

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA - UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**JEFERSON RELVAS DE OLIVEIRA**

**APLICAÇÃO DA MANUFATURA AUXILIADA POR COMPUTADOR  
(CAM) NO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE USINAGEM:  
UM ESTUDO MULTI-CASO**

MARÍLIA  
2012

JEFERSON RELVAS DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DA MANUFATURA AUXILIADA POR COMPUTADOR  
(CAM) NO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE USINAGEM: UM  
ESTUDO MULTI-CASO

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:  
Prof. MSc. RODRIGO FABIANO RAVAZI

MARÍLIA  
2012

Oliveira, Jeferson Relvas de.

Aplicação da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) no Desenvolvimento de Processos de Usinagem: Um Estudo Multi-Caso./ Jeferson Relvas de Oliveira; orientador: Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: UNIVEM, 2012.

75 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2012.

1. Manufatura 2. Usinagem 3. Processo Produtivo 4. CAM  
5. Produtividade 6. Máquinas CNC

CDD: 670.425



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"  
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM

Curso de Engenharia de Produção.

Jeferson Relvas de Oliveira - 35044-3

TÍTULO "APLICAÇÃO DA MANUFATURA AUXILIADA POR COMPUTADOR (CAM)  
NO DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE USINAGEM "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10

ORIENTADOR: Rodrigo Fabiano Ravazi  
Rodrigo Fabiano Ravazi

1º EXAMINADOR: Vânia Erica Herrera  
Vânia Erica Herrera

2º EXAMINADOR: Giulianna Marega Marques  
Giulianna Marega Marques

Marília, 11 de dezembro de 2012.

*Dedico o meu trabalho e todo o meu esforço nestes cinco anos aos meus pais Gerson e Luiza, que em meio às dificuldades, correrias e tanto suor me impulsionaram em todos os momentos, de bonança ou de tempestade. Mãe e pai que dos lábios nunca ouvi uma frase de desânimo ou um conselho de desistência. Pessoas simples que me ensinaram todos os meus conceitos, valores e também a descobrir o amor pelo grande Deus.*

*Dedico este trabalho ao amor da minha vida, Daiane, minha noiva que o Pai preparou com muito carinho. Uma mulher que aprendeu a esperar, a partilhar e a encorajar o meu coração; a lutar pelo que se sonha; que descobriu que o esperar e perseverar valem a pena.*

*Deixo este trabalho a todos que, como eu, não tão favorecidos financeiramente, tiveram a coragem de construir seu caminho com muito trabalho, humildade e amor sem se esquecer de onde veio.*

## AGRADECIMENTOS

*“Nunca desista da vida tudo é possível ao que crê, sempre existe uma saída. Deus não se esqueceu de você!”*

*(Música “Sorria” – Comunidade das Nações)*

*Primeiramente agradeço ao grande Deus da minha vida, Pai Eterno, que com muita misericórdia e um imenso amor sempre me capacitou e derramou seu conhecimento e sabedoria para enfrentar estes cinco anos de cálculos, física, álgebra linear e tantas outras disciplinas extraordinárias. Que em meio aos choros pelas madrugadas e músicas durante os estudos noturnos me ensinava e fortalecia rumo ao alvo que havíamos traçado.*

*Mais uma vez agradeço a minha família, que foi meu porto seguro nestes sessenta meses de renúncia das festas em família, dos churrascos, viagens e momentos que poderíamos ter passado juntos e que tive de estudar. Hoje vejo: valeu o sacrifício!*

*Muito obrigado minha noiva porque não desistiu de mim mesmo quando parecia nunca acabar os trabalhos, listas de exercícios e semanas de provas. Porque soube me acolher e me levantar em tantas horas que parecia ser impossível.*

*Agradeço aos meus colegas de serviço pela paciência e compreensão dentre tantos dias pela manhã em que exausto me encontrava para o trabalho.*

*Obrigado aos meus colegas de sala, pelas risadas, pelos trabalhos em grupo, pela amizade e companheirismo mesmo quando a paciência se acabava em meio ao estafe das incontáveis provas que só se apresentavam individuais e sem consulta.*

*Não posso me esquecer dos mestres que em momento algum negaram os esforços e o conhecimento para com as nossas vidas; que no início do curso viam-nos assustados com um mundo cheio de desafios que é o curso de Engenharia de Produção.*

*Agradeço a todos que de uma forma ou outra me ajudaram a galgar mais este degrau na vida.*

*Aqui fica a minha gratidão.*

OLIVEIRA, Jeferson Relvas de. **Aplicação da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) no Desenvolvimento de Processos de Usinagem: Um Estudo Multi-Caso.** 2012. 75 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2012.

## RESUMO

A Tecnologia de Manufatura Auxiliada por Computador, também conhecida como sistemas CAM, está ano a ano tornando-se indispensável ao chão de fábrica para a programação de máquinas a comando numérico, principalmente para produtos com formatos complexos. Com a constante pressão pela otimização dos tempos produtivos, tal ferramenta será crucial para empresas que desejam se tornar competitivas na área da manufatura mecânica. Este trabalho tem por objetivo mostrar as vantagens e as desvantagens da sua aplicação nas empresas de desenvolvimento de produto e nas empresas que possuem linhas de produção no segmento mecânico com o uso de máquinas a CNC.

Palavras-chave: Manufatura. Usinagem. Processo Produtivo. CAM. Produtividade. Máquinas CNC

## LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de Produtividade.....	15
Figura 2 - Modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto.....	18
Figura 3 - Projeto desenvolvido no software Solidwords .....	22
Figura 4 - Simulação no Sistema CAD "ProEngineer" .....	23
Figura 5 - Cadeia de Manufatura .....	25
Figura 6 - Interligações entre os sistemas CAx .....	25
Figura 7 - Programação CAM para Torno .....	28
Figura 8 - Programação CAM para Fresamento.....	28
Figura 9 - Programador no MIT .....	30
Figura 10 - "Mastercam" Versão X4 - Torneamento.....	32
Figura 11 - "Edgecam" 2012 - Torneamento .....	32
Figura 12 - Painel de Interface, CNC e Motores de acionamento .....	42
Figura 13 - Torno Universal Romi, modelo ES40B .....	42
Figura 14 - Torno a CNC Romi modelo Centur 30D .....	43
Figura 15 - Torno CNC com ferramenta acionada .....	44
Figura 16 - Torre Porta Ferramentas com 12 posições - Ergomat.....	45
Figura 17 - Sistema de Coordenadas para Torneamento .....	47
Figura 18 - Torno com a Torre Porta Ferramentas na parte dianteira .....	47
Figura 19 - Torno com a Torre Porta Ferramentas na parte traseira.....	47
Figura 20 - Sistemas de Coordenadas Ortogonal .....	48
Figura 21 - Sequência de aplicação CAM.....	50
Figura 22 - Coluna e Bucha de um molde separados.....	54
Figura 23 - Montagem entre Coluna/Bucha dos moldes.....	54



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APT: Automatically Programed Toll  
CAD: Desenho Auxiliado por Computador  
CADD: Design e Desenho Industrial Auxiliado por Computador  
CAE: Engenharia Auxiliada por Computador  
CAM: Manufatura Auxiliada por Computador  
CAPP: Planejamento de Processo Auxiliado por Computador  
CAT: Testes Auxiliados por Computador  
CN: Comando Numérico  
CNC: Comando Numérico Computadorizado  
DFMA: Projeto para Manufatura e Montagem  
FMEA: Método de Causa e Efeito de Falha  
MIT: Instituto de Tecnologia de Massachussetts  
MRP: Planejamento de Recursos de Materiais  
NC: Numerical Control  
NREC: Centro Nacional de Engenharia Robótica  
PDP: Processo de Desenvolvimento de Produto  
QFD: Desdobramento da Função da Qualidade

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de máquinas e quantidades disponíveis na Empresa A.....	50
Tabela 2 – Tipos de máquinas e quantidades disponíveis no Empresa B.....	60
Tabela 3 – Tipos de máquinas e quantidades disponíveis na Empresa C.....	66
Tabela 4 – Comparação de Informações.....	71

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
CAPÍTULO 1 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO .....	14
1.1. Produtividade.....	14
1.2. Desenvolvimento de Produto.....	16
1.2.1 Fases do Desenvolvimento de Produto em Geral .....	16
1.2.2. Modelo de Referência para Processos de Desenvolvimento de Produto (PDP) .....	17
1.2.3. Métodos e as ferramentas de Desenvolvimento de Produtos .....	18
CAPÍTULO 2 – DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR (CAD) .....	20
2.1. Definição.....	20
2.2. Classificações dos sistemas CAD.....	21
2.3. Software CAD, CAM e CAD/CAM.....	23
CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA CAM .....	27
3.1. Definição.....	27
3.2. História dos softwares CAM.....	30
3.3. Vantagens da Aplicação do CAM.....	33
3.4. Casos de Uso do CAM.....	35
3.4.1. Implantação do Mastercam na Empresa Northstar Aeroespacial.....	35
3.4.2. NREC Obtém Redução do Prazo de Entrega de Prototipagem.....	36
3.4.3. Redução do Tempo de Programação em Usinagens Complexas na WEG Motores.....	37
3.4.4. Masipack Aumenta a Produtividade com Edgecam.....	38
3.4.5. Tecpol Obtém Redução em 30% do Tempo de Programação com o Edgecam.....	38
CAPÍTULO 4 – MÁQUINAS CNC .....	40
4.1. Definição.....	40
4.2. Surgimento do CNC.....	41
4.3. Principais Características dos Tornos à CNC.....	42
4.4. Sistemas de Coordenadas dos Tornos à CNC.....	46
CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	49

5.1. Aplicação do Questionário na Empresa A.....	49
5.1.1. Parque Industrial da Empresa A.....	50
5.1.2. Variedades do CAM na Empresa A .....	50
5.1.3. Aplicações do CAM na Empresa A .....	53
5.1.4. O que Levou a Empresa A a Buscar a Tecnologia CAM.....	55
5.1.5. Resultados Obtidos na “ Empresa A” com a Aplicação do CAM .....	56
5.1.6. Desafios e Investimentos da Empresa A .....	57
5.2. Aplicação do Questionário na Empresa B.....	58
5.2.1. Aplicações do CAM na Empresa B.....	61
5.2.2. Necessidades que Levaram a Empresa B a Buscar a Tecnologia CAM .....	62
5.2.3. Resultados Obtidos Pela Empresa B .....	63
5.2.4. Desafios e Investimentos na Empresa B.....	64
5.3. Aplicação do Questionário na Empresa C.....	65
5.3.1. Aplicações do CAM na Empresa C.....	67
5.3.2. Necessidades que Levaram a Empresa C a Utilizar o CAM .....	68
5.3.3. Resultados Obtidos pela Empresa C com a Utilização do CAM.....	68
5.3.4. Desafios e Investimentos da Empresa C.....	69
5.4. Tabela Comparativa de Informações.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72
REFERÊNCIAS .....	73
APÊNDICE A - Questionário .....	75

## INTRODUÇÃO

Os sistemas CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) foram desenvolvidos devido às necessidades de programação das máquinas CNC estudadas e lançadas na década de 1950 (PRADO E LARA, 2005, p.20).

Com a invenção das máquinas comandadas por computador para suprir as necessidades da indústria aeronáutica, as peças desenvolvidas para as aeronaves foram evoluindo e se apresentando em formatos mais e mais complexos exigindo assim dos programadores maior tempo e capacidade para a aplicação de mais ferramentas e estratégias de usinagem.

Com o objetivo de agilizar a programação das máquinas CNC e de outros processos de manufatura, os softwares de CAM foram desenvolvidos tornando-se nos dias atuais, sinônimo de programação prática e a solução mais eficiente para a programação das máquinas operatrizes na usinagem de peças/produtos com formas complexas.

Os softwares de CAM podem ser encontrados em toda a empresa de manufatura que possui grandes variedades de peças, desde as mais simples até as mais difíceis de serem usinadas e programadas.

Diante disso, é relevante salientar que a manufatura auxiliada por computador merece ser estudada porque pode oferecer ao chão de fábrica soluções rápidas para a execução das peças e confiabilidade nas trajetórias programadas, pois é capaz de gerar programas extensos e complexos com baixos tempos de processamento e compilação.

Dentre as características marcantes podem-se destacar a fácil importação de desenhos 2D e 3D com capacidade de suportar vários tipos de extensões de arquivos; rápida criação e montagem de ferramentas com comandos interativos, sendo que um mesmo desenho pode ser usado para gerar programas para os mais variados tipos de comandos das máquinas, dando flexibilidade no rearranjo da produção conforme a disponibilidade de máquinas; capacidade de simulação da usinagem em 3D do produto podendo o programador perceber quais estratégias são mais rápidas e se as ferramentas selecionadas atenderão as operações desejadas conforme o desenho, diminuindo assim o tempo de paradas para trocas de ferramentas.

Além disso, a utilização dos softwares de CAM possibilita o cálculo das trajetórias das ferramentas em tempos mínimos e do tempo real que seria gasto na usinagem do produto conseguindo assim a acuracidade nas programações das ordens de produção. Também é capaz

de extinguir os erros de programação cometidos pelos programadores nos programas manuais que quase sempre levam à colisões e programar peças complexas que dificilmente a programação manual conseguiria fazer, como por exemplo, programas para centros de usinagem com quatro ou cinco eixos (PRADO E LARA, 2005, p.22).

Sendo assim, tais características colocam os softwares de CAM como sendo ferramentas vantajosas e de extrema importância nas empresas competitivas.

O tema abordado é explorado através do método “Pesquisa de campo”, onde questões foram respondidas por empresas da região de Pompeia/SP e as respostas formuladas em textos analisando-se os fatores que a tecnologia CAM proporciona às empresas.

Quanto aos objetivos do Trabalho, a pesquisa insere-se no tipo exploratória, onde os dados coletados servirão para evidenciar as ideias, opiniões e sugestões dos sujeitos da pesquisa sobre o uso dos softwares CAM em empresas e indústrias, bem como as vantagens e desvantagens apontadas sobre a sua utilização.

A fonte de dados é uma pesquisa qualitativa, uma vez que a coleta dos dados provém de palavras, opiniões, sugestões e declarações subjetivas dos participantes visando apenas complementar as informações já apresentadas nos pressupostos teóricos deste Trabalho.

A pesquisa é classificada como descritiva pois seu objetivo principal é descrever as características de algumas empresas da região quanto a utilização da Tecnologia CAM nos seus processos fabris. Importando-se com as causas e os efeitos do não uso ou do uso da Manufatura Auxiliada por Computador implicando num levantamento expressamente qualitativo e não quantitativo de informações.

Todas as informações foram coletadas pessoalmente por meio das visitas e observações diretas nas empresas com a aplicação de um questionário. Tal questionário foi respondido por meio de entrevistas a algumas pessoas ligadas diretamente ao processo de usinagem das empresas e conseqüentemente ao uso da ferramenta CAM.

Os dados foram coletados como respostas às indagações e logo depois reformulados em textos que descrevem as situações, vantagens, desvantagens e aplicações nos diferentes ambientes fabris considerando basicamente dois, o ambiente de desenvolvimento de produtos e o ambiente de produção dos produtos já desenvolvidos.

No decorrer deste trabalho serão abordados os seguintes assuntos:

Capítulo 1: Conceitos de Produtividade e Desenvolvimento de Produto;

Capítulo 2: O Desenho Auxiliado por Computador (CAD)

Capítulo 3: A Tecnologia CAM;

Capítulo 4: Máquinas CNC;

Capítulo 5: Apresentação e Análise dos Resultados;

Todos estes assuntos serão abordados pois estão interligados de maneira intensa com o tema do trabalho e procuram oferecer o conhecimento necessário para a compreensão do mesmo. No próximo capítulo a Produtividade e o Desenvolvimento de produtos serão explanados de forma simplificada.

# CAPÍTULO 1 - CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

## 1.1. Produtividade

De acordo com Martins e Laugeni (2005, p. 13), o termo produtividade foi usado pela primeira vez em 1766 num artigo de economia, mas foi em 1883 que ele foi aplicado com a intensão de descrever a “capacidade de produção”.

Na área econômica, a produtividade é o resultado da divisão das saídas, ou produtos produzidos pelos fatores produtivos, ou seja, é o resultado da relação entre a quantidade de peças produzidas e os recursos usados. Por exemplo: Um número de eixos usinados em dois tornos a CNC.

Em concordância com a definição acima, Gaither e Fraizer (2002, p. 458) interpretam a produtividade em uma simples fórmula:

$$\textit{Produtividade} = \frac{\textit{Quantidade de produtos ou serviços}}{\textit{Quantidade de recursos utilizados}}$$

Analisando o fator produtividade como se fosse uma fórmula, tem-se em mãos que se ao diminuir as quantidades de recursos que eram utilizados no processo produtivo e ainda de alguma forma aumentar a produção de peças, então é considerado um aumento de produtividade.

Logo, se a produção é mantida com o mesmo índice e os recursos foram restringidos em menor número também obtém-se a elevação da produtividade.

Aumentando a quantidade de máquinas e o aumento ainda maior da quantidade de peças produzidas também é considerado como um aumento da produtividade, ou de forma inversa, se a produção decrescer e os recursos diminuïrem ainda mais, o resultado é um acréscimo de produtividade.

