

REDUÇÃO DO TEMPO DE FABRICAÇÃO NA MANUFATURA DE MOLDES E MATRIZES ATRAVÉS DO ESTUDO DAS METODOLOGIAS DE INTERPOLAÇÃO DA TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA

André Luís Helleno

Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura
fone (0xx19) 3124-1792 E-mail: - alhelleno@unimep.br

Prof. Dr-Ing. Klaus Schützer

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - FEMP - UNIMEP
fone (0xx19) 3124-1792 - E-mail: schuetzer@unimep.br

Abstract

The HSC (High Speed Cutting) technology appears as one of the solutions in die and molds manufacturing, but its application has restrictions in the industry, once that it isn't base only in the high rotation spindle, but in the combination of high speed cut and feedrate to create a new process based on the factors that influence in the application of the HSC technology.

This paper analyzes the influence of the tool path interpolation in the application of the HSC technology in die and molds manufacturing, with the HSC technology, serving of base to development of this technology in Brazil.

Keywords: High Speed Cutting, CAD/CAM/CNC, Die and Mold, Tool Path Interpolation.

1 Introdução

A usinagem de moldes e matrizes vem ganhando espaço de destaque no setor de manufatura na medida em que a economia mundial avança em direção à redução de lotes, configurações do produto ao cliente, grande diversidade de produtos e principalmente redução de seu tempo de vida, juntamente com a exigência de redução do tempo de lançamentos de novos produtos.

No Brasil, o setor de moldes e matrizes começou seu crescimento extraordinário em 1999, quando o Real sofreu uma desvalorização frente ao Dólar, o que desencadeou a substituição dos principais fornecedores externos (Espanha, Portugal, Taiwan e Itália) por fornecedores internos e, conseqüentemente a modernização de sua indústria [1].

Atualmente, as taxas de crescimento estão em torno de 10% ao ano [2], com uma situação futura promissora, principalmente pelo alto crescimento da indústria automobilística. No entanto, como pode ser visto na Figura 1, no atual processo de manufatura de moldes e matrizes, o tempo de fabricação é extremamente alto, uma vez que consiste na usinagem de superfícies complexas em material normalizado (sem tratamento térmico) com baixas velocidades de cortes e avanços, endurecimento do material (tratamento térmico) após a usinagem e acabamento através dos processos de eletroerosão, usinagem e polimento manual, a fim de obter o acabamento final necessário.

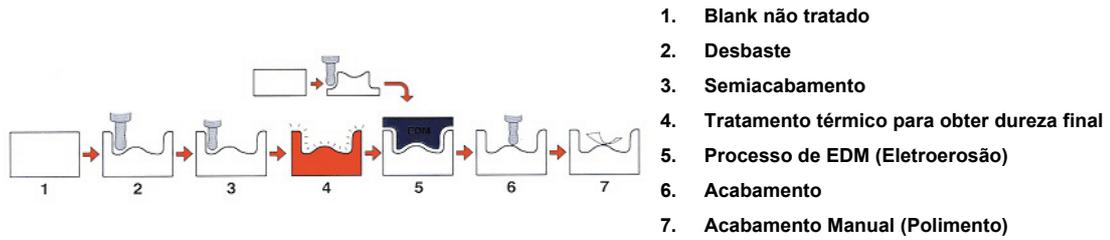


Figura 1: Processo de Fabricação Tradicional [3].

Neste contexto, a Tecnologia HSC (High Speed Cutting) surge como uma das soluções na usinagem de moldes e matrizes, uma vez que resultará na redução do tempo de fabricação, custos e uma melhora significativa no produto final.

O aumento da velocidade de corte resulta em uma redução das forças de corte, permitindo uma otimização do processo de fabricação. As operações de desbaste e semiacabamento podem ser executadas no blank endurecido, o processo de eletroerosão será reduzido ao extremo através do uso de ferramentas menores e o polimento manual será mínimo, devido ao alto grau de acabamento do processo de usinagem. A Figura 2 ilustra o processo de fabricação com a Tecnologia HSC.

