



## 20º Congresso de Iniciação Científica

# APLICAÇÃO DA INTERPOLAÇÃO SPLINE COMO TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA NA MANUFATURA DE MOLDES E MATRIZES COM ALTAS VELOCIDADES

### Autor(es)

---

FELIPE ALVES DE OLIVEIRA PERRONI

### Orientador(es)

---

KLAUS SCHÜTZER

### Apoio Financeiro

---

PIBITI/CNPq

## 1. Introdução

---

A usinagem de moldes e matrizes vem ganhando espaço no mercado à medida que a economia mundial avança em direção da redução de lotes, configurações do produto ao cliente, grande diversidade de produtos, redução do seu tempo de ciclo de vida e principalmente redução do tempo de lançamentos de novos produtos.

No entanto, seu processo tradicional de manufatura ainda apresenta um lead time, ou seja, o tempo total do ciclo de produção de um produto extremamente alto. Dentre os novos conceitos tecnológicos para o processo de usinagem, a Tecnologia HSC (*High Speed Cutting*) é apresentada como solução, pois tem como principais características a alta remoção de material e elevada qualidade superficial, resultando assim na redução do tempo de fabricação, custos e uma melhora significativa no produto final (1; 2).

Dentro do contexto apresentado anteriormente, esse trabalho, tem como objetivo aplicar a interpolação Spline como trajetória da ferramenta, utilizando diferentes estratégias de usinagem na manufatura de uma peça da Sociedade NC alemã, verificando seus reais benefícios com relação ao tempo de usinagem, qualidade superficial e precisão geométrica.

### Sistema CAM

“*Computer Aided Manufacturing*” (CAM), ou Manufatura Auxiliada por Computador é um sistema voltado para o processo de produção.

Os sistemas CAM trabalham tendo como base modelos matemáticos provenientes do sistema CAD. Por meio de um modelo feito em um sistema CAD, o sistema CAM gera a trajetória da ferramenta que, através do pós-processador, é gerado o programa NC do comando numérico específico da máquina. 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 (3)

### Estratégias de usinagem

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

O estudo da estratégia apropriada para a peça 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, como por exemplo:

- Zig

É linear, unidirecional, com trajetória descrita através da projeção de linhas paralelas entre si na superfície a ser usinada (4). Este tipo de trajetória garante alta qualidade superficial a superfícies simples, que ocorre pelo fato da ferramenta realizar o corte concordante, sempre iniciando do ponto com valor máximo de retirada de material de decrescer até o zero (5), deixando um acabamento melhor na

peça, no entanto tem a desvantagem de apresentar uma quantidade de tempo não produtivo (6).

- Zig-Zag

Semelhante à estratégia Zig, porém a remoção de material ocorre em ambas as direções, concordante e discordante, eliminando assim o tempo inativo da ferramenta. Mas a remoção de material nas duas direções alternadamente traz a desvantagem de causar trepidações na máquina ferramenta, pois ao contrário do movimento concordante o movimento discordante tem a espessura de corte com um aumento progressivo, indo de zero até um valor máximo de retirada de cavaco (5), antes que a aresta efetivamente inicie o corte, ela somente tenderá a escorregar o material com certa pressão, tendo um possível aumento da vibração (7), comprometendo assim a qualidade superficial e reduzindo a vida útil da ferramenta (6).

- Follow Periphery

Se distingue das demais devido a trajetória da ferramenta ser baseada em offset

## 2. Objetivos

---

Esse projeto tem por objetivo aplicar a interpolação Spline na trajetória da ferramenta na manufatura de um molde com altas velocidades, avaliando com isso os benefícios reais dessa aplicação. Para alcançar o objetivo deste projeto foram realizados estudos sobre métodos de interpolações para a trajetória da ferramenta (Linear e Spline), usinagem com Altas Velocidades, sistema CAD/CAM/CNC, processo de manufatura de moldes e matrizes e geração de programas NC (CAD/CAM).

