

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

CAUÊ GONÇALVES MANÇANARES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM AMBIENTE INTEGRADO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

**São Paulo
2012**

CAUÊ GONÇALVES MANÇANARES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE UM AMBIENTE INTEGRADO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

**Trabalho de formatura
apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo
para obtenção do diploma de
Engenheiro de Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo de
Senzi Zancul**

**São Paulo
2012**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

FICHA CATALOGRÁFICA

Mançaneres, Caue Gonçalves

**Projeto e implantação de um ambiente integrado
de desenvolvimento de produtos no PRO / C.G. Mançaneres. --
São Paulo, 2012.
115 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1. Desenvolvimento de produtos 2. Ambientes de desenvol-
vimento 3. Laboratórios I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.**

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe,
Andreia, e à minha avó, Isa, pelo
amor, carinho, apoio e dedicação*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Andreia e minha avó Isa, que sempre me apoiaram e incentivaram, e são exemplos de vida e as verdadeiras responsáveis pela minha formação.

Ao Professor Doutor Eduardo de Senzi Zancul pela orientação, pela confiança depositada, pelos conselhos e pelo exemplo de profissional e pessoa.

À equipe de informática do PRO pelo suporte técnico.

À todos meus amigos politécnicos que me acompanharam durante os 6 últimos anos, estudando, trabalhando e se divertindo. Um agradecimento especial ao Bruno, Rafael e Roger, pelo convívio, pelos inúmeros trabalhos que fizemos, e pela amizade.

EPÍGRAFE

*“To learn and not to do is really
not to learn”*

Stephen R. Covey

RESUMO

Este trabalho visa implantar um ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, apoiando as atividades que vão da fase de conceituação do produto até a sua prototipagem. Tal ambiente oferece as ferramentas de projeto virtual, endereça a necessidade de integração da estrutura de produto entre diversos sistemas de informação e possibilita o uso de máquinas de prototipagem rápida. Adicionalmente, para viabilizar o uso do ambiente por novos usuários a cada ano, é oferecido material de referência e de treinamento. A análise das necessidades para o ensino de graduação em engenharia de produção somada às necessidades encontradas na indústria de alta tecnologia indica a demanda por recursos integrados que dêem suporte ao desenvolvimento de produtos. A fim de suprir essa demanda foi desenvolvido e implantado um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos que contempla ferramentas e *softwares* levantados, selecionados e implantados. O trabalho de formatura foi realizado no escopo da bolsa de Iniciação Científica do Programa Ensinar com Pesquisa da Pró-Reitoria de Graduação. Esse programa visa o envolvimento de alunos de graduação na melhoria do ensino da sua respectiva Unidade. Como resultado para a Escola Politécnica obtém-se um conjunto de ferramentas para serem aplicadas no ensino de engenharia de produção, e, para a sociedade, obtém-se um registro do desenvolvimento e implantação de um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos que permite a replicação do trabalho realizado na Escola Politécnica da USP.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produtos. Ambiente de desenvolvimento. Laboratórios.

ABSTRACT

This work aims to implement an integrated engineering environment to support product development at the Polytechnic School of Sao Paulo's University, optimizing activities from the concept of the product to its prototype. The environment provides tools for virtual projects, addresses the need for integration of the product structure within information systems and allows the use of rapid prototyping machines. Additionally, to permit its use every year, it is offered training and reference material to its users. The analysis of graduation teaching needs and industry needs indicates the demand for integrated tools to support product development. In order to supply this demand it was projected and implemented an integrated environment for product development, which contains softwares and tools studied, selected and implemented. This final graduation work was done in the scope of the Scientific Initiation Project "Ensinar com Pesquisa" of *Pró-Reitoria da Graduação*. The Project intends to involve graduation students to improve the course of their schools. As a result, the Polytechnic School gains some tools to improve teaching, and the society gains a document of the project and implementation of an integrated environment for product development, allowing the replication of this work.

Keywords: Product Development. Development Environment. Laboratories.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do Capítulo 1.....	27
Figura 2 - Fases do ciclo de vida de produto contempladas pela disciplina PRO 2715	28
Figura 3 - Tendências no desenvolvimento de produtos e necessidades geradas	30
Figura 4 - Macro etapas da metodologia do trabalho	32
Figura 5 - Organização do texto.....	33
Figura 6 - Estrutura do Capítulo 2.....	35
Figura 7 - Fases do ciclo de vida do produto	36
Figura 8 - Macro-etapas do Desenvolvimento do Produto.....	37
Figura 9 - Papel da estrutura do produto na integração de informações no ciclo de vida	42
Figura 10 - Concepção da primeira versão da estrutura de produto.....	43
Figura 11 - Projeto Conceitual - Concepção da primeira estrutura de produto.....	43
Figura 12 - Modelagem funcional do produto.....	44
Figura 13 - Aspectos da Gestão de configuração.....	45
Figura 14 - Ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos	46
Figura 15 - Ferramentas de CAD no ciclo de vida do produto	47
Figura 16 - Projeto Conceitual	48
Figura 17 - QFD no ciclo de vida do produto	49
Figura 18 - Projeto Informacional.....	49
Figura 19 - Priorização para aplicação do QFD	51
Figura 20 - DFMA no ciclo de vida do produto.....	51
Figura 21 - DFE no ciclo de vida do produto.....	53
Figura 22 - FMEA no ciclo de vida do produto	54
Figura 23 - Cálculo do NPR.....	56
Figura 24 - Informações geradas ao longo do ciclo de vida do produto	57
Figura 25 - Prototipagem rápida no ciclo de vida do produto (II).....	58
Figura 26 - Passos para construção de uma peça por prototipagem rápida.....	58
Figura 27 - Estrutura do Capítulo 3.....	60
Figura 28 - Cronograma da disciplina PRO2715 relacionado ao PDP	61
Figura 29 - Requisitos das ferramentas do ambiente integrado de engenharia	64
Figura 30 - Funcionamento do ambiente integrado de engenharia	65
Figura 31 - Estrutura de produto no ambiente implantado.....	70
Figura 32- Avaliação de ferramentas de FMEA	74
Figura 33 - Vista superior do projeto do Laboratório do PRO.....	77
Figura 34 - Vista em perspectiva do Laboratório do PRO	78
Figura 35 - Estrutura do capítulo 4.....	79
Figura 36 - Estruturação do Laboratório de computadores	80
Figura 37 - Instalação do Google SketchUp	81
Figura 38 - Instalação do CAD NX 8.0.....	82
Figura 39 - Instalação do DFMA	83
Figura 40 - Instalação do GABI – DFE.....	84
Figura 41 - Funcionamento do Windchill sem domínio público.....	85
Figura 42 - Funcionamento do Windchill com domínio público	86
Figura 43 - Instalações do Laboratório do PRO.....	87
Figura 44 - Estrutura do capítulo 5.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação entre método desenvolvido e disciplina da grade curricular de Engenharia de Produção.....	29
Tabela 2 - Materiais de exemplo criados pelo autor	89
Tabela 3 - Materiais de treinamento criados	90
Tabela 4- Sugestão de aplicação dos softwares e ferramentas do ambiente integrado em outras disciplinas do PRO.....	94

LISTA DE SIGLAS

BOM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DFE	<i>Design For Environment</i>
DFMA	<i>Design for Manufacture and Assembly</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
NUMA	Núcleo de Manufatura Avançada
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

1	Introdução	27
1.1	Importância de um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos para alunos de Engenharia de Produção	28
1.2	Envolvimento do aluno com o projeto.....	31
1.3	Objetivo	31
1.4	Metodologia	32
1.5	Organização deste texto	33
2	Revisão bibliográfica	35
2.1	Conceitos fundamentais para desenvolvimento virtual de produtos.....	36
2.1.1	Processo de desenvolvimento de produtos	36
2.1.2	<i>Design thinking</i>	39
2.1.3	Desenvolvimento virtual de produtos	40
2.1.4	A estrutura de produto como elo de integração em ambientes de engenharia	41
2.2	Métodos e ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos	45
2.2.1	Ferramentas de CAD (<i>Computer Aided Design</i>)	47
2.2.2	Método de QFD (<i>Quality Function Deployment</i>)	48
2.2.3	Ferramentas de DFMA (<i>Design For Manufacturing and Assembly</i>).....	51
2.2.4	Método de DFE (<i>Design For Environment</i>).....	53
2.2.5	Métodos de FMEA (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>)	54
2.2.6	Ferramentas de PLM (<i>Product Lifecycle Management</i>)	56
2.2.7	Ferramentas de Prototipagem Rápida.....	57
3	Levantamento de requisitos e concepção do ambiente integrado	60
3.1	Identificação de necessidades	60
3.2	Concepção do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos	64
3.3	Integração da estrutura de produto entre sistemas	69
3.4	Levantamento e avaliação de ferramentas disponíveis no mercado	71
3.4.1	Critérios de avaliação	71
3.4.2	Ferramentas de CAD (<i>Computer Aided Design</i>)	72
3.4.3	Ferramentas de QFD (<i>Quality Function Deployment</i>).....	72
3.4.4	Ferramentas de DFMA (<i>Design For Manufacturing and Assembly</i>).....	74
3.4.5	Ferramentas de DFE (<i>Design For Environment</i>)	74
3.4.6	Ferramentas de FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)	74

3.4.7	Ferramentas de PLM (<i>Product Lifecycle Management</i>)	75
3.4.8	Ferramentas de Prototipagem	75
3.5	Projeto do ambiente físico para instalação das ferramentas	77
4	Implantação do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos	79
4.1	Implantação do CAD (<i>Computer Aided Design</i>) - Google Sketch Up	80
4.2	Implantação do CAD (<i>Computer Aided Design</i>) - NX 8.0	81
4.3	Implantação do QFD (<i>Quality Function Deployment</i>) – Template de QFD	82
4.4	Implantação do DFMA (<i>Design For Manufacturing and Assembly</i>) – Boothroyd & Dewhurst DFMA	82
4.5	Implantação do DFE (<i>Design For Environment</i>) - GABI	83
4.6	Implantação do FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>) – QI PATH	84
4.7	Adequação do PLM (<i>Product Lifecycle Management</i>) – PTC Windchill	84
4.8	Implantação das ferramentas de prototipagem no Laboratório do PRO	86
4.9	Implantação do portal de acesso às ferramentas e materiais de treinamento	87
5	Criação de um produto exemplo e de materiais de treinamento	88
5.1	Criação de um produto exemplo	88
5.2	Criação de materiais de treinamento	89
6	Conclusões e próximos passos	91
6.1	Síntese da definição do problema e metodologia utilizada	91
6.2	Resultados	92
6.3	Sugestão de aplicações das ferramentas em outras disciplinas PRO	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
	APÊNDICES	100
	APÊNDICE A – Guia rápido de referências Google SketchUp	100
	APÊNDICE B – Guia de instalação NX 8.0	101
	APÊNDICE C – Guia rápido de referências DFMA	103
	APÊNDICE D – Guia rápido de referências GABI	104
	APÊNDICE E – Guia rápido de referências FMEA	106
	APÊNDICE F – Guia rápido de referências Windchill	107
	APÊNDICE G – Guia rápido de referências Impressora 3D Metamáquina	111
	APÊNDICE H – Lista de ferramentas do ambiente de manufatura	113

1 Introdução

O ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos é uma plataforma de ferramentas que apoiam atividades que vão desde a conceituação do produto até sua prototipagem. Tal plataforma visa, principalmente, aumentar a produtividade e a efetividade nestas atividades críticas.

Para atingir esses objetivos, o ambiente deve oferecer ferramentas para melhorar a integração dos processos, das informações e das pessoas envolvidas em todas as etapas do desenvolvimento do produto. Além disso, consegue-se a melhoria da eficiência das atividades críticas citadas acima por meio do emprego de ferramentas, que auxiliam desde a análise dos requisitos dos clientes até a prototipagem dos produtos, como o CAD, o QFD, o DFMA, o DFE, o FMEA, o PLM, a impressora 3D e o ambiente do laboratório físico com ferramentas para a construção de protótipos.

Neste trabalho sobre a implantação de um ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos, a finalidade do primeiro capítulo é contextualizar o projeto, apresentando a justificativa, o objetivo do trabalho, a metodologia e a organização do texto (veja Figura 1).

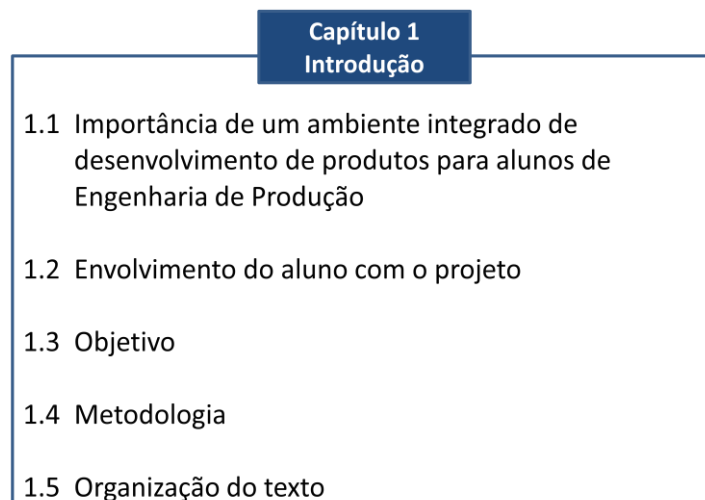


Figura 1 - Estrutura do Capítulo 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando como justificativa as necessidades dos alunos do PRO e os potenciais benefícios do ambiente implantado, discute-se inicialmente a importância de um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos para alunos de Engenharia de Produção (item 1.1) e o envolvimento do aluno com o projeto (item 1.2). Em seguida, são descritos os objetivos

do trabalho (item 1.3) e a metodologia utilizada (item 1.4) e, por fim, é apresentada a forma de organização do texto ao longo do trabalho (item 1.5).

1.1 Importância de um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos para alunos de Engenharia de Produção

Os alunos de engenharia de produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo desenvolvem, todos os anos, mais de 15 novos produtos na disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo. O desenvolvimento destes produtos na disciplina contempla as etapas de Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, de acordo com o Modelo Unificado de PDP (Processo de Desenvolvimento de produto) apresentado na Figura 2 a seguir (ROZENFELD et al., 2006).



Figura 2 - Fases do ciclo de vida de produto contempladas pela disciplina PRO 2715

Fonte: Adaptado de ROZENFELD et al (2006)

Para desenvolver as atividades contempladas nas etapas do processo descrito acima, os alunos devem aplicar métodos de engenharia ensinados ao longo do curso de Engenharia de Produção e requisitados na disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e do Processo (veja Tabela 1), como por exemplo:

- **Esboço do produto** – Desenvolvido nas disciplinas: PCC2122 - Representação Gráfica para Engenharia; e PMR 2201 - Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
- **Desenho com auxílio de CAD (*Computer aided Design*)** – Desenvolvido nas disciplinas: PCC2122 - Representação Gráfica para Engenharia; e PMR 2201 - Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
- **QFD (*Quality Function Deployment*)** – Desenvolvido na disciplina: PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
- **DFE (*Design For Environment*)** – PRO2814 – Produção e sustentabilidade
- **FMEA (*Failure Mode Analysis*)** – Desenvolvido na disciplina: PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos

- **Construção de protótipo** – Desenvolvido nas disciplinas: PCC2122 - Representação Gráfica para Engenharia; e PMR 2201 - Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos

Método	Disciplina
Esboço do Produto	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 -Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
Desenho com auxílio de CAD	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 -Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
QFD	•PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
•DFE	•PRO2814 – Produção e Sustentabilidade
FMEA	•PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
Construção de Protótipo	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 – Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos

Tabela 1- Relação entre método desenvolvido e disciplina da grade curricular de Engenharia de Produção

Fonte: Elaborado pelo autor

Além destes métodos, outros também são estudados na disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo e, igualmente, aplicados no desenvolvimento do produto pelos alunos.

A utilização destes métodos é consequência direta da tendência de aumento da complexidade dos produtos e processos vista na indústria de alta e média tecnologia instalada no Brasil, e reflete diretamente na necessidade de utilizá-los para auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos (GOTIFREDSON; ASPINALL, 2005; SCHUH, 2005; SUH, 2005 *apud* ZANCUL, 2009). A sofisticação nos produtos desenvolvidos exige que as diversas ferramentas funcionem de maneira integrada e efetiva (ISSERMAN, 2008). Deve-se, portanto, extrapolar essa necessidade vista na indústria para a disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo.

Enquanto a complexidade dos produtos e dos processos aumenta, requerendo uma maior e mais efetiva integração dos métodos utilizados no desenvolvimento destes, a tendência do mercado é a de redução do tempo de desenvolvimento e na escala de produção,

fazendo com que produtos sejam lançados ao mercado ainda na fase de desenvolvimento e sofram constantes adaptações enquanto estão no mercado (BROWN, 2009; RIES, 2011).

Adicionalmente, o conceito de manufatura digital indica uma tendência de que produtos sejam manufaturados em escalas muito menores, de maneira mais flexível e com muito menos insumos de trabalhadores, graças a novos processos como impressoras 3D, robôs e manufatura colaborativa digital (A THIRD, 2012).

Uma das principais consequências das tendências citadas anteriormente é a necessidade de ferramentas de auxílio para o desenvolvimento de produtos que lidem com a complexidade dos produtos e dos processos, com as modificações constantes nos projetos dos produtos e com a produção individualizada destes (veja Figura 3).

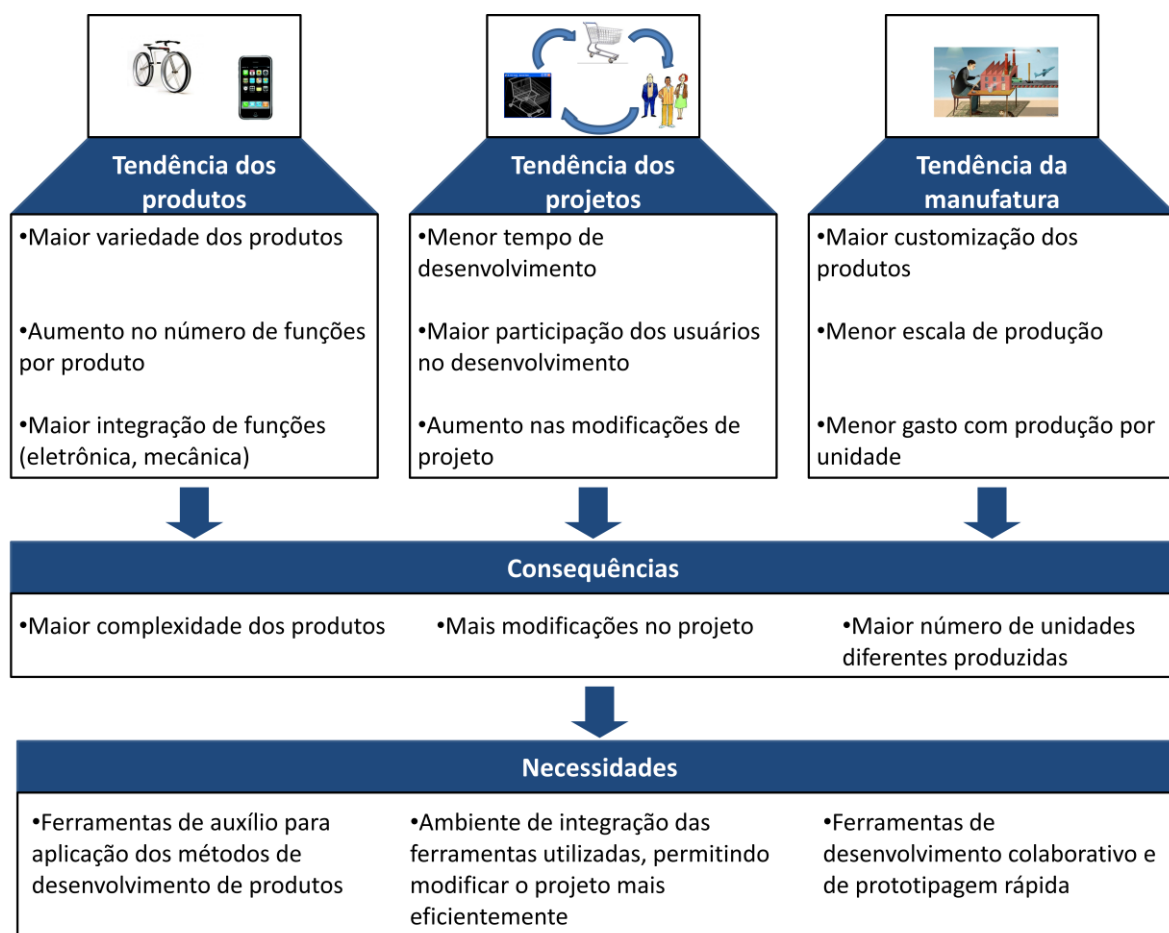


Figura 3 - Tendências no desenvolvimento de produtos e necessidades geradas

Fonte: Elaborado pelo autor

O aumento da complexidade dos produtos, as modificações crescentes nos projetos trazidas pela maior participação dos usuários no desenvolvimento destes e a tendência da individualização da produção justificam a necessidade de ferramentas que auxiliem os métodos de engenharia no desenvolvimento de produtos, sendo necessário que estas

ferramentas estejam integradas de maneira a melhorar a eficiência e efetividade das mudanças no projeto, e também estejam alinhadas e integradas com a possibilidade de desenvolvimento colaborativo e prototipagem rápida (Figura 3).

Neste contexto, mostra-se fundamental para a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo proporcionar a seus alunos um ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos que contemple as necessidades apresentadas pela indústria e extrapoladas para a disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo.

O ambiente integrado de desenvolvimento de produtos é também justificado pela necessidade de apoiar o ensino e a pesquisa e também para fornecer um ambiente de manufatura aos alunos e professores da Engenharia de Produção da Escola Politécnica, podendo ser utilizado por muitas disciplinas, para aplicações didáticas e experimentais, além de incentivar a colaboração entre usuários em um ambiente moderno.

1.2 Envolvimento do aluno com o projeto

O autor deste trabalho esteve envolvido com o projeto durante o ano de 2012 por meio da bolsa de Iniciação Científica Ensinar com Pesquisa da Pró-Reitoria de Graduação da USP, no projeto "Implantação de um Ambiente Integrado de Engenharia para apoiar o Desenvolvimento de Produtos".

Segundo a Pró-Reitoria de Graduação (2012), a bolsa do programa Ensinar com Pesquisa tem como finalidade contribuir para o desenvolvimento do conhecimento no campo do ensino de graduação e investir no desenvolvimento das competências docentes e discentes no campo do ensino e da pesquisa.

O ambiente implantado cumpre com os objetivos da Pró-Reitoria, pois, como resultado do trabalho, foi disponibilizada aos alunos uma plataforma de apoio ao ensino do curso de Engenharia de Produção.

1.3 Objetivo

O objetivo do projeto é implantar um ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos. Tal ambiente deve prover as ferramentas de projeto virtual, endereçar a necessidade de integração da estrutura de produto e possibilitar o uso de máquinas de prototipagem rápida. Adicionalmente, para viabilizar seu uso por novos usuários a cada

ano, o ambiente deve contemplar o oferecimento de material de referência e de treinamento para usuários.

1.4 Metodologia

A metodologia deste trabalho foi definida em quatro macro etapas, como a Figura 4 descreve abaixo:

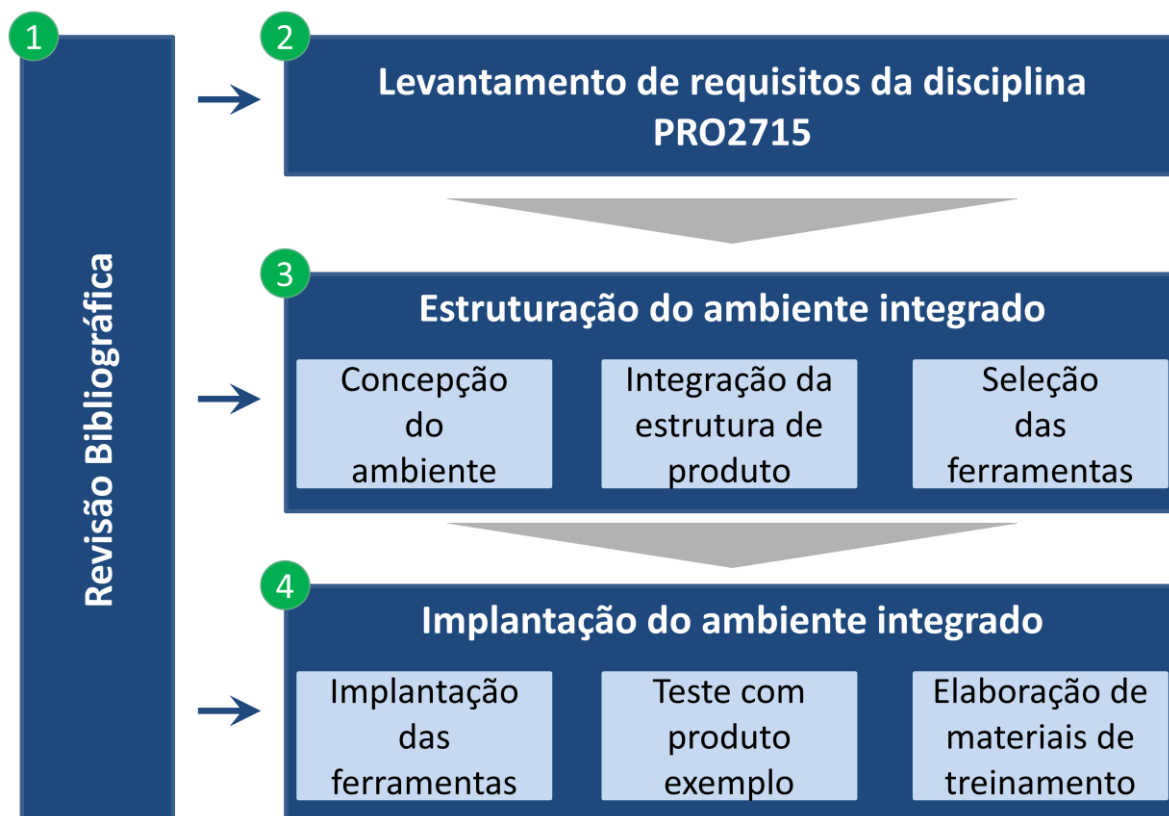


Figura 4 - Macro etapas da metodologia do trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

A revisão bibliográfica sustenta todas as etapas do presente trabalho, fornecendo insumos teóricos para o levantamento dos requisitos da disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo, auxiliando a estruturação do ambiente integrado e, também, sustentando a implantação deste.

A etapa de levantamento dos requisitos da disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo consiste em analisar materiais didáticos fornecidos e a literatura proposta pela disciplina, que servirão de base teórica para a identificação das necessidades de ferramentas para o ambiente integrado.

A etapa de estruturação do ambiente integrado descreve o funcionamento do ambiente, ressaltando o papel central da estrutura de produto nele, e também descreve as ferramentas levantadas e selecionadas.

A última etapa descreve a operacionalização do ambiente, e apresenta os documentos gerados na criação de um produto exemplo e os materiais de treinamento criados para uso do ambiente.

1.5 Organização deste texto

Este texto está estruturado em seis capítulos, organizados de acordo com a sequência ilustrada na Figura 5 abaixo.

