

ESTE DOCUMENTO CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE ENTREGADA POR MAURO SÉRGIO JUAREZ  
CÁCERES..... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 28/05/2010  
João Maurício Rêgo  
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Autor: Mauro Sérgio Juarez Cáceres

**Proposta de Metodologia para Implementação de  
Sistemas de Manufatura Digital baseada no  
Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com  
ênfase no Ensino Tecnológico**

Campinas, 2010.

Mauro Sérgio Juarez Cáceres

# **Proposta de Metodologia para Implementação de Sistemas de Manufatura Digital baseada no Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com ênfase no Ensino Tecnológico**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado da  
Faculdade de Engenharia Mecânica da  
Universidade Estadual de Campinas, como  
requisito para a obtenção do título de Doutor  
em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e  
Projeto Mecânico

Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário

Campinas  
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C114p Cáceres, Mauro Sérgio Juarez  
Proposta de metodologia para implementação de sistemas de manufatura digital baseada no gerenciamento do ciclo de vida do produto com ênfase no ensino tecnológico / Mauro Sérgio Juarez Cáceres. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: João Maurício Rosário.  
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Manufatura Digital. 2. Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto. 3. Educação Profissional. 4. Formação por Competências. I. Rosário, João Maurício. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Proposal of methodology for implementation of digital manufacture systems, based on product lifecycle management with emphasis in the technological formation

Palavras-chave em Inglês: Digital Manufactures, Product Lifecycle Management, Professional Education, Competences Learning System

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Cintia Kimie Aihara, Ely Carneiro de Paiva, Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira, Sergio Tadeu Bernatavicius

Data da defesa: 28/05/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

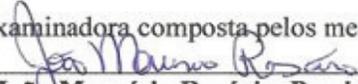
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

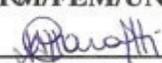
TESE DE DOUTORADO

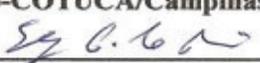
**Proposta de Metodologia para Implementação de  
Sistemas de Manufatura Digital baseada no  
Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com  
ênfase no Ensino Tecnológico**

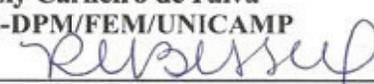
Autor: Mauro Sérgio Juarez Cáceres  
Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. João Maurício Rosário, Presidente**  
Instituição-DPM/FEM/UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Cintia Kimie Aihara**  
Instituição-COTUCA/Campinas

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ely Carneiro de Paiva**  
Instituição-DPM/FEM/UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira**  
Instituição-IFSP (CEFET)-São Paulo

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Sergio Tadeu Bernatavicius**  
Instituição-Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica - São Caetano do Sul

## **Dedicatória:**

Dedico este trabalho à minha querida esposa, aos meus pais, aos colegas que incentivaram e colaboraram com este trabalho e a todos que de alguma maneira poderão utilizá-lo e retirar dele algum benefício.

## **Agradecimentos**

Todo trabalho, para ser bem sucedido, conta com a colaboração de pessoas que em diversos aspectos participam dele, e sem estas pessoas o trabalho não se viabilizaria, pessoas às quais registro meus agradecimentos:

- Aos meus familiares, pelo incentivo em todos os momentos.
- Ao meu orientador, que acreditou na relevância do trabalho e nos passou as diretrizes para o seu desenvolvimento.
- A todos os colegas do SENAI, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.
- À equipe de Bibliotecárias da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica pelo apoio e dedicação.

*“Uma meta sem um método é cruel”*

*Deming*

## Resumo

CÁCERES, Mauro Sérgio Juarez, *Proposta de Metodologia para Implementação de Sistemas de Manufatura Digital baseada no Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com ênfase no Ensino Tecnológico*. 2010. 116 p.

Tese (Doutorado)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Este trabalho reflete uma inquietação que surge da observação de um cenário onde a filosofia de concepção, manufatura, colocação no mercado e atualização e ou modificações de produtos nos diversos ramos da indústria, cada vez mais, ocorrem dentro de um ciclo realizado no universo digital, antecedendo quaisquer investimentos em máquinas, equipamentos ou infraestrutura. Esta inquietação traz o questionamento de como a educação profissional no país está se mobilizando para atender a demanda de profissionais que atuem neste entrelaçamento de *softwares* e sistemas que executam montagens, simulações e gerenciamento de dados de engenharia dentro deste universo digital. Assim coloca-se neste trabalho uma Proposta Metodológica para o Ensino Tecnológico na Manufatura Digital-PLM, fundamentada na Metodologia de Ensino por Competências, abrangendo o aspecto tecnológico e o pedagógico, assim como os conceitos de Manufatura Digital, Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto - *Product Lifecycle Management (PLM)*, Projetos Colaborativos e os benefícios destas tecnologias e metodologias, como uma opção para dar conta do desafio a ser transposto pelas instituições dedicadas à educação profissional, no sentido de suprir o mercado de trabalho com esta mão de obra especializada, contribuindo para o desenvolvimento do país.

### *Palavras Chave*

- Manufatura Digital. Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto. Educação Profissional. Formação por Competências.

## **Abstract**

CÁCERES, Mauro Sérgio Juarez, *Proposal of Methodology for Implementation of Digital Manufacture Systems, based on Product Lifecycle Management with emphasis in the Technological Formation*. 2010. 116 p.

Thesis (PhD in Mechanical Engineering): Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Campinas.

The creation, production, updating or modification, and marketing of different industrial products take place in a digital universe which precedes any investment in machinery, equipment or infrastructure. This project focuses on the professional education challenge to produce consistent scientific and up-to-date technically competent professionals, who can fulfill the demand created by the aforementioned stages of industrial product development. It also examines the ways in which the country's professional education system can mobilize itself in order to meet the demand for professionals who can work in the network of software and systems, that assemble, simulate, and manage engineering data within this digital universe. The project presents concepts on digital manufacturing, product lifecycle management-PLM, the benefits of such technologies and show a Methodological Proposal Based on Skills, it focuses in Digital Manufacturing-PLM, using on considerations about the professional formation teaching methods, as well as the challenge to be overcome by those institutions dedicated to the country's professional education, in order to satisfy the skill trade market demand, thus contributing to its development.

### *Key Words*

Digital Manufactures. Product Lifecycle Management. Professional Education. Competences Learning System.

## Lista de Ilustrações

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Evolução de custos no emprego de recursos de Manufatura Digital.....   | 11 |
| 2  | Célula de Manufatura.....  | 16 |
| 3  | Sistema Flexível de Manufatura da Faculdade Senai de Tecnologia .....  | 17 |
| 4  | Célula de Solda Robotizada.....  | 18 |
| 5  | Passos para o modelamento e a simulação de células de manufatura<br>robotizadas segundo Shan,Kawan (2003). ..... | 19 |
| 6  | Célula de Manufatura Robotizada para montagem de partes de um produto...   | 21 |
| 7  | Definição de Competência segundo CNE/CEB nº 04/99 e o Parecer<br>CNE/CEB nº 16/99. ....                          | 22 |
| 8  | Situações de Aprendizagem.....   | 26 |
| 9  | Conceituação do Interacionismo.....  | 26 |
| 10 | Mediação da Aprendizagem. ....   | 27 |
| 11 | A utilização do PLM na expansão dos limites de integração nas corporações.                                       | 30 |
| 12 | Etapas do Ciclo de Vida do Produto.....  | 30 |
| 13 | Etapas de Concepção do Produto e de Simulação do Processo de Manufatura<br>Digital. ....                         | 35 |
| 14 | Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM) .....  | 36 |
| 15 | Transição virtual – real ( Fonte IBM).....   | 37 |
| 16 | Formas de Inovação e suas características(Fonte IBM).....  | 38 |
| 17 | Manufatura Digital do 2D ao <i>knowledge</i> (Fonte-Dassault).....   | 38 |
| 18 | Esboços de Leonardo Da Vinci (Fonte-Dassault).....   | 39 |
| 19 | Escritório de projetos década de cinquenta (Fonte-Dassault).....   | 39 |
| 20 | A evolução na documentação técnica. ....   | 40 |
| 21 | Modelamento em CAD 3D.....   | 40 |
| 22 | Montagem de Conjuntos e Simulação de Funcionamento.....  | 40 |
| 23 | Simulação do Processo de Manufatura –CAM.....  | 41 |
| 24 | Processo de análise de um produto.....   | 41 |
| 25 | Usinagem Virtual- Programa gerado para a máquina CNC - Usinagem Real....   | 42 |
| 26 | Mecatrônica e as disciplinas envolvidas.....   | 43 |
| 27 | Evolução nos processos de desenvolvimento de produtos (fonte- Berliner<br>Kreis-2007).....                       | 44 |
| 28 | Aspecto multidisciplinar da Mecatrônica (fonte- FME Transactions).....   | 45 |
| 29 | A Mecatrônica como suporte à Manufatura Digital.....   | 45 |
| 30 | Modelo em “V” (VDI-2206) .....   | 46 |
| 31 | Desenvolvimento de um Sistema Mecatrônico conforme Isermann (2008).....  | 46 |
| 32 | Modelo em “V”(VDI-2206) para <i>case</i> de célula de montagem de um produto.                                    | 47 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 33 | Fases de elaboração do Protótipo Virtual do Sistema Mecatrônico (fonte- ETH Zurich).....   | 48 |
| 34 | Painel de teste( IHM) criado para controle de dispositivo modelado.....  | 49 |
| 35 | Menus de monitoramento de variáveis de entrada e de saída.....   | 49 |
| 36 | Dispositivo modelado a ser controlado.....   | 50 |
| 37 | SFC criado para o controle do modelo 3D.....   | 51 |
| 38 | Modelamento da célula de manufatura robotizada.....  | 51 |
| 39 | Simulação de ergonomia.....  | 52 |
| 40 | Linha virtual de produção.....   | 53 |
| 41 | Aplicação de Realidade Virtual.....  | 53 |
| 42 | Sistema de prognóstico de falhas em um sistema robotizado (IMS Center - JayLee).....   | 56 |
| 43 | Sistema supervisorio para Máquinas Ferramenta- Fonte SME-Society of Manufacturing Engineers.....   | 57 |
| 44 | Fluxo de Etapas envolvidas nas situações de aprendizagem na Proposta Metodológica de Ensino por Competências.....                        | 66 |
| 45 | Fluxo para uma Situação de Aprendizagem específica.....  | 67 |
| 46 | Ilustração de rede para o fluxo de dados e informações da Manufatura Digital - PLM.....  | 70 |
| 47 | Aeroplano Bleriot XI (1909) e seu projetista Louis Bleriot e a distribuição de responsabilidades na elaboração do protótipo digital..... | 73 |
| 48 | Modelamento e geração do programa de usinagem (CAM ) e a usinagem do emblema do Avião.....   | 74 |
| 49 | Exemplo de um dos Moldes gerados como protótipo para fundição de peças....   | 74 |
| 50 | Modelamento da Fuselagem.....  | 75 |
| 51 | Modelamento da Fuselagem completa.....   | 75 |
| 52 | Trabalhos desenvolvidos pelos Franceses.....   | 76 |
| 53 | Modelamento do motor pelos Indianos.....   | 76 |
| 54 | Protótipo Digital do Bleriot XI.....   | 78 |
| 55 | Fluxo para o desenvolvimento do Projeto Colaborativo do Protótipo Digital do Bleriot XI.....   | 79 |
| 56 | Produto a ser desenvolvido na Metodologia Proposta.....  | 82 |
| 57 | Exemplo de <i>Workflow</i> do processo colaborativo.....   | 83 |
| 58 | Imagem virtual da montagem do produto.....   | 86 |
| 59 | Coleta da camisa do atuador no seu magazine e inserção no dispositivo de montagem.....   | 87 |
| 60 | Coleta do êmbolo do atuador no seu magazine e inserção do êmbolo na camisa do atuador.....   | 88 |
| 61 | Coleta da mola em seu magazine e sua Inserção no atuador.....  | 89 |
| 62 | Coleta da tampa em seu magazine e teste da posição da tampa para montagem.....   | 90 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 63   | Colocação da tampa no atuador .....  | 91  |
| 64   | Produto montado .....  | 91  |
| 65   | Célula Virtual de Montagem do Atuador Pneumático de Simples Ação.....  | 92  |
| 66   | Fluxo de Etapas envolvendo a concepção do produto e da sua linha de produção.....  | 94  |
| 67   | Taxa de ocupação dos egressos antes e depois do curso(fonte –Relatório SAPES-junho/2009).....  | 95  |
| 68   | Taxa de inserção dos egressos no Mercado de trabalho (Fonte- SAPES - junho/2009) .....   | 96  |
| 69   | Histórico da Média de satisfação dos alunos com o curso (Fonte – SGSET- Sistema de Gestão-2010) .....  | 96  |
| 70   | Número de acessos de alunos e usuários às ferramentas da Manufatura Digital-PLM nos cursos da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica..... | 97  |
| 71   | Alunos capacitados para a utilização das ferramentas de Manufatura Digital   | 97  |
| 72   | Cronograma de implantação da Metodologia Proposta.....   | 99  |
| A1.1 | Modelamento de gancho para reboque de veículos.....  | 111 |
| A1.2 | Otimização de uma peça automotiva.....   | 112 |
| A1.3 | Projeto de Melhoria de um Esfigmomanômetro.....  | 112 |
| A1.4 | Desenvolvimento e Análise de um Mini Baja.....   | 113 |
| A1.5 | Desenvolvimento de veículos especiais.....   | 114 |
| A1.6 | Scooter elétrica.....  | 115 |
| A1.7 | Maganize de estampas.....  | 116 |
| A1.8 | Robô para limpeza de piscinas.....   | 116 |

## Lista de Tabelas

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Benefícios obtidos na aplicação de uma solução PLM- Fonte: Cimdata em Março de 2005. .... | 35 |
|---|---|----|

## Lista de Abreviaturas e Siglas

### *Abreviações*

BOM - Bill Of Materials  
BOP- Bill Of Processes  
CAD-Computer Aided Manufacturing  
CAE- Computer Aided Engineering  
CAM- Computer Aided Manufacturing  
CAT- Computer Aided Testing  
CLP- Controlador Lógico Programável  
CNC- Computer Numeric Control  
CRM- Customers Relationship Management  
EBOM- Engineering Bill Of Materials  
ERP -Enterprise Resource Planning  
FEA - Finite Element Analysis  
IS- Information System  
IT -Information Technology  
MBOM -Manufacturing Bill Of Materials  
MRP -Material Requirement Planning  
PDM -Product Data Management  
PLM -Product Lifecycle Management  
SCM -Supply Chain Management  
SFC- Sequential Function Chart  
TI -Tecnologia da Informação  
2D -Duas dimensões  
3D -Três dimensões

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 1.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1 Introdução.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Sistemas de Manufatura Digital e a formação de novos profissionais para desenvolvimento de projetos industriais..... | 2         |
| 1.2 Motivação do Trabalho.....   | 3         |
| 1.3 Objetivos.....   | 5         |
| 1.4 Estruturação dos Capítulos desta Tese.....   | 6         |
| <b>Capítulo 2.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2 Revisão Bibliográfica.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 Manufatura Digital.....  | 8         |
| 2.2 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto- PLM.....  | 12        |
| 2.3 Células de Manufatura.....   | 15        |
| 2.4 Modelagem Digital das Células Robotizadas de Manufatura.....   | 18        |
| 2.5 Ensino por competências.....   | 21        |
| 2.6 Métodos Interacionistas e a Mediação da Aprendizagem.....  | 25        |
| <b>Capítulo 3.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>3 Proposta de Metodologia para implementação de Sistemas de Manufatura Inteligente.....</b>                           | <b>29</b> |
| 3.1 O Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto- PLM e a Manufatura Digital.....   | 29        |
| 3.2 Estruturação de Sistemas de Manufatura Digital.....  | 37        |
| 3.3 Descrição de Ferramentas para concepção virtual de produtos.....   | 39        |
| 3.4 A Manufatura Digital e a Automação dos Processos de Produção.....  | 42        |
| 3.5 Comissionamento Virtual em Sistemas de Manufatura.....   | 54        |
| 3.6 Sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas.....  | 55        |
| 3.7 A Manufatura Digital – PLM e a Questão Ambiental.....  | 57        |
| 3.8 Contribuições Metodológicas em termos de Ensino Profissional por Competências da Manufatura Digital-PLM.....         | 60        |
| <b>Capítulo 4.....</b>   | <b>64</b> |
| <b>4 Integração das Metodologias.....</b>  | <b>64</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 4.1 Aspectos Interdisciplinares no Ensino por Competências da Manufatura Digital.....        | 64         |
| 4.2 Ampliando o Escopo de Integração dos Sistemas.....                                       | 68         |
| 4.3 O desenvolvimento de um Projeto Colaborativo utilizando a Manufatura Digital – PLM.....  | 71         |
| <b>Capítulo 5.....</b>   | <b>80</b>  |
| <b>5 Validação da Proposta Metodológica – Estudo de Caso.....</b>                            | <b>80</b>  |
| 5.1 Aplicação da Metodologia.....  | 80         |
| 5.2 Resultados obtidos com a Aplicação da Metodologia.....                                   | 89         |
| 5.3 Resultados globais, validação da Metodologia proposta e cronograma de implementação..... | 98         |
| <b>Capítulo 6.....</b>   | <b>100</b> |
| <b>6 Conclusões e Perspectivas Futuras.....</b>  | <b>100</b> |
| <b>Referências Bibliográficas.....</b>   | <b>104</b> |
| <b>Anexo A.....</b>  | <b>111</b> |

# Capítulo 1

## Introdução

Vive-se num cenário onde a obsolescência do que se consome no mercado ocorre muito rapidamente, assim como a evolução da tecnologia que se utiliza para se desenvolver os produtos consumidos. Neste sentido, o setor de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos ganha nas empresas um *status* do departamento de onde se tem a expectativa de soluções para a sobrevivência e competitividade da empresa.

As empresas competitivas necessitam reduzir o espaço de tempo entre a análise de mercado, concepção dos novos produtos, testes, adequações no produto, adequações no processo produtivo, e o lançamento destes novos produtos no mercado. As ferramentas virtuais conferem vantagens competitivas às empresas, e estas ferramentas são imbatíveis neste cenário de acelerada obsolescência nos produtos consumidos, podemos dizer que sem elas não haverá como competir no cenário que se concretiza daqui em diante.

Uma visão interessante para o século em que vivemos foi vislumbrada por uma montadora japonesa em 1993, Pine, et al. (1993), onde se assevera que o século XXI seria o século dos 5 A's (*anytime, anyvolume, anybody, anywhere and anything*), percebe-se hoje que a empresa que desejar permanecer competitiva deve refletir sobre esta visão, que já dá indícios de se concretizar em alguns nichos de mercado, ou seja: em qualquer tempo, com qualquer quantidade, qualquer pessoa, em qualquer lugar e qualquer produto, configura-se no anseio da nossa realidade consumista. Como atender tal demanda sem flexibilidade, sem agilidade, sem qualidade, sem custo competitivo e sem inovação no que se oferece? Eis um desafio interessante.

## **1.1 Sistemas de Manufatura Digital e a formação de novos profissionais para desenvolvimento de projetos industriais**

A Manufatura Digital se constitui numa resposta ao desafio dos “5 A’s”, com produtos que tenham características compatíveis com esta flexibilidade e agilidade de concepção, produção e consumo.

Pode-se considerar que a Manufatura Digital tem suas sementes plantadas nas primeiras utilizações de uma ferramenta de programação do controle numérico chamado “Pronto”, desenvolvida em 1957 por Patrick J. Hanratty, frequentemente referido como "o pai do *Computer Aided Design* –CAD e do *Computer Aided Manufacturing* -CAM". Na década de sessenta surge o desenho auxiliado por computadores com o chamado "*Sketchpad*" desenvolvido por Ivan Sutherland como parte da sua tese de doutoramento no *Massachusetts Institute of Technology*-MIT.

Ao levar-se em consideração que os desenhos elaborados, até então no papel, passaram a ser armazenados em forma de bits e bytes, passou-se na verdade, a digitalizar desenhos expressos na forma convencional, naturalmente neste contexto a idéia de Manufatura Digital não era corrente. No contexto de hoje o conceito da Manufatura Digital suporta a metodologia de colaboração entre empresas, é estrategicamente utilizada no fortalecimento da competitividade destas empresas por meio de uma gestão do capital intelectual acumulado em bancos de dados de engenharia, atuando como fonte de sistematização e inspiração da inovação nas empresas.

A Manufatura Digital tem no *Product Lifecycle Management* – PLM a plataforma de *software* que viabiliza uma proposta metodológica para a gestão deste capital intelectual, para o armazenamento dos projetos e de suas partes, das experiências bem ou mal sucedidas, para a hierarquização por usuário dos direitos de intervenções nos projetos, criando um ambiente de colaboração para o desenvolvimento dos projetos das empresas fazendo fluir o processo de inovação. Inovações importantes costumam surgir fora do setor e além das fronteiras de atores estabelecidos, criando uma pressão extra para que uma empresa tenha, sem demora, a próxima grande idéia (KANTER, 2006).

Neste cenário onde a inovação é determinante para a competitividade e sobrevivência das empresas, a metodologia do trabalho colaborativo é uma ferramenta importante para viabilizar a inovação, pois o banco de dados com o capital intelectual das corporações está apto para interagir com o processo de concepção do novo produto, que é subsidiado também pela colaboração *on line*, sem limitações geográficas e de comunicação, pois as ferramentas da Manufatura Digital suportadas pelo PLM constituem-se na linguagem comum entre as equipes de projetos.

Cada vez mais mercado irá carecer de profissionais que já na sua experiência acadêmica, convivam com este novo contexto, onde a metodologia do trabalho colaborativo gerenciado por plataformas PLM, potencializem o uso das ferramentas da Manufatura Digital.

As entidades de ensino necessitam vincular-se a esta realidade, pois as empresas, a sociedade e o país esperam e dependem desta concatenação da educação profissional com as tendências tecnológicas e metodológicas em termos de concepção, produção e oferta de produtos frutos da inovação.

Neste trabalho aplica-se a experiência do trabalho colaborativo utilizando a Manufatura Digital suportada pelo PLM, no desenvolvimento de projetos industriais no âmbito de entidades de ensino. Estes projetos foram captados nas empresas e trazidos para a escola, onde a Metodologia de Ensino por Competências<sup>1</sup> permeia a atividade técnico-pedagógica das equipes discentes que interagem e colaboram mediante estas ferramentas.

## **1.2 Motivação do Trabalho**

A possibilidade de se trazer projetos da empresa para serem desenvolvidos na escola por grupos de alunos orientados por docentes, instigou a idéia de utilizar ferramentas da Manufatura Digital com suporte da plataforma PLM, dentro de uma Metodologia de Ensino que trabalha por desenvolvimento de Competências para a elaboração destes projetos.

---

<sup>1</sup> CNE/CEB nº 04/99 e o Parecer CNE/CEB nº 16/99 - Competência é a capacidade de articular, mobilizar e colocar em ação valores, conhecimentos e habilidades necessários para o desempenho eficiente e eficaz de atividades requeridas pela natureza do trabalho, considerando a resolução de problemas não só rotineiros, mas também inusitados em seu campo de atuação profissional.

O desafio motivador deste trabalho está na concatenação destas ferramentas tecnológicas, que são relativamente recentes no meio corporativo e praticamente inéditas em termos de utilização em ambientes de ensino, com a Metodologia de Ensino por Competências que também é recente, pois começa a ser aplicada de forma sistemática na virada do milênio. Portanto trata-se de sistematizar o uso da Manufatura Digital e do PLM em projetos colaborativos no âmbito do ensino acadêmico visando a formação de profissionais que atendam esta realidade de mercado que se configura.

Ao olhar-se para o mercado, vê-se que as corporações já constataram que o trabalho colaborativo traz dividendos interessantes, haja vista que com o aprimoramento da tecnologia da informação as empresas se tornam de classe mundial, buscando a inovação a um custo menor, fidelizando seus clientes e participando de mercados globais com projetos compartilhados na corporação (SANTOS, 2006).

É cada vez mais decisiva a habilidade em colaborar ou, mais precisamente, é cada vez mais decisivo aumentar a colaboração entre as principais áreas das empresas. Isso é conseguido por meio da aplicação de tecnologias (SWINK, 2006).

Em face deste cenário, a inquietação cresce quando se considera o aspecto da formação profissional. Como as instituições de ensino no nosso país estão captando e processando estes sinais que apontam para a necessidade de uma atualização nas organizações curriculares e nas metodologias de ensino? Este trabalho não tem e nem poderia ter a pretensão de prover a resposta final e definitiva para a questão, porém propõe uma reflexão sobre estes novos conceitos e coloca uma proposta metodológica para formação profissional na Manufatura Digital-PLM fundamentada numa Metodologia de Ensino por Competências, proposta esta que deve ser considerada como uma alternativa, dentro deste complexo cenário que se avizinha.

### **1.3 Objetivos**

Neste trabalho tem-se objetivos a serem atingidos no campo tecnológico, no campo de formação profissional e na articulação destes dois domínios, especificamente os objetivos podem ser descritos como:

1. Propor Aplicação de Metodologia de Ensino por Competências para a Formação Profissional na área de Manufatura Digital –PLM;
2. Propor aplicação da Metodologia de Ensino por Competências em Projetos Colaborativos no âmbito Educacional;
3. Criar sistemáticas de desenvolvimento virtual de produtos e sua manufatura de forma colaborativa no âmbito do Ensino Profissional;
4. Criar sistemáticas de desenvolvimento virtual de células de produção e de sua implementação na forma colaborativa no âmbito do Ensino Profissional;
5. Propor o desenvolvimento de uma cultura para o fomento de parcerias entre empresas e instituições de ensino na elaboração de projetos colaborativos, que beneficiem as empresas e promova o crescimento tecnológico do corpo discente e docente das Instituições de Ensino, fazendo mais próxima a realidade das corporações do cotidiano acadêmico;
6. Propor a extensão da aplicação da Metodologia de Ensino por Competências em outras áreas acadêmicas.
7. Conceituação e uso das ferramentas da Manufatura Digital de forma específica e como elas se articulam conjuntamente na concepção do produto, na análise de engenharia, na manufatura e na concepção da linha ou célula de produção;
8. Conceituação e uso da plataforma PLM;
9. Situar o papel do PLM no sentido de viabilizar o trabalho colaborativo trazendo todos os atributos de gestão e compartilhamento do capital intelectual no desenvolvimento de projetos colaborativos;
10. Descrever a Metodologia de Ensino por Competências;

11. Descrever e analisar os *cases* com a aplicação da Metodologia de Ensino por Competências na formação profissional em ferramentas da Manufatura Digital – PLM;
12. Apresentar e analisar os resultados da aplicação destas metodologias apontando as perspectivas futuras em relação à formação profissional na Manufatura Digital.

#### **1.4 Estruturação dos Capítulos desta Tese**

Esta tese está estruturada em seis capítulos. Este primeiro capítulo trata de contextualizar o problema na introdução, situar a Manufatura Digital no contexto de formação profissional trabalhando com projetos industriais de forma colaborativa.

No capítulo dois é apresentada a revisão bibliográfica que traz a conceituação e dá o referencial teórico para o uso das ferramentas da Manufatura Digital, PLM, das Células de Manufatura, da Modelagem digital de Células de Manufatura, da Metodologia de Ensino por Competências e das estratégias para aplicação da Metodologia de Ensino por Competências.

No capítulo três são descritas as ferramentas da Manufatura Digital de forma específica e sua utilização na concepção de produtos e o respectivo Gerenciamento do Ciclo de Vida, como estas ferramentas se estruturam para a implementação de projetos, a aplicação neste contexto dos sistemas inteligentes para prevenção e diagnóstico de falhas em sistemas de produção, como os aspectos ambientais se relacionam com a Manufatura Digital e como o ensino por competência pode sedimentar o aprendizado destas ferramentas da Manufatura Digital e do PLM.

No capítulo quatro é proposta a forma de interação das ferramentas e das Metodologias de ensino, tratando a questão da interdisciplinaridade, do desenvolvimento das competências na integração das ferramentas da Manufatura Digital- PLM no desenvolvimento de projetos industriais de forma colaborativa no âmbito escolar.

No capítulo cinco são apresentados *cases* desenvolvidos, utilizando a integração das ferramentas da Manufatura Digital - PLM e da Metodologia de Ensino por Competências

na elaboração de projetos industriais, apresentando os resultados obtidos em termos de projetos desenvolvidos dentro da sistemática proposta e os resultados em termos de ensino e aprendizagem no âmbito da formação profissional.

No capítulo seis são apresentadas as conclusões deste trabalho com a aplicação da metodologia e das ferramentas apresentadas, assim como as perspectivas futuras no que tange à utilização desta metodologia no meio acadêmico e industrial, e possíveis reflexos no mercado de trabalho para esta área.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

#### 1.5 Manufatura Digital

Na década de cinquenta se iniciam pesquisas industriais e acadêmicas em Desenho Assistido por Computador- CAD (*Computer Aided Design*) em ferramentas bidimensionais, usadas para gerar caminhos de ferramentas em máquinas de Controle Numérico Computadorizado -CNC (*Computer Numeric Control*) e sistema gráfico passivo. Na década de sessenta surge o desenvolvimento da computação gráfica interativa, grandes companhias desenvolvem seus próprios softwares de CAD baseado em grandes Mainframes (computadores centrais).

Como foi colocado na introdução deste trabalho, o uso da Manufatura Digital tem sua semente lançada com o chamado "*Sketchpad*" desenvolvido por Ivan Sutherland no início da década de sessenta com menus em cascata, desenho baseado em restrições, modelagem hierárquica. Considerando a concepção do produto com a fase inicial, ali começa-se a digitalização de desenhos que até então eram feitos exclusivamente em papel. Em seguida vemos o desenvolvimento da análise de elementos finitos e da Manufatura Assistida por Computador - CAM (*Computer Aided Manufacturing*) ferramentas de manufatura auxiliada por computador surgindo as primeiras peças confeccionadas com a agregação das duas ferramentas o CAD-CAM.

Na década de setenta a marinha americana começa o desenvolvimento de programas de que trabalham com desenhos em três dimensões (3D), baseado nas “primitivas geométricas” caixas, cones e cilindros, porém para maioria das indústrias o CAD ainda é o “*Computer Aided Drafting*”, nesta fase inicia-se a integração gráfica com o “*Initial Graphics Exchange Especifications*” (IGES).

Na década de oitenta a Autodesk lança o AutoCAD a um custo de U\$ 10.000, quase que simultaneamente surge a plataforma do Computador Pessoal- PC (*Personal Computer*), que evolui com o lançamento do Intel 386, fazendo com que o CAD se difundisse mais rapidamente nas empresas. No final da década de oitenta é lançado em caráter exploratório o sistema de modelagem em três dimensões, também se trabalha com o volume de renderização com Drebin et al. (1988), Levoy (1988).

Como a modelagem em 3D exigia uma maior capacidade de processamento das máquinas, no início da década de noventa temos o início da modelagem sólida em estações de trabalho (*Work Stations*). A lei de Moore (presidente da Intel, Gordon E. Moore fez sua profecia, na qual o número de transistores dos chips teria um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses) traz o CAD 3D das estações de trabalho de novo para o PC, em decorrência disto temos a proliferação de pacotes de CAD 3D. No meio da década de noventa temos um salto no canal de processamento gráfico na modelagem, animação e renderização pintada com Meier (1996).

Em termos de modelagem no início dos anos dois mil para cá, passa-se a utilizar polígonos, geometria sólida construtiva, superfícies algébricas, paramétricas, implícitas, subdivididas, sistemas pequenos ou particulares e volumes. Em termos de animação temos *scripted, key frame interpolation, inverse kinematics, and dynamics*.

As visualizações de arquivos em sistema CAD começaram a aparecer em meados de 1990, permitindo a visualização de dados de projeto 3D sem a necessidade de adquirir plataformas CAD de altos preços. Isso permitiu que milhares de empresas passassem a visualizar e a trocar documentos eletrônicos.

A Manufatura Digital é uma realidade irrefutável segundo Dalton-Taggart (2005), recentes avanços tecnológicos tem tornado a Manufatura Digital uma realidade para muitas empresas, que mesmo sem perceberem, estão utilizando parcialmente esse conceito.

Segundo Miller (2005), a Manufatura Digital traz alguns benefícios potenciais tais como: redução dos ciclos de desenvolvimento do produto e dos custos de manufatura, melhoria do *time-to-market*, mais da qualidade do produto, melhorias no compartilhamento do conhecimento do produto e suporte às iniciativas como *Design-For-Manufacturability* ou *Design-For-Assembly*.

Um termo bastante em voga é o termo “Fábrica Digital”, que segundo Kuehn (2006), tem o mesmo significado de Manufatura Digital. Segundo o autor este conceito possui um caráter de integração que melhora produtos e processos de engenharia de produção, sendo que o cerne da Manufatura Digital é a simulação.

A simulação é chave neste conceito, onde diferentes tipos de simulação, como eventos discretos ou simulação animada em três dimensões (3D), são aplicados por meio de modelos virtuais nas tarefas de planejamento, visando melhorar produtos e o planejamento dos processos. O conceito principal reside em contornar eventuais erros no processo real por meio do processo virtual, ou seja, sem investimentos em equipamentos e insumos, pode-se no mundo virtual, simular o processo e reformulá-lo, se for o caso, sem grandes investimentos.

Conforme Miller (2006), presidente da CIMdata Inc. define *Digital Manufacturing* como: “Soluções que suportam o planejamento de processos manufaturados com a metodologia colaborativa entre as diversas disciplinas da engenharia, envolvendo desde a concepção do produto até a manufatura do mesmo. Na prática a Manufatura Digital integra ferramentas que trabalham com um suporte de dados para a concepção do produto, do processo de fabricação, da visualização virtual de ambos e da análise para otimização do produto e do processo”.

Conforme SLANSKY (2006) A Manufatura Digital extrapola apenas a concepção e visualização virtual do produto, e vai até os processos produtivos e sistemas de automação

do chão-de-fábrica. Por meio da modelagem e simulação da linha de produção, suporta a validação de equipamentos e controles de produção, antes mesmo da fábrica ou linha de produção existir. O conceito de Manufatura Digital também é aplicado a níveis detalhados dos processos de trabalho, como posicionamento e alinhamento de gabaritos de montagem, seqüência de soldagem e de colocação de elementos de fixação, além de aspectos importantíssimos de ergonomia para os operadores.

Segundo Waurzyniak (2007), nos últimos anos, os sistemas de Manufatura Digital cresceram, especialmente com as indústrias automobilísticas e aeroespacial para a redução do “*time to market*”. Assim faz-se crescer o aparecimento de soluções mais eficazes, com simulações realistas de *layouts* produtivos, processos, linhas de montagens, células de robotizadas e controle de automação industrial.