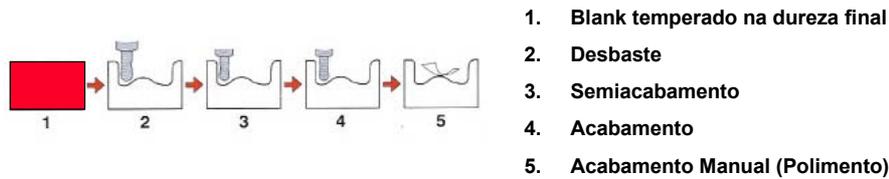


Figura 2: Processo de Fabricação com a Tecnologia HSC [3].

Porém, sua aplicação pode encontrar grandes restrições na indústria, uma vez que, não se baseia somente em um eixo árvore de rotação mais elevada, mas sim na união de altas velocidades de cortes e avanço para criar um novo processo de usinagem por completo, ou seja, sua aplicação requer uma reestruturação do processo produtivo, baseada em todos os fatores que influenciam no processo de usinagem. Na Figura 3, observam-se os fatores envolvidos com a Tecnologia HSC.

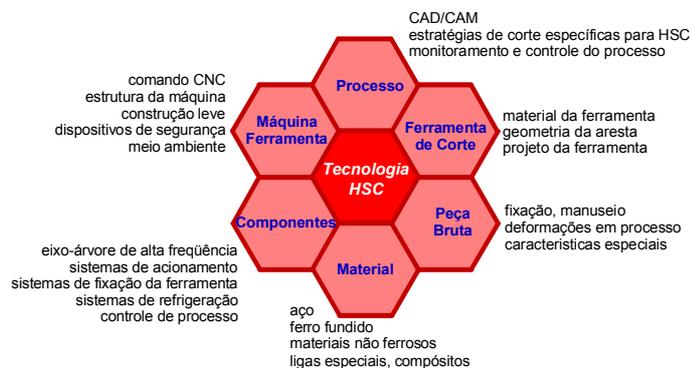


Figura 3: Tecnologias relacionadas ao processo HSC [4].

Dentre os fatores envolvidos com a Tecnologia HSC, este artigo traz, uma análise da influencia da escolha da metodologia de interpolação da trajetória da ferramenta sobre o tempo de fabricação

2 Interpolações da trajetória da ferramenta no programa NC

Para determinar a trajetória da ferramenta que melhor representa o modelo geométrico, os sistemas CAM podem utilizar diversos métodos de interpolação. A escolha deste método fica a critério do programador. Cada método de interpolação proporcionará características próprias ao programa NC e conseqüentemente influências distintas na Tecnologia HSC. A Figura 4 ilustra os métodos de interpolação que normalmente são encontrados nos sistemas CAM, adequados para a Tecnologia HSC.

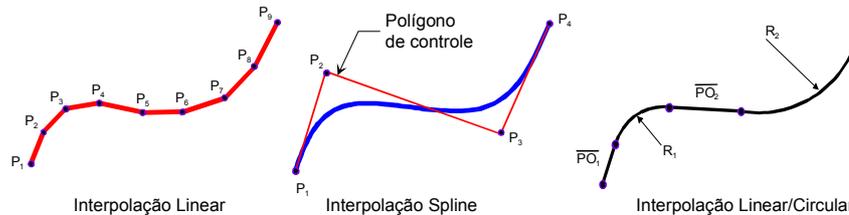


Figura 4: Interpolações da trajetória da ferramenta [5].

Na usinagem tradicional, onde as exigências com a velocidade são menores, os métodos de interpolação da trajetória da ferramenta praticamente foram desprezados como recurso dos sistemas CAM, tornando a interpolação linear um padrão, devido a sua simplicidade matemática.

No entanto, na Tecnologia HSC, onde as exigências com a velocidade são maiores, o método de interpolação linear começa a gerar diversas limitações, principalmente quanto ao avanço de usinagem e a exatidão do modelo geométrico, fazendo com que os métodos de interpolação da trajetória da ferramenta voltassem a ser considerados na geração do programa NC.

Isto pode ser verificado na prática através de um teste realizado no SCPM, para verificar o comportamento da velocidade de avanço real em função do aumento da velocidade de avanço programada. Neste teste, o programa NC foi gerado pelo sistema CAD/CAM Unigraphics V18, utilizando a operação de acabamento do corpo de prova ilustrado na Figura 9, a interpolação linear e uma tolerância no sistema CAM de 0,01 mm. A Figura 5 ilustra os valores encontrados neste ensaio.