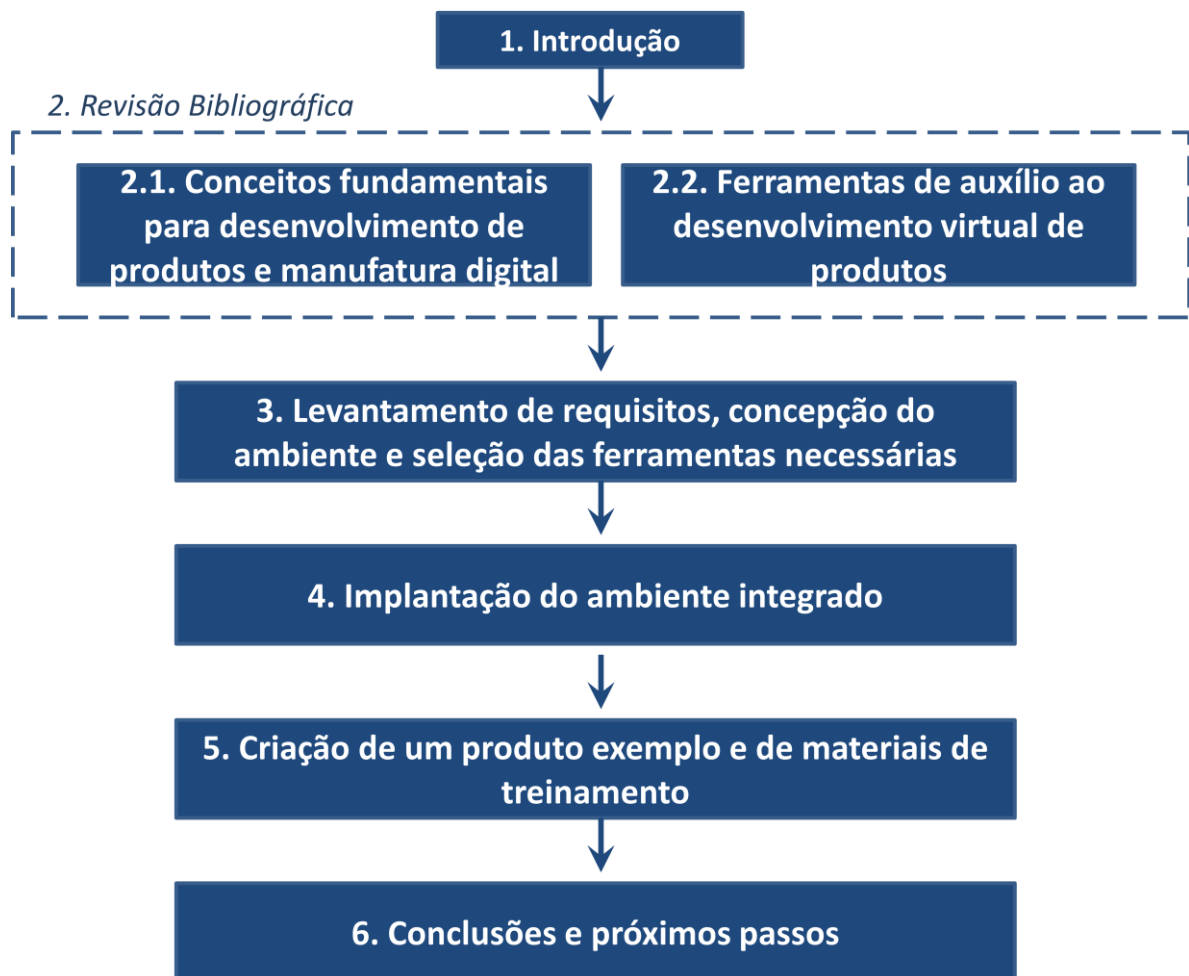


Figura 5 - Organização do texto

Fonte: Elaborado pelo autor

No capítulo 1 são apresentados o contexto e objetivo do trabalho. O contexto compreende a discussão sobre a importância de métodos e ferramentas de auxílio ao desenvolvimento de produtos. O entendimento da situação atual permite a identificação de uma lacuna – a demanda por um laboratório para auxiliar o desenvolvimento de produtos na Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A revisão bibliográfica é apresentada no segundo capítulo, e é separada em dois tópicos: Conceitos fundamentais para o desenvolvimento de produtos e manufatura digital - que apresenta a base teórica que sustenta a concepção do ambiente integrado; e Ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos - que discute as ferramentas necessárias para o ambiente integrado.

O capítulo 3 apresenta o levantamento dos requisitos da disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo, a concepção do ambiente integrado, o papel central da estrutura de produto na integração das ferramentas de desenvolvimento e, por fim, a seleção das ferramentas.

Em seguida, o capítulo 4 documenta a implantação das ferramentas selecionadas, e relata este processo desde a negociação com os fornecedores até a disponibilização para os usuários.

No capítulo 5 são apresentados os materiais criados com o produto exemplo e também os materiais para treinamento e consulta de futuros usuários, como forma de transferência de conhecimento.

O texto é encerrado com o capítulo 6, no qual são discutidas as conclusões e apresentadas sugestões de aplicações das ferramentas implantadas.

2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica está organizada em duas partes, e apresenta os conceitos fundamentais que embasam este trabalho: Conceitos fundamentais para desenvolvimento de produtos; e Ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos, como mostra a Figura 6.

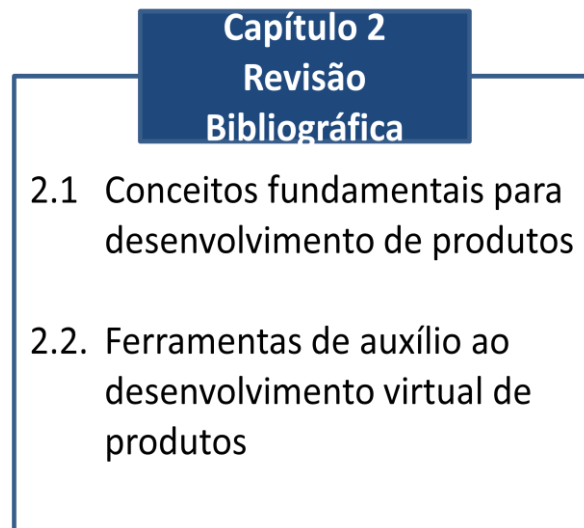


Figura 6 - Estrutura do Capítulo 2

Fonte: Elaborado pelo autor

No item que trata dos conceitos fundamentais para o desenvolvimento de produtos são apresentados os conceitos do ciclo de vida de um produto, que é fundamental para entender como as ferramentas e métodos implantados por este trabalho se relacionam com o processo de desenvolvimento de produtos. Também é apresentada a importância da prototipagem neste processo (subitem 2.1.1).

Depois, são definidos os conceitos de *design thinking* (subitem 2.1.2), desenvolvimento virtual de produtos (subitem 2.1.3), e é discutido o papel da estrutura de produto como elo de integração em ambientes de engenharia (subitem 2.1.4)

O segundo item deste capítulo aborda as ferramentas necessárias para auxiliar o desenvolvimento de produtos, sempre levando em consideração os conceitos fundamentais apresentados no primeiro item do capítulo. Dessa maneira, são estudados métodos de engenharia aplicáveis no desenvolvimento de produtos, apresentando uma justificativa de sua importância no processo e também a lógica de funcionamento desses métodos.

2.1 Conceitos fundamentais para desenvolvimento virtual de produtos

Neste item são tratados temas relevantes para o desenvolvimento de produtos, iniciando pela definição do ciclo de vida do produto e detalhando a etapa de desenvolvimento de produto (subitem 2.1.1). Também são definidos os conceitos de *design thinking* (subitem 2.1.2), desenvolvimento virtual de produtos (subitem 2.1.3), e é discutido o papel da estrutura de produto como elo de integração em ambientes de engenharia (subitem 2.1.4)

2.1.1 Processo de desenvolvimento de produtos

O processo de desenvolvimento de produtos compreende um conjunto de atividades com a finalidade de obter as especificações de um produto e de seu processo produtivo a partir de necessidades do mercado e de possíveis restrições tecnológicas. Esse processo deve considerar as estratégias competitivas da empresa (ROZENFELD et al, 2006).

Para entender melhor o processo de desenvolvimento de produtos, é necessário entender as etapas do ciclo de vida de um produto. O ciclo de vida de um produto abrange todas as etapas pelas quais um produto passa, desde a concepção até a destinação final dada após o uso (ZANCUL, 2009).

O ciclo de vida do produto pode, de maneira geral, ser estruturado em quatro macro fases (REBITZER et al., 2004):

1. Desenvolvimento
2. Produção
3. Uso e serviços
4. Descarte

Cada macro fase é composta por fases específicas, como mostra a Figura 7.

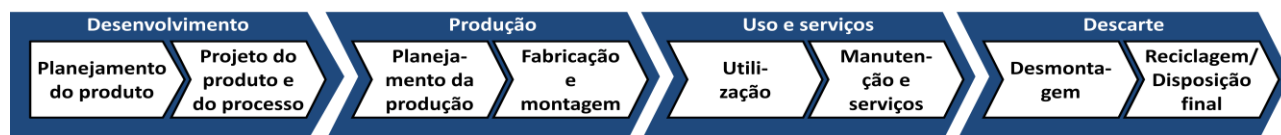


Figura 7 - Fases do ciclo de vida do produto

Fonte: Adaptado de ZANCUL (2009)

Na macro fase de Desenvolvimento (Figura 7) deve ser levada em consideração a estratégia de mercado e a estratégia tecnológica da empresa, pois o Planejamento do Produto envolve todo o portfólio de produtos da empresa e sua relação com os mercados que se deseja

atingir. O objetivo desta macro fase é manter um conjunto de produtos capazes de atender todos os clientes da empresa (ROZENFELD et al, 2006). O Projeto do Produto e do Processo é o responsável por determinar o comportamento deste na fases seguintes do ciclo de vida (REBITZER et al., 2004).

A macro fase de Produção é o elo entre o *design* pelos desenvolvedores e a utilização pelos consumidores, sendo esta a responsável por garantir que o projetado realmente ocorra. A macro fase de Uso e Serviços passa por ciclos que envolvem a Utilização do produto e a Manutenção do mesmo. Por fim, a macro fase de Descarte deve operacionalizar a Desmontagem e Reciclagem projetadas na macro fase de Desenvolvimento (REBITZER et al., 2004).

Como o objetivo do presente trabalho é implantar um ambiente de auxílio ao desenvolvimento de produtos, estudou-se mais profundamente a macro fase de Desenvolvimento (Figura 7). Alguns autores defendem a importância desta macro fase no ciclo de vida de um produto. Segundo Asiedu e Gu (1998, p. 883), os requisitos das demais fases do ciclo de vida devem ser considerados no projeto do produto, uma vez que o projeto pode influenciar entre 70% e 85% do custo total do produto, e Rebitzer et al (2004, p. 702) ainda reforça que a fase do projeto do produto pode determinar cerca de 70% do impacto ambiental, devido a escolhas de matérias e processos produtivos.

Após entender as etapas do ciclo de vida do produto, é necessário entender o Modelo Unificado do PDP (ROZENFELD et al., 2006). Este modelo é resultado de diversos projetos de pesquisa e de consultoria realizados ao longo de vários anos no NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada), da USP de São Carlos, e em outros institutos de pesquisa que trabalham em conjunto com o NUMA.

Analogamente à teoria sobre ciclo de vida do produto, o Modelo Unificado do PDP abrange o ciclo de vida tratando os processos a ele relacionados, com foco na fase de Desenvolvimento, tal como a Figura 8 relaciona.

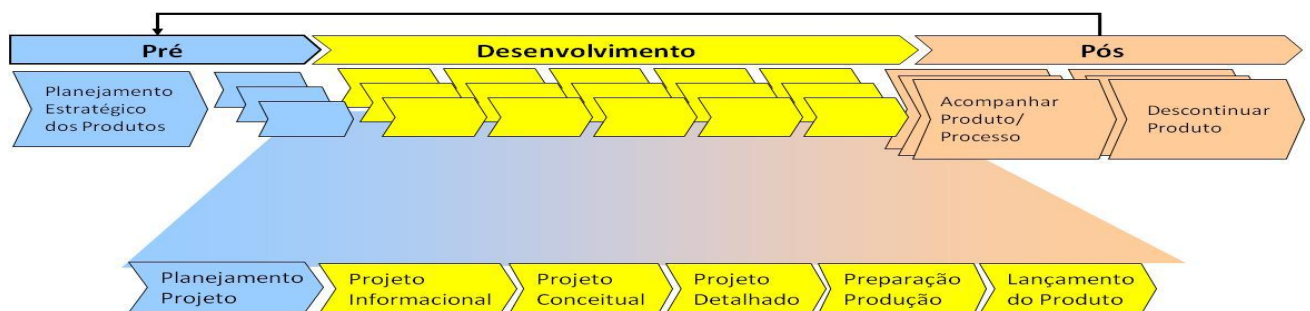


Figura 8 - Macro etapas do Desenvolvimento do Produto

Fonte: Adaptado de ROZENFELD et al (2006)

Estudando em maior detalhe os processos acima descritos, são definidas as etapas do processo de desenvolvimento de produtos (ROZENFELD et al, 2006):

1. Pré-Desenvolvimento
2. Desenvolvimento
3. Pós-Desenvolvimento

A etapa de Pré-Desenvolvimento (Figura 8) contempla o planejamento estratégico e o planejamento do projeto e envolve a atividade de definição dos projetos a serem desenvolvidos a partir da estratégia competitiva da empresa. O resultado dessa etapa é um portfólio de produtos que atendam aos clientes da empresa (ROZENFELD et al, 2006).

A etapa de desenvolvimento (Figura 8) é a responsável por transformar a ideia de atender uma necessidade do mercado em um produto real. É nessa etapa na qual os requisitos dos clientes, de tecnologia, de fabricação, de montagem e do meio-ambiente devem ser considerados, pois é nessa fase que ocorrerão as definições no projeto do produto (ROZENFELD et al, 2006).

A terceira etapa, Pós-Desenvolvimento (Figura 8), é responsável pela manutenção do produto lançado e também pela disposição final do mesmo, quando chegada a hora. Nessa etapa também se aprende muito com o mercado, e as lições devem ser registradas para a melhoria contínua do processo de desenvolvimento de produtos (ROZENFELD et al, 2006).

No desenvolvimento de um produto deve ser enfatizada a importância da construção de um protótipo, pois apesar de representar custos elevados, os protótipos são uma ferramenta vital para o processo e devem ser construídos o mais cedo possível, viabilizando assim obter informações antecipadas sobre o produto. O protótipo ainda representa uma ferramenta embrionária de simulação, permitindo revolucionar a fase de testes e validação do novo produto (ROSENTHAL, 1992).

A etapa de Desenvolvimento, no modelo proposto por Rozenfeld et al (2006) (Figura 8), compreende, além de outras atividades, a construção de protótipos do produto. Um protótipo é uma versão preliminar/modelo do produto que está em desenvolvimento. A definição de protótipo, de acordo com Liescu et al (2009), envolve três diferentes aspectos:

1. A abrangência da aplicação do protótipo – o produto todo ou somente partes do produto e uso que será dado ao protótipo;
2. A forma do protótipo – um protótipo virtual ou físico;
3. O grau de aproximação do protótipo com o produto final.

É necessário entender em maior detalhe a importância da prototipagem no desenvolvimento de produtos. No próximo subitem 2.1.2 discute-se uma abordagem recente sobre a utilização de protótipos neste processo.

2.1.2 *Design thinking*

Neste item é estudada a abordagem de *design thinking*, que tem o enfoque no teste antecipado das ideias, conceitos e soluções geradas no processo de desenvolvimento do produto. A melhoria contínua das ideias é possível a partir dos resultados obtidos com os testes. Para testar as ideias, os autores estudados defendem a prototipagem desde o início da concepção do produto (BROWN, 2009; RIES, 2011)

Design Thinking pode ser definido como um processo iterativo e não linear que envolve 3 etapas (BROWN, 2009, tradução nossa):

1. “Inspiração – o problema ou oportunidade que motiva a busca por soluções;
2. Ideação (traduzido do inglês *ideation*) – o processo de desenvolver e testar ideias;
3. Implementação – o passo de sair da fase de projeto e ir ao mercado”

Os projetos que seguem a abordagem de *design thinking* podem e, segundo Brown (2009), devem, ir e voltar nestas 3 etapas, de modo que, conforme a equipe aprende, realizando descobertas inesperadas ao longo do processo de desenvolvimento do produto, ela deve voltar à inspiração e à ideação para testar as novas ideias. Embora tal abordagem pareça retardar o processo de desenvolvimento do produto por propor um processo iterativo, Brown (2009) afirma que, ao testar um protótipo, pode-se conseguir inspirações e ideias muito mais interessantes, lucrativas e com muito mais potencial que a inspiração e ideia anterior.

O autor sugere que protótipos passem a ser construídos e testados desde o primeiro dia de desenvolvimento do produto, e a cada teste devem ser realizadas atualizações na inspiração e na ideia, resultando em um novo protótipo. De acordo com Brown (2009), os protótipos aceleram o ritmo do projeto e permitem a exploração de diversas ideias em paralelo. Entretanto, ele ressalta que protótipos iniciais devem ser baratos, sem refinamento e rápidos de construir, pois os grandes investimentos em protótipos muito refinados podem trazer duas consequências negativas: levar uma ideia ruim à frente, apenas porque já foi investido muito

dinheiro nela; e não beneficiar dos ganhos trazidos pelo processo de prototipagem, que é a possibilidade de conhecer novas ideias e realizar mudanças no produto.

O *design thinking* é uma abordagem que estimula o aprendizado experimental, e este aprendizado permite organizações mudarem direções de negócio com muito mais agilidade. A prática de testar uma ideia por meio de um protótipo traz ganhos no tempo de desenvolvimento de um produto e também na eficácia em atender a demanda dos clientes quando finalizado (RIES, 2011).

Os autores estudados (BROWN, 2009; RIES, 2011; A THIRD, 2012) defendem que os protótipos são uma ferramenta poderosa no aprendizado sobre o produto em desenvolvimento, e acrescentam que o custo de produzir um protótipo pode ser irrisório, considerando a prototipagem rápida por impressão 3D. Os autores também reforçam que as técnicas de prototipagem rápida por impressão 3D podem produzir protótipos de alta complexidade mantendo os custos baixos.

O próximo subitem discute outro conceito de desenvolvimento de produtos, que se relaciona com o *design thinking* pois também defende o uso de ferramentas para auxiliar o desenvolvimento de produtos.

2.1.3 Desenvolvimento virtual de produtos

O desenvolvimento virtual de produtos é um conceito que defende a utilização de *softwares* para auxiliar o desenvolvimento dos produtos. Esse conceito é consequência da necessidade de ferramentas para auxiliar as atividades do processo de desenvolvimento de produtos (KRASTEL; MERKET, 2004).

No desenvolvimento virtual a equipe utiliza o PLM (*Product Lifecycle Management*) para gerenciar as informações do produto, os *softwares* de CAD (*Computer Aided Design*) para criar um modelo 3D e ferramentas integradas ao PLM para auxiliar nas atividades de desenvolvimento. Todas estas ferramentas (PLM, CAD, outras ferramentas) devem ser baseadas na *web*, permitindo o desenvolvimento do produto por equipes virtuais (EBRAHIM; AHMED; TAHA, 2009).

O PLM é empregado como uma ferramenta estratégica que apoia a criação, a gestão, a disseminação e o uso de informações dos produtos de forma colaborativa, integrando pessoas, processos e sistemas de informação (CIMDATA, 2002).

A partir das informações do PLM, é feita a modelagem do produto no CAD, que detalha as dimensões, a geometria, as partes e o conjunto do produto, permitindo a realização de testes e simulações com esse modelo (MSC *SOFTWARE*, 2012). As ferramentas utilizadas nas atividades do desenvolvimento do produto devem estar integradas ao PLM, garantindo assim que o projeto do produto e do processo esteja integrado desde a concepção do produto até sua prototipagem (ZANCUL, 2009).

Por fim, todas estas ferramentas utilizadas (PLM, CAD, outras ferramentas) devem estar disponibilizadas em sistema *web*, permitindo assim a formação de equipes virtuais de desenvolvimento. As equipes virtuais representam uma evolução no trabalho em equipe pois permitem aos membros coordenarem melhor suas responsabilidades entre trabalho e família, a superar limitações de espaço e localização geográfica e também permitem reunir *experts* de diferentes localidades mais facilmente (EBRAHIM; AHMED; TAHA, 2009).

O desenvolvimento virtual de produtos propõe que a estrutura de produto seja o elo de integração entre as ferramentas utilizadas no desenvolvimento. O próximo subitem discute como esta integração deve ocorrer

2.1.4 A estrutura de produto como elo de integração em ambientes de engenharia

A estrutura de produto tem o papel central de gestão de dados no processo de desenvolvimento de produtos (SCHUH; ASMUS; ZANCUL, 2006).

A definição de estrutura de produto atesta que esta estrutura, também conhecida como BOM – Bill Of Materials é uma lista de todas as submontagens, componentes intermediários, matérias-primas e itens comprados que são utilizados na fabricação e/ou montagem de um produto, mostrando as relações de precedência e quantidade de cada item necessário (AMERICAN PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL SOCIETY, 1992).

Além destes objetos, a BOM também pode conter outros, como instruções de trabalho ou ferramentas requeridas para suportar o processo de manufatura. Através da BOM é estabelecida uma relação pai/filho entre um item e seus componentes diretos. (OLIVEIRA, 1999)

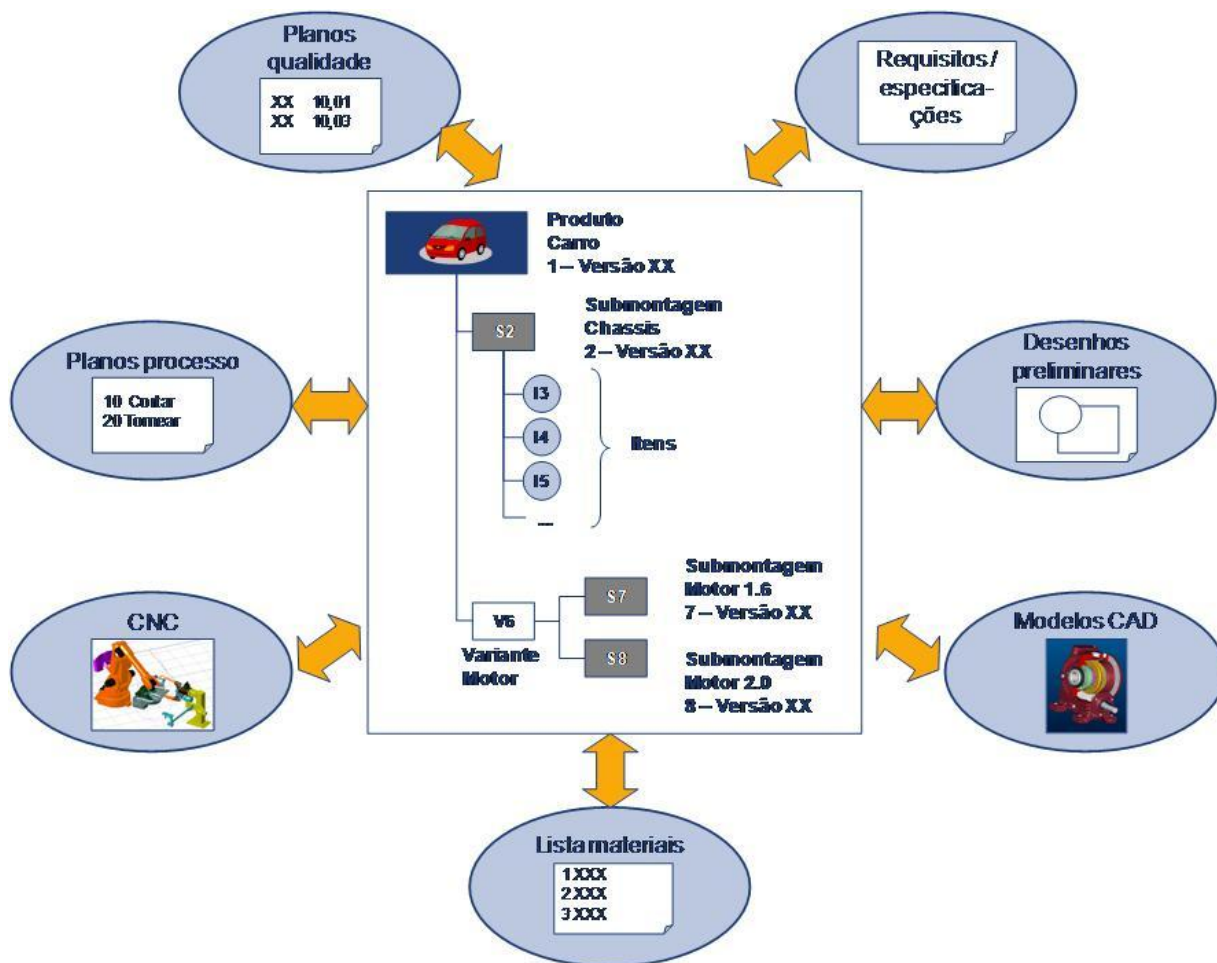


Figura 9 - Papel da estrutura do produto na integração de informações no ciclo de vida

Fonte: Zancul (2009)

No sentido de definir o que é a estrutura de produto e definir também seu papel no processo de desenvolvimento de produto, vale ressaltar a definição apresentada pela disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo. A estrutura de produto contém a identificação dos itens e a definição do relacionamento entre eles (sistemas, subsistemas e componentes). Ela também relaciona os itens com os seus respectivos dados e documentos. Ao estabelecer a relação entre os itens de um produto e suas informações, a estrutura de produto torna-se um dos elementos centrais para a gestão de dados de produto no ciclo de vida. Ainda, uma importante função dela é prover informações para várias áreas da empresa ao longo do ciclo de vida (ZANCUL, 2009; NOTAS DE AULA PRO2715, 2012).

A estrutura de produto relaciona os itens do produto com seus respectivos dados e documentos, como mostra a Figura 9.

A concepção da primeira versão da estrutura de produtos se dá na etapa de Projeto Conceitual estudado (subitem 2.1.1) Processo de desenvolvimento de produtos, conforme detalhado na Figura 10.



Figura 10 - Concepção da primeira versão da estrutura de produto

Fonte: Elaborado pelo autor

A estrutura do produto é modelada inicialmente em forma de funções que descrevem as necessidades que o produto irá atender, sem considerar princípios físicos, evitando assim que experiências ou preconceitos limitem a criação de novas soluções para o produto. Após definidas as funções do produto, são apresentadas alternativas de solução, podendo ser uma ou mais selecionadas. A partir destas alternativas selecionadas, são criadas arquiteturas que contém a estrutura de produto em forma de componentes, não mais em forma de funções apenas (ROZENFELD et al, 2006).

Este processo descrito acima é melhor entendido com a Figura 11, que descreve as atividades dentro da etapa de Projeto Conceitual.