Segundo a Lattice Technology Ltda (2009) existem alguns cuidados as serem considerados neste mundo da Manufatura Digital quando se trabalha com projetos que envolvem a montagem de milhares de partes, pois as limitações de *hardware* e *software* surgem quando trabalhamos em situações extremas. É necessário a racionalização e um sistema eficiente de correção e compatibilização de arquivos, para não se exacerbar nas soluções de *hardware* a fim de atender ao processamento, pois estas soluções isoladas encarecem o processo. Esta observação é pertinente principalmente na realidade industrial, pois nem sempre há a padronização de *softwares* dentro das corporações, por razões diversas, e este detalhe pode levar a soluções inviáveis. A revisão e compatibilização de arquivos permitem uma otimização do processamento e conseqüentemente uma redução de custos conforme ilustra a figura 1.



Figura 1- Evolução de custos no emprego de recursos de Manufatura Digital com e sem métodos de revisão e compatibilização de arquivos - Lattice Technology Ltd (2009).

## 2.2 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto- PLM

O gerenciamento do ciclo de vida do produto –*Product Lifecycle Management* -PLM pode ser definido como o suporte de integração entre ferramentas e banco de dados de engenharia. As ferramentas da Manufatura Digital têm no PLM este suporte de integração, pois a criação e o trabalho intelectual de vários usuários estão ali depositados e são gerenciados cronológica e hierarquicamente em termos de direitos de acesso e de alteração nos projetos ou em partes deles.

Segundo Rowe (2006), um aspecto fundamental para a Manufatura Digital é o repositório central de dados, exclusivo, tal qual o existente para o *Product Data Management* (PDM) para o gerenciamento dos dados do desenvolvimento do produto.

Conforme Slansky (2006), fornecedores de soluções de PLM estão atualmente oferecendo portfólios de soluções para projeto, produção e suporte ao produto, visando o seu ciclo de vida com uma maior abrangência. Segundo o autor hoje, estas soluções tratam da concepção do produto num sistema colaborativo maduro projeto de produtos, e também abrangem um planejamento e gerenciamento de processos de manufatura muito bem articulado. Para o autor, o PLM chega como um conjunto de tecnologias que permite aos planejadores de manufatura, além de planejar e validar seus processos, otimizar e sincronizar a produção ao longo de toda a cadeia produtiva.

As ferramentas de modelo digital “*digital mock-up*” permitem o desenvolvimento de modelos virtuais do produto, possibilitando a visualização da montagem de vários componentes, submontagens e instalações, além disto, permitem visualizar a operação dos processos produtivos. Com o *digital mock-up*, os engenheiros de projeto podem simular montagem de componentes e os encaixes entre superfícies, pontos de interfaces e restrições às fixações e movimentos mecânicos para verificar interferências entre estruturas. Muitos erros de projeto são evitados pela simulação do produto que será produzido além da inclusão de melhorias. Naturalmente o tempo da mão-de-obra é reduzido pela eliminação dos protótipos físicos destinados à validação do projeto em desenvolvimento.

Portanto segundo Slansky (2006), a Manufatura Digital representa um marco importante na evolução do PLM, que chega com um conjunto de softwares integrados permitindo aos planejadores de manufatura além de planejar, validar seus processos e também otimizá-los sincronizando a produção ao longo de toda a cadeia produtiva.

Aspectos de ergonomia e movimentação dos operadores na linha produtiva são passíveis de simulação, e muitas vezes são determinantes na concepção da linha. Segundo Teresko (2006), além de diversos aspectos a Manufatura Digital suporta o planejamento de processos, a colaboração e o apoio para diversas áreas funcionais. O PLM vem de encontro a essas demandas pois os aspectos ergonômicos fazem parte do planejamento dos processos, e a colaboração e o apoio às áreas são viabilizados pelos dados de engenharia depositados nos bancos de dados gerenciados pela plataforma PLM.

Segundo Santos (2007), a visão apresentada do gerenciamento do ciclo de vida do produto - PLM pode antever a necessidade de um ambiente para gestão incluindo processos, aquisição de dados e possibilidades de cruzamento de recursos de toda a empresa, sem a necessidade de revisões da fábrica ou da infra-estrutura de uma organização.

O empresário procura sistemas que aumentem a flexibilidade e a agilidade de seus negócios, permitindo assim responder, de maneira eficiente e efetiva às novas mudanças, novos mercados e concorrência. Essas características são os diferenciais encontrados em estratégias de PLM para uma empresa de classe mundial.

Segundo a White Paper, MatrizOne (2004), acredita-se que três fatores críticos de sucesso devem conduzir a estratégia de PLM de uma organização:

- Inovação - empresas devem aproveitar seu capital intelectual e inovar, dentro dos processos e organizações diretamente relacionados ao produto;
- Execução - redução de custos, melhoria da qualidade, achatamento do *time to market* e um alto retorno sobre investimento (ROI) somente podem ser conseguidos com transparência total na gestão dos processos. A gestão de um programa global e

a colaboração de todos os envolvidos é evidente através da cadeia de valor da empresa;

- Velocidade - uma estrutura reconfigurável, a escolha de processos e de ferramentas independentes são essenciais para proporcionar velocidade e manutenção do controle, como oposição a mera pretensão de se fazer as coisas de maneira veloz.

O que se constata na prática é que, para uma empresa ser bem sucedida no mercado global de hoje, a escolha de uma solução e de uma estratégia correta de PLM não é uma opção, é uma necessidade competitiva. Os programas de PLM devem incorporar uma estrutura de troca de informações, que permita que as organizações padronizem esforços de integração com múltiplas possibilidades de cruzamento de dados. Além disso, também gerem ambientes de trabalho idealizados para agregar diferentes programas e protocolos de comunicação, com a redução dos grupos de trabalho e dos custos de suporte em tecnologia da informação (TI).

Segundo a MatrixOne (2004), existem vários casos de sucesso de empresas classe mundial que utilizam gerenciamento do ciclo de vida de produto. A Johnson & Johnson, com 250.000 especificações de produtos, 26 plantas fabris que trabalham com outras 56 empresas da área de marketing. Esta empresa ao introduzir o PLM em sua planta conseguiu reduzir 25 sistemas de controle. Na área automobilística, além da FORD, VOLVO, FIAT e RENAULT, a HONDA, caso mais recente, conseguiu otimizar seus investimentos em TI, compartilhar as informações de seus produtos com seus fornecedores e clientes, gerenciando 30 milhões de objetos, com 6 milhões de relações entre esses. Outro caso interessante também é o da GE que trabalha com 16.753 usuários de um sistema de PLM colaborando entre si e com 4.005 fornecedores, onde cerca de um milhão de arquivos são gerenciados, permitindo ainda auxiliar na implantação de estratégias de “seis sigma”, buscando sempre a redução de custos.

Segundo Santos (2007), o compartilhamento dos valores e visão da empresa com todos os seus colaboradores pode ser outro fator crítico de sucesso para o PLM. Afinal, há melhores gestores do que aqueles que conhecem em detalhes os processos e produtos de sua organização? Criar um ambiente colaborativo para a pesquisa, desenvolvimento e

inovação, em que todos tenham uma visão compartilhada não é algo trivial. Daí a formação de nível tecnológico se impõe em face da formação de técnicos de nível médio no suprimento do mercado nesta área da Manufatura Digital-PLM

### **2.3 Células de Manufatura**

As Células de Manufatura são agrupamentos de máquinas que tem por finalidade produzir peças com determinadas características comuns, cujos lotes são pequenos. Segundo Batocchio (1992), o agrupamento de máquinas é chamado “célula”.

Podemos citar algumas vantagens nos sistemas de células de manufatura como: melhoria da qualidade do produto final, otimização de mão de obra e recursos, produção de pequenos lotes de peças, entre outras.

Para os operadores envolvidos na produção os benefícios incluem: aumento da segurança no trabalho, flexibilidade nas atividades, valorização de grupos sociais, aumento da motivação com a redução de frustração da realização de trabalhos repetitivos.

Os métodos para formação das células podem ser classificados como orientados pelo projeto (*design oriented*) ou pela produção (*production oriented*). Enquanto os métodos orientados por projeto agrupam partes baseando-se em características de seu produto, os métodos orientados por produção o fazem baseando-se nos processos requeridos para sua produção.

As células podem ter seu planejamento elaborado de diferentes formas:

- Leiaute focalizado no produto (em linha): é usado para descrever um tipo de organização da produção em que os departamentos de produção são organizados de acordo com o produto ou serviço produzido. Os produtos ou serviços tendem a avançar em linha ao longo da produção sem sofrer interrupção.
- Leiaute focalizado no processo (funcional): é usado para descrever o tipo de organização na qual as operações de produção são agrupadas de acordo com o tipo

de processo. Todas as operações de produção que tem o processo tecnológico similares são agrupadas para formar um departamento.

- Leiaute celular (Tecnologia de Grupo): A manufatura baseada em células (manufatura celular) representa uma tentativa de combinar a eficiência do layout do produto orientado a um fluxo com a flexibilidade do leiaute de processo orientado a centro de trabalho ou células. As peças devem possuir uma identificação (código), no qual descrevem seu processo de fabricação. Sendo assim, peças com processo de fabricação semelhante podem ser agrupadas em famílias de peças, uma vez que são feitas de forma semelhantes deverão ser agrupadas em uma mesma máquina ou célula reduzindo assim o tempo de preparação da máquina (*setup*).

A seguir temos ilustrada na figura 2 uma Célula de Manufatura composta por um manipulador, uma máquina CNC e uma esteira transportadora para a alimentação da máquina CNC. O manipulador coleta as peças que chegam da esteira e alimenta um torno CNC que após executar sua operação de usinagem, tem a peça retirada pelo mesmo manipulador.



Figura 2- Célula de Manufatura da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica

Os Sistemas Flexíveis de Manufatura possuem um patamar mais elevado em termos de Automação.

Na figura 3 temos ilustradas fotos de um Sistema Flexível de Manufatura onde um transelevador interage com duas máquinas operatrizes CNC-*Computer Numeric Control*. Um sistema de supervisão faz o *schedule* de produção e o transelevador faz o transporte dos *pallets* do *magazine* até as máquinas operatrizes que executarão seus programas de usinagem, e ao terminarem “chamam” automaticamente o transelevador que irá transportar o *pallet* para o *magazine* ou para a outra máquina operatriz conforme o *schedule* de produção. Neste sistema os *pallets* são introduzidos na máquina operatriz e serve como elemento de fixação das peças a serem produzidas.



Figura 3- Sistema Flexível de Manufatura da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica

Células de soldagem robotizada se constituem em um *case* interessante e de grande aplicação nas indústrias automobilística e aeroespacial, tanto as células anteriores como as células de solda robotizadas podem ser previamente construídas no universo digital, agregando os benefícios da Manufatura Digital e do PLM.

Na figura 4 temos uma célula com dois robôs: um para manipulação de peças e outro para soldagem. Entre eles existe um sincronismo de movimentos de forma que o cordão de solda seja confeccionado dentro dos parâmetros especificados pelo setor de planejamento.



Figura 4 - Célula de Solda Robotizada

#### 2.4 Modelagem Digital de Células Robotizadas de Manufatura

A modelagem de um sistema real permite que ele seja analisado por meio da simulação, naturalmente quanto mais preciso o modelamento, mais próximo da realidade será o resultado da simulação.

Em células de manufatura robotizadas a modelagem e simulação são tratadas pela Manufatura Digital, com as ferramentas de CAD, CAM , *Computer Aided Engineering-CAE*, CNC, *Product Data Management- PDM* . As células são modeladas, simuladas e a programação *off line* é executada, os movimentos são gerados pela simulação e é feito o *download* para o robô uma vez que os softwares possuem bibliotecas contendo os modelos matemáticos dos robôs comerciais além de pós-processadores para a programação *off line* (Silva,2004).

Conforme Silva (2004), outros benefícios da simulação em células robotizadas de manufatura são:

- Redução no tempo de produção. É possível determinar o tempo de cada operação, verificar colisões, e verificar as melhores opções de trajetória;
- Verificação da área de trabalho de diversos robôs, disponíveis na biblioteca do software, sem a necessidade de construção da célula;
- Programação flexível e com possibilidade de aplicação de rotinas já desenvolvidas, notadamente onde existe simetria com utilização da função de espelhamento.

Os simuladores gráficos devem apresentar algumas características importantes para serem classificados como úteis e operacionais:

- Simulação gráfica em 3D;
- Cinemática Inversa universal;
- Modelos dinâmicos completos;
- Planejamento de trajetória e tarefas;
- Programação *off line*

Segundo Chan, Kawan (2003), existem alguns passos principais a serem seguidos no modelamento e simulação de células de manufatura robotizadas. A figura 5 ilustra a seqüência proposta pelos autores, onde se propõe a transição do virtual para o real.

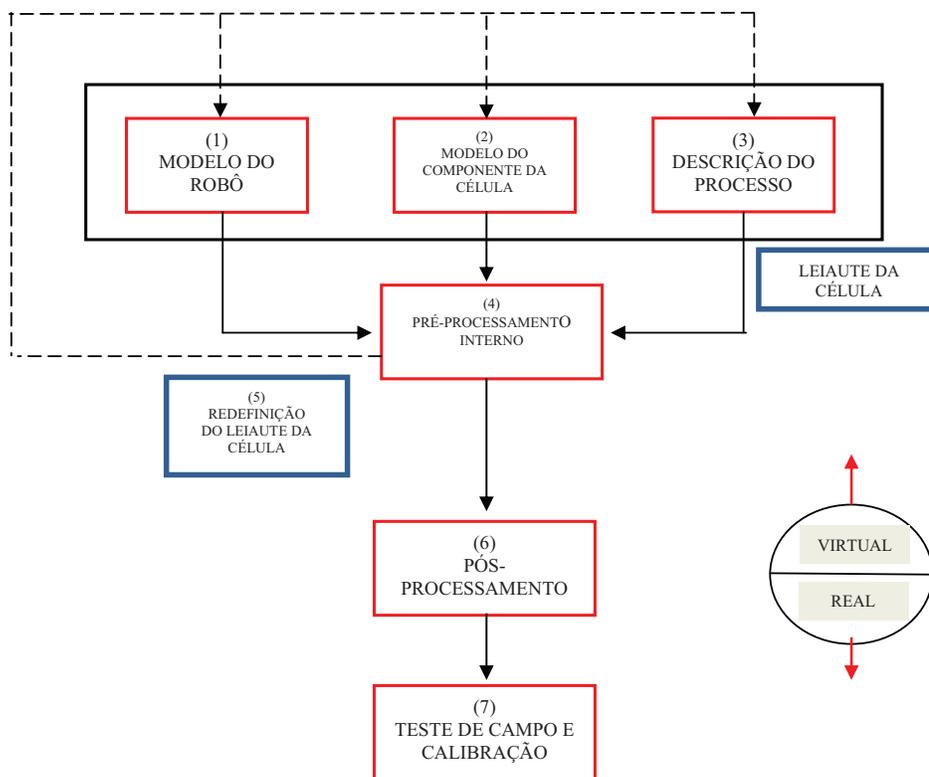


Figura 5- Passos para o modelamento e a simulação de células de manufatura robotizadas segundo Chan, Kawan (2003).

Segundo Osman (1997b), a necessidade da programação *off line* em células de manufatura devido aos benefícios trazidos por ela, criou a necessidade da simulação gráfica e do modelamento de células de manufatura.

Pacotes de *softwares* surgiram ao final da década de setenta com a finalidade de construir digitalmente células de manufatura onde a trajetória dos robôs podem ser modeladas para verificarem-se eventuais colisões entre os robôs e componentes da célula. Além de se fazer a programação *off-line*, como estes softwares eram baseados em modelamentos utilizando-se o *wire frame* como solução gráfica, haviam dificuldades em se detectar de forma automática as colisões. Com a evolução dos computadores na década de oitenta, a manipulação de entidades sólidas passou a ser possível, e algoritmos inteligentes passaram a fazer parte de softwares como o ROBCAD, o CIMSTATION e o IGRIP.

Segundo Orady,Osman (1997b) na seleção de um ambiente de simulação devem ser consideradas as seguintes características :

- Bibliotecas disponíveis para seleção dos robôs e modelamento das células;
- A qualidade da animação na visualização do processo;
- Possibilidades para definição de novos robôs e componentes da célula;
- Compatibilidade com outros softwares de CAD para a importação de modelos a serem utilizados na célula que se está modelando;
- Velocidade de processamento;
- Isenção de erros nos programas gerados para os robôs;
- Existência de módulos específicos para tarefas específicas como solda, pintura e outros;

Os softwares de modelamento e simulação *off-line* permitem hoje o cálculo e a otimização dos tempos de ciclo de trabalho com diversos robôs dentro de células de manufatura complexas, utilizando modelos gráficos em 3D com o virtual simulando o real de maneira a atender perfeitamente os requisitos dos processos. Como exemplos de softwares deste nível podem ser citados: (UGS, 2006), (ABB, 2005), (Easy-Rob, 2007),(KUKA, 2007), (BYG, 2007).

Podemos citar também o DELMIA da *Dassault Systemès* que agrega o CATIA V5, permitindo a elaboração dos modelos em 3D e todas as funcionalidades comentadas anteriormente para um *software* de modelamento e simulação *off-line*. Este *software* será utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

Na figura 6 vemos o modelamento de uma célula de manufatura para montagem de partes que será utilizada neste trabalho para o desenvolvimento da metodologia proposta em termos de ensino da Manufatura Digital.

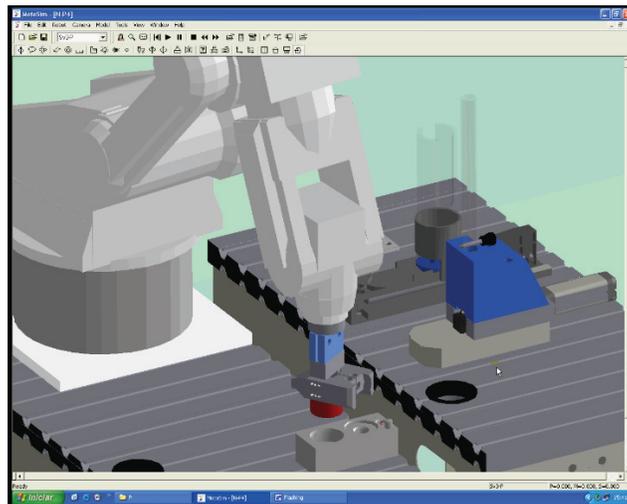


Figura 6- Modelamento de Célula de Manufatura Robotizada para montagem de partes de um produto.

## 2.5 Ensino por competências

A abordagem Pedagógica neste trabalho tem o foco no ensino da Tecnologia, notadamente no ensino da Manufatura Digital - PLM, que é o tema do desenvolvimento prático-experimental aplicado e analisado no decorrer dos próximos capítulos deste trabalho.

Segundo Bazzo (2009), é preciso um controle no manejo de tecnologias fazendo um balanço da relação benefício-malefício do desenvolvimento científico e tecnológico para a sociedade e, nesse sentido, é preciso proporcionar, a toda a população, uma educação científica e tecnológica crítica, pois a ausência de conhecimento leva à falta de responsabilidade.

O contexto do trabalho tem mudado de forma acelerada, com as inovações tecnológicas, a competitividade exacerbada, inovações constantes e neste cenário o conhecimento ganha um *status* de elemento fundamental no incremento da competitividade nas corporações. Surge, portanto a necessidade de se pensar em Metodologias de Ensino que produzam conhecimento em face aos novos cenários, e não apenas divulgue conhecimentos consagrados em cenários anteriores.

E educação profissional sofre as repercussões dos novos cenários, pois o perfil profissional dos egressos das instituições de formação profissional não pode estar desvinculado desta realidade. As organizações curriculares dos cursos, em geral, carecem de uma sintonia com o que ocorre e com o que irá ocorrer nas corporações. Infelizmente no Brasil, o ritmo das mudanças tem ainda forte influência das inovações que não necessariamente vem do meio acadêmico do país, mas das corporações que, neste caso sim, também assimilam resultados de desenvolvimento de pesquisas de instituições de ensino de países onde se investe maciçamente no desenvolvimento e pesquisa.

Uma proposta deste trabalho é utilizar a Metodologia de Ensino por Competências nesta área da Manufatura Digital – PLM que se constitui um terreno interessante, dado ao seu caráter interdisciplinar e desafiador em termos de inovação e solução de problemas.

Segundo o Conselho Nacional de Educação (CNE) na Câmara de Educação Básica (CEB)- CNE/CEB nº 04/99 e o Parecer CNE/CEB nº 16/99, tem-se a definição de Competência, que ilustramos de maneira gráfica na figura 7.

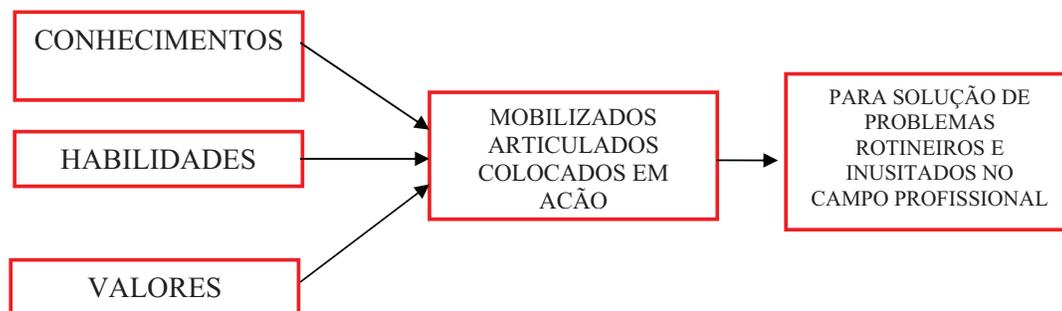


Figura 7- Definição de Competência segundo CNE/CEB Nº 04/99 - Parecer Nº 16/99.

Segundo o Documento “Norteador da Prática Pedagógica- Formação com base em Competências” do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial-SENAI (2006), trabalhar na perspectiva pedagógica de Competências nos remete a uma prática pedagógica que possui algumas características importantes:

- Partimos de desafios, problemas ou projetos sendo uma metodologia ativa centrada no sujeito que aprende;
- Foco no aprender, o que é preciso aprender hoje e no futuro;
- Valoriza o docente como mediador e facilitador da aprendizagem;
- Visa formar alunos com autonomia, iniciativa e proatividade, capazes de solucionar problemas, alcançar a metacognição, realizar a auto-avaliação e por consequência, conduzir sua autoformação e aperfeiçoamento;
- Enfatiza a importância do planejamento sistemático das atividades pedagógicas pelos docentes em termos de atividades e projetos para o exercício das competências pretendidas, bem como o processo de avaliação.

Segundo Perrenoud (1999), a “Revolução das Competências” só acontecerá se, durante a formação profissional, os futuros (e atuais) docentes experimentá-la pessoalmente.

Segundo as Metodologias para Desenvolvimento e Avaliação de Competências do SENAI - DN (2003), o ponto de partida de todo o processo que se propõe na Metodologia de Ensino por Competências é a elaboração dos perfis profissionais baseados em competências por Comitês Técnicos Setoriais. Os Comitês são propostos como órgãos técnico-consultivos integrados por especialistas dos setores tecnológicos (das indústrias, do meio acadêmico e do SENAI), representantes dos respectivos Sindicatos dos Empregados e Empregadores e/ou Associações, e quando possível, do poder público, sendo responsáveis pela identificação de qualificações profissionais demandadas e pela elaboração dos respectivos perfis profissionais baseados em competências.

O trabalho desenvolve-se a partir de uma primeira aproximação em termos do que se espera que um trabalhador realize no campo profissional, considerando as demandas atuais e previsíveis em médio e longo prazo, construindo-se uma estrutura inicial da qualificação,

constando de objetivo-chave, funções e subfunções. Posteriormente realiza-se o refinamento da descrição do perfil considerando o referencial conceitual proposto, seguindo-se as etapas do método propriamente dito:

- Definição da Competência Geral;
- Estabelecimento das Unidades de Competência;
- Identificação de Elementos da Competência;
- Estabelecimento de Padrões de Desempenho;
- Estabelecimento do Contexto de Trabalho da Qualificação Profissional;
- Configuração do Perfil Profissional;
- Identificação de Unidades de Qualificação.

Assim, a metodologia apóia-se em um enfoque funcional-dedutivo – parte-se da definição da competência geral da qualificação profissional em foco, e segue-se o desdobramento, num primeiro nível, em unidades de competência, e em um segundo nível, em elementos de competência, estabelecendo-se, ainda, para cada elemento, os respectivos padrões de desempenho. O perfil inclui também a descrição do contexto profissional da qualificação, contendo informações de natureza técnica, organizacional e sócio-profissional referentes à qualificação.

As unidades de competência, com seus respectivos elementos e padrões de desempenho, envolvem competências básicas (fundamentos técnicos e científicos), específicas (capacidades técnicas) e de gestão (capacidades organizativas, metodológicas e sociais). Englobam, portanto, não somente as capacidades técnicas requeridas para o exercício de uma atividade, mas também um conjunto de comportamentos interativos, como tomada de decisões, comunicação com o ambiente, organização do trabalho ou outros necessários ao pleno desempenho em um campo profissional.

Segundo as Metodologias para Desenvolvimento e Avaliação de Competências do SENAI - DN (2003), para buscar a aplicação bem sucedida da Metodologia de Ensino por Competências é necessário repensar a prática pedagógica, caminhando para uma prática

dialógica e de mediação, pautada em estratégias que estimulem a participação ativa dos alunos no desenvolvimento de suas competências.

Segundo o Norteador da Prática Pedagógica- Formação com base em Competências do SENAI - DN (2006), esta nova prática deve apoiar-se no planejamento sempre renovado dos próprios docentes e na avaliação formativa como prática processual, contínua e diagnóstica de acompanhamento do desenvolvimento das competências, como já mencionado anteriormente. Devem também estar centrada em desafios, situações-problema, projetos, que favoreçam a contextualização e a integração, sempre dinâmica, de conhecimentos, habilidades e atitudes, que propiciem, enfim, sua “mobilização em contexto”, conforme explicita o conceito de competência.

A prática da interdisciplinaridade deve ser considerada o fio condutor para o desenvolvimento de Competências, pois o trabalho baseado em situações problema, desafios e projetos, requerem a prática interdisciplinar.

## **2.6 Métodos Interacionistas e a Mediação da Aprendizagem**

A aplicação da Metodologia do Ensino por Competências prevê a utilização de Métodos interacionistas.

O mundo do Trabalho exige hoje a multifuncionalidade, trabalho em equipe, cooperação, interação, descentralização de decisões, responsabilidades compartilhadas em relação aos resultados, em contrapartida o mundo da Educação deve dar conta destas demandas fornecendo aos futuros profissionais as habilidades para interpretar e lidar com situações novas, comunicar-se de forma satisfatória, decidir com autonomia, pensar estrategicamente, resolver problemas, avaliar resultados, lidar com padrões de qualidade e de desempenho.

Neste cenário a Educação deve ter o foco na qualificação numa abordagem que propicie a competência e favoreça a polivalência, a capacidade de agir, intervir e decidir em situações nem sempre previstas com a mobilização de saberes para dominar situações concretas de trabalho, transpondo experiências adquiridas de um contexto para outro.

O uso de atividades desafiadoras, conforme ilustra a figura 8, que planejadas pedagogicamente, consideram a intersecção entre o difícil e o possível para o aluno num determinado momento. As atividades desafiadoras devem ser contextualizadas, ter valor sociocultural, evocar saberes e propor a solução de um “problema”, que exija tomada de decisão, testagem de hipóteses e transferência de aprendizagens, ampliando no aluno a consciência de seus recursos cognitivos.



Figura 8- Situações de Aprendizagem.

Na Metodologia de Ensino por Competência a linha do Interacionismo de Piaget, Vygotsky, Feuerstein é utilizada como um recurso importante da ação docente. Em relação ao Interacionismo, a Figura 9 ilustra a questão que fundamenta esta visão, ou seja, o sujeito compreende o mundo externo por meio da interação, o que é objetivo passa a ser internalizado e o que é subjetivo pode ser externalizado.



Figura 9- Conceituação do Interacionismo.

Em particular o trabalho de Reuven Fuerstein na questão da Mediação da Aprendizagem tem uma influência importante na aplicação da Metodologia de Ensino por Competências. Segundo Fuerstein a Mediação é um tipo de interação entre alguém que ensina (o mediador) e alguém que aprende (o mediado). Essa interação deve ser

caracterizada por uma interposição intencional e planejada do mediador que age entre as fontes externas de estímulo e o aprendiz.

O docente participa neste processo, em alguns momentos, como mediador entre o aluno e o conceito ou objeto a ser aprendido, na Metodologia de Ensino por Competências se trabalha com situações problema, desafios ou projetos, com a Mediação o aluno irá adquirir a autonomia para dar solução aos desafios sendo colocado em contato com os conceitos necessários para encontrar alternativas de solução por meio da utilização de conhecimentos tácitos do aluno, o que tornará a aprendizagem significativa e passível de transferência para outras situações, conforme David Ausubel aprendizagem significativa é aquela que se relaciona, se interliga a aprendizagens já realizadas, a conteúdos pré-existentes no sujeito. A interação mediadora, como processo dialógico, se utiliza da pergunta como ferramenta fundamental. As perguntas devem ajudar o aluno a lidar com o novo e desenvolver habilidades mentais mais complexas. A figura 10 ilustra a interação mediada.



Figura 10 – Mediação da Aprendizagem.

Segundo Fuerstein os critérios de mediação são:

- Intencionalidade e reciprocidade
- Transcendência
- Significado
- Sentimento de competência
- Planejamento e alcance de objetivos
- Individuação e diferenciação psicológica
- Otimismo
- Adaptação a situações novas ou aceitação de desafios
- Comportamento de compartilhar
- Conscientização da capacidade de automodificar-se (mudança estrutural)

- Sentimento de pertinência

Dentro da Metodologia o docente atua como mediador quando:

- Tem um papel parceiro na aprendizagem.
- É uma testemunha privilegiada do embate entre o mediado e o ambiente.
- É um observador do comportamento do mediado, avaliando-o e favorecendo seu progresso, sua melhoria no pensar.
- Instaura uma relação de ajuda e não de sancionamento, de coerção.
- Tem uma tarefa essencial de organizar o contexto.
- Cria e propõe situações-problema adequadas.
- Consegue colocar-se no lugar do outro, perceber sua lógica e suas intenções.

Nesta revisão bibliográfica referente à Manufatura Digital, destaca-se que as abordagens de Kuehn (2006) relativa à simulação, a da CIMdata (2006) focando o trabalho colaborativo e a de Slansky (2006), que ressalta abrangência, cada uma delas trazem contribuições relevantes e diversas, porém num contexto mais amplo, são complementares e pertinentes cada uma com o seu enfoque.

Relativamente ao PLM, a revisão bibliográfica mostra também abordagens diversas como a de Rowe (2006), que olha para o PLM com um enfoque no repositório de dados, como a de Slansky(2006), que ressalta a otimização e sincronismo da produção, a de Teresko (2006), que destaca o suporte ao planejamento e à colaboração e a de Santos (2007), que referencia o PLM como meio para a agilidade e flexibilidade do negócio. Consideram-se também estas abordagens complementares e pertinentes nos seus enfoques.

Após esta revisão bibliográfica cabe salientar também que neste trabalho o ensino da Manufatura Digital – PLM está suportado pela Metodologia de Ensino por Competências, pois o caráter interdisciplinar do estudo desta área requer uma Metodologia de ensino que enfatize a solução de problemas e o desenvolvimento de projetos colaborativos, viabilizado a interação, mediação no âmbito acadêmico, e a aplicação de plataformas de *software* que gerenciem os dados de engenharia nestes projetos.

## Capítulo 3

### Ferramentas para a Implementação de Sistemas de Manufatura Inteligente

#### 3.1 O Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto- PLM e a Manufatura Digital

O PLM tem um enfoque estratégico nas empresas, pois por meio dele é articulada a criação, a colaboração, as diretrizes e a disseminação dos produtos com todos os seus requisitos. O PLM evita a segregação de profissionais, ao disponibilizar os dados de forma pertinente, permitindo que, dentro de um fluxo de trabalho previamente elaborado, os profissionais de diversas áreas atuem em colaboração de maneira articulada. Portanto podemos afirmar que o PLM articula pessoas, informações e processos através do ciclo de vida do produto.

O tradicional PDM teve seus limites expandidos por meio do PLM, pois permitiu que os dados e arquivos pudessem ser organizados em termos de versões, controle de revisões, hierarquização de permissões, tudo isto e outros atributos articulando times de projeto geograficamente dispersos. Estes outros atributos envolvem gerenciamento de recursos, de pessoas, de vendas, de *marketing*, *feedback* de clientes.

São derrubadas as barreiras que retardam a comunicação entre a engenharia e a manufatura, e entre estes dois em relação aos clientes e fornecedores de forma dinâmica e precisa melhorando a qualidade do que se produz e a eficiência para se produzir. A figura 11 ilustra esta expansão de limites do PLM, com a utilização da plataforma metodológica suportada pela tecnologia da informação - TI.

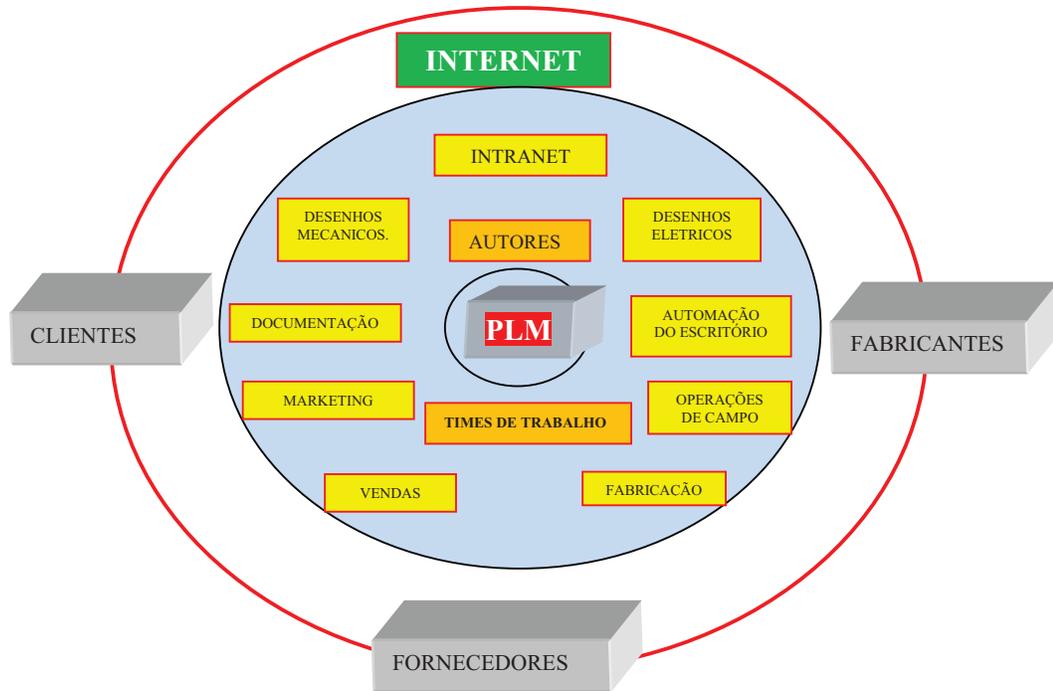


Figura 11- A utilização do PLM na expansão dos limites de integração nas corporações.