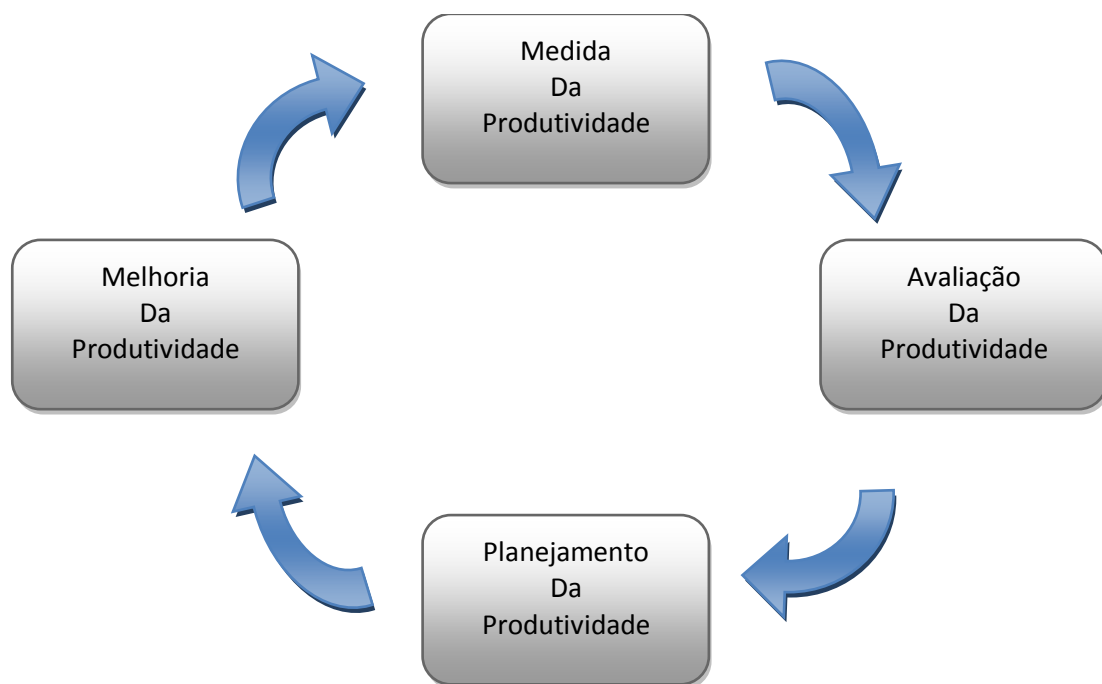
A medição da produtividade da mão de obra é constantemente levantada nas indústrias, pois norteia decisões de gerenciamento dos processos produtivos. Existem certos fatores que afetam a produtividade como, por exemplo, o emprego de novas tecnologias, máquinas, ferramentas, estratégias de trabalho que sustentam e auxiliam o desempenhar da função e também o próprio desempenho do empregado no trabalho. Na indústria, o aumento



da produtividade por meio de novas tecnologias, reduzir os defeitos, retrabalhos e sucatas além de ter maior importância do que o desempenho do empregado. (GAITHER; FRAIZER, 2002, p. 461)

Toda a empresa que aplica os processos para a medição da produtividade é enquadrada em alguma fase do ciclo de análise da produtividade conforme Figura 1 (MARTINS ; LAUGENI, 2005, p.15).

Figura 1 - Ciclo de Produtividade



Fonte: Martins e Laugeni (2005, p.15)

Os resultados do esforço para se medir a produtividade nas fábricas e empresas são benéficos, dentre os quais se destacam: o aumento de lucros; os salários melhorados; a redução dos preços dos produtos e a melhora do nível de vida da sociedade envolvida pela empresa (MARTINS ; LAUGENI, 2005, p.16).

Sendo assim, já que, de uma forma geral produtividade é a relação entre os recursos empregados e os resultados alcançados, afirma-se que ela, aliada às novas tecnologias disponíveis no mercado, resulta naquilo que toda a empresa ou indústria quer: alta produtividade alcançando resultados muito bons, aproveitando bem a matéria prima, a capacidade das máquinas, o tempo e as habilidades das pessoas.

## 1.2. Desenvolvimento de Produto

Segundo Rozenfeld, Forcellini e Amaral (2006, p.4) desenvolver produtos significa gerar ações que consigam identificar as necessidades de determinado mercado elaborando as especificações de um produto e seus processos de produção levando-se em consideração as limitações tecnológicas e as estratégias competitivas da empresa e do projeto.

Enxerga-se o Desenvolvimento de Produto como uma área crucial das empresas, pois devido à internacionalização de produtos, a concorrência tem se tornado muito grande. A disputa pelos clientes que buscam cada vez mais qualidade e inovação para suas satisfações pessoais está se tornando mundialmente rápida. Dia a dia novos produtos são lançados e aquele produto que era referência já foi substituído por outro concorrente que buscou melhorar o desempenho e oferecer mais funcionalidades.

Assim, a empresa que objetiva a permanência no mercado e galga a competitividade precisa investir tempo e trabalhar em cima dos processos de desenvolvimento de seus produtos. Exemplos de empresas que investem em seus processos de desenvolvimento são as conhecidas empresas automobilísticas alemãs e as empresas orientais no ramo de eletrônicos.

Argumenta ainda Rozenfeld, Forcellini e Amaral (2006, p.4) que em outras épocas os êxitos nos desenvolvimentos de produtos eram alavancados pelos altos montantes financeiros aplicados e pela genialidade dos profissionais atuantes na área, hoje, baseado em estudos, é visto que mais importante é o planejamento e organização na gestão do processo de desenvolvimento do produto do que tais investimentos, concluindo que é possível o desenvolvimento de produtos de sucesso se as práticas de gestão de Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) forem planejadas, controladas e executadas buscando a melhoria e a aprendizagem.

### 1.2.1 Fases do Desenvolvimento de Produto em Geral

Segundo Cosenza (s.d. , p. 2-8) as fases para o Desenvolvimento de um Produto são:

**Fase exploratória:** É a fase na qual o gerente de produto coleta a maior quantidade de informações e ideias possíveis sobre a categoria na qual irá desenvolver o produto e sobre os produtos existentes. São aplicadas entrevistas com os consumidores, colhidas informações

com os comerciantes dos produtos já existentes e também com os usuários. Pode-se coletar dados e amostras dos produtos já existentes em outros países para observações e também realizar um brainstorming com pessoas que tenham conhecimento em áreas parecidas com as que o novo produto pretenderá atingir.

**Fase de análise preliminar:** Nesta fase as ideias colhidas na fase anterior são estudadas pelo time de projeto procurando levantar a viabilidade do produto em estudo, ou seja, verificar se é compensatório desenvolver um produto que despenderá de esforços nas áreas jurídicas, financeiras, técnicas e de operacionalização/produção. Dependendo do produto a fábrica não dominará o processo produtivo e nem terá a tecnologia exigida. Nesta fase são estudados todos estes aspectos.

**Fase de análise de negócio:** Nesta fase vários cálculos são executados para testificar se o desenvolvimento do produto será compensatório e irá de encontro com os alvos da empresa. São calculados os volumes de vendas baseados em produtos já lançados e parecidos, possíveis lucros e taxas de retorno. Nesta fase é concebido uma listagem de fornecedores em potencial para que em contato com os mesmos a empresa levante as informações de todos os materiais a serem usados no produto e então refaça os cálculos de custos com base nas quantidades a serem produzidas.

**Fase de desenvolvimento:** Nesta fase o gerente de desenvolvimento de novos produtos leva o projeto planejado para a área de desenvolvimento, onde o time de execução dos projetos realiza a confecção do produto baseados nos cronogramas de produção e desenvolvimento e nas premissas levantadas bem como o conceito criado para o produto.

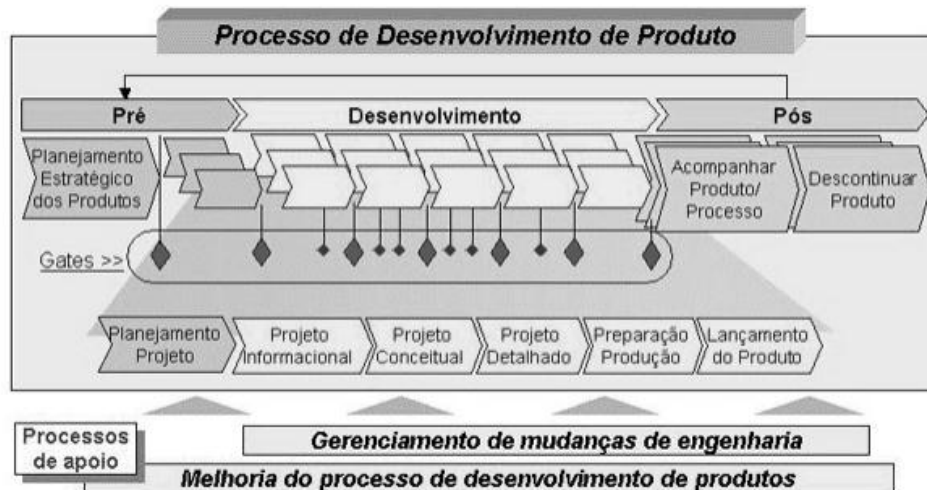
### **1.2.2. Modelo de Referência para Processos de Desenvolvimento de Produto (PDP)**

Uma empresa necessita de um modelo para seguir quando for desenvolver seus produtos e processos, pois virando rotina o desenvolvimento de produto as diferentes áreas de atuação da empresa poderão planejar seus processos e desenvolvimento de produtos de uma mesma forma, padronizando os procedimentos.

“Para que o processo-padrão de desenvolvimento de produtos possa ser reutilizado por várias pessoas, ele é documentado na forma de um modelo. Um modelo serve para representar a realidade.” (ROZENFELD; FORCELLINI; AMARAL, 2006, p.41).

Na Figura 2 é demonstrado um dos modelos de desenvolvimento de produto que as empresas de manufatura geralmente utilizam.

Figura 2 - Modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto



Fonte: Gestão de Desenvolvimento de Produtos – uma referência para a melhoria do processo. 2006, p. 41.

De acordo Rozenfeld, Forcellini e Amaral (2006, p.41) as fases de pré e pós desenvolvimento são fases que se aplicam para modelos de empresa variados, ou seja, são conceitos que não mudam. Já a fase de desenvolvimento cada empresa dependerá das tecnologias que são aplicadas na transformação e criação do produto.

### 1.2.3. Métodos e as ferramentas de Desenvolvimento de Produtos

As atividades de PDP (Processos de Desenvolvimento de Produto) podem ser auxiliadas graças aos métodos e as ferramentas que são aplicáveis durante a criação do produto.

Para Rozenfeld, Forcellini e Amaral (2006, p.76) os métodos são os procedimentos de forma organizada utilizados para se alcançar um objetivo, no caso do desenvolvimento de produto, alguns métodos estão citados abaixo:

- QFD – Função de desdobramento da qualidade;
- FMEA – Métodos de causa e efeito de falhas,
- DFMA – Projeto para Manufatura e Montagem.

Dessa forma, é possível entender a importância de algumas ferramentas, afinal, elas tornam o Processo de Desenvolvimento de Produto mais rápido e eficaz, tais ferramentas são:

- CAD – Desenho auxiliado por computador;
- CAM – Manufatura auxiliada por computador;
- CAE – Engenharia auxiliada por computador;
- CAPP – Planejamento de processo auxiliado por computador;

Todas essas ferramentas hoje estão inseridas dentro de um contexto muito maior, estão sendo interligadas aos Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP). Tal sistema gerencia toda a empresa e oferece em tempo real os níveis de produção e de produtos em qualquer etapa. Com essas ferramentas, os desenvolvimentos dos produtos são gerados de forma mais segura e toda a empresa pode usufruir das tecnologias e saber em quais estágios estão os produtos desenvolvidos bem como a vida dos produtos que estão no mercado.

No passado recente, os sistemas de informação das áreas de engenharia trabalhavam de maneira isolada do dia-a-dia da empresa. Isto é, a direção tinha ideia apenas da quantidade de dinheiro e tempos gastos. Os resultados eram vistos no final, com o produto pronto. Com essa integração de ERPs e as outras ferramentas, a gestão integrada de todos o ciclo de vida dos produtos está se tornando uma realidade... (ROZENFELD; FORCELLINI; AMARAL, 2006, p.76).

No capítulo seguinte uma das ferramentas mais importantes para o Desenvolvimento de produto será abordada bem como os conceitos básicos e diferenças.

## CAPÍTULO 2 – DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR (CAD)

Neste capítulo, serão abordados os conceitos básicos de software CAD, visto que em muitas empresas as ferramentas CAD e CAM trabalham conjuntamente durante todo o Processo de Desenvolvimento de Produto e o processo produtivo.

### 2.1. Definição

A sigla CAD pode ser traduzida de duas formas com uma diferença mínima. “*Computer Aided Drafting*” que para o português interpreta-se como Desenho Auxiliado por Computador, porém a palavra desenho representa a criação de desenhos técnicos que utilizam-se de vistas em duas dimensões, vistas conhecidas nacionalmente como Vistas Frontal, Lateral Esquerda e Superior. Portanto essa tradução pode ser designada para trabalhos em duas dimensões.

O CAD também pode ser conhecido da língua inglesa como “*Computer Aided Design*” que se aplica aos desenhos desenvolvidos em três dimensões, desenhos industriais aplicados nos modelamentos e detalhamentos importantes na concepção do produto de forma real. (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 75)

Basicamente o CAD pode ser conhecido como um Software destinado a usuários que necessitam criar ou redesenhar produtos ou projetos inteiros de máquinas.

Prado e Lara (2005, p.6) afirmam que o Desenho Auxiliado por Computador embora tenha nascido devido às necessidades de precisão, confiabilidade e altos números de projetos em desenvolvimento na indústria mecânica (Aeronáutica e Automobilística) essa tecnologia foi disseminada nos mais diferentes ramos de desenvolvimento de projetos.

Vale considerar a argumentação de Souza e Ulbrich (2009, p. 76) ao afirmar que os sistemas CAD são aplicados efetivamente em variadas áreas como, por exemplo, nos projetos arquitetônicos, para o desenvolvimento de placas eletrônicas e quadros elétricos na engenharia elétrica, no desenvolvimento estético de produtos pelos designers. E também, principalmente no desenvolvimento de projetos mecânicos como dispositivos mecânicos, veículos e máquinas pelos projetistas e engenheiros mecânicos.

Pela sua história, o CAD teve seu início com o desenvolvimento de um tipo de prancheta eletrônica que possibilitava ao desenhista desenhar sobre esta prancha os seus

projetos em duas dimensões e armazená-los para a documentação formando os bancos de dados dos projetos em criação.

O que era apenas uma ferramenta de criação de produtos em duas dimensões com capacidade de armazenamento de desenhos hoje se transforma numa gama de softwares que além de auxiliar o desenhista em suas tarefas possibilitam a concepção de produtos de forma a modelar as peças em três dimensões, a simular suas montagens e fixações com outras peças, a simular seus movimentos após sua montagem, a documentar e a detalhar seus desenhos para os formatos técnicos (geração de vistas em 2D), destacam Prado e Lara (2005, p.7).

## **2.2. Classificações dos sistemas CAD**

Segundo Souza e Ulbrich (2009, p. 77-81) os sistemas de Desenho Auxiliado por Computador são classificados segundo seus objetivos de aplicação que estão ligados ao seus custos e suas capacidades de representações geométricas. Tal classificação não é normalizada e apenas auxilia no entendimento dos sistemas CAD.

Essa classificação é citada abaixo:

- Sistemas CAD do tipo High-end;
- Sistemas CAD do tipo Middle-end,
- Sistemas CAD do tipo Low-end.

Os softwares CAD classificados como Low-end são os softwares que iniciaram as tecnologias do desenho auxiliado por computador. Seu “pequeno porte” oferece ferramentas para a criação de vistas como segmento de retas, círculos e curvas usando-se de cálculos matemáticos simplificados.

É necessário ressaltar que os CADs de pequeno porte são como pranchetas eletrônicas, ou seja, para o desenho de cada vista do produto ele depende inteiramente do usuário. Caso o desenhista se esqueça de alguma linha no detalhamento do projeto este erro permanecerá até que seja percebido e corrigido pelo usuário. Isso mostra que o software é apenas uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento do produto, porém um projeto bem executado depende inteiramente da capacidade de interpretação em desenho técnico do usuário.

Os softwares de médio porte (Middle-end) oferecem os recursos de trabalho em três dimensões. Sendo que o usuário irá projetar o produto em sua vista realística conseguindo visualizar todos os seus lados. Os CADs Middle-end possuem recursos que transferem as

características geradas em 3D para os desenhos em duas dimensões conseguindo criar arquivos com os desenhos técnicos e suas vistas instantaneamente sem o auxílio do usuário.

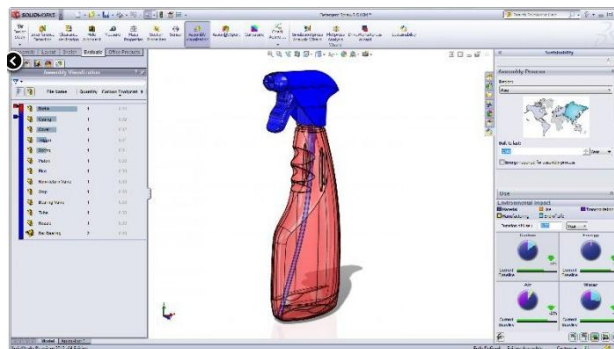
A montagem e análise de interferência entre os conjuntos é possível nesta classificação de CAD bem como a obtenção do volume e do baricentro dos produtos projetados.