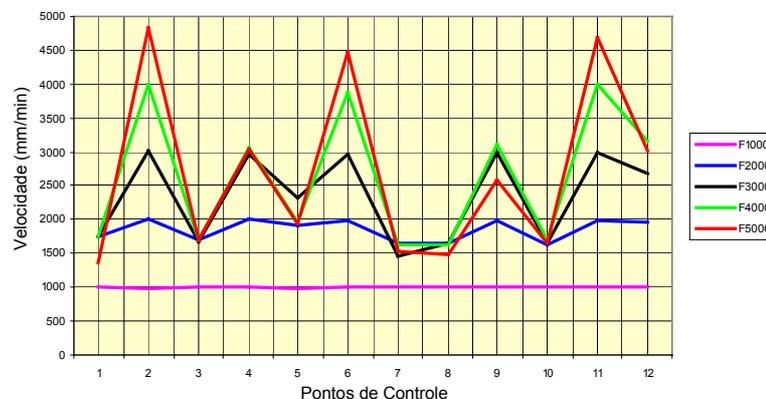


Figura 5: Influência do avanço programado na velocidade real de usinagem.

Observa-se que com o aumento do avanço programado, as variações do avanço real se acentuam de forma diferente, ao longo do modelo geométrico.

2.1 Interpolação Linear

Através deste método, o sistema CAM determina a trajetória da ferramenta através da interpolação de segmentos de retas que melhor representam o modelo geométrico, conforme ilustrado na Figura 6. Estes segmentos de retas são representados pelo comando G01 da linguagem ISO 6983.

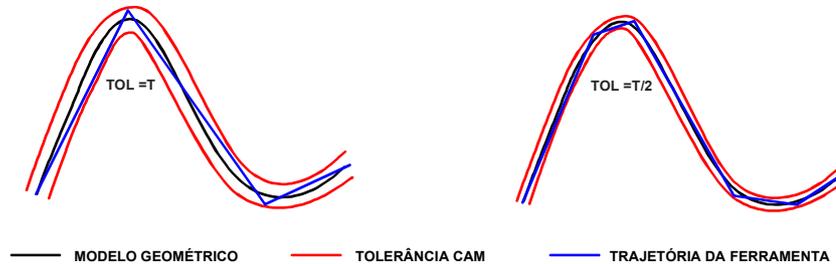


Figura 6: Representação da interpolação linear.

A utilização de segmentos de retas para representar a trajetória da ferramenta, faz com que a interpolação linear tenha um modelo matemático mais simples em relação aos demais métodos. Esta característica foi de extrema importância para a introdução da programação CAD/CAM no ambiente industrial, uma vez que não necessitava de características especiais do CNC e do sistema CAM.

Isto fez com que a interpolação linear fosse amplamente utilizada, tornando-se atualmente o método mais utilizado para representar a trajetória da ferramenta.

Dentre as características deste método, pode-se ressaltar:

- programas NC extensos;

- trajetória da ferramenta representada por segmentos de retas, ocasionando baixa qualidade de acabamento devido ao “faceteamento” da superfície usinada;

- modelos geométricos com superfícies complexas resultam num aumento excessivo da quantidade de segmentos de retas e conseqüentemente, geram uma redução drástica dos tamanhos destes segmentos;

2.2 Interpolação Circular

Através deste método, o sistema CAM determina a trajetória da ferramenta através da associação da interpolação linear (segmentos de retas) e da interpolação circular (arcos) que melhor representam o modelo geométrico, conforme ilustrado na Figura 7. Estes segmentos de retas e arcos são representados pelos comandos G01, G02 e G03, da linguagem ISO 6983.

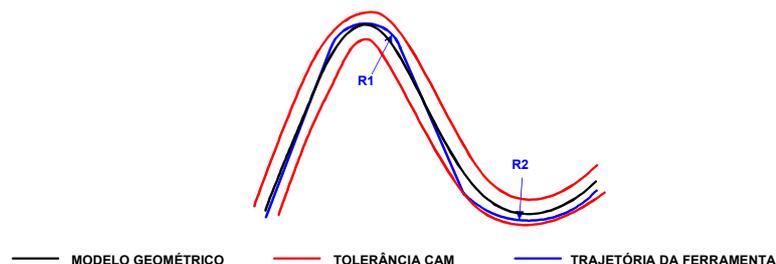


Figura 7: Representação da interpolação circular.