O ciclo de vida de um produto pode ser expresso em seis etapas conforme ilustra a figura 12.

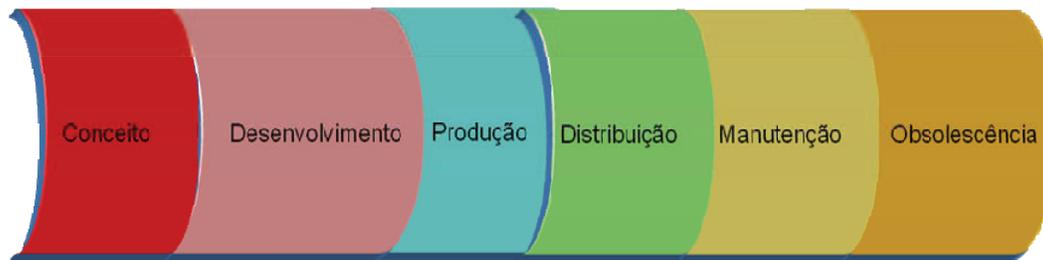


Figura 12- Etapas do Ciclo de Vida do Produto

Algumas características do uso do PLM nas corporações como uma metodologia de trabalho que suporta a Manufatura Digital, são descritas a seguir.

A integração e troca de informações em toda a cadeia de colaboradores, ocorre independentemente de dispersão geográfica.

Torna-se fácil e rápida localização de informações, facilitando o reuso das mesmas reduzindo custos.

As informações são precisas, destinadas às pessoas certas, no tempo adequado e disponível no desktop do usuário de forma automática obedecendo ao Workflow estabelecido.

É realizado o controle nos acessos e nas alterações feitas pelos diversos usuários, evitando o uso de arquivos desatualizados, o sistema de controle dos processos envolvidos no negócio é automático e consistente, como aquisição de materiais, configurações no gerenciamento dos processos, ordenamento de tarefas de concepção e manufatura de produtos.

Mantém-se o processo com a consistência necessária às Normas da corporação (Six Sigma, ISO, e outras), faz-se a aquisição e mantém-se o histórico do ciclo de vida dos produtos, dos processos, das alterações realizadas, e dos contextos de desenvolvimento.

O PLM prove soluções que permitem as discussões e a colaboração entre os usuários em relação ao desenvolvimento dos produtos e dos processos, é rápida a adaptação da solução PLM a novos contextos de mercado.

Com o PLM existe a proteção do Capital Intelectual acumulado ao longo dos ciclos de vida dos produtos pertencentes ao portfólio da corporação. Para contemplar estas características enquanto metodologia, uma solução PLM deve possuir atributos que definem a razão por se optar por um determinado *software* dentre as opções de mercado.

A arquitetura deve ser distribuída, os acessos são controlados e identificados de acordo com os arquivos acessados sendo protegidos contra modificações não autorizadas. Todos os dados e alterações são sincronizados, por meio de um gerenciamento de banco de dados relacional onde se geram metadados (dados com informações coletadas durante o ciclo de desenvolvimento dos trabalhos). Estes metadados normalmente armazenam datas de criação de arquivos, usuário, revisão e outras informações estatísticas do documento acessado. Outras informações sofisticadas podem ser agregadas como: definições dos principais componentes do projeto, estrutura de produtos, definição do fluxo de trabalho, permissões de acesso para diferentes usuários.

A Integração de diferentes *softwares* deve permitir ao usuário acessar o PLM utilizando aplicativos diversos nos quais ele esteja confortável em termos de utilização, para isto a solução PLM deve estar habilitada a trabalhar em múltiplas plataformas.

A troca de dados e relatórios integrando toda corporação permitindo a comunicação com entrada e saída de informações entre aplicações do tipo *Enterprise Resources Planning* - ERP, *Supply Chain Management*- SCM e *Customer Relationship Management*-CRM, entre suas ferramentas de CAD para a sua solução PLM, permitindo o reuso de informações subsidiando decisões estratégicas.

O sistema deve possibilitar um fluxo de dados e informações que seja subordinado a uma lógica estabelecida para este fluxo, permissões, hierarquia, atribuições entre usuários e grupo de usuários usam de gatilhos para eventos, vinculação de contingências, customizável de acordo com o contexto da organização. É o que normalmente se chama de *Workflow*.

Deve haver disponibilidade do sistema para uma rápida procura e rápido retorno sobre itens, sobre o processo ou o *Workflow*, para informe do usuário sobre o *status* do projeto.

A visualização do processo de colaboração entre times, usuários e coordenação, deve ocorrer de forma clara e objetiva, com registros de resultados de reuniões e aprendizados durante o processo e identificação de documentos.

O gerenciamento de alterações deve prover aos usuários e aos times a atualização constante e precisa dos dados ou arquivos alterados no produto ou no processo, permitindo aos usuários trabalhar sempre com as informações atualizadas. Ao sistema este gerenciamento irá permitir que o histórico do ciclo de vida do produto seja guardado de forma fiel a todos os eventos ocorridos ao longo do ciclo;

O gerenciamento dos materiais envolvidos no processo, naturalmente se constitui numa parte importante na solução PLM. A Manufatura Digital utiliza dados da estrutura de materiais de engenharia *Engineering Bill Of Materials* (EBOM), para criar a estrutura de materiais de produção *Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM) e a estrutura de processos *Bill Of Processes* (BOP). Estas estruturas, mais o gerenciamento

dos recursos produtivos – tais como ferramentas, máquinas, células de trabalho, operadores e robôs – geram dados agrupados em produtos, processos e recursos da planta produtiva, que são criados e mantidos no repositório central de dados. A solução PLM deve permitir estabelecerem-se quantidades, números de lotes, dos aplicativos de CAD, podem-se transferir os dados relativos aos materiais para os processos, isto permite um bom planejamento em todas as áreas incluindo manufatura, finanças e qualidade.

O gerenciamento do histórico do PLM é fundamental tanto para o reuso de informações quanto para a verificação da coerência dos processos com as diversas normas como ISO, agências regulatórias, *Food and Drug Administration* (FDA), que envolvem a segurança do consumidor. A solução PLM deve possuir agilidade e compatibilidade para atender às mudanças advindas de sistemas regulatórios dos governos, das normas, e das entidades envolvidas na comercialização de produtos em geral.

A disponibilidade de informações sobre o produto ou processo deve atender a um modelamento abrangente de dados, ou seja, o PLM deve fornecer informações sobre diversos aspectos do produto ou do processo para atender à demanda dos diferentes usuários destas informações.

A segurança da solução PLM é um fator decisivo, pois os usuários ou grupos de usuários devem passar por controles de acessos com senhas ou assinaturas digitais, obedecendo a hierarquias para interferências ou aquisição de informações sobre o produto ou processo. A inclusão de comentários, registros de *log* e eventos no sistema, e todos os registros necessários contribuem para a segurança do sistema quanto à integridade e coerência com os requisitos estabelecidos para o produto e para os processos, protegendo assim o capital intelectual e a imagem da empresa no mercado.

A colocação em operação da solução PLM deve ocorrer em questão de semanas para que a empresa possa desfrutar o mais rápido possível do investimento realizado para a implantação da solução, colhendo os benefícios do PLM.

A administração da solução PLM deve ser fácil e com mínimos custos em relação a suporte técnico, isto deve ser um requisito decisivo no momento da escolha da solução PLM.

A solução PLM e o hardware devem permitir a instalação e operação de novos *releases* do *software*, naturalmente a escolha deve levar em conta o porte da corporação e as perspectivas de crescimento, pois as soluções PLM disponíveis no mercado podem ser customizadas conforme o porte da empresa ou corporação.

A título de situar os benefícios da utilização de uma solução PLM, trazendo para um levantamento de um *casem* específico. Fonte: Cimdata em Março de 2005, no quadro 1 uma descrição dos benefícios estimados numa empresa de médio porte com a aplicação de uma solução PLM.

| <b>Aspecto Analisado</b>   | <b>Benefício Estimado</b> |
|--|---------------------------|
| Redução no tempo utilizado procurando os documentos corretos                                 | <b>54%</b>                |
| Redução no custo para administrar modificações de engenharia                                 | <b>41%</b>                |
| Redução no custo para executar modificações de engenharia                                    | <b>40%</b>                |
| Redução no custo para corrigir erros na estrutura de produto                                 | <b>35%</b>                |
| Redução de custos com a sincronização de informações entre as diversas localidades (plantas) | <b>35%</b>                |
| Redução no “ <i>Time to Market</i> ”   | <b>32%</b>                |
| Redução no ciclo de modificações de engenharia   | <b>32%</b>                |
| Redução de retrabalhos por ano   | <b>32%</b>                |
| Redução no número de modificações por ano  | <b>31%</b>                |
| Redução em viagens   | <b>25%</b>                |
| Economia das horas trabalhadas por ano   | <b>18%</b>                |
| Tempo ganho em gerenciamento de projetos   | <b>10%</b>                |
| Redução no tempo dos orçamentos  | <b>7%</b>                 |

Quadro 1- Benefícios obtidos na aplicação de uma solução PLM (Fonte: CIMdata em Março de 2005)

Simplificadamente as etapas de concepção e manufatura de um produto consideram a seguinte seqüência: concepção do produto, análise de engenharia, simulação de manufatura do produto, opcionalmente a coleta de *feedback* sobre o produto concebido virtualmente vindo de clientes especialmente selecionados para este fim, onde o produto é apresentado com ferramentas de realidade virtual, implementação de adequações no produto por meio do *feedback* colhido, concepção da linha produtiva, concepção da automação desta linha, simulação *off-line* das células de produção e análise de gargalos produtivos, conforme ilustra a figura 13.

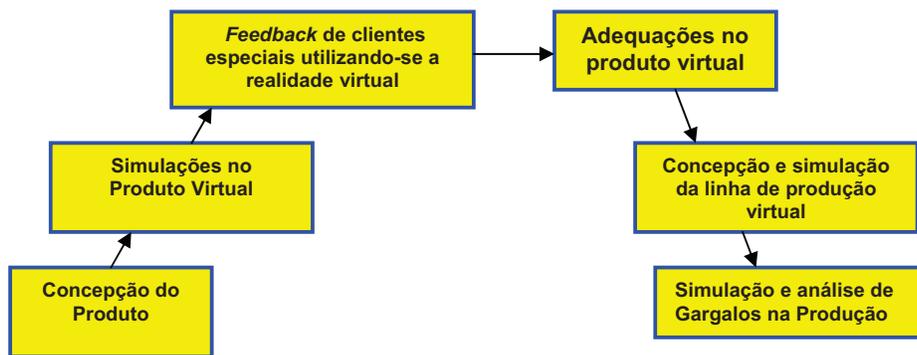


Figura 13 - Etapas de Concepção do Produto e de Simulação do Processo de Manufatura Digital.

A inter-relação virtual com aplicações do tipo *Enterprise Resources Planning* - ERP, *Supply Chain Management*- SCM, *Customer Relationship Management*-CRM e o Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto - *Product Lifecycle Management* (PLM), criam um entrelaçamento de *softwares*, sistemas e metodologias, que podem atribuir à visão dos “5 A’s”, comentada na introdução deste trabalho, uma condição de uma visão factível.

A figura 14 ilustra o gerenciamento das informações e dados sobre o produto, representados como sendo uma plataforma que envolve e suporta a seqüência de etapas da Manufatura Digital e o histórico das alterações realizadas tanto no produto como na linha produtiva, levando-se em conta o *feedback* dos clientes especialmente selecionados para esta finalidade.

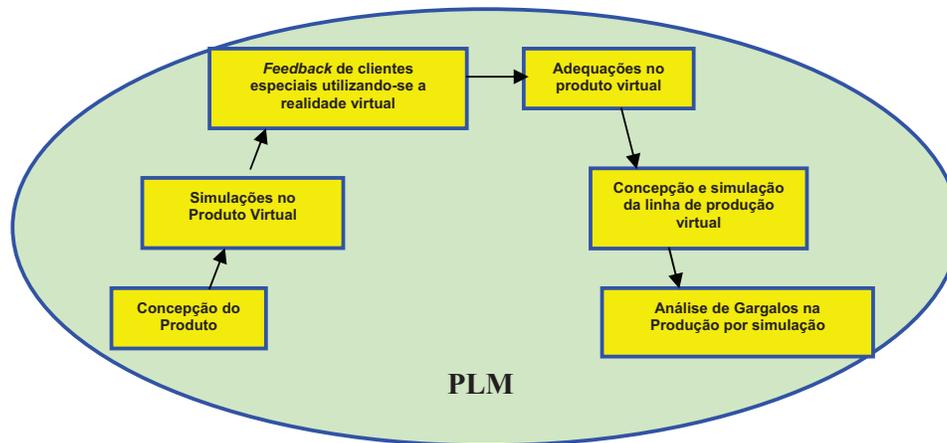


Figura 14- Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM)

O PLM simbolizado na figura anterior como uma envoltória nas etapas da Manufatura Digital, atua na prática fazendo o gerenciamento de documentos e arquivos do produto e do processo, integrando diferentes plataformas de software importando e compatibilizando estes arquivos. O PLM configura também o gerenciamento de todo o processo criativo do produto e do processo até o final do ciclo de vida de ambos, automatizando todo o processo, viabilizando o trabalho colaborativo e a integração corporativa em todas as atividades que a direção da empresa ou corporação julgar conveniente.

A engenharia das empresas que atuam hoje sem a utilização do PLM, normalmente tem que investir boa parte do seu tempo analisando dados, informações técnicas sobre produtos e cálculos, restando um tempo menor para modificações, melhorias ou criação de novas alternativas em termos de produto ou processo. Este tempo de análise de dados e cálculos é absorvido pelo PLM, que uma vez alimentado com os dados pertinentes, pode realizar o cruzamento de dados técnicos e mediante os resultados fornecer alternativas viáveis para o negócio de forma ágil.

Tudo isto confere à empresa um vantagem competitiva interessante pois amplia o potencial criativo e de inovação da sua equipe de engenharia. No sistema colaborativo o produto ou partes dele podem ser objeto de discussões *on line*, entre times de engenharia que podem estar dispersos geograficamente falando, porém todos os resultados destas discussões são armazenados no sistema e podem servir de referencial para futuras modificações nos produtos ou processos.

### 3.2 Estruturação de Sistemas de Manufatura Digital

A Manufatura Digital suportada por soluções PLM permite a transição da concepção virtual para a concretização do produto de forma controlada, com o histórico das alterações realizadas ao longo do processo pelos times de engenharia envolvidos.

A figura 15 ilustra de maneira lúdica esta transição onde existe na prática uma realimentação do mundo real para o mundo virtual, promovendo as alterações e melhorias de acordo com o contexto do mundo real.

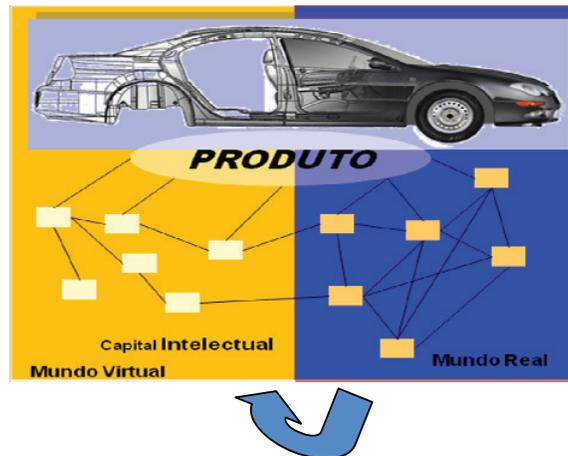


Figura 15- Transição virtual – real (Fonte-IBM)

O que move o surgimento de novas tecnologias e metodologias é a necessidade de inovação. Existe um jargão no mercado que diz “inovar ou sair do mercado”, e, neste sentido, a inovação ganha um combustível especial com a Manufatura Digital-PLM. Na figura 16 temos uma ilustração que posiciona graficamente as diferentes formas de inovação e suas características, sendo que a que traz mais dividendos é aquela que trabalha com a quebra de paradigmas como, por exemplo, a Chrysler com as *Mini-Van*, e a Sony com o *Playstation*.

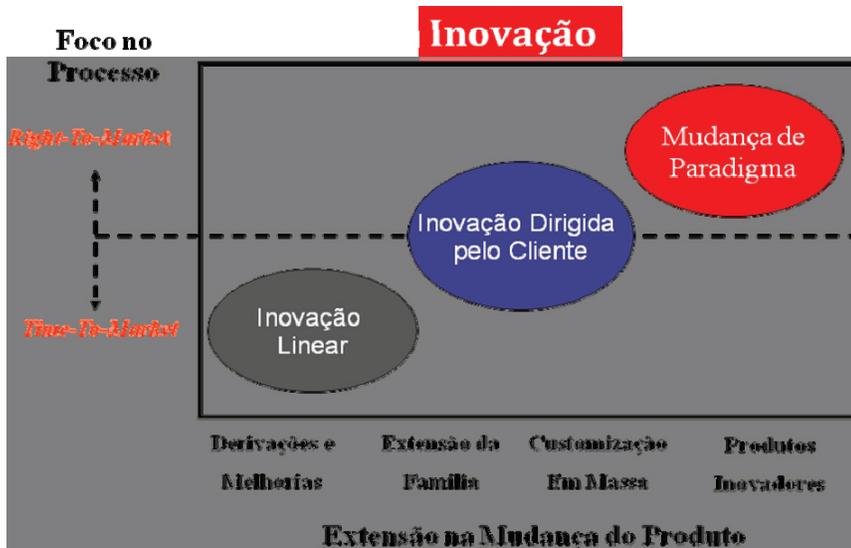


Figura 16- Formas de Inovação e suas características (Fonte IBM)

Em termos de Manufatura Digital vemos historicamente uma evolução desde o desenho em 2D até os modelos parametrizados e fruto de trabalhos colaborativos gerenciados pelo PLM, conforme ilustra a figura 17.



Figura 17- Manufatura Digital do 2D ao knowledge (Fonte- Dassault)

Sistemas de Manufatura Digital se estruturam a partir de diversas ferramentas de *software* para concepção, simulação / análise e manufatura que passaremos a comentar a seguir.

### 3.3 Descrição de Ferramentas para concepção virtual de produtos

As ferramentas de desenho têm sua origem em tempos remotos, Leonardo Da Vinci já iniciava seus projetos com desenhos que eram normalmente inteligíveis somente pelo próprio autor. A figura 18 ilustra um esboço de Leonardo Da Vinci.

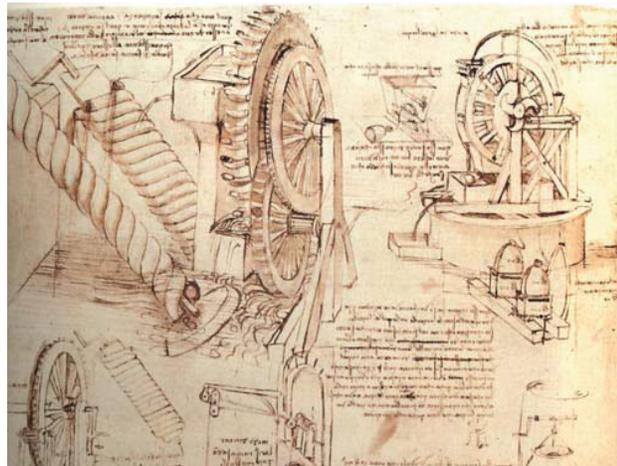


Figura 18- Esboços de Leonardo Da Vinci (Fonte- Dassault)

O desenho em 2D dominou os projetos nas empresas com os tradicionais escritórios de suas pranchetas de desenho conforme foto da figura 19.



Figura 19- Escritório de projetos década de cinquenta. (Fonte- Dassault)

Com as inovações em termos de tecnologia os desenhos em 2D passaram a compartilhar o espaço com desenhos em 3D. A figura 20 mostra um mesmo desenho em 2D e em 3D.

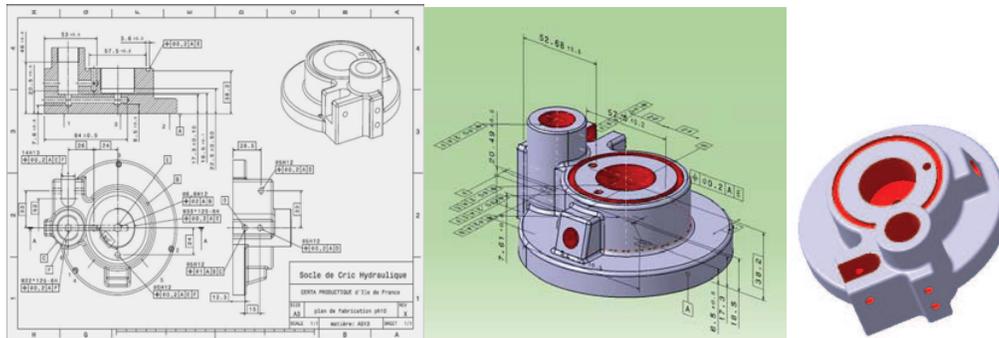


Figura 20- A evolução na documentação técnica.

Os produtos passam a ser modelados em CAD 3D conforme ilustração na figura 21.

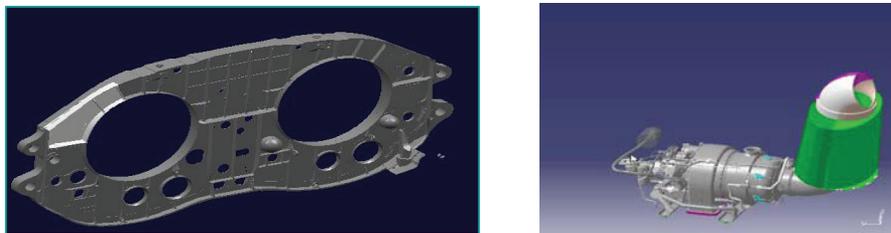


Figura 21- Modelamento em CAD 3D

As montagens de partes e de conjuntos se viabilizam em CAD 3D, incluindo a simulação dos movimentos dos mecanismos, conforme figura 22.

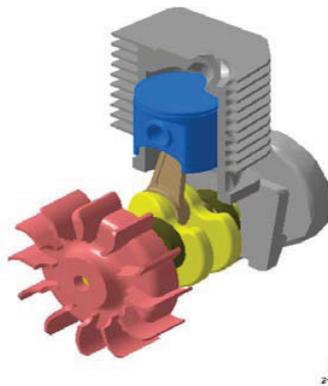


Figura 22- Montagem de Conjuntos e Simulação de Funcionamento.

Os produtos e suas partes uma vez concebidos podem ser manufaturados de forma virtual utilizando o software de CAM, conforme figura 23 com a árvore de criação do Processo.

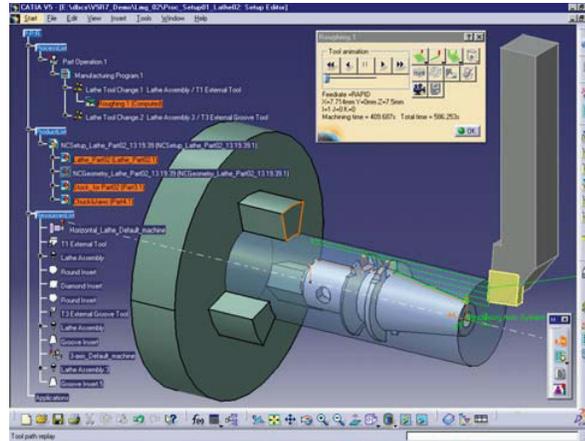


Figura 23- Simulação do Processo de Manufatura – CAM.

No processo de simulação da manufatura do produto após modelamento, estabelece-se configuração das estratégias de usinagem, Geometria, ferramentas, dados de corte e macros de entrada e saída. Por meio de um pós processador gera-se o programa para a máquina CNC a ser utilizada no processo através do Direct Numeric Control- DNC o programa será lido e executado pela máquina.

A análise de engenharia do produto sujeita o modelo a esforços para a validação do produto, com cálculos envolvendo elementos finitos, *Finite Element Analysis – FEA*, a figura 24 ilustra o processo de análise de um produto

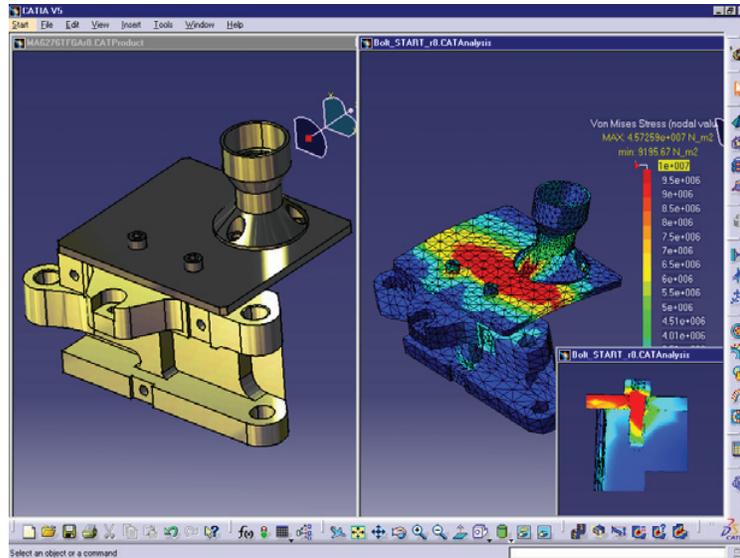


Figura 24- Processo de análise de um produto

A figura 25 contrapõe a usinagem virtual e a usinagem real de um produto e mostra o programa gerado para a máquina CNC.



Figura 25- Usinagem Virtual- Programa gerado para a máquina CNC - Usinagem Real.

### 3.4 A Manufatura Digital e a Automação dos Processos de Produção

A delimitação das áreas de Automação Industrial e Mecatrônica podem ser visualizadas por meio da natureza dos processos em que cada uma das áreas tem seu

foco. A Automação abrange os processos contínuos onde a instrumentação e os tratamentos de sinais analógicos em sistemas de controle constituem-se num importante foco de atuação. Os processos com sinais discretos na Automação da Manufatura podem ser vistos como uma de interseção entre a Automação Industrial e a Mecatrônica.

A Mecatrônica tem sua ênfase o controle de processos discretos, notadamente no âmbito da Manufatura propriamente dita (Controle Numérico Computadorizado/ Sistemas Flexíveis de Manufatura/ Robótica, e outros), e na Manufatura Digital (CAD- Desenho Assistido por Computador, CAE- Análise de Engenharia Assistida por Computador, CAM- Manufatura Assistida por Computador, CAT- Controle/Teste Assistido por Computador e o PLM- Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto). A figura 26 ilustra a Mecatrônica e as disciplinas que compõe esta área, o que será útil para visualizar a delimitação da abrangência deste trabalho.

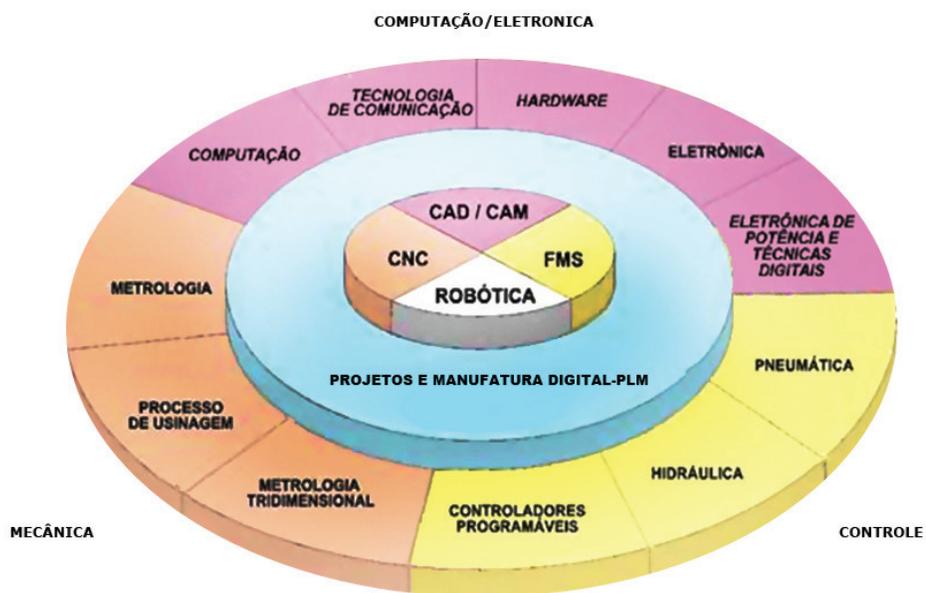


Figura 26- Mecatrônica e as disciplinas envolvidas

Portanto o foco deste trabalho situa-se em processos de Manufatura, onde a característica de controle dos processos é predominantemente discreta, ou seja, os processos contínuos não constitui o foco de aplicação da integração das Metodologias que estão propostas neste trabalho, neste momento e no cenário da Manufatura Digital. Não obstante, cabe-se salientar que não haveria dificuldade na ampliação do escopo para processos contínuos em futuros estudos, pois a natureza e o tipo de controle não se

constituiriam em obstáculos para aplicação da Metodologia proposta. Como o ambiente onde se desenvolveram os *cases* que serão descritos, são ambientes de Manufatura, onde trata-se especificamente da Manufatura Digital, delimita-se desta forma a abrangência para as considerações feitas neste trabalho.

No estudo feito pela Berliner Kreis (2007) fica claro o divisor de águas a partir da década de sessenta, quando a virtualidade começa a alterar o padrão no desenvolvimento de produtos, gerando a possibilidade e a necessidade de uma engenharia colaborativa e multidisciplinar tendo como suporte a Mecatrônica. Na figura 27 o referido estudo coloca os aspectos que ganharam importância, a partir do momento em que o desenvolvimento de produtos passa a usar a virtualidade.

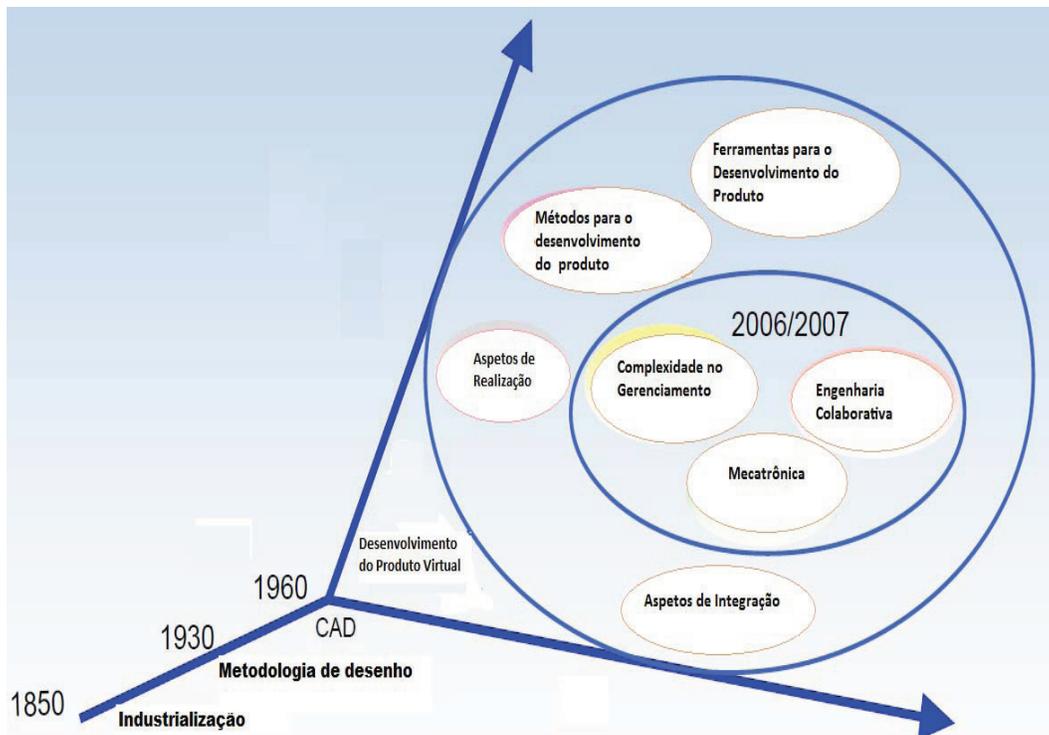


Figura 27- Evolução nos processos de desenvolvimento de produtos (fonte- Berliner Kreis-2007- Nota: Tradução)

A Mecatrônica com a sua característica multidisciplinar vêm de encontro com a complexidade contida nos produtos e em suas linhas de produção, a figura 28 ilustra esta característica multidisciplinar.

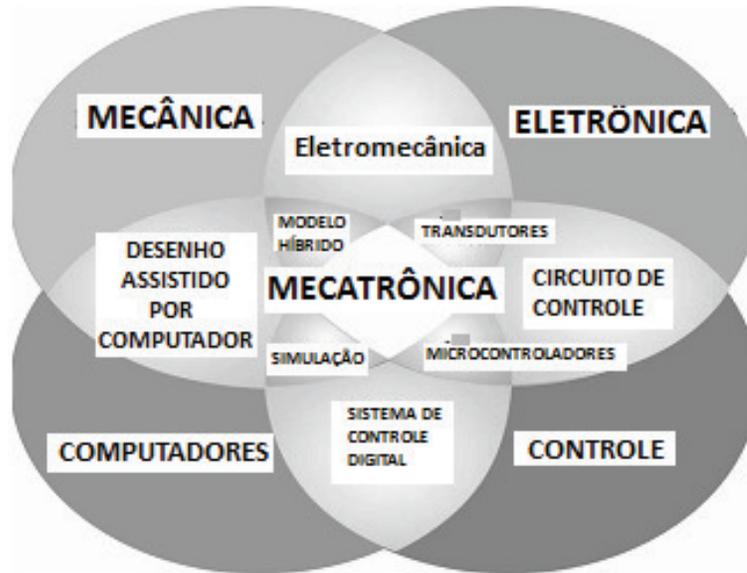


Figura 28- Aspecto multidisciplinar da Mecatrônica (fonte- FME Transactions-  
Nota:Tradução)

As disciplinas desenvolvidas no Curso de Mecatrônica aparecem como suporte para a Manufatura Digital. Desta forma pode viabilizar a engenharia colaborativa, permitindo que o capital intelectual seja somado e que as competências individuais possam ser agregadas dando conta da integração dos elementos de natureza diversa que irão compor o produto ou o sistema , a figura 29 ilustra esta idéia.