Apesar de todas essas características positivas, os CADs de médio porte não possuem interligação direta com CAM (Manufatura Auxiliada por Computador), CAE (Engenharia Auxiliada por Computador) ou CAI (Inspeção Auxiliada por Computador) e necessitam que seus projetos sejam transformados em formatos especiais para que estas tecnologias consigam utilizá-los.

Alguns exemplos de softwares de médio porte são: Solidedge, Solidworks e Topsolid.

A Figura 3 exemplifica um projeto desenvolvido no software Solidworks visualizando sua montagem final componente por componente em três dimensões.

Figura 3 - Projeto desenvolvido no software Solidworks



Fonte: <http://www.ska.com.br/produtos/index/1/Solid-Works-CAD-3D>

Já os sistemas CAD High-end trabalham com vários módulos unidos em um só, isso possibilita ao usuário a desenvolver seu produto no módulo de CAD do software e logo depois alterar o ambiente para o módulo CAM podendo assim utilizar as ferramentas de Manufatura para simular a usinagem e gerar os programas para as Máquinas à CNC, logo depois se o usuário quiser testar o produto no módulo CAE simulando seus movimentos e levantando dados como peso, pressão, limites de torção e fadiga ele consegue sem que necessite fechar o programa ou ter que exportar o arquivo com outra extensão.

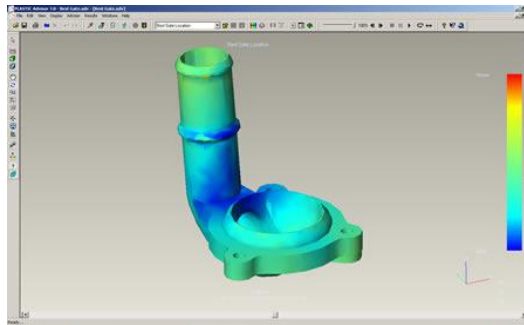
Portanto, quando refere-se aos softwares de CAD de grande porte trata-se de um sistema CAD que suporta todo um pacote de outros softwares juntos e interligados que



trabalham simultaneamente sem a necessidade de intervenção humana para tratar os arquivos. Exemplos dos sistemas de grande porte são: Catia (da empresa IBM), ProEngineer (da empresa PTC) e o NX (da empresa Siemens PLM). (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 87-88)

Logo abaixo, na Figura 4, segue um exemplo do módulo “Plastics Advisor” do software de grande porte ProEngineer que simula a injeção de uma peça por molde plástico.

Figura 4 - Simulação no Sistema CAD "ProEngineer"



Fonte: <http://www.partnervision.com.br/software/proengineer/item/proengineer/analise-de-injecao.html>

### 2.3. Software CAD, CAM e CAD/CAM

Deve-se diferenciar antes de tudo um software de Desenho Auxiliado por Computador de um software de Manufatura Auxiliada por computador.

Um programa que ajuda o desenvolvimento e criação de produtos capaz de oferecer ao usuário ferramentas que podem criar linhas, arcos, esferas, cubos e dar formas às peças projetadas é de fato considerado um software CAD. Ele proporciona especificamente aos usuários ferramentas de criação de projetos, desenhos industriais.

De acordo com Souza e Ulbrich (2009, p. 39), o CAD tem como função principal ajudar no modelamento e no desenho das mais diversas peças por meio do computador.

Hoje costuma-se denominar um sistema CAD softwares que além do ambiente de desenho oferece um outro ambiente próprio para a simulação da manufatura do desenho desenvolvido anteriormente, o qual é chamado de CAM. Todo o software que possui os dois ambientes integrados num mesmo sistema e interage com as trocas de tela sem que necessite de transformar a extensão do arquivo em trabalho é de fato classificado como um programa CAD/CAM.

O erro de titular um programa CAD/CAM como apenas CAD originou-se na década de 1970 por que naquela época adquiriam-se softwares com estes dois módulos incluídos só

que como as empresas não tinham tanto acesso às máquinas a CNC elas não usavam o módulo CAM do sistema. E isso contribuiu para que até hoje os sistemas CAD/CAM fossem classificados apenas como programas para desenhar produtos. (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 76).

Já os softwares CAM proporcionam grande variedade de ferramentas específicas para a geração de estratégias de usinagens e operações diversas para os desbastes e acabamentos dos produtos projetados pelo CAD. Mesmo dentro de um software CAM é possível editar as características dos produtos, porém com muito menos recursos que um software CAD poderia oferecer.

Segundo Prado e Lara (2005, p.22-23) os softwares CAM geram os caminhos das ferramentas de usinagem tomando como fronteiras a serem obedecidas o desenho do produto feito no próprio CAM ou num software CAD e também são capazes de simular as operações de forma realista, demonstrar as possíveis colisões e gerar os códigos necessários às máquinas à CNC.

Prado e Lara (2005, p.22) ainda argumentam que a tecnologia CAD tem como uma das mais importantes funções promover a integração entre as duas áreas que muitas vezes são distantes e até opostas dentro das empresas, o setor de projetos e o setor de produção. Pois os projetos são desenvolvidos via CAD e então transferidos as pessoas responsáveis pelas programações das máquinas computadorizadas nas linhas de produção que irão em comunicação com o pessoal de projetos abrir os desenhos no módulo ou no software CAM, discutir e gerar as melhores maneiras de se usar os produtos garantindo o sucesso do projeto elaborado.

Em uma visão mais ampla dos processos produtivos nas mais diferentes empresas os sistemas CAD/CAM classificam-se no grupo de desenvolvimento e de fabricação.

Souza e Ulbrich (2009, p. 33) demonstram na Figura 5, logo a seguir, a importância das tecnologias CAx (CAD, CAM, CAE, CAI) para o alcance dos objetivos das cadeias de manufatura nas mais diferentes empresas percebendo a sua interligação com cada fase do processo produtivo.

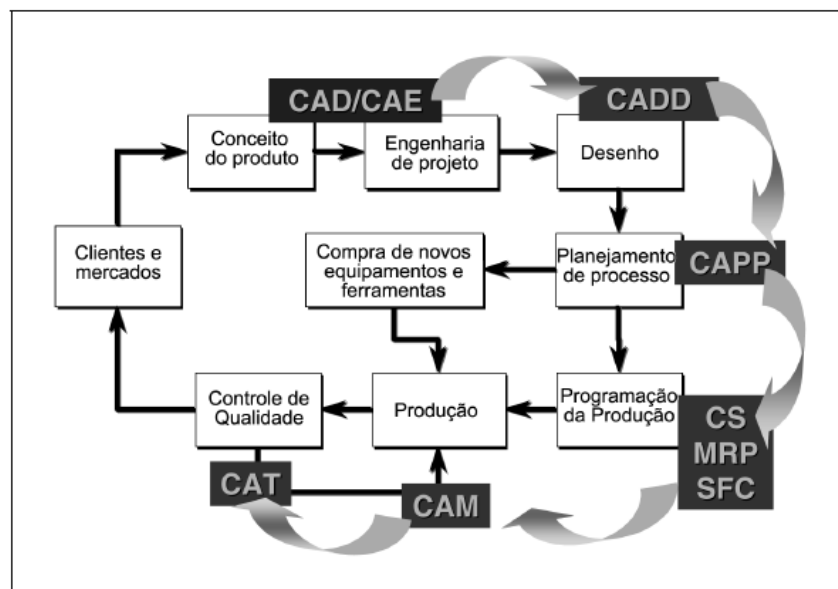
Figura 5 - Cadeia de Manufatura



Fonte: SOUZA; ULBRICH (2009, p. 33)

A importância do CAD é ressaltada na Figura 6, ilustrando o caminho percorrido de um produto desde seu desenvolvimento até a chegada ao cliente sendo projetado por meio do auxílio das tecnologias CAX.

Figura 6 - Interligações entre os sistemas CAX



Fonte: Curso Técnico em Mecatrônica: Apostila Desenho Assistido por Computador. SENAI, p.9.

O Desenho Auxiliado por Computador oferece além dos projetos físicos (desenhos técnicos impressos) a possibilidade de outros softwares utilizarem seus desenhos em forma

eletrônica proporcionando ao cotidiano das empresas uma maior agilidade nos processos de Manufatura Auxiliada por Computador. Este assunto é demonstrado amplamente no capítulo seguinte.

## CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA CAM

A sigla CAM vem do inglês “*Computer Aided Manufacturing*” que traduzido quer dizer: Manufatura Auxiliada por Computador.

Manufatura é um termo muito abrangente que significa tecnicamente a ação de confeccionar um produto planejado. Comumente atribui-se o termo à várias ações, como colar duas partes de madeira, ou costurar as bordas de um tecido dando a forma desejada. Porém hoje, no meio industrial moderno e competitivo que existe, o termo Manufatura tornou-se muito mais que isso, pois traz em si uma bagagem de história, evolução e tecnologia. (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 255)

### 3.1. Definição

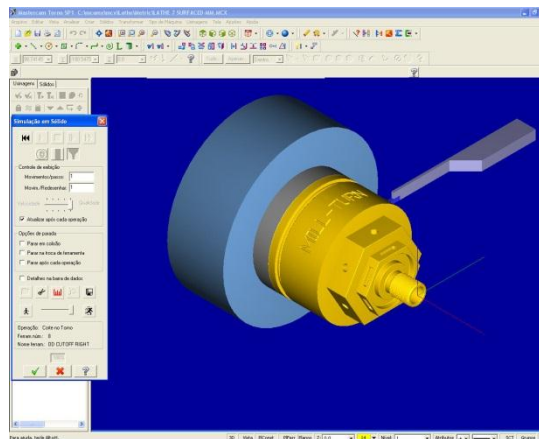
A Manufatura Auxiliada por Computador é traduzida hoje na indústria como softwares de tecnologia de ponta que são capazes de auxiliar o desenvolvimento da manufatura de um produto esperado e projetado anteriormente. Em outras palavras, são softwares matemáticos que tem a capacidade de suportar a elaboração de desenhos de peças ou receber os desenhos das peças já detalhados e oferecerem ferramentas próprias para a elaboração das estratégias de usinagem em sua plataforma.

Segundo Prado e Lara (2005, p.22), elaboradores da Apostila Desenho Assistido por Computador: curso técnico em Mecatrônica, o sistema CAM é um grande aliado dos programadores de máquinas à CNC, pois essas máquinas controladas numericamente necessitam de inúmeras sequências de linhas que trazem coordenadas que as ferramentas de corte obedecerão quando estiverem em regime de funcionamento produtivo.

Sendo assim, o grande desafio dos programadores que trabalham com essas máquinas é a elaboração do percurso das ferramentas quando as peças a serem confeccionadas necessitam de um número grande de operações até ficarem prontas, ou, na maioria dos casos, quando as peças apresentam perfis complexos.

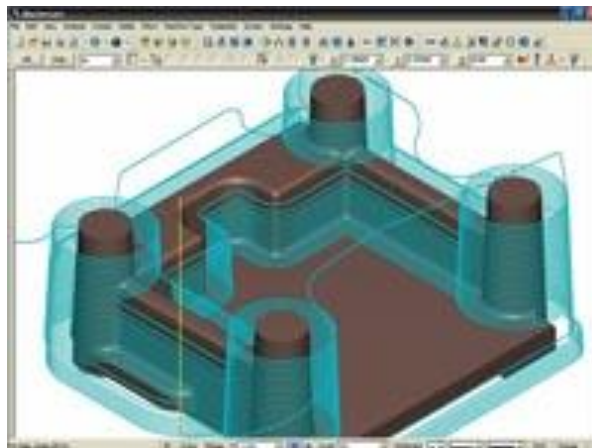
Na Figura 7 segue um exemplo de programação CAM elaborada para Torneamento e na Figura 8, a programação CAM elaborada para Fresamento.

Figura 7 - Programação CAM para Torno



Fonte: [http://www.ascongraph.com.br/Mastercam\\_Torno.htm](http://www.ascongraph.com.br/Mastercam_Torno.htm)

Figura 8 - Programação CAM para Fresamento



Fonte: [http://www.ascongraph.com.br/Mastercam\\_Fresa.htm](http://www.ascongraph.com.br/Mastercam_Fresa.htm)

É neste grau de complexidade industrial que os Softwares CAM se destacam, afinal são capazes de oferecer simulações de usinagem com as ferramentas idênticas às reais, mostrando na tela do computador como o produto ficará após a usinagem, e o mais incrível, gerando as coordenadas dos percursos das ferramentas de corte numa linguagem que a máquina CNC é capaz de interpretar.

Para Souza e Ulbrich (2009, p. 255) a Manufatura Auxiliada por Computador pode ser largamente empregada para a programação de máquinas CNC de diferentes tipos como por exemplo: Fresadoras a CNC, Fresadoras a CNC de altas velocidades, Tornos a CNC com ou sem eixo Y, Furadeiras, Eletroerosão a fio, Retificadoras CNC, Centros de Torneamento, entre outros.

Os autores Souza e Ulbrich (2009, p. 255), ressaltam que existem vários sistemas CAM, em sua maioria obedece duas estruturas diferentes sendo que a primeira é uma estrutura conhecida como “*Turnkey*”, que são pacotes de softwares que interagem entre si para otimizar os recursos de desenvolvimento de produtos e manufatura oferecendo as famosas plataformas CAD/CAM. Essas plataformas dispõem de recursos para a geração do desenho industrial assistido por computador e posteriormente, sem muitos comandos executados troca-se de ambiente e então ferramentas específicas de usinagem são oferecidas para a simulação da usinagem do produto que acabou de ser desenhado. A segunda estrutura é aquela que abrange os softwares independentes, ou seja, que oferecem uma grande gama de ferramentas para a simulação de usinagens e estratégias de usinagem e recursos de desenho acoplados ao mesmo ambiente de manufatura. Estes softwares podem trabalhar sem problemas importando os desenhos de outros softwares que são especialistas em projetos.

Alguns formatos considerados como padrão para a importação de desenhos são:

- IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*);
- STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*),
- VDA-FS (*Verband Der Automobilindustrie – FlächenSchnittstelle*).

Em outras palavras, o projetista modela a peça, gera o desenho em algum destes formatos, o CAM importa este desenho e consegue-se gerar a programação deste modelo de peça conforme as escolhas das estratégias e ferramentas que melhor convém à execução real (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 256).

Pode-se dizer então que, a tecnologia CAM nada mais é que sistemas computacionais que conseguem desenvolver o controle das operações de manufatura na área produtiva, planejando e gerenciando as manufaturas interligada com a área de produção.

Já para Martins e Laugeni (2006, p. 481), o CAM é um sistema que executa as operações seguindo as instruções de um computador. Com o controle internamente no software dos avanços de usinagem, velocidades de corte, rotação do eixo árvore e profundidades dos passes para retirada de cavacos, ele é capaz de executar a usinagem nas dimensões esperadas usando dispositivos servomecânicos aplicando forças e momentos.

Vale enfatizar ainda que, os softwares CAM devem oferecer ao programador os cálculos das trajetórias das ferramentas de forma que o produto venha a ser usinado corretamente, ou seja, o programador precisa ter a possibilidade de simular a usinagem calculada na tela do computador e por fim fazer a codificação em arquivos NC que é o formato da programação que a máquina CNC vai ler depois.

### 3.2. História dos softwares CAM

A criação dos softwares CAM, teve seu início juntamente com o desenvolvimento das máquinas ao comando numérico. O primeiro setor do ramo industrial que adotou máquinas CNC foi a indústria aeronáutica.

As peças a serem usinadas possuíam geometria complexa, o que dificultava muito a geração dos programas CNC. Era necessário aprendizado e treinamento específicos dos programadores.

De acordo com Prado e Lara (2005, p.22), os programas CAM foram desenvolvidos pela necessidade de criação de programas para as máquinas CN. Sua primeira exibição foi executada na década de 1950, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), chamava-se APT (*Automatically Programed Toll*) e era baseado em linguagem de alto nível composta de conjunto de comandos que compunha o programa fonte submetido ao processador APT .

Na Figura 9, são vistos os primeiros testes realizados no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) com o software de Manufatura Auxiliada por Computador.

Figura 9 - Programador no MIT



Fonte: Prado e Lara (2005, p.22)

O Software interpretava o programa fonte e gerava um conjunto de dados que continha a trajetória da ferramenta. Esses dados seriam tratados por outros software chamado pós-processador cuja função era gerar o programa CNC na forma específica de cada comando numérico. O software só rodava em Mainframes caros. (PRADO; LARA, 2005, p. 20).



Tais sistemas necessitavam de grandes e poderosos computadores, chamados de *Workstation* que trabalhavam a parte do desenho industrial podendo gerar os perfis das peças e transferir os desenhos para a área de manufatura simulando as trajetórias da ferramentas iniciando a interface entre CAD e CAM.