A utilização de arcos para representar a trajetória da ferramenta em associação com segmentos de retas, proporciona à interpolação circular uma melhor representação do modelo geométrico em relação à interpolação linear, principalmente para modelos geométricos com superfícies complexas, onde a interpolação linear representa estas superfícies através de pequenos segmentos de retas.

Na interpolação circular, estes pequenos segmentos de retas são substituídos por arcos, resultando em programas NC menores e um melhor desempenho da velocidade de avanço real.

Dentre as características deste método, pode-se ressaltar:

programas NC menores, em relação aos da interpolação linear, pois um arco substitui inúmeros segmentos de retas;

melhor acabamento nas regiões complexas, eliminando o aspecto do “faceteamento” da superfície acabada, comum na interpolação linear;

os benefícios da interpolação circular sobre a interpolação linear estão relacionados com a complexidade do modelo geométrico e o campo de tolerância CAM, ou seja, com a possibilidade de substituir pequenos segmentos de retas por arcos.

2.3 Interpolação Spline

Através deste método, o sistema CAM utiliza modelos matemáticos, normalmente utilizados pelos sistemas CAD atuais na representação de curvas, para determinar a trajetória da ferramenta que melhor se adapta no campo de tolerância do sistema CAM, conforme ilustrado na Figura 8. O programa NC gerado não irá conter os comandos da linguagem ISO 6983, mas sim uma nova codificação, que representará o modelo matemático.

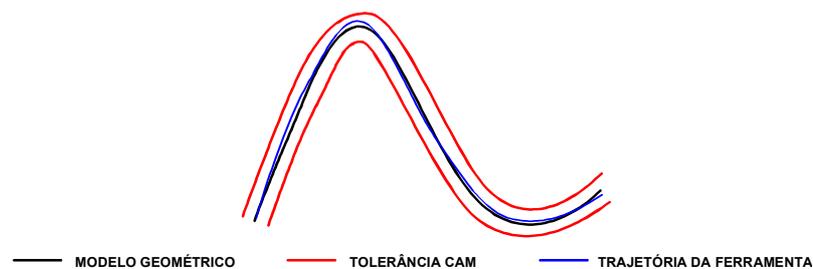


Figura 8: Representação da interpolação *spline*.

A utilização destes modelos matemáticos surgiu da necessidade da representação geométrica do modelamento tridimensional de superfícies complexas pelos Sistemas CAD e apesar dos primeiros modelos matemáticos terem sido os modelos de Lagrange e Hermite, sua aplicação num sistema CAD iniciou-se em 1972 com o francês Paul Bézier [6].

Bézier utilizou seu modelo matemático no sistema CAD *Unisurf* para representar formas complexas de um painel de carro produzido pela empresa na qual trabalhava, a companhia francesa de automóveis *Renault* [6].

O modelo inicialmente proposto por Bézier sofreu algumas alterações durante os anos, dando origem a outros modelos matemáticos como a interpolação *B-Spline* e mais

recentemente a interpolação NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*). Estas alterações proporcionaram a estes modelos um melhor controle e manipulação da curva, permitindo assim, uma melhor representação de superfícies complexas.

3 Ensaio

Para avaliar a influência da metodologia de interpolação da trajetória da ferramenta na manufatura de moldes e matrizes com a Tecnologia HSC, foi gerado um corpo de prova contendo superfícies de diferentes graus de curvatura, alterando principalmente entre côncavas, convexas e planas, conforme ilustrado na Figura 9. Esta geometria foi baseada em um corpo de prova utilizado por uma empresa alemã para avaliar máquinas para aplicação HSC[7].