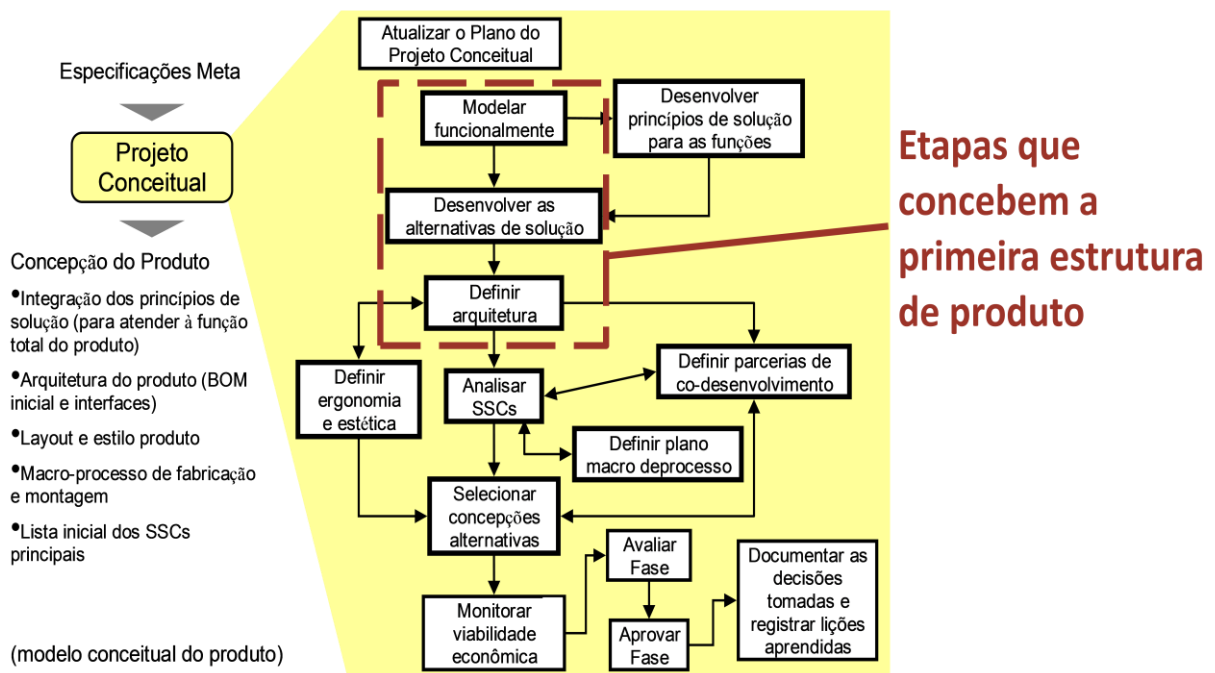


Figura 11 - Projeto Conceitual - Concepção da primeira estrutura de produto

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al (2006)

A Figura 11 apresenta o fluxo seguido no Projeto Conceitual do produto, e também ressalta as etapas responsáveis por conceber a primeira estrutura de produto. Porém, é necessário entender de onde surge a modelagem funcional do produto para assim compreender de maneira sistêmica como se dá a formação da estrutura do produto. A Figura 12 descreve as atividades de modelagem funcional em maior detalhe, e também permite entender que as funções do produto surgem das especificações meta definidas previamente na fase de Projeto Informacional.

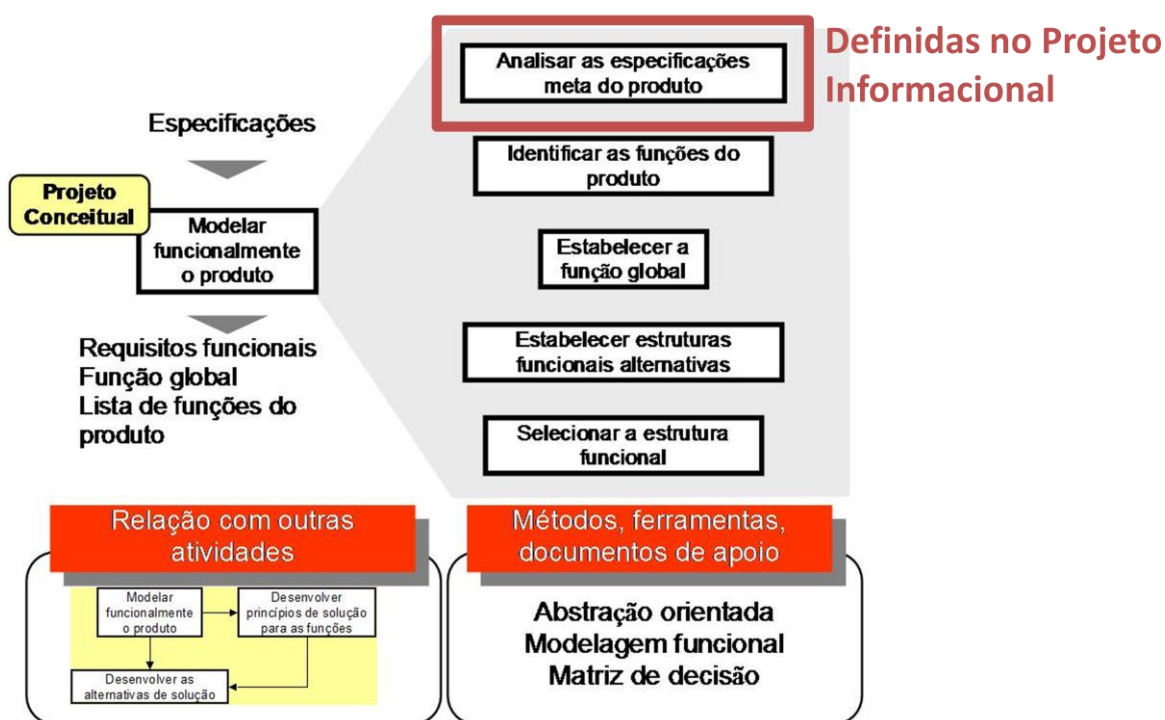


Figura 12 - Modelagem funcional do produto

Fonte: Rozenfeld et al (2006)

As mudanças que ocorrem na estrutura de produto ao longo do ciclo de vida são gerenciadas pela Gestão da Configuração, que é responsável por registrar as mudanças no produto ao longo do tempo e, também, por gerenciar mudanças no produto para atender demandas do mercado. A estrutura de produto é a peça central na Gestão de Configuração, pois, como visto anteriormente, ela é responsável pela integração das informações ao longo do ciclo de vida (ZANCUL, 2009).

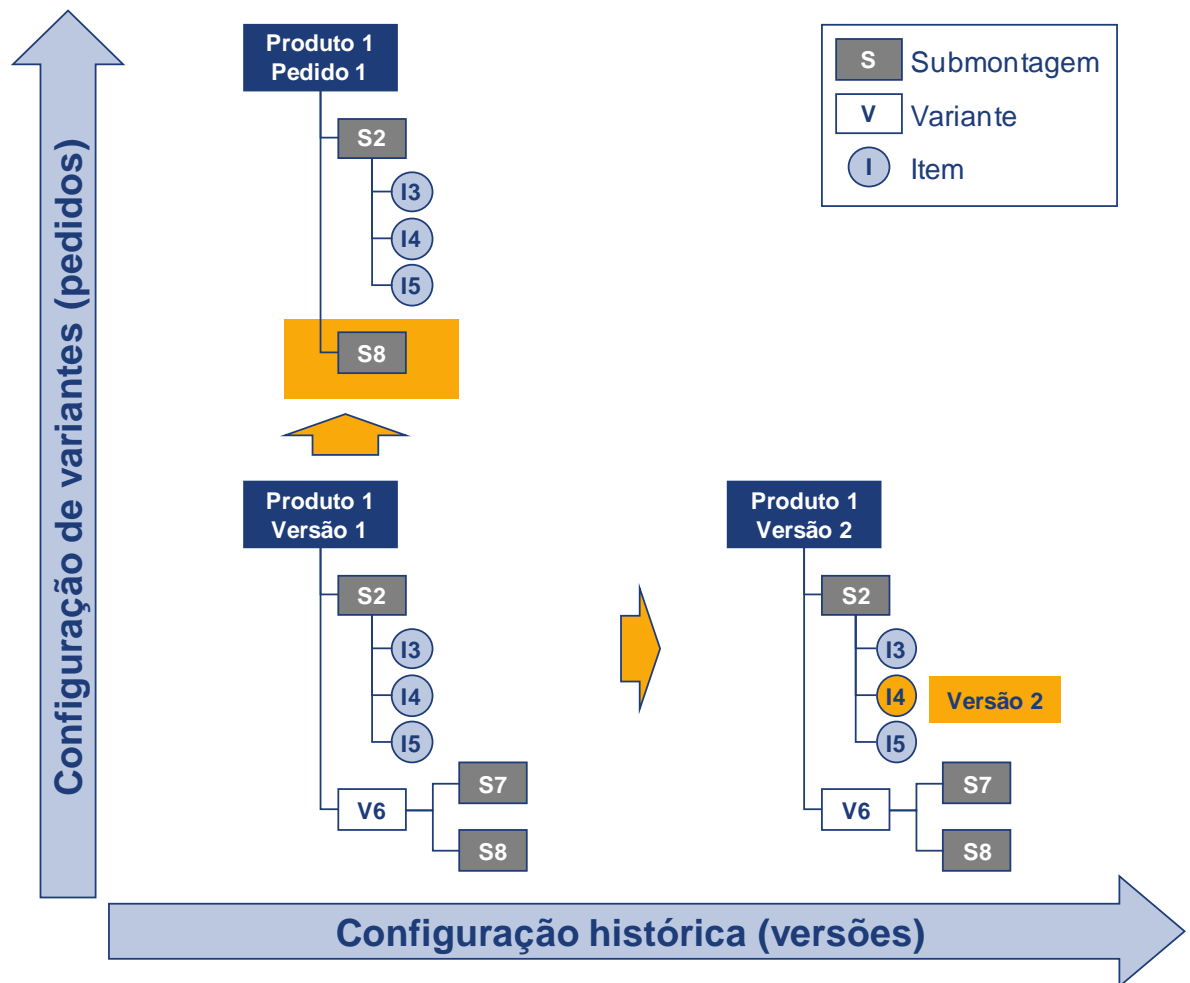


Figura 13 - Aspectos da Gestão de configuração

Fonte: Zancul (2009)

A Figura 13 permite visualizar como a estrutura de produto realiza o papel central na Gestão da Configuração, sendo responsável por registrar as mudanças no produto tanto em função dos pedidos de clientes (variantes – eixo vertical) quanto em função de atualizações feitas pela equipe de desenvolvimento (versões – eixo horizontal).

Este item 2.1 discutiu conceitos fundamentais para o desenvolvimento de produtos que sugerem a utilização de métodos e ferramentas para auxiliar o processo. O próximo item 2.2 discute os métodos e ferramentas necessários para um ambiente de desenvolvimento de produtos.

2.2 Métodos e ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos

De acordo com Wanyama et al. (2003), na visão da engenharia, que é a visão adotada neste trabalho, o foco é no desenvolvimento de produtos que considerem os requisitos de

desempenho, de impacto no meio-ambiente e de custos das fases posteriores do ciclo de vida do produto. Para garantir que essa visão seja adotada de maneira sistêmica no processo de desenvolvimento de produtos são necessários métodos para realizar cada etapa do processo.

Assim, foram selecionados métodos para serem empregados durante o desenvolvimento de produtos e defendidos pela literatura. Os métodos e ferramentas selecionados e estudados foram:

- **CAD** (*Computer aided Design*)
- **QFD** (*Quality Function Deployment*)
- **DFMA** (*Design for Manufacturing and Assembly*)
- **DFE** (*Design for Environment*)
- **FMEA** (*Failure Mode Analysis*)
- **PLM** (*Product Lifecycle Management*)
- **Prototipagem rápida**

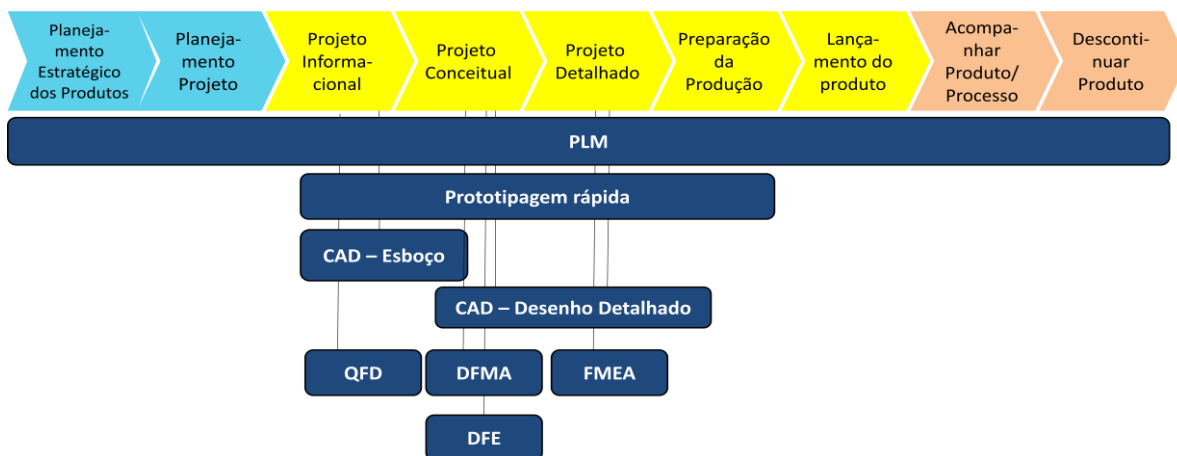


Figura 14 - Ferramentas de auxílio ao desenvolvimento virtual de produtos

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 14 ajuda a entender em que fase do ciclo de vida do produto cada um destes métodos e ferramentas estão inseridos. Enquanto o PLM é utilizado ao longo de todo o ciclo de vida, gerenciando as informações geradas por outros sistemas, as ferramentas de CAD, QFD, DFMA, DFE, FMEA e Prototipagem Rápida são responsáveis por auxiliar em atividades específicas dentro de cada etapa do ciclo de vida.

2.2.1 Ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*)

As ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*) devem ser utilizadas na fase do Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado no ciclo de vida do produto, como apresentada a Figura 15.

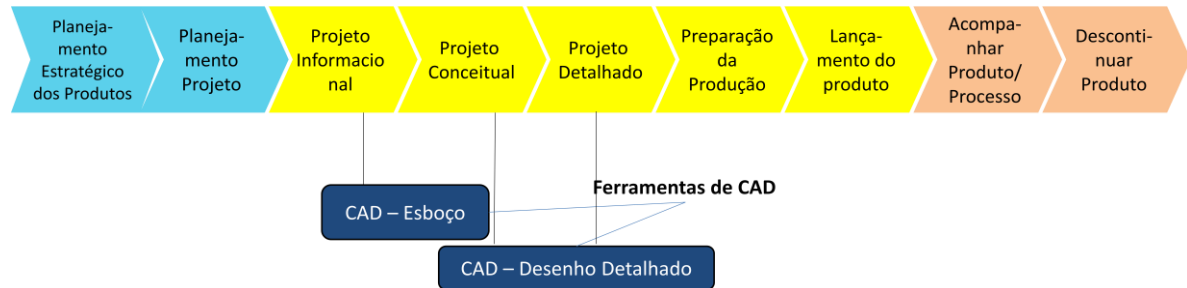


Figura 15 - Ferramentas de CAD no ciclo de vida do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

Elas devem ser utilizadas de duas formas distintas, a primeira é para fazer o esboço do produto, na fase de Projeto Informacional, e a segunda é para o desenho técnico do mesmo, nas fases de Projeto Conceitual e Projeto Detalhado (ROZENFELD et al., 2006).

Na fase de Projeto Informacional é necessário fazer um esboço do produto para que seja possível alinhar as visões de todos os integrantes da equipe de desenvolvimento, sendo este esboço uma primeira visão do produto, sem detalhamentos. O desenho do produto em um *software* representa um ganho de tempo no desenvolvimento por otimizar as modificações do projeto (FOGGIATTO; VOLPATO; BONTORIN, 2007).

Na etapa de Projeto Conceitual é essencial o uso de *softwares* CAD para definir a arquitetura do produto (Figura 16).

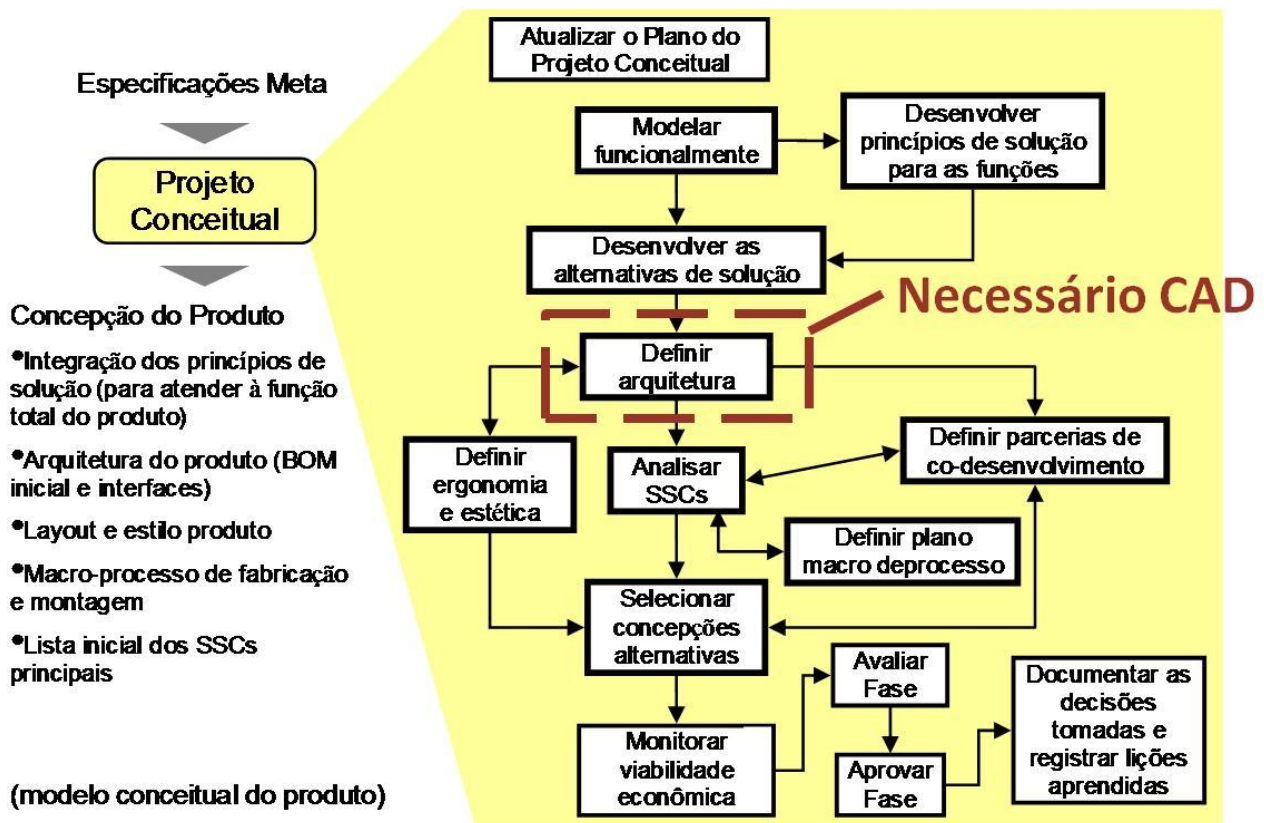


Figura 16 - Projeto Conceitual

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Essas ferramentas de CAD são importantes, segundo Clark et al. (1991), para o desenvolvimento de produtos em geral, mas especialmente àqueles de alta tecnologia, pois nestes casos fica mais evidente que estas ferramentas aumentam a eficácia das soluções desenvolvidas e reduzem o tempo de desenvolvimento do produto. Ainda de acordo com Clark et al. (1991), o uso de *softwares* CAD no projeto do produto permite que diferentes alternativas de *design* sejam testadas e somente as mais adequadas sigam em frente, aumentando assim a eficácia do processo, e que isso ocorra em um tempo muito menor do que levaria para a prototipagem de todas as alternativas, reduzindo o tempo de desenvolvimento. É essencial que haja uma forte conexão entre o *design* do produto em um *software* CAD e as especificações do conceito do produto vista do lado comercial, ou seja, é necessário que o *design* do produto atenda as necessidades dos usuários.

2.2.2 Método de QFD (*Quality Function Deployment*)

O QFD (*Quality Function Deployment*) está inserido na fase de Projeto Informacional do ciclo de vida do produto, como mostra a Figura 17.

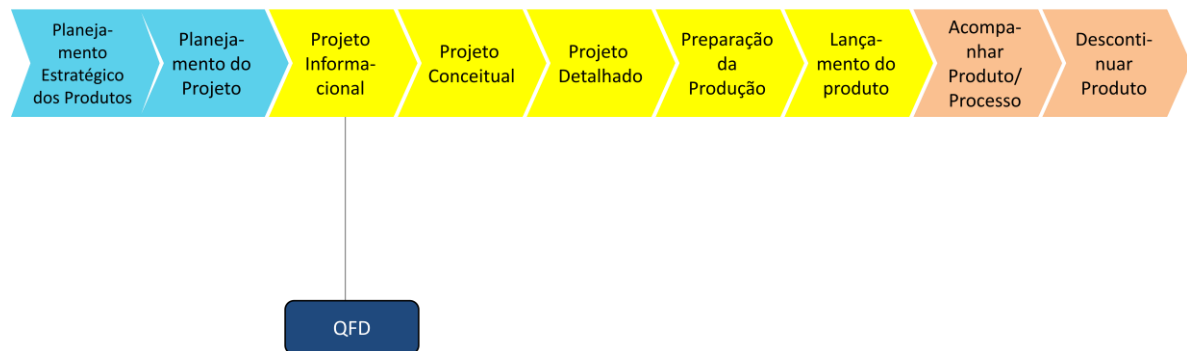


Figura 17 - QFD no ciclo de vida do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

O QFD deve ser aplicado na fase de Projeto Informacional, pois, segundo Yamashina, Ito e Kawada (2002) ele permite orientar o trabalho do time de desenvolvimento considerando as necessidades dos clientes, que é um dos objetivos desta fase.

Dentro da fase de Projeto Informacional, o QFD auxilia na definição dos requisitos do produto e também na definição das especificações meta do produto, sempre orientado pela necessidade do cliente (Figura 18).

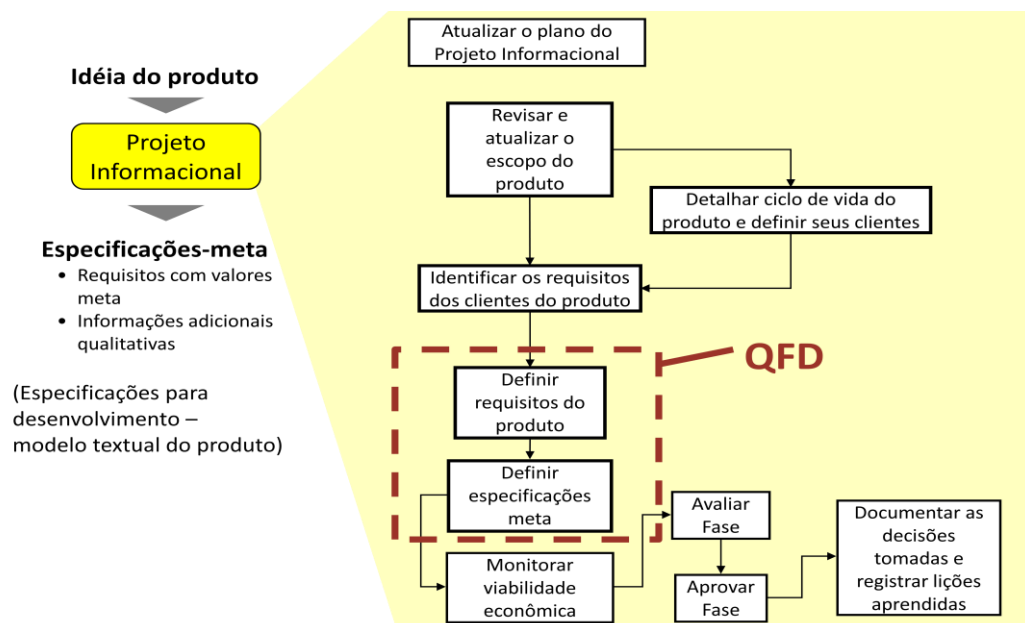


Figura 18 - Projeto Informacional

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Diversos autores defendem o uso do QFD no desenvolvimento de produto. Segundo Akao (1990), o QFD é um método de auxílio ao desenvolvimento de produtos que foca em

satisfazer o consumidor e traduzir a necessidade do consumidor em características do *design* do produto, e assegurar a qualidade da produção deste, garantindo a qualidade do produto no estágio de desenvolvimento. Ainda segundo Akao (1990), quando devidamente aplicado, o QFD demonstrou ser capaz de reduzir em um terço ou até metade do tempo de desenvolvimento de produto.

Segundo Rosenthal (1992), para desenvolver um produto, a equipe de desenvolvimento deve saber o uso final do mesmo e o que os usuários finais necessitam efetivamente. O QFD é um método que traduz as necessidades dos usuários do produto em características técnicas deste.

De acordo com Cheng et al (1995), os benefícios do QFD já comprovados pelo uso, são:

- Redução do tempo de desenvolvimento do produto;
- Redução do número de mudanças de projeto;
- Redução das reclamações dos clientes;
- Redução de custos e perdas;
- Redução de transtornos e mal-estar entre funcionários;
- Aumento da comunicação entre departamentos funcionais;
- Crescimentos e desenvolvimento de pessoas através do aprendizado mútuo; e
- Maior possibilidade de atendimento a exigências dos clientes.

Visto que diversos autores defendem a importância da aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos é necessário estudar como essa ferramenta deve ser implantada no ambiente integrado de engenharia em desenvolvimento. O objetivo do QFD no desenvolvimento de produto é transformar características de qualidade subjetivas, obtidas junto aos usuários do produto, em características técnicas que podem ser quantificadas e medidas, para assim serem usadas na manufatura do produto (REILLY, 1999).

No processo de desenvolvimento do produto deve ser construída a casa da qualidade (AMERICAN SUPPLIER INSTITUTE, 1993), que é resultado da aplicação do QFD.

De acordo com Bouer (2010), para a aplicação do QFD e construção da casa da qualidade devem ser seguidos os seguintes 4 passos:

1. Elaboração da Matriz da Qualidade Exigida;
2. Elaboração da Matriz da Qualidade Planejada;
3. Elaboração da Matriz da Qualidade Projetada;
4. Elaboração do Benchmarking Técnico.

Aplicando estes quatro passos para a casa da qualidade sugerida pela American Supplier Institute (1993) chegamos à seguinte priorização para aplicação do QFD

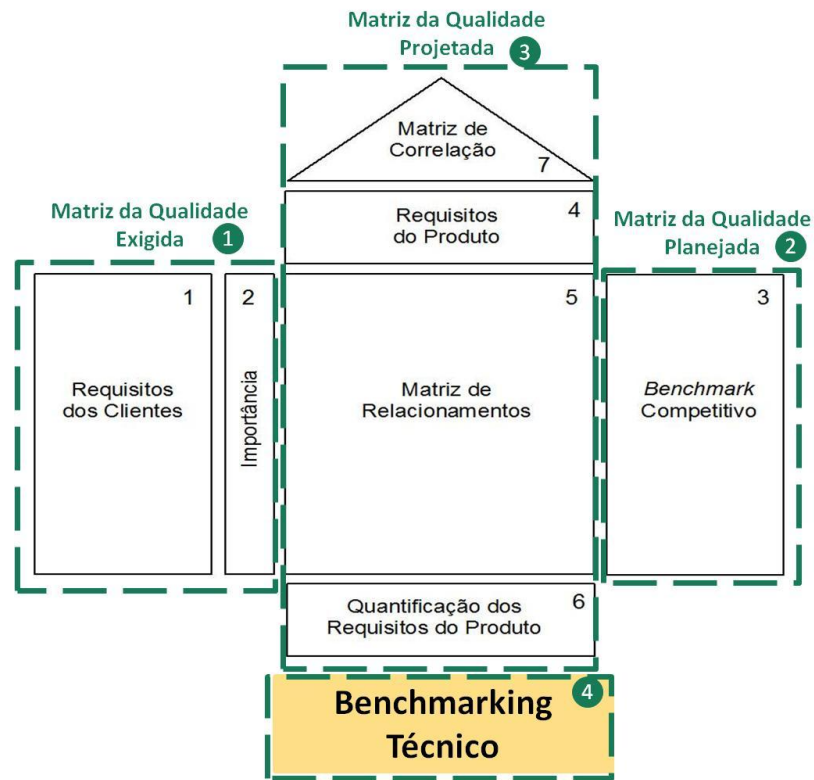


Figura 19 - Priorização para aplicação do QFD

Fonte: Adaptado de Bouer (2010)

2.2.3 Ferramentas de DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*)

O DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*) está inserido na fase de Projeto Conceitual do processo do ciclo de vida do produto, apresentado pela Figura 20.

