



## 19 Congresso de Iniciação Científica

### CAPACITAÇÃO EM MODELAMENTO E MANUFATURA DE SÓLIDOS UTILIZANDO SISTEMA CAD/CAM

#### Autor(es)

---

FELIPE ALVES DE OLIVEIRA PERRONI

#### Orientador(es)

---

KLAUS SCHÜTZER

#### Apoio Financeiro

---

PIBITI/CNPQ

#### 1. Introdução

---

O modelamento e manufatura dos produtos com rapidez e com baixo custo faz com que a tecnologia CAD/CAM se transforme numa grande ferramenta para as empresas alcançarem a melhoria de seus produtos, permitindo o aumento da produtividade, rapidez na introdução de novos produtos e diminuição dos custos de manufatura.

No ciclo de manufatura de cadeia CAD/CAM/CNC, o Centro de Usinagem CNC executa a usinagem do produto, este necessita de um programa NC contendo as trajetórias das ferramentas geradas pelo sistema CAM. Este por sua vez, necessita de um modelo geométrico tridimensional gerado pelo sistema CAD, podendo ser modelado em sólidos ou em superfícies.

No modelamento em sólidos, os objetos são construídos com a combinação simples de sólidos primitivos, como cilindros, cubos, cones etc., envolvendo operações booleanas (adição, subtração e intersecção), além de operações de revolução e extrusão. (Mäntylä, 1988).

No modelamento baseado em superfícies, há recursos sofisticados para manipulações de geometrias modeladas, permitindo que a forma geométrica seja alterada para obter-se o produto desejado. A manipulação desta superfície é dada pela movimentação de qualquer ponto da geometria, em qualquer direção (McMahon, et al., 1993; Bedworth, et al., 1991).

Para que o sistema CAM possa calcular o programa NC para o produto a ser usinado, o usuário deve fornecer para o sistema as operações desejadas para a sua manufatura, tais como: operação de desbaste, pré-acabamento e acabamento, além da estratégia de corte a ser utilizada em cada uma destas operações, pois irão representar o processo de usinagem da peça em questão, influenciando assim tanto o tempo de usinagem quanto na sua qualidade superficial final.

Em decorrência disto, este projeto de pesquisa tem como objetivos, a formação conceitual, metodológica e prática no modelamento geométrico e manufatura de superfícies complexas através de sistemas CAD/CAM. A partir disto, avaliar as diferentes estratégias de corte para determinar as mais adequadas na manufatura peças complexas, considerando sua curvatura e sua relação com as superfícies vizinhas.

#### CNC

Na década de 70, máquinas-ferramentas contaram com a introdução do CNC (Horath, 1993), permitindo ao comando numérico a edição e armazenamento local do NC, para comandar a máquina pode ser introduzida uma linguagem de programação, revolucionando integração da máquina-ferramenta com as diversas etapas da cadeia do desenvolvimento do produto.

Por meio de uma linguagem de programação e de coordenadas no plano cartesiano, o programa NC informa a trajetória que deve ser percorrida pela ferramenta e os parâmetros de corte para que a usinagem seja executada.

O programa NC pode ser gerado através de dois métodos: Programação manual e via CAD/CAM.

No método manual, o programador tem responsabilidade de transformar as informações do desenho 2D em linhas do programa, pela linguagem de programação ISO, contendo o curso da ferramenta. Das características desse método de programação podemos destacar o elevado tempo para geração do comando NC, o programador deve ter conhecimento detalhado na linguagem e nas características de cada CNC, na programação manual só possível realizar programas de peças com geometria simples (retas e arcos) e por fim outro ponto é a alta possibilidade de erros no programa (HELENO, et al., 2003).

