o STEP ser extensivo para novos produtos, processos e tecnologias, requer uma representação abstrata maior das informações apresentadas em padrões anteriores. Independente do seu equipamento ou processo, um usuário precisa ser capaz de obter a informação necessária para fazer algo com a representação STEP de um produto. Dessa maneira, o segundo

desafio é que o desenvolvimento do STEP precisa incluir o desenvolvimento de uma arquitetura para a troca de informação, e não somente uma maneira ou formato para armazenar informação.

A variedade de atributos e parâmetros, tais como formato geométrico, função mecânica, materiais, informações de montagem, entre outros, é imensa. Também, o número de desenvolvedores de *software* envolvidos é grande; maior ainda é o numero de disciplinas técnicas que estão envolvidas. Além disso, o STEP precisa ser flexível e extensivo de maneira que novas informações e protocolos de aplicações adicionais possam ser adicionados. Dessa maneira, o terceiro desafio é que o escopo e complexidade do STEP vai além de qualquer esforço de padrão anterior.

Tradicionalmente, a padronização é um processo que leva em consideração uma variedade de opções de fornecedores, construído na melhor solução disponível, e evita penalizar alguns desenvolvedores mais que outros. No caso do STEP, não há implementação existente. Assim, o quarto desafio: a tecnologia para suportar o STEP precisa ser desenvolvida ao mesmo tempo que o padrão está evoluindo.

Há muitas comunidades que estão contribuindo para o desenvolvimento do STEP. Entre elas, incluem-se reconhecidas organizações regulamentadoras, centros de pesquisa e consórcios de indústrias, algumas são listadas a seguir.

7.2.1. Sistemas de Automação e Integração Industrial – sub-comitê da ISO TC184/SC4

Este grupo, dentro da ISO, desenvolve padrões internacionais para a troca de modelos e especificações do produto. A ISO 10303 – Representação e Troca de Dados do Produto – é uma série de 14 documentos que atingiu o consenso de padrão internacional em Setembro/1996, e há mais de 30 projetos para protocolos de aplicação em andamento para estender suas capabilidades.

O NIST mantém um banco de dados *on-line* dos padrões, artigos, questões e resoluções, informações de gerenciamento de projeto, e *software* propostos e aprovados pelo SC4, para uso de especialistas que estão contribuindo para ou revendo esses padrões. Essas informações estão disponíveis nos endereços http://www.nist.gov/sc4 e http://www.tc184-sc4.org/.

7.2.2. Fórum dos implementadores ISO TC184/SC4 *(Implementors Forum)*

Esta atividade provê um fórum de discussão valioso para os implementadores e desenvolvedores de padrões para resolução de questões identificadas durante a implementação do STEP. Também integra os resultados de discussões dos consórcios da indústria e determina se as práticas ou melhorias da indústria para os padrões são necessárias.

7.2.3. Organização IGES/PDES (IPO)

O PDES – Troca de Dados do Produto usando STEP – é um projeto dentro do Instituto de Padrões Nacionais Americanos (ANSI) que representa os interesses técnicos das indústrias nos Estados Unidos para os padrões SC4. O projeto PDES tem sido um colaborador chave para o padrão STEP (ISO 10303). Esta organização desenvolve e mantém o padrão IGES. Uma descrição das atividades e reuniões futuras podem ser encontradas no endereço http://www.scra.org/uspro.

7.2.4. PDES, Inc.

O consórcio "*Product Data Exchange using STEP* (Troca de Dados do Produto usando STEP)" foca a construção dos protocolos de aplicações (a parte implementável do padrão STEP), promovendo sua implementação pelas companhias filiadas. Muito dos recursos técnicos são concentrados no suporte a diversos projetos piloto STEP, em conjunto com essas companhias. A concentração está nos domínios mecânico e eletro-eletrônico, desenvolvendo um modelo de dados neutro para troca de informações de projeto, e provendo suporte ao STEP às organizações filiadas.

7.2.5. Associação ProSTEP

Esta associação busca o desenvolvimento de protocolos de aplicação para a Indústria Automotiva Européia, efetivando sua implementação pelos desenvolvedores comerciais no mercado CAD/CAM. A Associação ProSTEP tem a liderança na ISO 10303 - protocolo 214: Dados principais para o processo de projeto automotivo.

No Brasil, tendo em vista o suporte e melhora na eficiência da troca de dados CAD, está sendo implantado um centro de suporte em uma cooperação entre o Laboratório de Sistemas Computacional para Projetos e Manufatura – SCPM da Universidade Metotodista de Piracicaba e a empresa ProSTEP AG, líder européia na troca de dados entre sistemas CAD/CAM e uma das coordenadoras do desenvolvimento do protocolo STEP AP 214 (SCHÜTZER & HENRIQUES, 2002).

Há vários outros centros de pesquisa do STEP no mundo. O endereço http://www.scra.org/uspro/servers.html (USPro), provê informações relacionadas a atividades para muitos desses centros de pesquisa.

7.2.6. Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG)

Esta associação norte-americana, sem fins lucrativos, de companhias envolvidas na indústria automotiva, trabalha num esforço ambíguo para implementar o STEP em um programa piloto denominado AutoSTEP. A meta é implementar o STEP em ambientes de produção através da cadeia de fornecimento automotivo, para seus membros afiliados.

7.2.7. Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST)

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), uma agência da Administração da Tecnologia, do Departamento de Comércio dos Estados Unidos da América, atua como um laboratório de pesquisa científica. Subordinado ao NIST está o Laboratório de Engenharia da Manufatura (MEL), que trabalha para satisfazer as medições e os padrões requeridos para os fabricantes dos Estados Unidos em metrologia mecânica e dimensional, e tecnologia de manufatura

avançada, conduzindo pesquisa e desenvolvimento, provendo serviços, e participando em atividades de padronização.

Duas áreas de pesquisa estão relacionadas com esforços no desenvolvimento de padrões para troca de dados no ambiente da Manufatura Virtual:

- Interoperabilidade / Integração: abrange questões relativas a controle de arquitetura aberta, padrões de dados do produto, testes de conformidade, e padrão STEP.
- Simulação, Visualização e Modelagem: inclui arquiteturas e interfaces, padrões para simulação distribuídas, modelos e protótipos neutros.

Um dos programas do MEL, denominado SIMA (Integração de Sistemas para Aplicações de Manufatura), foca a definição, teste, e promoção de padrões para soluções de interoperabilidade. Outro programa, o IMS (Sistemas de Manufatura Inteligentes), foi estabelecido para auxiliar o desenvolvimento da próxima geração de tecnologias de manufatura.

Ao mesmo tempo, a Divisão de Integração de Sistemas de Manufatura (MSID) contribui para a pesquisa e o desenvolvimento de padrões e tecnologias voltados à implementação da Manufatura Virtual. O MSID usa a tecnologia da informação para implementar sistemas de manufatura integradas auxiliadas por computador, incluindo a manufatura virtual distribuída, manufatura flexível integrada por computador, engenharia simultânea, informações do produto e processo e modelagem de sistemas de banco de dados, conforme descrito no endereço http://www.mel.nist.gov/msid/.

Segue abaixo uma breve descrição dos esforços de desenvolvimento de protocolos de aplicação STEP na comunicação bi-direcional entre aplicações que compõem a MV (NIST, 2000a):

- *Entre sistemas CAD e sistemas de Planejamento de Montagem.* Esta tarefa envolve o desenvolvimento de padrões de troca para o intercâmbio de dados entre sistemas CAD tradicionais, sistemas CAD imergidos, e

Planejamento do Processo de Montagem. Os dados representativos incluem a criação da trajetória, da informação da orientação do componente (dados do processo), de volumes varridos, e dados da seqüência de montagem do conjunto que possam ser agrupados com a representação da parte.

- *Entre o CAD e sistemas de Processo de Planejamento / Manufatura.* Considerável pesquisa tem sido desenvolvida no mapeamento de dados tradicionais CAD para sistemas de Planejamento do Processo. Entretanto, este trabalho tem obtido sucesso limitado. Um problema com os padrões atuais é a falta da integração entre a saída de dados CAD e a entrada do Planejamento do Processo. Por exemplo, o foco principal do STEP AP 203 é a interoperabilidade entre sistemas CAD tradicionais, enquanto o foco do STEP AP 224 (definição de produtos mecânicos para planos de processos usando usinagem por características) está na entrada para sistemas de planejamento do processo. Para se conseguir projeto e engenharia colaborativos, a troca de representações de informações, tanto de projeto como de processo, deve suportar níveis múltiplos de abstração. Por exemplo, durante a fase conceitual do projeto (essencialmente uma atividade baseada no conhecimento), é importante compreender os intercâmbios e as implicações de decisões alto nível do projeto.

- *Entre sistemas CAD tradicionais.* As várias extensões que poderiam ser usadas com o AP203 incluem a troca de características (*features*), de restrições, da parametrização, e informação do histórico do projeto.