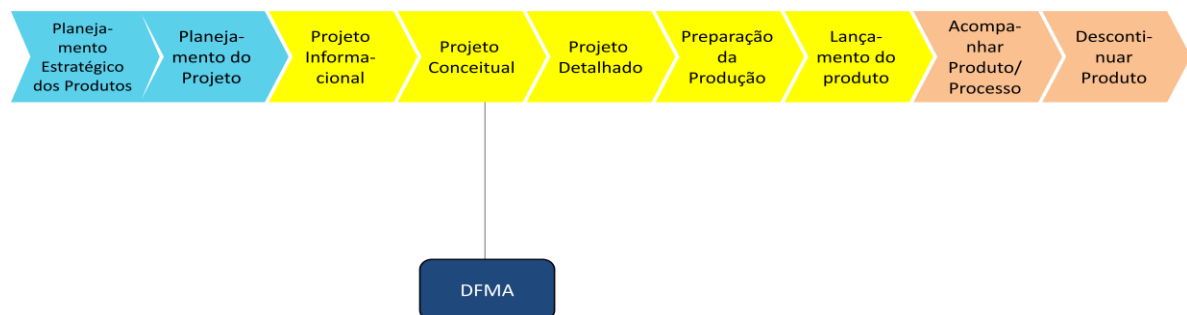


Figura 20 - DFMA no ciclo de vida do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

O DFMA deve ser aplicado na fase de Projeto Conceitual, pois, segundo Silva e Mello (2008, p.4) quanto mais tarde as mudanças no projeto ocorrerem, mais caras serão suas implementações.

O DFMA é uma técnica composta de diversas ferramentas que guiam os projetistas para a simplificação do produto, pensando em como simplificar a manufatura e a montagem deste, e traz diversos benefícios: melhoria na qualidade; diminuição do número total de peças; simplificação do processo de montagem e fabricação; modularização, confiabilidade; redução dos custos de produção; e incentivo ao trabalho em equipes multidisciplinares (BARBOSA, 2007).

Segundo Notas de Aula PRO 2715 (2012) os objetivos do DFMA são:

- Estudar as consequências que as decisões de projeto irão causar nos processos de manufatura;
- Ajustar o projeto para que seja o mais adequado possível aos processos de fabricação disponíveis;
- Eliminar características desnecessárias das peças que as tornam difíceis de serem fabricadas → simplificar;
- Considerar geometrias que utilizem ferramentas padronizadas (por exemplo rasgos);
- Estudar as consequências que as decisões de projeto irão causar nos processos de montagem;
- Assegurar que a montagem do produto seja realizada de forma fácil e rápida.

Segundo Boothroyd e Dewhurst (2012), a chave para o sucesso da aplicação do DFMA no desenvolvimento do produto é a simplificação da manufatura e montagem do mesmo. Segundo os autores, as regras a seguir para sua aplicação são:

- Projetar para um número mínimo de componentes;
- Projetar componentes para serem multifuncionais;
- Utilizar componentes e processos padronizados;
- Desenvolver uma abordagem de projeto modular;
- Utilizar uma montagem empilhada/unidirecional;
- Facilitar alinhamento e inserção de todos os componentes;
- Eliminar parafusos, molas, roldanas, chicotes de fios;
- Eliminar ajustes;
- Procurar padronizar materiais, acabamentos e componentes;

- Ter sempre em mente as possibilidades de automação;
- Utilizar e promover o trabalho em equipe.

Os autores Boothroyd e Dewhurst (2012) ainda defendem que deve ser feita uma análise quantitativa para demonstrar os benefícios da aplicação do DFMA. Esta análise deve ser feita com auxílio de planilhas e tabelas com estimativas de tempos de fabricação ou então por meio de *softwares* que auxiliem nesta tarefa.

2.2.4 Método de DFE (*Design For Environment*)

O DFE (*Design For Environment*) está inserido na fase de Projeto Conceitual do ciclo de vida do produto, como mostra a Figura 21.

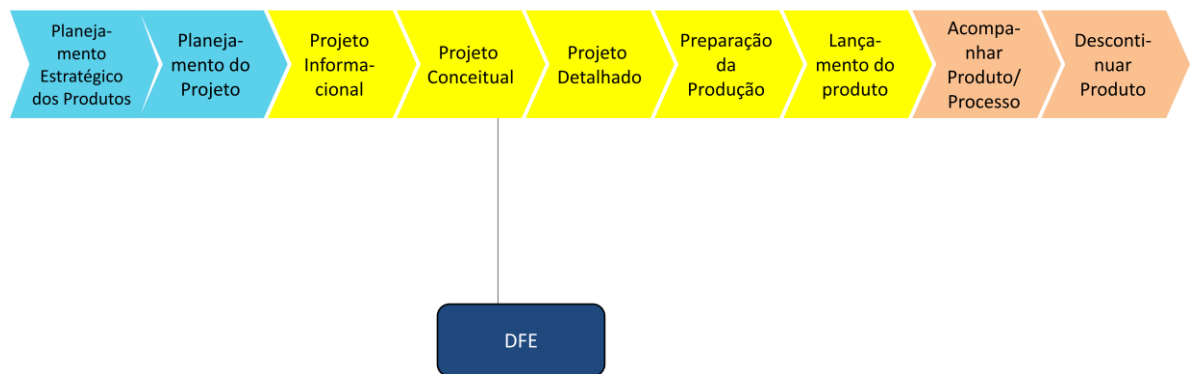


Figura 21 - DFE no ciclo de vida do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

O DFE deve ser aplicado na fase de Projeto Conceitual para criar produtos que considerem demandas de menor impacto no meio ambiente. Mudanças nesta etapa do desenvolvimento custam menos que mudanças em fases posteriores (SILVA; MELLO, 2008)

De acordo com Environmental Protection Agency (2012, tradução nossa), o DFE é sustentado por três conceitos principais:

1. “Projeto do processo de manufatura para o meio ambiente – Assegura que a matéria prima, a transformação desta em outros materiais e o processo de fabricação do produto sejam feitos utilizando materiais e processos não prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde dos funcionários que trabalham no processo produtivo. Este conceito ainda inclui a minimização dos descartes, sejam eles matéria sólida, líquida ou gasosa, e também a minimização da energia empregada no processo.
2. Projeto da embalagem para o meio ambiente – Assegura que os materiais utilizados na embalagem do produto não são prejudiciais ao meio ambiente, aplicando o reuso de embalagens de entrega, eliminação de papéis desnecessários, uso eficiente de materiais e utilização de materiais reciclados.

3. Projeto para reuso – Projetar pensando na utilização do fim da vida do produto. Garantir que no descarte do produto não sejam emitidos componentes químicos prejudiciais ao meio ambiente. Planejar o produto para o reuso no fim da vida pode mudar os materiais utilizados, como eles podem ser desmontados e reutilizados, e calcular o impacto ambiental do descarte final do produto de modo a quantificar os ganhos obtidos.”

A aplicação do DFE no desenvolvimento de produtos é uma maneira de garantir que o projeto deste leve em consideração as três visões de *design* apresentadas acima, inserindo no processo de desenvolvimento um método de engenharia que permite uma visão sistêmica sob a ótica da sustentabilidade.

2.2.5 Métodos de FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

O FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) está inserido na fase de Projeto Detalhado do ciclo de vida do produto, apresentado pela Figura 22.

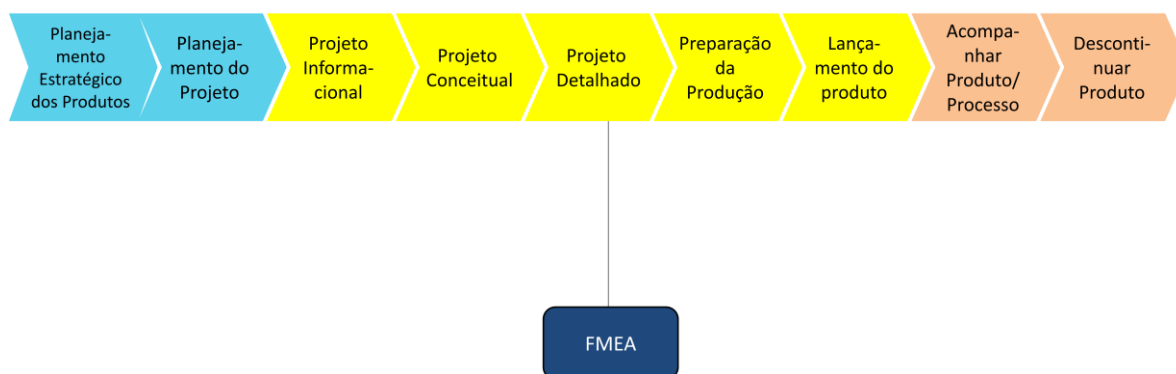


Figura 22 - FMEA no ciclo de vida do produto

Fonte: Elaborado pelo autor

O FMEA deve ser aplicado na fase de Projeto Detalhado pois nesta etapa já é possível ter uma visão detalhada de cada componente do produto e também do processo de fabricação, requisitos para aplicação do FMEA (BOUER, 2010).

De acordo com Bouer (2010) o FMEA consiste em uma abordagem disciplinada que objetiva identificar antecipadamente problemas potenciais, seus respectivos efeitos e suas possíveis causas a fim de estabelecer mecanismos de detecção, controle e intervenção para assegurar a qualidade e confiabilidade requeridas pelo cliente.

No desenvolvimento do produto, devem ser identificados os pontos de falha que podem ocorrer nos âmbitos de confiabilidade, usabilidade, ergonomia, conformidade com o usuário e suprimento de matéria-prima. Uma vez detectados os pontos de falha e seus respectivos

pontos críticos, são apontados pontos de melhoria, que envolvem medidas corretivas e preventivas para a reformulação de alguns aspectos do produto.

Segundo Bouer (2010) para aplicação do FMEA devem ser executados os seguintes passos:

- Planejamento – Determinar os pontos críticos do projeto, levando em consideração as necessidades dos clientes. A partir dos pontos críticos, sugere-se aplicação de um diagrama de causa e efeito (ISHIKAWA, 1990) para identificar as causas raízes dos problemas identificados.
- Avaliação de riscos – A partir das causas raízes dos problemas identificado na etapa anterior, deve-se avaliar a Severidade do problema, a frequência de Ocorrência e a capacidade de Detecção do problema, de acordo com a tabela abaixo:

Nota	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)
[9,10]	Perigo elevado sem possibilidade de alerta	Muito alta e quase inevitável	Não se pode detectar ou probabilidade de detecção muito baixa
[7,8]	Perda da principal função; Usuário Insatisfeito	Falha com alto índice de repetição	Chance de detecção remota ou baixa
[5,6]	Perda de uma função secundária	Falha com índice moderado de repetição	Probabilidade de Detecção Baixa
[3,4]	Defeito de pequena monta	Ocorrência ocasional de Falha	Probabilidade de detecção moderada
[1,2]	Sem efeito	Falha com pouca probabilidade de ocorrer	Detecção quase certa

Quadro 1 - Avaliação de riscos no FMEA

Fonte: Bouer (2010)

- Controles atuais– Devem ser identificados os controles atuais para evitar o problema em questão.
- Ações recomendadas – Deve ser calculado o NPR dos problemas identificados, como mostra a figura abaixo:

$$\text{Índice de Risco} = \text{Índice de Severidade} \times \text{Índice de Ocorrência} \times \text{Índice de Detecção}$$

Figura 23 - Cálculo do NPR

Fonte: Bouer (2010)

Para os problemas com maior NPR devem ser propostas ações de melhoria para reduzir ou a Severidade ou a Ocorrência, ou então aumentar a Detecção do problema em questão, para assim obter ganhos para o produto e/ou processo.

2.2.6 Ferramentas de PLM (*Product Lifecycle Management*)

Segundo Zancul (2009), a definição de PLM de diversos autores converge, enfatizando a gestão integrada das informações e dos processos relacionados ao produto no ciclo de vida. Zancul (2009) ainda ressalta que o PLM deve ser entendido como uma abordagem de ampla integração da gestão dos processos, que requer sistemas de informação para sua implementação.

O ideal é que as informações geradas ao longo do ciclo de vida do produto estejam sempre atualizadas e disponíveis, o que evidencia a necessidade de uma eficiente gestão do ciclo de vida (ZANCUL, 2009). Neste contexto, o termo PLM é utilizado para definir tanto a abordagem como as soluções técnicas de *softwares* utilizados para gestão de dados no ciclo de vida dos produtos (MA; FUH, 2008).

O PLM como sistema de informação é uma ferramenta com ênfase na criação, gestão, disseminação e uso das informações ao longo do ciclo de vida do produto (CIMDATA, 2002). As informações geradas ao longo do ciclo de vida do produto são, por exemplo: lista de requisitos; estrutura de produto; modelos em CAD planos de processo de fabricação; e mudanças no produto resultantes da aplicação de metodologias como DFE e DFMA entre outros. A Figura 24 ilustra a geração dos dados no processo de desenvolvimento de produto.

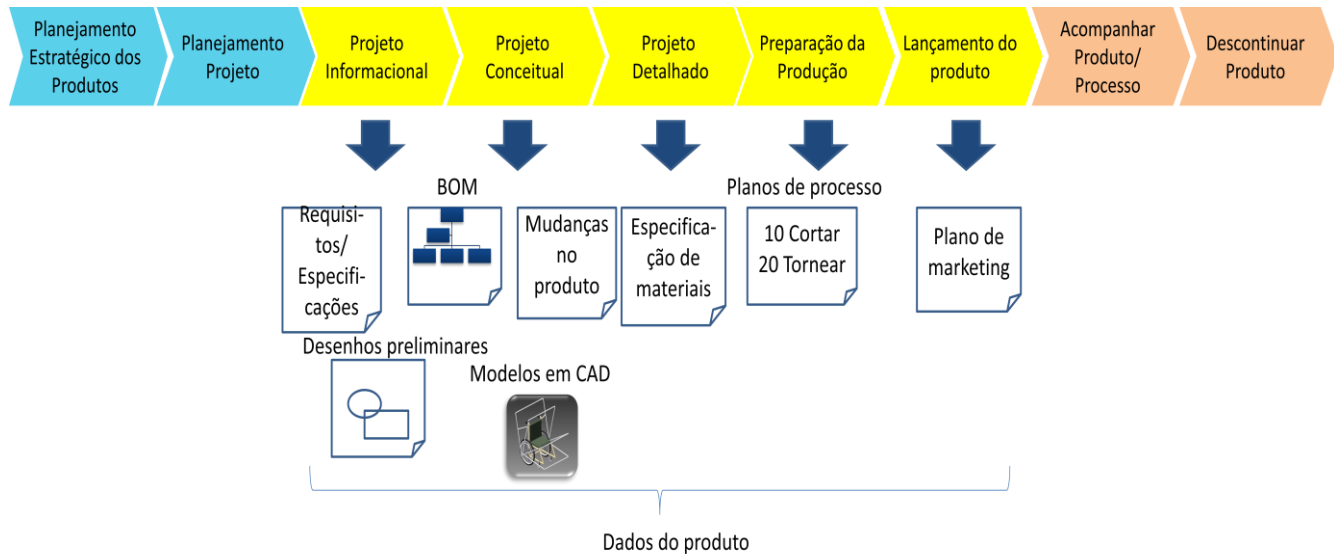


Figura 24 - Informações geradas ao longo do ciclo de vida do produto

Fonte: Adaptado de ZANCUL (2009)

2.2.7 Ferramentas de Prototipagem Rápida

Neste item é estudada a prototipagem rápida. De acordo com Brown (2009), Ries (2011) e The Third (2012), esta ferramenta é essencial no desenvolvimento de produtos por permitir o aprendizado sobre o produto em desenvolvimento, e novas técnicas de prototipagem rápida, como impressões 3D, permitem reduzir os custos dos protótipos, tornando-os viáveis até em fases preliminares do desenvolvimento do produto.

A definição de prototipagem rápida é semelhante para diversos autores. Liou (2007) e Raja e Fernandes (2008) defendem que prototipagem rápida é o processo de construção de peças/modelos/objetos físicos a partir de projetos em CAD. Nesse método as peças/modelos/objetos são construídos camada por camada, que representam as secções transversais delas, e podem ser construídas a partir de materiais sólidos, líquidos ou pós (CHEAH et al, 2004; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2007).

Aplicado no desenvolvimento de produtos, a prototipagem rápida traz benefícios pois permite construir geometrias complexas a baixo custo e em pouco tempo, a partir de um modelo 3D. Essa técnica permite que a equipe de desenvolvimento do produto produza protótipos rapidamente (RAJA; FERNANDES, 2008). Em fases iniciais, o protótipo auxilia a visualização do projeto, já em fases mais avançadas, o protótipo pode ser usado para realização de testes do produto (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2007).

Os autores estudados (BROWN, 2009; LIOU, 2007; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2007; RAJA; FERNANDES, 2008; RIES, 2011) sugerem que a prototipagem rápida possa ser

utilizada desde a fase de Projeto Informacional até a preparação da produção, para facilitar a visualização do modelo pela equipe e permitir a realização de testes.

Seguindo a recomendação dos autores acima mencionados, pode-se entender que a prototipagem rápida está presente em todas as fases do Desenvolvimento do Produto, e sempre que necessário a equipe deve construir um protótipo, como mostra a Figura 25

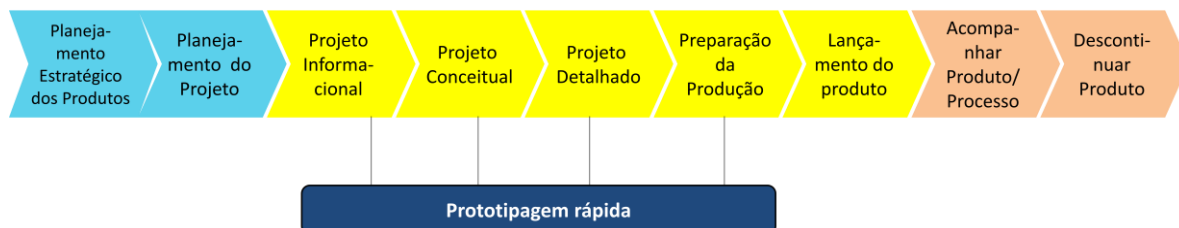


Figura 25 - Prototipagem rápida no ciclo de vida do produto (II)

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Leite et al (2011), os processos existentes de prototipagem rápida seguem cinco passos para construção física do objeto desejado:

1. Modelagem 3D em CAD da peça;
2. Conversão do arquivo CAD em formato compatível (IGS, STL, etc.);
3. Fatiamento do arquivo em camadas transversais e geração do programa de processamento;
4. Construção da peça;
5. Pós-processamento (limpeza da peça).

A Figura 26 abaixo ajuda a visualizar melhor cada passo definido por Leite et al. (2011):



Figura 26 - Passos para construção de uma peça por prototipagem rápida

Fonte: Adaptado de LEITE et al (2011)

Após estudo e discussão dos conceitos fundamentais para a concepção de um ambiente integrado de desenvolvimento de produtos, o próximo capítulo explica como foi concebido esse ambiente.

3 Levantamento de requisitos e concepção do ambiente integrado

Neste capítulo 3 será apresentado o ambiente integrado de desenvolvimento de produtos e seu processo de concepção.

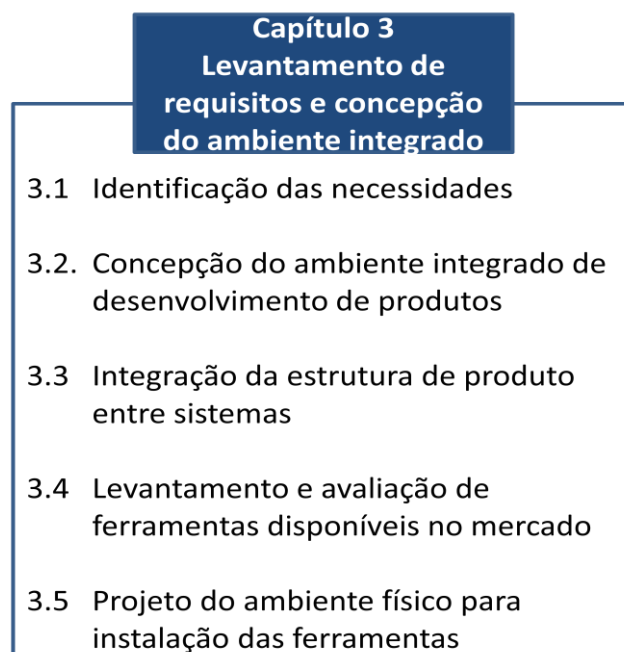


Figura 27 - Estrutura do Capítulo 3

Fonte: Elaborado pelo autor

O capítulo 3 está estrutura em cinco itens (Figura 27). O primeiro deles trata das necessidades identificadas para o ambiente integrado a partir da disciplina PRO 2715 – Projeto do Produto e Processo, que é uma das usuárias (3.1). Em sequência, o segundo item do capítulo trata da concepção do ambiente integrado, no qual é explicado o funcionamento deste e é mostrado conceitualmente como produtos podem ser concebidos e desenvolvidos nele (3.2). Após a explicação conceitual, é apresentada a sequência de alterações sofridas pela estrutura de produto no ambiente integrado (3.3). No quarto item (3.4), é feito um levantamento das ferramentas disponíveis no mercado para atender os requisitos e permitir o fluxo de atividades proposto para desenvolvimento de produtos no ambiente. Por fim, no quinto item (3.5) é apresentado o projeto do ambiente físico do Laboratório do PRO para instalação das ferramentas levantadas. A Figura 27 sintetiza a estrutura do Capítulo 3.

3.1 Identificação de necessidades

O principal cliente do ambiente integrado é o Departamento de Engenharia de Produção da POLI, pois seus alunos e professores poderão utilizá-lo em diversas disciplinas da graduação e pós-graduação.

Uma das usuárias do ambiente integrado será a disciplina PRO 2715- Projeto do Produto e Processo. Para, assim, atender aos requisitos da disciplina PRO 2715- Projeto do Produto e Processo, cabe entender quais são as principais atividades realizadas ao longo do curso, para assim projetar o melhor ambiente de engenharia possível para o PRO.

A disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e Processo segue o Modelo Unificado do PDP discutido no capítulo 2. Esta inicia o curso já na fase de Projeto Informacional, e termina na fase de Projeto Detalhado (Figura 28).

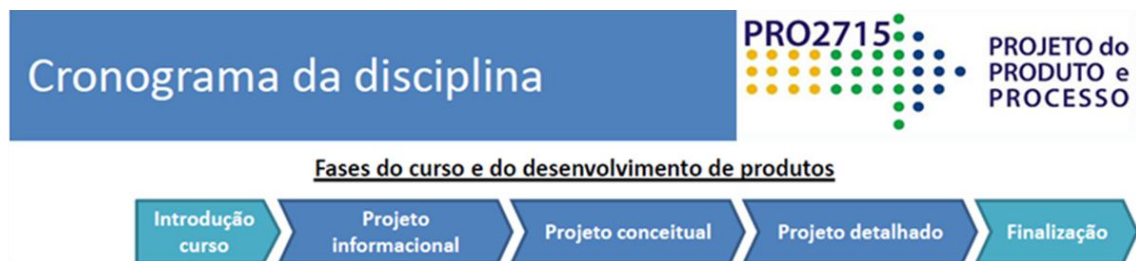


Figura 28 - Cronograma da disciplina PRO2715 relacionado ao PDP

Fonte: Retirado de: <http://www.pro.poli.usp.br/pro2715>. Acesso em 08/10/2012

. Com base no programa da disciplina PRO2715 – Projeto do Produto e do Processo (2012), foram extraídas as atividades propostas pela disciplina e realizadas pelos alunos:

- Projeto Informacional:
 - Análise e definição do mercado;
 - Elaboração de roteiros e de questionários para levantamento das necessidades dos clientes;
 - Elaboração de *benchmarking*;
 - Definição dos requisitos técnicos do produto e especificação-meta;
 - Aplicação do QFD;
 - Análise da ergonomia e usabilidade do produto;
 - Identificação das necessidades dos usuários;
 - Elaboração dos desenhos iniciais do produto.
- Projeto Conceitual:
 - Modelagem e análise funcional;
 - Elaboração dos princípios de solução;
 - Desenvolvimento da criatividade relacionada ao produto;

- Desenvolvimento da arquitetura de produto;
- Análise do valor mercadológico do produto;
- Definição dos sistemas, subsistemas e componentes;
- Estruturação do produto;
- Seleção de materiais;
- Desenvolvimento do DFMA;
- Representação gráfica do produto e de seus componentes;
- Elaboração dos processos de fabricação;
- Elaboração do plano macro do processo;
- Elaboração de estudo de diferenciação do produto;
- Elaboração da escala vertical para o produto;
- Estudo do aproveitamento técnico;
- Reformulação dos desenhos iniciais;
- Delineamento da distribuição.
- Projeto Detalhado:
 - Planejamento do relacionamento com fornecedores;
 - Análise da decisão *make-or-buy*;
 - Seleção de componentes externos;
 - Desenvolvimento do FMEA;
 - Elaboração do projeto da embalagem;
 - Análise de valor do produto;
 - Cálculo dos custos do produto;
 - Análise da formação do preço de venda do produto;
 - Revisão da viabilidade econômica do produto;
 - Elaboração dos desenhos de execução;
 - Listagem de componentes externos do produto;
 - Elaboração dos planos de processo detalhados de fabricação do produto;
 - Elaborar projeto de uma ferramenta ou dispositivo do produto;
 - Desenvolvimento do FMEA de produto e do FMEA de processo;
 - Elaboração de plano de controle de qualidade e instrumentos usados para um componente do produto;
 - Elaboração do protótipo funcional do produto.

Uma vez entendidas as atividades da disciplina PRO 2715 devem ser consideradas, também, outras necessidades para o projeto do ambiente integrado de engenharia: as necessidades de utilizar ferramentas que funcionem de maneira integrada e efetiva no desenvolvimento de produtos (ISSERMAN, 2008); a necessidade de atender a abordagem de *design thinking* a ser adotada pela disciplina PRO 2715, que propõe a prototipagem rápida dos produtos em desenvolvimento (BROWN, 2009); e a necessidade de atender a tendência de desenvolvimento virtual de produtos (ZANCUL, 2009).

Além destas três necessidades relacionadas acima, as ferramentas também devem ser adquiridas a baixo custo, dado que não há verba disponível para este projeto, e devem ser fáceis de usar, permitindo que todos os usuários possam aprender a usar todas as ferramentas.