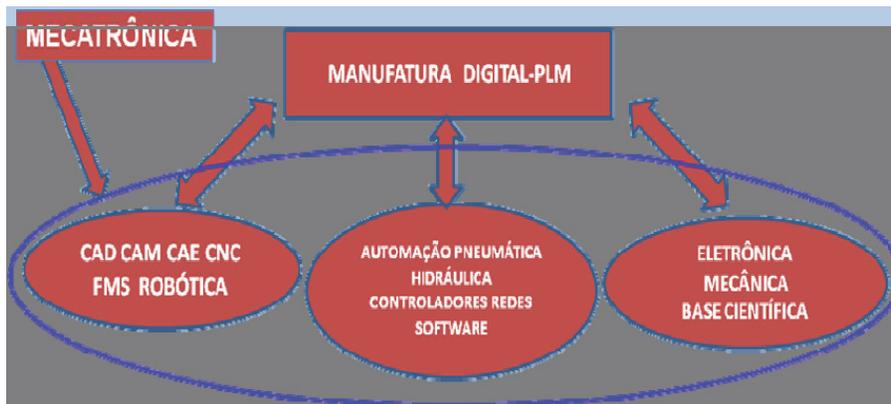


Figura 29- A Mecatrônica como suporte à Manufatura Digital

A Norma VDI-2206 apresenta o modelo em “V” para a concepção de Sistemas Mecatrônicos, o nível macro deste modelo é ilustrado na figura 30.

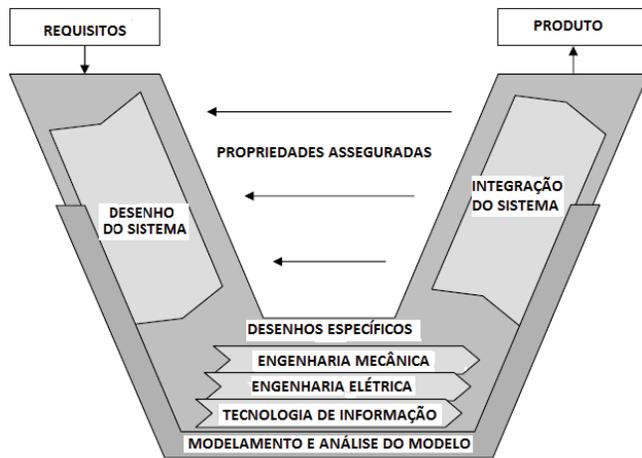


Figura 30- Modelo em “V” (VDI-2206)-Nota: Tradução

Isermann (2008), conforme ilustra a figura 31, detalha este modelo:

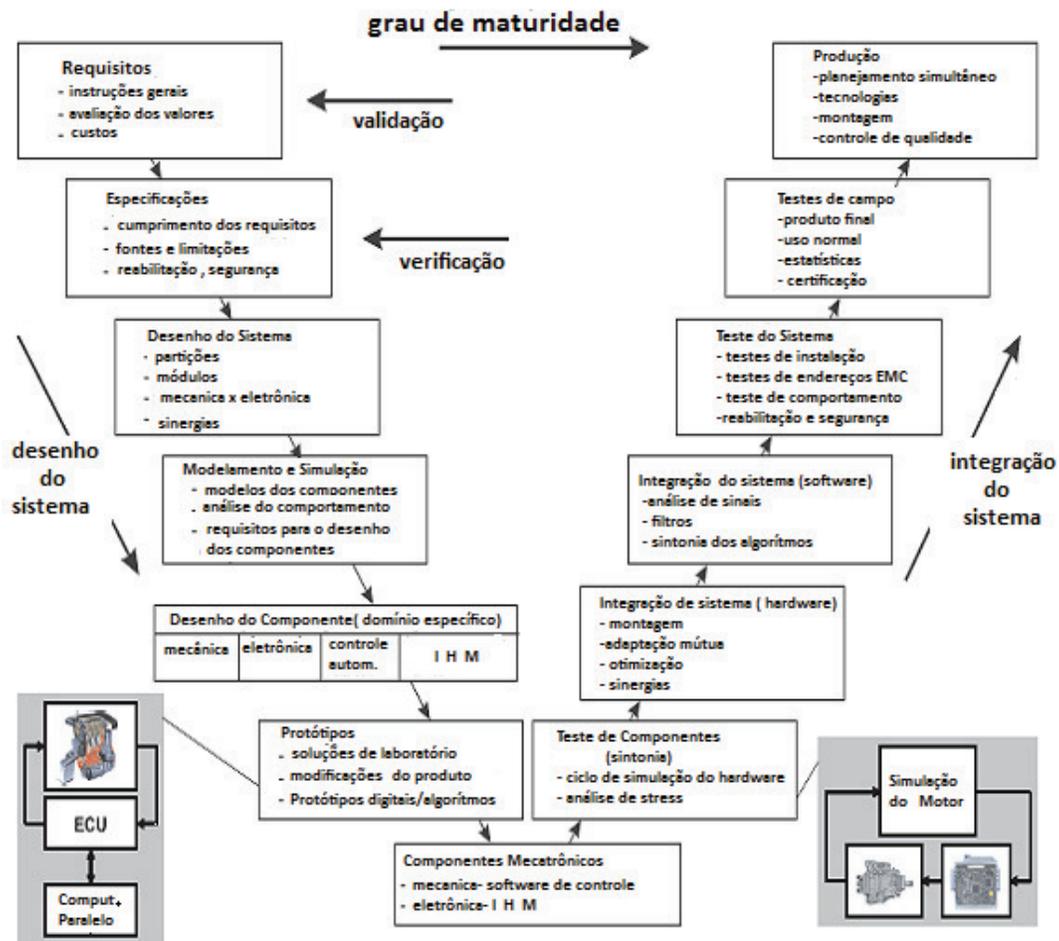


Figura 31- Desenvolvimento do Sistema Mecatrônico conforme Isermann(2008)-

Nota: Tradução



As etapas sinalizadas no modelo em “V” da figura são detalhadas na figura 33, quando o protótipo virtual da célula de montagem já possui o suporte para simular o processo automatizado e auxiliar na depuração dos programas do controlador programável e do robô, assim como eventuais ajustes necessários na concepção do modelo da célula.



Figura 33- Fases de elaboração do Protótipo Virtual do Sistema Mecatrônico  
(fonte- ETH Zurich)

Detalhando a questão da confecção do programa de controle, existe a opção de gerar-se o programa de controle dentro da própria ferramenta que gerou o modelo do Protótipo Virtual.

Dentro das ferramentas de *software* da Manufatura Digital temos a interface com a Automação Industrial, onde podemos modelar dispositivos da linha de produção elaborar interfaces homem-máquina e elaborar o programa de controle de dispositivos ou de linhas completas de Automação, com este recurso podemos modelar as linhas e simular seu funcionamento. Na figura 34 temos uma Inteface- Homem/Maquina- IHM

criada no *software* para comandar o dispositivo que será modelado e integrado à lógica de controle.

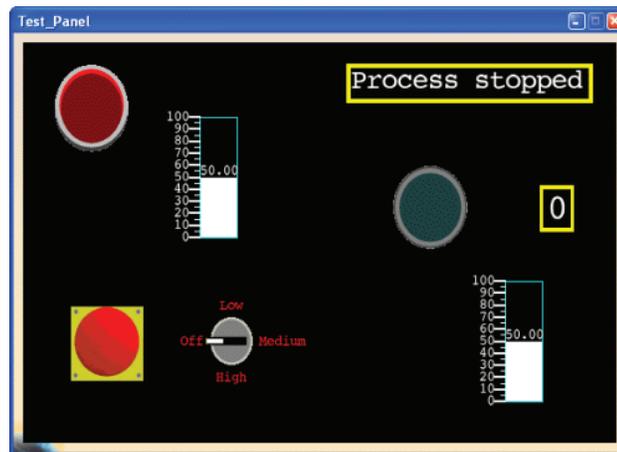


Figura 34- Painel de teste ( IHM ) criado para controle de dispositivo modelado

Existe a possibilidade de monitoração das variáveis de controle de entrada e de saída por meio de menus de monitoramento de sinais, conforme figura 35,

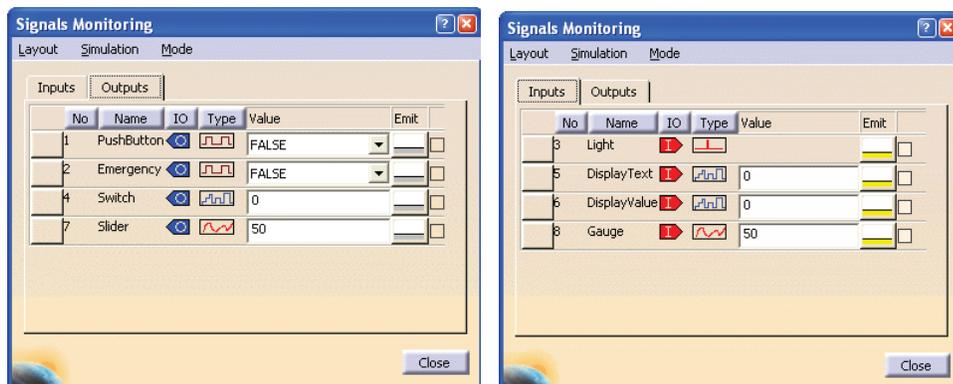


Figura 35- Menus de monitoramento de variáveis de entrada e de saída.

Considerando que o dispositivo modelado que deverá ser controlado por um Controlador Programável seja o da figura 36, faremos o *Sequential Function Chart-SFC* para controle que será apresentado na seqüência. Na árvore de criação do modelo vemos itens de vinculação com o SFC necessário à interface de controle.

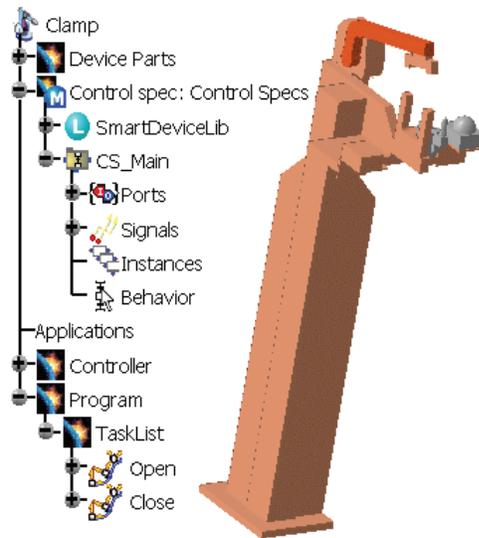


Figura 36- Dispositivo modelado a ser controlado.

Os pontos de entrada e saída serão devidamente endereçados por menus específicos e vinculados ao SFC criados para executar o controle do modelo 3D. Estes pontos de entradas e saídas são vinculados a entes existentes em uma biblioteca que define a interface com o modelo em 3D, desta maneira quando a lógica definida no SFC fluir ao receber comandos da IHM criada, que também terá sua vinculação às variáveis de entrada criadas no SFC para o comando do dispositivo modelado, serão ativadas as saídas que estão vinculadas às bibliotecas de interface com o modelo 3D. Portanto será visualizado virtualmente a movimentação do dispositivo modelado segundo o fluxo lógico criado pelo SFC. Desta forma equívocos no programa de controle poderão ser visualizados pela movimentação do modelo e, naturalmente, estes equívocos não irão provocar danos a equipamentos pois está se trabalhando ainda no mundo virtual, que irá subsidiar as alterações necessárias na lógica de programação e no fluxo do SFC.

A figura 37 mostra o SFC criado para o controle do modelo 3D da figura 28.

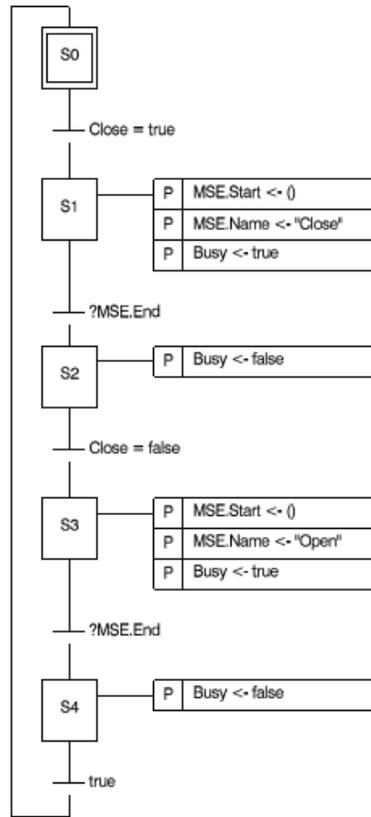


Figura 37- SFC criado para o controle do modelo 3D

A simulação *off-line* de células robotizadas trabalha com um conceito de criação similar ao modelo comandado pelo SFC comentado anteriormente, onde a célula de manufatura é modelada em 3D, e os robôs são movimentados segundo seu modelo matemático, esta movimentação comandada por um *teach pendant* virtual. Dentro do ambiente virtual criado da célula de manufatura robotizada, gera-se o programa de controle dos movimentos do robô ou dos robôs por meio da movimentação virtual comandada pelo *teach pendant* virtual, os movimentos são arquivados e o processo de manufatura ocorre no ambiente virtual que compõe a célula de manufatura robotizada. Os movimentos arquivados de forma seqüencial geram o programa do robô, que pode ser transferido para o *driver* do robô real.

A figura 38 ilustra uma célula de manufatura robotizada modelada em um software de simulação *off-line*.

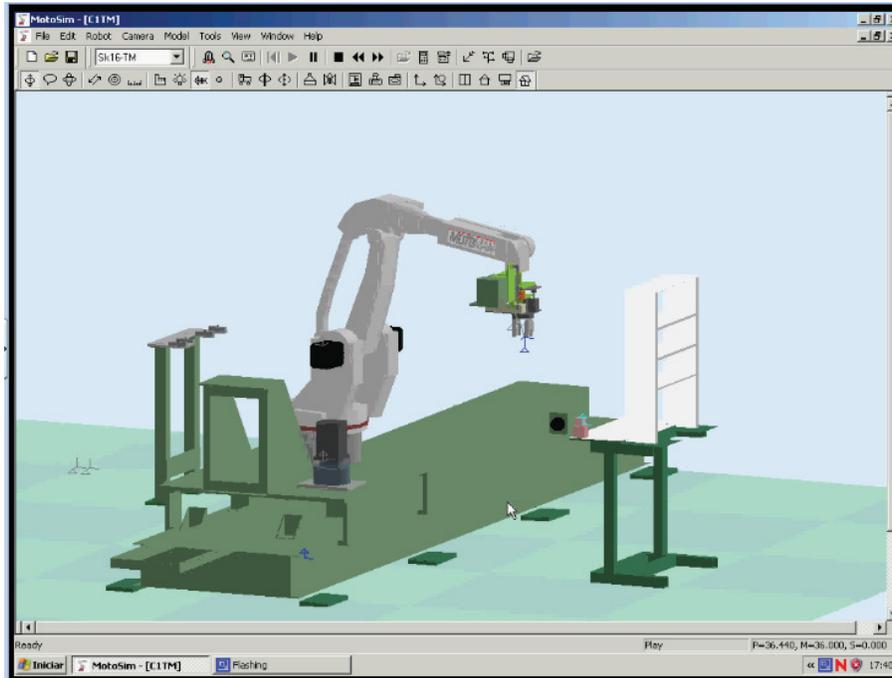


Figura 38- Modelamento da célula de manufatura robotizada.

Na Manufatura Digital os aspectos ergonômicos são levados em conta, manequins com medidas típicas são colocados nos ambientes de simulação para verificar-se as condições ergonômicas, conforme figura 39.



Figura 39- Simulação de ergonomia.

Toda a fábrica e o processo produtivo são modelados e simulados virtualmente (figura 40) onde se concebe uma linha virtual de produção.



Figura 40- Linha virtual de produção

Novas perspectivas surgem com a Realidade Virtual, pois o mundo real passa a interagir com o mundo virtual, o usuário passa a entrar no ambiente virtual e simular condições do mundo real, como ilustra a figura 41.



Figura 41- Aplicação de Realidade Virtual

Todas estas ferramentas e *softwares* farão parte do desenvolvimento de projetos propostos ao corpo discente, em conformidade com os requisitos dos projetos serão aplicadas as ferramentas adequadas, dentro da Metodologia de Ensino por Competências, onde os grupos de alunos formando times de projetos trabalharão de forma colaborativa utilizando a plataforma PLM. Assim a educação profissional se

baliza na geração do conhecimento dentro do processo de elaboração dos projetos, onde se articulam os conteúdos já conhecidos no sentido de criar soluções tecnológicas ampliando o conhecimento.

### **3.5 Comissionamento Virtual em Sistemas de Manufatura**

No âmbito da Manufatura Digital uma facilidade em relação ao comissionamento de dispositivos ou sistemas automatizados de produção é o comissionamento virtual. Nesta nova metodologia de comissionamento, o modelamento virtual do dispositivo ou do sistema automático de produção possui *links* com o equipamento de comando e controle do dispositivo ou do sistema (em geral o Controlador Lógico Programável -CLP).

O programa de controle elaborado pode ser depurado por meio da planta virtual do processo, onde acionamentos no *hardware* do CLP promovem movimentos das partes virtuais do dispositivo ou do sistema, que estão vinculadas logicamente às variáveis de entrada e saída do CLP.

O comissionamento virtual vem reduzir custos de projeto por meio da redução de tempo de depuração de programas, reduz as possibilidades de retrabalho e adaptações na planta real quando do *start up* do processo, facilita simulação de modificações no programa e/ou no processo. A rápida visualização de relações e de interferências e geração automática de histórico de alterações, otimiza o processo na etapa virtual sem a necessidade de eventuais investimentos em modificações no processo, trazendo maior rapidez na colocação em operação de processos produtivos automatizados.

Assim, os movimentos e acionamentos ocorrem no modelo virtual, e os sensores, limites e todos os elementos de entrada de sinais para o CLP, são acionados conforme o comando seqüencial e ou combinatório estabelecido no programa implementado na memória do CLP.

O comissionamento virtual possibilita identificar potenciais falhas em um ambiente digital antes que eles se tornem problemas dispendiosos no chão de fábrica, evitando vários problemas que levariam à perda de prazos de entrega e de desperdício de recursos.

### 3.6 Sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas

Após a implementação dos sistemas virtuais no campo real, existem os problemas de manutenção dos equipamentos. Atualmente a filosofia de manutenção dos sistemas produtivos também tem evoluído de maneira importante graças a sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas.

Os sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas baseiam-se em sistemas de manutenção previsores, onde o monitoramento ininterrupto da operação do sistema permite identificar tendências de degradação e prever a possibilidade de defeitos.

Em sistemas de alto rendimento, onde não se permite tolerar uma queda no rendimento, o sistema para diagnóstico e prevenção de falhas tem um papel importante. Os sistemas normalmente não falham repentinamente, mas sofrem um processo de degradação mensurável pelo monitoramento ininterrupto por meio de sensores e meios computacionais embarcados nos equipamentos, que se utilizam de algoritmos para verificar a “saúde do sistema” e estimar uma predição de falha do equipamento ou sistema.

A visão reativa em termos de manutenção que prevaleceu nas últimas décadas, foi alterada devido às mudanças tecnológicas, às mudanças no sistema produtivo que são caracterizados por com alto grau de competitividade. O enfoque preventivo passa a ser parte do cenário das empresas, pois o aspecto custo vem determinar a utilização deste enfoque e a mudança de paradigma.

A figura 42 ilustra a plataforma de *hardware* de um sistema de prognóstico de falhas em um sistema robotizado.

Sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas se baseiam na “Tecnologia da Infotrônica” que viabiliza aos sistemas a possibilidade de monitorar, prognosticar e aperfeiçoar seu rendimento com inteligência, executando tarefas de manutenção autônoma em uma última instância.

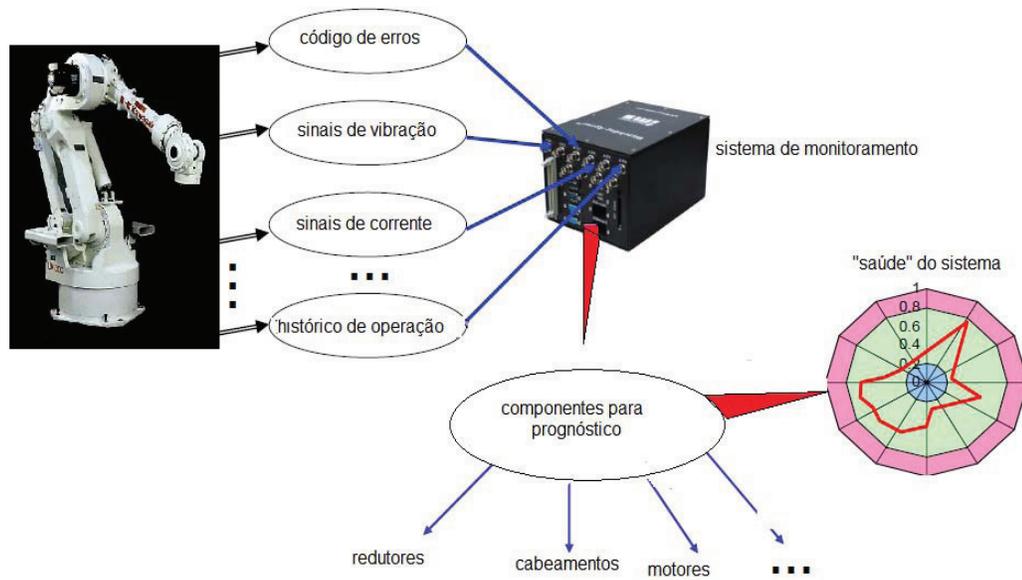


Figura 42- Sistema de prognóstico de falhas em um sistema robotizado  
(IMS Center - Jay Lee)

Conforme a organização Autonomic Computing (2008) para que um sistema possa ser considerado como pertencente à categoria dos sistemas de computação autônoma, ele precisa atender a oito princípios que lhe conferem a auto-governabilidade:

- Auto -Gerenciamento;
- Auto - Diagnóstico de falhas;
- Auto -Adaptação;
- Auto - Otimização;
- Auto -Proteção;
- Auto - Organização;
- Auto - Configuração e
- Auto - Recuperação.

Nesta vertente vemos que os sistemas inteligentes para diagnóstico e prevenção de falhas constituem uma etapa na construção do que se denomina sistema de computação autônoma. Esta etapa, por si mesma, permite que os sistemas automáticos tenham maior disponibilidade possível, o que para o sistema produtivo se configura numa perspectiva muito interessante.

Os sistemas produtivos concebidos virtualmente possuem a característica de otimização do ciclo produtivo, aliado a possibilidade de prognóstico de falhas destes sistemas quando colocados no chão de fábrica. Isto gera uma perspectiva muito positiva

num contexto competitivo, onde existem dois fatores importantes, ou seja, a rapidez na colocação do produto no mercado e a capacidade de atender às demandas geradas deste produto, isto ocorre mediante um sistema produtivo confiável em termos de disponibilidade dos equipamentos e máquinas no sistema produtivo.

A figura 43 ilustra um sistema supervisorio para Máquinas Ferramenta ressaltando o nível de comunicação e os parâmetros envolvidos.

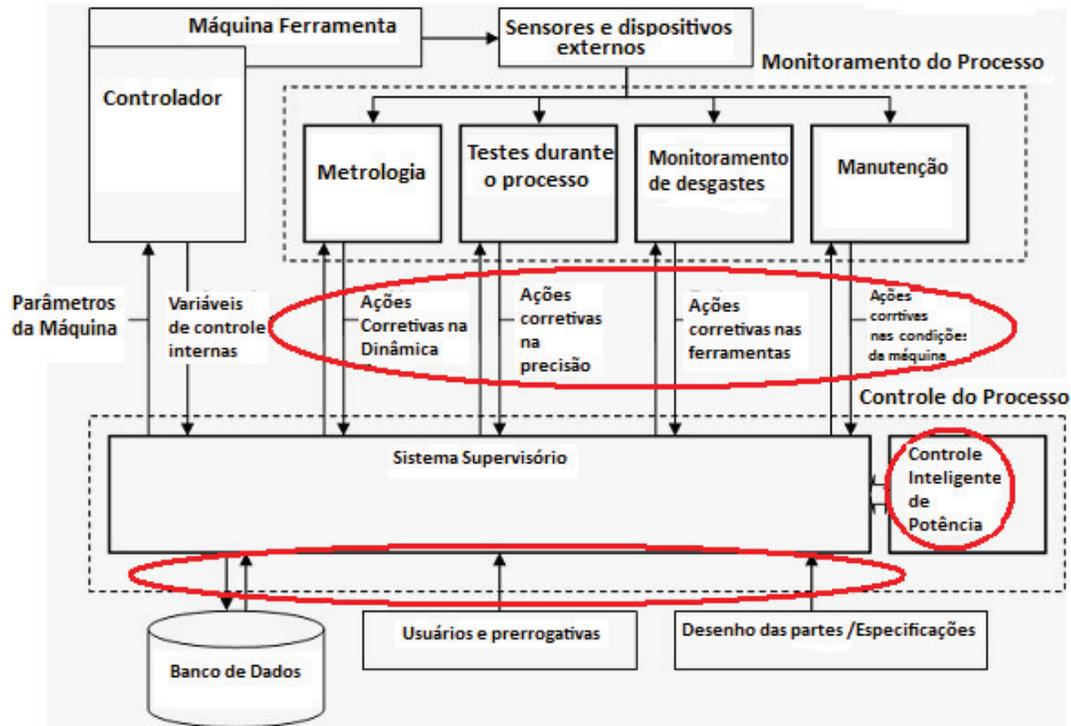


Figura 43- Sistema supervisorio para Máquinas Ferramenta- (Fonte SME-*Society of Manufacturing Engineers*)-Nota: Tradução

### 3.7 A Manufatura Digital – PLM e a Questão Ambiental

Nenhuma ação no aspecto ambiental tem abrangência, eficácia, sustentabilidade e sucesso, sem que aqueles que definem materiais, meios, recursos, tecnologias, metodologias entre outros fatores, tenham incorporados em si valores que apontem de forma inequívoca para a questão ambiental como algo prioritário, definitivo e emergencial.

Conforme Batista (2007), o Desenhista Industrial é um gestor de processos de produção, deve ter a necessária competência para administrar todos os fatores de

produção: recursos naturais, tecnologias e aptidões em diferentes áreas de conhecimento. Sua atividade é colaborativa e transdisciplinar. A perspectiva da concorrência inibe suas potencialidades no contexto em que atua e no interior da equipe de trabalho. Sem formação ampla e uma prática profissional comprometida com valores éticos, o Desenhista Industrial se converte num executor de projetos sobre os quais tem pouco ou nenhum poder decisão. Torna-se o programador na acepção de Argan (1992).

Nesta linha, consideramos que a formação do Engenheiro, do Tecnólogo do Desenhista Industrial e de todos os profissionais que de forma direta ou indireta estejam envolvidos na concepção de produtos e de processos produtivos, deve estar permeada por momentos onde as questões ambientais sejam debatidas de forma profunda. Este debate deve estar fundamentado cientificamente, ser feito com responsabilidade, de forma imparcial e equilibrado, permeado por interesses isentos de qualquer relance de perversão. Desta forma podemos ter a esperança de vermos os futuros profissionais com as informações e os valores imprescindíveis para atuarem responsavelmente em relação ao meio ambiente.

Na Metodologia de Ensino por Competências os aspectos ambientais permeiam a formação do perfil profissional, no que é chamado dentro da Metodologia de Competências Básicas, Específicas e de Gestão, e surge como um elemento agregado às Situações de Aprendizagem que são desenvolvidas ao longo das unidades curriculares, portanto o estudante desenvolverá suas atividades acadêmicas contemplando aspectos ambientais em todos os projetos propostos que permitam esta abordagem.

A Manufatura Digital irá trazer benefícios nesta área ambiental na dependência do direcionamento que seja dado pelos que definem as características dos produtos e dos processos produtivos. Intrinsecamente a Manufatura Digital pode ser uma ferramenta importante, com significativa contribuição na preservação ambiental se considerarmos alguns aspectos relativos a sua essência.

O fato de a concepção virtual anteceder qualquer investimento em recursos materiais na Manufatura Digital, naturalmente minimiza a eventual geração de rejeitos e a conseqüente otimização do uso de recursos e de material, isto ocorre em termos de concepção de produtos e de linhas de produção. A possibilidade da simulação *off line*

tende a otimizar o uso de recursos em termos de equipamentos , materiais , ciclos de produção e energia.

O trabalho em colaboração suportado pela Plataforma PLM, permite que os esforços sejam distribuídos e sincronizados entre as equipes de projeto, somando-se os resultados parciais em termos de desenvolvimento intelectual. A concepção se torna mais ágil, sem utilização de documentação em meio físico, com menor retrabalho e menor dispêndio de recursos. O gerenciamento do ciclo de vida dos produtos pode permitir às corporações uma visão mais abrangente em termos de como, e em que momento os produtos terão seu ciclo de vida completado, e as estratégias para descarte e reciclagem, uma vez que na etapa de concepção do produto estas questões podem ser consideradas como estratégicas pelos que definem o produto e o sistema produtivo.

A Manufatura Digital pode ser um instrumento útil na questão ambiental, pois ela possibilita a geração de produtos que são concebidos virtualmente, passam por simulações em uso e criam em bancos de dados o histórico e o controle sobre o ciclo de vida do produto, ou seja, colocações como a de Kipper (2005) ao citar Lerípio (2001), afirmando que aqueles resíduos que não puderem ser reutilizados ou reciclados não deveriam existir, isto é, o produto original deveria ser reprojetoado, de forma que se evite a incineração e a destinação em aterros, seriam superadas no sentido de que o produto não existiria realmente como um produto sem possibilidade de reciclagem, portanto nasceria como um produto que sofreu modificações e adequações na etapa de concepção virtual sem a necessidade de um reprojeto.

Como já citado anteriormente, mesmo com a utilização da Manufatura Digital-PLM, sem que os que definem materiais, meios, recursos, tecnologias, metodologias entre outros fatores, tenham incorporados em si valores voltados às questões ambientais, estaremos concebendo e produzindo virtualmente produtos que simplesmente estarão sendo destinados aos aterros, sem a possibilidade plena de reciclagem, após um tempo de manufaturados.

Segundo Hahn (1994), Cada produto deverá ser visto como ingrediente do produto posterior. Todo processo que produza produtos secundários inúteis ou de pouco valor será severamente desvalorizado. Para conseguir controle sobre o ciclo de vida dos materiais, será necessário: uso/reaproveitamento de materiais comerciais; projeto de

novos materiais que possam ser indefinidamente reciclados; e processos para fazer novos materiais que não impliquem rejeitos de produtos danosos para o meio-ambiente. A manufatura sustentável está intimamente ligada não só à incorporação dos aspectos ambientais durante o processo de fabricação, mas também envolve o levantamento e sistematização de conceitos, técnicas e métodos, cujo objetivo final é o aumento do ecoeficiência, nesta linha deve existir a disposição por meio da incorporação de valores que levem a este objetivo.

### **3.8 Contribuições Metodológicas em termos de Ensino Profissional por Competências da Manufatura Digital-PLM**

Em contato com as empresas do grande ABCD, com o objetivo de perceber de maneira mais próxima a necessidade de mão de obra especializada nesta área, notou-se que existe uma carência muito grande de profissionais e que as empresas necessitam preparar, dentro de seus escritórios por meio de programas específicos, os recém-formados contratados.

Nestes programas os profissionais recebem o complemento à sua formação acadêmica, com ferramentas e metodologias que não foram contemplados nas organizações curriculares dos cursos que eles freqüentaram. Esta preparação é indispensável para que este profissional recém-formado possa ter as condições mínimas necessárias para iniciar o desenvolvimento das suas atividades. Este período de preparação nestas ferramentas normalmente varia de quatro a seis meses, em conformidade com o profissional e com a sua origem acadêmica.

Dois aspectos preocupantes nos chamam a atenção neste cenário, o primeiro está relacionado à escassez de profissionais recém-formados no mercado, cuja formação desenvolva um perfil profissional que os habilite a manipular as ferramentas de software de CAD/CAM/CAE, simulação off-line de células robotizadas com automação de processos incorporada, utilização de PLM no gerenciamento dos dados de engenharia. Esta escassez de profissionais se deve ao distanciamento entre a realidade industrial e as organizações curriculares da grande maioria das entidades de ensino no país.

O segundo aspecto interessante e também preocupante, é que ao final das contas o complemento da formação do recém-formado é feito no ambiente onde agora o profissional, deveria estar aplicando as ferramentas conhecidas e utilizadas no ambiente

acadêmico. Verifica-se que os papéis não estão com o *script* totalmente adequado, pois na empresa o recém formado iniciaria a aplicação em *cases* reais do que ele aprendeu no mundo acadêmico, e o que tem ocorrido é que a empresa assume o papel acadêmico de complementação de conteúdos para que aí então o aluno / profissional comece a atuar em sua área e atender a empresa nas suas necessidades.

Num mundo competitivo, entende-se que esta realidade tem sido aceita por falta de opções, isto é, ou se complementa o perfil do profissional com aulas nas empresas ou não se terá o profissional apto. Se o horizonte desejado é de se ter um país que possa dar respostas positivas aos desafios de competitividade de um mercado globalizado, é pertinente refletir sobre este cenário e propor alternativas para a formação dos profissionais, de forma que quando este profissional chegar à empresa, ele possa atuar com a aplicação das ferramentas aprendidas e testadas em simulações no mundo acadêmico. Assim o seu aprendizado, agora como profissional, se dará no sentido de entender a realidade corporativa e como ele irá se inserir nesta realidade de forma produtiva.

Naturalmente o aprendizado do profissional é constante, novas ferramentas e metodologias surgem em espaços de tempo cada vez mais curtos, porém não se pode simplesmente contemplar esta distância tão grande entre as organizações curriculares nas entidades acadêmicas e o dia a dia das corporações, sem nenhuma inquietação, reflexão e proposições neste âmbito.

Para o ensino profissional na área da Manufatura Digital - PLM neste trabalho propõem-se a Metodologia de Ensino por Competências do Senai descritas na revisão bibliográfica feita no Capítulo 2.

Nesta metodologia tem-se algumas etapas para a definição da estrutura de um curso baseado em competências, uma vez vencida esta etapa, pode-se partir para a integração entre os métodos pedagógicos e as tecnológicas, com a finalidade de ensino da Manufatura Digital - PLM.

Retomando e detalhando algumas colocações feitas na revisão bibliográfica, numa primeira etapa é constituído um Comitê Técnico Setorial que é definido como “fórum técnico-consultivo”. Trata-se de técnica de pesquisa qualitativa, neste caso

utilizado para investigar o comportamento do mercado de trabalho e suas conexões com a educação profissional. Basicamente, constitui-se como grupo de discussão, composto por uma amostra estratificada de representantes da área de educação profissional e de representantes dos meios técnicos, das associações de classe e de empresas do segmento industrial em estudo.