Souza e Ulbrich (2009, p. 256) afirmam que uma grande evolução dos sistemas CAM aconteceu na década de 1980 e 1990, pois esses softwares foram implantados nas indústrias dando a oportunidade da integração CAD-CAM. Afirmam que a partir de 1990 com o desenvolvimento das tecnologias computacionais, tanto para hardwares como para softwares, os sistemas CAM puderam ser instalados nos computadores pessoais. Porém, a manufatura auxiliada por computador apresentava em seus códigos gerados para as máquinas muito erros de programação, erros de coordenadas que em muitos casos as ferramentas invadiam o perfil da peça proporcionando colisões.

Os cálculos das trajetórias que eram feitos para as ferramentas (transformação da linguagem visual que o software proporcionava para a linguagem codificada que as máquinas entendiam) levavam horas para serem processados pelos computadores e isso tornava o processo extremamente vagaroso. Assim, os programadores eram forçados a deixarem seus computadores compilando durante toda a noite os programas de usinagem para serem usados no outro dia, sendo que mesmo assim continham vários erros de trajetórias o que levava a crer não serem muito confiáveis. (SOUZA E ULBRICH, 2009, p. 257).

Atualmente, porém, graças à rápida e constante evolução dos eletrônicos, os sistemas CAM estão num patamar de evolução que os tornaram extremamente confiáveis e rápidos: processam os programas, fazem as simulações em três dimensões num período muito curto e sem inconvenientes no processamento, e ainda, uma vez que os cálculos das trajetórias foram melhorados, apresentam total confiabilidade diante das programações feitas.

Com isso, as empresas têm a possibilidade de competirem no mercado usando até cinco graus de liberdade nas operações de fresamento ( uso de máquinas com 05 eixos).

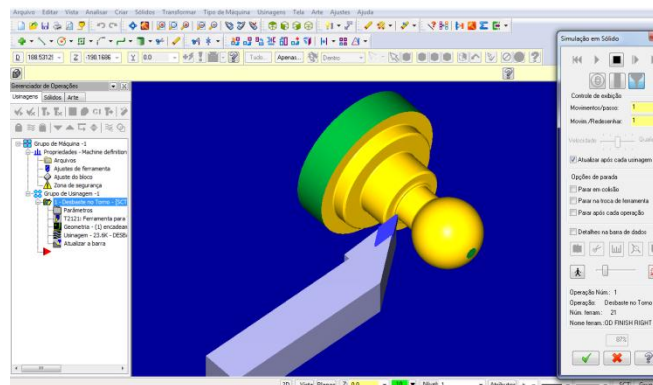
Outro ponto de vista que comprova tal evolução está no artigo publicado pela Revista FUCAPI (Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica) de junho de 2003 ao mencionar

... que o perfil dos usuários de sistemas CAD/CAE/CAM está mudando afinal. Cada vez mais se valoriza a facilidade de uso e de aprendizado dos sistemas. Os comandos devem ser mais intuitivos, autoexplicativos e possuir inteligência associada que resulta em menos interações do usuário com o mouse e o teclado.

Dentre os inúmeros exemplos de softwares CAM que podem ser encontrados no mercado, estão os que possuem boa aceitação no mercado brasileiro: *Mastercam*, *Edgecam*, *Goelam* e *Powermill*. entre outros.

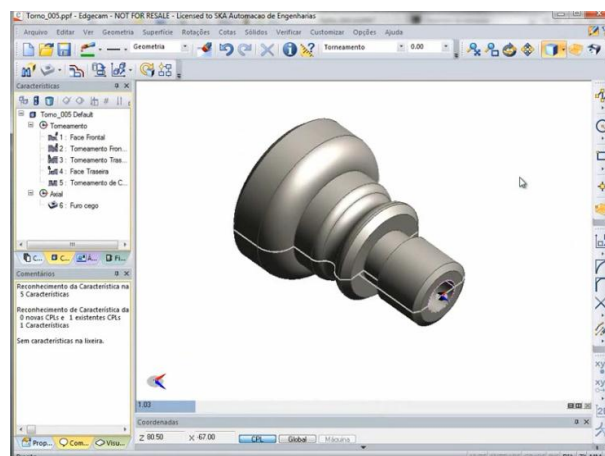
Abaixo, nas Figuras 10 e 11, seguem os exemplos das Interfaces *Mastercam* e *Edgecam* no módulo Torneamento demonstrando a simulação de usinagem em 3D.

Figura 10 - "Mastercam" Versão X4 - Torneamento



Fonte: [http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02\\_06.pdf](http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02_06.pdf)

Figura 11 - "Edgecam" 2012 - Torneamento



Fonte: [http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02\\_06.pdf](http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02_06.pdf)

Em suma, a tarefa principal do software de CAM seria a interpretação do programa fonte gerando um conjunto de dados que continham as trajetórias das ferramentas; esses dados seriam tratados por outro software chamado pós-processador, cuja função é gerar a programação CNC na forma específica de cada comando numérico.

### 3.3. Vantagens da Aplicação do CAM

A utilização dos softwares CAM trazem inúmeras vantagens, por exemplo, a eliminação de erros de coordenadas dos trajetos das ferramentas bem como colisões entre ferramenta e peça na usinagem, aproximação e recuo do ferramental nas operações. Cálculos de operações específicas como rosqueamento (cálculos de altura dos filetes e profundidades do primeiro passe para a retirada de material na rosca) não são requeridos, uma vez que os softwares oferecem campos a serem completados ficando o CAM responsável pelos cálculos de coordenadas de profundidade entre as passadas.

Além disso, os perfis complexos nas mais variadas peças são feitos com rapidez e de forma simples nos softwares de CAM. Peças como turbinas, hélices, moldes para injeção e sopro são exemplos de produtos que hoje são usinados com precisão em 0.001mm o que antigamente não era possível.

Com as simulações consegue-se extrair os melhores tempos de usinagem podendo substituir as ferramentas e seus parâmetros de corte facilmente no software aumentando a produtividade nas máquinas.

O CAM possibilita a otimização do processo de usinagem, e as empresas tem consciência de que o investimento é necessário. O aumento do rendimento da máquina CNC paga o investimento do software em curto prazo. (FERES, 2007, p.8)

Dentre as mais variadas aplicações, é comum encontrar na indústria o uso dos softwares de CAM para o auxílio da usinagem em máquinas de diferentes construções, como já dito anteriormente, porém a evolução dessa tecnologia está levando as empresas desenvolvedoras destes softwares a adicionarem outros módulos juntamente com o CAM.

Alguns modelos de CAM hoje além de proporcionar a geração dos códigos CNC, oferecem ferramentas que veem a auxiliar a engenharia de processos nas várias fases do produto.

É o que ressalta a Indústria SKA, líder no fornecimento de tecnologia para as engenharias brasileiras, no site [www.ska.com.br/produtos/aplicacoes/5/edgcam](http://www.ska.com.br/produtos/aplicacoes/5/edgcam), ao dizer que é encontrado no mercado um software que oferece uma ferramenta que gera folhas de processo junto ao software CAM durante o seu uso. Essa ferramenta dá permissão ao programador para incluir informações importantes referentes a uma tarefa, adicionar nestas folhas de processo a lista das ferramentas a serem usadas bem como ilustrações do

ferramental e fotos de como deve-se proceder para efetuar o setup da máquina CNC, e ainda publicar a folha de processos na intranet da empresa em formato HTML

Alguns programas CAM podem oferecer a praticidade do programador criar seus arquivos pós-processadores, ou seja, arquivos que contém as características importantes de cada máquina CNC disponível no ambiente fabril, como por exemplo, os limites de curso dos eixos de trabalho, máxima rotação do eixo-árvore, existência de alimentador de barras, entre outros.

Hoje, devido à globalização de disseminação maciça das tecnologias é muito fácil encontrar num parque fabril muitas marcas de máquinas a CNC, sendo que cada uma delas necessitam de um pós-processador diferente. Sendo assim, cada máquina pode receber os programas criados no CAM se o programador criar um pós-processador para elas.

Como afirmam Prado e Lara (2005, p. 21-24), a aplicação de programas CAM na área de eletroerosão também é encontrada no mercado facilmente. Essas máquinas que funcionam basicamente com a retirada de material das peças por descarga elétrica são capazes de produzir nas peças formatos complexos que nenhum centro de usinagem, torno ou centro de torneamento é capaz de usinar usando peças feitas em grafite ou cobre que possuem os formatos que desejam ser impressos nos produtos. Quando se aplica um programa CAM que suporta este nível de programação, as usinagens via eletroerosão ganham alta flexibilidade e confiança nos códigos gerados para que as instruções saiam conforme o desejado e planejado no CAM.

No fresamento de peças com formas variadas os programas CAM são aplicados largamente principalmente pela complexidade de se programar os centros de usinagem manualmente. Independente de qual seja o software que auxilia a manufatura nesta área, em suas caixas de ferramentas são encontrados em larga escala as estratégias de usinagem ficando à disposição do programador escolher a mais indicada dependendo do tipo de peça.

Na usinagem de moldes e matrizes atualmente é impossível pensar em desbastes e acabamentos desses elementos sem um programa de manufatura auxiliada por computador. A maioria desses programas oferecem estratégias e até módulos especialmente dedicados à usinagem de moldes para injeção, conformação e matrizes proporcionando à máquina a usinagem a partir dos sólidos e superfícies em 3D importadas dos programas CAD. (PRADO; LARA 2005, p. 40-42)

Além disso, esses programas também são usados para programar usinagens de moldes que serão confeccionados em máquinas de alta performance, ou seja, máquinas que possuem rotações bem altas e avanços dos carros bem maiores do que o normal.

Para o torneamento de peças complexas ou com o objetivo de diminuição dos tempos de programação, os programas de manufatura auxiliada por computador estão intimamente envolvidos. Os cálculos complexos de coordenadas para o desbaste de peças com perfis como esferas, com concordâncias entre raios ou ângulos e raios levam tempo e transformam os preços de produção.

Assim, o CAM está sendo aplicado grandemente neste segmento.

### **3.4. Casos de Uso do CAM**

A seguir, serão exemplificados alguns casos, dentre vários, onde o uso do software CAM funcionou e trouxe satisfação a seus usuários.

#### **3.4.1. Implantação do Mastercam na Empresa Northstar Aeroespacial**

Northstar Aeroespacial é uma empresa que fabricava e comercializava peças do segmento aeroespacial na cidade de Duluth, Minnesota (EUA). O grande desafio foi lançado quando ao invés de apenas comercializar, a empresa passaria a produzir as peças do segmento com características como a agilidade e a flexibilidade para usinar projetos de qualquer tamanho conforme a necessidade do cliente. Com este objetivo, a Northstar decidiu automatizar na medida do possível a geração dos programas que seriam gerados para as máquinas a CNC.

O software CAM na empresa serviria para os programadores testarem as diferentes estratégias de usinagem escolhendo assim a mais viável e resolvendo problemas potenciais, ou seja, antes que a peça fosse colocada na máquina para a usinagem. Num ambiente totalmente virtual, sem precisar usar os recursos materiais como as máquinas, ferramentas e dispositivos os programas deveriam ser criados e simulados no computador prevenindo colisões e otimizando os caminhos das ferramentas.

Don Winberg, um dos representantes da Northstar Aeroespacial relata no site [www.mastercam.com/successstories/Aerospace/articles4.aspx](http://www.mastercam.com/successstories/Aerospace/articles4.aspx), que o programa CAM

escolhido se encaixa perfeitamente à necessidade de sua empresa, pois as formas complexas dos produtos são frequentes e, além disso, o programa de Manufatura Auxiliada por Computador selecionado tem capacidade para importar as geometrias de outros softwares CAD dando à Northstar toda a confiabilidade para gerar os ciclos de usinagem sobre a geometria original advinda da empresa cliente extinguindo erros de desenho que poderiam vir à ocorrer se as peças fossem redesenhadas no CAM.

Tal capacidade abriu as portas da empresa para uma remessa de serviço de 300 peças com formas irregulares. Graças à aplicação do *Mastercam X2* a fabricação dessas peças tiveram um tempo muito menor conseguindo entregar os pedidos em questão de meses, o que levaria muito mais tempo se a programação fosse gerada manualmente. Além dessa vantagem, os programas que foram gerados foram simulados no software e quando transferidos para as máquinas a CNC eles ofereceram uma confiabilidade imensa eliminando produtos que vinham a virar sucata em outros tempos por causa dos erros de programação.

A tecnologia CAM proporcionou à empresa sua inclusão em novos ramos de atuação podendo diversificar os tipos de serviço desenvolvendo clientes que necessitam de peças para dispositivos médicos.

### **3.4.2. NREC Obtém Redução do Prazo de Entrega de Prototipagem**

O Centro Nacional de Engenharia Robótica (NREC) é uma unidade do Instituto de Robótica da Universidade de Mellon Carnegie nos Estados Unidos.

Conforme o site [www.mastercam.com/successstories/Prototyping/articles5.aspx](http://www.mastercam.com/successstories/Prototyping/articles5.aspx), para o desenvolvimento dos protótipos e projetos, Jeremy Puhlman, gerente de manufatura e prototipagem da universidade, no ano de 2008, decidiu implantar um programa de Manufatura Auxiliada por Computador e abrir um local considerado como uma pequena empresa dentro do centro de Engenharia e robótica para que, dentro da universidade, fossem usinadas as peças utilizadas nos protótipos. Tal software, o *Mastercam* foi escolhido principalmente por proporcionar a compatibilidade juntamente com o software de CAD Solidworks. Tais programas eram recomendados para os desenvolvimentos de peças que seriam usinadas nas máquinas CNC do NREC.

Todavia, Puhlman não tinha nenhuma experiência com programas CAM, apenas um tempo de projetos no software de CAD. Porém, com a tecnologia sendo implantada e ao experimentar seus recursos ele achou muito produtivo e interessante a sua utilização.

Entusiasmado, ele afirma que o programa CAM oferecia recursos como a inserção de diferentes profundidades de corte na usinagem, recursos de cronometragem de tempos de usinagem conforme as simulações eram executadas, e o principal é que, a equipe de desenvolvimento ficava a par dos testes que eles executavam produzindo as peças no *Mastercam* primeiramente e verificando seus defeitos em potencial e dificuldades nas fixações das peças para a usinagem podendo corrigir ou melhorar os projetos antes mesmo de serem confeccionados.

Os tempos que antes eram gastos na programação de peças com altos níveis de complexidade foram reduzidos drasticamente. Usinagens que eram programadas em duas a três horas, no software de CAM passaram a ser programadas em trinta minutos. Com os lucros gerados pela diminuição do tempo de entrega, após um ano a loja já havia pago os investimentos das Máquinas a CNC, estava mantendo a mão de obra e inclusive o salário de Puhlman tranquilamente.

### **3.4.3. Redução do Tempo de Programação em Usinagens Complexas na WEG Motores**

A WEG é uma empresa de destaque mundial e excelência em fabricação de motores elétricos para a indústria, situada em Jaraguá do Sul, Santa Catarina desde 1961. Dentre elas encontram-se as unidades de mineração, petróleo e gás, usinas de açúcar e álcool, celulose e papel.

As peças que a WEG utiliza são matérias primas fundidas, com furações e também eixos tendo um parque fabril com várias máquinas diferentes. A equipe de programação CNC se depara com projetos de peças complexas com nível de produção alto e que podem ser executadas em diferentes configurações de máquinas. A saída para esse tipo de situação é o uso dos softwares de Manufatura Auxiliada por Computador que atendem as necessidades particulares deste tipo de mercado.

Silvio Cesar dos Santos, programador CNC da WEG Motores explica no site [www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgcam/42](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgcam/42) que o *Edgecam* foi o programa escolhido para efetuar as programações CNC devido a interface amigável, a integração com o softwares CAD *Solidworks* oferecendo várias estratégias de furação, suporte às variáveis das máquinas existentes e também à usinagem com máquinas CNC com cinco eixos. Com o

*Edgecam* as estratégias de usinagem foram otimizadas uma vez que o software elimina as usinagens em vazio e aumenta a produtividade com as coordenadas mais seguras.

Além disso, a WEG Motores acredita que o uso eficaz da energia elétrica diminui impactos ambientais e reduz despesas além de melhorar a qualidade do ambiente de trabalho e do processo produtivo.

#### **3.4.4. Masipack Aumenta a Produtividade com Edgecam**

Com serviços de reforma e assistência técnica de máquinas embaladoras, nasce no ano de 1987 a Masipack em São Bernardo do Campo, São Paulo. E já no ano seguinte ela lança sua primeira embaladora automática para ensacar pregos.

Com o crescimento dos produtos a fábrica se desenvolveu e hoje possui dezenove máquinas a CNC.

De acordo com Antônio Colombo, supervisor de produção da Masipack em uma matéria no site [www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgecam/45](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgecam/45), o desenvolvimento de novas tecnologias fazem parte da filosofia da empresa que para a melhoria do processo adquiriu o Edgecam com o objetivo de agilizar a fabricação de peças complexas com precisão e rapidez reduzindo o tempo de parada de máquina e o tempo de programação. Outro fator que favoreceu essa decisão foi a integração desse software com o Solidedge e Autocad (Softwares de desenho industrial em duas e três dimensões). O fato de abrir os projetos que foram desenvolvidos nos programas CAD pelo programa CAM sem nenhuma operação proporcionou o ganho de eficiência e foi o principal diferencial para a escolha desse software.