Para isso, as ferramentas escolhidas para implantação no ambiente em desenvolvimento devem ter, de preferência, as seguintes características:

- **Atender requisitos da disciplina** – atender aos requisitos da disciplina PRO2715 levantados;
- **Facilidade de uso** – permitir que todos os membros da equipe aprendam todas as ferramentas, estimulando assim a integração entre elas;
- **Baseadas na Web** – atender aos requisitos de integração das ferramentas e desenvolvimento virtual de produtos, e permitir o uso de qualquer local;
- **Gratuitas ou de baixo custo** – negociar doação das ferramentas ou redução dos preços pelos fornecedores por meio de programas educacionais.

A Figura 29 abaixo sintetiza o levantamento de necessidades discutido no item 3.1, mostrando todos os requisitos levantados para as ferramentas implantadas no ambiente integrado de engenharia.

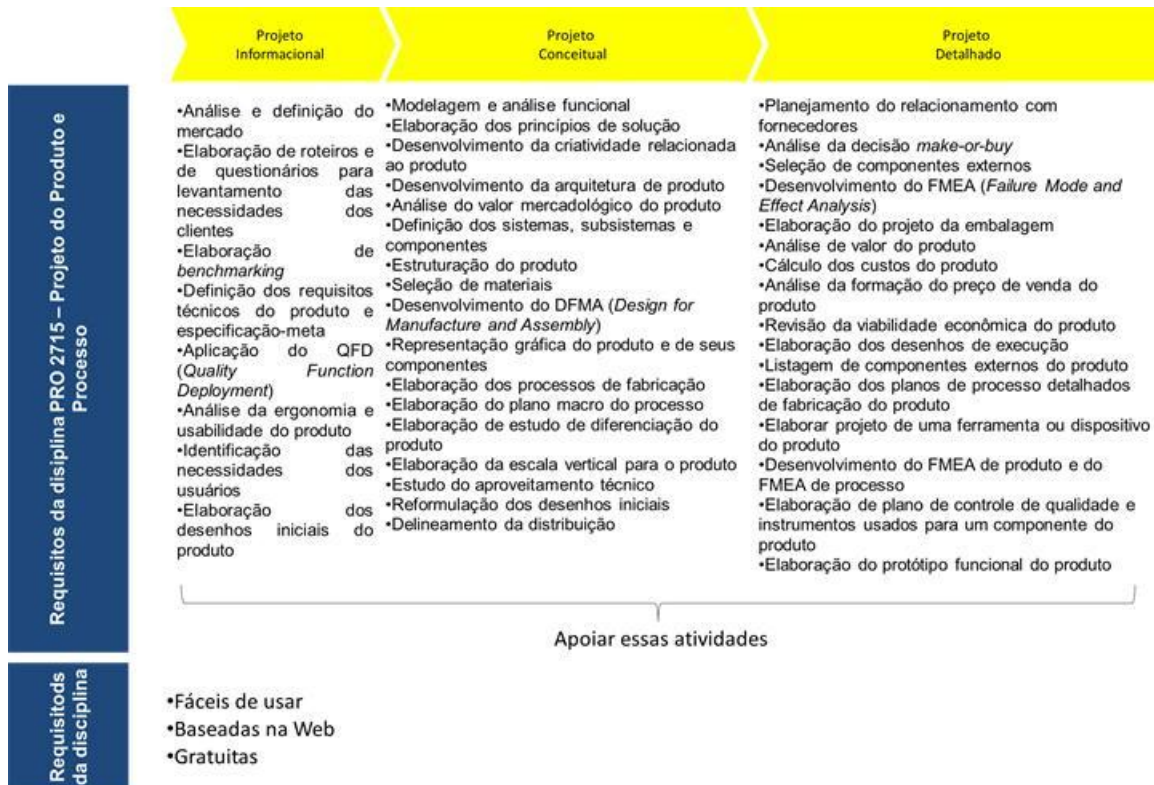


Figura 29 - Requisitos das ferramentas do ambiente integrado de engenharia

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Concepção do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos

Neste item é apresentado conceitualmente o funcionamento do ambiente integrado de engenharia que auxilia o desenvolvimento de produtos. Para isso, é apresentado um fluxo que relaciona as atividades realizadas na disciplina PRO 2715 com as ferramentas implantadas no Laboratório, mostrando assim como cada ferramenta contribui para o processo de desenvolvimento de produto. A Figura 30 ilustra o fluxo mencionado acima

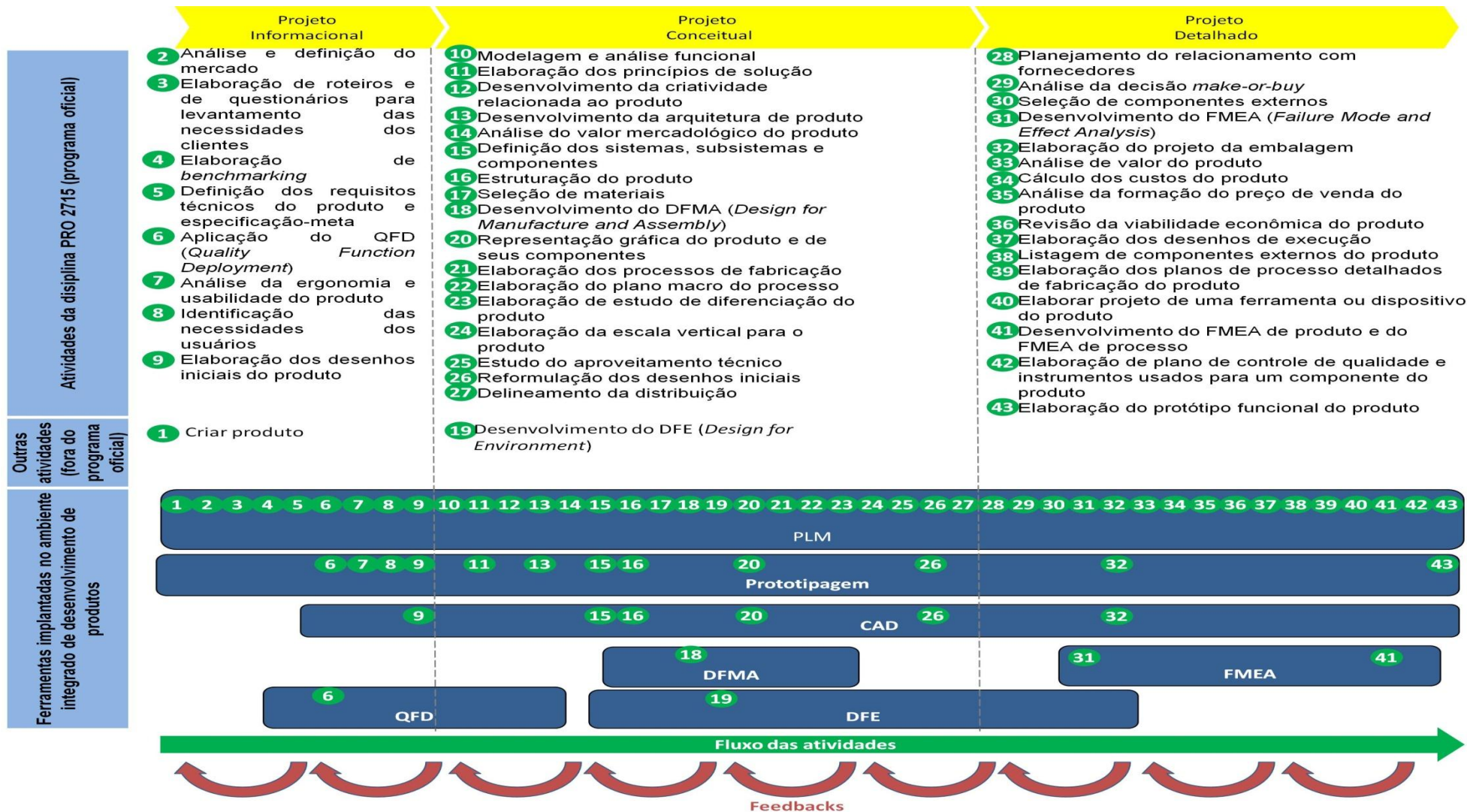


Figura 30 - Funcionamento do ambiente integrado de engenharia

Fonte: Elaborado pelo autor

O ambiente é projetado para auxiliar todas as atividades presentes na disciplina, desde a concepção do produto até sua prototipagem final, levando em consideração também os outros requisitos identificados no item 3.1. Para identificar como as atividades são apoiadas pelo ambiente de engenharia implantado foi estudada a literatura (Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica). A Figura 30 apresenta o resultado conceitual de como funciona esta relação de apoio.

PLM (*Product Lifecycle Management*)

Como se pode ver na Figura 30, o início do desenvolvimento do produto se dá pela criação do produto no sistema PLM, e, a partir deste produto criado, podem ser convidados os membros da equipe para participar no desenvolvimento do mesmo. Do começo ao fim do desenvolvimento do produto, o PLM é responsável pela Gestão da Configuração do produto, ou seja, todas as mudanças que ocorrerem no produto devem ser atualizadas no PLM. Portanto, todas as atividades do processo de desenvolvimento estão ligadas também ao PLM

Isto pode ser feito pelos alunos com *uploads* dos arquivos no sistema PLM, registrando todas as atividades realizadas. A partir do momento em que a equipe cria um estrutura de produto utilizando o sistema PLM, na Atividade 13 – Desenvolvimento da Arquitetura de Produto (Figura 30), esta estrutura vira a informação central no projeto do produto, pois ela será usada para guiar os alunos ao longo do processo de desenvolvimento, e deve ser atualizada a cada mudança realizada no produto, bem como devem ser feitos os *uploads* de arquivos no sistema PLM sempre que houver uma mudança ou um novo arquivo.

No ambiente implantado, o sistema PLM é baseado na *Web* e está registrado em um domínio público. Com isso, é possível que todos os membros da equipe acessem o sistema de qualquer dispositivo com conexão à internet, em qualquer lugar no mundo, permitindo assim que os integrantes sempre tenham acesso às versões mais recentes de todos os documentos do produto.

Prototipagem

Continuando a explicação do fluxo de atividades pelo ambiente integrado, deve-se explicar as ferramentas de prototipagem e como elas apoiam estas atividades. Com o objetivo de produzir protótipos desde o primeiro dia de desenvolvimento (BROWN, 2009), as ferramentas do Laboratório de Produto devem ser utilizadas pelos alunos. No fluxo proposto as atividades 6, 7, 8, 9, 11, 13, 32 e 43 são apoiadas por ferramentas para a prototipagem, com

o objetivo de ilustrar uma ideia com um protótipo. É importante reforçar que nas fases iniciais do desenvolvimento os protótipos podem ser simples (BROWN, 2009).

A partir do momento em que já existe um modelo 3D criado em um *software* CAD é possível utilizar também a impressora 3D para a prototipagem rápida do modelo. Portanto, a cada alteração no modelo 3D feita pelos alunos, um protótipo físico pode ser impresso, permitindo assim a melhor visualização do produto pelos membros da equipe e também a realização de testes com o protótipo.

CAD (*Computer Aided Design*)

As ferramentas de desenho implantadas no ambiente integrado são duas, uma para auxiliar no esboço do produto e outra para fazer o modelo 3D detalhado.

O esboço do produto feito com o auxílio de um *software* permite a melhor visualização das ideias de produto por outras pessoas, e assim garante que as ideias e soluções de todos os integrantes da equipe sejam ouvidas e discutidas. A modelagem 3D permite aos integrantes expressarem-se visualmente, facilitando a visualização de suas ideias por todos.

A ferramenta de CAD para o desenho detalhado possui um papel mais central no desenvolvimento do produto. A partir da estrutura de produto criada no PLM, o produto, com seus sistemas, subsistemas e componentes deve ser desenhado no *software* CAD detalhadamente. Desta maneira, a estrutura de produto existente no PLM deve estar sempre atualizada com a estrutura de produto desenhada no CAD detalhadamente, e tanto o PLM como o CAD devem ser usados para consulta quando for necessário utilizar a estrutura de produto para outra atividade (o arquivo CAD deve estar disponível no PLM sempre).

Dessa maneira, nas atividades apoiadas pelo CAD (Figura 30) significa que mudanças no modelo 3D do produto devem ser feitas, entretanto, é importante reforçar que qualquer mudança que ocorra por atividades fora deste fluxo proposto (ideias que surgirem) também devem ser atualizadas no modelo 3D do CAD.

QFD (*Quality Function Deployment*)

Na atividade de aplicação do QFD devem ser definidas as características do produto a partir dos requisitos dos clientes, com auxílio de uma planilha. Após realizar alterações na planilha do QFD, os alunos devem guardá-la (fazer *upload*) no *software* PLM, para assim acessar os resultados de qualquer lugar onde estiverem e garantir a melhor gestão das informações.

DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*)

Para aplicar o DFMA nos produtos em desenvolvimento os alunos também devem contar com um *software*. O uso do *software* auxilia os alunos pois reduz o tempo de desenvolvimento. O DFMA é um método que necessita de tempos padrão de fabricação e montagem para fazer cálculos, e no *software* já existe um banco de dados com estes tempos, eliminando o processo de coleta de tempos de fabricação e montagem pelos alunos.

A estrutura de produto criada no PLM serve como *input* para o DFMA, e o resultado da aplicação deste método é uma mudança na arquitetura do produto e no processo de fabricação, alterando assim a estrutura de produto do PLM.

DFE (*Design For Environment*)

Para aplicar o DFE nos produtos em desenvolvimento os alunos também devem contar com um *software*. O uso do *software* auxilia os alunos a abordarem o processo de desenvolvimento do produto com uma visão voltada ao meio ambiente, seguindo os princípios de *Design for Environment*.

A estrutura de produto criada no PLM serve como *input* para o DFE, e o resultado a aplicação deste método é uma mudança na arquitetura do produto e no processo de fabricação, alterando assim a estrutura de produto do PLM novamente.

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

O FMEA é aplicada em duas atividades do desenvolvimento, uma para o processo produtivo e outra para o produto. O *input* para o FMEA é a estrutura de produto criada no PLM, portanto ao final da aplicação do método a estrutura será alterada, de acordo com as recomendações resultantes da aplicação do método.

Os *feedbacks* mostrados na Figura 30 representam o ciclo de idas e vindas de um produto no fluxo das atividades conforme os testes e validações são feitos e novas ideias surgem. Seguindo a abordagem de *design thinking*, ao longo do desenvolvimento novas ideias de soluções surgem quando as ideias antigas são testadas, e, por isso, o produto deve ser alterado, refazendo as atividades anteriores, caso necessário.

3.3 Integração da estrutura de produto entre sistemas

Neste item é apresentada a sequência de mudanças proposta para a estrutura de produto no ambiente integrado de engenharia implantado, desde a concepção do produto até sua prototipagem. Como a estrutura de produto é a responsável por guiar a equipe durante o processo de desenvolvimento, registrando todas as atualizações no produto, é importante conhecer como ela evolui conforme são utilizadas as ferramentas propostas para o ambiente integrado.

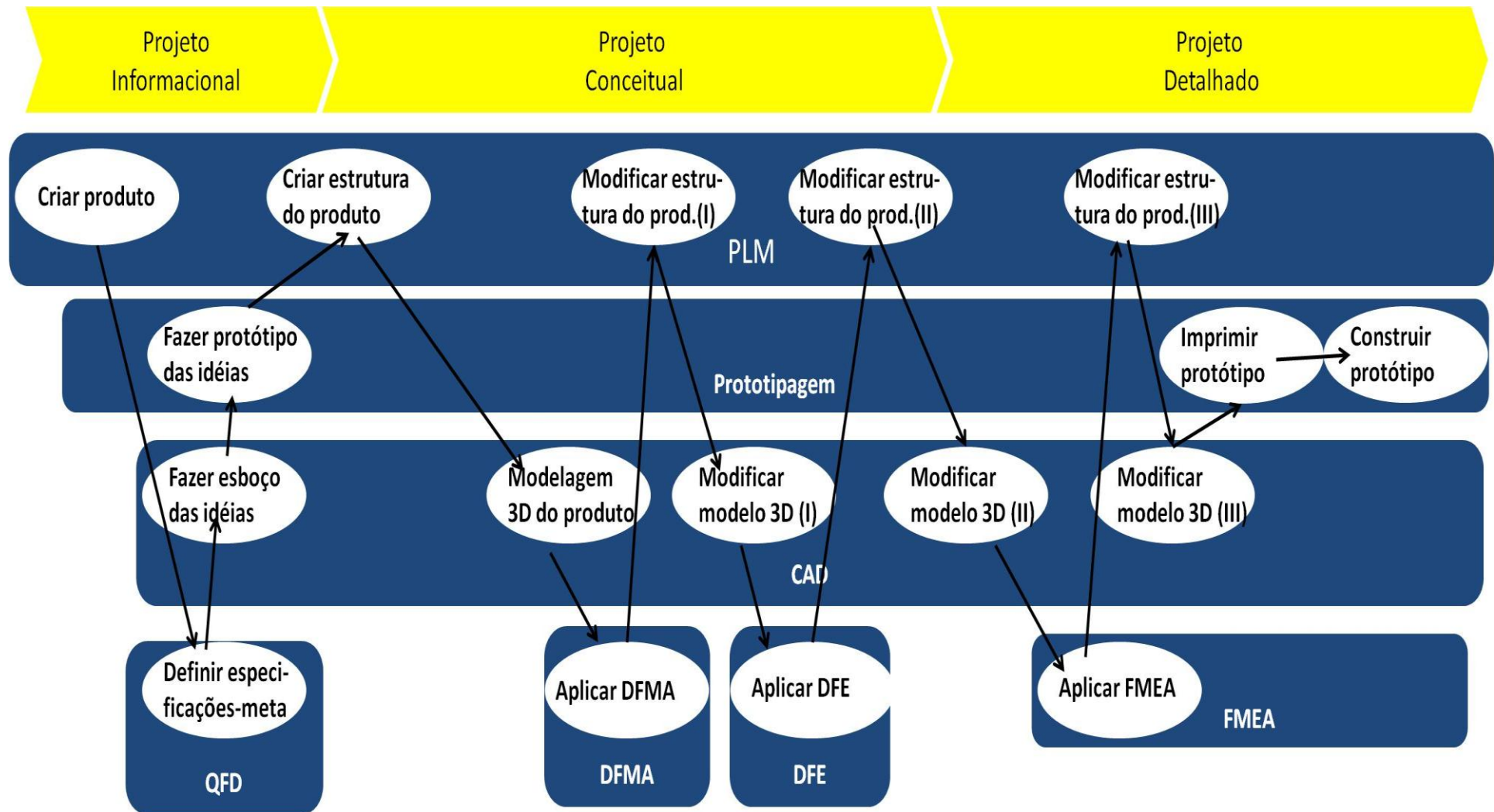


Figura 31 - Estrutura de produto no ambiente implantado

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 31 mostra o caminho da estrutura do produto pelo ambiente integrado implantado, desde a criação do produto até sua prototipagem final.

O primeiro passo é criar um produto no sistema PLM, que será responsável por gerenciar as mudanças que ocorrerem no produto. A partir disso, aplica-se o QFD utilizando o modelo disponibilizado, para então definir as especificações-meta que esse produto criado terá, ou seja, que necessidades se deseja atender com o produto, já transformadas em requisitos deste.

É feito então o esboço do produto, utilizando o *software* CAD designado para fazer esboços, para assim obter-se uma melhor visão das ideias que a equipe tem para o produto, e sugere-se fazer a prototipagem destas ideias para ser possível testá-las, ainda que sejam embrionárias.

Após estes passos pode-se construir a estrutura de produto, que deve ser criada no PLM e modelada no CAD. A partir desta estrutura criada, aplicam-se o DFMA, o DFE e o FMEA no produto em desenvolvimento, sendo cada um deles responsável por alterar a estrutura de produto criada de acordo com as recomendações resultantes da aplicação destes métodos. A cada vez que a estrutura de produto é alterada pela aplicação de um destes métodos (ou por outros motivos), ela deve ser alterada no PLM e também remodelada/atualizada no CAD.

Por fim, quando o produto está finalizado e sua modelagem encontra-se atualizada, pode ser feita a impressão do modelo 3D. O último passo é construir o protótipo funcional.

O próximo item trata das ferramentas para aplicação destes métodos estudados.

3.4 Levantamento e avaliação de ferramentas disponíveis no mercado

Neste item são apresentados os critérios utilizados para escolher as ferramentas adequadas para o ambiente de engenharia e também é descrito como foi realizado o levantamento e a avaliação das ferramentas.

3.4.1 Critérios de avaliação

Para a seleção das ferramentas buscou-se atender aos requisitos levantados no item 3.1. São eles:

- Atender aos requisitos da disciplina PRO 2715;
- Facilidade de uso;

- Baseadas na Web;
- Gratuitas ou de baixo custo.

Os resultados do levantamento e seleção de cada ferramenta encontram-se a seguir.

3.4.2 Ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*)

Foi disponibilizado aos alunos o *software* CAD NX 8.0, da Siemens, pois já existe uma parceria ativa da POLI com a empresa, e o *software* já é utilizado em outras disciplinas da carreira de Engenharia de Produção, como: PCC2122 - Representação Gráfica para Engenharia; e PMR 2201 - Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos

Para auxiliar no esboço do produto foi escolhido o Google Sketchup, pois é o único *software* levantado no mercado com a característica de ser simples o suficiente para fazer um esboço, uma vez que é o único dos *softwares* testados (NX, INVENTOR, SOLIDWORKS) que permite fazer modelos 3D sem dimensões exatas.

3.4.3 Ferramentas de QFD (*Quality Function Deployment*)

Foi realizado um levantamento no mercado de algumas ferramentas (*softwares*), para aplicação do QFD são elas:

- QFD Online builder
- QFD Capture
- QFD Sigmazone

Foram realizados testes com as versões *trial* dos *softwares*, fornecidas gratuitamente pelo período de 30 dias ao autor, e o resultado, de acordo com os critérios adotados, segue abaixo:

Critérios \ Software	QFD Online Builder	QFD Capture	QFD Sigmazone
Atende às necessidades da disciplina PRO 2715	✓	✓	✓
Baseada na Web	✓	✗	✗
Facilidade de uso	+	-	++
Gratuita ou de baixo custo	✗	✗	✗

Quadro 2 - Avaliação de ferramentas de QFD

Fonte: Elaborado pelo autor

QFD Online builder

Como mostra o Quadro 2, o QFD Online Builder somente não preenche o critério de ser uma ferramenta gratuita, pois como a única versão disponível é uma versão para testes, não se sabe se a versão definitiva, caso haja uma, será gratuita ou não. Por esse motivo esta ferramenta não pode ser selecionada.

QFD Capture

Além de não atender os critérios de ser gratuitas e baseadas na Web, como mostra o Quadro 2, este *software* não é intuitivo, ou seja, não é fácil de usar. Assim não foi selecionado este *software*.

QFD Sigmazone

Ferramenta simples de usar, baseada em MS EXCEL, que é um *software* conhecido de todos os alunos. Entretanto, como não existe a versão gratuita deste *software*, não foi selecionado. Entretanto, foi utilizado como base para preparação do modelo desenvolvido pelo autor.

O QFD implantado no ambiente integrado foi desenvolvido pelo autor. Como os *softwares* encontrados no mercado não forneciam uma versão educacional gratuita, o autor desenvolveu um modelo em MS Excel que auxilia a aplicação do QFD, seguindo o processo de aplicação estudo na revisão bibliográfica.

3.4.4 Ferramentas de DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*)

O único *software* DFMA encontrado no levantamento de mercado foi DFMA, da empresa Boothroyd & Dewhurst, que foi portanto selecionado.

3.4.5 Ferramentas de DFE (*Design For Environment*)

O único *software* DFE encontrado no levantamento de mercado foi o GABI, da empresa PE International, que foi portanto selecionado.

3.4.6 Ferramentas de FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Foi realizado um levantamento no mercado de algumas ferramentas (*softwares*), para aplicação do FMEA são elas:

- **QI PATH**
- **XFMEA**
- **PTC FMEA**

Foram realizados testes com as versões *trial* dos *softwares*, fornecidas gratuitamente pelo período de 30 dias ao autor, e o resultado, de acordo com os critérios adotados, segue abaixo:

Critérios	Software	QI PATH	XFMEA	PTC FMEA
Atende às necessidades da disciplina PRO 2715		✓	✓	✓
Baseada na Web		✓	✗	✓
Facilidade de uso		++	-	+
Gratuita ou de baixo custo		✓	✓	✗

Figura 32- Avaliação de ferramentas de FMEA

Fonte: Elaborado pelo autor

QI PATH

Atende todos os requisitos e é o melhor *software* em todas as dimensões testadas, especialmente no critério facilidade de uso, pois é muito intuitivo.

XFMEA

Não é baseado na Web e possui uma lógica de funcionamento não intuitiva, na avaliação do autor.

PTC FMEA

Somente não atende ao requisito de ser gratuito. Entretanto, vale ressaltar que apesar de ser fácil de usar, perde nesta dimensão para o *software* QI PATH, na avaliação do autor.

A ferramenta de FMEA escolhida foi o QI PATH, que é um sistema para aplicação do FMEA baseado na *web*, intuitivo e gratuito.

3.4.7 Ferramentas de PLM (*Product Lifecycle Management*)

O sistema PLM foi selecionado e instalado no laboratório da PRO em 2011 por PAGOTTO (2011). O sistema é o PTC Windchill.

3.4.8 Ferramentas de Prototipagem

A implantação do ambiente integrado de engenharia para auxiliar o desenvolvimento de produtos envolve a implantação de um ambiente de manufatura com ferramentas de prototipagem, propiciando aos alunos um importante recurso para a construção de protótipos e realização de testes e validações, além de estimular a integração entre os membros da equipe, entre equipes e entre alunos e professores.

As ferramentas de prototipagem podem ser divididas em duas: impressora 3D; e outras ferramentas.

A impressora 3D selecionada foi a Metamáquina, que é a primeira impressora 3D produzida no Brasil e já havia sido comprada pelo PRO.

Para a seleção das outras ferramentas foi utilizado como base as famílias de ferramentas levantadas por Araujo (2010), que realizou um *benchmarking* com laboratórios de três instituições. Além disso, foram realizadas entrevistas com diversos fornecedores localizados na Rua Florência de Abreu – Centro, cidade de São Paulo –SP. Nas entrevistas realizada pelo autor foram levantadas, a partir de uma família de ferramentas sugeridas por Araujo (2010), as ferramentas necessárias para o Laboratório do PRO e suas respectivas marcas e modelos, de acordo com o disponível no mercado. A lista gerada encontra-se abaixo:

1. Painel de Eucatex perfurado
2. Bancada
3. Morsa de bancada
4. Furadeira profissional
5. Jogo de brocas
6. Serrote
7. Arco de serra
8. Formão
9. Martelo
10. Alicate Universal
11. Alicate de pressão
12. Alicate de bico
13. Lima
14. Grosa
15. Punção
16. Riscador
17. Estilete
18. Esquadro
19. Régua 300mm
20. Régua 500mm
21. Trena
22. Nível
23. Jogo chaves de fenda e phillips
24. Jogo de chaves allen
25. Jogo de chaves fixa
26. Chave Inglesa

Foi criado um documento pelo autor especificando as marcas sugeridas, os fornecedores e os preços para compra das ferramentas levantadas, que encontra-se na APÊNDICE H.

O próximo item trata do projeto do ambiente físico para instalação das ferramentas selecionadas.

3.5 Projeto do ambiente físico para instalação das ferramentas

Para viabilizar a implantação das ferramentas selecionadas é necessário projetar um ambiente físico para instalar as ferramentas. Este item trata do projeto desse ambiente.