O Comitê Técnico Setorial tem condições de estabelecer os nexos entre o mundo do trabalho e a educação profissional, propiciando orientação segura para que as competências exigidas pelo mercado venham a ser desenvolvidas e avaliadas no âmbito da formação.

O Comitê Setorial define itens importantes relativos ao perfil profissional da habilitação em questão, que irão nortear o ensino dentro da metodologia proposta, são eles:

- Competência Geral;
- Unidades de Competência;
- Elementos de Competência;
- Padrões de Desempenho;
- Contexto de Trabalho da Qualificação Profissional;
- Meios (equipamentos, máquinas, ferramentas, instrumentos, materiais e outros);
- Métodos e Técnicas de Trabalho;
- Condições do ambiente de Trabalho;
- Posição no Processo Produtivo;
- Contexto Profissional;
- Contexto Funcional e Tecnológico;
- Saídas para o Mercado de Trabalho;
- Evolução da Habilitação;
- Educação Profissional Relacionada com a Habilitação;
- Indicação de Conhecimentos Referentes ao Perfil Profissional.

Após o levantamento destes itens a organização curricular do curso formulado pela metodologia deve ser desenhada, uma vez desenhada, ela deve ser submetida novamente ao Comitê Setorial que forneceu os subsídios para sua elaboração que retornará com as observações que julgar pertinentes.

Esta metodologia tem a característica de trabalhar por projetos, *cases* ou desafios que exigem dos alunos e docentes uma ênfase na interdisciplinaridade, com relação à Manufatura Digital – PLM podemos considerar este fato como um aspecto interessante, pois como já foi colocado neste trabalho, esta área é por natureza interdisciplinar pois envolve conceitos de Mecânica, Automação, Eletroeletrônica, Computação, Redes, e outras disciplinas que envolvem gestão de recursos. Nos próximos capítulos deste trabalho abordaremos esta integração de metodologias e tecnologias e os resultados práticos no desenvolvimento de projetos industriais colaborativos utilizando as ferramentas da Manufatura Digital – PLM com o suporte pedagógico da Metodologia de Ensino por Competências.

## Capítulo 4

### Proposta de Integração de Metodologias

#### 4.1 Aspectos Interdisciplinares no Ensino por Competências da Manufatura Digital

Este trabalho tem o suporte da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica em São Caetano do Sul, onde tem-se um ambiente propício à pesquisa metodológica de ensino por competências vinculada à utilização das ferramentas da Manufatura Digital e do PLM, neste sentido o corpo docente buscou forma coordenada ,as melhores formas de integrar as ferramentas de software e hardware disponíveis nesta unidade.

A metodologia de ensino voltada à Manufatura Digital e PLM conduz à prática interdisciplinar entre nichos da Mecatrônica: CAD/CAM/CAE/CAT- *Computer Aided Testing*, CNC, Automação e Robótica, com a finalidade de integrar a concepção de produtos, a concepção da linha de produção e sua automatização. Numa camada superior, buscamos gerenciar os dados de engenharia do produto e do processo por meio de plataforma PLM.

Tem-se que considerar dois aspectos importantes que deram origem a esta proposta metodológica. O primeiro aspecto é eminentemente técnico, pois nesta unidade, têm-se as áreas de CAD/CAM/CAE/CAT/CNC, Automação e Robótica como áreas com uma razoável experimentação em termos didáticos, porém com uma característica isolada no desenvolvimento das unidades curriculares. Não havia a presença de um elemento de gerenciamento que é o PLM, o qual passa a ser o viés de integração entre as unidades curriculares, pois todo o trabalho e todas as alterações de percurso são gerenciados de forma centralizada pela plataforma PLM.

O segundo aspecto é eminentemente pedagógico, a migração metodológica para um curso baseado em competências, está fazendo com que o planejamento de ensino desenvolvido pelos docentes, tenha uma necessária integração e uma busca constante da interdisciplinaridade de forma mais intensa por meio das propostas de situações de aprendizagem.

É interessante notar que “coincidentemente” dois vetores de natureza diferenciada, surgem nesta unidade em particular, no mesmo espaço de tempo, num contexto comum, criando uma resultante na mesma direção de integração e interdisciplinaridade entre as unidades curriculares, um vetor de natureza pedagógica e outro de natureza técnica. Não se pode ignorar a oportunidade de vivenciar-se um momento único de aprendizado e crescimento.

Os laboratórios que são envolvidos de forma direta na proposta são os de CAD/CAM/CAE, CNC, Automação e o laboratório de Robótica. A título de ilustração da idéia se trabalhará com um estudo de caso específico, onde se pretende fechar um ciclo de integração interdisciplinar mostrando a Manufatura Digital num exemplo simples para um dado produto, esta idéia pode ser estendida para outros produtos gerados no mundo acadêmico e para produtos do mundo de mercado, pois todas as plataformas de *software* e todos os equipamentos de *hardware* utilizados são encontrados nas empresas.

Utiliza-se também *cases* de projetos industriais que estão sendo desenvolvidos por alunos orientados pelos professores desta unidade onde as metodologias são aplicadas com levantamentos de resultados práticos, estes projetos são frutos do contato permanente com empresas da região, que tem necessidades de desenvolvimento de alguns produtos e processos e tem permitido a esta unidade a oportunidade de conciliar o atendimento às necessidades das empresas, com a necessidade de experimentar a integração destas metodologias na área tecnológica e pedagógica, com a finalidade de desenvolver os projetos industriais de forma colaborativa no âmbito acadêmico e verificar os resultados de implantação destes projetos nas empresas.

Visando sintetizar e tornar mais clara a sistematização da Proposta Metodológica de Ensino por Competências, que serve de suporte ao desenvolvimento de Projetos Colaborativos, mostra-se a seguir a figura 44 onde são ilustradas as etapas envolvidas

nas situações de aprendizagem que visam agregar os conhecimentos técnicos, científicos e os aspectos comportamentais de base que servirão de suporte para o desenvolvimento de competências mais complexas.

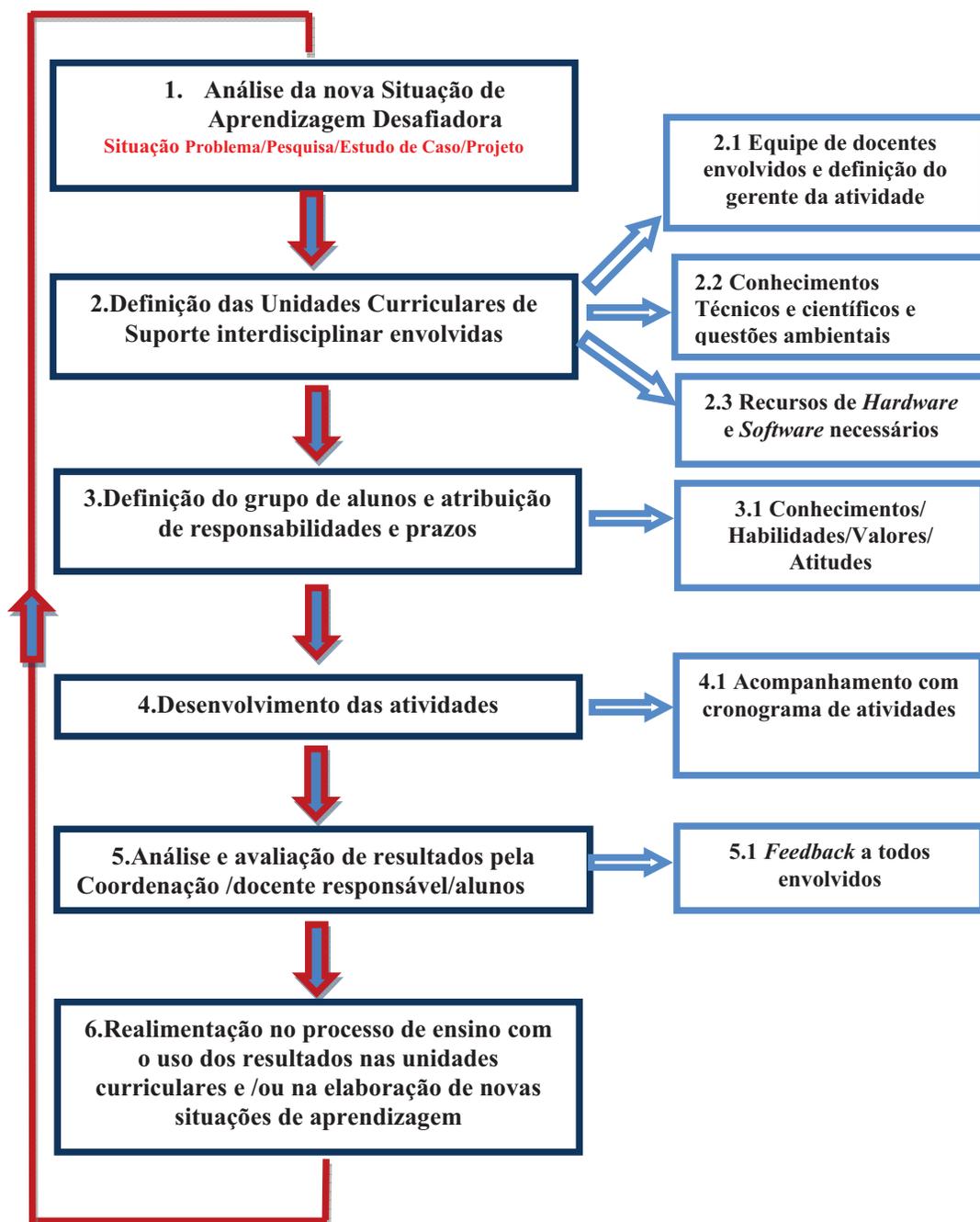


Figura 44-Fluxo de Etapas envolvidas nas situações de aprendizagem na Proposta Metodológica de Ensino por Competências

São citados a seguir alguns exemplos envolvendo unidades curriculares básicas no que se refere aos conhecimentos técnicos e científicos. Um primeiro exemplo é a atividade de criação do modelo digital de uma peça, utilizando instrumentos de medição

convencionais e um *software* de CAD. Nesta atividade os alunos em grupos de dois fazem as medições utilizando instrumentos de medição (paquímetro, micrômetro, goniômetro,...) e elaboram um esboço em perspectiva da peça com as respectivas dimensões, transformam esse esboço num modelo digital, que posteriormente será parte de uma montagem de um conjunto que envolve peças modeladas por outros grupos com a mesma sistemática. Ao analisar-se esta situação de aprendizagem mediante o fluxo de etapas tem-se o que segue na figura 45.

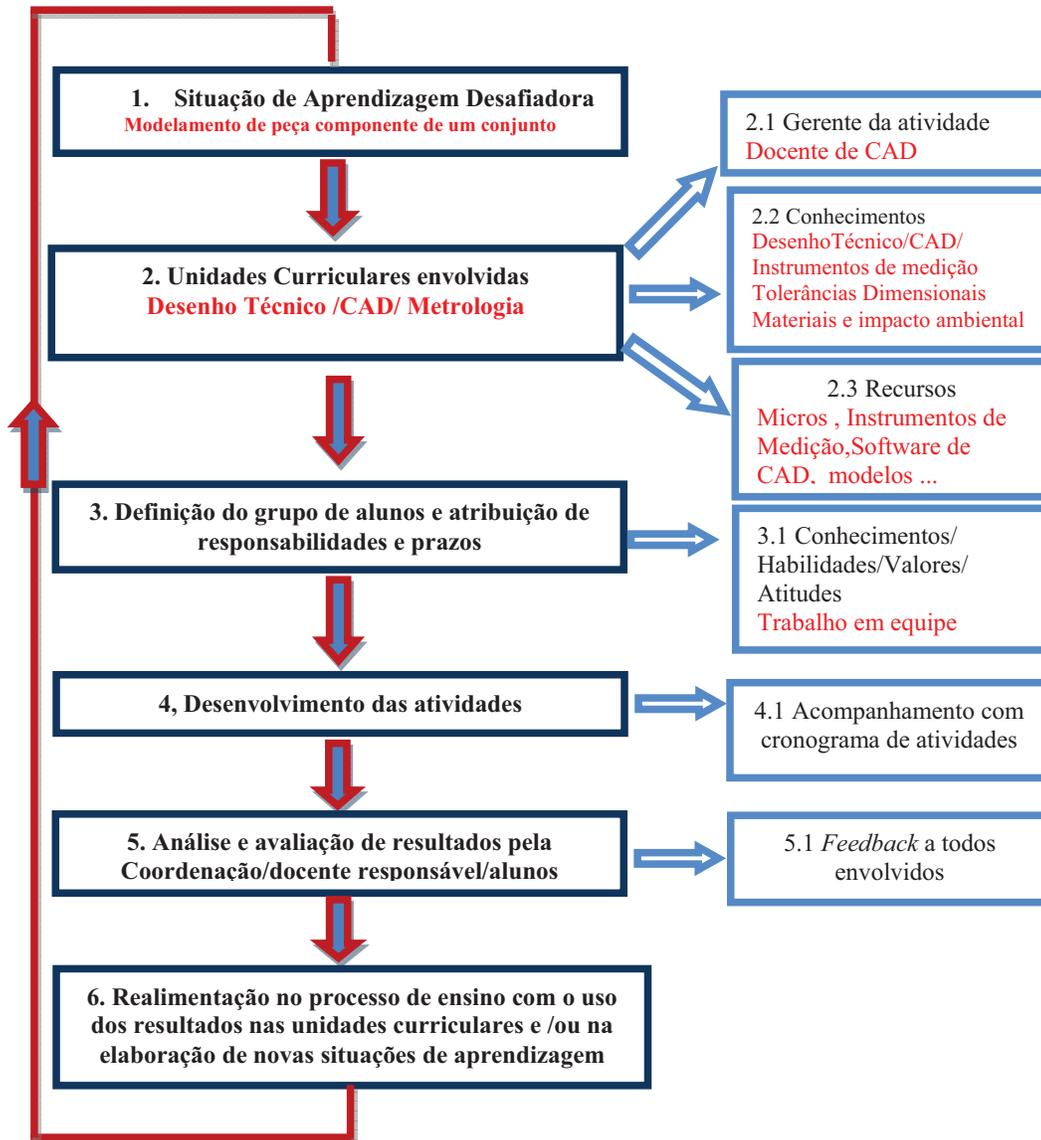


Figura 45- Fluxo para uma Situação de Aprendizagem específica

Outro exemplo que abrange uma diversidade maior de unidades curriculares, porém ainda trabalhando com conhecimentos técnicos e científicos de base, foi a Situação de Aprendizagem onde se propôs aos alunos o desenvolvimento de um sistema

onde os esforços imprimidos a uma barra engastada fossem coletados por um conjunto de células de carga. O diagrama de esforços seria então apresentado na tela de um computador em tempo real. Esta atividade se colocada no fluxo de etapas da figura 45 demonstraria o envolvimento de disciplinas como Eletrônica Geral, Resistência dos Materiais, Linguagem de Programação, os docentes envolvidos de áreas diversas e os recursos indo desde *software* para a elaboração da interface gráfica, coleta de dados, interface de comunicação, células da carga, entre outros materiais.

As Metodologias utilizadas com estas Situações de Aprendizagem aplicadas no desenvolvimento das unidades curriculares de base servem de subsídio para a aplicação da Metodologia em projetos colaborativos mais complexos.

Neste trabalho são apresentados alguns projetos desenvolvidos com a integração da Metodologia de Ensino por competências e a Manufatura Digital-PLM, com os resultados dos projetos que foram concluídos e os projetos em análise ou em desenvolvimento.

#### **4.2 Ampliando o Escopo de Integração dos Sistemas**

Nesta visão de integração têm-se sistemas que se agregam aos já citados e manipulam dados para o gerenciamento do negócio da empresa como um todo; estes sistemas fazem parte do cenário que estamos analisando e serão descritos a seguir.

Os sistemas Enterprise Resources Planning (ERP) são integradores de todos os dados e processos de uma organização gerando um único sistema, conforme (LAUDON, 2004; PADOVEZE, 2004). A integração funcional ocorre com: finanças, contabilidade, recursos humanos, fabricação, marketing, vendas, compras, e outros. A integração sob a perspectiva gerencial ocorre com o processamento de transações, informações gerenciais e sistema de apoio à decisão, desta forma pode-se, além de armazenar dados, também hierarquizar e automatizar o acesso a todas as informações de negócios da empresa de maneira integrada.

O *Supply Chain Management* (SCM) é uma plataforma que visa à logística de materiais, seu objetivo é viabilizar a disponibilidade dos produtos no tempo certo, local e quantidade esperados, com o menor custo de operação. Este princípio extrapola os limites da empresa, pois se os seus fornecedores não estiverem engajados na mesma

filosofia não há como viabilizar o processo como um todo. Para atingir-se este alvo buscam-se soluções adequadas ao gerenciamento das cadeias logísticas de forma abrangente.

O cliente é o foco de todos os esforços em termos de integração dos sistemas e plataformas, na busca de competitividade pelas empresas. Assim o *Customer Relationship Management* (CRM) é um sistema integrado de gestão com foco no cliente, constituído por um conjunto de procedimentos e processos organizados e integrados num modelo de gestão de negócios, que visam apoiar esta gestão, auxiliando as organizações a ganhar e fidelizar clientes, buscando a sua satisfação total, por meio da prática da empatia em relação às suas necessidades e expectativas, permitindo assim a formação de uma visão global dos ambientes de marketing.

Caminha-se cada vez mais para a integração virtual das rotinas da empresa em todos os aspectos por meio de todas as ferramentas já mencionadas. Pode-se fazer uma analogia com uma rede de informática, onde um hub (equipamento de conexão em redes) possibilita a comunicação entre máquinas de uma rede, a figura 46 ilustra uma rede onde o fluxo de dados e informações transitam por meio do elemento de conexão que viabiliza a comunicação entre as plataformas e sistemas dentro de uma hierarquia estabelecida.

O PLM gerencia o ciclo de vida do produto viabilizando a troca e atualização de informações de forma hierarquizada, com registro cronológico indexado, com fluxo de trabalho definido, mantendo assim um sincronismo entre todas as etapas ativas de concepção/modificação do produto e concepção/atualização da linha produtiva.

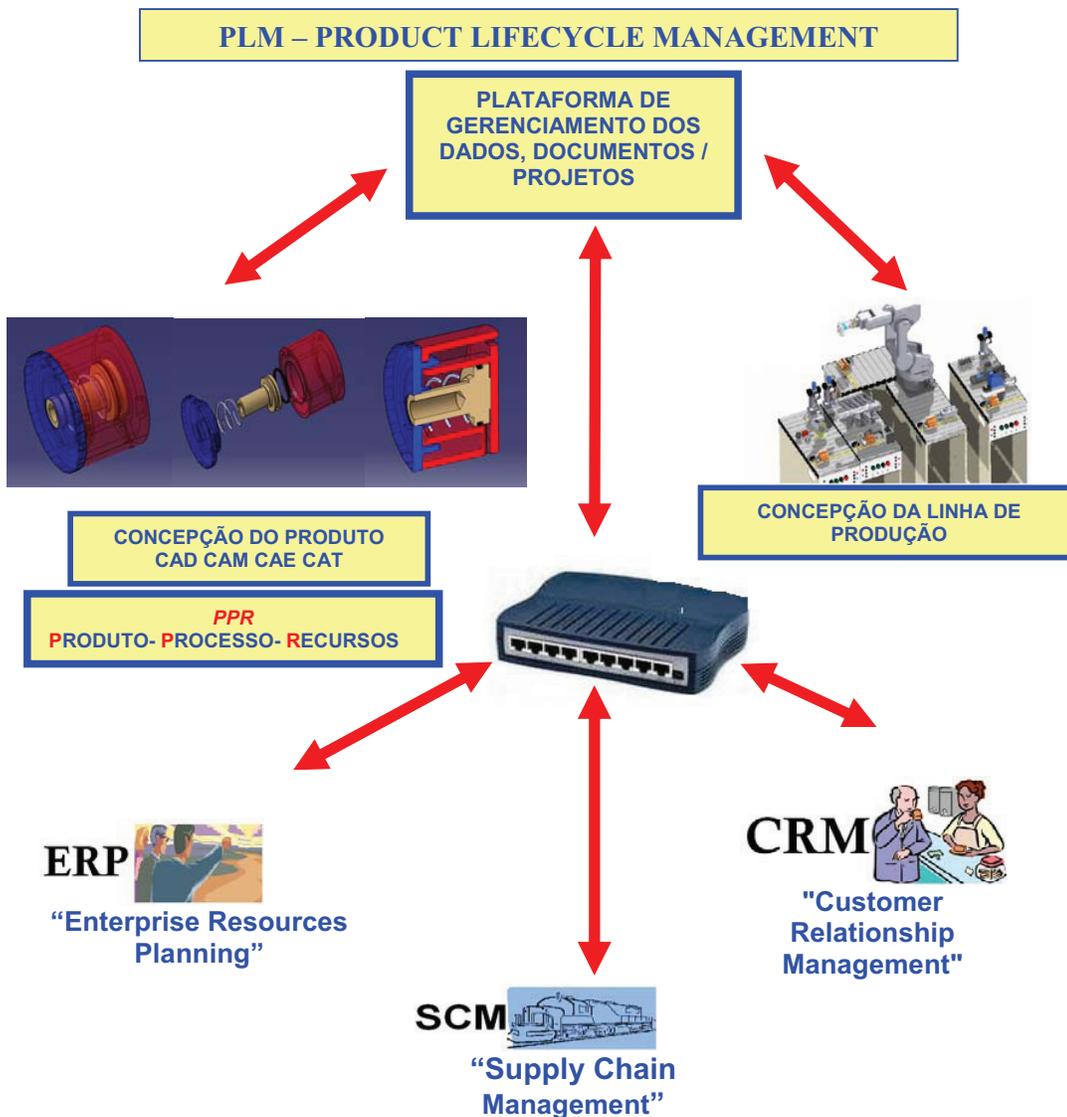


Figura 46 - Ilustração de rede para o fluxo de dados e informações da Manufatura Digital - PLM

Este trabalho situa-se dentro do âmbito técnico/pedagógico, na concepção do produto, da linha produtiva e no gerenciamento do ciclo de vida do produto, naturalmente para que a visão dos “5 A’s” se materialize de forma ampla, é necessário que sejam agregados a logística, o planejamento de todos os recursos da empresa sistemas de ampliação e fidelização dos clientes, o cliente é o “A” do anybody dos “5 A’s” e sem ele, toda a cadeia fica sem sentido. Esta integração mais abrangente deve ser alvo de estudo no âmbito do ensino, em trabalhos a serem desenvolvidos futuramente.

#### **4.3 O desenvolvimento de um Projeto Colaborativo utilizando a Manufatura Digital - PLM**

Nesta Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica, firmou-se o convênio entre o Ministério da Educação Francês, a empresa Dassault Systemès e pelo lado brasileiro o Senai, como fruto deste convenio firmado em 2007, foram instaladas nos servidores da unidade licenças do *software* CATIA V5, como uma ampliação do que a unidade já possuía desde 2004, além do *software* DELMIA V5, como uma ampliação do que a unidade possuía desde 2005. Para viabilizar os projetos colaborativos foram instaladas licenças do SMARTTEAM, que é o *software* da plataforma PLM para pequenas e médias aplicações.

Além da instalação destes *softwares*, um especialista francês foi designado para formar o Centro de Competência em PLM (PLMCC) no Brasil, em nossa unidade, repassando tecnologia aos docentes, e promovendo o trabalho na metodologia de colaboração entre entidades de ensino do Brasil, França e Índia. Na França e na Índia estes centros PLMCC já estavam implantados em 2007 e colaborando entre si em projetos acadêmicos e em projetos industriais.

Após alguns meses do acordo de implantação do PLMCC, no final de 2007, surge o desafio do projeto Bleriot XI, trata-se de um avião desenvolvido pelo francês Louis Bleriot ,que em 25 de julho de 1909, que realizou a travessia do Canal da Mancha pela primeira vez com este aeroplano. A idéia do projeto surge aliada às comemorações do ano do Brasil na França (2008) e da França no Brasil (2009).

A proposta consistia em criar um protótipo digital desta máquina de 1909, baseado em cópias de plantas da época e em uma réplica do avião que se encontra no

museu em Paris-França. A diretriz seria desenvolver um trabalho colaborativo entre entidades de ensino onde os PLMCC estivessem implantados, mobilizando corpo docente e discente destas entidades. Este projeto surge como um primeiro *case* onde a proposta metodológica de Ensino por Competências na Manufatura Digital seria colocada em prática efetivamente no desenvolvimento de um projeto colaborativo internacional, os alunos brasileiros envolvidos no projeto nos dariam uma oportunidade ímpar para verificar o nível de eficácia da proposta metodológica e os aspectos de melhoria que deveriam ser apontados na sua implementação, ao trabalhar-se num escopo mais abrangente como o proposto neste projeto internacional.

Pode-se considerar o cenário como sendo ideal, pois a metodologia seria aplicada a um grupo restrito de alunos que já cursavam o último ano de um curso, que embora se enquadrasse até então numa metodologia conteudista, já se buscava, mesmo dentro desta metodologia, uma prática interdisciplinar bastante intensa, que é uma característica fundamental da Metodologia de Ensino por Competências, comum também à habilitação em Mecatrônica, que é naturalmente interdisciplinar.

Neste sentido foram porpostos canais de comunicação via *WEB* com um *Virtual Private Network-VPN*, para que os desenhos e modelos pudessem ser compartilhados, sob a gerência do SMARTTEAM, percebeu que a troca de dados não justificaria o investimento em uma VPN, resolveu-se então que o SMARTEM faria o gerenciamento entre os servidores das unidades com devidas configurações de *software* nestes servidores de forma a permitir a troca e o gerenciamento dos arquivos . Foram atribuídas as tarefas onde cada país seria responsável pelo levantamento de dimensões, materiais e demais recursos para desenvolver o modelo virtual das partes do avião, que numa etapa final deveriam ser agregadas harmoniosamente.

Desta forma a Índia ficou com a responsabilidade do desenvolvimento do motor e sua fixação ao avião, a França ficou responsável pelo modelamento e testes aerodinâmicos por análise das asas, leme trem de aterrissage, bequilha, comandos do avião; e o Brasil pelo desenvolvimento da fuselagem, modelamento de peças fundidas e usinadas e a montagem final agregando todas as partes geradas pelas outras duas instituições.

Na Figura 47 têm-se fotos do avião original e de Louis Bleriot.



Figura 47- Aeroplano Bleriot XI (1909) e seu projetista Louis Bleriot e a distribuição de responsabilidades na elaboração do protótipo digital.

Os alunos orientados pelos docentes e de posse de documentos referentes ao avião, iniciaram o trabalho de modelamento de peças que seriam usinadas e fundidas, a idéia inicial seria modelar e construir algumas partes, porém, empresários brasileiros, aficionados por aviação, decidiram financiar a construção de uma réplica do avião no Brasil, baseado no modelo digital gerado colaborativamente, com o desafio de cruzar o canal da mancha novamente com esta réplica. A partir daí o trabalho ganhou um peso maior em termos de responsabilidade.

Diante deste novo desafio começou-se o trabalho interdisciplinar com os grupos de alunos e docentes, os alunos brasileiros gerariam o modelamento e a manufatura de partes do avião em colaboração, gerenciadas cronologicamente e em termos de atribuições pelo SMARTEAM- plataforma PLM. O emblema do Bleriot XI aparece no

modelamento digital, e na primeira peça usinada do avião na figura 48, um pequeno passo porém bastante motivador para o time neste grande desafio.

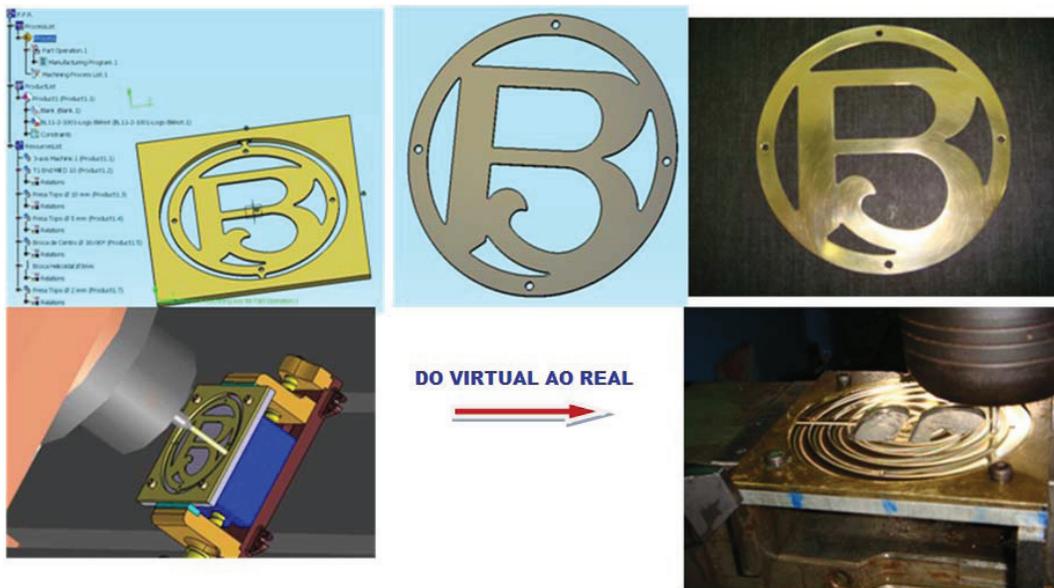


Figura 48- Modelamento e geração do programa de usinagem (CAM ) e a usinagem do emblema do Avião.

Os alunos brasileiros ficaram responsáveis pela elaboração dos moldes para fundição de partes do avião na figura 49, é mostrada uma parte dos resultados obtidos, onde temos o modelo virtual à esquerda e o resultado de usinagem baseado no modelamento e no programa de usinagem gerado pelo CAM.

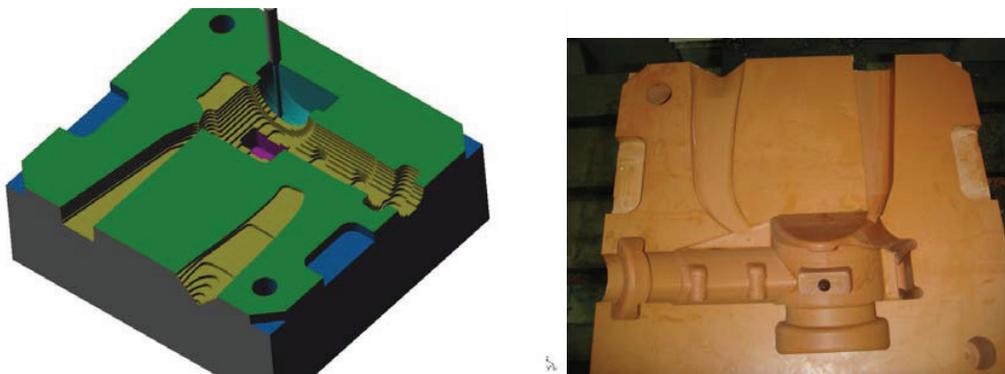


Figura 49- Exemplo de um dos Moldes gerados como protótipo para fundição de peças.

Um desafio importante foi o modelamento da fuselagem onde foram mobilizadas ferramentas de parametrização do *software* para dar conta desta construção mostrada na figura 50.

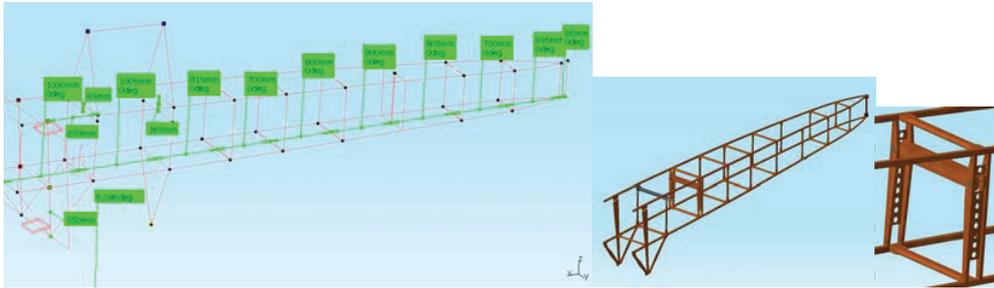


Figura 50- Modelamento da Fuselagem.

Na figura 51 a fuselagem aparece com uma maior riqueza de detalhes já com as asas do avião incorporadas, nota-se que a estrutura é também entrelaçada por cabos

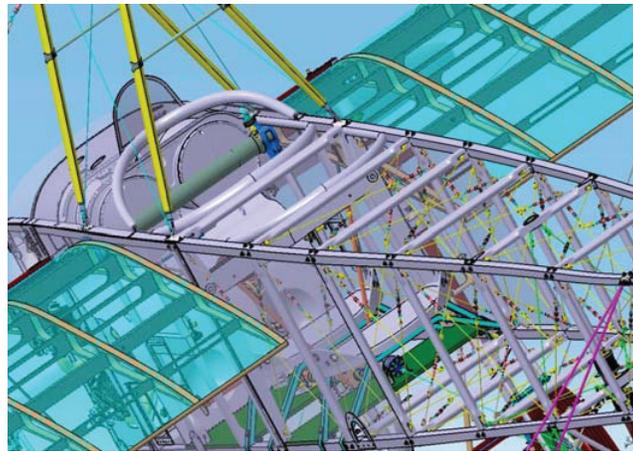


Figura 51- Modelamento da Fuselagem Completa.

As entidades parceiras disponibilizam seus trabalhos na base de dados do PLM, e inicia-se a partir daí a montagem final do protótipo digital com mais de 2000 peças modeladas. Nas figuras 52 e 53 estão agrupadas as contribuições da França e da Índia.

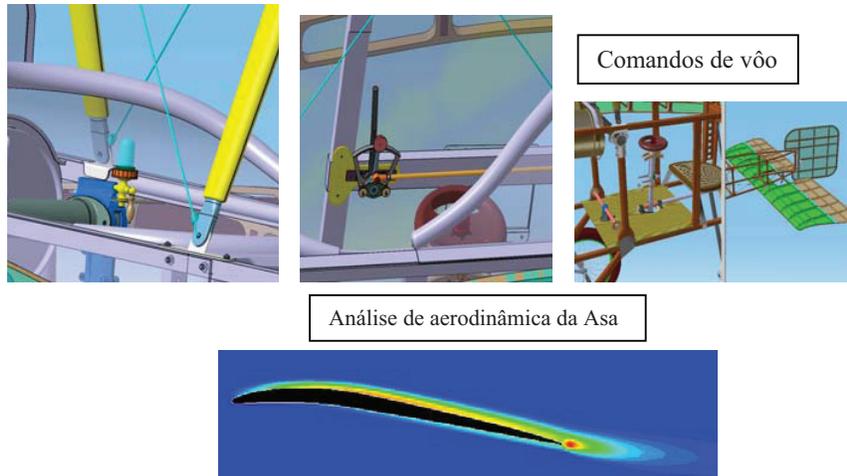


Figura 52- Trabalhos desenvolvidos pelos Franceses.