- *Entre CAD tradicional e sistemas CAD imergidos.* Os sistemas CAD imergidos (por exemplo, prototipagem rápida) geram determinadas restrições de processo, tais como restrições de acoplamento da trajetória e de montagem. A relação entre o CAD imergido e sistemas CAD tradicionais requer extensões para padrões STEP apropriados, tais como a parte 42 (representação geométrica e topológica), parte 44 (configuração da estrutura do produto), e AP203. Os protocolos acima endereçam a interoperabilidade "intra-projeto". Pesquisa sobre as relações entre o projeto e a manufatura também inclui o Formato sólido de intercâmbio para a Manufatura em Camadas. Esta tarefa envolve o uso de recursos genéricos

do STEP para o desenvolvimento de um padrão para a troca de dados CAD com os sistemas de prototipagem rápida, desenvolvidos para a produção de estruturas físicas em camadas (por exemplo, Impressão 3D)

7.2. Esforços no desenvolvimento de formatos neutros – Demais padrões abordados neste trabalho

Com relação ao portal de colaboração **UPR** *Proficiency*, ele satisfaz uma necessidade na cadeia de desenvolvimento do produto e processo - a troca de dados inteligentes do projeto. Co-modelar em tempo real é uma possibilidade futura, desde que o UPR possa transmitir o modelo baseado em *features* e cada mudança a esse modelo entre dois diferentes sistemas CAD durante a sessão de co-projeto. O UPR poderá também ser usado como formato neutro para as peças projetadas e os subsistemas em um catálogo "padrão" da companhia para reutilização da peça através dos programas CAD e para o gerenciamento de inventário (TYRKA, 2002). Segundo ELLIOTT (2002), a empresa *Proficiency* deseja fazer muito mais que somente transferir dados e substituir conversores CAD. Ela deseja que o UPR se torne o XML da inteligência CAD.

Sobre o **SDX**, a empresa EAI *Technologies*, subsidiária da EDS, tem chamado o NIST para se unir às atividades de desenvolvimento desse padrão. Conforme comentado no capítulo 5, o SDX tem sido tratado como um padrão independente, recentemente gerenciado e coordenado pelo NIST (SLY & MOORTHY, 2001). Segundo McLEAN & LEONG (2002), um novo consórcio para endereçar as atividades de pesquisa e padrões para o SDX irá trabalhar no desenvolvimento de interfaces neutras para a simulação no ambiente da manufatura. Um dos primeiros itens de ação para o novo consórcio é identificar e priorizar potenciais áreas de padronização na simulação.

O programa SIMA (Integração de Sistemas para Aplicações de Manufatura), do Laboratório de Engenharia da Manufatura (MEL/NIST), está desenvolvendo o trabalho "Visualização e Realidade Virtual para Colaboração e Manufatura", com o objetivo de definir, demonstrar e assistir o desdobramento de ambientes virtuais e padrões relacionados à Realidade Virtual para melhorar a interoperabilidade de

tarefas colaborativas tais como projeto da manufatura. Uma variedade de padrões habilitadores, entre eles o **VRML** (que está sendo renomeado para X3D) precisam ser disponibilizados para facilitar o uso de 3D para aplicações de engenharia. Em adição, esse trabalho está relacionado com os esforços de pesquisa com a comunidade de medida humana para assegurar interoperabilidade entre padrões de desenvolvimento para a nomenclatura humana (RESSLER, 2002).

O padrão VRML está envolvido para as próximas gerações de software RV e estará sendo chamado X3D. A evolução do padrão X3D, resultando numa publicação formal ISO, é o objetivo estratégico do SIMA. Sua liderança e contribuição técnica traz um valor significante para habilitar a interoperabilidade de dados para o grupo de tarefas de Validações da MV.

CONCLUSÕES

O principal objetivo de qualquer empresa de manufatura consiste em entregar produtos de valor agregado a seus clientes. Soma-se a isso, o lançamento no mercado no tempo certo, o custo efetivo, a qualidade, a confiabilidade, e outras características que contribuem para um produto competitivo e, em conseqüência, lucrativo. Há um reconhecimento cada vez maior que a Manufatura Virtual, a interoperabilidade na troca de dados e informações, e os padrões de interface são críticos para a competitividade internacional dessas empresas.

A padronização de dados do produto e processo implica mais que simplesmente a padronização de formatos de arquivos de dados. Para a Manufatura Virtual, modelos de informação para dados do processo são necessários, conforme descrito nos capítulos 3 e 4. O capítulo 6 mostrou que a estratégia de integração de dados baseada em banco de dados, o caminho para automação do desenvolvimento simultâneo do produto e processo, proposto pela MV, se dá por meio de modelos de dados do produto e processo padronizados.

As alternativas no uso de padrões de formatos neutros de arquivos, apresentados nos capítulos 5 e 6, provêem uma visão geral na implementação da MV no domínio das empresas. O modelo proposto representa uma completa integração entre informações de tolerâncias e especificações do projeto, e informações de manufatura, com a geometria correspondente.

O uso do padrão STEP, dos formatos de visualização simplificada 3D, do VRML, da interface SDX e do UPR (um exemplo de um padrão proprietário) como base desse ambiente, também permite padronização e adoção mais rápidas, visto que a funcionalidade principal dos mesmos tem alcançado consenso entre organizações mundiais e desenvolvedores de sistemas, podendo ser

implementados como integradores de dados e informações na maioria dos *softwares* da MV.

Foi mostrado que o protocolo de aplicação STEP AP214 pode ser considerado a base para o re-uso de dados de desenvolvimento, planejamento e processo, e a fundação para estratégias como a Manufatura Virtual, uma vez que habilita seu uso em diversas áreas de aplicação da MV, com ênfase no Planejamento do Processo, Programação *Off-line* e Gerenciamento de Recursos. O padrão STEP pode ser escolhido como uma solução preferida por diversas razões. Primeiramente, ele permite melhor flexibilidade na escolha de uma representação apropriada para os dados que precisam ser transferidos para os sistemas das áreas de aplicação da MV citadas acima. Os dados podem ser definidos dentro do contexto do mesmo padrão, o que simplifica o procedimento de padronização. Como uma segunda razão, o STEP já possui os recursos necessários para representar o material, tolerância e dados do processo. Em terceiro, como apresentado nos capítulos 5 e 6, o padrão STEP satisfaz razoavelmente bem as características chave procuradas em um formato de arquivo neutro. Finalmente, muitos dos Protocolos de Aplicação (AP) são componentes de um padrão internacional, e grandes esforços para seu desenvolvimento por comitês e organizações governamentais e não-governamentais estão em pleno andamento, o que está aumentando seu uso pela indústria. Tais considerações provêem forte suporte para essa recomendação.

O padrão SDX está integrando as atividades de projeto de fábrica e manuseio de material para o ambiente de análise e simulação, e, como um padrão independente, recentemente gerenciado e coordenado pelo NIST, tem o suporte necessário para revolucionar a maneira na qual as empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias desenvolvem seus projetos.

No ambiente da Realidade Virtual, as implementações da linguagem de modelagem de realidade virtual (VRML) têm sido usadas, tornando-se um padrão ISO. A VRML é, a médio prazo, uma alternativa para a habilitar a interoperabilidade usando a estratégia de integração de dados através de bancos de dados.

Em resumo, a continuidade no desenvolvimento e aperfeiçoamento de padrões de formatos neutros para interface e troca de dados, assim como padrões de dados do produto e suas tecnologias de suporte, são a chave para que a implementação da Manufatura Virtual tenha sucesso nas empresas dos setores automotivo e máquinas rodoviárias. O conceito crítico é que padrões para dados do produto e troca de dados são importantes porque habilitam uma forma automatizada de MV que pode ser implementada em um ambiente computadorizado. Esta MV automatizada, ou "auxiliada por computador", provê um mecanismo para integração entre múltiplas empresas. Como resultado, as práticas automatizadas de MV entre empresas de manufatura, seus clientes e seus fornecedores, incluindo fornecedores de tecnologia assim como de materiais e componentes, poderão criar um novo tipo de MV nesse ambiente de múltiplas empresas.

8.1. Considerações Adicionais

Em tempo, os diversos exemplos de aplicação da Manufatura Virtual mostram que ela vem sendo empregada principalmente por grandes empresas internacionais, pois requer um grande esforço para superar os desafios de integração, mudanças culturais bem como um alto investimento. Apesar do crescente interesse por esse novo ambiente, por parte das empresas mundiais, no Brasil a Manufatura Virtual ainda é pouco conhecida. O que se tem, na maioria dos casos, é a utilização de algumas tecnologias e ferramentas individualmente e específicas para certas aplicações, e dificilmente verifica-se o uso do ambiente integrado e completo proposto (SOUZA et al., 2002). Mesmo sabendo dos desafios existentes para a implantação da Manufatura Virtual, espera-se um futuro promissor, pois a contínua demanda por produtos de alta qualidade, com custos reduzidos e menores tempos de lançamento no mercado levam as empresas a mudarem suas estratégias, processos e práticas de desenvolvimento de produto.

No futuro os consumidores projetarão produtos específicos e transferirão eletronicamente suas necessidades a localizações remotas; as companhias rapidamente formarão alianças, empregando a Manufatura Virtual; pequenas e médias companhias farão propagandas de suas capacidades de manufatura na

Internet e oferecerão serviços por projetos; fabricantes e fornecedores usarão sistemas de compras inteligentes para facilitar a compra de peças, faturamento e pagamento.

8.2. Sugestões para trabalhos futuros

A **integração por banco de dados**, usando padrões de formatos neutros, é o conceito mais promissor para habilitar a Manufatura Virtual a médio prazo, conforme exposto neste estudo. Diversas organizações governamentais e não-governamentais estão colocando esforços no desenvolvimento de recém lançados padrões de formatos neutros de arquivos, entre eles o formato STEP AP214 e as interfaces SDX e X3D, gerando oportunidades para futuros trabalhos específicos para cada um desses padrões, principalmente para as suas aplicações no grupo de tarefas de Validação – Simulação e Realidade Virtual.