Já na programação CAD/CAM, a peça a ser usinada é fornecida pelo programador ao sistema CAM, com a dimensão da matéria-prima, as estratégias de corte e os parâmetros definidos. Com isso o sistema CAM traça o curso da ferramenta de corte e gera um arquivo CLF (Cutter Location File), que é somente reconhecido pelo sistema CAM, para que o CNC o reconheça deve ser usado um módulo que faz o arquivo CLF ser convertido em um programa NC. As características destacadas como mais importantes na programação CAD/CAM são: Agilidade na geração do programa NC e na programação de peças com geometrias simples e complexas, menores possibilidades de erro por parte do programador e contem recursos para simulação e estratégias de usinagem.

## CAD

“Computer Aided Design” ou simplesmente CAD é o sistema utilizado por diversas áreas, como a engenharia, geologia, arquitetura, e design para facilitar o projeto e desenho técnicos.

Entre os sistemas CAD capazes de construir objetos tridimensionais, há diferentes métodos empregados para representação gráfica de objetos. A forma de representar objetos está relacionada com o modelador geométrico (Kernel), que é o núcleo do software. Este núcleo pode ser qualificado como software CAD modelador de Sólidos ou Superfícies, com características distintas entre eles, como descritas a seguir: As geometrias tridimensionais criadas com um sistema CAD modelador de sólidos e superfícies são entidades sólidas, contendo informações volumétricas, superficiais e físicas, como massa, centro de gravidade e inércia (HENRIQUES, 1999). Estes sistemas fornecem uma série de ferramentas para construção de entidades geométricas planas ou mesmo objetos tridimensionais. Também disponibilizam ferramentas para relacionar essas entidades ou esses objetos, por exemplo: criar um arredondamento (fillet) entre duas linhas ou subtrair as formas de dois objetos tridimensionais para obter um terceiro.

## CAM

Computer Aided Manufacturing (CAM), ou Manufatura Auxiliada por Computador contrapondo-se ao CAD o CAM está no processo de produção.

Os sistemas CAM trabalham tendo como base modelos matemáticos provenientes do sistema CAD. Através desses modelos os sistemas CAM geram um arquivo de caminho de ferramenta que através do pós-processador. Através dos sistemas de CAM é possível transferir todas as coordenadas para que as máquinas CNC (Comando-Numérico-Computadorizado) efetuem as usinagens da peça.

A utilização de sistemas CAM proporcionou uma melhora significativa no processo de fabricação de moldes e matrizes contendo formas geométricas complexas. Para o cálculo de programas NC em um software CAM, inicialmente é necessário um modelo CAD. Para esta transferência de dados geométricos do sistema CAD para o sistema CAM em softwares desenvolvidos pela mesma empresa, a maioria dos sistemas utiliza-se de uma malha de triângulos gerada sobre a geometria original no CAD, e é esta malha que será usada como modelo geométrico para geração de programas NC (SCHÜTZER, et al., 2000).

A trajetória da ferramenta gerada pelo Sistema CAM proporciona ao processo de fabricação benefícios relacionados diretamente com o tempo de usinagem e qualidade final do produto. Através dessa tecnologia pode-se impulsionar ou limitar a manufatura de moldes e matrizes com altas velocidades

### Estratégias de usinagem

Estratégia de corte é basicamente a trajetória que a ferramenta percorre em cada operação de usinagem.

O estudo da estratégia apropriada é de extrema importância no processo de manufatura, pois determina algumas características finais do produto, como o tempo de usinagem, aspecto superficial e precisão na tolerância geométrica.

Os sistemas CAM disponibilizam um conjunto de estratégias, cabendo assim ao programador escolher qual delas se adapta melhor a superfície que será usinada. A seguir são demonstrados alguns dos principais tipos de estratégias de corte:

- Zig

É linear, unidirecional, com aplicação voltada a modelos retangulares, sendo que sua trajetória é descrita através da projeção de linhas paralelas entre si na superfície a ser usinada (Ramos, 2003).

Este tipo de trajetória garante alta qualidade superficial a superfícies simples, no entanto tem a desvantagem de apresentar uma quantidade de tempo não produtivo, devido movimento de retorno da ferramenta de corte (Choy, et al., 2003).