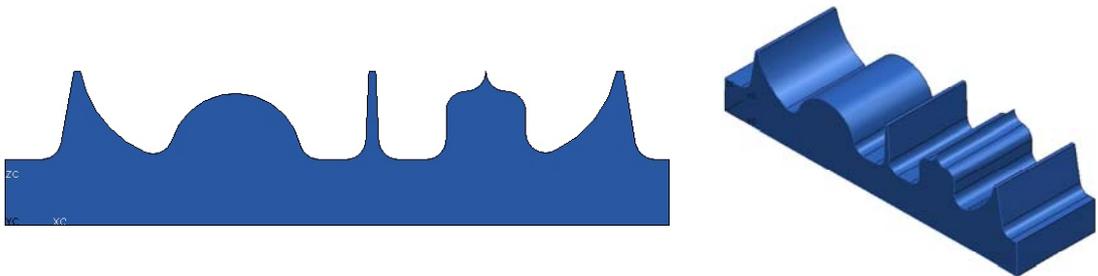


Figura 9: Geometria do corpo de prova.

A usinagem foi realizada em um centro de usinagem vertical, modelo Discovery 760, fabricado pelas Indústrias ROMI S.A. e equipado com o Comando Siemens 810D.

O programa NC foi gerado pelo sistema CAD/CAM Unigraphics V18, utilizando a operação de acabamento do corpo de prova, uma tolerância no sistema CAM de 0,005 m, um avanço programado de 5000 mm/min e a interpolação linear, interpolação circular e interpolação *Spline* do tipo *B-Spline* como metodologia de interpolação da trajetória da ferramenta. Os valores de avanço real foram capturados ao longo do eixo X em intervalos de 1mm através de um recurso interno de programação do comando numérico Siemens.

4 Resultados

Os valores obtidos do avanço real da trajetória da ferramenta ao longo do Eixo X estão ilustrados na Figura 10 e na Figura 11.

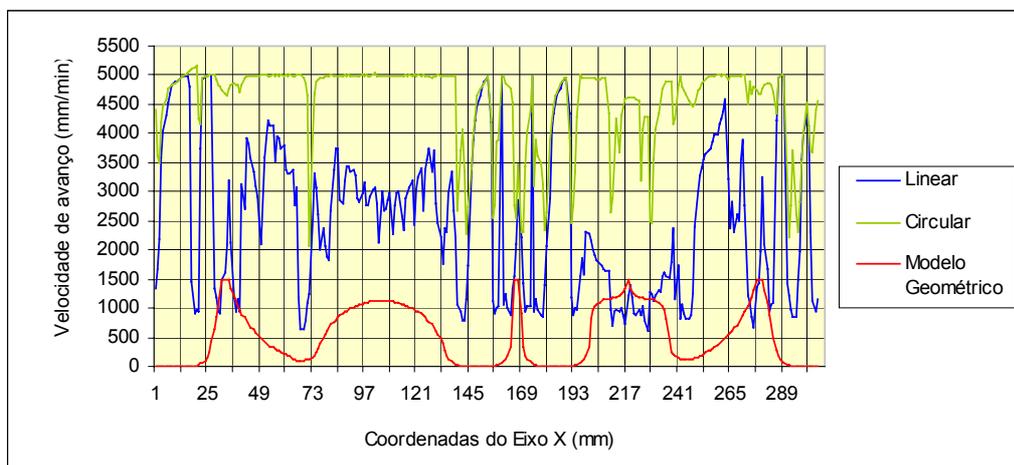


Figura 10: Velocidade de avanço real ao longo do corpo de prova.