Outra sugestão para trabalhos futuros está relacionada à estratégia de **integração orientada a objeto**, abordada por ROZENFELD et al. (2000) e MECKLENBURG (2002), na qual cada objeto carrega consigo todas as informações e métodos, e desta maneira diz a cada aplicação como interpretar o seu comportamento. Essa solução requer um alto grau de padronização entre as muitas aplicações da MV.

ANEXO A - NÚCLEOS DE MODELAGEM DE *SOFTWARES* APLICATIVOS E ARQUITETURA ORIENTADA A OBJETO

Em complemento às informações sobre formatos neutros de dados, são abordadas a seguir as características dos principais núcleos de modelagem proprietários, assim como de poderosas ferramentas de programação orientadas a objeto possíveis de serem utilizadas para facilitar a troca de informações no ambiente da MV.

A.1. ACIS

O modelador de geometria 3D ACIS, da empresa Spatial (*Dassault Systèmes*), foi o primeiro componente de modelamento C++ orientado a objeto disponível no mercado. Desde sua introdução, há 15 anos, o ACIS tem sido incorporado em estratégias de desenvolvimento de alguns dos mais reconhecidos desenvolvedores e fornecedores de *software*, provendo-os com o básico da funcionalidade de modelamento 3D necessário para aplicações de *softwares* inovadores e de alto desempenho (SPATIAL, 2002). O ACIS serve como uma fundação para uma variedade de produtos 3D, incluindo aqueles usados por CAD/CAM/CAE e animação.

A arquitetura orientada a objeto do ACIS integra as capabilidades de modelagem "*wireframe*", superfície e sólido. Algumas das principais características relacionadas ao gerenciamento do modelo são a conexão de dados definidos pelo usuário a qualquer nível de um modelo, o acompanhamento de mudanças na geometria e topologia, e o cálculo de massa e volume.

A proposta do ACIS é atacar o problema de troca de dados de modelos, permitindo a interoperabilidade entre sistemas CAD/CAM/CAE, e

conseqüentemente habilitando a implementação do ambiente de Manufatura Virtual. A arquitetura aberta do ACIS e o formato padrão ACIS SAT são conhecidos como o "ônibus geométrico", a chave para a interoperabilidade de modelos 3D entre as aplicações baseadas em ACIS, incluindo o AutoCAD e Mechanical Desktop (*Autodesk*), Bravo (*Applicon*), CADKEY (*Baystate Technologies*), GSCAD (*Intergraph Co.*). Um exemplo no compartilhamento e acesso a dados de modelo CAD através do processo de desenvolvimento do produto e processo, é o desenvolvimento de *softwares* visualizadores de dados do produto, conversores de dados, e maquete digital (SPATIAL, 2002).

A.2. Parasolid

O Parasolid, da empresa EDS / Unigraphics Solutions, é um modelador geométrico, baseado em *B-reps* (*boundary representation* / representação por limites), suportando o modelamento sólido. É utilizado pelos produtos da família de *softwares* da empresa *Unigraphics*, incluindo os aplicativos da Manufatura Virtual, e licenciado para outras empresas que desenvolvem *software* CAD/CAM/CAE. A funcionalidade extensiva do Parasolid é fornecida como uma biblioteca de mais de 700 funções orientadas a objeto (EDS, 2001).

A figura A.1 apresenta o canal de dados interoperável Parasolid, permitindo aos sistemas baseados nessa tecnologia compartilhar e trocar dados geométricos sem conversão. Esse núcleo de modelagem é licenciado para as empresas Parametric Technology, SolidWorks (uma subsidiária da *Dassault Systèmes*), Bentley Systems, CADKEY, ANSYS, Mechanical Dynamics e MSC.Software.

FIGURA A.1 – Canal de integração de dados Parasolid (EDS, 2002).

A.3. XML

A **XML** (*eXtensible Markup Language* / Linguagem de Marcação Extensiva) é uma linguagem para páginas *Web*, semelhante ao HTML. A Internet, com o seu protocolo TCP/IP, associado à linguagem XML, podem servir como uma solução para o problema da interoperabilidade. Além disso, a XML é uma ferramenta poderosa que facilita a troca de informações. Mas mesmo a XML requer um acordo para uma "base" de informações para operar efetivamente. Essa base refere-se ao acordo em conjuntos de definições bem definidas e aceitas de modo comum (NACFAM, 2001).

A Organização para o Avanço de Padrões de Informação Estruturada (OASIS) e o Consórcio W3C promovem e encorajam o uso de padrões de informação estruturada, como o XML, para o desenvolvimento de aplicações verticais na indústria, testes de conformidade e especificações de interoperabilidade (OASIS, 2002).

Os padrões XML e VRML estão em pleno desenvolvimento. A troca de dados entre esses formatos é problemático e relativamente inflexível. Há casos de sucesso no desenvolvimento de um número de conversores os quais produziram VRML de tecnologias e formatos proprietários (RESSLER, 2002). No ambiente da Manufatura Virtual, uma das principais áreas de aplicação endereçada por esses padrões é a interface com aplicações de Simulação e da Realidade Virtual.

A.4. CORBA

A especificação CORBA (*Common Object Request Broker Architecture* – Arquitetura intermediadora de requisição de objeto comum) é uma descrição de interfaces e serviços que permitem facilitar a computação distribuída orientada a objeto (OO).

Basicamente, o CORBA provê uma definição padrão de como os objetos devem interagir. O CORBA está emergindo como um padrão comercial para os intermediadores de requisições de objetos (ORB's), para os quais fornece a infra-estrutura para os objetos se comunicarem em aplicações distribuídas orientadas a objeto (OO). Também provê uma definição para como os sistemas aplicativos mais antigos possam ser modificados e novos sistemas possam ser desenvolvidos, para permitir que todas essas aplicações orientadas a objeto operem interligadas, independentemente dos sistemas que são executados e das linguagens de programação usadas para implementá-los (NATIBO, 1996).

A.5. OAGIS

A OAGIS (*Open Applications Group's Integration Specification* / Especificação de Integração do Grupo de Aplicações Abertas) habilita que os requisitos das indústrias sejam fornecidos em uma única especificação. Com o uso

dos chamados OAGIS *Overlays*, isto pode ser realizado sem que grupos da indústria necessitem deixar de usar sua própria. As OAGIS *Overlays* permitem o uso de "documentos de objeto de negócio" OAGIS como mensagens horizontalmente definidas, que são comuns na maioria das indústrias, e incluem Ordens de Compra, Guias de Importação, Programação de Entregas, para nomear alguns, que podem então ser estendidas por um grupo vertical da indústria para fornecer campos adicionais, compostos, componentes e restrições adicionais (ROWELL, 2002).

Enquanto for verdadeiro que alguns aspectos de uma indústria vertical são únicos, nessa indústria existirão componentes e documentos de negócio comuns que são realmente os mesmos ou similares. O que é necessário é uma linguagem horizontal comum que possa ser usada como uma base para estes componentes comuns e documentos de negócio comuns, que permita que estas indústrias verticais interliguem seus índices, restrições e terminologias adicionais, a fim passar a informação do negócio-a-negócio (B2B).

É muito raro que uma empresa faça negócios somente em uma indústria vertical. Por exemplo, a empresa Ford compra pneus da Michelin, mas compra também a gasolina da Exxon, que é uma companhia de petróleo, e compra também suprimentos de escritório de uma companhia de varejo. A Ford deve poder usar uma ordem de compra para comunicar-se com todas as três companhias, onde os conteúdos serão diferentes, mas a estrutura XML deve ser a mesma.

A OAGIS foi projetada com a habilidade de interligar os conteúdos, restrições e terminologia da indústria vertical, com o uso de um OAGIS *Overlay*. Pelo uso dos OAGIS *Overlays*, é possível que a OAGIS seja uma linguagem de negócios canônica, como mostrado na figura A.2.

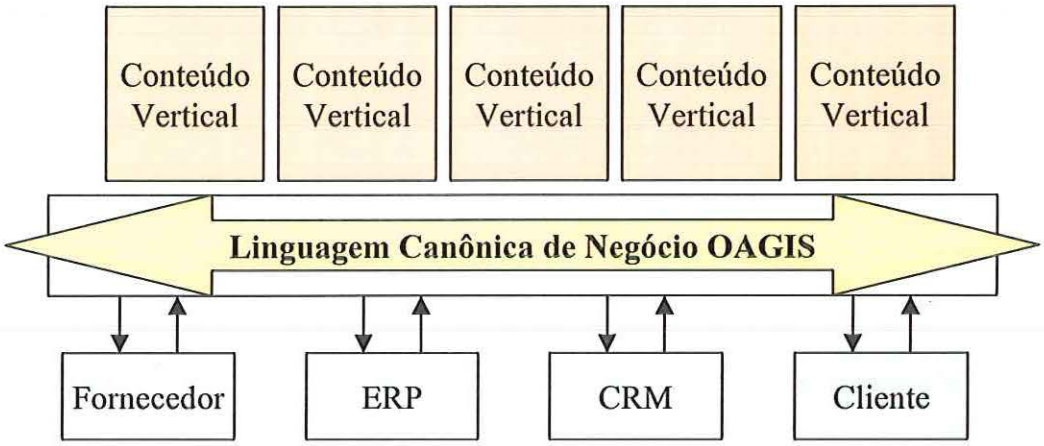


FIGURA A.2 - OAGIS - linguagem canônica de negócio que suporta a habilidade para que as indústrias verticais sejam interligadas.