A sala foi cedida pelo Departamento de Engenharia de Produção e, a partir dela, foi projetado um *layout* para o Laboratório do PRO, que abrigará o ambiente de desenvolvimento de produtos. Foi utilizado o *software* Google SketchUp para desenho do *layout*.

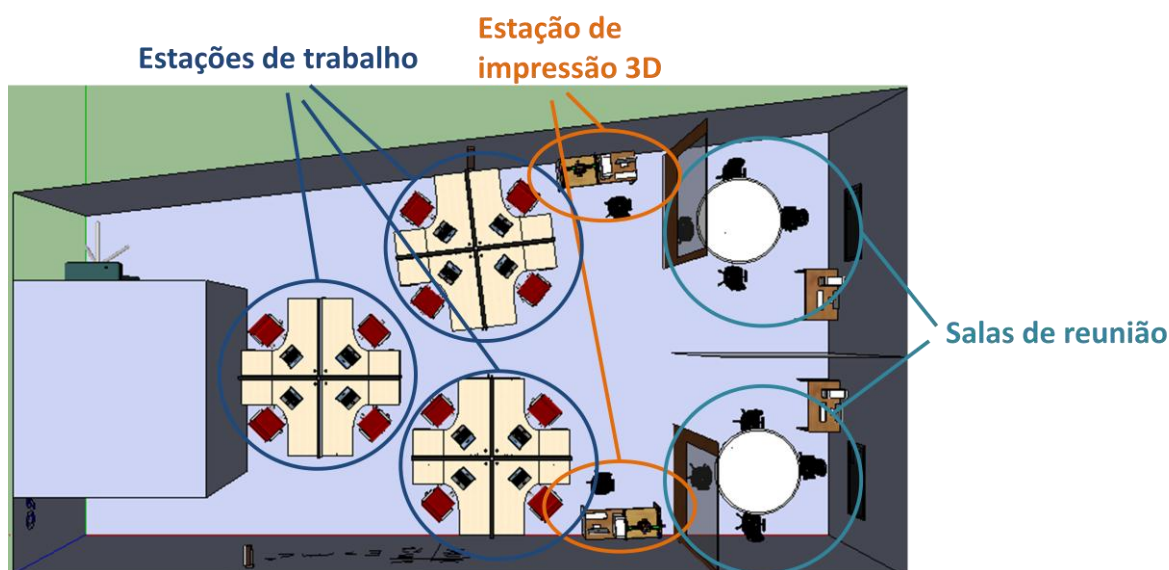


Figura 33 - Vista superior do projeto do Laboratório do PRO

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 33 apresenta o *layout* projetado para o Laboratório do PRO. No projeto foi sugerido a utilização de estações de trabalho com quatro computadores cada, facilitando assim o trabalho em equipe entre os usuários. Também foram projetadas duas estações de trabalho com finalidades específicas: uma para a impressão 3D; e outra para a realização de testes de ergonomia. Por fim, o projeto contempla também a instalação de salas de reunião para quatro pessoas, cada uma com uma televisão e um computador, facilitando assim a discussão e favorecendo o trabalho em equipe.

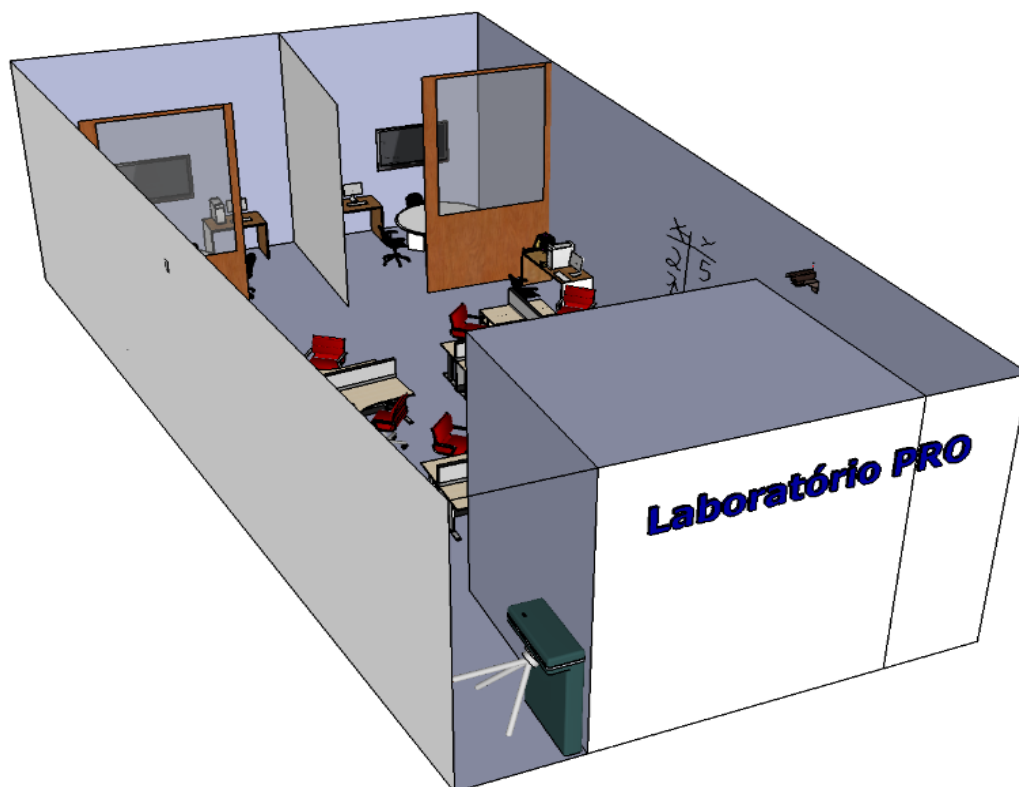


Figura 34 - Vista em perspectiva do Laboratório do PRO

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 34 apresenta a vista em perspectiva do Laboratório do PRO e permite visualizar outras características do projeto não contempladas pela vista superior. As paredes projetadas devem ser de material que permita a utilização de canetas hidrográficas para escrever e possam ser apagadas depois. Foi projetado também um letreiro com os dizeres “Laboratório PRO” para ser colocado na parede de acesso ao laboratório. Para entrada no Laboratório deve ser colocada uma catraca que permita acesso apenas à pessoas portadoras de carteirinha USP válida. Para garantir a segurança do ambiente foi projetada a instalação de câmeras de segurança, garantindo que o Laboratório seja monitorado todo o tempo.

4 Implantação do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos

Neste capítulo 4 é descrito o processo de implantação das ferramentas no Laboratório do PRO. Como o processo de disponibilização das ferramentas, desde a negociação com os fornecedores até a disponibilização ao usuário final, foi diferente para cada ferramenta, cada processo é explicado individualmente.

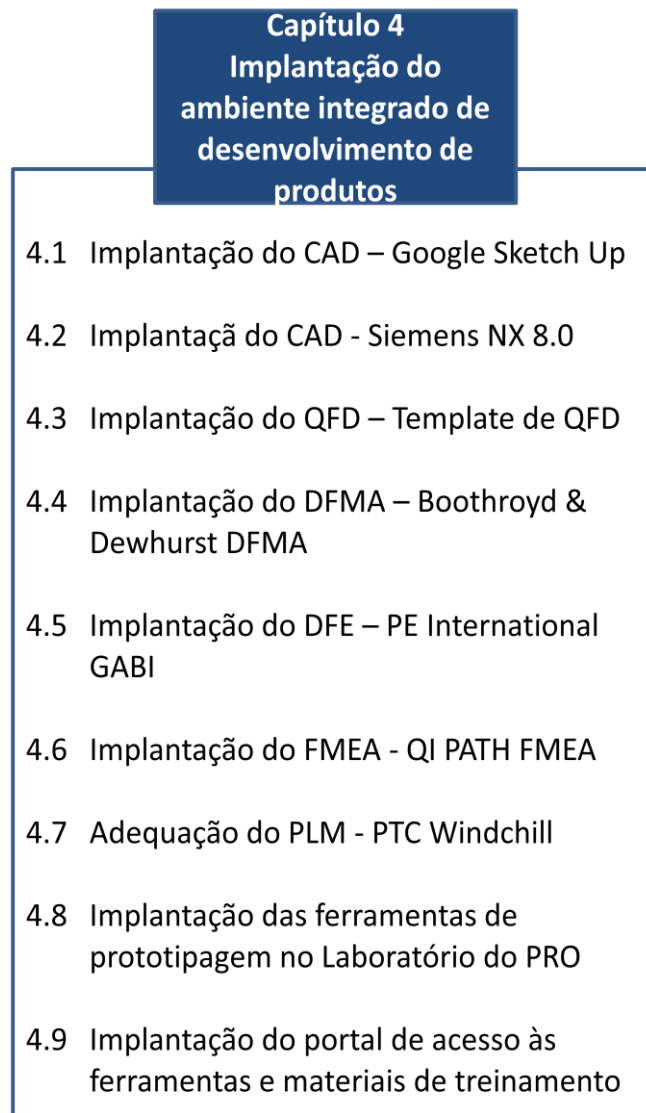


Figura 35 - Estrutura do capítulo 4

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 35 mostra a estrutura do capítulo 4. Em cada item do capítulo é apresentado o processo de implantação de uma ferramenta do ambiente de desenvolvimento de produtos.

Para entender as diferenças entre os processo de instalação dos *softwares* no laboratório é necessário entender como o Laboratório está estruturado e como funciona sua conexão com os servidores.

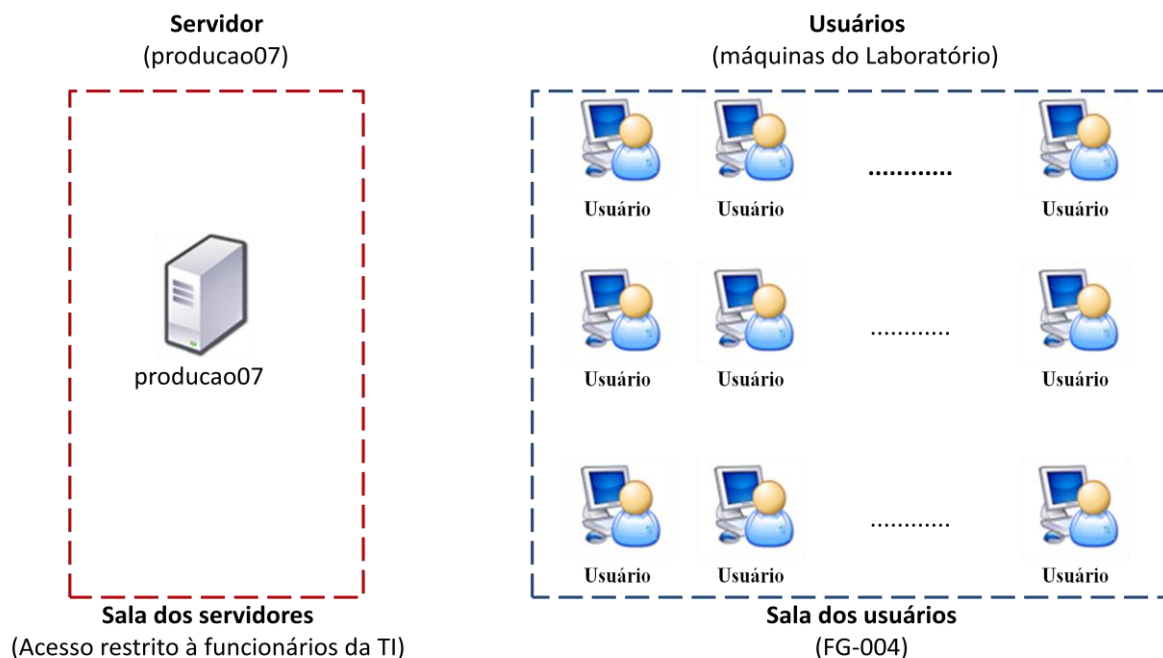


Figura 36 - Estruturação do Laboratório de computadores

Fonte: Elaborado pelo autor

Como mostra a Figura 36, o laboratório é formado pela máquina servidora e pelas máquinas usuárias da sala FG-004, Laboratório do Departamento de Engenharia de Produção.

É importante registrar como foi feita a implantação dos *softwares* no Laboratório pois assim, caso seja necessário, esse procedimento pode ser refeito ou replicado.

4.1 Implantação do CAD (*Computer Aided Design*) - Google Sketch Up

O processo de instalação do Google SkecthUp passou por duas etapas: Negociação com a empresa para obtenção da licença do Google SketchUp Pro gratuitamente, que não funcionou; e instalação da versão gratuita.

A primeira etapa, de negociação, não funcionou pois a empresa não disponibiliza a versão Profissional, gratuitamente. Existe um desconto para alunos e Universidades, mas sempre há um custo envolvido. Portanto, foi escolhida a versão gratuita do *software*, que pode ser baixada pelo site (<http://sketchup.google.com/download>).

Após feito o download do Google SketchUp em todas as máquinas usuárias, foi instalado o *software* nelas, como mostra a Figura 37 abaixo.

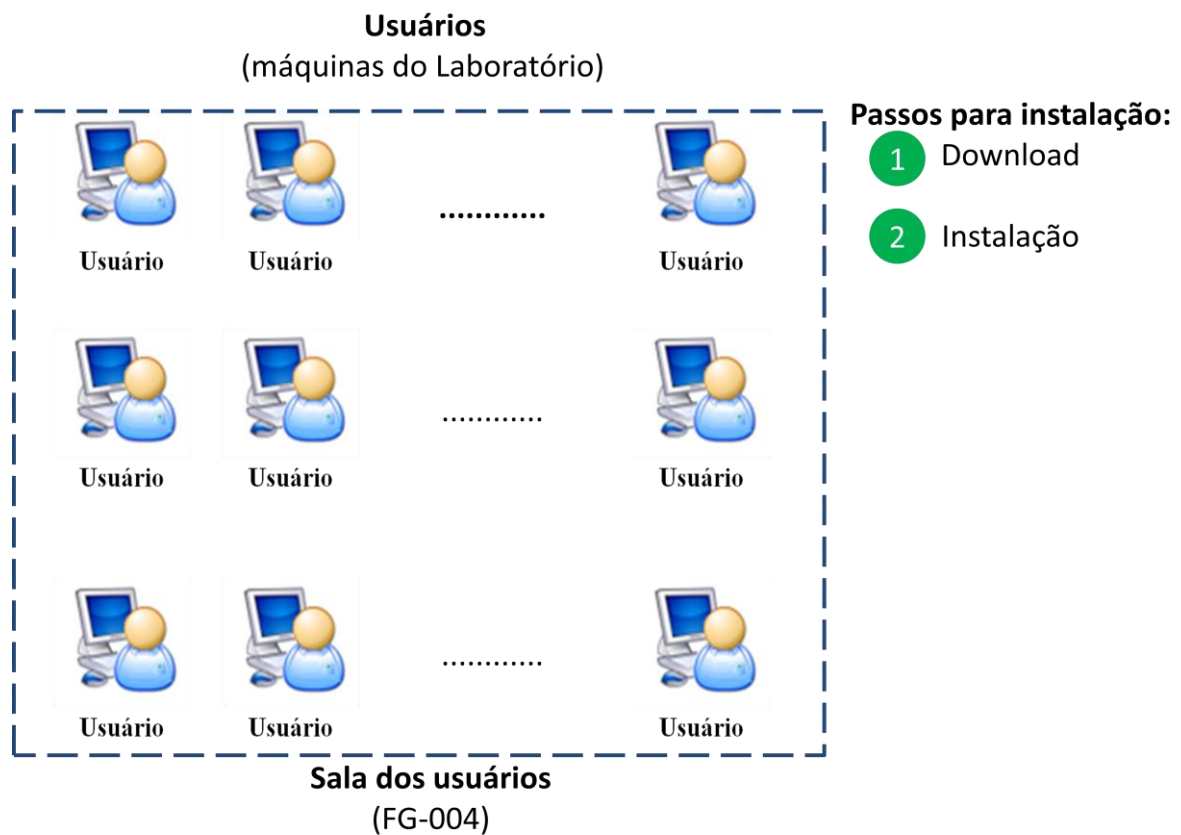


Figura 37 - Instalação do Google SketchUp

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Implantação do CAD (*Computer Aided Design*) - NX 8.0

O *software* CAD NX 8.0 foi obtido via extensão de uma parceria existente entre a Siemens e a POLI. Dessa maneira, foi possível instalar o NX 8.0 em todas as máquinas usuárias da sala FG-004. O processo, entretanto, é diferente de outros *softwares* que requerem apenas uma instalação simples.

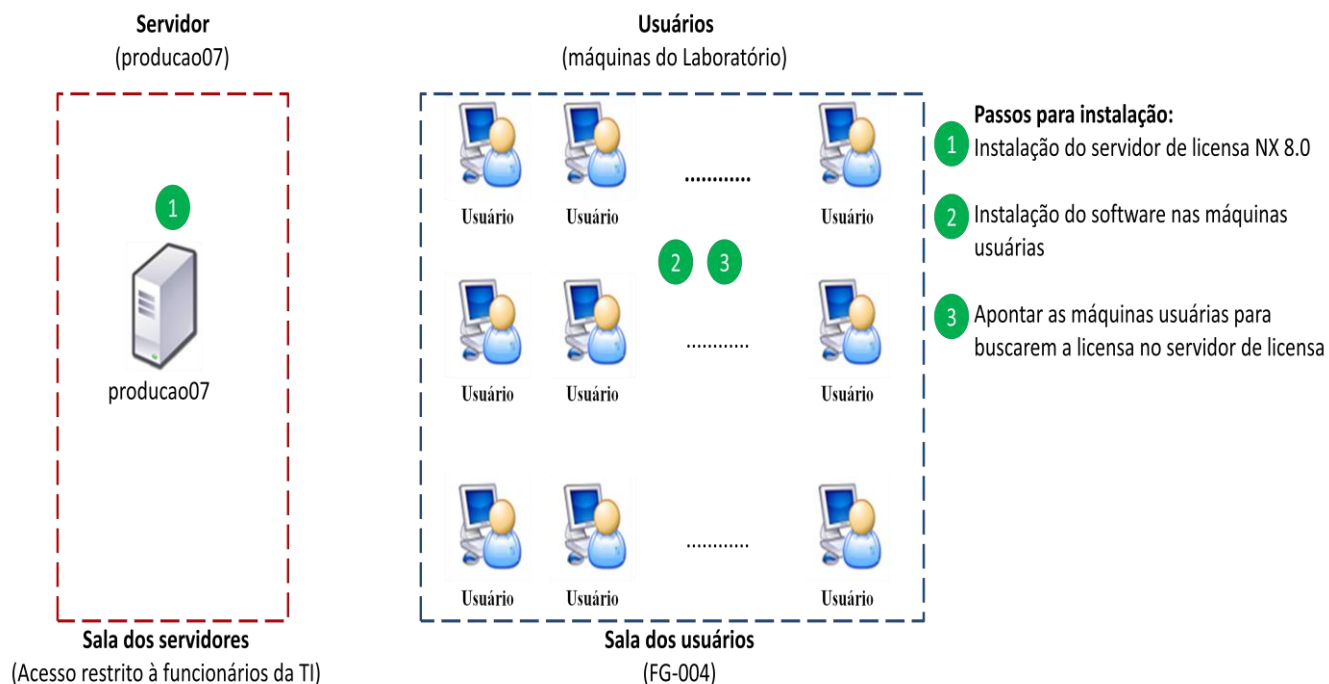


Figura 38 - Instalação do CAD NX 8.0

Fonte: Elaborado pelo autor

Como a Figura 38 apresenta, para a instalação do NX 8.0 é necessário instalar um servidor de licença NX 8.0 na máquina servidora (producao07). Após este passo pode-se instalar o *software* nas máquinas cliente, e por fim apontar as máquinas cliente para buscar a licença no servidor.

4.3 Implantação do QFD (*Quality Function Deployment*) – Template de QFD

O modelo de QFD elaborado pelo autor com uso do *software* MS Excel foi disponibilizado aos alunos. As instruções de uso se encontram no próprio arquivo disponibilizado no formato .XLS.

Foi disponibilizado também um exemplo de QFD, também elaborado pelo autor, utilizando o modelo criado. O exemplo é o QFD do produto Bubble Chair, uma capota para cadeira de rodas criada pelo autor e sua equipe em 2010, quando este cursava a disciplina PRO 2715.

4.4 Implantação do DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*) – Boothroyd & Dewhurst DFMA

O *software* DFMA segue a mesma lógica do CAD NX 8.0 para sua instalação. Entretanto, como a licença obtida foi apenas para uma máquina, por exigência do fornecedor, o servidor e a máquina usuária devem ser o mesmo.

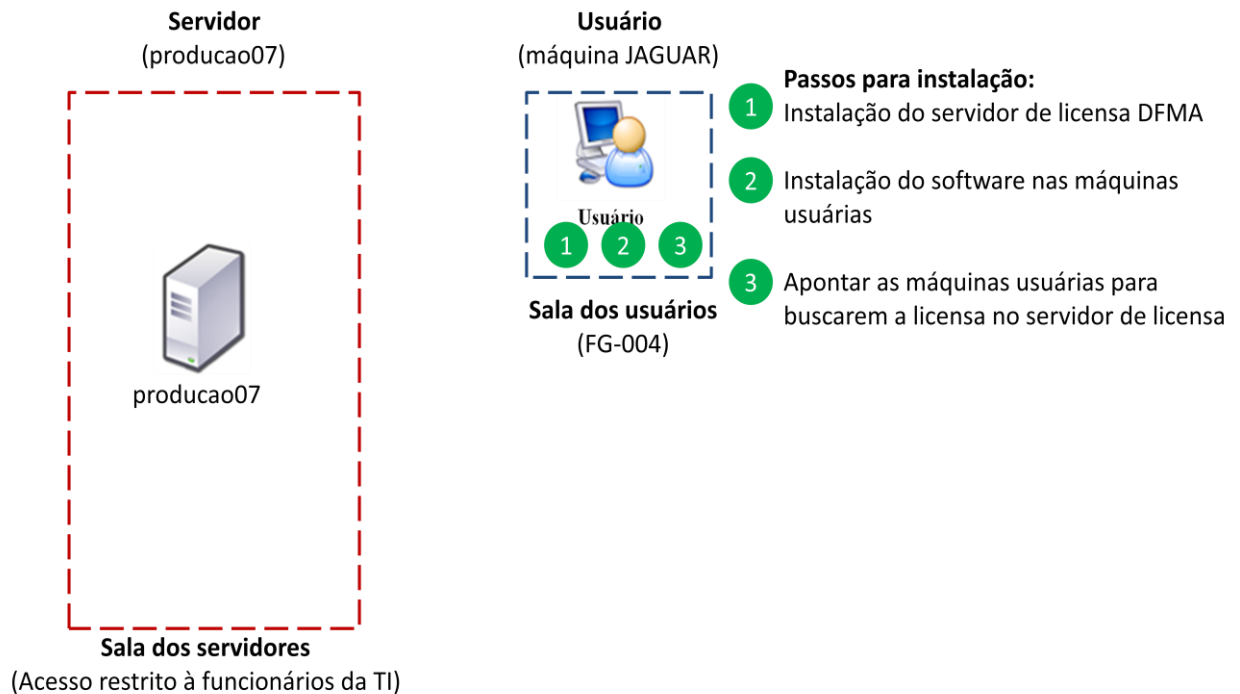


Figura 39 - Instalação do DFMA

Fonte: Elaborado pelo autor

Como a Figura 39 mostra, a instalação do servidor do DFMA e do *software* foram feitos na mesma máquina usuária da sala FG-04, a máquina JAGUAR. O procedimento de instalação está inserido no próprio CD de instalação do *software*.

4.5 Implantação do DFE (*Design For Environment*) - GABI

A instalação do GABI - DFE segue a mesma lógica do CAD NX 8.0, onde se cria um servidor de licença na máquina servidora, instala-se o *software* nas máquinas clientes e depois se realiza o apontamento das máquinas clientes para a máquina servidora, como mostra a Figura 40 abaixo:

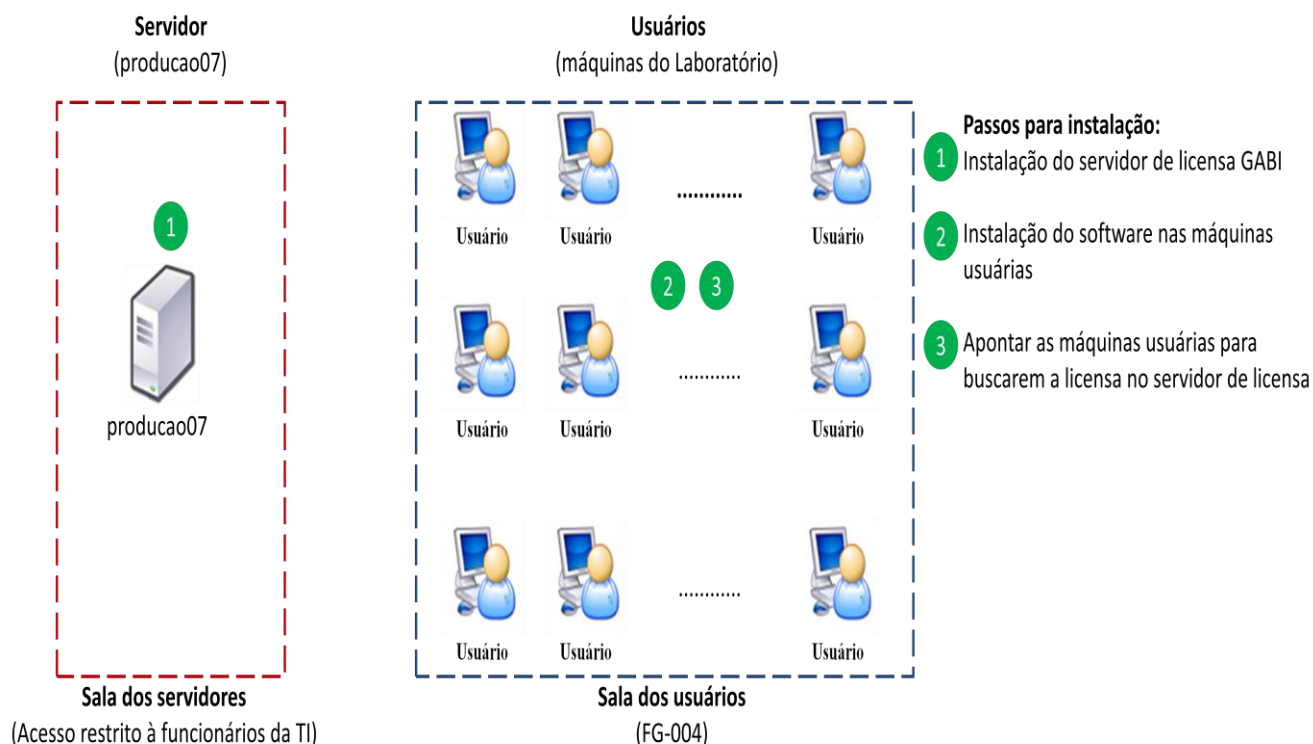


Figura 40 - Instalação do GABI – DFE

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 Implantação do FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – QI PATH

O processo de implantação do FMEA envolveu duas etapas: negociação com a empresa; e criação da conta da POLI no sistema da empresa QI PATH.

O processo de negociação ocorreu durante 2 meses, realizado pelo autor e com supervisão do orientador deste projeto. Ao final da negociação, foi criada uma conta gratuita para o máximo de 100 usuários no sistema FMEA da empresa QI PATH.