Com o emprego do Edgecam, a Masipack programa de forma eficiente suas peças com operações variadas como furações, rasgos de chavetas, canais e roscas utilizando as máquinas em seu potencial máximo resultando em produtividade e eficiência.

#### **3.4.5. Tecpol Obtém Redução em 30% do Tempo de Programação com o Edgecam**

Sediada em Campo Bom, Rio Grande do Sul a Tecpol é uma empresa na área de ferramentaria que se dedica ao desenvolvimento de tacos de Poliuretano de alta resistência



para os calçados, palmilhas injetadas e peças usadas na agricultura, indústrias de calçados e curtumes.

No site da Tecpol ([www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgecam/44](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgecam/44)) encontra-se a explicação de que no ramo de calçados, os produtos necessitam de precisão e cuidado ao serem projetados por apresentarem superfícies complexas.

Sendo assim, a empresa Tecpol optou pelo uso dos softwares de Manufatura Auxiliada por Computador em 2005 para a produção das matrizes das palmilhas injetadas e passou a utilizar todos os recursos que o Edgecam oferece principalmente com a parte de desgaste e redesgaste apresentando uma redução de 30% dos tempos de programação.

Os softwares CAM são implantados nas empresas com a básica missão de fornecer programas para a usinagem de peças nas máquinas controladas por comando numérico, no próximo capítulo serão explorados os conceitos básicos das Máquinas CNC.

## CAPÍTULO 4 – MÁQUINAS CNC

As máquinas que são controladas por programas que apresentam partes eletrônicas computadorizadas, recebem a sigla “CNC”, que significa Comando Numérico Computadorizado.

### 4.1. Definição

As máquinas à CNC são máquinas-ferramenta dotadas de um computador próprio capazes de receber códigos entre números e letras transformando-os em movimentos produtivos. Movimentos de rotação, lineares ou circulares para que as peças sejam transformadas em produtos acabados por operações conjuntas dessas ações (MORAES; KOBAYASHI, 2003, p.12).

Em geral essas máquinas destinam-se a fabricação de peças por retirada de material, e esses materiais podem apresentar as mais diferentes geometrias, como por exemplo, formas prismáticas, cilíndricas ou mistas. São ideais para a usinagem de lotes pequenos a médios de peças metálicas ou compostos plásticos.

De acordo com Moraes e Kobayashi (2003, p.12), por causa da rapidez de programação e preparação das ferramentas é que as máquinas a CNC proporcionam alta flexibilidade de produção e altos rendimentos mostrando que são projetadas para atingir elevados rendimentos na produção.

Por sua vez, Souza e Ulbrich (2009, p.221) argumentam que o programa que contém as instruções de movimentação para a máquina CNC é responsável pelo serviço realizado e este jogo de instruções organizadas é chamado de ‘Programa CNC’.

Sendo assim, para a usinagem de peças com formatos diferentes, basta modificar o programa CNC para que as máquinas iniciem estes novos lotes de peças oferecendo a rapidez que outras técnicas de automação não fornecem comparando economicamente.

É importante lembrar que as máquinas a CNC apresentam modelos variados de controles computadorizados e características peculiares de funcionamento, porém o seu propósito é o mesmo, facilitar o trabalho humano garantindo a alta qualidade dos serviços executados. (CUNHA; CRAVENCO, 2006, p. 257)

## 4.2. Surgimento do CNC

A tecnologia CNC ainda é considerada nova no mundo de transformação de materiais se comparado a outros processos de transformação.

Pelo que relata Feres (2010, 8 ed., p. 6) em uma matéria da Revista Eletrônica “O mundo da Usinagem”, a máquina a CNC foi uma sucessora da máquina CN (Control Numeric) que por volta de 1960 iniciaram suas aplicações comercialmente. Nesta época, a programação era feita manualmente, ou seja, através das pessoas que trabalhavam de programadores e que escreviam os programas e passavam para a máquina CN

Os programadores, além do conhecimento técnico dos processos de usinagem que não eram poucos já nessa época ainda tinham que dominar todo o conhecimento sobre cálculos trigonométricos e geometria plana.

Já na Apostila Iniciação ao comando numérico: manual de programação e operação CNC Mach 9 ([s.d.], p. 22) desenvolvido pelo SENAI, a máquina CNC teve seus primeiros estudos nos Estados Unidos e a primeira máquina CN construída teve como casa o Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) em 1950. Essa máquina recebeu uma reforma especial que é conhecida como Retrofitting, uma fresadora universal da marca Cincinnati acoplou-se uma unidade de comando que funcionava através de válvulas a vácuo.

Sendo assim, quando a evolução da eletrônica e da informática chegaram as máquinas CN na década de 1970, as máquinas que eram antes alimentadas manualmente com fitas perfuradas passaram a trabalhar com computadores na própria máquina e com softwares específicos para a programação passando o nome de Controle Numérico (CN) para Controle Numérico Computadorizado (CNC).

As máquinas de comando numérico não eram dotadas de memória própria, portanto precisavam que a cada ciclo a ser processado o operador inserisse uma fita repleta de pequenos furos para que a peça então fosse usinada. Cada conjunto de furo e a ausência dos mesmos na fita perfurada indicavam para a máquina as coordenadas a serem seguidas para usinar a peça desejada. (FERES, 2010, p. 9)

A seguir, na Figura 12, encontram-se exemplos de elementos que diferenciam a máquina CN da máquina CNC.

Figura 12 - Painel de Interface, CNC e Motores de acionamento



Fonte: <http://housepress.com.br/mundoUsinagem/secao.asp?idSecao=171>

### 4.3. Principais Características dos Tornos à CNC

Os tornos CNC são máquinas semelhantes aos tornos convencionais, porém com melhorias relevantes. Com a introdução de elementos sofisticados e robustos mecanicamente falando, os tornos a CNC passam a dominar a maioria dos serviços disponíveis no mercado.

As Figuras 13 e 14 exemplificam um torno convencional e um torno computadorizado e controlado numericamente.

Figura 13 - Torno Universal Romi, modelo ES40B



Fonte: [http://www.romi.com.br/mf\\_es\\_401.0.html?&L=0%2Fpecas\\_on\\_line.0.html](http://www.romi.com.br/mf_es_401.0.html?&L=0%2Fpecas_on_line.0.html)

Figura 14 - Torno a CNC Romi modelo Centur 30D



Fonte: [http://www.romi.com.br/mf\\_centur\\_30d000.0.html?&L=0](http://www.romi.com.br/mf_centur_30d000.0.html?&L=0)

Segundo Cunha e Cravenco (2006, p.257-258) os fusos compostos de rosca sem fim e porcas, para os tornos a CNC, foram substituídos por outro sistema que eleva a precisão nas usinagens chamado de Eixo de Esferas Recirculantes. Este conjunto possui o eixo com rosca de perfil redondo que assenta suavemente as esferas recirculantes transmitindo os movimentos para a porca de rosca com perfil redondo eliminando todas as folgas durante as inversões de movimentação dos eixos.

A unidade de comando que é a responsável pelo nome “CNC” foi adicionada a este modelo de torno e trabalha enviando sinais elétricos aos dispositivos eletromecânicos como servomotores, réguas ópticas e cabeçote principal.

O controlador lógico programável (CLP) aciona as funções que são chamadas “Miscelâneas” das máquinas, que nada mais são do que funções físicas, como por exemplo, ligar o fluido refrigerante, ligar o eixo-árvore, abrir e fechar a placa, avançar a contra-ponta, entre outras.

Para a movimentação dos eixos que movimentam as ferramentas no torno CNC são necessários mecanismos chamados de servomotores que são motores elétricos que obedecem à dispositivos de monitoramento fazendo com que estes dispositivos apliquem as variações de rotação e avanços dos carros porta ferramentas. Seu monitoramento é feito por meio de transdutores que levam ao comando uma resposta em forma de sinal sobre o processo que está sendo executado. (SOUZA; ULBRICH, 2009, p. 214-216)

Dessa forma, os servomotores e os dispositivos quando trabalham em sincronia formando o Torno a CNC, podem proporcionar a empresa muitas vantagens.

Pelo que apresenta Moraes e Kobayashi (2003, p.13), se comparar o preço de uma máquina a CNC com o valor de uma máquina ferramenta convencional vê-se uma enorme diferença, uma vez que as máquinas dotadas de comando numérico computadorizado são apresentadas ao mercado com um preço muito mais elevado do que as máquinas convencionais, porém, o investimento alto inicialmente traz um retorno muito satisfatório e em curto prazo se esse equipamento for utilizado em trabalho de regime contínuo.

Os reduzidos tempos de setup das máquinas a CNC são considerados importantíssimos no setor de usinagem por que o produto fica com um preço menor e consequentemente a empresa consegue melhores condições de competição no mercado.

Uma vez que as ferramentas são acopladas à máquina a CNC e os programas testados e otimizados, o tempo em que se executa uma nova preparação para depois usinar o mesmo produto é muito menor.

Sendo assim, o programador que prepara as máquinas ao Comando Numérico só terá que fixar novamente o ferramental, executar a regulagem (*presseting*) das ferramentas e carregar o programa na memória da máquina.

Uma vez preparada a máquina, os tempos secundários que são os tempos que o equipamento leva para trocar automaticamente de ferramenta, alimentar a máquina com o produto bruto e tempos de aproximação e recuo das ferramentas sobre a peça são reduzidos, levando à altas produtividades.

Abaixo tem-se um exemplo (Figura 15) de furação transversal na peça através a ferramenta acionada.

Figura 15 - Torno CNC com ferramenta acionada



Fonte: <http://www.ergomat.com.br/TND250.htm>

De acordo com Moraes e Kobayashi (2003, p. 12), por causa da capacidade do trabalhar em dois ou três eixos simultaneamente, os tornos a CNC proporcionam a usinagem através de operações como côncavos e convexos, esféricos, roscas esquerdas e direitas, canais axiais e radiais e ainda furos, operações internas e externas nas peças conseguindo usinar materiais brutos, com altas e baixas durezas e materiais semi-preparados como o ferro fundido e o alumínio fundido. Isso torna não só os tornos, mas todas as máquinas a CNC equipamentos de altíssima flexibilidade no ambiente produtivo.

Por essa característica singular dos CNC's é que a indústria quando adquire tal tecnologia cessa a compra de ferramentas com formas especiais ou ferramentas com formato completo economizando investimentos consideráveis.

O mesmo acontece com a compra de dispositivos de usinagem, que antes eram necessários, hoje com as trocas das ferramentas e versatilidade nas trajetórias das mesmas, as máquinas a CNC dispensam gabaritos para a confecção das peças.

Na Figura 16, é apresentada uma torre porta ferramentas com 12 posições, mostrando a versatilidade que o operador pode ter para fixar as ferramentas de corte.

Figura 16 - Torre Porta Ferramentas com 12 posições - Ergomat



Fonte: <http://www.ergomat.com.br/TND400.htm>

O corpo monobloco das máquinas a CNC são projetados para trabalhar em alta rigidez, proporcionando às mais difíceis situações de usinagem um alto grau de segurança no momento do corte do material assegurando o atendimento das mais estreitas tolerâncias

dimensionais e geométricas minimizando por consequência os índices de refugo das peças produzidas.

Além de atender às pequenas amplitudes de tolerância, esse tipo de equipamento oferece ao trabalho um poder de repetibilidade imenso economizando assim as frequências das avaliações do produto quando saem da máquina a CNC dando confiabilidade ao processo de usinagem. (MORAES; KOBAYASHI, 2003, p. 13).

Um melhor controle dos tempos de usinagem é garantido com estas tecnologias graças a eficiência do maquinário após a otimização do processo de usinagem dando a equipe de planejamento da produção valores acurados de tempo importantes para o estabelecimento dos prazos de entrega dos produtos em usinagem.

Outro fator de grande importância é a ergonomia do ambiente de trabalho que os operadores das Máquinas à CNC encontram quando atuam nestes postos, pois eles se deparam com uma menor necessidade de manejo dos equipamentos da máquina, peças e instrumentos de medição. O que diminui o índice de fadiga do operador que presta serviços nesses ambientes de produção.

#### **4.4. Sistemas de Coordenadas dos Tornos à CNC**

A programação de tornos à CNC é baseada no sistema de coordenadas chamado Sistema Ortogonal ou Sistema de Plano Cartesiano. O Torno ao Comando Numérico Computadorizado possui um sistema que necessita a digitação das coordenadas em dois eixos imaginários, o eixo “X” conhecido como eixo das ordenadas e o eixo “Z” chamado de eixo das abscissas.

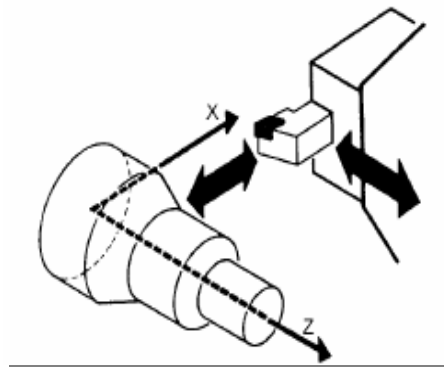
Nessa máquina computadorizada o eixo que estabelece as dimensões dos comprimentos das peças e de seus detalhes é o eixo “Z” e, portanto, o eixo “Z” passa exatamente sobre a linha de simetria localizada ao longo do centro do eixo-árvore do torno. Já o eixo “X” descreverá as movimentações para a usinagem dos diâmetros desejados na peça em usinagem e consequentemente perpendicular ao eixo de simetria da máquina. (CUNHA; CRAVENCO, 2006, p. 259)

Sendo assim, a origem do sistema de coordenadas do torno CNC é estabelecido conforme os procedimentos que cada fabricante oferece em seus treinamentos e apostilas, esta origem é tecnicamente chamada de “Zero Peça”.

Segue na Figura 17, demonstração de um sistema de coordenadas no Torno CNC considerando a origem das coordenadas (Zero Peça) na face traseira da peça.



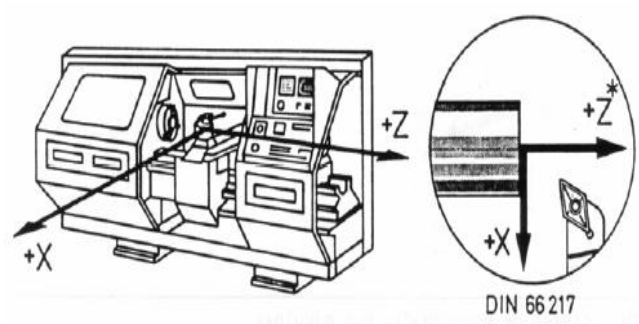
Figura 17 - Sistema de Coordenadas para Torneamento



Fonte: Moraes e Kobayashi, 1ed., 2003, p.55

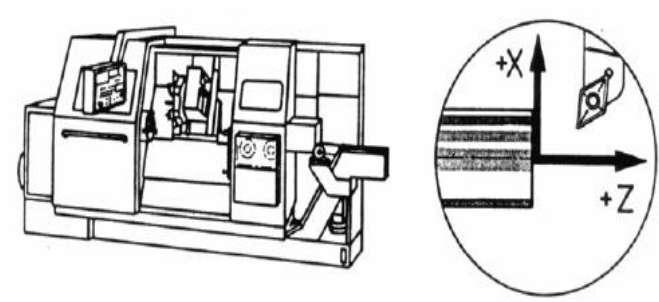
Nas Figuras 18 e 19 pode-se ver a diferença no sistema de coordenadas do torno CNC com porta ferramentas na parte dianteira e traseira.

Figura 18 - Torno com a Torre Porta Ferramentas na parte dianteira



Fonte: Moraes e Kobayashi, 1ed., 2003, p.57

Figura 19 - Torno com a Torre Porta Ferramentas na parte traseira

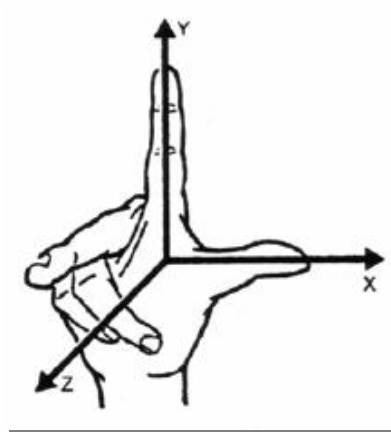


Fonte: Moraes e Kobayashi, 1ed., 2003, p.57

A Norma Mercosul (NM 155:1998) ressalta que para as máquinas com peças que trabalharão em rotação o eixo X deve ser paralelo ao carro transversal, ou seja, a linha imaginária que descreve os diâmetros das peças deve ser paralela a torre em que são acopladas as ferramentas de trabalho. Todos os eixos possuem os sentidos negativos e positivos para a programação posicional das ferramentas de corte sendo que os eixos com sentido positivo deverão estar posicionados favoravelmente no sentido de afaste ao eixo de rotação.

A seguir, na Figura 20, é apresentada a regra da mão direita. É uma regra básica para que as pessoas possam gravar os sentidos dos eixos nas máquinas a CNC, tanto nos tornos quanto nos centros de Usinagem.

Figura 20 - Sistemas de Coordenadas Ortogonal



Fonte: Norma NM155:1998

Tal regra estabelece os eixos nos seus sentidos positivos usando os dedos da mão direita, polegar, indicador e médio, interpretando que para os tornos a CNC ficam os dedos polegar e médio representantes dos eixos “X” e “Z”.