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEPT Technology Inc. (2002). ***Silma Products***. Endereço: http://www.adept.com/silma/products/pd-cimstationinsp.html (07-01-2002)

AUTOSIMULATIONS Inc. (2002). Overview of the AutoMod Suíte. ***AutoMod Software Suite***. Endereço: http://www.autosim.com/simulation/automod.asp (07-01-2002).

BANERJEE, P.; ZETU, D. (2001). ***Virtual Manufacturing***. New York, John Wiley & Sons. 320p.

BANKS, J. (1998). ***Handbook of Simulation:*** Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. New York, John Wiley & Sons. Cap.25, p.813-833: Software for Simulation.

BISHOP, G. et al. (1992). Research directions in VR environments. ***Computer Graphics Magazine***, n.26, v.3, p.153-177, Aug.

BRYAN, M. (1998). ***Overview of CAD/CAM Data Exchange***. Endereço: http://www.chyanbre.demon.co.uk/articles/pdex-02.htm (10-02-2002)

CARVER, G.P.; BLOOM, H.M. (1991). Concurrent Engineering Through Product Data Standards. ***Technical Report NISTIR 4573***, National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD.

DE-ONLINE (2002). EDS Shows New Version of Virtual Prototyping Software. ***Desktop Engineering Magazine***, v.7, n.7, Mar. Endereço: http://www.deskeng.com/ (17-11-2002).

DELMIA Company (2002). ***Robotics Products***. Dassault Systèmes. Endereço: http://www.delmia.com/ (28-10-2002)

EDS (2001). ***Parasolid – Powering the Digital Enterprise***. Endereço: http://www.ugs.com/platform/interoperate.shtml (21-10-2001).

ELDER, M. (1999). ***SDX is great!***. Simul8 Co. Endereço: http://www.simul8.com/support/newsletter/SIMUL8Ink_SDXIsGreat.htm(17-12-2002)

ELLIOTT, L. (2002). The Missing Link: Interoperability, Part 1. ***Desktop Engineering Magazine***, v.7, n.11, p.8, July

GOLDSTEIN, B.L.M.; KEMMERER, S.J.; PARKS, C.H. (1998). A Brief History of Early Product Data Exchange Standards. ***Technical Report NISTIR 6221***, National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD. Endereço: www.nist.gov/msidlibrary/doc/proddata.pdf (11-07-2002)

GRECO, J. (2002a). MCAD Up Close: Interoperability, Part 1. ***Desktop Engineering Magazine***, v.7, n.7, Mar. Endereço: http://www.deskeng.com/articles/02/mar/cover/ (11-11-2002).

GRECO, J. (2002b). MCAD Up Close: Interoperability, Part 2. ***Desktop Engineering Magazine***, v.7, n.12, Aug. Endereço: http://www.deskeng.com/articles/02/aug/cover/ (11-11-2002).

HALEVI, G.; WEILL, R.D. (1995). ***Principles of Process Planning:*** A logical approach. London, Chapman & Hall. 349p.

HENRIQUES, R.V.B. (2002). ***Robótica Industrial:*** Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos. Ed. Edgard Blücher Ltda. Cap.6, p.109-125: Programação e Simulação de Robôs.

HMS Software Inc. (2000). HMS-CAPP Second Generation. ***Manufacturing Management Information Systems***. Endereço: http://www.hmssoftware.com (10-06-2000).

IVT (2001a). Software news: Fresh steps. ***IVT International – Industrial Vehicle Technology Magazine***, UK & International Press, n.3/01, p.8, June.

JONES, A. (2002). ***Manufacturing Enterprise Integration***. National Institute of Standards and Technology - NIST. Endereço: http://www.mel.nist.gov/proj/mee.htm (31-05-2002)

KIRNER, C. (1996). ***Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual***, Atividade do Projeto AVVIC-CNPq – UFSCar, São Carlos.

LIN, E. et al. (1995). Contribution to Virtual Manufacturing: Background Research. In: VIRTUAL MANUFACTURING TECHNICAL WORKSHOP, 25-26 October 1994, ***Compiled*** and Edited by Lawrence Associates Inc. Endereço: http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/report/report.html (20-10-00).

LIN, E. et al. (1997) ***Virtual Manufacturing***. Institute for Systems Research at the University of Maryland. Endereço: http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm.html (30-05-00).

LOESGEN, B. (2000). ***XML Interoperability***. In: WROX CONFERENCE, 2000, Las Vegas. Endereço: http://www.topxml.com/conference/wrox/2000_vegas/text/brianl_xml.pdf (22-11-2002)

MARSAN, A.; KUMAR, V.; DUTTA, D.; and PRATT, M. J. (1998). An Assessment of Data Requirements and Data Transfer Formats for Layered Manufacturing. ***Technical Report NISTIR 6216***, National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD.

MECKLENBURG, K. (2001). Seamless Integration of Layout and Simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001, ***Proceedings***. p.1487-1491, Ed. B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, Arlington, VA.

MITCHELL, M. (1996). Capabilities for Product Data Exchange, In: INTELLIGENT SYSTEMS: A SEMIOTIC PROPERSPECTIVE CONFERENCE, v.2: Applied Semiotics, ***Proceedings***. Jim Albus and Alex Mistel editors, 20-23 October 1996.

MOORTHY, S. (1999). Integrating the CAD Model with Dynamic Simulation: Simulation Data Exchange. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1999, ***Proceedings***. p.276-280, Ed. P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, Phoenix, AZ.

NATIONAL COALITION FOR ADVANCED MANUFACTURING (2001). ***Exploiting E-Manufacturing***: Interoperability of Software Systems Used by U.S. Manufacturers. NACFAM, Washington, DC.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – TECHNOLOGY TRANSFER DIVISION (2001a). Alternative Engineering: How virtual reality and simulation are changing design and analysis. ***NASA Tech Briefs Engineering Solutions for Design & Manufacturing Magazine***, v.25, n.6, p.16-24, June.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – TECHNOLOGY TRANSFER DIVISION (2001b). Simplifying Communication with CAD and Collaboration Tools. ***NASA Tech Briefs Engineering Solutions for Design & Manufacturing Magazine***, v.25, n.7, p.26-33, July.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (1999). ***Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain***. Planning Report #99-1. Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msid/sima/interop_costs.pdf (21-10-2001).

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (2000a) Product Engineering Program. ***Intelligent and Distributed Engineering Design***. Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msid/groups/dpg/ided.html (03-04-2002).

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (2001). ***IGES Project Actions***. Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.eeel.nist.gov/iges/ (03-04-2002).

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (2002). ***The STEP Project***. Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm (16-11-2002)

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (2003). ***STEP on a Page***. Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/sc5/soap (30-05-2003)

NORTH AMERICAN TECHNOLOGY AND INDUSTRIAL BASE ORGANIZATION (1996). ***Collaborative Virtual Prototyping Sector Study***: An Assessment of CVP Technology Integration, and Implementation. NATIBO. May.

NÚCLEO DE REALIDADE VIRTUAL (2003). ***Realidade Virtual***. Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Endereço: http://www.lsi.usp.br/~rv (10-02-2003).

ORGANISATION FOR THE ADVANCEMENT OF STRUCTURED INFORMATION STANDARDS (2002). ***OASIS Technical Work Overview***. OASIS. Endereço: http://www.oasis-open.org/committees/ (20-12-2002).

PORTO, A.J.V.; PALMA, J.G. (2000). ***Fábrica do Futuro***: Entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã. Ed. Banas. Cap.10, p.89-97: Manufatura Virtual.

PRATT, M.J. et al. (2002). Progress Towards an International Standard for Data Transfer in Rapid Prototyping and Layered Manufacturing, ***Computer Aided Design Magazine***, n.34, p.1111-1121, Elsevier Science Ltd.

PROCTOR, F.M. (2002). ***Intelligent Open Architecture Control***. National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/proj/ioacms.htm (31-05-2002).

PROFICIENCY (2002). ***Extending Proficiency's Lead in Automated CAD Interoperability.*** Proficiency. Endereço: http://www.proficiency.com (15-11-2002).

ProSTEP iViP Association (2001). ***7th Benchmark (CAD) 2001***. Endereço:

http://www.prostep.org/en/stepportal/dokumente/benchmark/7_benchmark_cad_2001.htm (15-11-2002).

ProSTEP (2002a). ***AP203 ...*** Endereço: http://www.prostep.org/en/stepportal/was/ap/ap203.sql (15-11-2002)

ProSTEP (2002b). ***AP 214 Core Data for Automotive Mechanical Design Processes***. Endereço: http://www.prostep.org/en/stepportal/was/application/ap/ap214.sql (15-11-2002)

RAPPOPORT, A. (2002). ***Answers to questions for Proficiency***. Proficiency, Ltd. Mensagem eletrônica: Ravelli_Carlos_A@CAT.com (28-12-2002).

RAWLINGS, M. et al. (1994). Using Virtual Reality For Machine Design. ***Electronic Visualization Laboratory***. University of Illinois at Chicago. Endereço: http://www.evl.uic.edu/research/res_project.php3?indi=102 (20-12-01).

RESSLER, S. (2002). ***Visualization and Virtual Reality for Collaboration and Manufacturing***. National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msid/sima/02_visvr.html (13-07-2002)

ROZENFELD, H. et al. (2000). ***Fábrica do Futuro***: Entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã. Ed. Banas. Cap.6, p-55-63: O Processo de Desenvolvimento de Produtos.