- Zig-Zag

É semelhante a estratégia Zig, no entanto a remoção de material ocorre em ambas as direções, eliminando assim o tempo inativo da ferramenta. A desvantagem deste método é que a remoção de material nas duas direções alternadamente causa trepidações na máquina ferramenta, comprometendo assim a qualidade superficial e reduzindo a vida útil da ferramenta (Choy, et al., 2003).

- Follow Periphery

Se distingue das demais por apresentar passo lateral constante devido a trajetória da ferramenta ser baseada em offset's do modelo geométrico. Essa estratégia é muito utilizada em peças que apresentam geometrias complexas, tanto nas operações de desbaste como nas de pré-acabamento e acabamento.

## 2. Objetivos

---

Este projeto visa capacitação e preparação do aluno de graduação na cadeia de desenvolvimento do produto utilizando para isto, um sistema CAD/CAM na geração de programas NC para a máquina CNC e o conhecimento prático das estratégias de usinagem para manufatura de superfícies complexas.

Dentro do projeto algumas etapas foram realizadas, aquisição de conhecimento necessário para modelamento de sólidos, através do exercício de utilização dos Sistemas CAD modeladores de sólidos e superfícies, disponível no SCPM (Siemens NX5), conhecimento para geração de programas NC através do sistema CAM disponível no SCPM (Siemens NX5), definição do corpo de prova para a usinagem, estudo diferentes estratégias de usinagem do corpo de prova, comparação de estratégias de usinagem a fim de aperfeiçoar o processo e avaliação por meio de usinagem, as melhores estratégias de corte.

### 3. Desenvolvimento

---

Para alcançar os objetivos foi necessária a realização de uma ampla revisão bibliográfica sobre os temas em questão:

- Metodologias utilizadas por sistemas CAD/CAM para representação de sólidos.
- Estratégias de corte para manufatura de peças.

Com o desenvolvimento da revisão bibliográfica, permite-se que se modele e defina os parâmetros de uma peça no sistema CAD/CAM, após é gerado o programa NC, seguido pela máquina CNC. Para a conclusão foram utilizados os seguintes materiais:

- O Sistema CAD/CAM Siemens NX 7.5.
- O corpo de prova sólido com geometria complexa contendo várias features. Como material de ensaio foi utilizado um aço liga P20, que é caracterizado por ter boa usinabilidade e uniformidade de dureza, disponibilizado pelo SCPM.
- Para a usinagem dos corpos de prova foi utilizado o Centro de usinagem ROMI - Modelo Discovery 760 com eixo árvore de 10000 rpm, equipado com o comando Siemens 810D.
- Para medição da peça foi utilizada a Tesa Microhite 3D DCC, com precisão de 0,1 micron, junto com o software PC-DMIS CAD++.
- Para medição da Rugosidade foi utilizado um rugosímetro Mitutoyo SurfTest – 211.

### 4. Resultado e Discussão

---

Durante essa fase inicial do projeto de iniciação científica, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica para estudo da área de usinagem de materiais, foi também realizado o treinamento de CAD/CAM com auxílio do software Unigraphics NX utilizando as apostilas fornecidas pelo Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura (SCPM).

Com o treinamento CAD/CAM concluído, foi modelado o corpo de prova e criado o programa CAM com as etapas da usinagem, a Figura 1 mostra a área de trabalho para a programação em CAM com o modelo CAD

Com o programa CAM realizado, usando um pós-processador, foi gerado o programa NC, que é enviado para o Centro de Usinagem, para o acabamento da superfície como foram realizadas três faixas com acabamentos diferentes, onde os tempos foram cronometrados pelo CAD e durante a usinagem.

Após a usinagem realizada, Figura 2, a peça foi levada ao laboratório de metrologia para serem realizadas as medições. Primeiramente foi realizado o ensaio rugosidade onde foram obtidos os valores em diversas faixas da peça.