Com todo o conteúdo explorado até esta fase é possível no capítulo seguinte analisar e compreender os dados extraídos das questões aplicadas às empresas em estudo. Seguem no próximo capítulo as características de cada empresa abordada de modo mais detalhado.

## **CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A seguir, serão apresentados os resultados adquiridos através do estudo de campo desenvolvido com os sujeitos da pesquisa tendo como referência as empresas entrevistadas.

### **5.1. Aplicação do Questionário na Empresa A**

Um programador de uma Ferramentaria da região considerada de médio porte foi entrevistado com o objetivo de levantar suas opiniões sobre os sistemas de Manufatura Auxiliada por Computador (CAM).

Essa Ferramentaria por muito tempo foi apenas um setor de uma grande empresa fabricante de máquinas agrícolas e até então prestava conta de seus serviços ao administrativo principal. Numa determinada data, mais precisamente no ano de 2004 ela se desmembrou da empresa matriz tornando-se uma unidade de negócio independente.

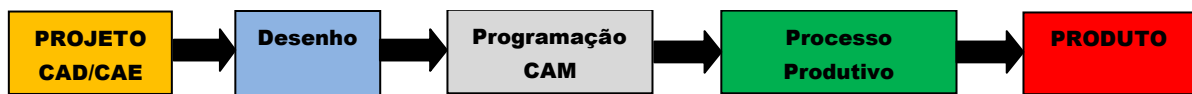
Nomeada como Empresa A, ela passou a oferecer serviços não somente para a empresa da qual se desvinculara mas principalmente para clientes externos, como empresas montadoras de caminhões, empresas montadoras de aeronaves e empresas especializadas na injeção de polímeros. Portanto, uma família de produtos eram desenvolvidos e usinados nesta unidade de negócios.

Alguns exemplos são:

- Moldes para injeção de polímeros;
- Moldes para injeção de elastômeros;
- Matrizes de corte;
- Matrizes de dobra de chapas,
- Dispositivos mecânicos usados como gabaritos para a soldagem de estruturas metálicas em geral.

Segundo o programador CAM entrevistado, o processo de aplicação da Manufatura auxiliada por Computador (CAM) é basicamente similar, mesmo sendo numa empresa desenvolvedora de produtos ou numa empresa de manufatura mecânica. Em geral, a Figura 21 esquematiza como é o processo produtivo aplicando a ferramenta CAM:

Figura 21 - Sequência de aplicação CAM



Fonte: Empresa A

### 5.1.1. Parque Industrial da Empresa A

Com a ascensão das Máquinas a CNC no Brasil, a Empresa A foi uma das primeiras empresas a usufruir das vantagens destes equipamentos e conseqüentemente do uso da Manufatura Auxiliada por Computador.

O programador CAM da Empresa A afirma que hoje a empresa trabalha com um grupo de máquinas de última geração dentre as quais as marcas Romi (Marca Nacional), Hermile (Marca Alemã) e Mazak (Marca Japonesa) são encontradas.

Segue a Tabela 1, mostrando os tipos e as quantidades de ferramentas e softwares CAM do setor.

Tabela 1 - Tipos de máquinas e quantidades disponíveis na Empresa A

Tipo de máquina	Quantidade
Centros de Usinagem em 3 eixos	06
Centro de Usinagem em 5 eixos	01
Fresadora Ferramenteira	01
Torno Universal	01
Tornos CNC	02
Eletroerosão	04
Máquina de medição por Coordenadas	01
Licenças do software CAM	07

Fonte: Empresa A

### 5.1.2. Variedades do CAM na Empresa A

Segundo o Questionário feito, a empresa iniciou o uso da tecnologia CAM no ano de 1998. Seu parque industrial era o mais avançado em questões de máquinas ao Comando Numérico Computadorizado sendo considerada há anos uma referência em Ferramentaria no interior de São Paulo. Na primeira aquisição feita pela Empresa A foi instalada uma licença

do software “*Mastercam 7*” oferecendo opções de trabalho nos níveis 1 e 3, conhecidos como ambiente 2D e 3D respectivamente. No ano de 2002 essa licença foi atualizada e expandida para mais computadores, passando a ser executada a versão “*Mastercam 8*”.

Em 2005, foi feita uma nova atualização do software para a versão “*Mastercam 9*”. Neste mesmo ano a Empresa A passou a oferecer os serviços de Manutenção de Moldes além da fabricação.

Juntamente com os novos serviços, novas incorporações à empresa aconteceram e também outras máquinas CNC passaram a fazer parte do parque fabril (pessoas e máquinas que migraram da empresa que fabricava máquinas agrícolas e que trabalhavam nos setores de “Manutenção de Ferramentas”).

O novo pessoal trouxe para a Empresa um software até então desconhecido chamado “*Powermill*” que em comparação com o “*Mastercam 9*” foi testado mostrando vantagens nas operações de acabamento de modelos gerados em 3D porém desvantagens quanto a complexidade na aplicação das estratégias de usinagem.

Enquanto o *Mastercam 9* oferecia muitos recursos e várias estratégias de usinagem e de modo rápido o “*Powermill*” oferecia estratégias também satisfatórias só que as maneiras de aplicar as estratégias (comandos) eram mais difíceis de serem executadas (mais complicado de executar os comandos de software se comparado ao *Mastercam*). Devido à essa vantagem os programadores passaram a utilizar somente o *Mastercam*.

Em 2008 a Empresa A fez a atualização do “*Mastercam 9*” para o “*Mastercam X*” que ofereceu uma plataforma totalmente diferente, renovada e muito mais intuitiva do que nas versões anteriores.

No ano de 2010 houve uma nova atualização, o “*Mastercam X4*” era instalado na empresa. Naquele mesmo ano houve uma mudança muito importante no sistema CAD da Empresa A, onde até então usara o software “*Mechanical*” como sistema de Desenho Auxiliado por Computador (CAD) e naquele ano iniciou o uso do software “*Pro-Engineer*” cancelando o uso do CAD anterior. O pacote *Pro-Engineer* é conhecido como um sistema “CAD/CAM”, ou seja, um programa que tem a interface para se projetar o produto (CAD) e uma interface própria para executar a manufatura do produto (interface CAM). “*Pro-Manufacturing*” é o nome do sistema CAM do pacote *Pro-Engineer*. O programa CAM citado acima foi testado com o intuito de substituir o CAM já usado na Empresa A.

Segundo relatos, não houve sucesso por que “O *Pro-Manufacturing* era muito engessado”, em outras palavras, ele não oferecia tantos recursos quanto o *Mastercam*. Além

disso, durante os testes aparecera um problema em potencial: quando o desenho era aberto pelo CAM *Pro-Manufacturing* e o programador aplicava alguma alteração no perfil da peça que era necessário somente para a usinagem do produto, essa alteração era atualizada automaticamente no desenho principal que ficava arquivado nas máquinas da equipe de projetos e a equipe não conseguia rastrear as alterações. Assim, se daqui a alguns anos o mesmo projeto fosse produzido erros aconteceriam devido às alterações como, por exemplo, cotas de referência em lugares diferentes do original, dimensões alteradas, detalhes redimensionados etc.

Mesmo com essas desigualdades este tipo de CAM está sendo cogitado para ser usado no lugar de um outro software chamado “*Surfcam*”. O *Surfcam* é aplicado para a programação de uma máquina especial na Empresa A, máquina esta que contém 05 eixos de programação chamada “*Quintax*”. Nesta máquina usinam-se Mocaps (modelos de peças em menor escala para estudos), moldes para rotomoldagem e termoformagem, todos em resina ou em madeira de médio a grande porte, tais peças podem ter medidas que variam entre meio à três metros de comprimento.

Alguns exemplos são:

- Moldes para Caiaques;
- Moldes para tanques de herbicidas,
- Moldes para carenagens de veículos.

O “*Surfcam*”, segundo a entrevista é um software limitado quando se fala de programação em 2D, é um CAM que atende muito bem aos serviços executados na “*Quintax*”, porque para essa máquina todas as programações são desenvolvidas no ambiente em 3D e sem nenhuma modificação nos projetos, ou seja, o projeto é importado para o “*Surfcam*” e apenas recebem as aplicações das ferramentas de usinagem, e para esta aplicação o *Pro-Manufacturing* atende bem. Por isso, a equipe de gerenciamento do chão de fábrica está estudando para substituir o “*Surfcam*” pelo “*Pro-Manufacturing*” uma vez que economizaria investimentos por que a licença o CAM já está incluso no pacote do *Pro-Engineer*.

Voltando às atualizações, o *Mastercam* foi atualizado nos anos seguintes de 2011 e 2012 para as versões “*Mastercam X5*” e “*X6*”. Pelos relatos do programador líder, as atualizações são necessárias principalmente por causa dos recursos que são melhorados e adicionados nas versões posteriores e que melhoram no processo de programação das peças.

### 5.1.3. Aplicações do CAM na Empresa A

Hoje o software CAM usado para Fresamento, erosão e torneamento é o “*Mastercam X6*”. Ele é usado no Fresamento para as seguintes operações:

Programação de desbaste das cavidades dos moldes, que nada mais é do que o processo de retirada de material em média e larga escala do bloco metálico usinando os mais variados perfis que darão forma ao plástico ou a borracha injetada. Tal operação usina o formato “espelhado” da peça que será injetada, porém deixando uma pequena quantidade de material do bloco sobrando em todo o perfil para que nas próximas operações venham a ser aplicados os acabamentos no molde em produção.

Programação dos acabamentos dos futuros moldes que já foram desbastados. Essa operação é caracterizada pela pouca quantidade de material removido e o aumento das velocidades das ferramentas para que proporcionem uma alta qualidade de acabamento superficial nas cavidades.

Para o Torneamento, o *Mastercam* é muito empregado principalmente na execução de perfis complexos das peças de revolução usinadas nos Tornos CNC.

São operações como:

A programação de desbaste de colunas usadas nos moldes que num próximo processo receberão a têmpera e o revenimento (processos que aumentam a dureza da peça e a resistência ao desgaste).

A programação de acabamento das colunas que retornam ao Torno CNC para o acabamento final. Essas peças são na maioria compridas e exigem quando programadas no formato “ISO”, cálculos trigonométricos que levam certo tempo para o programador ou o operador descobrir os pontos de interseção que as ferramentas devem percorrer.

A programação (desbaste e acabamento) de buchas que servirão de suporte para as colunas dos moldes. Com o uso do CAM essas buchas conseguem ser usinadas em uma única etapa no torneamento CNC, dando a forma tanto externa quanto internamente que necessitam em seus corpos.

Outros tipos de peças comumente programadas via *Mastercam* são: Postiços, Cavidades, Punção e Matriz.

Nas Figuras 22 e 23, foram disponibilizados pelo setor alguns exemplos dos tipos de peças e montagem que normalmente são executados em partes do processo de confecção de moldes que são mostradas abaixo.

Figura 22 - Coluna e Bucha de um molde separados



Fonte: Empresa A

Figura 23 - Montagem entre Coluna/Bucha dos moldes



Fonte: Empresa A

Em suma, nos processos de torneamento que a Empresa A utiliza o software CAM atende às programações dos Tornos CNC nas fases de desbaste e acabamento de peças individuais simples e, principalmente, nos ajustes de peças complexas para que seja garantida uma particularidade fundamental nos moldes: a Montabilidade, também conhecida como o Fechamento dos moldes (Etapa esta que é o fator majoritário para que as peças injetadas ou sopradas nestes moldes não venham a apresentarem rebarbas indesejadas).



#### **5.1.4. O que Levou a Empresa A a Buscar a Tecnologia CAM**

O motivo principal que forçou a Empresa A inserir em seus processos a programação via CAM, foi a competitividade. Quando se trata de competitividade em qualquer mercado que seja pode-se fazer uma ligação entre preço e qualidade de produto. Uma vez que dentro do mercado de ferramentas brasileiro tem-se vários concorrentes inclusive estrangeiros como Canadenses e Chineses concorrendo com os produtos nacionais proporcionando um preço mais atraente e uma qualidade superior, a Empresa A foi impulsionada a investir em novas máquinas e processos, um deles foi a inserção da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) no desenvolvimento de seus produtos.

Como a Empresa A tinha a cultura de visitar as feiras internacionais deste tipo de mercado, ela percebeu as tendências logo na década de 1990 de que os sistemas CAM seriam um diferencial que proporcionaria competitividade sendo capaz de corrigir alguns fatores importantes segundo a visão da empresa:

- A necessidade de padronização dos procedimentos para a execução de um produto. Com o CAM perceberam que era possível padronizar parâmetros de corte, estratégias de usinagem e modos de setup.
- A carência pela melhoria dos processos de usinagem de forma contínua, que, por meio dessa ferramenta (CAM) conseguiriam otimizar os parâmetros de corte das ferramentas com mais rapidez sem necessidade de alteração manual dos programas e, além disso,
- guardar tais parâmetros e programas um dia desenvolvidos que chegaram à um estado ótimo de performance dando a oportunidade de serem usados quando necessário para produzir outros moldes em ocasiões futuras.
- A necessidade de diminuição dos tempos de setup dos operadores nas máquinas a CNC.
- A eliminação ou diminuição ao extremo dos retrabalhos e refugos causados pelos erros de programação que eram feitas manualmente (devido aos cálculos matemáticos e erros de percurso das ferramentas pelas coordenadas erradas).
- A necessidade que a Empresa A tinha de construir uma metodologia de ensino aos novos colaboradores de forma sistêmica. Para que os programadores e operadores mais experientes não retessem o conhecimento dando a oportunidade dos novatos também aprenderem as técnicas necessárias para o desenvolvimento dos produtos buscando a

diminuição dos custos com a mão de obra e a independência de pessoas que outrora eram essenciais para que um produto fosse produzido.

### **5.1.5. Resultados Obtidos na “ Empresa A” com a Aplicação do CAM**

Os resultados obtidos pela empresa foram positivos, tanto que ela não deixou mais de utilizar a Manufatura Auxiliada por Computador.

O primeiro resultado foi a diminuição dos tempos de execução das usinagens devido aos processos que vinham sendo melhorados durante a execução dos produtos. Ou seja, uma vez programado a operação de desbaste e posto a máquina para executar a programação, os próprios operadores percebiam que as ferramentas poderiam render mais quando estas iniciavam a remoção do material.

Então eles abortavam a usinagem, alteravam os parâmetros no *Mastercam* como as profundidades de corte, velocidades de corte, rotações por minuto das ferramentas/placas e avanço das ferramentas e atualizavam via software a usinagem gerando conseqüentemente programas atualizados e enviavam para a máquina estes programas e colocavam o novo programa para executar conseguindo um período de tempo bem mais curto do que rotineiramente faziam.

Os custos com ferramentas e máquinas quebradas diminuiriam consideravelmente por que os programas gerados via CAM eram testados no computador em duas e três dimensões e o próprio software avisava nas partes onde haveriam colisões.

Graças aos tempos estipulados nos testes gráficos do *Mastercam* a Empresa A pôde estipular prazos de entrega dos seus produtos com maior precisão, além desse prazos mais enxutos pois o CAM proporcionava aos programadores os tempos de usinagem operação por operação dando a oportunidade aos programadores de testarem os mais variados parâmetros de corte com o objetivo de diminuir os tempos de usinagem.

Os arquivos gerados pelo CAM eram guardados formando assim bancos de informações para consulta e cópia de parâmetros e estratégias de usinagem para outras peças (*feedback*) conseguindo padronizar os modos como as ferramentas eram reguladas (*presset*) e também as sequências de fixação de peças nos centros de usinagem (padronização do processo de execução). Segundo o programador: “As anotações e os arquivos que guardam os conhecimentos aplicados é fornecido como *Feedback* aos fornecedores de ferramentas de

corte levando a novos estudos e desenvolvimento de outras ferramentas de corte para as máquinas CNC”.

Todos esses resultados se transformam em diminuição de custos de tempos no final do processo produtivo, o que conseqüentemente tornam os produtos mais baratos dando a oportunidade da Empresa A conquistar sua fatura de mercado.

### **5.1.6. Desafios e Investimentos da Empresa A**

Geralmente na empresa quando se recebe alguma tecnologia nova tem-se muitas dificuldades até que essa tecnologia seja totalmente absorvida e passe a fazer parte integralmente do processo produtivo. Com a Empresa A foi diferente.

Segundo o programador entrevistado, a única barreira encontrada quando o CAM estava sendo inserido nos processos da Empresa A foi a questão da adequação das pessoas que programavam e operavam as Máquinas a CNC. Esses colaboradores estavam acostumados a programar os equipamentos manualmente e em sua maioria não tinham muita experiência com a informática. Logo, um preconceito foi gerado principalmente com os operadores. Com a instalação do CAM, criou-se um setor só para a programação CAM. Ficando com dois setores, os operadores de máquinas e os programadores, embora todos soubessem programar manualmente. Assim, como os operadores não sabiam como eram gerados os programas eles se viam receosos em executar o programa nos tornos a CNC e nos centros de usinagem mesmo depois de fazerem os testes necessários.

Outro fator eram os parâmetros de corte que vinham inseridos nos programas que eram diferentes dos que estavam acostumados a trabalharem, justamente por que esses programas já haviam sido testados no CAM e otimizados.