ROWELL, M. (2002). OAGIS – A "Canonical" Business Language. Open Application Group - OAGIS, Whitepaper. ***Document Number 20020429***.

RYAN, R.R. (2001). Digital testing in a virtual world – two. ***IVT International – Industrial Vehicle Technology Magazine***, UK & International Press, n.3/01, p.22-31, June.

SLY, D.; MOORTHY, S. (2001). Simulation Data Exchange (SDX) Implementation and Use. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001, ***Proceedings***. p.1473-1477, Ed. B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, M. W. Rohrer, Arlington, VA.

SOUZA, M.C.F.; RAVELLI, C.A.; PORTO, A.J.V.; BATOCCHIO, A. (2002). Manufatura Virtual: Conceituação e Desafios. ***Revista Gestão e Produção***, Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. v.9, n.3, p.297-312, dec.

SPATIAL Inc. (2002). ***ACIS 3D Geometric Modeler.*** Endereço: http://www.spatial.com/ (07-01-2002)

SCHÜTZER, K.; HENRIQUES, J.R. (2002). Intercâmbio de dados no desenvolvimento do produto. ***Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial***, SAE Brasil, ano 3, n.3, p.26-36.

SZYKMAN, S. et al. (2001). A foundation for interoperability in next-generation product development systems. ***Computer-Aided Design Magazine***, n.33, p.545-559, Elsevier Science Ltd.

TOLEDO, J.C. et al. (2001). Um Estudo de Caso sobre Co-Design na Indústria Automotiva Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3o., 2001. ***Anais***. Florianópolis, SC.

TRANSLATION (2002). ***CAD Interoperability***. TRANSLATION Technologies Inc. Endereço: http://www.translationtech.com/glossary.asp (15-02-2002)

TYRKA, K. (2002). Gateway to Interoperability. ***Global Design News***. Reed Elsevier Inc. France. Endereço: http://www.manufacturing.net/dn/index.asp?layout=articleCurrentWeb&articleid=CA196095 (06-07-2002).

Web3D CONSORTIUM (2002). ***The Virtual Reality Modeling Language***. Endereço: http://www.web3d.org/fs_technicalinfo.htm (20-12-2002).

WEBER, D. (1996). ***DXF Made Easy***. Endereço: http://www.wmw.ca/dxf/dxfgen.html (17-12-2002).

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL CONSULTADA

AMARAL, D.C.; ROZENFELD, H.; TOLEDO, J.C. (2002). Early Supplyer Involvement: A Review and Proposal for New Directions in Research. ***Produto: Gestão & Desenvolvimento*** – Revista brasileira de gestão e desenvolvimento de produto. Ano 2, n.2. mar. Endereço: http://www.ctc.ufsc.br/produto/Produto2/artigos2en/artigo1/artigo1.htm (11-01-2003)

ANFAVEA (1994). ***Troca de Dados CAD na Indústria Automotiva Brasileira***. Sub-comissão de EDI-CAD/CAM. São Paulo, ANFAVEA.

AUTODESK Inc. (2002). ***AutoCAD 2000 DXF Reference***. Endereço: http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/index.htm (22-11-2002)

BANKS, J. (2000). ***The Future of Simulation***. In: INFORMATION TECHNOLOGY FOR ENGINEERING & MANUFACTURING CONFERENCE, 2000. Gaithersburg, MD. National Institute of Standards and Technology - NIST. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msid/sima/item2000/2ms_jb.pdf (17-12-2002).

BECKERT, B.A. (2000). Working together over the Net: ASPs bridge the gap. ***Computer-Aided ENGINEERING Magazine***, v.19, n.6, p.30-34, June.

BERGSTROM, R.Y. (1996). Cycle Time Reduction: More Than Just Time. ***Automotive Production Magazine***, v.108, n.7, p.52-54, July.

CARVALHO, J. (2000). ***CAD – Projeto Auxiliado por Computador: Base de dados em CAD***. Apostila da disciplina SEM 5767 - Projeto Assistido por Computador I (CAD I). EESC / USP. jun.

CATERPILLAR (2001). Engenheiros usam tecnologia Caterpillar para detectar tensões e problemas nas juntas de novos projetos. ***Revista Caterpillar World***, n.3, p.8-9, abr.

CAx Implementor Forum (2002). ***Preliminary Who's Doing What R9J***. Endereço: http://www.cax-if.org/documents/r9j_whosdoingwhat.htm (15-11-2002).

CRAIN, L.M. (1996). ***Virtual Manufacturing***: The Next Revolution in Global Manufacturing. California, MARC Analysis Research Co.

DUTTA, D.; KUMAR, V.; PRATT, M. J.; SRIRAM, R. (1998). Towards STEP-based Data Transfer in Layered Manufacturing. In: IFIP WG5.2/5.3 PROLAMAT CONFERENCE, 10th, ***Proceedings***. Trento, Italy.

FLATER, D.; MORRIS, K.C. (1999). ***Testability of Product Data Management Interfaces***. National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, MD. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/doc/pdmtest3.pdf (20-08-2002).

FOLEY, J.D. et al. (1990). ***Computer Graphics***: principles and practice. 2ed. Massachusetts, Addison-Wesley. Cap.10, p.534-561: Solid Modeling.

HESSLER, J.R. (2001). Designing online. ***SAE Off-Highway Engineering Magazine***, v.9, n.2, p.26-29, Apr.

HETEM, V. (2001). Integrating Capacity Simulation into Process Planning. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001, ***Proceedings***. p.1470-1472, Ed. B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, Arlington, VA.

ISO 10303:1994 (1994). ***Product data representation and exchange***. Industrial automation systems and integration. Endereço: http://www.iso.ch/ (04-05-2002).

ISO/DIS 10303-203:1994. (1994). ***Part 203:*** Configuration Controlled 3D Designs of Mechanical Parts and Assemblies. Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange. Endereço: http://www.iso.ch/ (14-11-2001).

LEDERER, G. (1995). Making virtual manufacturing a reality. ***Industrial Robot Magazine***, v.22, n.4, p.16-17.

LEE, D.E.; HAHN H.T. (1997). Generic Modular Operations for Virtual Manufacturing Process Engineering. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES, Sacramento, 1997. ***Proceedings***. New York, ASME Press.

McLEAN, C.; LEONG, S. (2001). The Expanding Role of Simulation in Future Manufacturing. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001, ***Proceedings***. p.1478-1486, Ed. B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer, Arlington, VA.

McLEAN, C.; LEONG, S. (2002). A Framework for Standard Modular Simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2002, ***Proceedings***. p.1613-1620, Ed. E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, San Diego, CA.

MORRIS, K.C.; FLATER, D. (2000). Design of a Flexible, Integrated Testing System for STEP and OMG Standards. ***Computer Standards and Interfaces***, NIST, v.22, n.5, p.297-305, Feb.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (2000b) ***Technical Committee 184***: Industrial Automation Systems and Integration Subcommittee 4: Industrial Data. Endereço: http://www.nist.gov/sc4 (30-07-2002).

OBJECT MANAGEMENT GROUP (1999). ***"What Is CORBA?"*** (tutorial). Object Management Group – OMG. Endereço: http://www.omg.org/corba/whatiscorba.html (20-04-2002).

PARKS, C.M. et al. (1997). An Integrated Manufacturing Systems Design Environment. ***Computers ind. Engrg***, Great Britain. Elsevier Sciend Ltd, v.33, n.1-2, p.341-344.

POTTER, C., (2000). SimFactory 2000. ***Computer Graphics World Magazine***, v.23, n.22, p.27-30, Feb.

RAVELLI, C.A. et al. (1997). Pro/E habilitando a Engenharia Simultânea. In: CONFERÊNCIA WORLD CLASS MANUFACTURING, II,. São Paulo, 1998. ***Anais***. São Paulo, IBC.

ROZENFELD, H.; VEGA, H.A.; PORTO, A.V. (1995) Aplicação de ferramentas CAE/CAD/CAPP em processos de negócios definidos pela reengenharia. ***Revista Máquinas e Metais***, n.341, p.96-107, jun.

ROZENFELD, H.; SVERZUT, L.F.; RIBEIRO, C.E.; ALMEIDA, A.S.; MUSETTI, M. (1992). Experiência de uma empresa com a introdução de um sistema de planejamento do processo assistido por computador (CAPP). In: CONGRESSO INTERNACIONAL INOTEC/SOBRACON, 1992. ***Anais***. São Paulo.

SHOOTER, S.B. et al. (2001). A Model for the Flow of Design Information in the Open Assembly Design Environment (OpenADE). ***Technical Report NISTIR 6746***, National Institute of Standards and Technology - NIST, Gaithersburg, Maryland.

SHUKLA, C.; VASQUEZ, M.; CHEN, F.F. (1996). Virtual Manufacturing: an overview. ***Computers ind. Engrg***, Great Britain. Elsevier Sciend Ltd, v.31, n.1/2, p.79-82.

SRIRAM, R.D. et al. (2001). ***Standards for Collaborative Product Development.*** National Institute of Standards and Technology - NIST. Endereço: http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/doc/standardscollab.pdf (20-08-2002).

STEP TOOLS (2002). ***STEP Data Exchange Standard Moves Into Implementation Phase***. STEP Tools Inc. Endereço: http://www.steptools.com/library/standard/stepimpl.html (15-11-2002).