Realizada o ensaio de rugosidade, foi feita medição tridimensional para estudo do desvio geométrico, onde o aparelho retorna ao computador as coordenadas de cada ponto, CAD e Real (medido), possibilitando a montagem de gráficos comparativos entre os valores nominais e medidos como mostra a Figura 3.

Os perfis da Figura 3 mostram um erro comparando ao modelo CAD, este erro aconteceu pelo fato de na etapa de medição a máquina não encontrar o ponto do pico mais alto da peça, portanto nessa etapa para análise dos resultados foram utilizados pontos próximos ao pico.

### 5. Considerações Finais

---

O objetivo deste trabalho foi a integração CAD/CAM/CNC para a usinagem de um corpo de prova com diferentes estratégias de corte, para a realização desse projeto adquiriu-se conhecimento teórico em fundamentos da usinagem, funcionamento dos sistemas CAD/CAM e a influência das estratégias de usinagem no produto final levando em conta o acabamento e o tempo de corte.

A última etapa do projeto englobou a usinagem do corpo de prova, as análises de tempo, da qualidade superficial, medidos nos ensaios de rugosidade, e desvio geométrico.

Nas operações de acabamento, verificou-se que as estratégias Zig e Zig-Zag 45° apresentaram tempos bem próximos, já a Zig-Zag foi o que apresentou o tempo mais baixo das estratégias, pois ele tem maior tempo ativo na usinagem.

Em foco a qualidade superficial, a rugosidade teve melhores resultados na estratégia Zig, pois apresentou no ensaio de rugosidade os menores valores na maioria das faixas medidas, pois o Zig-Zag 45° em uma das faixas obteve melhor rugosidade que Zig, e a estratégia Zig-Zag foi a que obteve os maiores valores.

Já visando o desvio geométrico medido, a estratégia que obteve melhores resultados foi também a Zig, pois teve os menores desvios apresentados.

Portanto para este caso pode-se concluir que agilidade no processo a melhor estratégia seria a Zig-Zag e se fosse necessário melhor acabamento para a peça o melhor seria Zig.

## Referências Bibliográficas

Bedworth, D.D., Henderson, M.R. and Wolfe, P.M. 1991. Computer-Integrated Design and Manufacturing. New York : McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-100846-2.

Choy, H.S and Chan, K.W. 2003. A corner-looping based tool path for pocket milling. CAD Computer Aided Design. 2, Fevereiro 2003, Vol. 35, pp. 155-166.

HELENO, A.L. and SCHUTZER, K. 2003. PRogramação e Transmissão de Dados na Tecnologia HSC. Usinagem em Altíssimas Velocidades: Como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. 2003, Vol. I, 1.

HENRIQUES, J.R. 1999. Integração entre sistemas CAD/CAPP/CAM. Santa Bárbara d'Oeste : Universidade Metodista de Piracicaba : UNIMEP, 1999.

Horath, L. 1993. Computer Numerical Control Programing of Machines. New York : Macmillan Publishing Company, 1993. ISBN 0-02-357201-9.

Mäntylä, M. 1988. Introduction to Solid Modeling. Rockville : Computer Science Press, 1988. ISBN 0-88175-108-1.

McMahon, C and Browne, J. 1993. CAD/CAM From the Principles to the Praticce. Suffolk : Addison-Esley, 1993. ISBN 0-210-56502-1.

Ramos, A.M. 2003. The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on machining of complex surfaces. Journal of Materials Processing Technology. Maio 10, 2003, Vol. 136, pp. 209-216.

SCHÜTZER, K, SOUZA, A. F. and STANIK, M. 2000. Aplicação da Usinagem com Altíssima Velocidade de |Corte na Manufatura de Moldes e Matrizes. Anais do Congresso Usinagem 2000. Setembro, 2000.

Weinert, K. and Guntermann, g. 2000. Usinagem de superfícies complexas. 2000, Vol. 415, 36, pp. 18-27.

## Anexos