Com o tempo a cultura foi sendo mudada, dependendo da disposição dos operadores eles foram sendo inseridos nos cursos de Programação CAM e aos poucos passaram a programar suas máquinas no software de Manufatura.

Com o passar do tempo, a empresa percebeu que a melhoria dos processos seria mais intensa se os próprios operadores que já conheciam o software programassem suas próprias máquinas. Já tinham aprendido os processos de programação e conseguiam usar para programar todos de uma mesma forma mantendo um padrão nos processos. Assim, o setor de programação foi desfeito.

Atualmente a Empresa A disponibiliza sete licenças para a programação CAM nos computadores, sendo uma licença para torneamento e seis para fresamento e estes computadores são dispostos perto das máquinas CNC.

Segundo o entrevistado, cada licença do software *Mastercam* para fresamento custou U\$20.000,00 e para torneamento U\$8.000,00 mas a empresa Ascongraph que é representante do software no Brasil também oferece uma versão estudantil para escolas técnicas e universidades que custa por volta de U\$1.800,00.

Os próprios operadores programam as peças a serem usinadas, tendo assim operadores e programadores a CNC. Com isso, enquanto uma peça está sendo usinada o operador já está no *Mastercam* programando a próxima peça a executar ganhando um bom tempo de programação. Todas as melhorias são arquivadas nos computadores e pulverizadas para os outros colegas de máquina para que passem a usar aqueles parâmetros que sejam vantajosos.

Toda essa estratégia gerou um investimento inicial de treinamento para cada operador que passa a programar via software de 80 horas. Sendo 40 horas para o aprendizado em 2D e depois de um certo tempo de experiência neste nível recebem mais 40 horas de treinamento no nível 3 que é o nível em 3D podendo assim programarem tanto peças mais simples quanto as peças mais complexas (programação de usinagem em superfícies).

Estes treinamentos são feitos com táticas diferentes dependendo do número de treinandos. Quando são no máximo dois funcionários a receber a capacitação ou participar das atualizações, eles se deslocam até a sede da empresa vendedora do Software. Outrora, quando é maior o número de treinandos, a empresa que fornece o treinamento envia um instrutor para a empresa oferecendo o treinamento dentro da empresa cliente.

## **5.2. Aplicação do Questionário na Empresa B**

A Empresa B é um setor de Pesquisa e Desenvolvimento de Produto que integra uma grande empresa produtora de máquinas agrícolas. Este setor é subdividido em dois outros subsetores, o primeiro formado pelo pessoal da engenharia constituído por engenheiros mecânicos, projetistas e desenhistas, e o segundo é integrado pelo pessoal responsável pela execução dos protótipos projetados. A pesquisa irá se referir ao setor como um todo por Empresa B.

A Empresa B tem a função básica de usinar as peças que os projetistas criam juntamente com os engenheiros mecânicos que formarão as novas máquinas. Máquinas e insumos que são respostas às pesquisas do setor de Marketing da empresa, resultados estes que refletem o que o mercado necessita e o perfil de quem necessita estes tipos de produtos.

O simples termo “usinar as peças desenvolvidas” não é tão simples quanto parece. Para que aconteça o desenvolvimento do produto e suas avaliações e testes práticos, a Empresa B conta com o esforço de pessoas que planejam a produção dessas peças, pessoas responsáveis pelos ajustes dos projetos,

Sendo assim, essas pessoas têm como função elaborar todas as estratégias para se usinar as mais versáteis peças que compõem as futuras máquinas e que certamente sofrerão muitas melhorias. Este setor tem a carência de mão de obra especializada em processos de produção mecânica por que as peças que são usinadas variam muito em seu aspecto como um todo.

Por exemplo, o material de que é constituída, o seu formato, as operações que ela necessita, como fixa-las nas máquinas para garantir as especificações de geometria quando montadas, entre outros.

Portanto, a Empresa B é forçada a trabalhar com pessoas com conhecimentos específicos, com experiência suficiente e dispostas à aprender a todo o momento.

O setor é caracterizado pela usinagem de peças não seriadas, ou seja, alta variedade de peças e em poucas quantidades, isso forja nos operadores e programadores das máquinas a CNC um perfil de colaboradores dinâmicos, com alto nível de raciocínio e poder de tomadas de decisão.

A Empresa B trabalha com um número reduzido de pessoas, e foi forçada a adquirir máquinas com desempenhos bem maiores do que as máquinas ferramentas convencionais.

Assim, com um investimento largo conseguiu renovar seu parque industrial contendo hoje máquinas a CNC e máquinas convencionais. Os números de máquinas são baixos, pois não necessitam de muitas máquinas para desenvolverem peças que serão testadas e teoricamente refeitas e remodeladas voltando para testes.

Na Tabela 2, tem-se um levantamento dos tipos e quantidades de ferramentas e software CAM que a Empresa B possui para usinar as peças protótipo das máquinas em desenvolvimento.

Tabela 2 - Tipos de máquinas e quantidades disponíveis na Empresa B

<b>Tipo de máquina</b>	<b>Quantidade</b>
Centro de Usinagem em 3 eixos	01
Fresadora a CNC	01
Fresadora Ferramenteira	02
Torno Universal	02
Torno CNC	01
Máquina para corte a Laser CNC	01
Licenças do software CAM	01

Fonte: Empresa B

A Empresa B implantou o sistema CAM há três anos, em 2009. Antes desta data as peças de formatos simples eram programadas manualmente com os recursos que as próprias Máquinas a CNC ofereciam em seus comandos, porém as programações das peças com formatos mais complexos e peças que necessitavam de programas longos com várias etapas de usinagem eram terceirizados.

Programas assim eram negociados com uma Ferramentaria parceira que na época já trabalhava com CAM. Muitos serviços eram repassados para a Empresa A e essa programava e também em algumas vezes usinava o produto para a Empresa B.

Porém este tipo de parceria precisava de um tratamento especial. Quando o setor de engenharia passava os desenhos das peças para o protótipo, um estudo era feito para classificar se os produtos conseguiriam ser usinados dentro do setor ou se os mesmos deveriam ser terceirizados para a Ferramentaria. As peças que eram enviadas para a Ferramentaria necessitavam de um período mais longo de tempo para a confecção por que os programadores e preparadores das máquinas das duas empresas precisavam se reunir para discutir o processo de execução das peças de modo que quando prontas não viessem a apresentar defeitos na montagem, bem como verificar se a Ferramentaria possuía ferramentas capazes de usinar as peças e se conseguiam atender ao tempo especificado pelo protótipo.

Discutindo todos esses fatores e esclarecidos os procedimentos, então as peças eram programadas via CAM na Empresa A.

No ano de 2008 foi-se adicionado no plano de investimento para 2009 a aquisição de um sistema CAM para a Empresa B. Então, o pessoal responsável direto pela usinagem do setor de PDP da Empresa B iniciou as pesquisas nas feiras que eram montadas durante o ano para saber quais softwares CAM estavam com um maior índice de aceitação no mercado e

quais seriam as opções de compra que atenderiam as necessidades específicas deste setor de usinagem.

Dentre os softwares vistos, os técnicos do Protótipo perceberam dois modelos que atenderiam muito bem suas necessidades:

- *Edgecam;*
- *Mastercam;*

Testando os modelos, segundo as informações respondidas via questionário, encontraram grande semelhança entre eles. Ambos apresentaram interfaces amigáveis e com botões e comandos bem associativos com símbolos de fácil percepção. Também ofereciam uma gama de estratégias de operações que atenderiam totalmente os tipos de trabalho que o setor desenvolvia. Como as duas opções satisfaziam as expectativas do setor, a escolha foi decidida pelo fato de que a empresa a qual a Empresa B pertencia já possuía algumas licenças do *Mastercam*.

Assim, pensando no apoio do pessoal que já trabalhava com esse software e na maior facilidade de aquisição já que negócios já tinham sido fechados entre empresa e fornecedor do software a Empresa B adquiriu sua primeira licença do *Mastercam* no ano de 2009.

Hoje a setor possui apenas uma licença do “*Mastercam X4*”, nível 1 e nível 3 e também adquiriram uma licença do software “Lantec” que é um CAM específico para a Máquina CNC de corte a Laser.

### **5.2.1. Aplicações do CAM na Empresa B**

Segundo as respostas obtidas via questionário a ferramenta CAM para o torneamento CNC não está sendo aplicada, por que no início do uso da ferramenta o setor testou algumas vezes o processo de uso do CAM nas peças para Torno e a programação manual com as mesmas peças.

Foi comprovado que a programação manual levava um tempo menor para ser gerada do que o tempo gasto se a peça fosse programada no CAM. Isso é uma situação realmente atípica dentro do ambiente fabril, porém, houve a justificativa de que graças a máquina que essa área possui eles conseguem uma maior agilidade devido ao fato de que as programações não são feitas na linguagem “ISO” e sim na linguagem particular do comando do Torno CNC chamado de “*Mazatrol*”.

Explicando a situação, o encarregado do setor diz que tal comando é muito interativo e que dá ao operador telas semi-prontas com linhas de programação desenvolvidas para a usinagem de peças rotineiras na indústria mecânica, como por exemplo telas para a usinagem de Polias, telas para a usinagem de engrenagens, tela para a usinagem de cones, funções prontas de concordância entre arcos e arcos com ângulos que normalmente exigem cálculos nos comandos ISO. Essas telas, também chamadas de funções se apresentam exigindo que o operador apenas complete as lacunas nas funções variáveis desenvolvendo assim os programas.

Argumentou ainda o Programador CAM do setor que se hoje tivessem outros tornos que não usassem este tipo de linguagem sem dúvida eles utilizariam o CAM, até o momento provaram que se comparado ao CAM, o comando *Mazatrol* oferece uma rapidez na programação em torno de 50% comparando-se com os softwares de Manufatura Auxiliada por Computador.

Já para a programação de peças prismáticas que é o caso dos Centros de Usinagem, o Empresa B utiliza o software *Mastercam X4* na maioria das peças, exceto aquelas que precisam de programas bem simples e pequenos.

Para a usinagem das peças, as geometrias (desenho das peças) são importadas para o CAM as quais anteriormente foram projetadas no CAD Pro-Engineer. Importadas, elas são reorientadas na tela de modo que ganham uma origem para a programação e então são programadas via *Mastercam X4*.

### **5.2.2. Necessidades que Levaram a Empresa B a Buscar a Tecnologia CAM**

Na época em que a Empresa B terceirizava suas programações mais complexas aconteciam alguns problemas que forçaram o setor a adquirir um sistema CAM.

As programações quando terminadas na Empresa A eram enviadas para a Empresa B e quando os operadores abriam estes programas nas telas dos Centros de usinagem, a princípio pareciam ideais, porém, quando as máquinas iniciavam as usinagens, os operadores percebiam que os dados de corte poderiam ser melhorados para extrair um melhor rendimento das máquinas.

Como a programação foi feita fora do setor e eles não tinham a licença do software, ficava muito trabalhoso a mudança de dados manualmente. Em outras vezes percebiam que os dados de corte programados eram altos demais para aqueles modelos de Centros de



Usinagem, ou seja, faltava robustez nas máquinas para que elas usinassem as peças de modo desejado e isso em algumas situações causavam a quebra de ferramentas, desgaste prematuro das pontas de corte e acabamentos superficiais insatisfatórios (vibrações e trepidações).

Outra falha que acontecia por causa da falta de comunicação era a vinda de programas para o setor de Protótipo que faltava algum tipo de operação ou detalhes que seriam necessários no produto, assim, os programas tinham que ser devolvidos e os operadores juntamente com seus superiores deveriam repassar os defeitos encontrados para a Empresa A, que então atualizaria os programas e os devolveriam para o Desenvolvimento de Produto.

Já na situação em que as peças eram usinadas na Empresa A em alguns momentos aconteciam de dúvidas serem geradas durante a programação ou a própria usinagem das peças, e como os projetistas e engenheiros que desenvolveram os produtos estavam no setor de desenvolvimento, a usinagem era cancelada até que eles pudessem sanar as dúvidas do pessoal da Empresa A quanto aos projetos, dúvidas em muitas vezes simples, mas que acabavam sendo causas de atrasos das entregas dos produtos e demoras de criação de programações CAM.

Todos estes fatores quando juntos eram somados e formava uma característica indesejada chamada de alto custo do produto, ou seja, as peças usinadas e os programas que eram vendidos pela Empresa A ficavam na maioria das vezes com um custo muito alto e prazos longos atrasando todo o desenvolvimento de um projeto.

Isso não era a intenção do setor de usinagem na área de Pesquisa e Desenvolvimento e sim a parceria para que pudessem com maior rapidez produzir as peças que desejassem com perfeição, exatidão e no tempo programado.

Portanto, a Empresa B teve como objetivos principais da instalação do software CAM o alcance de tempos mais curtos na produção das peças e programas e consequentemente custos reduzidos para este tipo de operação no desenvolvimento de produtos.

### **5.2.3. Resultados Obtidos Pela Empresa B**

Com a instalação do sistema CAM na Empresa B, as programações passaram a ser elaboradas no próprio setor, bem como a usinagem de todas as peças que antes eram terceirizadas.

No Fresamento, segundo o programador que é responsável pela elaboração das programações das máquinas-ferramentas a CNC, os serviços de usinagem que usavam o Centro de Usinagem como item de transformação tiveram um aumento na produtividade de 70%.

Pelo fato dos programas serem compilados no próprio setor, as dúvidas quanto à programação, estratégias de usinagem e projetos passaram a serem sanadas instantaneamente em simples perguntas e respostas entre os colaboradores de mesmo setor, o que fez diminuir os tempos de setup, de usinagem e de produção do produto como um todo. Ao diminuir os tempos, conseguiram por consequência a diminuição dos custos de produção das peças fazendo com que os investimentos sobressalentes pudessem ser aplicados em outras áreas.

Além disso, a qualidade das peças melhorou muito, por que o feedback entre operador e o programador passou a ser a todo o momento de forma intensa além do programador ter a chance de acompanhar as usinagens em primeira pessoa, conseguindo corrigir defeitos de usinagem, melhorar os parâmetros de corte e falhas de interpretação nos projetos bem no ato da usinagem ou da programação CAM. Outra melhoria importante foi que os gastos com a compra de programas e serviços para a usinagem das peças foram eliminados totalmente.

#### **5.2.4. Desafios e Investimentos na Empresa B**

Uma característica peculiar explicada pelos responsáveis da parte fabril da Empresa B é que seus colaboradores nunca ficam fixos em uma só máquina.

Existe um rodízio para que todos os operadores passem a conhecer cada Máquina CNC e a programar manualmente as mesmas.

Os projetos para o próximo ano é treinar todos os colaboradores para que aprendam a utilizar o *Mastercam X4* para programar a usinagem de peças tanto na Fresadora a CNC e Centro de Usinagem quanto no Torno a CNC de modo que quando o setor necessitar cobrir algum colaborador que está ausente não fique sem a mão de obra especializada e competente.

Além disso, todos os operadores terão a oportunidade fazer o treinamento de programação CAM para Fresamento e Torneamento com o objetivo de expandir a programação CAM dentro do setor de modo que seja uma ferramenta do cotidiano e comum entre todos.

Além do investimento em treinamento CAM, segundo o superior responsável pela área, o Protótipo fará nos próximos anos a atualização do software CAM e as trocas de algumas máquinas que já estão desatualizadas (com idade de 10 anos em média) potencializando o crescimento dos operadores por meio da oportunidade de trabalhar com altas tecnologias que são novidades no mercado.

De acordo com o programador de máquinas a CNC do setor: “Não adianta investirmos em um combustível superior (CAM) se ainda andamos com um Fusca (Máquinas CNC obsoletas)”.

Na implantação do sistema CAM há três anos, salienta o programador CNC da área, não houve nenhum desafio enfrentado pelo setor referente a essa tecnologia, muito pelo contrário, os operadores e superiores na época ficaram motivados com o software por que perceberam que as dificuldades de programação seriam sanadas e poderiam também se atualizar aprendendo a usar o Sistema de Manufatura Auxiliada por Computador.

Nenhum preconceito ou receio foi apresentado devido ao fato de serem em sua totalidade pessoas com poucos anos de serviço na empresa e principalmente colaboradores na idade de 30 anos e jovens, tendo eles uma mentalidade que facilmente se adapta aos meios e recebem as tecnologias com bons olhos sabendo que serão favorecidos de alguma forma.

Hoje o setor conta com dois programadores definitivos, e alguns operadores, como dito acima têm planos para disseminar a tecnologia CAM para todos a fim de fortalecer o grupo e sempre ter a disposição algum programador CAM em alguma emergência. O investimento em treinamento em 2009 foi direcionado a quatro pessoas inicialmente, todos eles fizeram o curso de programação CAM em 2D e em 3D de quarenta horas. Dois dos programadores foram promovidos por meio de recrutamento interno e hoje fazem parte da Engenharia de Desenvolvimento de Produto ficando apenas dois programadores de fato no setor de Usinagem.

### **5.3. Aplicação do Questionário na Empresa C**

A empresa entrevistada a qual será mencionada durante o desenvolver do trabalho como Empresa C é uma empresa que atua no mercado oferecendo equipamentos agrícolas como pulverizadores e roçadeiras, e também no mercado de jardinagem desenvolvendo dentre outros produtos os cortadores de grama, aparadores e kits de jardinagem.