TERRY, L. (2001). Data Exchanges: A Collaborative Foundation. ***ID Systems Magazine***, v.21, n.7, p.12-14, July.

UNIGRAPHICS SOLUTIONS (2000). Parasolid Geometric Kernel is best choice for 3D Application Development. ***CenterLine Magazine***, v.13, p.18-22.

WATERMAN, P. (2002). Virtual Testing: Automakers drive to eliminate physical prototypes. ***Computer Graphics World Magazine***, v.25, n.3, p.26-28. Mar.

WAVERING, A.J. (2001). Metrology Testbed Overview and Objectives. In: METROLOGY INTEROPERABILITY CONSORTIUM MEETING, 2001. ***Presentations***. Chicago, IL. Endereço: http://www.metrologyautomation.com/ NIST.pdf (11-12-2002).

APÊNDICE I - GLOSSÁRIO DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - bidimensional

3D - tridimensional

A

ACIS – um conjunto de ferramentas para modeladores sólidos; ACIS é uma marca registrada da empresa *Spatial Technology*; armazena "*wireframes*", superfícies e sólidos em uma única estrutura de dados.

AGV – *Automated Guided Vehicle* / Veículo Dirigido Automatizado – refere à classe de veículos usados para transportar caçambas e componentes no chão-de-fábrica. Muitos deles usam fiação embutida no chão e magnetos para navegação e comunicação.

AIAG - *Automotive Industry Action Group* / Grupo de Ação na Indústria Automotiva – associação norte-americana, sem fins lucrativos, de companhias envolvidas na indústria automotiva.

ANS - *American National Standards* / Padrões Nacionais Americanos, gerenciado pelo **ANSI** - *American National Standards Institute* / Instituto Nacional Americano de Normas – uma federação voluntária de organizações de desenvolvimento de padrões que gerencia e coordena o desenvolvimento voluntário de padrões nacionais nos E.U.A. e estabelece os Padrões Nacionais Americanos. Provê a base para a participação dos E.U.A. nas atividades de padrões internacionais.

AP - Protocolo de Aplicação – um documento que especifica implementações de construções STEP e é uma "parte" da série 200 desse padrão. Uma definição STEP do contexto, escopo e requisitos de informações para um modelo de produto em um domínio particular de aplicação, por exemplo o **AP203** - protocolo de aplicação STEP "Parte 203: Configuração controlada de projetos 3D de conjuntos e peças

mecânicas" - padrão internacional - ISO-10303-203 - descreve como a estrutura, o formato geométrico e as versões de componentes e conjuntos mecânicos complexos devem ser representados, e o **AP214** – protocolo de aplicação STEP "Parte 214: Dados principais para os processos de desenvolvimento mecânico automotivo" - descreve a estrutura de dados que são relevantes para representar as informações técnicas relacionadas com o processo de desenvolvimento mecânico.

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange* / Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações - é o código que representa caracteres do alfabeto americano. A maioria dos computadores utiliza-o para representar texto, o que torna possível a transmissão de dados de um computador para o outro.

B

B2B - *Business-to-Business* / Negócio-a-Negócio – descreve transações *on-line* entre uma empresa, instituição ou agência governamental e outra.

BOM - *Bill Of Materials* / Lista de Materiais – é uma lista ordenada de peças, subconjuntos e conjuntos que define um produto. No padrão STEP, é conhecido como uma estrutura de produto transversal. Dentro de um sistema PDM, a BOM é normalmente criada e mantida por um subsistema dedicado de estrutura do produto.

booleanas, operações – operações algébricas entre números binários. No ambiente CAD, representa operações entre volumes primitivos.

B-rep – *Boundary Representation* / Representação por Limites da geometria de um modelo CAD.

C

C++ - uma linguagem orientada a objeto baseada em "C".

CAD - *Computer Aided Design* / Projeto Assistido por Computador – é um termo genérico aplicado para todos os aspectos de projeto usando ferramentas de *software* em computador. Usualmente cobre a criação da geometria, manipulação e a impressão de desenhos de produção.

CAE - *Computer Aided Engineering* / Engenharia Assistida por Computador – está relacionada às ferramentas de *software* aplicadas à análise (estruturais, por exemplo) no desenvolvimento de produtos.

CAM - *Computer Aided Manufacture* / Manufatura Assistida por Computador – é um termo genérico aplicado ao uso de geometrias de sistema CAD para automatizar a programação de ferramentas de máquinas de controle numérico (CN).

CAPP - *Computer Aided Process Planning* / Planejamento do Processo Assistido por Computador – relacionado a sistemas de suporte ao desenvolvimento de atividades de planejamento do processo de manufatura para a geração do Método Planejado.

CATIA – um sistema CAD mecânico, disponível comercialmente, fornecido pela empresa *Dassault Systèmes*.

CAx / CADx – refere-se genericamente a uma família de *software* que inclui CAD, CAM e CAE.

CAVE - *Cave Automated Virtual Environment* / Ambiente Virtual Automatizado de Caverna – é uma instalação de Realidade Virtual que consiste em diversas paredes transparentes nas quais imagens são projetadas. O usuário desta instalação pode ver o ambiente tridimensional com óculos especiais.

CFL – *Cubital Facet List* - formato neutro de visualização de imagens 3D – representação por limites poliédrica de facetas planares.

CGI - *Common Gateway Interface* – permite programas serem envocados em um servidor remoto Web.

CIM - *Computer Integrated Manufacturing* / Manufatura Integrada por Computador – envolve o uso de computadores para gerenciar um ambiente integrado de manufatura.

cinemática – refere-se ao estudo do movimento de estruturas (posições, rotações, velocidade e aceleração de componentes).

CN - Controle Numérico – usualmente referida a uma máquina tal como um centro de usinagem.

CORBA - *Common Object Request Broker Architecture* / Arquitetura intermediadora de requisição de objeto comum – é uma descrição de interfaces e serviços que precisam ser providos para facilitar a computação distribuída orientada a objeto (OO).

CRM - *Customer Relationship Management* / Gestão do Relacionamento com Clientes – conjunto de atividades executado por uma companhia relacionado ao desenvolvimento e retenção de clientes, através do estabelecimento e manutenção da satisfação desses clientes.

CSG - *Constructive Solid Geometry* / Geometria Sólida Construtiva – uma maneira de modelamento de objetos sólidos em software CAD, construídos através da união, intersecção, ou diferença de outros objetos sólidos.

D

DFM - *Design For Manufacture* / Projeto para a Manufatura – representa um novo alerta da importância do projeto como o primeiro passo na manufatura. Reconhece que uma empresa não pode atender objetivos de qualidade e custo com projeto e operações de manufatura isolados. É um tema chave e objetivo da Engenharia Simultânea.

DFA - *Design for Assembly* / Projeto para a Montagem – similar ao conceito DFM, está focado na necessidade em minimizar o custo de montagem dentro das limitações impostas por outro requisito de projeto. Auxilia o projetista em questões relacionadas à manufatura. Desenhos e estrutura de produtos gerados durante um projeto, usando DFA, deverá representar o método de manufatura, e assim, eliminar a necessidade para uma lista de materiais separada de manufatura ou produção.

DoD - *Department of Defense* / Departamento da Defesa dos E.U.A.

DOE - *Design of Experiments* / Projeto de Experimentos – método estatístico para análise da variabilidade de processos.

DXF – *Data eXchange Format* / Formato da Troca de Dados – formato neutro de dados desenvolvido pela empresa Autodesk Inc., a fornecedora do *software* AutoCAD.

E

Engenharia Simultânea – é uma metodologia gerencial e operacional que otimiza o projeto do produto e manufatura através de ambientes de desenvolvimento nos quais pessoas de todas as disciplinas (projeto, comercial, engenharia da manufatura, planejamento do processo e suporte) trabalham juntas em todas as fases do ciclo de vida do desenvolvimento do produto.

EDI - *Electronic Data Interchange* / Troca Eletrônica de Dados – padrão para a troca de dados de negócio. É um padrão ANSI.

ERP - *Enterprise Resource Planning* / Planejamento de Recursos da Empresa – é um termo usado na indústria para um conjunto de atividades suportadas por um *software* de aplicação multi-modular que auxilia um fabricante gerenciar os partes

mais importantes de seu negócio, incluindo planejamento de produto, compra de componentes, manutenção de inventários, interação com fornecedores, serviço aos clientes, e acompanhamento de pedidos de compras.

EXPRESS – linguagem de modelagem de informação usada para definir o padrão STEP. EXPRESS-G é uma versão gráfica do EXPRESS.

Extranet – uma implementação da Internet no ambiente de uma empresa e seus colaboradores, ou seja, a rede de computadores é limitada a uma empresa em particular e seus fornecedores e revendedores.

F

FEA - *Finite Element Analysis* / Análise por Elementos Finitos – um método de análise baseado em computador que calcula a resposta de um modelo pela resolução de um conjunto de equações simultâneas que representam o comportamento da estrutura sob esforços externos.

feature – característica geométrica (furo, corte, protrusão, entre outros) em um modelo sólido CAD.

H

HTML – Linguagem de Marcação Hipertexto – linguagem de programação usada no ambiente Internet.

hyperlink – conexões dinâmicas entre objetos e endereços na Web.

I

IGES - *Initial Graphics Exchange Specification* / Especificação Inicial de Troca Gráfica – usada para representar desenhos e geometrias 2D e 3D de objetos (um padrão ANSI).