Para acessar o sistema os alunos devem acessar ao site (<https://www.qipath.org/fmeaV2.5>) e fazer o *login* com o usuário e senha criados pelo monitor da disciplina, que deverá cadastrar os alunos no sistema cada vez que as disciplinas forem ministradas. O *login* e senha do monitor para acesso ao sistema são confidenciais e, por motivos de segurança, deverão ser disponibilizados apenas aos monitores.

4.7 Adequação do PLM (*Product Lifecycle Management*) – PTC Windchill

O Windchill é um *software* de PLM da empresa PTC presente no laboratório, resultado de Pagotto (2011)¹. Ele já se encontrava instalado no laboratório, entretanto, para acessá-lo era necessário utilizar uma das máquinas do Laboratório FG-004 ou então realizar um configuração no computador pessoal para realizar o acesso. No projeto de implantação do ambiente integrado de engenharia o Windchill foi transferido para um domínio público, permitindo o acesso dos alunos de qualquer dispositivo com acesso à internet.

Dessa forma, conseguiu-se otimizar o processo de gerenciamento das informações do produto por meio do *software* PLM, uma vez que este pode agora ser acessado de qualquer dispositivo com acesso à internet e permite que sejam feitos *uploads*, *downloads* e consultas ao sistema fora dos horários de funcionamento do Laboratório do PRO.

Esse passo foi importante no intuito de implantar a integração e a gestão da configuração no ambiente integrado de engenharia, favorecendo o desenvolvimento virtual dos produtos. O *software* está instalado na máquina servidora producao07, sendo que seu banco de dados está instalado na máquina servidora producao 08, como mostra a Figura 41 abaixo.

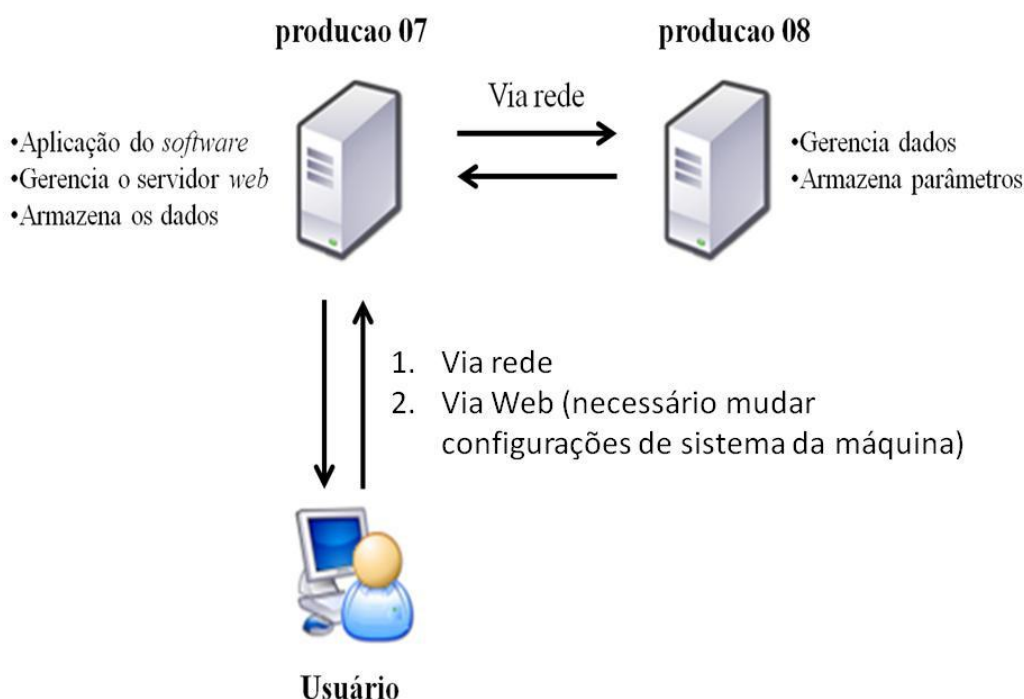


Figura 41 - Funcionamento do Windchill sem domínio público

Fonte: Adaptado de PAGOTTO (2011)

Para acesso ao *software*, antes da transferência para domínio público, era necessário ou estar conectado à rede do departamento da produção ou então realizar mudanças na

¹ Neste trabalho não é descrito o procedimento de implantação do *software* Windchill PLM da PTC. Para maiores informações sobre este assunto consultar PAGOTTO (2011)

configuração da máquina usuária, nem sempre possíveis devido às restrições de acesso às configurações da máquina, como por exemplo ocorre em máquinas corporativas, onde só os responsáveis pela TI podem alterar configurações. Além disso, o procedimento de alterar as configurações é trabalhoso, desestimulando usuários a fazê-lo.

A transferência para domínio público foi feita com o auxílio do suporte técnico da empresa Proconsulting, consultoria responsável pela instalação do PTC Windchill no PRO.

Após a mudança, os usuários estão aptos a acessar o sistema pelo site (<http://plm.sistemas-producao.net/Windchill/>), a partir de qualquer dispositivo com acesso à internet, como mostra a Figura 42. Para acesso, é necessário obter o usuário e senha com os monitores do Laboratório, que deverão cadastrar todos os usuários que desejam utilizar o PLM.



Figura 42 - Funcionamento do Windchill com domínio público

Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 Implantação das ferramentas de prototipagem no Laboratório do PRO

Este item apresenta a implantação das ferramentas de prototipagem no ambiente físico projetado. Foi instalada na sala do Laboratório do PRO a impressora 3D selecionada, um

computador para controlar a impressora e também algumas ferramentas necessárias para realizar manutenções.



Figura 43 - Instalações do Laboratório do PRO

Fonte: Fotografia tirada pelo autor

A Figura 43 apresenta as instalações do Laboratório do PRO com a impressora 3D, o computador e a caixa de ferramentas instaladas. Vale ressaltar que, como apenas estes equipamentos foram adquiridos até a data de conclusão deste trabalho, o Laboratório ainda não segue todas as especificações projetadas pelo autor.

4.9 Implantação do portal de acesso às ferramentas e materiais de treinamento

Para facilitar o acesso dos usuários às ferramentas implantadas, foi criado um portal de acesso, disponível em <http://cmancanares.wix.com/portalplm>.

O portal tem a função de facilitar o acesso dos usuários às ferramentas e materiais de treinamento criados. A partir dele os alunos podem fazer o download dos documentos e acessar os sistemas PLM e FMEA. O próximo capítulo apresenta os materiais criados e presentes para download no portal de acesso criado.

5 Criação de um produto exemplo e de materiais de treinamento

Neste capítulo são apresentados os materiais de treinamento criados, divididos em 2 itens: criação de um produto exemplo; e criação de materiais de treinamento para as ferramentas do ambiente. Estes materiais tem a função de auxiliar os alunos, monitores e professores a utilizarem as ferramentas implantadas no ambiente integrado, gerenciá-las e realizar a manutenção das mesmas. A Figura 44 apresenta a estrutura do presente capítulo.

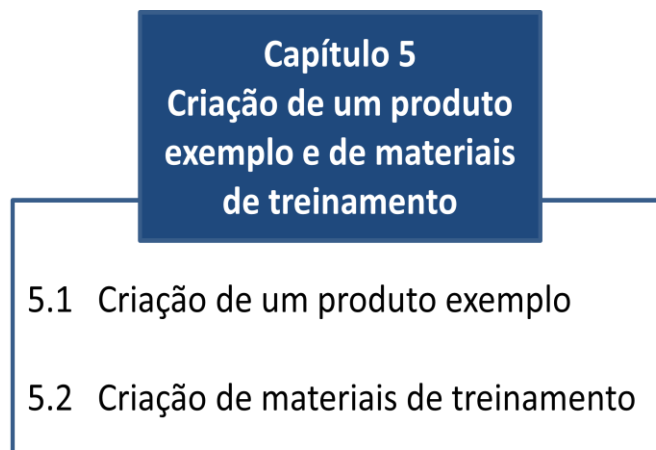


Figura 44 - Estrutura do capítulo 5

Fonte: Elaborado pelo autor

5.1 Criação de um produto exemplo

Neste item é apresentado um breve resumo do produto exemplo criado pelo autor. O produto exemplo é a “Bubble-Chair”, uma capota para proteger cadeirantes da chuva criada pelo autor e sua equipe em 2010 como projeto da disciplina PRO2715. O projeto “Bubble-Chair” ganhou o segundo lugar no prêmio Procter & Gamble, que premia os melhores projetos da disciplina PRO2715 de cada ano.

Material Criado	Software	Resumo
Exemplo de modelo 3D – Bubble Chair	CAD	Exemplo de modelo 3D criado pelo autor
Exemplo de QFD - Bubble Chair	QFD	Exemplo de QFD criado pelo autor
Exemplo de DFMA - Bubble Chair	DFMA	Exemplo de DFMA do processo produtivo criado pelo autor
Exemplo de DFE – Bubble Chair	GABI	Exemplo de DFE do produto criado pelo autor
Exemplo de FMEA – Bubble Chair	QI PATH	Exemplo de FMEA do processo produtivo criado pelo autor
Exemplo de PLM – Bubble Chair	PTC Windchill	Exemplo de estrutura de produto criada no PLM pelo autor

Tabela 2 - Materiais de exemplo criados pelo autor

Fonte: Elaborado pelo autor

Os materiais criados podem ser utilizados pelos usuários do ambiente como um guia para o desenvolvimento de seus produtos. Esses materiais (Tabela 2) foram disponibilizados aos usuários pelo portal de acesso mencionado no item 4.9, com exceção do Exemplo de FMEA e Exemplo de PLM, que estão dentro dos respectivos sistemas.

5.2 Criação de materiais de treinamento

Neste item são apresentados os materiais de treinamento criados pelo autor para o treinamento do usuários do ambiente integrado. Os Guias Rápidos, Manuais e Lista de Ferramentas criados encontram-se nas APÊNDICES A, B, C, D, E, F G e H e no portal de acesso criado (item 4.9), disponíveis para download. O Template de QFD é um arquivo .XLS e encontra-se apenas no portal de acesso criado, também disponíveis para download.

Os Manuais de Usuário e Administrador Windchill foram retirados de Pagotto (2011) e atualizados pelo autor, e encontram-se disponíveis para download no portal de acesso criado.

Material Criado	Software	Resumo
Guia rápido de referências Windchill	Windchill	Ensina as principais funções do Windchill para usuários
Manual de usuário Windchill	Windchill	Contém todas as funções do Windchill que os usuários precisam para a disciplina PRO2715
Manual de administrador Windchill	Windchill	Contém todas as funções do Windchill que os administradores precisam para a disciplina PRO2715
Template de QFD	QFD	Modelo criado pelo autor para aplicação do QFD
Guia rápido de referências Google SketchUp	Google SketchUp	Ensina as principais funções do Google SketchUp para os usuários
Guia de instalação NX 8.0	NX 8.0	Manual passo-a-passo para executar a instalação do NX 8.0 no laboratório
Guia rápido de referências DFMA	DFMA	Ensina as principais funções do DFMA para os usuários
Guia rápido de referências GABI	GABI	Ensina as principais funções do GABI para os usuários
Guia rápido de referências FMEA	FMEA	Ensina as principais funções do FMEA para os usuários e administradores do sistema
Guia rápido de referências Impressora 3D Metamáquina	Impressora 3D	Ensina o passo a passo de como imprimir uma peça com a Impressora 3D Metamáquina
Lista de ferramentas do ambiente de manufatura	Ambiente de manufatura	Levantamento das ferramentas necessárias para o ambiente de manufatura, incluindo marca, modelo, preço e possíveis fornecedores

Tabela 3 - Materiais de treinamento criados

Fonte: Elaborado pelo autor

6 Conclusões e próximos passos

Este Capítulo 6 é destinado às considerações finais do trabalho desenvolvido. Inicialmente é apresentada uma síntese do trabalho, com a síntese da definição do problema identificado e uma breve explicação da metodologia utilizada para sua resolução (item 6.1). São também apresentados os resultados obtidos com o trabalho (item 6.2) e, por fim, são apresentadas sugestões de aplicações do ambiente desenvolvido para outras disciplinas PRO (item 6.3).

6.1 Síntese da definição do problema e metodologia utilizada

O problema identificado e justificado no Capítulo 1 é a demanda por recursos para auxiliar o desenvolvimento de produtos pelos alunos da disciplina PRO 2715 – Projeto do Produto e Processo.

A disciplina é composta de aulas teóricas sobre o processo de desenvolvimento de produtos e de um projeto prático que requer que os alunos desenvolvam um produto. Foi identificado que existe uma demanda por recursos de apoio para a realização do projeto prático da disciplina, e também foi identificada na indústria, a partir da literatura estudada, a necessidade de ferramentas integradas para auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos. Dada à lacuna identificada, foi definido o problema como a demanda por um ambiente integrado para auxiliar o desenvolvimento de produtos.

A solução para este problema, além de representar uma melhoria do ensino de engenharia na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, tem como consequência a redução no tempo de desenvolvimento de produtos. Portanto, este trabalho pode ser replicado em outras Universidades que busquem melhorar o ensino de engenharia ou em empresas que buscam aumentar sua competitividade no desenvolvimento de novos produtos.

Para resolver o problema foi feito um levantamento das necessidades de métodos e ferramentas da disciplina PRO 2715 – Projeto do Produto e Processo e também as necessidades de ferramentas da indústria, e, com isso, foi definido o escopo dos métodos e ferramentas implantados no Laboratório do PRO.

Após a definição do escopo do trabalho foram definidos os critérios de seleção para selecionar as ferramentas, e foi feita uma análise das ferramentas disponíveis no mercado para selecionar as mais adequadas.

Foi também projetado um ambiente físico para instalação das ferramentas selecionadas, foram implantadas as ferramentas e foi registrado o processo de implantação.

Foi também criado um guia de utilização do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos baseado na literatura estudada. Dessa maneira, fica registrado um guia para utilização do ambiente implantado, mostrando como a estrutura de produto nasce como uma ideia de produto e se transforma em um produto real.

Ao final, foi criado um produto exemplo que utiliza as ferramentas do ambiente e também foram criados materiais de treinamento para utilização das ferramentas implantadas.

O próximo item apresenta os resultados obtidos com o trabalho.

6.2 Resultados

O principal resultado obtido com o trabalho foi disponibilizar para o PRO um ambiente integrado com métodos e ferramentas que auxiliam no desenvolvimento de produtos. Em suma, os resultados práticos obtidos foram:

- Seleção dos *softwares* CAD NX 8.0, DFMA Boothroyd & Dewhurst, DFE GABI, FMEA QI PATH;
- Criação de um modelo de QFD;
- Transferência do PLM Windchill PTC para domínio público;
- Parceria com as empresas que disponibilizaram os *softwares*;
- Projeto do *layout* do laboratório do PRO;
- Implantação do Laboratório do PRO;
- Implantação dos *softwares* selecionados no Laboratório do PRO;
- Implantação da impressora 3D no Laboratório do PRO;
- Criação de uma metodologia de utilização do ambiente integrado composto pelos *softwares* e ferramentas implantadas;
- Criação de um produto exemplo utilizando os *softwares* disponibilizados;
- Criação de materiais de treinamento para os *softwares* disponibilizados;
- Criação de um portal de acesso aos *softwares* disponibilizados e documentos criados.

Vale ressaltar que, como resultado, o presente trabalho gerou benefícios já no ano de 2012. Os alunos da disciplina PRO 2715 – Projeto do Produto e Processo utilizaram as ferramentas implantadas para o desenvolvimento de seus produtos e os alunos da disciplina PRO 2719 – Materiais e Processos de Produção 3 utilizaram as instalações do Laboratório do PRO para estudar a prototipagem rápida e imprimir modelos de suas peças.

Como resultado para a organização, o ambiente integrado de desenvolvimento de produtos implantado tem como consequência:

- Melhoria nos recursos didáticos do PRO;
- Destaque do PRO por possuir ferramentas modernas de ensino e de pesquisa;
- Facilitação do contato de alunos e professores com tecnologia moderna utilizada na indústria;
- Melhoria no conhecimento tecnológico de alunos e professores;
- Disponibilização de um método de utilização das ferramentas a partir da literatura;
- Auxílio ao trabalho colaborativo;
- Auxílio ao desenvolvimento prático de projetos;
- Visão sistêmica do processo de desenvolvimento de produtos.

Estas consequências para a organização cumprem o objetivo do trabalho, que é disponibilizar ferramentas de auxílio ao desenvolvimento de produtos, e também cumpre os objetivos da bolsa de iniciação científica concedida ao autor pela Pró-Reitoria de Graduação, que é contribuir para o desenvolvimento do conhecimento no campo do ensino de graduação e investir no desenvolvimento das competências docentes e discentes no campo do ensino e da pesquisa.

Em uma visão mais ampla, considerando organizações de ensino e indústrias que dependem do desenvolvimento de produtos, o resultado deste trabalho é o registro do projeto, seleção e implantação dos métodos e ferramentas de auxílio ao desenvolvimento de produtos e também da criação do ambiente integrado, permitindo que este seja replicado.

O próximo item apresenta sugestões de como o trabalho pode ser aplicado em outras disciplinas do PRO, diferentes da PRO 2715.

6.3 Sugestão de aplicações das ferramentas em outras disciplinas PRO

Como parte da conclusão do trabalho, este item 6.3 discute as possíveis aplicações do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos e dos métodos e ferramentas disponibilizados para os alunos e professores do PRO em outras disciplinas.

Os métodos e ferramentas utilizados na disciplina PRO2715 também são estudados em outras disciplinas, portanto os *softwares* e ferramentas implantados no Laboratório podem ser utilizados por elas também.

Método	Software/Ferramenta	Disciplina
Esboço do Produto	Google SketchUp	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 -Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
Desenho com auxílio de CAD	NX 8.0	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 -Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos
QFD	Template de QFD	•PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
DFMA	DFMA	•PRO2814 – Produção e Sustentabilidade
DFE	GABI	•PRO2814 – Produção e Sustentabilidade
FMEA	QI PATH	•PRO2713 - Gestão da Qualidade de Produtos e Processos
Prototipagem rápida	Impressora 3D	•PRO 2719 – Materiais e Processos de Produção 3
Construção de Protótipo	Ferramentas	•PCC2122 – Representação Gráfica para Engenharia •PMR 2201 – Introdução ao Projeto de Sistemas Mecânicos

Tabela 4- Sugestão de aplicação dos softwares e ferramentas do ambiente integrado em outras disciplinas do PRO

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4 apresenta a relação entre o *software*/ferramenta disponibilizado e a disciplina na qual este(a) pode ser aplicado(a). Para elaboração da tabela foram utilizadas as ementas das disciplinas disponíveis no sistema Jupiter Web da USP, disponível para docentes e discentes USP.

Feitas as sugestões de aplicação dos softwares e ferramentas em outras disciplinas, é interessante discutir outras aplicações do ambiente integrado de desenvolvimento de produtos não específicas de uma disciplina, como a facilitação do trabalho em equipe e a disponibilização de um ambiente físico de trabalho.

O ambiente implantado permite uma maior colaboração entre os alunos por facilitar a reunião destes em um ambiente físico da Universidade. Este é um benefício difícil de associar

à uma disciplina específica, entretanto, é um dos principais benefícios da aplicação deste trabalho.

A melhor integração e colaboração entre os alunos do PRO tem como consequência a melhoria na formação destes, tornando-os engenheiros mais preparados para atuar na sociedade.

Feitos tais apontamentos, chega-se ao final deste estudo. Pode-se considerar que os resultados obtidos são satisfatórios e condizentes com os objetivos do trabalho e, se bem utilizados, trarão benefícios para o ensino de engenharia de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAO, Y., **Quality function deployment: integrating customer requirements into product**

Design. Cambridge, Productivity Press, 1990

A THIRD Industrial Revolution. **The Economist**. **Special report**, abr. 2012

AMERICAN PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL SOCIETY. **APICS Dictionary**. 7th ed. Virginia: Falls Church, APICS, 1992.

AMERICAN SUPPLIER INSTITUTE. **Quality Function Deployment: implementation manual: 3-day workshop**. Deaborn, ASI, 1993.

BOUER, G. **Apostila de Gestão da Qualidade de Produtos e Processos**. EPUSP, São Paulo. 2010.

ARAUJO, R.F. **Determinação de requisitos para implantação de um laboratório de produtos no departamento de engenharia de produção**, Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010, p. 77

ASIEDU, Y; GU, P. Product Life cycle cost analysis: State of the art review. **Journal of International Production Research**. Abr, 36, 4, 883-908, 1998.

BARBOSA, G. F. **Aplicação da Metodologia DFMA – Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves**. São Carlos. 165p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. **Boothroyd & Dewhurst website**. Disponível em <www.dfma.com>. Acessado em 17 de Out. 2012

BROWN, T. **Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation**, Harper Collins e-books, 2009.

CHEAH, C.C. et al. Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 1, pp. 308-320, 2004.

CHENG, LIN C. et al. **QFD: Planejamento da Qualidade**. Belo Horizonte: Literra Maciel, 1995.

CIMDATA. **Product Lifecycle Management: Empowering the future of Business**. Ann Arbor: CIMData, 2002.

CLARK, Kim B., FUJIMOTO, T.. **Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry**. Harvard Business Press, 1991.

CLEMENT, J.; COLDRICK, A. SARI, J. **Manufacturing data structures: building foundations for excellence with bills of material and process information**. Atlanta, Oliver Wight. 1992.

EBRAHIM, N.A.; AHMED, S.; TAHA, Z. A Conceptual Model of Virtual Product Development Process. **Proceedings of the 2nd Seminar on Engineering and Information Technology**. Disponível em < <http://eprints.um.edu.my>>. Kota Kinabalu, Malasya. 2009.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Design for The Environment Website**. Disponível em < <http://www.epa.gov/dfe/>>, Acessado em 12 Out. 2012

GOTIFREDSON, M; ASPINALL, K; Innovation versus complexity: What is too much of a good thing? **Harvard Business review**, p. 62-71, nov. 2005.

ISERMANN, R. Mechatronic systems – Innovative products with embedded control. **Control Engineering Practice**, p.14-29, jan. 2008.

ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. Productivity Press, USA, 1990.

KRASTEL, M; MERKT, W. Integration der Simulation und Berechnung in eine PLM – Umgebund – die Arbeitsgruppe SimPDM. **ProduktDatenJournal**, p. 8-9, 2004

LEITE, W.O et al. **Prototipagem rápida por deposição de material fundido – Uma aplicação acadêmica**. ABEPRO, Belo Horizonte, 2011.

LIESCU, M et al.. Importance of rapid prototyping to product design. **U.P.B. Scientific Bulletin.**, Series D, Vol. 71, 2009

LIU, F.W. **Rapid Prototyping and Engineering Applications: a toolbox for prototype development**. New York: CRC Press, 1.ed, v. 1, p. 568, 2007.

MA, Y.S; FUH, J.Y.H. Product lifecycle modeling, analysis and management. **Computers in Industry**, mar. 008.

MSC SOFTWARE. **MSC Software website**. Disponível em <www.mscsoftware.com>. Acessado em 17 de Out. 2012

NOTAS DE AULA PRO 2715. **Material de Aula**, 2012.

OLIVEIRA, C. B. M. **Estruturação, identificação e classificação de produtos em ambientes integrados de manufatura**. São Carlos, 1999.

OLIVEIRA. P.M.; OLIVEIRA, R.D. A utilização da prototipagem rápida em design de produtos para empresas de pequeno porte: um estudo de caso. In: **6º CBGDP – CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO**, Anais... Minais Gerais: Belo Horizonte, 2007

PAGOTTO, M.P.F. **Seleção e implantação de um sistema PLM no laboratório de produtos do PRO**, Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO. **Programa Ensinar com Pesquisa**. Disponível em <www.usp.br/prg>. Acesso em 20 Ago. 2012.

RAJA, I.; FERNANDES, V.J. **Reverse engineering: an industrial perspective**. London: Springer-Verlag, pp. 1-8, 2008 (ISBN: 978-1-84628-855-5).

RIES, E. **The Lean Startup – How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses**, Crown Business, 2011.

REBITZER, G. et al. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, Jul, 30, 5, 701-720, 2004.

REILLY, N. B, **The Team based product development guidebook**, ASQ Quality Press, Milwaukee Wisconsin, 1999.

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

ROZENFELD, H et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos uma referência para melhoria do processo**. Saraiva. 2006.

SAAKSVUORI, A; IMMONEN, A. **Product Lifecycle Management**. Berlin, Springer, 2004. 222 p.

SANTOS, F. C. Et al. Laboratório de Projetos em Engenharia de Produção como apoiador da gestão da graduação por competências. In: **CONGRESSO BRASILEIRA DE ENSINO DE ENGENHARIA**. Anais... Brasília, 2004.

SCHUH, G. **Produktkomplexität managen**. Hanser, 2005.

SCHUH, G; ASSMUS, D; ZANCUL, E.S. Product Structuring – The core discipline of Product Lifecycle Management. In: **13th CIRP international conference on Lifecycle Engineering**. 2006, Leuven, Anais... 2006, 393-398 p.

SILVA, C.E.S; MELLO, C.H.P. **Apostila: Projeto para Manufatura e Montagem**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2008

SUH, N, P. Complexity in engineering. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 54, 2, 581-598, 2005.

WANYAMA, W. et al. Lifecycle-engineering, issues, tools and research. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**. Jun-Ago, 16, 2003.

YAMASHINA, H.; ITO, T.; KAWADA, H.; Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ. **International Journal of Production Research**. V. 40, Issue 5, p. 1031-1050. Mar 2002.