## 3. Desenvolvimento

---

Esta fase envolve todo o planejamento dos ensaios práticos, ou seja, a escolha do corpo de prova, material, ferramentas e equipamentos utilizados para a sua manufatura e análise das medições.

### Usinagem do Corpo de Prova

Para a verificação da aplicação da interpolação Spline no processo de manufatura foi utilizado um corpo de prova encontrada na sociedade NC alemã, demonstrado na Figura 1, porém para o projeto foi feita retirada a última curva da peça.

Os corpos de prova foram usinados em um novo tipo de aço desenvolvido pela Villares Metals, denominado VP Atlas, esse aço no estado beneficiado é fornecido com dureza entre 38 à 42 HRC. Este material tem ampla aplicação na fabricação de moldes e matrizes para injeção de plásticos e termoplásticos não clorados, é caracterizado pela boa usinabilidade e uniformidade de dureza e em sua composição apresenta aço ligado ao Cr-Mo-Mn + microadições (12).

A usinagem foi realizada no Centro de usinagem ROMI – Modelo Discovery 760: com capacidade de rotação da ferramenta de 10000 rpm, equipada com o comando Siemens 810D. Foram utilizadas ferramentas inteiriças de metal duro de 8 mm para as operações de acabamento, que apesar de seu alto custo em relação a outros tipos de ferramentas, são as mais indicadas para operação que necessitam altas velocidades, boa estabilidade e batimento radial mínimo.

Os programas NC das operações de acabamento foram gerados com os seguintes métodos de interpolação Linear e Spline, ambos com tolerância CAM 0,005 mm e três estratégias de corte cada (Zig; Zig-Zag; Zig-Zag 45°)

Os parâmetros de corte utilizados no processo foram: 0,1 mm de avanço por aresta, velocidade de corte de 130 m/min e rotação de 5173 rpm, em ambas as interpolações e estratégias. Durante a execução da usinagem do corpo de prova foram monitorados os tempos de usinagem total e parcial das faixas de acabamento

### Medição dos corpos de prova

A medição tem como objetivo estudar detalhadamente as seguintes características:

- Erro de forma (precisão da geometria final), a realização da medição foi utilizada a máquina de medir por coordenadas, do fabricante Tesla modelo MicroHite 3D DCC, com precisão de 0,1 microm, junto com o software PC-DMIS CAD++. Através da varredura de pontos do corpo de prova, com o auxílio de uma máquina de medir coordenadas. Este estudo tem como principal objetivo comparar a geometria do corpo de prova usinado com a geometria original do modelo CAD/CAM.
- Rugosidade superficial foi realizada usando o instrumento de medição rugosímetro modelo SurfTest 211 da empresa Mitutoyo, para a medição das faixas foram escolhidas três áreas para as estratégias.
- Aspecto superficial das estratégias para cada interpolação foi feita utilizando um microscópio Nikon GTR com câmera embutida, para tirar as fotos das superfícies, utilizando uma lente com aumento de 50x.

Os ensaios de medição foram realizados cinco vezes com o objetivo de fornecer credibilidade aos valores encontrados.

## 4. Resultado e Discussão

---

Para a realização do projeto, uma ampla revisão bibliográfica para o estudo da usinagem HSM com diferentes tipos de interpolações de trajetórias da ferramenta e com diferentes estratégias, foi definido e modelado o corpo de prova e escolhidas as melhores estratégias, ferramentas e parâmetros de usinagem para realização do programa CAM.

Montado o programa CAM foi gerado o programa NC, usando o pós-processador fornecido pelo NX 7.5, e enviado para o Centro de

Usinagem CNC para a fabricação da peça. Durante a usinagem foram cronometrados os tempos principalmente dos acabamentos e notou-se, em todas as estratégias, que a trajetória Spline teve um tempo mais reduzido que a linear, pelo fato do avanço real ficar bem próximo do real, visualizado no painel de comando da máquina, que é dificilmente alcançado na trajetória linear.