Internet – uma rede mundial de computadores interconectados usando um conjunto padrão de protocolos, tais como TCP/IP e HTTP.

Intranet – uma implementação corporativa da Internet, ou seja, a rede de computadores é limitada a uma empresa ou corporação em particular.

interoperabilidade – relacionada ao teste de aceitação, mas especificamente aplicada à análise da troca de informações entre dois aplicativos específicos e a habilidade de cada um em usar essas informações.

IPO IGES/PDES – uma organização nos E.U.A., composta de voluntários da indústria, governo e academias, dedicada ao desenvolvimento e implementação de padrões mundiais para a representação digital e comunicação de dados do produto.
ISO - *International Organization for Standardization* / Organização Internacional para a Padronização – organismo internacional de padrões e normas técnicas.

J

Java – uma linguagem orientada a objeto desenvolvida pela empresa *Sun Microsystems*. Projetada como uma linguagem altamente portátil para o desenvolvimento de aplicações na Internet.

M

MBOM - *Manufacturing Bill of Material* Lista de material de manufatura – listas de peças, materiais e ferramentas requeridas na manufatura de um produto.
MES - *Manufacturing Execution System* / Sistema de execução da manufatura – os sistemas MES gerenciam, controlam, e documentam os processos de manufatura em tempo real, e são os instrumentos na otimização de processos de produção.
metadata - são dados a respeito de dados. Exemplos de metadados incluem as descrições de elementos de dados, descrições de tipos de dados, atributos / propriedades, faixas / domínios, métodos e processos.
Método Planejado - é um conjunto de procedimentos, rotinas e recursos para a manufatura de um produto; serve como a base de referência para a repetibilidade das operações de manufatura.
MMC - Máquina de Medição por Coordenadas
mock-up - maquete eletrônica envolvendo a montagem virtual de objetos. É também um termo empregado para o *software* usado para verificação de erros na construção de produtos durante as fases iniciais no desenvolvimento do processo. Envolve modelos CAD 3D.
MV - Manufatura Virtual - é um ambiente integrado e sintético da manufatura que faz uso de modelos computacionais e simulações de processos de manufatura para auxílio no desenvolvimento e produção de produtos.
MRP – *Materials Requirements Planning* / Planejamento de Requisitos de Materiais - é uma atividade relacionada à manufatura com respeito ao gerenciamento de materiais requeridos para produzir produtos. Isto inclui a coleção, inventário, e distribuição de componentes da maneira mais eficiente e menor custo possíveis.

MRP II – *Manufacturing Resources Planning* / Planejamento de Recursos de Manufatura - uma melhor definição de MRP, que inclui planejamento operacional em unidades, planejamento financeiro e simulação de capabilidade para responder a diferentes cenários de produção.

N

NACFAM – *National Coalition for Advanced Manufacturing* – é uma organização sem fins lucrativos que provê liderança no desenvolvimento de padrões e tecnologias entre as empresas de manufatura norte-americanas.

NASA - *National Aeronautics and Space Administration* – entidade governamental norte americana voltada principalmente ao desenvolvimento tecnológico aeroespacial.

NATIBO – *North American Technology and Industrial Base Organization* – é uma organização responsável pelos requisitos de segurança nacional e econômica dos Estados Unidos e Canadá.

NIST - *National Institute of Standards and Technology* / Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia – uma agência da Administração Tecnológica do Departamento de Comércio, do governo dos Estados Unidos da América, voltado a pesquisas científicas.

O

OAG - *Open Applications Group* / Grupo de Aplicações Abertas – consórcio sem fins lucrativos focado em melhores práticas e processos baseados no uso do padrão XML para integração de aplicações.

OAGIS - *Open Applications Group's Integration Specification* / Especificação de Integração do Grupo de Aplicações Abertas.

OASIS – *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* / Organização para o Avanço de Padrões de Informação Estruturada – é um consórcio global, sem fins lucrativos, que coordena o desenvolvimento, convergência e adoção de padrões na Internet, entre eles o XML.

objeto – o termo objeto é usado para querer dizer uma coleção de atributos que representam um artefato físico ou lógico. Por exemplo um objeto pode representar toda a informação requerida para um item ou um desenho; ele também poder ser os dados usados por um sistema PDM para armazenar um conjunto de dados.

OEM – *Original Equipment Manufacture* / Fabricante de Equipamento Original – trata-se da designação atribuída aos fabricantes originais de qualquer tipo de equipamento ou componente isolado.

***off-line*, programação** – processo pelo qual a programação é desenvolvida, parcial ou completamente, sem a necessidade do uso do equipamento físico.

***on-line*, programação** – processo que utiliza métodos de programação por ensino, para aplicar um programa no próprio equipamento físico.

OO - Orientado a Objeto – estratégia de desenvolvimento de *software* que organiza o *software* como uma coleção de objetos que contém tanto a estrutura dos dados como o comportamento.

ORB - *Object Request Broker* / Intermediador de Requisição de Objeto – é um mecanismo CORBA para a passagem de mensagens entre objetos distribuídos através de um conjunto de aplicações.

P

Parasolid – modelador geométrico, baseado em *B-reps,* suportando o modelamento sólido, desenvolvido pela empresa *EDS / Unigraphics Solutions.*

PDES - *Product Data Exchange using STEP* / Troca de Dados do Produto usando STEP. **PDES, Inc.** – consórcio de grandes corporações com a missão de acelerar o desenvolvimento e implementação do STEP.

PDM - *Product Data Management* / Gerenciamento de Dados do Produto – um sistema de banco de dados usado para gerenciar documentos, arquivo CAx e outros dados relevantes para um produto.

ponta-de-prova – no contexto de Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC), é o dispositivo utilizado para a obtenção das características dimensionais de um objeto. Uma MMC incorpora uma ponta de prova que pode ser deslizada ao longo de três eixos fisicamente definidos e mutuamente perpendiculares. Tocando a ponta de prova de encontro ao objeto a ser medido, a posição atual do contato da ponta de prova define um ponto no objeto que mostra suas três coordenadas.

processista – pessoa especializada no desenvolvimento de atividades relacionadas ao Planejamento de Processo.

Pro/ENGINEER – um sistema CAD mecânico, disponível comercialmente, fornecido pela empresa *Parametric Technologies Co.*

ProSTEP – centro de pesquisa para o desenvolvimento do padrão STEP na Alemanha.

PTC – Parametric Technology Co. – empresa fornecedora do *software* Pro/ENGINEER.

R

RPI – *Rensselaer Polytechnic Institute* - formato neutro de visualização de imagens 3D - representações por limites facetados e modelos CSG, definidos em termos de operações *booleanas* em volumes primitivos.

RV - Realidade Virtual – é uma tecnologia usada no desenvolvimento do produto e processo com a habilidade em criar e interagir no *espaço cibernético*, isto é, um espaço que representa um ambiente com muita similaridade ao ambiente em torno de nós.

S

SC4 – Sub-comitê 4 da ISO TC184 – estabelece padrões para dados industriais.

SCPM - Laboratório de Sistemas Computacional para Projetos e Manufatura, da Universidade Metotodista de Piracicaba.

SDX - *Simulation Data eXchange* / Troca de Dados de Simulação - permite o intercâmbio de dados entre pacotes de *software* relacionados à simulação.

STEP - *Standard for the Exchange of Product model data* / - padrão ISO para modelagem de produto: ISO 10303: "Sistemas de Automação Industrial e Integração – Representação e troca de dados do produto". A meta é a completa, sem ambigüidade, definição das características físicas e funcionais de um produto através da seu ciclo de vida.

STH – *Surface Triangles Hinted* - formato neutro de visualização de imagens 3D – representação por limites triangulares.

STL – *Surface Triangularization* / Triangularização de Superfície - formato neutro de visualização de imagens 3D – representação por limites triangulares, usado inicialmente em processos de prototipagem rápida de esteriolitografia *(Stereo Litography)*.

T

Teste de Aceitação – teste formal conduzido para determinar se um sistema de *software* satisfaz determinado critério de aceitação e para habilitar o cliente a determinar se aceita o sistema.

Teste de Conformidade – teste de um produto candidato para a existência de características especificas requeridas por um padrão ou norma.

TC184 – Comitê Técnico 184 da ISO – Sistemas de Automação Industrial e Integração.

TCP/IP – protocolo de comunicação usado na Internet.

U

UPR - *Universal Product Representation* / Representação Universal do Produto - formato neutro de sistema para a representação do projeto, desenvolvido pela empresa *Proficiency Inc.*

USPRO – *U.S. Product Data Association* / Associação de Dados do Produto Americano.

V

VDA-FS - *Verband der Automobilindustrie - Flachen Schnittstelle* / Padrão da indústria automobilística - interface para superfícies - norma alemã para troca de dados CAD 3D de superfícies.

VRML - *Virtual Reality Modeling Language* / Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual - formato padrão internacional de arquivo ISO/IEC14772 para descrever as multimídias 3D interativas na Internet.

volumes primitivos – entidades geométricas 3D básicas tais como cilindro, paralelepípedo, esfera, cone, entre outras.

W

W3C, Consórcio – *World Wide Web Consortium* – é um fórum para informações, comércio, comunicação e entendimento coletivo para o desenvolvimento de tecnologias de interoperabilidade no ambiente da Internet.

Web - "teia" em Inglês, é um termo usado para se referir à redes de computadores.