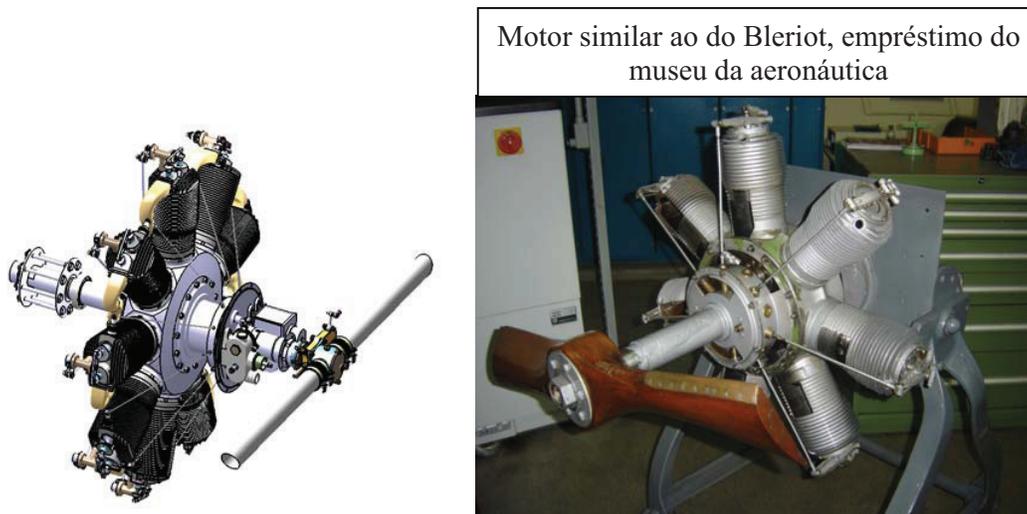


Figura 53- Modelamento do motor pelos Indianos

A montagem final do avião foi suportada pela plataforma PLM que permitiu a discussão e colaboração entre as entidades durante o desenvolvimento do protótipo digital do avião. Devido à grande quantidade de peças modeladas e depositadas no banco de dados gerenciados pelo SMARTEAM. A integração das partes em um protótipo único só foi possível ao longo de seis meses de trabalho, por uma equipe composta por vinte usuários envolvidos no projeto, graças à forma de gerenciamento dos dados configurada no SMARTEAM pelos docentes que estabeleceram o *workflow* e exploraram a metodologia de trabalho, onde boa parte das competências necessárias não

era inerente aos componentes dos times, mas foram desenvolvidas, algumas em parte outras de forma mais plena, ao longo do desenvolvimento do próprio projeto.

Houve, portanto um aprendizado significativo por docentes e discentes, tanto no uso das ferramentas da Manufatura Digital- PLM, quanto na Metodologia de Ensino por Competências, onde o desafio das situações de aprendizagem são sistematizadas e a medida que a transposição de um problema concreto requer um conteúdo específico, os docentes e alunos se debruçam sobre a questão teórica do conteúdo, pois existe um desafio específico aguardando uma solução, ou seja a aprendizagem ganha um significado especial, ela ganha a dimensão de diretriz para orientar a transposição de um obstáculo real e bem definido. Quando este obstáculo é vencido pelos resultados alcançados graças à aplicação da fundamentação teórica, a sedimentação e a transferência destes conceitos a outros desafios têm uma maior possibilidade de ocorrer, é o que Ausubel chama de “aprendizagem significativa”.

Naturalmente existiram retrabalhos e percalços ao longo do período, pois tanto para docentes quanto para alunos muitas ferramentas da Manufatura Digital- PLM estariam sendo utilizadas pela primeira vez, a própria Metodologias de Ensino por Competências passaria por um teste experimental bastante exaustivo, portanto com a responsabilidade de coordenar os trabalhos juntamente com o especialista francês foi também um tempo de aprendizado e de oportunidades de implantar melhorias nos processos.

Existe um longo caminho a percorrer e melhorias a implantar, mas percebe-se também que o trabalho teve resultados interessantes e proveitosos no sentido de orientar aos envolvidos no procedimento de trabalhos colaborativos desenvolvidos para empresas que estão em andamento atualmente.

Na figura 54 vê-se o protótipo digital pronto e colocado sobre o Canal da Mancha, em uma arte elaborada pela empresa Dassault com o pôster confeccionado para exposições, para as quais foi solicitada a apresentação deste projeto colaborativo desenvolvido pelas instituições citadas.

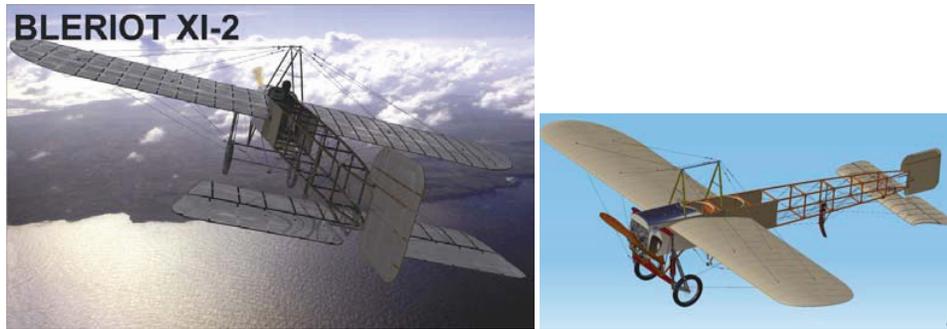


Figura 54- Protótipo Digital do Bleriot XI.

Visando sintetizar e tornar mais clara a sistematização dos trabalhos desenvolvidos neste projeto na etapa virtual e de manufatura de pequenas peças, a figura 55 mostra o de fluxo de Etapas , onde se aplica a Metodologia de Ensino por Competências para o desenvolvimento de projetos colaborativos utilizando a Manufatura Digital- PLM.

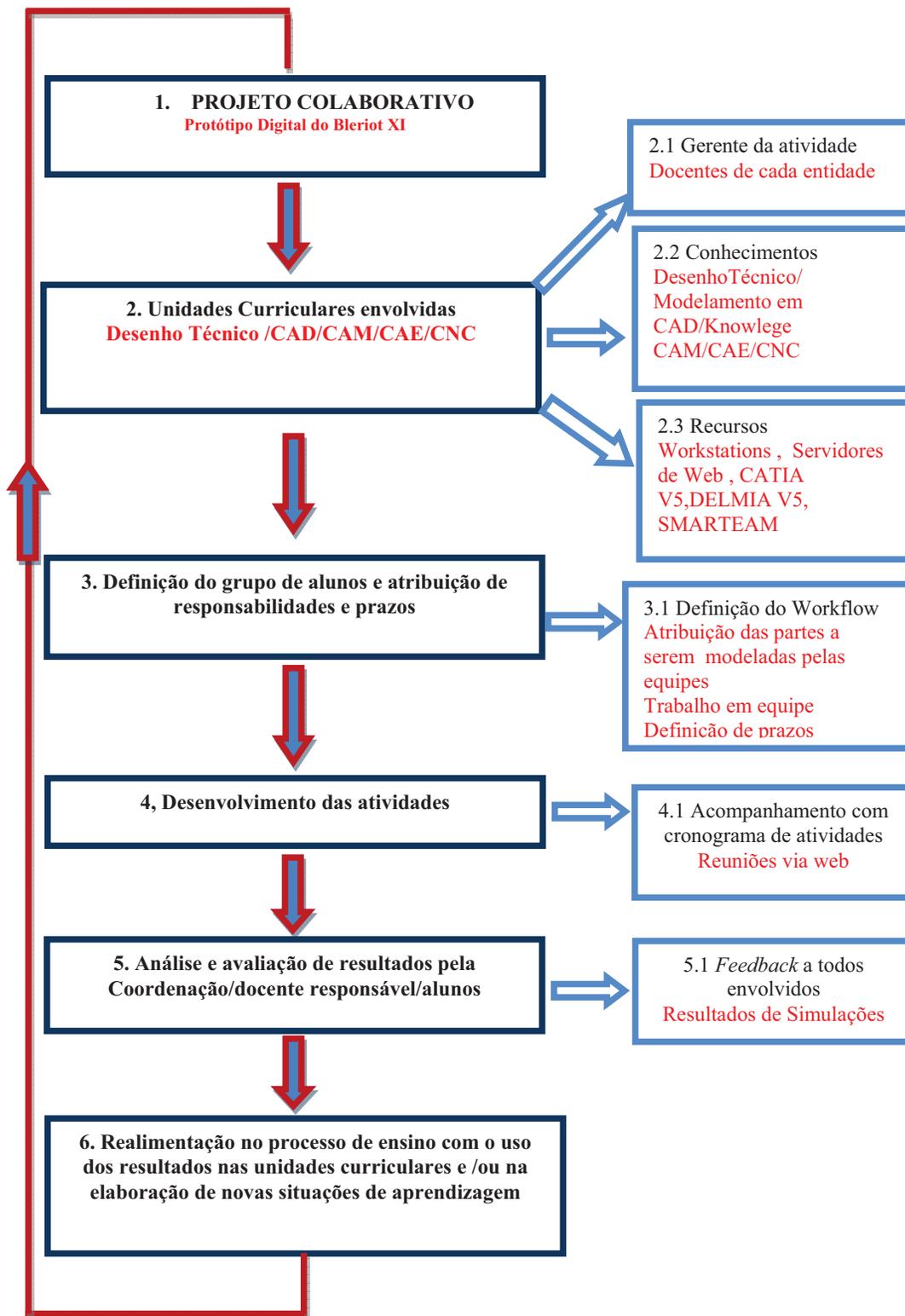


Figura 55- Fluxo para o desenvolvimento do Projeto Colaborativo do Protótipo Digital do Bleriot XI

## **Capítulo 5**

### **Validação da Proposta Metodológica – Estudo de Caso**

#### **5.1 Aplicação da Metodologia**

Tem-se que considerar dois aspectos importantes que deram origem a esta proposta metodológica que integra a Metodologia de Ensino por Competências no ensino tecnológico da Manufatura Digital-PLM. O primeiro aspecto é eminentemente técnico, na experiência da unidade onde se colocou em prática a proposta metodológica, tem-se as áreas de CAD/CAM/CAE/CAT/CNC, Automação e Robótica como áreas com uma razoável experimentação em termos didáticos, porém , até então, com uma característica isolada no desenvolvimento das unidades curriculares. Não havia a presença de um elemento de gerenciamento que é o PLM, o qual passa a ser um viés de integração e de catalisação do trabalho colaborativo, pois todo o trabalho e todas as alterações de percurso são gerenciados de forma centralizada pela plataforma PLM.

O segundo aspecto é eminentemente pedagógico, a migração metodológica para um curso baseado em competências, está fazendo com que o planejamento de ensino desenvolvido pelos docentes, tenha uma necessária integração e uma busca constante da interdisciplinaridade de forma mais intensa por meio das propostas de situações de aprendizagem.

Novamente dois vetores de natureza diferenciada, surgem para esta unidade em particular, no mesmo espaço de tempo, num contexto comum, criando uma resultante na mesma direção de integração e interdisciplinaridade entre as unidades curriculares, um vetor de natureza pedagógica e outro de natureza técnica integrados pela proposta

metodológica apresentada. Não se pode ignorar a oportunidade de vivenciar um momento único de aprendizado e crescimento.

Embora a pesquisa metodológica com os *cases* apresentados ocorram no ambiente acadêmico da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica, por razões de acesso aos recursos e autonomia de implementação e experimentação da metodologia, pode-se considerar que a proposta metodológica é aplicável a qualquer área do ensino acadêmico, notadamente à área da engenharia, que é a área afim em termos de perfil profissional do egresso à área onde fizemos a implementação metodológica do Ensino por Competências particularmente no ensino da Manufatura Digital.

A possibilidade de aplicação desta metodologia em outras áreas acadêmicas tem como suporte o fato de que qualquer área de formação acadêmica tem por objetivo subsidiar o desenvolvimento no estudante de um alicerce de conhecimentos, habilidades e valores, para que as competências necessárias a uma dada habilitação possam ser desenvolvidas ao longo do tempo com o exercício desta habilitação no mercado de trabalho. Isto só acontece se este alicerce de conhecimentos, habilidades e valores se constituiu numa preocupação da instituição de ensino, durante o período acadêmico deste estudante.

Em face ao que foi descrito anteriormente, tanto o tecnólogo que atua predominantemente na integração de tecnologias, como o engenheiro, que além de integrar tecnologias, possui o suporte científico mais abrangente para o desenvolvimento de novas tecnologias, ao serem formados dentro de uma metodologia, que subsidia o desenvolvimento de competências fortalecida pelas práticas interdisciplinares com desafios de projetos colaborativos, terão um cenário propício para vivenciar o uso das metodologias aplicadas hoje nas grandes corporações, onde o capital intelectual é compartilhado de forma estratégica. Esse compartilhar possibilita a expansão deste capital intelectual com o incremento da competitividade da empresa.

Os laboratórios que são envolvidos de forma direta na proposta são os de CAD/CAM/CAE, CNC, Automação e o laboratório de Robótica. Para a experimentação da proposta metodológica, trabalha-se em cima de um estudo de caso específico, onde se pretende fechar um ciclo de integração interdisciplinar mostrando a Manufatura Digital num exemplo simples para um dado produto, esta idéia pode ser estendida para

outros produtos gerados no mundo acadêmico e para produtos do mundo de mercado, pois todas as plataformas de *software* e todos os equipamentos de hardware utilizados podem ser encontrados nas empresas.

Nas corporações trabalha-se com todas as plataformas mostradas no capítulo anterior, e com outras que integram os recursos, a logística e o foco no cliente. Na verdade após a implantação desta etapa do ensino da Manufatura Digital-PLM utilizando a Metodologia de Ensino por Competências, e após alguns ciclos de melhoria, este é o próximo desafio acadêmico rumo a uma realidade mais próxima do dia a dia das corporações.

Com o objetivo de aplicar a metodologia proposta para o ensino da Manufatura Digital e aplicação do PLM, utiliza-se o produto que é ilustrado na figura 56. Criado pelos grupos de alunos e concebido em quatro perspectivas, trata-se de um atuador pneumático de simples ação com movimento linear, inicialmente apresentado em corte com haste avançada, em seguida em corte com haste recolhida, em vista explodida e finalmente o produto montado, sendo esta a proposta de concepção e de modelamento de um produto em CAD (CATIA).

Este produto concebido por grupos de alunos foi objeto do desafio posterior de modelar a célula robotizada para a montagem e produção do produto proposto, com posterior teste de comissionamento e programação da célula real de produção.

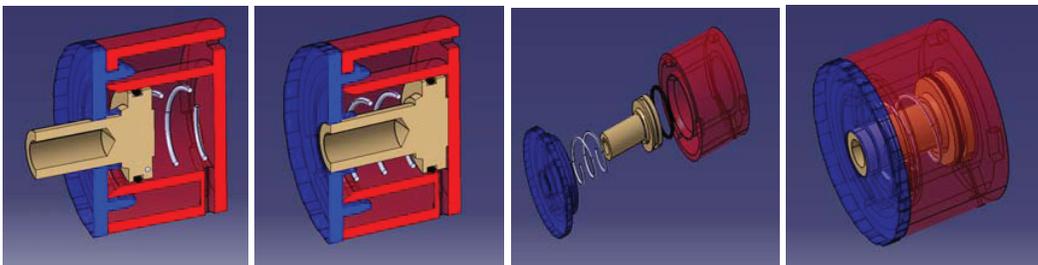


Figura 56- Produto a ser desenvolvido na Metodologia Proposta.

O produto final proposto, o atuador pneumático de simples ação, é frequentemente utilizado em automação como elemento de fixação em dispositivos automatizados, para expulsão de peças em linhas automatizadas de produção entre outras aplicações.

Em termos de concepção do produto e de sua célula de montagem, a ênfase didática e de interdisciplinaridade para este *case* situa-se em dois momentos: o primeiro é a aplicação do conceito PLM onde se trabalha de forma colaborativa com os alunos, cria-se na plataforma um *Work-Flow*, fluxo de trabalho, exemplo ilustrativo na figura 57, onde o professor define os grupos e as atribuições de cada grupo em relação às partes componentes do produto. O segundo momento se relaciona à concepção da célula de montagem das partes do produto também de forma colaborativa.

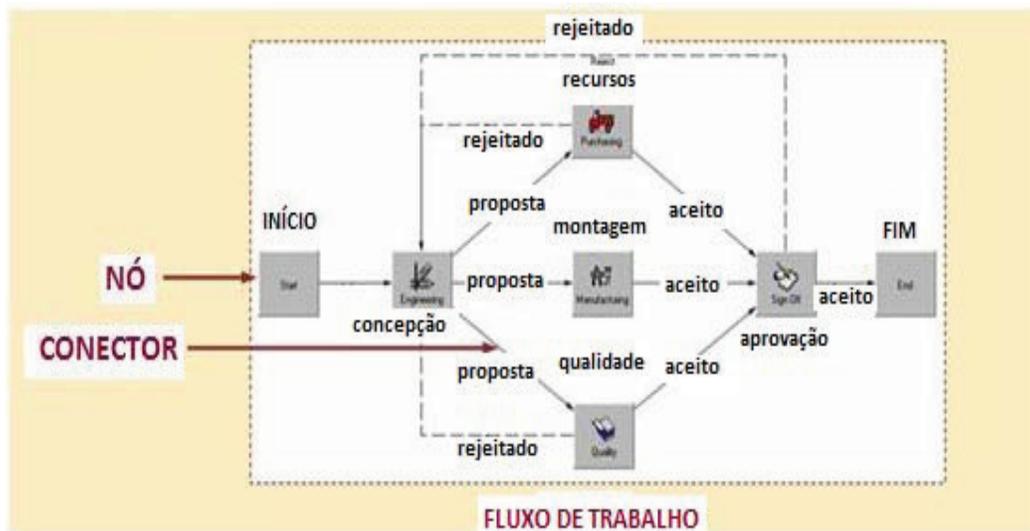


Figura 57- Exemplo de *Workflow* do processo colaborativo

A haste deverá ser modelada e agregará no seu modelamento a parametrização em termos de diâmetros, comprimentos, materiais utilizados e tratamentos superficiais na haste, relacionada por parâmetros vinculados às famílias de hastes que serão disponibilizadas para o mercado.

Da mesma forma os êmbolos deverão ser modelados e necessitarão conter parametrização vinculada aos parâmetros das famílias de hastes, levando-se em conta também às vedações e máximo esforço radial permitido na haste do atuador, assim como as pressões de trabalho.

Semelhantemente à mola, o corpo ou a camisa do atuador, a tampa dianteira, deverão ser modeladas e trazer de forma intrínseca a vinculação paramétrica com as outras partes do produto, seguindo as regras hierárquicas de modificações no produto,

estabelecidas no *Work Flow*, cujas regras e lógica, foram fixadas pelos gerentes de todo o processo, neste caso os docentes.

O trabalho colaborativo fica explicitado e organizado por meio do PLM, e esta experiência é vivenciada entre os grupos de alunos trabalhando de forma colaborativa num mesmo projeto. Este é o cotidiano das grandes corporações com suas unidades em países diversos, onde os projetos são desenvolvidos nesta metodologia, com o trabalho colaborativo entre as equipes de engenharia de cada unidade. Tudo isto é vinculado por um *Work Flow*, que determina as atribuições de cada equipe em relação ao projeto e organiza as alterações feitas pelas equipes em ordem cronológica, arquivando em bancos de dados todas as informações de engenharia geradas durante todo desenvolvimento e durante todo ciclo de vida do produto.

Até este estágio vê-se um exercício interdisciplinar reunindo conhecimentos e capacidades técnicas vindas de unidades curriculares como Tecnologia Mecânica Aplicada, Desenho Assistido por Computador, Automação Pneumática. Numa visão mais ampla, abrange também competências sociais e organizativas como questões dos materiais envolvidos na concepção do produto em relação ao meio ambiente durante e ao final do ciclo de vida do produto. O trabalho em equipes, que passa a ser gerenciado, em termos de engenharia, pela plataforma PLM e em termos humanos, pela figura dos docentes envolvidos, que distribuem o trabalho entre os grupos ,agregando, analisando e discutindo com os alunos, ao final, os resultados obtidos.

Com isto as competências sociais são desenvolvidas nos grupos de alunos, que ao assumirem a liderança emergencial do grupo no desenvolvimento das partes a eles destinadas, atuam no sentido de focar os esforços nos requisitos e nos prazos fornecidos pelo gerente geral do processo.

Uma vez concebidas as partes parametrizadas do produto em CAD, onde temos o modelamento e também a implementação do *Knowledge*, ou seja, a inteligência, que incorpora à plataforma PLM, o “saber como fazer” que está armazenado no conhecimento tecnológico humano e explicitado nas normas técnicas, assim monta-se o produto e simula-se o funcionamento.

A partir do modelamento em CAD, os grupos fazem a análise em CAE, nas partes componentes do atuador focando aspectos de pressão máxima, flambagem, força máxima.

Feita a análise e eventuais correções de projeto a próxima etapa a ser desenvolvida é a manufatura das partes em CAM, gerando-se os programas de usinagem em CNC, a partir daí são manufaturadas as partes.

No segundo momento, ocorre com a montagem das partes, que deve ser realizada por uma linha de produção automatizada. Esta será concebida em software de simulação *off-line*, que se integra aos softwares de CAD/CAM/CAE, importando as peças modeladas, a montagem das partes, gerenciados pela plataforma PLM, integrando a esta as informações, o modelamento da linha de produção, suas funcionalidades. O modelo matemático do Robô escolhido para executar a montagem e a lógica de sequenciamento da linha de produção.

Todo este trabalho é distribuído entre os grupos de alunos pelos docentes, que trabalham com a ênfase no desenvolvimento colaborativo do projeto como um todo, onde os grupos que desenvolvem os sistemas de alimentação das partes (mola, haste, camisa) se integram com os grupos que desenvolvem o processo de montagem e de expedição do produto acabado. A plataforma PLM organiza e dá as permissões de acesso e alterações no projeto, mediante as diretrizes inseridas pelos gerentes do projeto.

O exercício interdisciplinar neste ponto reúne conhecimentos e capacidades técnicas vindas de unidades curriculares como Tecnologia Mecânica Aplicada, Desenho Assistido por Computador, Manufatura Assistida por Computador, Controle Numérico Computadorizado, Automação Pneumática, Controladores Programáveis, Robótica e numa visão mais ampla, abrange as competências sociais e organizativas com a preocupação com questões ambientais e o trabalho em equipes que permeiam todo o desenvolvimento do trabalho.

Neste *case*, de forma específica, o produto é montado em uma célula de produção com equipamentos industriais agregados didaticamente pelo *Modular Production System* (MPS) fornecidos pela Festo Automação, como ilustrado no

capítulo três deste trabalho quando citada a concepção desta célula utilizando o modelo “V” da norma VDI-2206.

A montagem das partes é ilustrada por meio do modelamento virtual da etapa de montagem do produto na figura 58. Esta montagem é executada na etapa da linha produtiva onde se utiliza um Robô, que coleta as partes num magazine de peças com alimentação automática e executa a montagem sequencial no dispositivo de montagem.

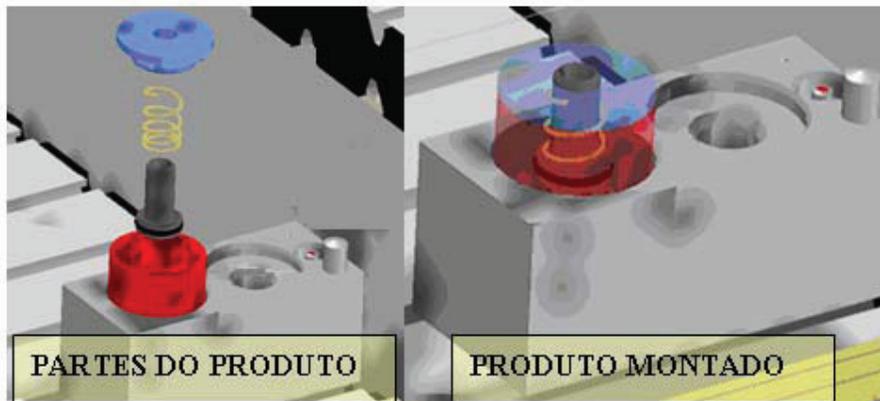


Figura 58– Imagem virtual da montagem do produto.

Por meio de uma sequência das figuras: 59,60, 61, 62, 63, 64, pode-se ilustrar as etapas de montagem concebidas em um software de simulação off-line, fundamental para a antecipação do comportamento do sistema de montagem real, evitando colisões e otimizado o processo.

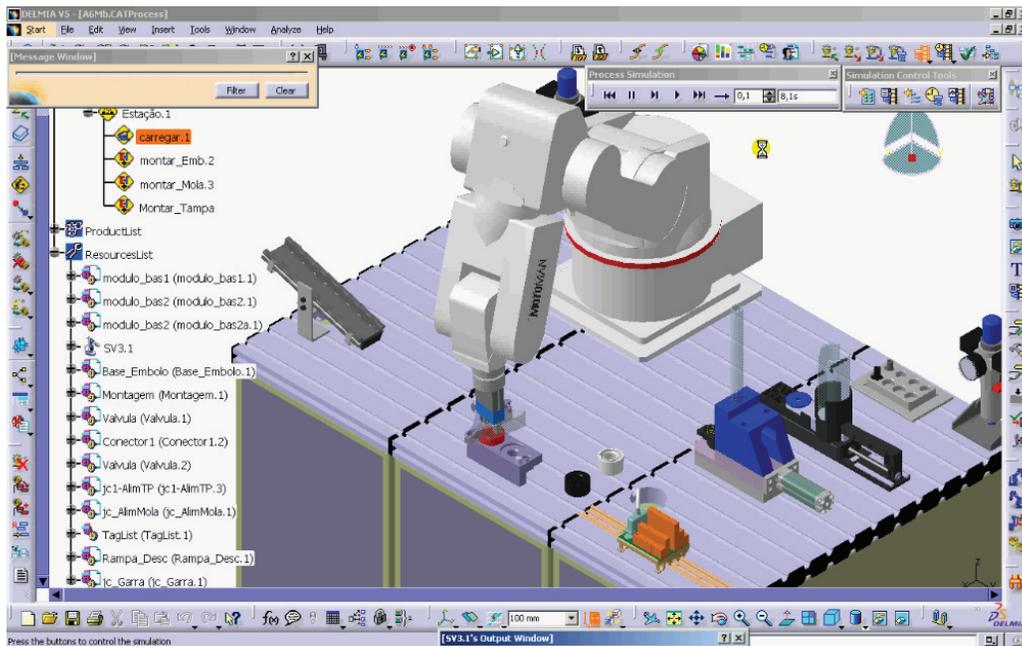
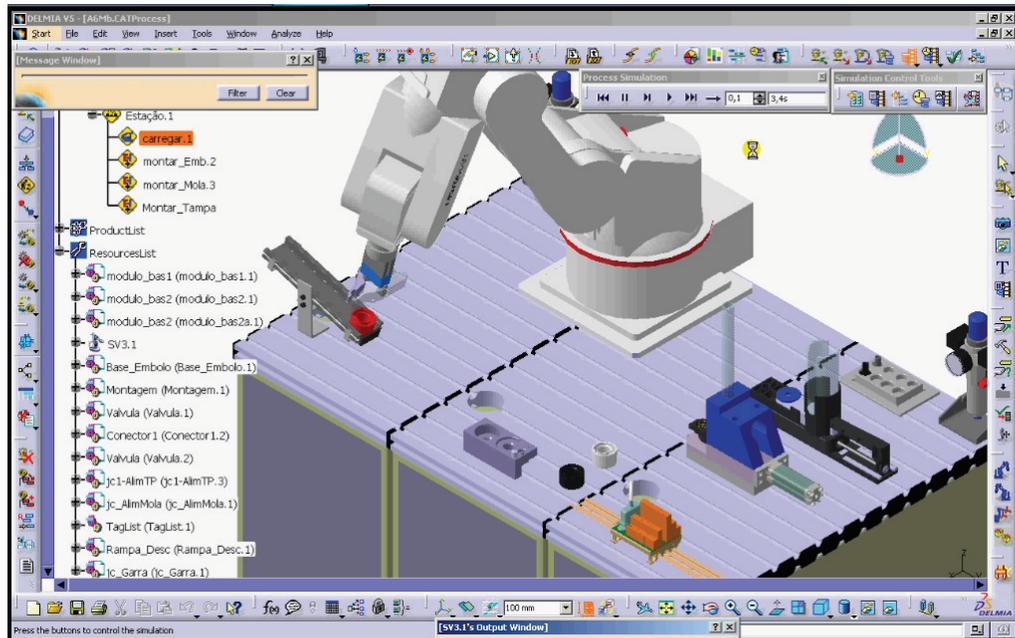


Figura 59 - Coleta da camisa do atuador no seu magazine e inserção no dispositivo de montagem

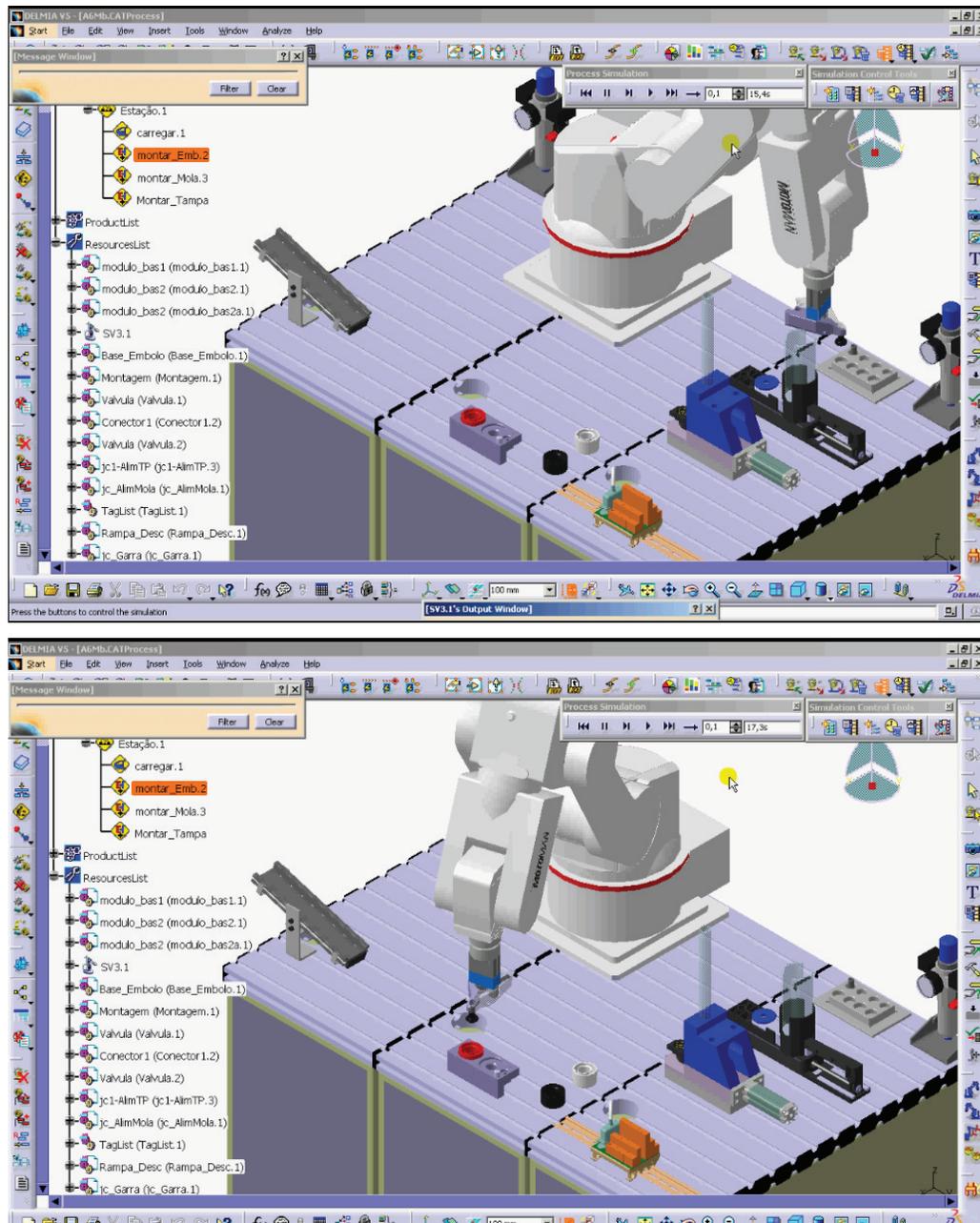


Figura 60 – Coleta do êmbolo do atuador no seu magazine e inserção do êmbolo na camisa do atuador