Após a usinagem foram feitas as medições das peças. Pelo ensaio de rugosidade notou-se que a trajetória Linear apresentou melhores resultados que a Spline, mesmo que pequena a média da diferença foi de aproximadamente de 0,36  $\mu$ m. O mesmo resultado pode ser encontrado pelo ensaio de aspecto visual, pois percebe-se que na trajetória Spline teve maior vibração da ferramenta pela marcas das fotos do microscópio, Figura 2, comprometendo a qualidade superficial e também a rugosidade.

Por fim foi realizada a medição do erro de forma da peça e de acordo com os resultados a trajetória Spline teve os erros, médio e máximo, menores que a Linear, Figura 3, porém por ser um material ser muito duro, na área de um declive acentuado, a ferramenta possivelmente vibrou e sofreu batimento por não ter um ponto de engastamento, acarretando em um grande erro de forma.

## 5. Considerações Finais

---

O objetivo deste trabalho foi a aplicação da interpolação Spline como trajetória da ferramenta na manufatura de moldes e matrizes com altas velocidades, para analisar em comparação a interpolação linear, para a realização desse projeto adquiriu-se conhecimento teórico em usinagem HSM com diferentes tipos de interpolações de trajetórias da ferramenta e com diferentes estratégias e sobre a construção de programas NC.

A última etapa do projeto englobou a usinagem da peça, as análises de tempo, qualidade superficial, medição de rugosidade e desvio geométrico.

Nas operações de acabamento, em relação ao tempo, verificou-se que as estratégias usinadas com trajetória Spline apresentaram tempos mais baixos que as usinadas com interpolação Linear, pois ele tem uma velocidade de avanço real mais constante, apresentada durante a usinagem.

Em relação a qualidade superficial e a rugosidade a interpolação Linear teve resultados melhores, pois apresentou no ensaio de rugosidade os menores valores na maioria das faixas medidas e no ensaio visual pode se perceber menor vibração da ferramenta que na trajetória Spline.

Já visando o desvio geométrico medido, a interpolação da trajetória ferramenta Spline mostrou menor erro que a Linear, porém essa diferença se mantém nas curvas e quanto mais acentuada maior a diferença do erro entre as interpolações da trajetória.

Portanto para as estratégias e parâmetros de corte (Velocidade de corte, avanço e rotação) utilizados nesse estudo, pode-se concluir que agilidade no processo e melhor tolerância geométrica, para peça com muitas curvas, o melhor tipo de interpolação seria a Spline, e se fosse necessário melhor acabamento visual e rugosidade, para o molde, o melhor seria a com interpolação Linear.

## Referências Bibliográficas

---

1. ALTAN, T. and LILLY, B.: YEN, Y.C. Manufacturing of Dies and Molds. Annals of the CIRP. 2001. Vol. 50, 2.
2. HELLENO, A.L. and K., SCHÜTZER. Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology. Journal of Materials Processing Technology. 2006, Vol. 179, pp. 178-184.
3. SCHÜTZER, K, SOUZA, A. F. and STANIK, M. Aplicação da Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte na Manufatura de Moldes e Matrizes. Anais do Congresso Usinagem 2000. Setembro, 2000.
4. Ramos, A.M. 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.
5. DINIZ, A.E., MARCONDES, F.C. and COPPINI, N.L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. São Paulo : mm editora, 2001.
6. Choy, H.S and Chan, K.W. A corner-looping based tool path for pocket milling. CAD Computer Aided Design. 2, Fevereiro 2003, Vol. 35, pp. 155-166.
7. Souza Junior, A. M. ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE PCBN ECERÂMICA MISTA NO FRESAMENTO DEBLOCOS MOTORES DE FERROFUNDIDO CINZENTO. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil : PUC - Minas, 2001.
8. Moreira, F. C. Influência do ângulo entre trajetórias lineares no tempo de execução de blocos em usinagem CNC de superfícies. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos : s.n., 2010. Tese de Mestrado.
9. ARNOME, A. High Performance Machining. USA, Cincinnati: Hanser Gardner Publications. High Performance Machining. . Cincinnati, USA : Hanser Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-246-1.
10. C., STROH and ABELE, E. NURBS based Tool Path generation. X SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA. 2005, pp. 49-68.
11. Sinumerik 840D/840Di/810D/FM-NC. Programming Guide Advanced. 10. 2000.
12. Villares metals. [Online] [Cited: 07 12, 2012.] [http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT\\_14\\_VPATLAS.pdf](http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT_14_VPATLAS.pdf).