Web3D, Consórcio – é uma associação sem fins lucrativos que atua como um mecanismo único para ações dentro da comunidade Web3D, participando no desenvolvimento de especificações ISO para o formato VRML, entre outros.

wireframe - desenho CAD representado através de linhas (modelo de arame).

X

X3D – *Extensible 3D* – é o nome da próxima geração do padrão VRML.

XML - *Extensible Markup Language* / Linguagem de Marcação Extensiva - é uma linguagem para páginas Web, semelhante ao HTML.

APÊNDICE II – RELAÇÃO DE EMPRESAS E *SOFTWARES* QUE HABILITAM A IMPLEMENTAÇÃO DA MANUFATURA VIRTUAL

Tecnomatix Technologies, Ltd – http://www.tecnomatix.com

Possui um conjunto de ferramentas de software denominada *eMPower*, que suporta o ciclo de vida do processo de manufatura do planejamento do processo e engenharia detalhada até a produção em massa. Áreas de aplicação:

- **Planejamento do Processo** – *eM-Planner* (soluções usadas pelos departamentos de planejamento de indústrias de manufatura discreta para o planejamento de seus processos de manufatura).
- **Robótica** - *eM-WorkPlace* (soluções para o projeto e programação *off-line* de vários processos robotizados, tais como solda a arco, pintura, corte a laser, polimento, pegar & posicionar).
- ***Mock-Up* digital** - *eM-Assembler* (soluções para verificação da possibilidade de montagem de partes mecânicas no escopo de validação do projeto do produto e facilitando a sua manufatura e manutenção).
- **Ergonomia** - *eM-Human* (soluções para o projeto de locais de trabalho manual para assegurar que operadores possam trabalhar sobre condições ótimas de ergonomia).
- **Simulação de Logística e Fluxo** – *eM-Plant* (soluções para sistemas e processos de modelagem e simulação de ambientes e desempenho).
- **Usinagem** - *eM-Machining, eM-RealNC* (soluções para automaticamente planejar processos de usinagem CN e gerar os programas CN para ser transferidos para centros de usinagem flexíveis).

- **Medição** - *eM-Probe CAD* (soluções para programação de dispositivos de inspeção, habilitando o controle dimensional e geométrico de peças mecânicas);

Seus principais clientes incluem as maiores empresas na indústria eletrônica, automotiva e aeroespacial, tais como BMW, Fiat, Ford, General Motors, Renault e Volkswagen; Airbus, Boeing, Lockheed-Martin.

UGS/EDS (Electronic Data Systems) – http://www.eds.com

A família de software *E-factory* é uma solução de gerenciamento de informação de manufatura, que acoplado a um conjunto de aplicações de manufatura digital (*FactoryCAD, Factory Flow, Factory View, Jack e Unigraphics NX - CAM*), auxiliam a demanda de informação e tarefas que compõem o ambiente da Manufatura Virtual.

- **Planejamento do Processo** - *E-factory Process Planner* (suporta as atividades de planejamento dos processos de manufatura, provendo um conjunto de ferramentas de dados para gerenciamento de alterações, configurações, controle de acesso e fluxo de trabalho).

- **Gerenciamento de Recursos** - *E-factory Resource Manager* (provê um mecanismo integrado para classificar e armazenar informações de recursos de manufatura, incluindo ferramental, dispositivos, calibradores, máquinas e equipamentos).

- ***Mock-up* eletrônico** - *VisConcept* (é uma solução de prototipagem virtual que habilita os projetistas desenvolverem o *layout* de projetos 3D fotos-realistas e de alta-resolução para apresentação em sistemas imersivos de grandes telas, tais como o ambiente CAVE).

PTC (Parametric Technology Co.) – http://www.ptc.com

Para as atividades de engenharia de manufatura, possui um conjunto de aplicativos para desenvolvimento de programas CN (*Pro/ENGINEER Production*), projetos de ferramentas e dispositivos (*Pro/ENGINEER Design*), e gerenciamento de lista de materiais de manufatura (*WindChill*).

Os módulos de *software* DIVISION provêem o desenvolvimento de maquetes eletrônicas, colaboração visual 3D, e prototipagem em Realidade Virtual.

- ***Mock-up* eletrônico** - *DIVISION MockUp* (tem interface com o Pro/ENGINEER e muitos outros sistemas CAD e padrões gráficos. Permite a usabilidade, a manufaturabilidade, e as revisões de projetos usando protótipos virtuais, ao invés do modelo físico)

- **Realidade Virtual** - *DIVISION Reality* (trabalha com sistemas de projeção pela captação em uma única arquitetura distribuída)

- **Visualização 3D** - *DIVISION ProductView* (permite visualizar imagens de arquivos 2D e 3D, em diversos diferentes formatos, e habilita a colaboração no ambiente Web)

DELMIA (Dassault Systèmes) – http://www.delmia.com

Apresenta um conjunto de soluções na área automotiva para suporte ao desenvolvimento do produto, processo e recursos. As principais áreas de atuação são:

- **Montagem** - *DELMIA Process Engineer, DPM Assembly, Human, Quest, Robotics, Cell Control & Monitoring.*
- **Pintura** - *DELMIA UltraPaint.*
- **Programação CN**- *DELMIA DPM Machining, Virtual NC, Quest, Inspect V5, Human.*

Lista de *Software* de Simulação orientado à Manufatura

Os *softwares* listados a seguir estão limitados ao exposto por BANKS (1998), incluindo também outros sistemas citados neste estudo, dentro da categoria de ***software* de simulação orientado à Manufatura**. As principais características de cada um desses *softwares* estão atualizadas conforme descrito nos endereços na Internet das respectivas empresas desenvolvedoras, acesso em Janeiro de 2003.

- **ProModel** - da empresa PROMODEL Corporation (http://www.promodel.com), é um conjunto de *softwares* de simulação para avaliação, planejamento e projeto da manufatura, logística e outras aplicações operacionais e estratégicas. Suas principais aplicações incluem: (a) avaliação de técnicas de manufatura alternativas (Manufatura Enxuta, Kanban); (b) avaliação de novos equipamentos e processos; (c) alocação de recursos; (d) otimização do *layout* de fábrica; (e) balanceamento das linhas de produção; (f) projeto de manuseio de materiais, entre outras.

- **AutoMod** - da empresa AutoSimulations, Inc. (http://www.autosimulations.com), é muito potente na sua descrição de sistemas de manuseio de materiais. O conjunto de ferramentas de simulação AutoMod provê um ambiente para a construção de modelos precisos para análise e desenvolvimento, assim como para emulação de sistemas de controle. O AutoMod inclui padrões para o modelamento de movimento de materiais, seja por esteiras, carregadeiras, ponte rolante ou veículos automáticos. Todo o trabalho pode ser feito em escala, em tempo real e com animação gráfica em Realidade Virtual, ajudando a validação do modelo e a comunicação visual do projeto.

- **Witness** – fornecido pela empresa Lanner Group Inc. (http://www.lanner.com), contém muitos elementos para análise de eventos discretos no ambiente da manufatura. O uso desse *software* permite estudos de melhoria de produtividade, otimização do projeto de

layout de fábrica, e o modelamento da cadeia de logística e fornecimento. Suas principais características incluem: (a) projeto de bloco de construção simples e poderoso; (b) estrutura hierárquica e modular; (c) extremamente interativo; (d) resposta estatística e em tempo real.

- **Arena** – fornecido pela empresa Rockwell Software Inc. (http://www.arenasimulation.com), é um *software* usado predominantemente para a melhoria de desempenho e análise de capacidade de fábricas de manufatura. Um aspecto importante desse *software* é a sua habilidade em consistentemente compartilhar dados relevantes da fábrica com outros sistemas de simulação, incluindo programação, planejamento e operação no chão-de-fábrica. Exemplos de aplicações incluem (a) cálculo da demanda de saída de uma linha de produção, (b) identificação de excesso de capacidade, (c) previsão de atraso de operações, (d) impacto de mudança de equipamentos, (e) impacto de mudanças de tamanho de lote.

- **Factor/AIM** – Mapics Inc. (http://www.mapics.com), é um sistema de simulação projetado especificamente para uso no suporte a decisões de manufatura – problemas de projeto, programação e planejamento. Diferentemente de outros produtos de simulação que requerem o aprendizado de sintaxe específica de linguagens de programação, o AIM usa uma linguagem própria do ambiente de manufatura. Exemplos de componentes AIM incluem máquinas, operadores, materiais, componentes, etapas de trabalho, planos de processo e esteiras. Além disso, um conjunto compreensivo de regras pré-definidas de manufatura está disponível para a tomada de decisões que possam melhorar as operações de manufatura.

- **FlexSim** – é um produto da empresa FlexSim Software Products, Inc (http://www.flexsim.com), usado para modelar, simular e visualizar processos de manufatura, manuseio de material, logística ou administração. Esse sistema auxilia a determinação da capacidade da fábrica, o balanceamento de linhas de produção, o gerenciamento de

gargalos de produção, a solução de problemas de inventário, o teste de novas práticas de programação, e a otimização de taxas de produção. Os modelos podem ser vistos em animação de realidade virtual 3D.

- **Simul8** – fornecido pela empresa SIMUL8 Corporation (http://www.simul8.com), provê recursos de simulação para avaliação e projeto virtual de novas linhas de produção, análise do impacto da adição de novos equipamentos, análise do efeito de alocação de mão-de-obra, análise de gargalos de produção, capacidade de balanceamento de células de trabalho, entre outras.