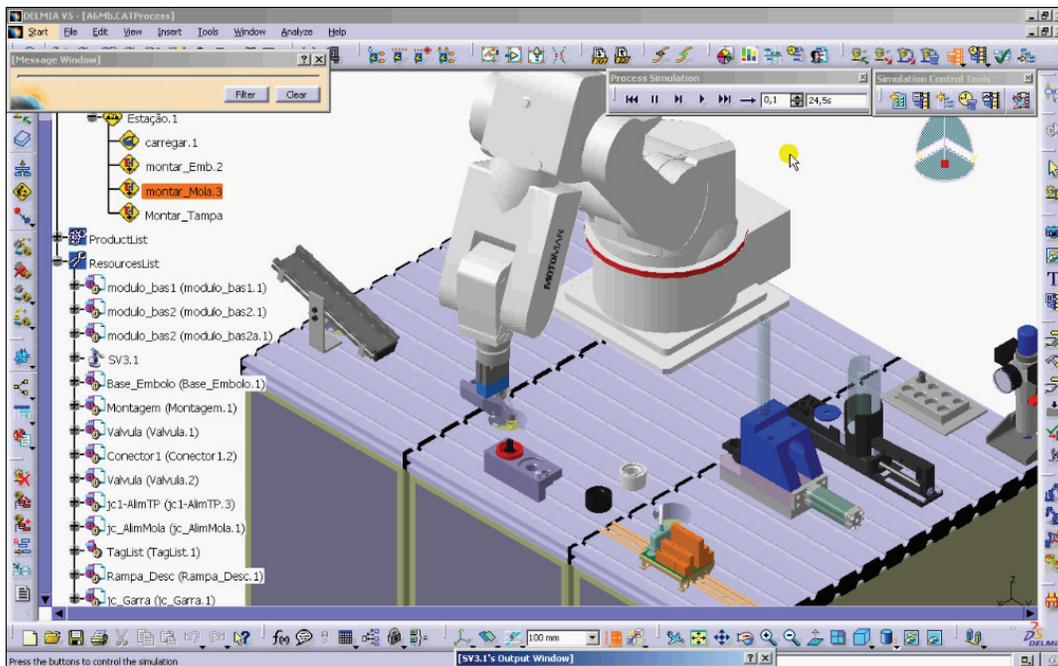
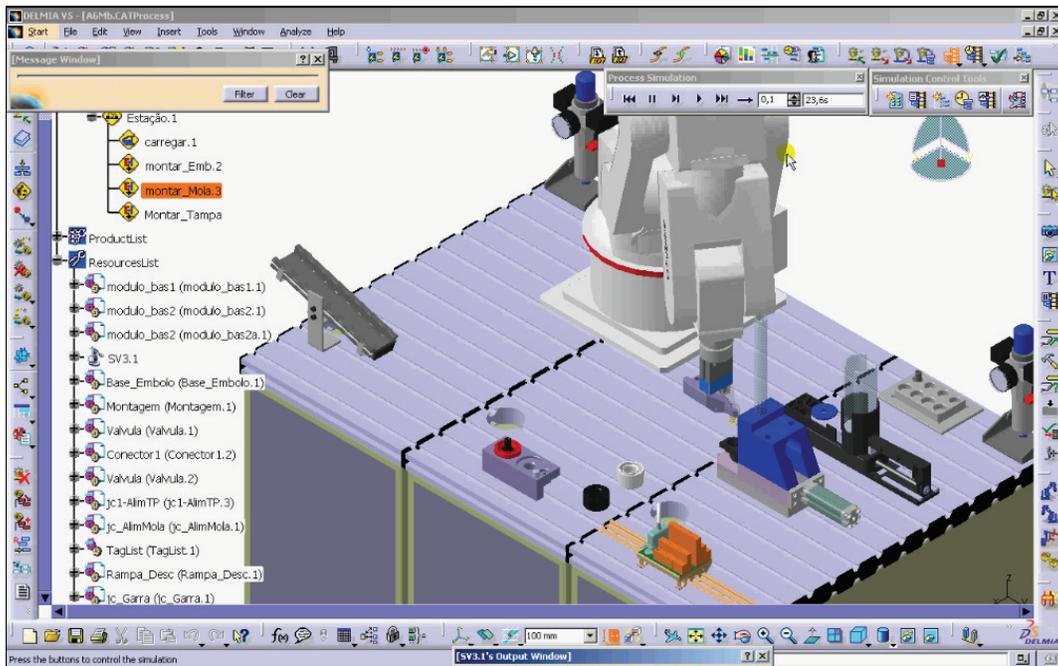


Figura 61 – Coleta da mola em seu magazine e sua Inserção no atuador

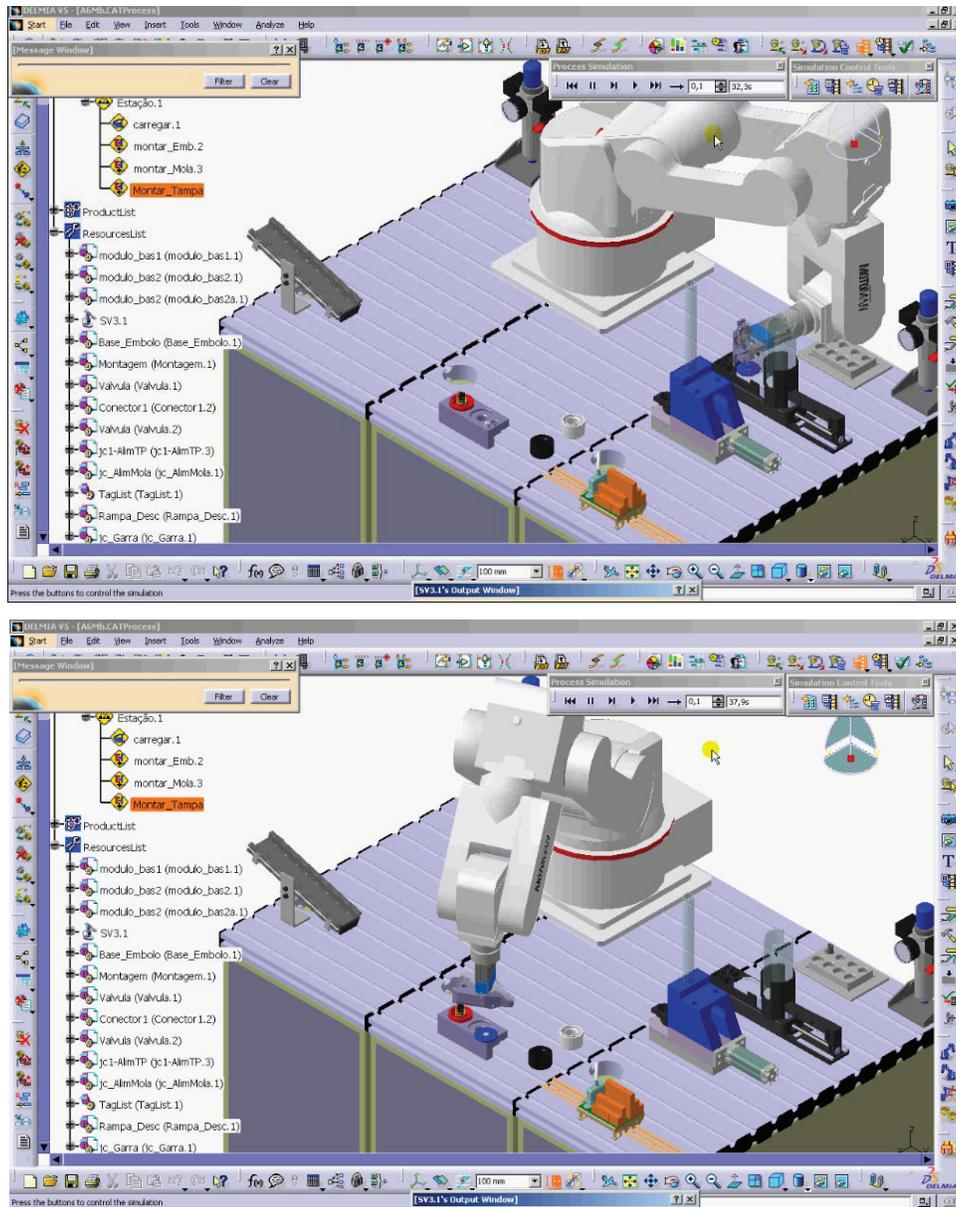


Figura 62 – Coleta da tampa em seu magazine e teste da posição da tampa para montagem

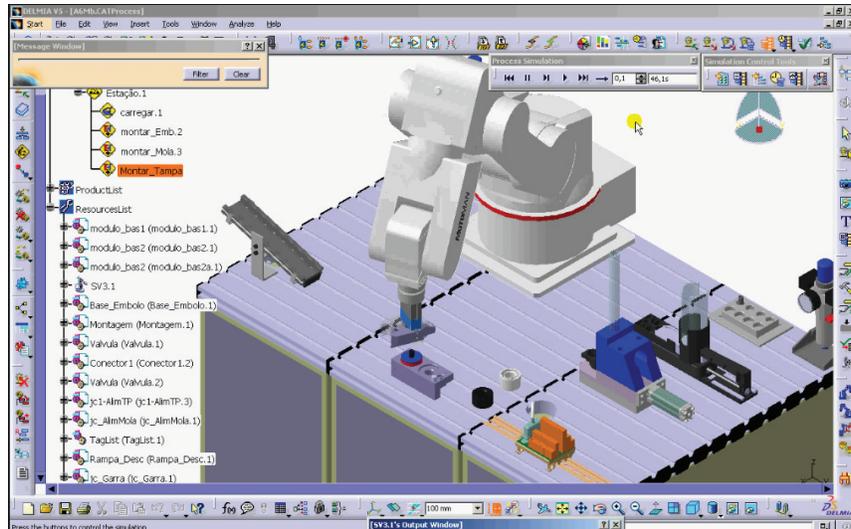


Figura 63 – Colocação da tampa no atuador

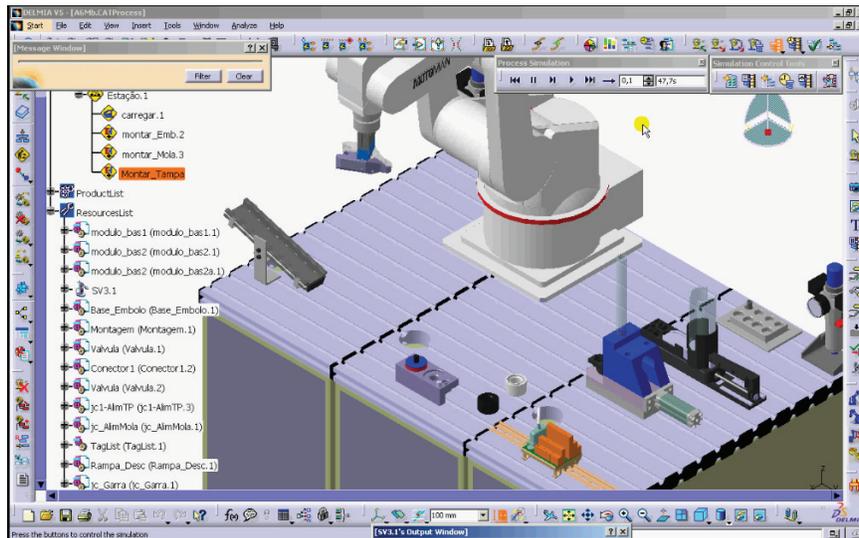


Figura 64 – Produto montado

Na figura 64 tem-se uma visão geral do processo onde se vê o MPS com os módulos de alimentação das partes do produto, o módulo com o dispositivo de montagem e o robô de montagem e o detalhe de seu elemento efetuator, projetado para esta aplicação específica de montagem, e teste da tampa do atuador, ou seja, duas funções em duas diferentes etapas do processo. O robô está fixado em dois módulos de suporte para adequação do espaço de trabalho.

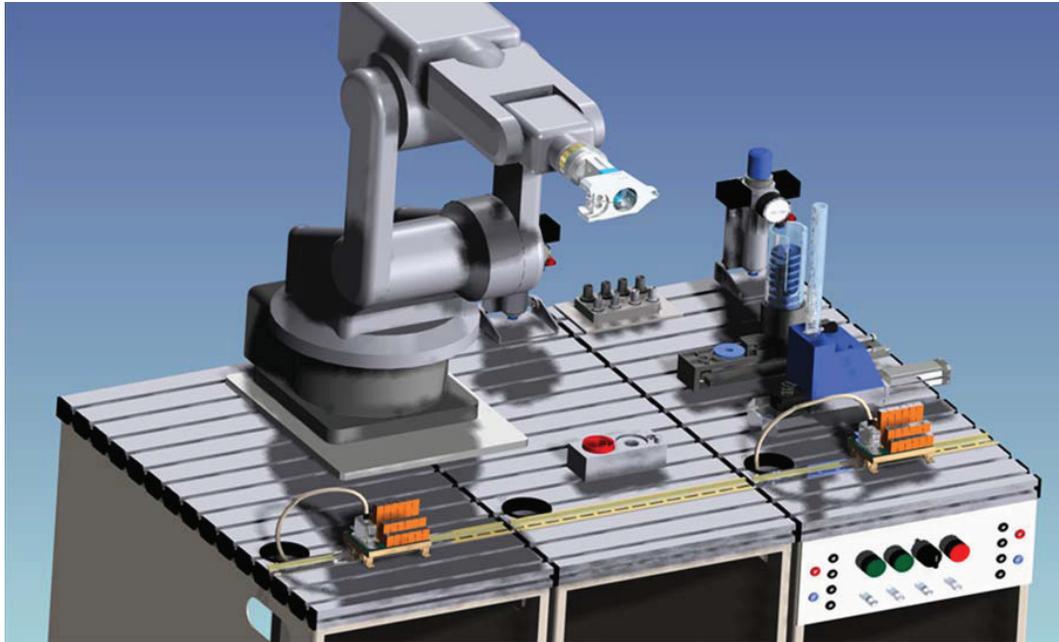


Figura 65- Célula Virtual de Montagem do Atuador Pneumático de Simples Ação

Os grupos criados na concepção do produto irão atuar nesta etapa na proposição, concepção e implementação da linha produtiva, buscando a otimização de sequenciamento de montagem, trajetos e velocidades seguras na movimentação do Robô, melhor e menor ciclo de produção com otimização de leiaute dos estágios de produção. Esta otimização deve ser feita de forma virtual e posteriormente implementada no MPS.

Neste estudo de caso notam-se os grupos formados e o trabalho em equipe desenvolvido para a concepção e montagem das partes componentes do produto, e a parametrização dos elementos que compõe o produto. Na etapa de concepção da linha produtiva a mesma filosofia permeia o trabalho no sentido de se organizar, hierarquizar permissões de alteração e arquivar todas as alterações implementadas.

Ao final cada grupo apresenta seu trabalho, neste momento os gerentes do processo (docentes) incentivam a troca de experiências e a apresentação das soluções propostas, e as dificuldades encontradas neste processo de colaboração para a concepção do produto e da linha produtiva virtual, comparando com a sua implementação prática no MPS.

Este é um dos momentos mais ricos do processo, onde por meio da prática da mediação conduzida pelos docentes, existe uma troca onde os próprios docentes aprendem com os alunos, que por sua vez desenvolvem o aprendizado mútuo e naturalmente aprendem também com os docentes. Ao longo do processo e neste momento, as capacidades sociais e organizativas são praticadas e competências técnicas são demonstradas na solução dos desafios propostos.

A figura 65 mostra o Fluxo de Etapas utilizado para o desenvolvimento do produto, que é o atuador pneumático de simples ação e a concepção da sua célula de produção. Este *case* validou a aplicação da Metodologia no processo vinculado de criação do produto e de sua célula produtiva, além de ser um referencial pedagógico para a concretização de outros *cases*, conferindo experiência importante para a elaboração de projetos propostos por empresas parceiras, em células de produção a serem implementadas de forma colaborativa, mediante uma primeira etapa virtual.

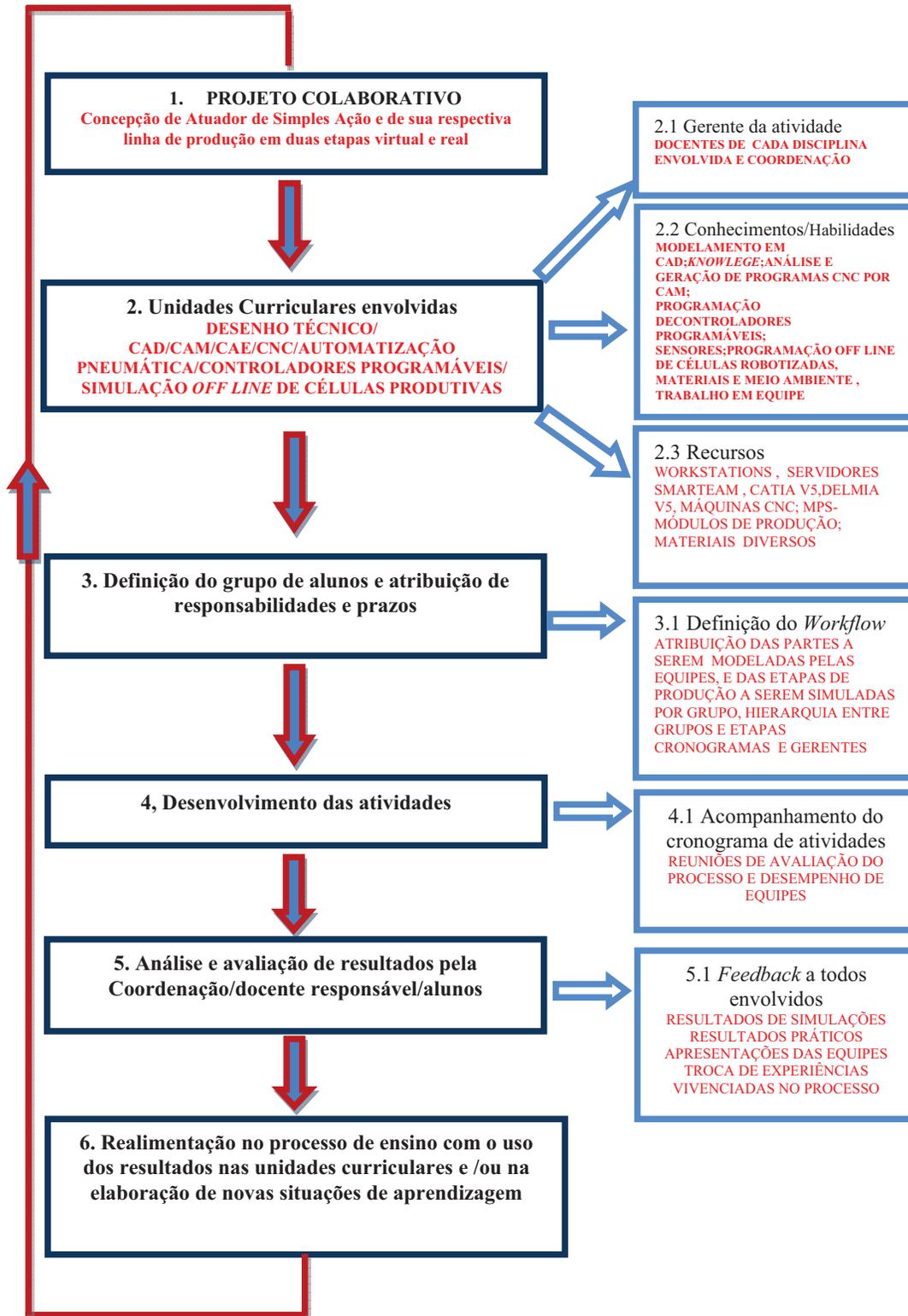


Figura 66- Fluxo de Etapas envolvendo a concepção do produto e da sua linha de produção

## 5.2 Resultados obtidos com a Aplicação da Metodologia

É fundamental avaliar a aplicação da Metodologia proposta analisando-se a situação dos egressos do curso e a aceitação destes egressos no mercado de trabalho. Neste sentido o Senai-SP implantou em 1985, o Sistema de Acompanhamento de Egressos do SENAI-SP – SAPES – visando averiguar o impacto dos cursos na vida profissional dos egressos, esta pesquisa é feita envolvendo tanto os egressos como também os empregadores destes egressos.

Coloca-se a seguir alguns dados retirados do relatório do SAPES, para verificar-se como está o desempenho dos egressos nas empresas e como as empresas estão recebendo os egressos, ou seja, qual a avaliação que a empresa faz em relação ao desempenho destes egressos. Na figura 67 coloca-se uma comparação entre a taxa de ocupação do grupo de egressos pesquisados, antes e depois do curso.

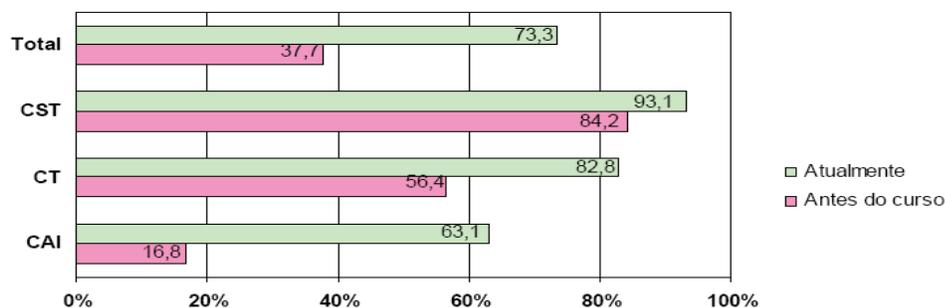


Figura 67- Taxa de ocupação dos egressos antes e depois do curso  
(fonte –Relatório SAPES -junho/2009)

Percebe-se que os alunos do Curso Superior de Tecnologia (CST) tiveram um incremento de 8,9% na sua taxa de ocupação após o curso.

Com relação à taxa de inserção dos egressos no mercado de trabalho segundo o Relatório do SAPES -junho/2009 vê-se uma taxa de 81,3% para o Curso Superior de Tecnologia, conforme ilustra a figura 68.

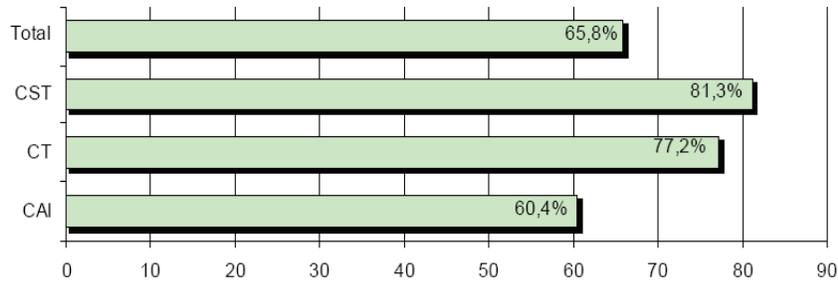


Figura 68- Taxa de inserção dos egressos no Mercado de trabalho  
(Fonte- SAPES -junho/2009)

O SAPES ao ouvir os supervisores na manifestação em relação a avaliação dos egressos, foi obtida uma avaliação média de 8,7(nota de 0 a 10). Além deste índice verificou-se também a preferência na contratação de egressos desta Instituição, onde se obteve o índice de 84,4%.

Os números obtidos mostram valores satisfatórios em relação aos egressos, portanto apontam para uma continuidade na implementação da Metodologia Proposta.

Relativamente aos projetos desenvolvidos e em desenvolvimento citados neste trabalho, os mesmos demonstram resultados satisfatórios na avaliação das empresas parceiras solicitantes dos projetos e do Ministério da Educação Francês, percebe-se pela avaliação dos alunos, formal e informal, a satisfação com o aprendizado e naturalmente um anseio de conhecer mais sobre as ferramentas utilizadas. Na figura 69 vemos a taxa de satisfação dos alunos com o curso que tem oscilado em torno de 85% dos alunos considerando o curso entre bom e ótimo.

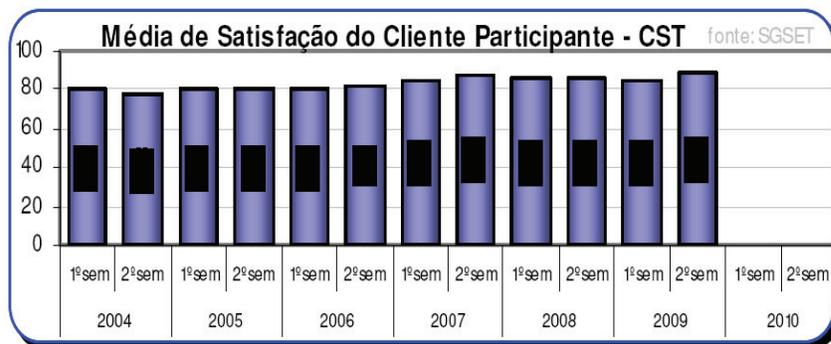


Figura 69-Histórico da Média de satisfação dos alunos com o curso  
(Fonte – SGSET- Sistema de Gestão-2010)

Nos projetos colaborativos estão sendo utilizadas as ferramentas da Manufatura Digital – PLM e mais uma ferramenta de simulação que foi acrescentada recentemente ao nosso servidor que é o SIMULIA, para simulação dos aspectos dinâmicos dos projetos.

Fizemos um levantamento da utilização e das perspectivas de utilização das ferramentas de Manufatura Digital-PLM nos cursos de graduação e de pós-graduação, o resultado é ilustrado na figura 70.

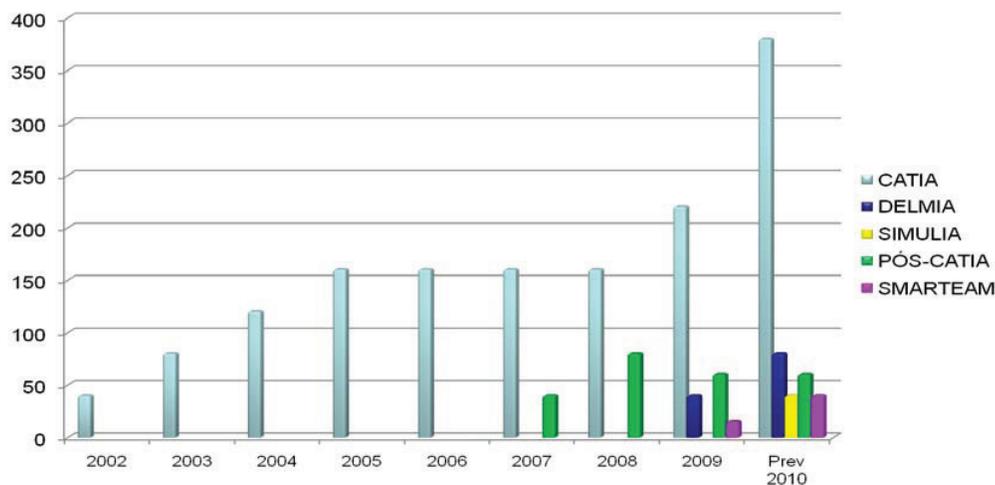


Figura 70- Número de acessos de alunos e usuários às ferramentas da Manufatura Digital-PLM nos cursos da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica.

Na figura 71 temos a quantidade de alunos formados que foram capacitados para a utilização das ferramentas de Manufatura Digital.

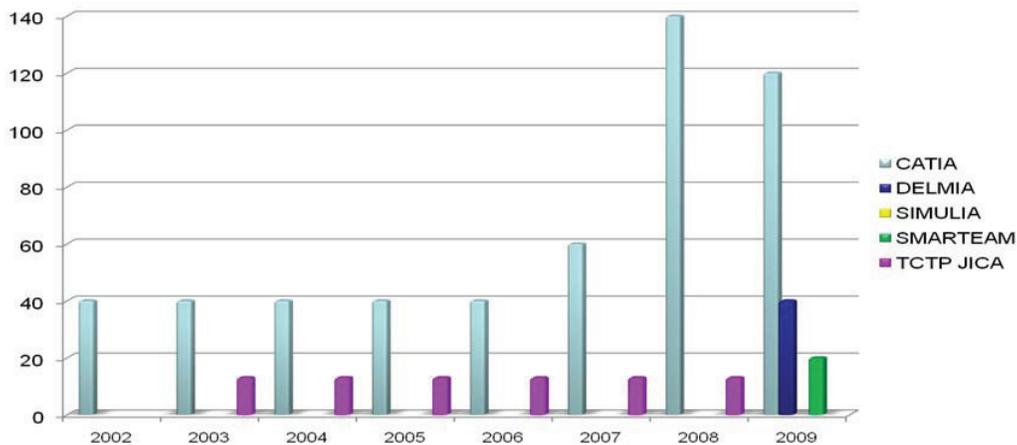


Figura 71- Alunos capacitados para a utilização das ferramentas de Manufatura Digital.

Como citamos anteriormente os dois vetores de natureza diferenciada, um vetor de natureza pedagógica (Metodologia por Competências) e outro de natureza técnica (PLM), criam na sua composição um cenário propício para o ensino da Manufatura Digital, que tem intrinsecamente uma natureza interdisciplinar e se alicerça na Mecatrônica, pois utiliza os conteúdos das unidades curriculares da Mecatrônica.

A interdisciplinaridade e o trabalho organizado numa plataforma colaborativa são imprescindíveis ao ensino da Manufatura Digital, a proposição de situações problema, estudos de caso, projetos e pesquisa balizam a criação de situações de aprendizagem que se concatenam ao uso das ferramentas de CAD/CAM/CAE/CAT/CNC/Automação/Robótica/PLM nas etapas virtuais. Com a disponibilidade de recursos de hardware, o ciclo fica completo ao se implementar o que foi concebido virtualmente.

### **5.3 Resultados globais, validação da Metodologia proposta e cronograma de implementação**

A implementação da Metodologia proposta se deu em quatro etapas distintas, onde em algumas etapas a própria solicitação de empresas parceiras levou ao desenvolvimento antecipado de algumas etapas.

Na primeira etapa constituída pela concepção de um produto virtual de forma colaborativa utilizando a metodologia. O produto foi o protótipo digital do avião Bleriot XI, diante do desenvolvimento deste produto, se procurou fomentar o contato com empresas, isto gerou interesse em projetos de produtos específicos de forma colaborativa, iniciando-se assim a segunda etapa, cujos projetos gerados estão discriminados no Anexo I deste trabalho.

Na terceira etapa verificou-se a necessidade de conceber-se uma Situação de Aprendizagem onde, além de se conceber o produto, conceber-se-ia também a célula de produção, ambos no campo virtual e posteriormente no campo real, com os recursos disponíveis na unidade.

Numa quarta etapa, novamente o contato com as empresas e a divulgação da Metodologia de trabalho fez com que fossem solicitados projetos colaborativos de

concepção de células de produção virtuais, com a possibilidade de concretização destas células.

Para a ilustração destas etapas citadas a figura 72 mostra o cronograma de implantação da Metodologia Proposta até junho de 2010.

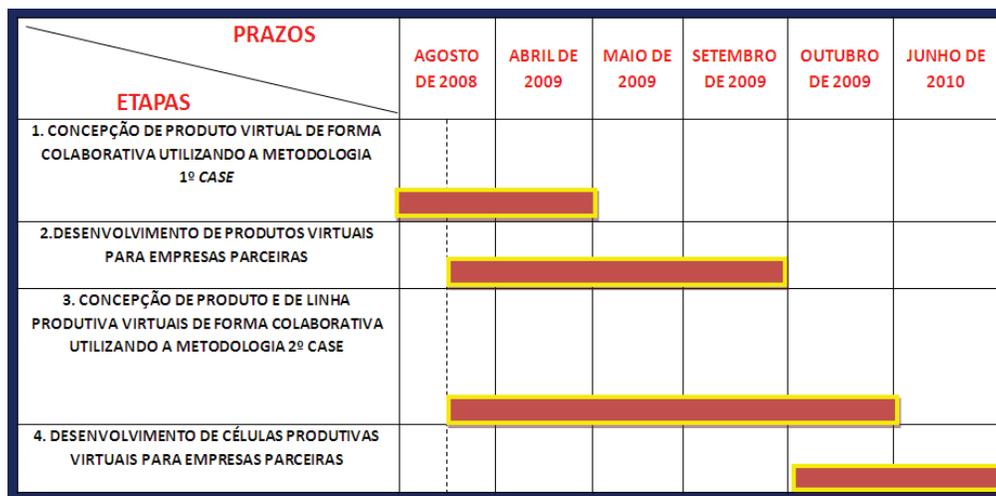


Figura 72- Cronograma de implantação da Metodologia Proposta

Na etapa 4 do cronograma, que é a etapa atual, verifica-se que as empresas estão procurando parcerias para a confecção virtual de células de produção, portanto a concepção virtual de produtos e de células produtivas, dada a sua flexibilidade e fidelidade aos modelos reais, torna-se cada vez mais, um diferencial competitivo em termos de inovação e de redução do *time to market*, portanto não é mais uma questão de analisar-se o custo benefício desta solução, mas sim a questão de ser ou não competitivo no mercado.

## Capítulo 6

### Conclusões e Perspectivas Futuras

O alicerce de conhecimentos, habilidades e valores deve constituir-se numa preocupação da instituição de ensino, durante o período acadêmico do estudante, considerando-se este aspecto, juntamente com o embasamento técnico/ científico, a prática interdisciplinar, o uso de soluções de problemas, o desenvolvimento de projetos específicos articulados de forma colaborativa entre alunos, docentes e eventuais clientes (empresas), catalisa a simulação do ambiente de mercado no mundo acadêmico, tendo como diretriz básica a conformidade com o desenvolvimento da organização curricular ao longo do curso. Os conteúdos ganham significado em termos de aplicação, a necessidade e a importância da pesquisa são infundidas no estudante em face aos desafios propostos, que nem sempre possuem um caminho pronto e trivial a ser trilhado.

A contribuição deste trabalho situou-se em propor e aplicar a Metodologia de Ensino por Competências na formação profissional na área de Manufatura Digital – PLM, desenvolvendo projetos colaborativos dentro da Metodologia proposta, utilizando *cases* de desenvolvimento de produtos e de células produtivas dentro do mundo virtual, concretizando o virtual dentro de um processo colaborativo e utilizando a aproximação da realidade das corporações ao cotidiano acadêmico neste âmbito da Manufatura Digital-PLM e da Mecatrônica, por meio do fomento à parceria com empresas na proposição de projetos colaborativos.

Para uma maior abrangência e uma maior proximidade da realidade das corporações, podem ser agregados às Situações de Aprendizagem: a logística, o planejamento de todos os recursos de uma empresa, sistemas de ampliação e fidelização dos clientes. Esta integração mais abrangente pode ser alvo de estudo no âmbito do

ensino, em *cases* que podem ser desenvolvidos no processo de ensino, pois as corporações integram softwares que fazem estas funções e como já foi dito é importante que exista uma maior aproximação do mundo acadêmico à realidade das corporações.

Os resultados apresentados no capítulo anterior apontam para uma continuidade na aplicação da Metodologia proposta, além destes resultados, vê-se que o mercado de trabalho se apresenta carente de profissionais com perfil e com as competências evidenciadas e desenvolvidas nos projetos colaborativos que foram executados com a Metodologia proposta. As instituições de ensino precisam estar prontas para responder a este mercado de trabalho.

Em termos de instituições de ensino profissional, os gestores destas instituições deverão estar sintonizados às mudanças, pois a educação de forma geral necessita reduzir o distanciamento da realidade acadêmica para a realidade das corporações, naturalmente isto pressupõe investimentos por parte das mantenedoras e pelo governo no caso das escolas públicas. É conhecido que os investimentos na educação, quando bem administrados, geram dividendos muito interessantes à sociedade e ao país, e este caminho é o divisor de águas com relação ao desenvolvimento técnico/científico e ao posicionamento da nação no cenário internacional como mero usuário de tecnologia alheia ou como fonte de inovação e de novas opções para o mercado.

Nota-se um alto índice de empregabilidade em relação aos egressos dos cursos ministrados nesta área de Manufatura Digital - PLM, conforme os dados que foram apresentados no capítulo anterior. De certa maneira tem-se este fato como algo compreensível, pois é notória a expansão na utilização de ferramentas da Manufatura Digital em um número cada vez maior de empresas, além das montadoras, empresas da área aeroespacial, autopeças e linha branca.