Além desses mercados, dentro da Empresa C existe uma subdivisão que desenvolve equipamentos de ginástica sendo conhecidos nas academias do Brasil pela excelência e qualidade das estações de musculação, esteiras elétricas e outros equipamentos.

Uma vez que todos estes produtos são projetados dentro da empresa, eles necessitam de um parque industrial a altura para suprir as necessidades de produção e também de desenvolvimento dos equipamentos. Assim, alguns itens usados nos projetos são adquiridos prontos e outros são confeccionados dentro da própria fábrica, que é o caso das peças usinadas.

Hoje a fábrica possui máquinas-ferramentas convencionais e em maior número Máquinas à CNC. Tais máquinas estão distribuídas entre dois setores básicos, o setor de usinagem onde se fabricam peças seriadas dos produtos já aprovados e que estão em comercialização e o setor de Ferramentaria, que é responsável por usinar as peças dos projetos em desenvolvimento, experimento e testes, além de oferecer manutenção nos moldes e matrizes que a própria empresa utiliza.

A Tabela 3 aponta os tipos e as quantidades de ferramentas e softwares que a Empresa C dispõe em seu parque industrial para desenvolver suas atividades.

Tabela 3 - Tipos de máquinas e quantidades disponíveis na Empresa C

<b>Tipo de máquina</b>	<b>Quantidade</b>
Centro de Usinagem	02
Fresadora Ferramenteira	02
Torno Universal	02
Torno Revolver	03
Torno CNC	14
Máquina para corte a Laser CNC	03
Licenças do software CAM	01

Fonte: Empresa C

O software CAM foi instalado e vem sendo usado pela Empresa C desde 1989. Tal software, segundo o programador entrevistado, possui muitas ferramentas voltadas à área de desenvolvimento de moldes e matrizes. Conhecido como “Cimatron” na sua versão E10.0. Este CAM embora voltado para Ferramentaria ele também pode ser usado por fábricas nas linhas de produção com Máquinas à CNC sem nenhum impedimento.

Ainda complementou o programador CAM da empresa que a escolha dos softwares CAM dependem principalmente dos recursos que eles oferecem para as aplicações que o usuário deseja, ou seja, existem programas CAM que são desenvolvidos com foco em atender

a Ferramentarias, outros á linhas de produção em geral para Tornos e Centros de usinagem e outros para Máquinas de corte a Laser e também para erosão.

Na Empresa C por exemplo, encontram-se três tipos de software disponíveis à programação das Máquinas à CNC:

- Cimatron E10.0;
- Smart Sistem,
- FG CAD/CAM.

### **5.3.1. Aplicações do CAM na Empresa C**

Como dito anteriormente, por ser uma empresa que produz vários tipos de produtos e por possuir um setor de Ferramentaria bem atuante, a Empresa C aplica o software “Cimatron E10.0” nos processos de desenvolvimento de programas para Centros de Usinagem que fazem parte do setor ferramenteiro.

Para o Torno a CNC da Ferramentaria um módulo que o Cimatron oferece é raramente empregado, conhecido como “Fikus CNC” encontra-se disponível para a programação CAM para torno.

As Máquinas de corte a Laser na área de produção são programadas via CAM e existem máquinas próprias para o corte de tubos e de chapas. O software CAM usado para a programação CAM em corte de tubos é conhecido como Smart Sistem, e para o corte de chapas é o FG CAD/CAM.

Referindo-se às linhas de produção que empregam a maior parte dos Tornos a CNC da fábrica e um Centro de Usinagem, tal setor não aplica a Manufatura Auxiliada por Computador em nenhum de seus processos produtivos embora sendo equipadas com a tecnologia CNC. Somente as Máquinas de corte a Laser utilizam o CAM.

Devido às diferentes peças que são produzidas neste setor terem um período longo de produção, as programações não acontecem com frequência como em um setor de desenvolvimento de produto. E para os tipos de peças que a Empresa C está produzindo nas linhas os próprios comandos das Máquinas à CNC atendem as necessidades das operações, afirma o programador CAM.

Segundo os estudos que foram iniciados na Empresa C pelos encarregados dos setores, confirmaram que o uso da Manufatura auxiliada por Computador será indispensável para a produção nas Máquinas à CNC pois o parque industrial do setor produtivo está sendo

renovado. Foram substituídos seis tornos a CNC e serão adquiridos mais outras máquinas à comando numérico computadorizado e com isso a diversidade de linguagens de programação CNC irá aumentar progressivamente dificultando aos programadores a memorização dos códigos e regras de programação para cada máquina.

Desse modo, segundo o programador CAM da Empresa C, a solução será a compra de mais licenças do software CAM e a implantação do setor de usinagem. Caso necessite a mudança de máquina para produzir determinados lotes de peças, basta apenas reprocessar o arquivo no CAM e o programa será modificado em poucos segundos, conseguindo assim um alto nível de flexibilidade nas programações de produção.

### **5.3.2. Necessidades que Levaram a Empresa C a Utilizar o CAM**

Uma das carências que o setor de desenvolvimento de produto apresentava que levou a implantação de um software CAM foi a dificuldade para se programar perfis complexos no Centro de Usinagem. O comando que a máquina oferecia atendia somente as programações simples, em duas dimensões e quando era necessária a programação de perfis complexos como superfícies com concordâncias de raios, cones e arcos as programações eram feitas em outra Ferramentaria de uma empresa parceira.

Outra necessidade que seria sanada era a redução dos tempos de setup e de usinagem das peças. Com a programação manual, os setups eram longos, adequação de parâmetros de corte eram executadas com muita demora. As estratégias que os ciclos manuais de programação geravam eram demoradas, apresentavam muitas usinagens com as trajetórias das ferramentas no vazio (sem retirar material, em espaços com inexistência de material).

Sabiam que se conseguissem melhorar esses tempos, as peças saíam do setor com um custo menor e conseguiriam produzir mais.

### **5.3.3. Resultados Obtidos pela Empresa C com a Utilização do CAM**

Com a implantação da Manufatura Auxiliada por Computador, o programador CAM acrescentou que os tempos de setup foram minimizados em 50% nas preparações do Centro de Usinagem no setor de desenvolvimento de produto. Afirma ele que devido ao recurso de criação de biblioteca de ferramentas, os tempos que perdiam em configurar os dados foram

excluídos, pois a biblioteca que o CAM armazena foi configurada com todas as ferramentas que a máquina possuía e seus parâmetros foram guardados dentro da biblioteca.

Com as estratégias de usinagem aplicadas de forma inteligente e que o CAM oferecia, tanto o Torno CNC quanto o Centro de Usinagem diminuíram os tempos de usinagem dos produtos por que os passes no vazio que antes eram inevitáveis, com a ferramenta CAM eles foram eliminados nas programações economizando muito tempo nas operações de desbaste e acabamento das peças.

#### **5.3.4. Desafios e Investimentos da Empresa C**

Na época em que o software CAM Cimatron foi instalado na Empresa C não houve nenhuma barreira para com esta ferramenta por que ela foi implantada logo após as compras das Máquinas à CNC, portanto, o pessoal que programavam as máquinas não conseguiram formar um pensamento de que “apenas a programação manual era ótima”. Quando a programação CAM começou a ser aplicada, os operadores perceberam que o tempo para a programação era bem menor se comparado ao tempo gasto para a programação manual.

Hoje a empresa tem o desafio de descobrir as vantagens que a tecnologia CAM pode oferecer às linhas de produção, segundo o programador CAM da fábrica, pelo fato das programações manuais atenderem às necessidades da época é que os superiores não procuraram outras tecnologias que pudessem melhorar o desempenho nas linhas de usinagem a CNC, se estagnaram, argumenta-se ainda que devido às telas interativas dos comandos à CNC, as pessoas responsáveis pelas programações manuais não veem a necessidade de se adquirir um software CAM nas linhas produtivas e dizem que a programação nestes comandos tem a mesma agilidade que um software CAM.

A Empresa C hoje, conta com 05 programadores CAM, sendo que apenas 01 é dedicado à programação CAM para Torneamento e Fresamento, os outros 04 programadores são dedicados às máquinas Laser.

A fábrica está investindo em mão de obra, foram treinados dois funcionários para trabalharem com a programação no software Cimatron, e ainda farão o curso avançado, tendo o curso básico uma carga horária de 16h. Além disso, os estudos da viabilidade do CAM nas linhas produtivas estão em andamento, principalmente agora com vários comandos a serem programados de forma diferentes. O programador CAM ainda contribui: “Acredito que os

conceitos mudarão por que a Manufatura Auxiliada por Computador chamou a atenção dos especialistas em processos de Usinagem na Empresa C há algum tempo atrás”.

#### **5.4. Tabela Comparativa de Informações**

Para facilitar a explanação dos resultados obtidos com a Pesquisa de Campo, segue a Tabela 4, contendo os dados comparativos das empresas envolvidas na Pesquisa.



Tabela 4 - Comparação de Informações

TABELA COMPARATIVA DE INFORMAÇÕES			
	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Desenvolvimento de produto	Sim	Sim	Sim
Produção	-	-	Sim
Número de Centros de Usinagem	6	1	2
Número de Tornos CNC	2	1	14
Número de Máquinas a Laser	0	1	3
Número de máquinas-ferramentas Convencionais	2	4	7
Utilizam o processo de Fresamento CNC	Sim	Sim	Sim, em PDP e produção
Utilizam o processo de Torneamento CNC	Sim	Sim	Sim, em PDP e produção
Utilizam o processo de corte a Laser	Não	Sim	Sim, em PDP e produção
Programação Manual em Fresamento CNC	Não	Somente em operações muito simples	Sim, nas máquinas do setor produtivo
Programação Manual em Torneamento CNC	Não	Sim, programação interativa com comando que não é ISO.	Sim, nas máquinas do setor produtivo
Aplicam programação CAM no Fresamento CNC	Sim	Sim	Sim, no desenvolvimento de produtos
Aplicam programação CAM no Torneamento CNC	Sim	Não	Com baixa frequência no desenvolvimento de produtos
Aplicam o CAM na produção	-	-	Não
Aplicam o CAM no desenvolvimento de produto	Sim	Sim	Sim
Número de Licenças CAM	7	1	1
Modelo do software CAM	Mastercam X6/ Pro-Manufacturing/ Surf cam	Mastercam X4/ Lantec	Cimatron E10.0/ Smart Sistema/ FG CAD/CAM
Licença para Fresamento CNC	Sim	Sim	Sim
Licença para Torneamento CNC	Sim	Sim	Sim
Licença para M. Laser	-	Sim	Sim
Redução de tempos de Setup com CAM	Sim	Sim	Sim (70%)
Redução de tempos de usinagem com CAM	Sim	Sim, aumento de produtividade em 70%	Sim
Redução de custos com CAM	Diminuição de quebras por erros de coordenadas, avanços rápidos e pontos de referência	-	-
Investimentos em treinamento para CAM	80h para programação básica + avançada	Futuro treinamento para todos os operadores de Máquinas CNC em 80h	16h no treinamento de dois operadores no módulo básico para fresamento
Investimentos em licenças CAM	Somente atualizações	Somente atualizações	Estudo para a compra de 01 licença para o setor produtivo

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com todas as informações levantadas e as comparações em Tabelas, conclui-se que a Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) é uma ferramenta que, quando aplicada nos processos de usinagem, seja, nas fases de desenvolvimento de produto, ou nas fases de produção, proporciona vantagens que resultarão em produtos com menor custo de fabricação, com tempos produtivos menores e com alta qualidade.

Além de oferecer recursos para a programação de peças com altíssimo grau de complexidade e em tempos reduzidos, disponibiliza também simulações que informam os erros em potencial nas estratégias de usinagem levando à economia de máquinas e ferramentas que tem preços elevados devido à natureza dos processos.

Conclui-se que na região estudada, existem empresas que investem em novas tecnologias e que sempre procuram melhorar seus processos e estarem atualizadas para atender seus clientes investindo em treinamentos e em recursos de transformação. Existem também empresas que buscam as tecnologias para se tornarem competitivas, porém em ritmo mais lento e que por conceitos já formados e processos já definidos há tempos, acreditam que as tecnologias que possuem satisfazem as expectativas.

As aplicações da ferramenta CAM na região das empresas estudadas estão muito mais voltadas à área de Desenvolvimento de Produto do que à área de produção dos produtos já em industrialização, embora vários casos de sucesso estejam exemplificados pelos fabricantes dos softwares CAM na área produtiva.

Assim, define-se que a manufatura auxiliada por computador (CAM) deve ser empregada tanto em processos de Desenvolvimento de Produtos quanto em processos produtivos de usinagem juntamente com a inter-relação com outras ferramentas como CAD, CAE, MRP e ERP que auxiliam a gestão das empresas se elas pretendem manter-se no mercado entre as empresas dominantes.

## REFERÊNCIAS

AMN - Associação Mercosul de Normalização. **Comando Numérico de Máquinas - nomenclatura de sistemas de coordenadas e movimentos**. Norma Mercosul (NM 155:1998). 1998. Disponível em: <<http://www.amn.org.br/br/normasv.asp?CSM=Todos&offset=160>>. Acesso em: 05 out. 2012.

MORAES, A.A ; KOBAYASHI, F. **APOSTILA de Mecatrônica - Comando Numérico Computadorizado**. São Paulo: SENAI, 2003, 113 p.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos da Metodologia Científica**: um guia para a iniciação científica. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000, 122 p.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia Científica**. 6 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007, 162 p.

COSENZA, Antônio Jesus. Processo de desenvolvimento de novos produtos. [S.l.: s.n., s.d.]. 13 p. Disponível em: <<ftp://ftp.unilins.edu.br/leonides/Aulas/Pesquisa%20e%20Desenvolvimento/Processo%20de%20desenvolvimento%20de%20novos%20produtos.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

CUNHA, Lauro Salles; CRAVENCO, Marcelo Padovani. **Manual Prático do Mecânico**. São Paulo: Hemus, 2006. 577 p.

FERES, Fernanda. Complexidade operacional é superada com a evolução da tecnologia CNC. **Revista O mundo da Usinagem**. São Paulo: Sandvik Coromant do Brasil, 8 ed., n. 70, ago. 2010. 6-10p. Disponível em: <<http://housepress.com.br/mundoUsinagem/secao.asp?idSecao=171>>. Acesso em: 03 set. 2012.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8 ed. São Paulo: Thomson Pioneira, 2002, 598 p.

MARTINS, Petrônio Garcia.; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005, 556 p.

MASIPACK. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
< [http://www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgecam/45](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgecam/45)>. Acesso em: 19 set. 2012.

NAKAMURA, Edson Tadashi; et al. Utilização de ferramentas CAD/CAE/CAM no desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: vantagens e desafios. **Revista FUCAPI**. Manaus: T&C Amazônia, Ano 1, ed. 2, n. 42, jun. 2003. 39-43 p. Disponível em:  
<[http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02\\_06.pdf](http://www.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed02_06.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2012.

NORTHSTAR Aeroespacial. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
<<http://www.mastercam.com/successstories/Aeroespace/articles4.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2012.

NREC – Centro Nacional de Engenharia Robótica. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
<<http://www.mastercam.com/successstories/Prototyping/articles5.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2012.

PRADO, Hélio de Siqueira Prado; LARA, Paulo César Perestrelo (Elaboração). Curso Técnico em Mecatrônica: Apostila Desenho Assistido por Computador. 3 ed. São Paulo: SENAI, 2005, 61 p.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos – uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006, 542 p.

SKA. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
< <http://www.ska.com.br/produtos/aplicacoes/5/edgecam>>. Acesso em: 19 set. 2012.

SENAI. Iniciação ao comando numérico: manual de programação e operação CNC Mach 9. São Paulo: SENAI, [s.d.], 167 p.

SOUZA, Adriano Fagali; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. **Engenharia integrada por computador e sistemas CAD/CAM/CNC**: princípios e aplicações. São Paulo: Artliber, 2009. 332 p.

TECPOL. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
< [http://www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgecam/44](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgecam/44)>. Acesso em: 19 set. 2012.

WEG Motores. [S.l.: s.n., s.d.]. Disponível em:  
< [http://www.ska.com.br/produtos/caso\\_de\\_sucesso/5/edgecam/42](http://www.ska.com.br/produtos/caso_de_sucesso/5/edgecam/42)>. Acesso em: 19 set. 2012.

## APÊNDICE A - Questionário

Nome da Empresa:

Nome do entrevistado:

Data:

1. A empresa tem CAM?
2. Quais os tipos de máquinas que a empresa possui no setor e quantas são?
3. A empresa aplica a Manufatura Auxiliada por Computador para o torneamento e/ou fresamento? Em quais fases do processo?
4. Qual o modelo do CAM que a empresa utiliza?
5. Quais os principais objetivos que levam à aplicação do CAM na empresa?
6. Quais os resultados obtidos?
7. Quais as dificuldades encontradas quando a empresa implantou um sistema CAM?
8. Qual o motivo da empresa não utilizar um sistema CAM?
9. Se a empresa possui um sistema CAM e não o utiliza, qual o motivo?
10. Quantas pessoas são especializadas nesta ferramenta?
11. Qual o tempo e o custo de treinamento que a empresa investe nas pessoas que assumem este tipo de atividade?