ZANCUL, E. Gestão do ciclo de vida de produtos: seleção de sistemas PLM com base em modelos de referência. Tese (Doutorado), USP, São Carlos, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Guia rápido de referências Google SketchUp

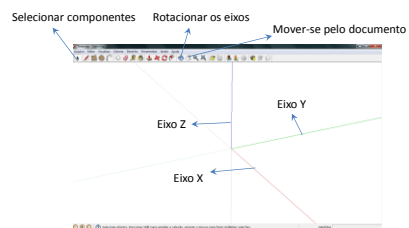


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

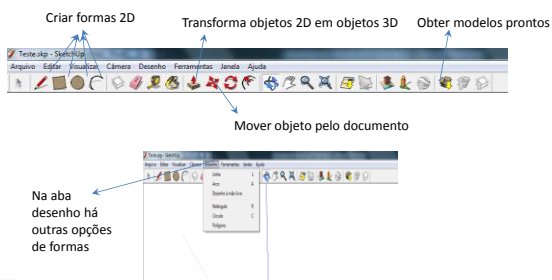


Guia rápido de referências Google SketchUp

Principais ferramentas para visualizar o documento



Principais ferramentas para produzir



APÊNDICE B – Guia de instalação NX 8.0



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Guia Rápido de Instalação Siemens NX

Inserir disco



Inserir o disco de instalação do NX e clicar na opção **Install NX**



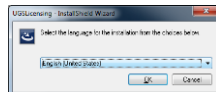
Definir linguagem



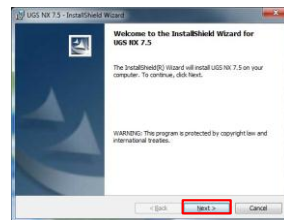
Tela de boas vindas



Escolher a linguagem do instalador (neste procedimento usaremos a opção inglês)



Quando aparecer a tela a seguir clique em **Next**



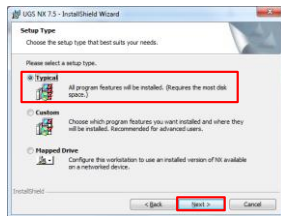
Modo de instalação



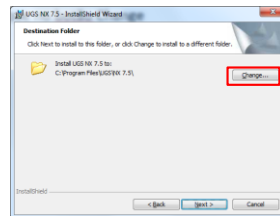
Local de instalação



Escolha a opção **Typical** e clique em **Next**



O NX não deve ser instalado em pastas com espaços, acentos e caracteres especiais. Portanto ao chegar na tela abaixo clique no botão **Change**



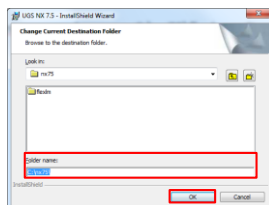
Mudar local de instalação



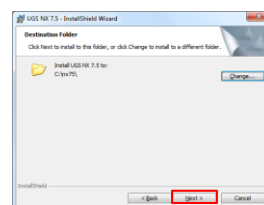
Confirmação do local de instalação



Altere o endereço para **C:\nx75\flexim** e clique em **Ok**

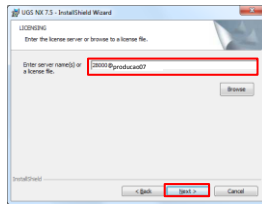


Quando aparecer a tela a seguir clique em **Next**



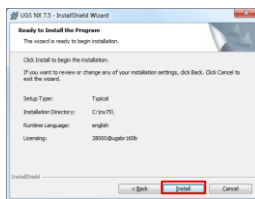
Escolha da porta e do servidor

Na tela a seguir deverão constar a porta da máquina (número antes do @) e o nome da máquina (depois do @) onde o software buscará a licença.
Trocar o nome da máquina para: producao07



Confirmar instalação

Quando aparecer a tela a seguir, confirme os dados e clique em **Install**

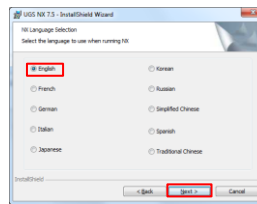


Reiniciar o computador

Reinicie o computador

Escolha da linguagem

Escolher **English** e clicar em **Next**



Finalizar instalação

Quando aparecer a tela a seguir clique em **Finish** para terminar a instalação



Escolha do pacote de licenças

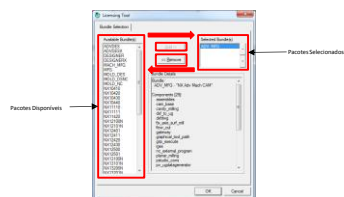
Para escolher o pacote entre em:

Iniciar -> Todos os programas -> Siemens NX -> NX Licensing Tools -> Opções de licenciamento



Escolher os pacotes de licença

Escolha os **dois** pacotes disponíveis e clique em **Add**



Teste a instalação

Abra o NX e veja se funciona, caso não funcione anote a mensagem de erro



APÊNDICE C – Guia rápido de referências DFMA



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Sumário

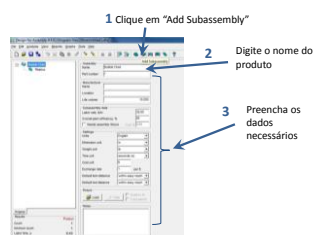
- Criar estrutura de produto
- Adicionar item da biblioteca de arquivos
- Adicionar operação de manufatura

Guia Rápido de Referência DFMA

Criar estrutura de produto

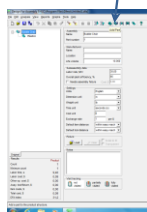
- Criar estrutura de produto
- Adicionar item da biblioteca de arquivos
- Adicionar operação de manufatura

Criar estrutura de produto



Criar estrutura de produto

- 4 Adicione partes ou componentes conforme necessário para criar a estrutura de produto

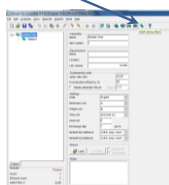


Adicionar item da biblioteca de arquivos

- Criar estrutura de produto
- Adicionar item da biblioteca de arquivos
- Adicionar operação de manufatura

Adicionar item da biblioteca de arquivos

- 1 Clique em "Add Library Item"

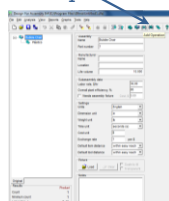


Adicionar operação de manufatura

- Criar estrutura de produto
- Adicionar item da biblioteca de arquivos
- Adicionar operação de manufatura

Adicionar operação de manufatura

- 1 Clique em "Add Operations"



APÊNDICE D – Guia rápido de referências GABI



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Guia Rápido de Referência GABI

*Recomenda-se utilizar o *learning center* do software para aprender a modelar um processo utilizando o software GABI (Apenas este guia de referência não é suficiente dado a complexidade do processo)

Sumário

- Como utilizar o *Learning Center*
- Criar um projeto
- Criar um plano de processo
- Criar um processo



Como utilizar o *Learning Center*

- Como utilizar o *Learning Center*
- Criar um projeto
- Criar um plano de processo
- Criar um processo

Como utilizar o *Learning Center*

*Recomenda-se utilizar o *learning center* para aprender a modelar um processo utilizando o *software* GABI (Apenas este guia de referência não é suficiente dado a complexidade do processo)

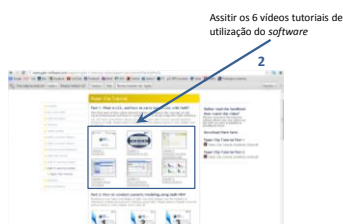


Abra o *Learning Center* na página inicial do GABI

Como utilizar o *Learning Center*

- Como utilizar o *Learning Center*
- Criar um projeto
- Criar um plano de processo
- Criar um processo

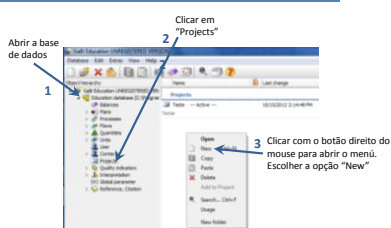
Criar um projeto



[Criar um projeto](#)

- Como utilizar o *Learning Center*
- Criar um projeto
- Criar um plano de processo
- Criar um processo

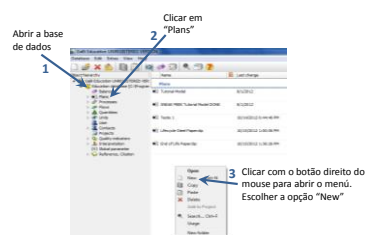
Criar um plano de processo



Criar um plano de processo



Criar um processo



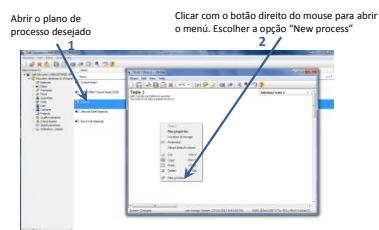
• Como utilizar o *Learning Center*

• Criar um projeto

• Criar um plano de processo

• Criar um processo

Criar um processo



APÊNDICE E– Guia rápido de referências FMEA



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Sumário

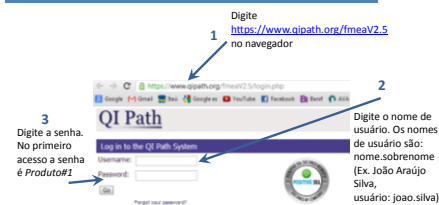
- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

Guia Rápido de Referência FMEA

Login

- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

Login



Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador

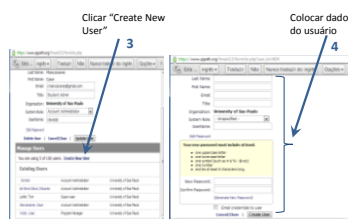
- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador



Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador

Criar um projeto



- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

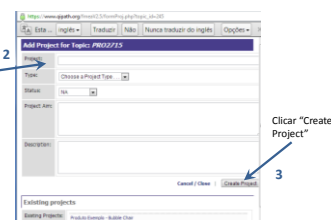
Criar um projeto

Criar um projeto

Clicar "Add/Manage Projects"



Escrever o nome do projeto



Adicionar usuários ao projeto

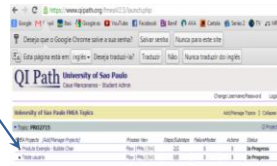


Adicionar usuários ao projeto



- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

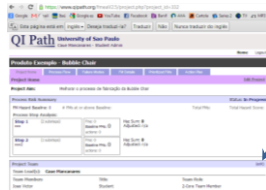
Escolher um projeto



Adicionar usuários ao projeto



Adicionar usuários ao projeto



Editar equipe

2

Adicionar usuário clicando no nome

3



Definir papel do usuário na equipe

4

Aplicar FMEA



Aplicar FMEA



- Login
- Adicionar usuários à conta PRO2715 – Para administrador
- Criar um projeto
- Adicionar usuários ao projeto
- Aplicar FMEA

Escolher um projeto

1

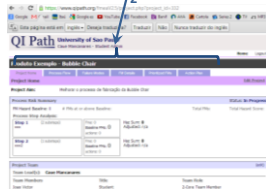


Aplicar FMEA



Utilizar menu para navegar entre os passos do FMEA

2



APÊNDICE F – Guia rápido de referências Windchill



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Guia Rápido de Referência Windchill

Sumário



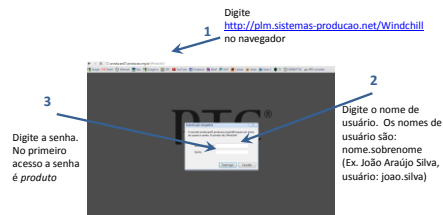
- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos



Login

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

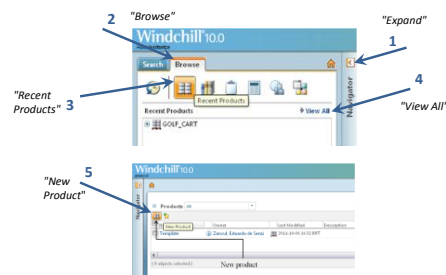
Login



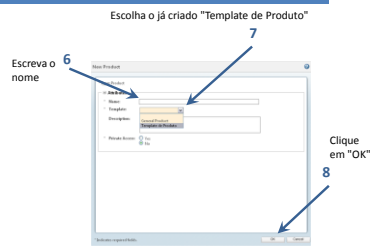
Criar um produto

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

Criar um produto



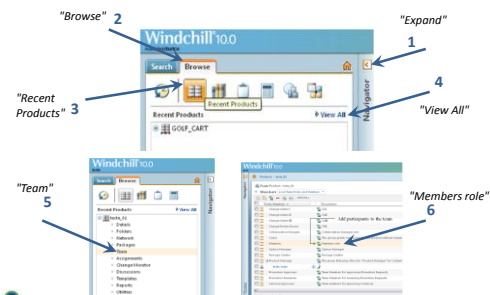
Escolher o template do produto



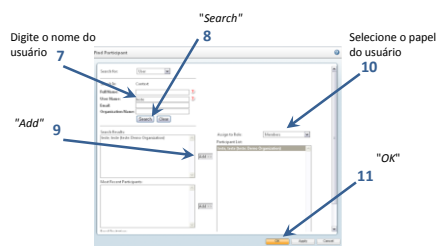
Adicionar usuários ao projeto

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

Alocar usuários à equipe de desenvolvimento



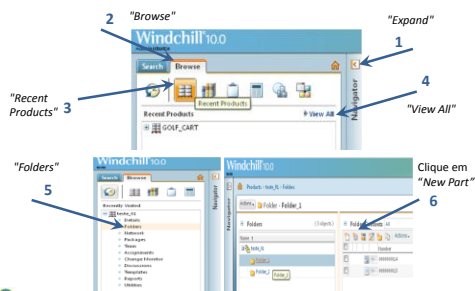
Procurar usuário existente e adicioná-lo à equipe



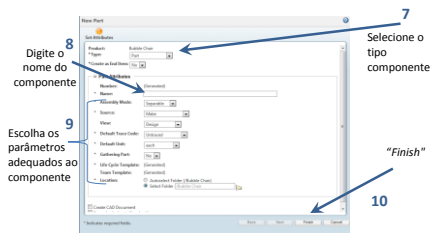
Criar um componente/peça

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

Criar um componente/peça



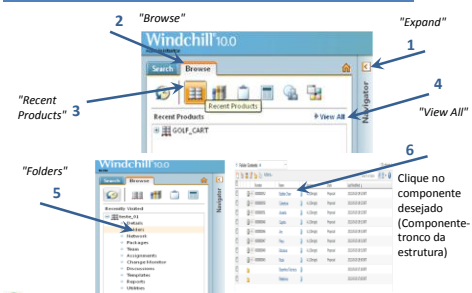
Criar um componente/peça



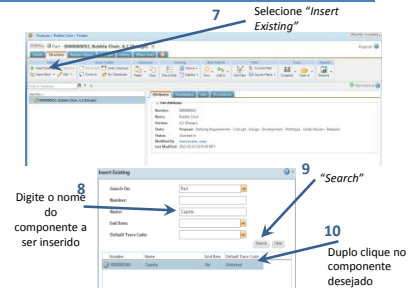
Criar estrutura do produto

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

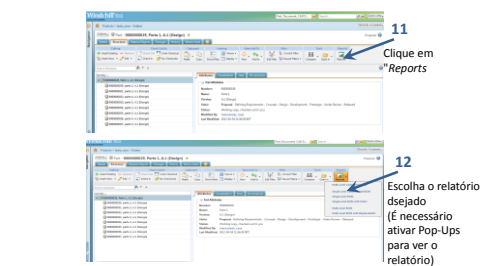
Selecionar componente-tronco



Criar estrutura do produto



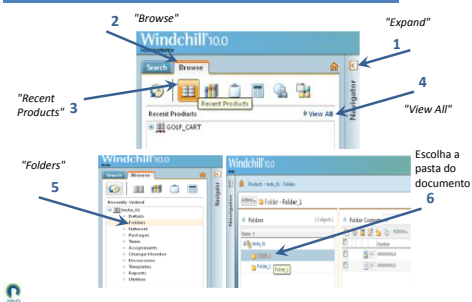
Gerar relatório



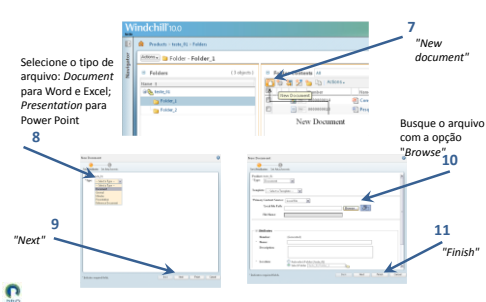
Criar um documento

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

Escolher a pasta do documento



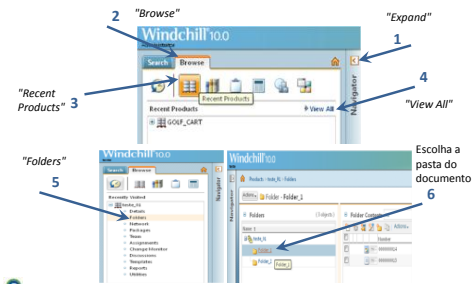
Criar um novo documento



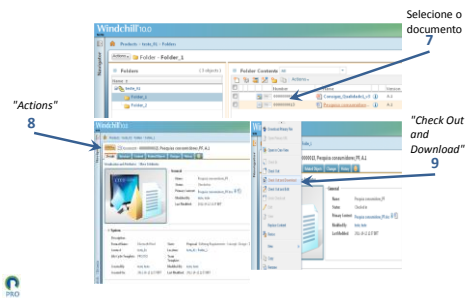
Fazer download e upload de arquivos

- Login
- Criar um produto
- Adicionar usuários ao projeto
- Criar um componente/peça
- Criar estrutura do produto
- Criar um documento
- Fazer Download e Upload de arquivos

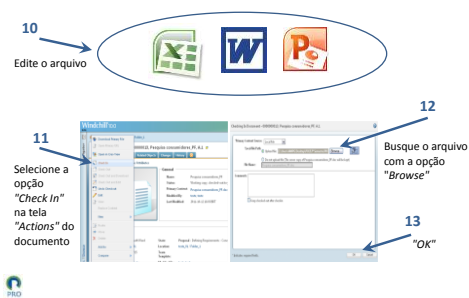
Escolher a pasta do documento



Fazer o download do arquivo



Fazer o upload do arquivo



APÊNDICE G – Guia rápido de referências Impressora 3D Metamáquina

Guia Rápido de Referência Impressora 3D Metamáquina

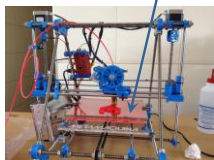
Sumário

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Limpar base

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Limpar base com água e sabão (ou álcool próprio para itens eletrônicos caso não haja água e sabão)



Ligar máquina e abrir software

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Ligar impressora na fonte



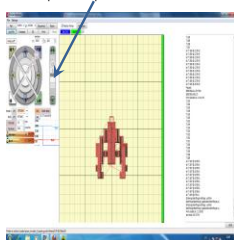
Abrir software Printer Interface



Encontrar o ponto Z = 0

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

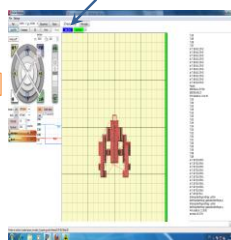
Utilizar os botões para mover o bico da máquina até que ele encoste na base



Clicar Set Z = 0

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

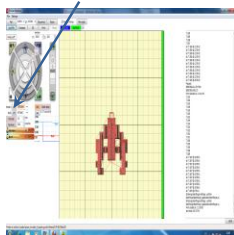
Clicar Set Z = 0



Esquentar o bico

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

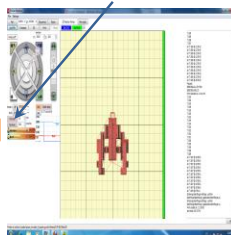
Esquentar o bico



Extrudar até sair plástico

1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Clicar em Extrude diversas vezes até sair plástico



Abrir arquivo

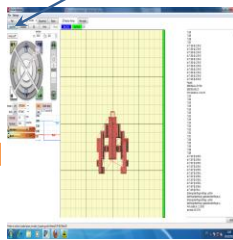


Imprimir



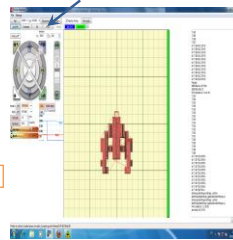
1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Carregar arquivo



1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Imprimir



Desconectar

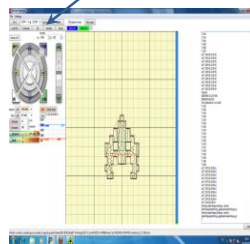


Sair



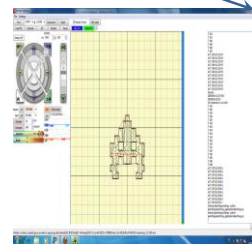
1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Quando finalizado, desconectar



1. Limpar base
2. Ligar máquina e abrir software
3. Encontrar o ponto Z = 0
4. Clicar Set Z = 0
5. Esquentar o bico
6. Extrudar até sair plástico
7. Abrir arquivo
8. Imprimir
9. Desconectar
10. Sair

Fechar o programa



APÊNDICE H – Lista de ferramentas do ambiente de manufatura



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

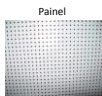
Lista das ferramentas básicas necessárias



Lista de Ferramentas para o Laboratório de Produto

1. Painel de Eucatex perfurado
2. Bancada
3. Morsa de bancada
4. Furadeira profissional
5. Jogo de brocas
6. Serrote
7. Arco de serra
8. Formão
9. Martelo
10. Alicates Universal
11. Alicates de pressão
12. Alicates de bico
13. Lima
14. Grosa
15. Função
16. Riscador
17. Estilete
18. Esquadro
19. Régua 300mm
20. Régua 500mm
21. Trena
22. Nível
23. Jogo chaves de fenda e phillips
24. Jogo de chaves allen
25. Jogo de chaves fixa
26. Chave inglesa

Painel de Eucatex perfurado



Descrição:
Painel de Eucatex perfurado com 100 ganchos
•Dimensões: 2,44mx1,22m
•100 ganchos de 5cm para eucatex perfurado

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Preço
Eucatex perfurado	Gallo	http://www.gallo.com.br	(11) 3312-0942	R\$ 120
Eucatex Perfurado	Lane		(11) 3327-0099	R\$ 110

Bancada



Descrição:
Bancada para oficina
•Material do Tampo: Compensado Naval
•Espessura do Tampo: 40 mm
•Dimensões do Tampo: 1500x600 mm
•Altura da armação: 900mm
•Capacidade de Carga: Maior que 300 Kg

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Preço
Bancada	Equipomáquinas	http://www.equipomquinas.com.br	(11) 4004-0070	R\$ 375,00
Bancada	Weber Move	http://www.webermove.com.br/	(11) 33382157	R\$ 418,00

Morsa



Descrição:
•Morsa de Bancada nº4
•Material: Ferro Fundido
•Mordentes de aço
•Largura do Mordente: 101 mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Morsa	Equipomáquinas	http://www.equipomquinas.com.br	(11) 4004-0070	Somar	R\$ 105,00
Morsa	Royal	http://www.royalmquinas.com.br	(18)3649-7878	Forjasul	R\$ 361,00
Morsa	Marchiori	http://www.marchioricomercial.com.br		MetalSul	R\$ 107,00

Furadeira



Descrição:
Furadeira profissional com impacto
•Função de Parafusadeira e Furadeira (função de reverter rotação)
•Mandril de 1/2"
•Capacidade de perfuração mínima:
•Aço: 8 mm
•Alumínio: 10 mm
•Madeira: 20 mm
•Potência mínima: 400 W

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Modelo	Preço
Furadeira	Concermaq	http://concermaq.com.br	(11) 3311-4010	Bosch	13 RE	R\$273
Furadeira	Concermaq	http://concermaq.com.br	(11) 3311-4010	Makita	c/ brocas	R\$220
Furadeira	CentralFer	http://www.centralfer.com.br/	(11) 3311-0700	Bosch	G58 13	R\$260

Brocas



Descrição:
Jogo de Brocas para Mandril de 1/2" com:
•17 Brocas para metal
•7 Brocas para concreto
•6 Brocas para madeira
•8 Squetes
•52 Bits 25mm
•9 Pontas 50mm
•1 Adaptador Magnético
•1 Chave de Catraca

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Jogo de Brocas	Walmart	http://www.walmart.com.br	(11) 3003-6000	Skil	R\$ 69,00
Jogo de Brocas	Magazine Luiza	http://www.magazineluiza.com.br	(11) 3508-9900	Skil	R\$ 79,00
Jogo de Brocas	Basutl	http://www.basutl.com	(11) 3522-4212	Skil	R\$ 76,00

Serrote



Descrição:
Serrote de Carpinteiro
•406mm de comprimento
•Cabo de madeira

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Serrote	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282737	Corneta	R\$ 36,00

Arco de Serra



Descrição:
Arco de Serra Profissional
•12" de comprimento

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Arco de Serra	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282738	Starret	R\$ 4,00

Formao para entalhar



Descrição:
Formao para entalhar
•5/8" de diâmetro
•Lâmina de aço forjado
•Cabo de plástico

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Formao para entalhar	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282739	Stanley	R\$ 50,00
Formao para entalhar	Ferragens Colar	http://www.ferragens.net	(11) 3229-5069	Stanley	R\$ 29,00

Martelo tipo unha



Descrição:
Martelo tipo unha
•Cabo de madeira
•Comprimento do cabo: 325mm
•Diâmetro da face: 25mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Martelo tipo unha	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282740	Loyal	R\$ 18,00

Alicate universal



Descrição:
Alicate Universal 8"

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Alicate Universal	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282741	Robust	R\$ 15,00

Alicate de pressão



Descrição:
Alicate de pressão 10"
•Abertura de 28mm
•Mordentes em aço

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Alicate de pressão	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282742	Loyal	R\$ 27,00

Alicate de bico



Descrição:
Alicate de bico 6"

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Alicate de bico	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282743	Robust	R\$ 11,00

Lima



Descrição:
Lima para Funileiro
•Comprimento: 356 mm
•Largura: 35mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Lima	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282744		R\$ 10,00

Grosa



Descrição:
Grosa ferrador
•Comprimento: 355 mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Grosa	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282744		R\$ 10,00

Punção



Descrição:
Punção
•Diâmetro da ponta: 4mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Punção	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282746	Tecdrill	R\$ 8,00

Riscador



Descrição:
Riscador
•Diâmetro do cabo: 4mm
•Comprimento da ponta: 60mm

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Riscador	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282747	Tecdrill	R\$ 8,00

Estilete reforçado



Descrição:
Estilete reforçado de uso profissional
•Lâmina de 7" de comprimento

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Estilete reforçado	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282748	OUSA	R\$ 18,00

Esquadro




Descrição:
Esquadro de 12"
•Material: Aço

Ferramenta	Fornecedor	WebSite	Telefone	Marca	Preço
Esquadro	Rimafer	http://rimafercomercial.com.br	(11)32282749	Stanley	R\$ 54,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Régua de 300mm



Descrição:

Régua de 300mm

•Material: Aço

Ferramenta

Régua

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282750

Marca

Arch


Preço

R\$ 17,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Régua de 500mm



Descrição:

Régua de 500mm

•Material: Aço

Ferramenta

Régua

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282751

Marca

Arch


Preço

R\$ 50,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Trena de 5m



Descrição:

Trena de 5m

•Material: Aço

Ferramenta

Trena

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282752

Marca

Lufkin


Preço

R\$ 13,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Nível



Descrição:

Nível de alumínio 12"

Ferramenta

Nível

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282758

Marca

Stanley


Preço

R\$ 31,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Kit chave de fenda + chave phillips



Descrição:

Kit com 10 chaves

•Chaves de fenda

•1/16 x 6"

•1/4 x 4"

•1/16 x 3"

•1/8 x 2"

•1/4 x 1-1/2"

•Chaves phillips

•#3 x 1-1/2"

•#0 x 2"

•#1 x 4"

•#2 x 4"

Ferramenta

Trena

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282752

Marca

Lufkin


Preço

R\$ 13,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Chave fixa



Descrição:

Jogo com 9 peças com tamanhos de:

•6mm

•8mm

•10mm

•12mm

•14mm

•16mm

•18mm

•20mm

•22mm

Ferramenta

Chave fixa

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282755

Marca

Mayle


Preço

R\$ 49,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Chave allen



Descrição:

Jogo com 8 peças com tamanhos de:

•1,5

•2

•2,5

•3

•4

•6

•8

•10

Ferramenta

Chave allen

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282756

Marca

Robust


Preço

R\$ 34,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Chave inglesa



Descrição:

Chave Inglesa de 8"

Ferramenta

Chave inglesa

Fornecedor

Rimafer

WebSite

<http://rimafercomercial.com.br>

Telefone

(11)32282757

Marca

Stanley


Preço

R\$ 26,00

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Paquímetro



Descrição:

Paquímetro com:

•Faixa de 200mm

•Resolução de 0,05mm

•Exatidão de 0,05mm

Ferramenta

Paquímetro

Fornecedor

Royal Máquinas

WebSite

<http://royalmachine.com.br>

Telefone

(18)3649-7878

Marca

Starret

Preço

R\$ 190

PRO 2715

PRODUTOS INDUSTRIAIS

Micrômetro



Descrição:

Micrômetro

•Capacidade: 0 a 25mm

•Graduação: 0,01mm

Ferramenta

Micrômetro

Fornecedor

Loja do profissional

WebSite

<http://www.lojadoprofissional.com.br>

Telefone

(11)3672-9488

Marca

Digimess

Preço

R\$ 70