Por outro lado tem-se a preocupação em termos da capacidade de suprimento de profissionais especializados na área pelas instituições de ensino. A carência de profissionais nesta área encontra-se numa curva ascendente e as lacunas na formação acadêmica dos profissionais formados, relatadas por empresas durante o processo de parceria desencadeado no uso da Metodologia proposta, apontam na direção de propor e continuar a implementação desta metodologia, que articula a tecnologia por meio da

Manufatura Digital – PLM, ao ensino desta tecnologia pela Metodologia de ensino por Competências.

A Manufatura Digital tem uma identidade importante com a área da Mecatrônica, dada à sua característica multidisciplinar, um aspecto comum entre elas. Como a Mecatrônica se constitui num suporte tecnológico para a Manufatura Digital, fica clara a necessidade de uma Metodologia de Ensino voltada a esta característica interdisciplinar onde situações de aprendizagem se aproximem dos desafios reais no chão de fábrica.

Como foi colocado anteriormente neste trabalho, cabe salientar que a possibilidade de aplicação desta Metodologia de Ensino por Competências em outras áreas acadêmicas, tem como suporte o fato de que qualquer área de formação acadêmica tem por objetivo subsidiar o desenvolvimento no estudante de um alicerce de conhecimentos, habilidades e valores para que as competências necessárias a uma dada habilitação possam ser desenvolvidas ao longo do tempo com o exercício desta habilitação no mercado de trabalho. Isto só acontece se este alicerce de conhecimentos, habilidades e valores se constituiu num foco durante o período acadêmico vivido por este estudante na instituição de ensino. A utilização de uma Metodologia de Ensino voltada para este tripé reflete (conhecimentos, habilidades e valores), naturalmente, privilegia este foco.

Considerando-se este aspecto, juntamente com o embasamento técnico/científico, a prática interdisciplinar, o uso de soluções de problemas, o desenvolvimento de projetos específicos articulados de forma colaborativa entre alunos, docente e eventuais clientes (empresas), catalisa a simulação do ambiente de mercado no mundo acadêmico, tendo como diretriz básica a conformidade com o desenvolvimento da organização curricular ao longo do curso.

Os conteúdos ganham valor e significado para o estudante em termos de aplicabilidade. A necessidade e a importância da pesquisa são infundidas no estudante em face aos desafios propostos, fazendo-o perceber que nem sempre existe um caminho pronto e trivial a ser trilhado, a reflexão, a pesquisa, a elaboração de propostas e teses com a discussão delas, são canais para projetos inovadores, geração de novos métodos,

processos e produtos que atendam à sociedade , e todo este processo deve marcado com uma preocupação intrínseca : o ciclo de vida do produto e o meio ambiente .

Focando na área de formação das Engenharias, em face ao exposto, tanto o tecnólogo que atua predominantemente na integração de tecnologias, como o engenheiro, que além de integrar tecnologias também possui o suporte científico para o desenvolvimento de novas tecnologias, se formados dentro de uma metodologia que subsidia o desenvolvimento de competências, que é fortalecida pelas práticas interdisciplinares com desafios de projetos colaborativos, irá possibilitar a criação de um cenário propício para que o estudante vivencie o uso das metodologias aplicadas hoje nas grandes corporações. O cotidiano das corporações privilegia o compartilhamento gerenciado estrategicamente do capital intelectual e esse compartilhar possibilita a expansão deste capital intelectual com o incremento da competitividade das empresas.

Nota-se que existem instituições de ensino atentas a essas necessidades de mercado, e isto é fundamental, pois sabemos que é necessário evitar gargalos no suprimento de profissionais qualificados ao mercado.

A velocidade com que o país irá avançar no cenário mundial está intimamente relacionada à disponibilidade de profissionais que dominem estas tecnologias no mercado de trabalho, desenvolvam novas possibilidades de integração de ferramentas e assimilem a necessidade de disseminar, de forma eficaz, as informações e as competências adquiridas ao longo do exercício profissional, para que novas gerações tenham a oportunidade de absorver estas competências e adquirir outras, que os novos cenários irão exigir. As instituições de ensino devem ter como escopo atuarem na geração de conhecimento e não somente na transmissão deles.

Uma questão essencial que se apresenta é a necessidade de considerar-se sempre que a existência de cenários futuros tem vinculação direta à questão da postura de preservação ambiental, não como mera retórica, mas como questão prática e decisiva, que define etapas importantes no gerenciamento do ciclo de vida dos produtos, tendo o olhar na questão ambiental, postura esta que por meio do exemplo dos que geram e disseminam conhecimentos, seja também assimilada pelos estudantes.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Adriano José Cunha de; SILVA, Alex Sandro de Araújo; VILLANI, Emília. Graphic robot simulation for the design of work cells in the aeronautic industry. **ABCM Symposium Series in Mechatronics**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 346-354, 2008.

AMIT DESHPANDE. MTConnect enable smart machine supervisory system. manufacturing. **Data Management Conference University of Arkansas**, Nov. 2008.

ANDERSON, Kristin; KERR, Carol. **Customer relationship management**. 1 ed. Texas: McGraw-Hill, 2001, 168 p.

ANTUNES JR., J. A. V. Mecanismo da função da produção: a análise dos sistemas produtivos do ponto de vista de uma rede de processos e operações. **Revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 4, n. 1, p. 33-46, 1994.

ARGAN, Giulio. Crise do design. In: **História da arte como história da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1992. 280 p.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

AXTMAN, Bob. Digital manufacturing: bridging imagination and manufacturing. **R. Industry Week**, June. 2008. Disponível em: <[http://www.industryweek.com/articles/digital\\_manufacturing\\_bridging\\_imagination\\_and\\_manufacturing\\_16664.aspx](http://www.industryweek.com/articles/digital_manufacturing_bridging_imagination_and_manufacturing_16664.aspx)>. Acesso em: 5 out. 2009.

BATHELT, Jens. **Development Guidelines V: Model**. Zurich: ETH - Eidgenössische Technische Hochschule, Swiss: Federal Institute of Technology. Disponível em: <[http://www.asl.ethz.ch/education/master/mechatronic/Module2\\_1\\_-\\_Mecha\\_Toolbox\\_I.pdf](http://www.asl.ethz.ch/education/master/mechatronic/Module2_1_-_Mecha_Toolbox_I.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2010.

BATISTA, Wagner Braga. Desenho industrial e a ideologia da sustentabilidade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 4., 2007, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: Anpedesign, 2007.

BATOCCHIO, A. **Tecnologia de Grupo**: apostila do curso IM190. Campinas: UNICAMP, 1992.

BAZZO, W. Ciência, tecnologia e suas relações sociais: a percepção de geradores de tecnologia e suas implicações na educação tecnológica. **Revista UNESP: Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, 2009.

BRACHT, U.; MASURAT, T. The digital factory between vision and reality. computers. **Computers in Industry**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, v. 56, n. 4, p. 325-333, May 2005.

CARVALHO, Enéas Gonçalves de. Globalização e estratégias competitivas na indústria automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil. **Gestão e Produção**, v. 12, n. 1, p. 121-133, jan./abr., 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v12n1/a11v12n1.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2008.

CHAN, S. F.; KWAN, R. Post-processing methodologies for off-line robot programming within computer integrated manufacture. **Journal of Materials Processing Technology**, 139 (1-3): p. 8-14, 2003.

CIMDATA. **CIMdata PLM Industry Summary**, v. 8 n.1, 6 Jan. 2006. Disponível em: <<http://cimdata.com/newsletter/2006/1/documents/Jan06CIS06.pdf>>. Acesso em: 12, dez. 2009.

CIMDATA. **Digital Manufacturing in PLM Environments**: A CIMdata White Paper, January 2006. Disponível em: <[http://www.cimdata.com/publications/reports\\_complimentary/white\\_papers.htm](http://www.cimdata.com/publications/reports_complimentary/white_papers.htm)> .Acesso em: 12, dez. 2009.

CIMDATA. **Measuring business process benefits achieved using Smarteam**. Michigan: CIMdata Report, mar. 2005 .Disponível em: <[http://www.cimdata.com/publications/reports\\_complimentary/reviews.htm](http://www.cimdata.com/publications/reports_complimentary/reviews.htm)>. Acesso em: 12, dez. 2009.

DALTON-TAGGART, R. The move to digital manufacturing: most companies do it without all the fanfare. (software solutions). **Tooling & Production**, Apr. 2005.

DASSAULT SYSTEMÈS. **PLM information**. Disponível em: <<http://www.3ds.com/company/>>. Acesso em: mar. 2010.

DE CARLI, Paulo César. 2008. **Identificação, priorização e análise dos fatores críticos de sucesso na implantação da fábrica digital em uma empresa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

FEUESTEIN, Reuven et alii. **Instrumental Enrichment**. Baltimore, Park Press University, 1980.

GRUTTER, J. M.; EGLER, H. P. From cleaner production to sustainable industrial production modes. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 3, p. 249-256, 2004.

HAHN, Sookap. Os papéis da ciência dos materiais e da engenharia para uma sociedade sustentável. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 8, n. 20, Abr. 1994. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141994000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141994000100010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 8 jan. 2010.

HORN, P. **Autonomic computing**: IBM perspective on the state of information technology. New York: IBM Corporation. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/autonomic>>. Acesso em: 8 jan. 2010.

HUR, T.; KIM, I.; YAMAMOTO R. Measurement of green productivity and its improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 7, p. 673-683, 2004.

IBM. Digital manufacturing: extending the value of PLM. **Product Lifecycle Management**. Disponível em: <<http://www-01.ibm.com/software/plm/ibm-ds-message/>>. Acesso em: 5 out. 2009.

IMS Center. Disponível em: <<http://www.imscenter.net>>. Acesso em: 30 nov. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. Climate Change and Water: technical paper VI Spanish. **Climate Change and Water** : technical paper VI Spanish. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_technical\\_papers\\_climate\\_change\\_and\\_water\\_spanish.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers_climate_change_and_water_spanish.htm)>. Acesso em: 1, fev. 2010.

ISERMANN, R. Mechatronic systems: innovative products with embedded control. **Control Engineering Practice**, v. 16, n. 1, p. 14 - 29, 2008.

JOHNSON, Nancy Spurling. Top 10 PLM Pitfalls to Avoid. **Cadalyst Magazine**, Feb, 2006.

KANTER. R. M. Inovação: os erros clássicos. **Havard Business Review**, v. 84, p. 29-39, Nov. 2006.

KIPPER, L. M. **Ações estratégicas sistêmicas para a rede sustentável de reciclagem de plásticos**. 2005. 241 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KUEHN, W. Digital factory: integration of simulation enhancing the product and production process towards operative control and optimisation. **International Journal of Simulation**, v. 7, n. 7, Oct. 2006.

LATTICE TECHNOLOGY INC. Leveraging design review processes into a digital manufacturing age. **White Paper Series**. San Francisco, Jun. 2009. Disponível em: <[http://www.lattice3d.com/solutions/img/designrev\\_dm\\_june\\_09.pdf](http://www.lattice3d.com/solutions/img/designrev_dm_june_09.pdf)>. Acesso em: 5 out. 2009.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de informações Gerenciais**: administrando a empresa digital. Trad. Arlete Smille Marques. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 61 p.

LEE J, QIU H, NI J, DJURDJANOVIC D. Infotronics technologies and predictive tools for next-generation maintenance systems. In: **Proceedings at 11th IFAC symposium on information control problems in manufacturing** (INCOM 2004), Salvador, Brazil; April 5-7, 2004. p. 85-90.

MARTINS, Ana Maria; DEPRESBITERIS, Lea; MACHADO, Osny Telles Marcondes. **A mediação como princípio educacional**: bases teóricas das abordagens de Reuven Feustein. São Paulo: SENAC, 2004. 208 p.

MATRIX ONE. **A PLM**: Whitepaper. Massachusetts, MatrixOne Inc., 2004.

MILLER, E. Manufacturers go digital to stay competitive. **White Papers: Complimentary Reports-Publications**, CIMdata, 2006.

MILLER, E. Marrying product and process design: digital manufacturing, a critical element of PLM, ensures that shops stay competitive and profitable. (software systems). **American Machinist**, Oct. 2005.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Conselho Nacional da Educação. **Parecer CNE/CEB nº 16/99,(CEB)- CNE/CEB nº 04/99**. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional de Nível Técnico. Brasília, 5 de outubro de 1999.

ORADY, E.A.; OSMAN, T.A. Capability Study of Robotics and Manufacturing Cell Simulation Software. **Computers and Industrial Engineering**, 33(1-2): 83-86, 1997a

ORADY, E. A.; OSMAN, T. A. Virtual reality software for robotics and manufacturing cell simulation. **Computers and Industrial Engineering**, 33 (1-2), p. 87-90, 1997b.

PADOVOZE, Clóvis Luís. **Sistemas de informações contábeis: fundamentos e análise**. São Paulo: Atlas, 2004. 68 p.

PERRENOU, Philippe. **Avaliação da excelência à regulação das aprendizagens entre duas lógicas**. Porto Alegre: Artmed, 1999. 184 p.

PINE II, B. J.; VICTOR, B.; BOYNTON, A. C. The competitive environment and new visions of manufacturing: making mass customization work. **Harvard Business Review**, 1993.

POZO, Juan Inácio. **A solução de problemas: aprender para resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre: Artmed, 1988.

ROWE. J. Digital factory within reach: modular options mean even SMBs can take advantage of production and manufacturing visualization tools. **Cadalist Magazine MCAD Tech News**, n. 179, June 2006.

SANTOS, Marcelo Teixeira dos. **O PLM: gerenciamento do ciclo de vida do produto transformando negócios em empresas classe mundial**. Disponível em: <<http://www.brasilmatrics.com.br/pdf/plm.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2009.  
SENAI. DN. **A metodologia dos desafios**. Brasília: 2002.

SENAI. DN. **Metodologia para elaboração de perfis Profissionais**. 2 ed. Brasília: 2002 , p. 20.

SENAI. DN. **Metodologia para o desenho curricular baseado em competências**. 2ed. Brasília: 2002.

SENAI. DN. **Metodologias para desenvolvimento e avaliação de competências: formação e certificação profissional**. Brasília: 2003. 35p.

SENAI. SP. **Norteador da Prática Pedagógica- Formação com base em Competências**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2006).

SENAI. SP. **Referenciais de Gestão**: Escola SENAI “Armando de Arruda Pereira”. São Caetano do Sul: 2010.

SENAI. SP. **Relatório do Sistema de Acompanhamento de Egressos do SENAI. SAPES**. São Paulo: 2008.

SILVA, M. S. Aplicação da simulação à programação off-line de robôs industriais. **Ingenium**, n. 81, p. 72-77, Lisboa, Feb./ Mar., 2004.

SILVA, M. S. **Simulação e programação off-line de robôs de montagem**. 1996. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletro técnica e de Computadores), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1996.

SLANSKY. D. Gaining competitive advantage through digital manufacturing. **Arc Insights**, v. 2006-11EC, p. 1-4, Mar. 2006.

SOFTECH, Inc. News. Every executive should know. **Executive Briefing White Paper**, Jul. 2006.

SOUSA, A.; PEROBA, L. E.; OLIVEIRA, R. C. Meio ambiente e competitividade: Análise dos sistemas produtivos. **Revista Meio Ambiente Industrial**, v. 47, n. 46, ano 8, p. 96-101, jan./fev., 2004.

STUDIE BERLINER KREIS HELSINKI. **Innovation Potentials Product Development**;2007. Disponível em:< <http://cari-pdf.com/pdf.php?q=vdi+2206>> . Acesso em: 9 abr. 2009.

SWINK, M. Building collaborative innovation capability. **Research Technology Management**, Mar./ Apr., 2006.

TECMES. Disponível em: <<http://www.tecmes.com.br/empresa1.html>>. Acesso em: mar. 2010.

TERESKO, J. Not only safety: product lifecycle management digital manufacturing strategy. **Industry Week**, Nov. 2006.

TOURNIAIRE, Françoise. **Just enough CRM**. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. 400 p.

TRIANI, K.; OTIS, P. Dominance based measurement of productive and environmental performance for manufacturing. **European Journal of Operational Research**, v. 154, n. 2, p. 447-464, 2004.

VALLE Antunes Jr, J. A. Mecanismo da Função da Produção: a Análise dos Sistemas Produtivos do Ponto-de-Vista de uma Rede de Processos e Operações. Minas Gerais: **Revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 4, n. 1. 1994. p. 33-46.

VASIĆ, Vasilije S.; LAZAREVIĆ, Mihailo P. Standard industrial guideline for mechatronic product Design. **FME Transactions**, v. 36, n. 3, p. 103-108, 2008.

WAURZYNIAK, Patrick. Enter the virtual world: manufacturing engineering. **ABI/INFORM Global**, v. 139, n. 4, p. 67, Oct., 2007.

## Anexo A- Apresentações de cases com Projetos Colaborativos em desenvolvimento dentro da metodologia proposta

Passa-se a relacionar projetos colaborativos que foram desenvolvidos e que estão em desenvolvimento utilizando o mesmo fluxo de etapas apresentado na Metodologia proposta. Ressalta-se que os trabalhos desenvolvidos foram elaborados por alunos, como trabalhos de conclusão de curso, com a orientação de docentes no âmbito da unidade escolar da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica.

A figura A 1.1 mostra o trabalho de projeto e análise feito para uma empresa que fabrica os ganchos para reboque de veículos.

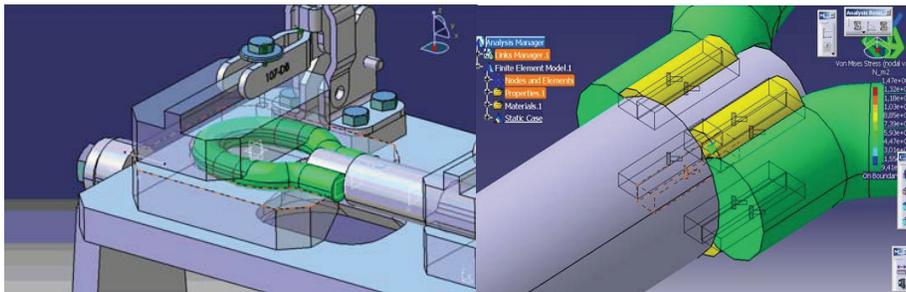
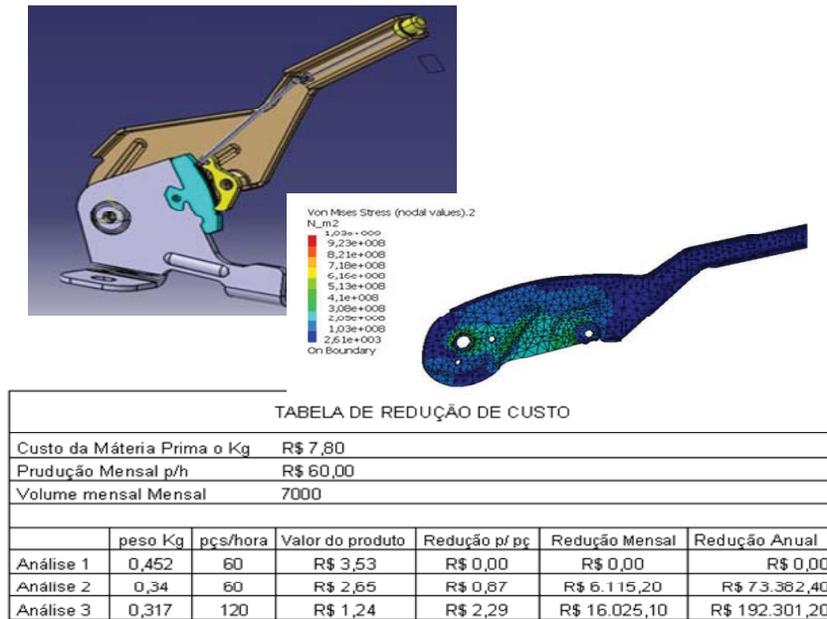


Figura A 1.1 - Modelamento de gancho para reboque de veículos

A figura A 1.2 mostra um *case* de otimização de uma peça automotiva e neste caso a empresa permitiu a sua citação.



Dados acima fornecidos pela Dura Automotve Systems Do Brasil

Figura A 1.2 - Otimização de uma peça automotiva.

Projeto desenvolvido para a melhoria de produto na figura A 1.3.

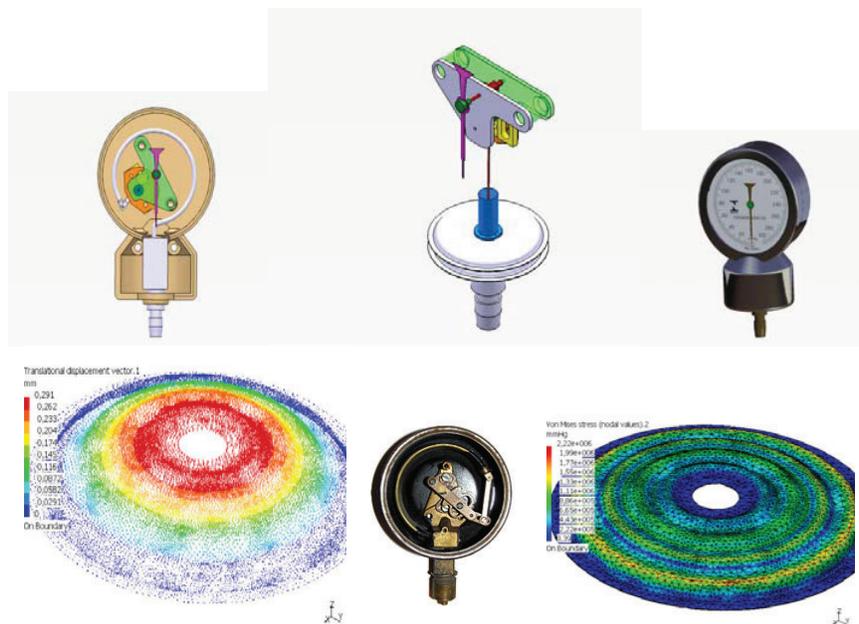


Figura A 1.3 - Projeto de Melhoria de um Esfigmomanômetro.

A figura A 1.4 mostra o desenvolvimento e análise para o projeto de um mini baja.

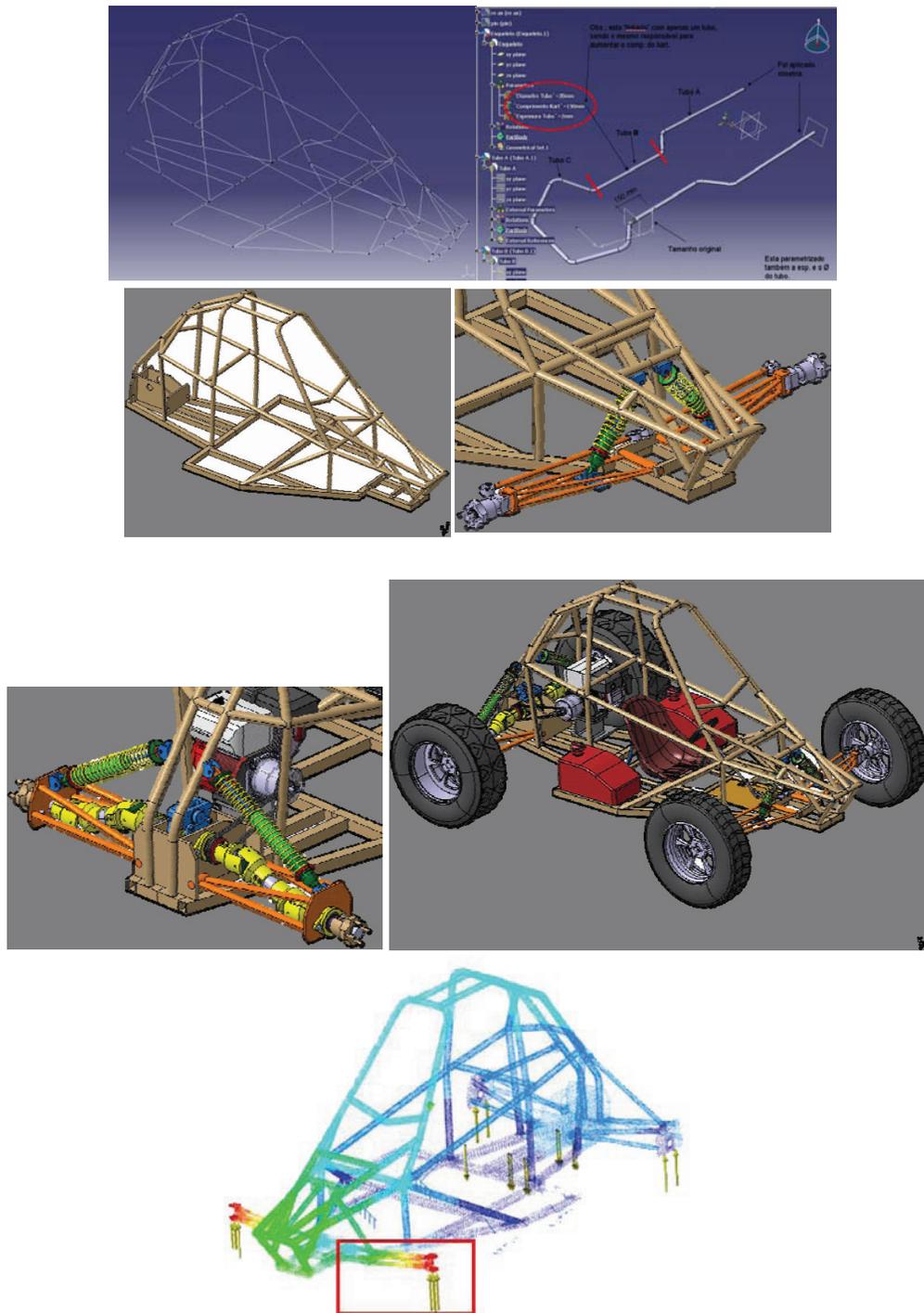


Figura A 1.4 - Desenvolvimento e Análise de um Mini Baja

Desenvolvimento de Veículos Especiais na figura A 1.5.

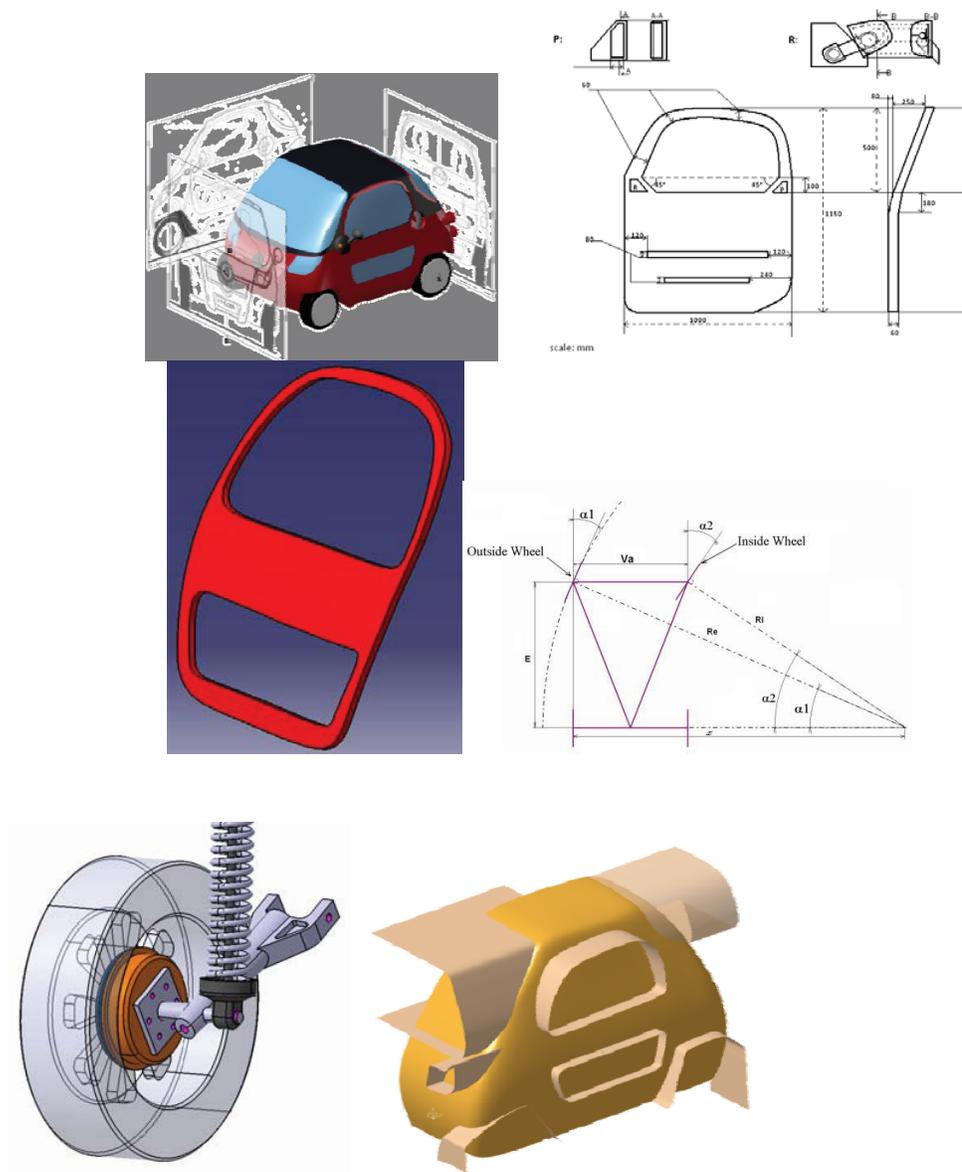


Figura A 1.5 – Desenvolvimento de veículos especiais

Desenvolvimento de uma *Scooter* Elétrica na figura A 1.6.

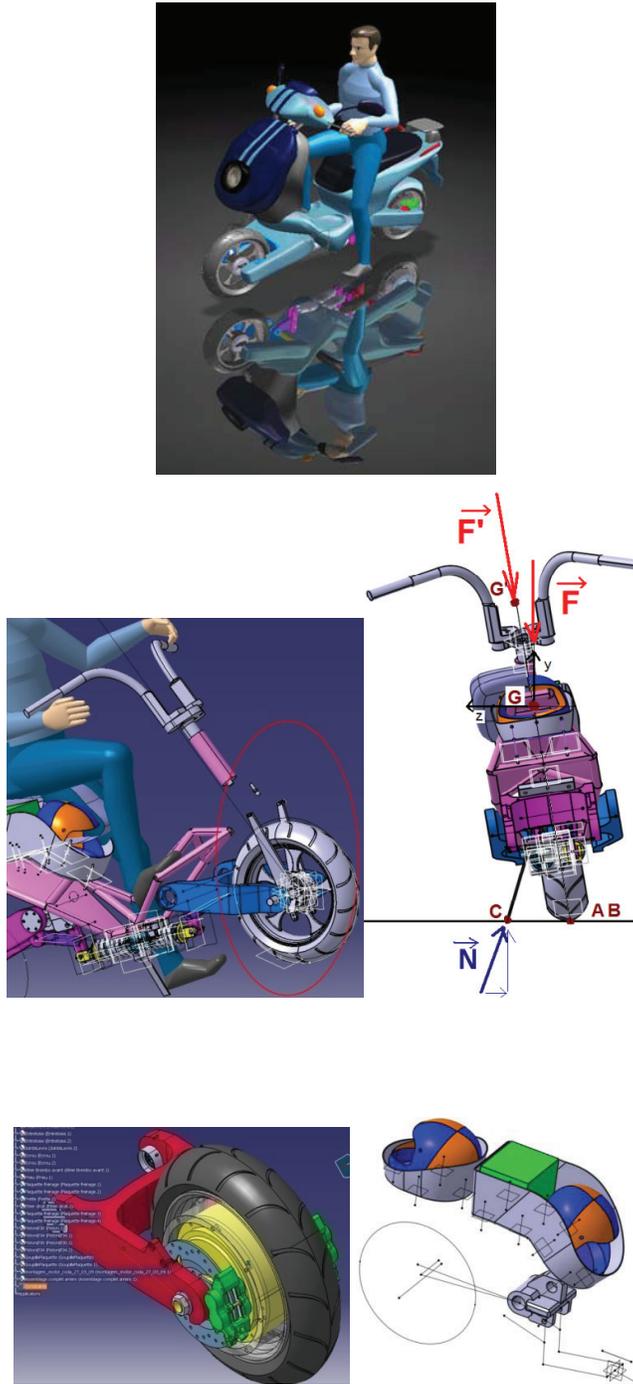


Figura A 1.6 - *Scooter* elétrica

Uma empresa parceira apresentou a necessidade de projetar um magazine para o armazenamento de estampos com peso em torno de uma tonelada, neste projeto a solicitação da empresa evolui o modelamento do sistema, a análise para verificação das solicitações e a automação das prateleiras, a figura A 1.7 ilustra o trabalho realizado até o momento.

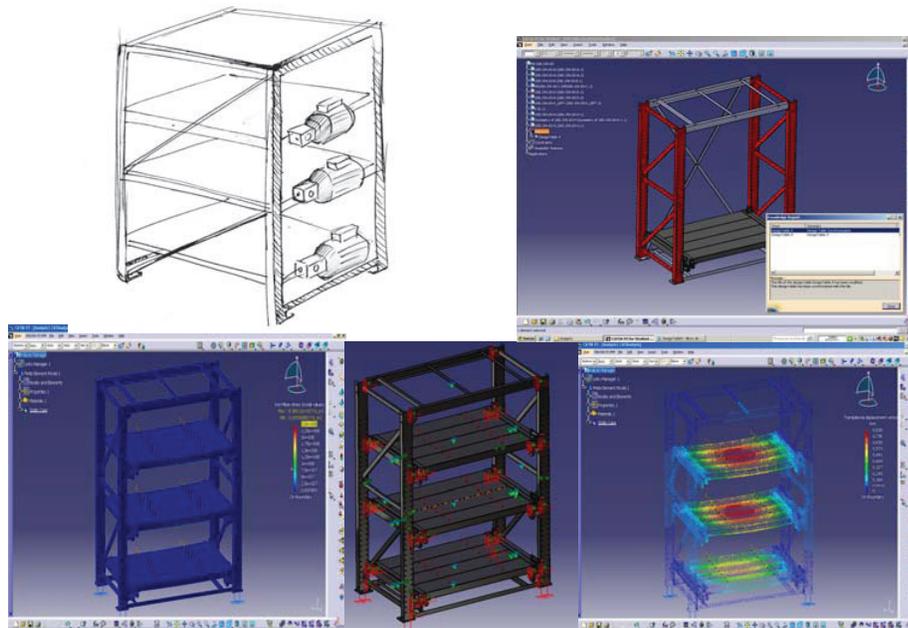


Figura A 1.7 - Magazine de estampos

Os alunos propuseram a elaboração de um robô para efetuar a limpeza de piscinas, agregando ferramentas de Manufatura Digital e Automação, o protótipo digital foi elaborado e chegou-se a construção e teste de um primeiro protótipo real, como mostra a figura A 1.8.



Figura A 1.8 - Robô para limpeza de piscinas