## Anexos

---

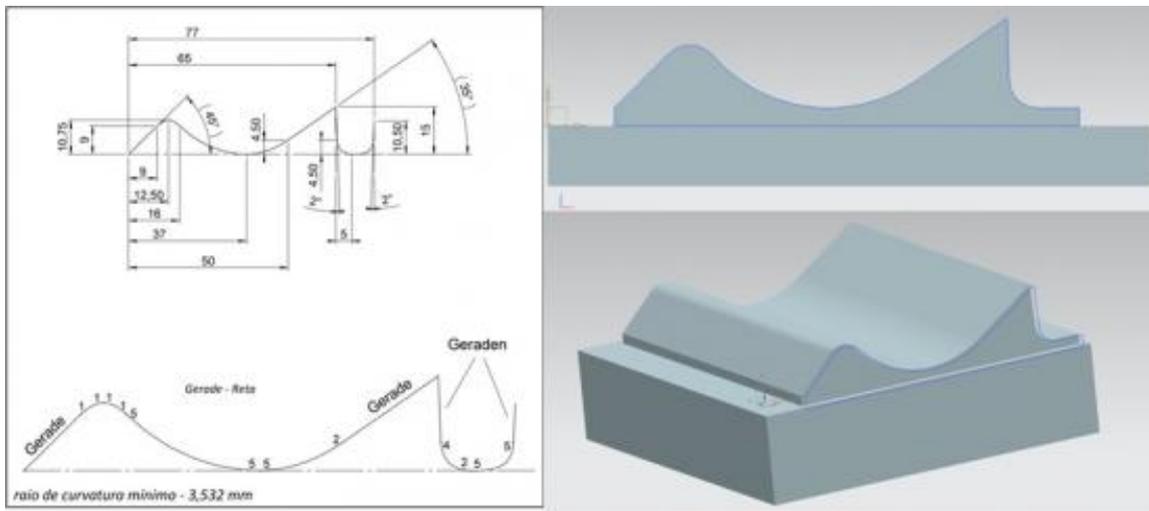


Figura 1

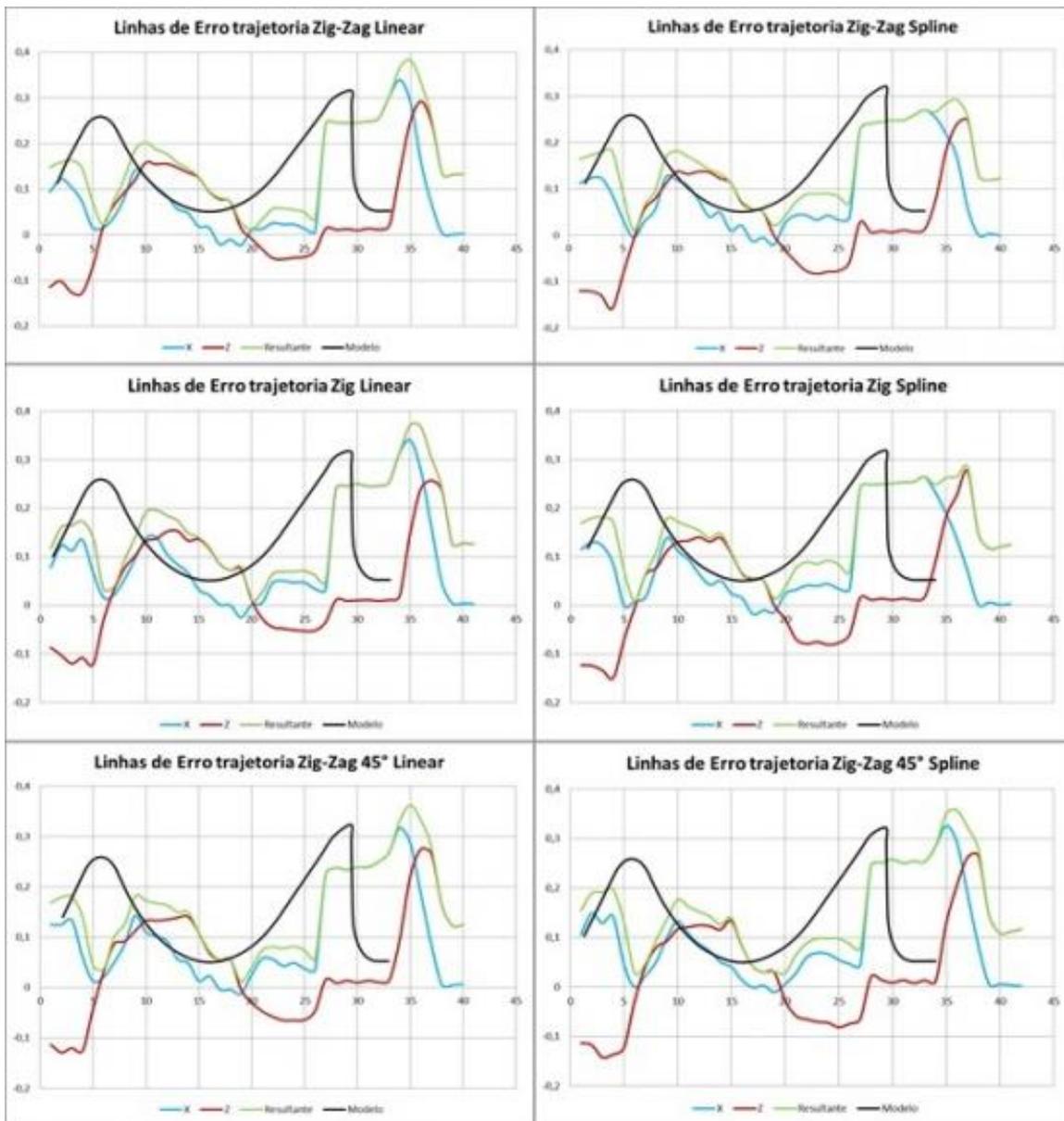


Figura 3

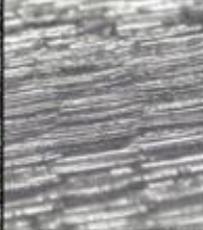
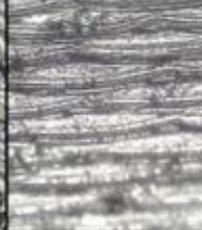
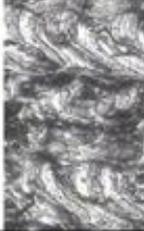
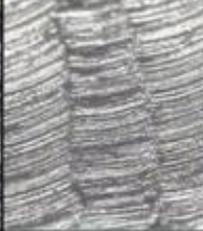
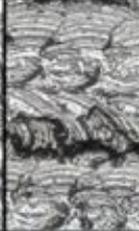
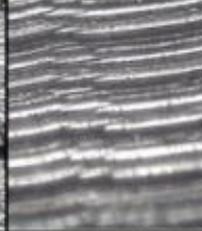
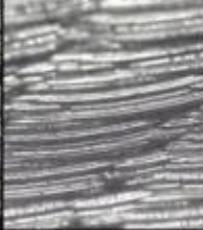
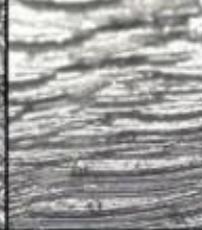
|                  | Linear  |   |   | Spline   |   |   |
|------------------|---|---|---|--|---|---|
|                  | Plano   | Rampa   | Vale  | Plano  | Rampa   | Vale  |
| Zig              |  |  |  |  |  |  |
| Zig - Zag        |  |  |  |  |  |  |
| Zig - Zag<br>45° |  |  |  |  |  |  |

Figura 2