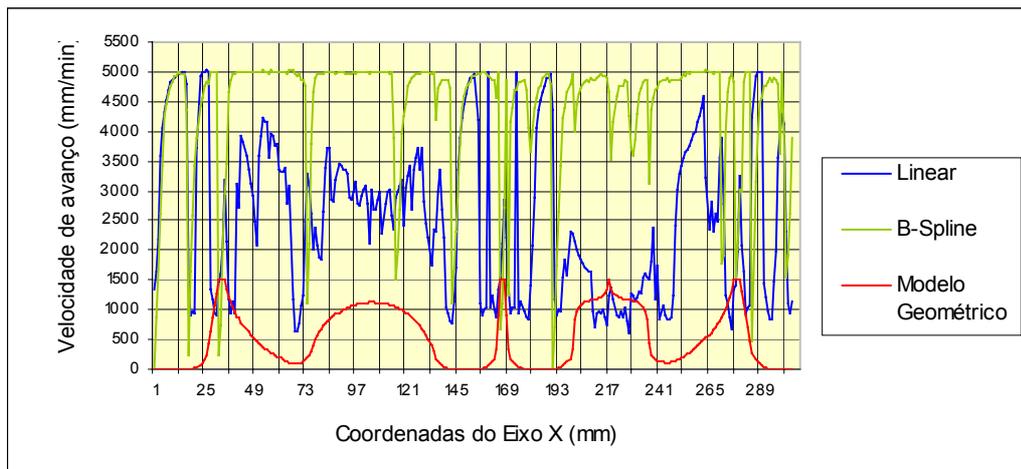


Figura 11: Velocidade de avanço real ao longo do corpo de prova

Com isso, pode se observar que:

A velocidade de avanço real da trajetória da ferramenta não é constante, variando de acordo com a geometria da peça e principalmente de acordo com a metodologia da trajetória da ferramenta;

Nas regiões representadas por arcos, a interpolação circular e a interpolação *B-Spline* apresentam um melhor desempenho em relação à interpolação linear;

Nestas regiões, a interpolação linear apresenta uma grande queda do avanço real, devido ao número excessivo de pequenos segmentos de retas utilizados para determinar a trajetória da ferramenta;

Apesar da interpolação *B-Spline* apresentar uma menor variação da velocidade em relação à interpolação linear ao longo do corpo de prova, esta apresenta alguns picos de variação, onde a velocidade de avanço real é inferior a da interpolação linear;

Decorrente desta variação do avanço real, cada metodologia apresenta um avanço real médio diferente e conseqüentemente, tempos de usinagem distintos; conforme ilustrado na Figura 12.

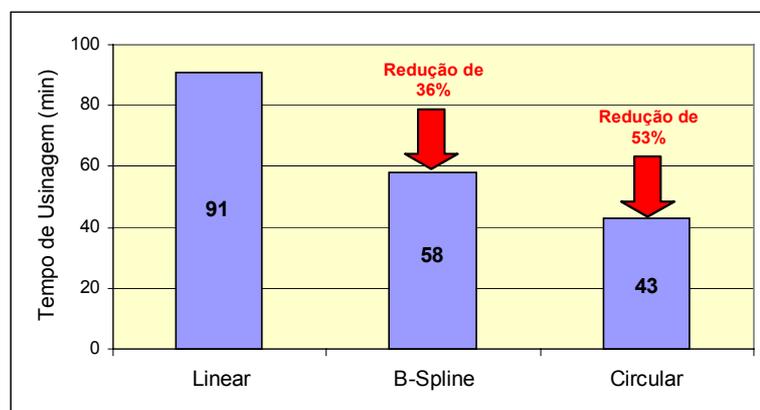


Figura 12: Tempo de fabricação do corpo de prova.

5 Conclusões

Com o aumento acentuado do avanço de usinagem, decorrente da Tecnologia HSC na usinagem de moldes e matrizes, a interpolação linear da trajetória da ferramenta, apesar de ser extremamente utilizada pela indústria nacional, torna-se uma limitação tecnológica, criando a necessidade do estudo de novas metodologias de interpolação da ferramenta.

Apesar da interpolação circular apresentar o melhor desempenho no ensaio realizado, este tipo de interpolação não pode ser considerada o método ideal para representar a trajetória da ferramenta, devido a suas inúmeras limitações quanto a geometria a ser representada. No entanto, os resultados obtidos demonstram que sua utilização deve ser considerada como uma solução, principalmente por ser uma opção sem custo do sistema CAM.

Já a interpolação *Spline* caminha em direção a ser o método ideal para representar a trajetória da ferramenta, uma vez que não apresenta os problemas da interpolação linear e nem as limitações da interpolação circular. No entanto, sua aplicação requer aquisição de software e hardwares especiais, tanto no sistema CAM, quanto no comando CNC.

Além disso, os primeiros ensaios com a interpolação *Spline*, realizados pelo SCPM e relatados neste artigo, apresentaram algumas características que necessitam ser estudadas mais profundamente, a fim de determinar o método ideal para representar a trajetória da ferramenta na manufatura de moldes e matrizes.

Dentre estas características destacam-se o fato da interpolação circular apresentar um menor tempo de usinagem em relação à interpolação *Spline* e os picos de variação da velocidade na interpolação *Spline*, onde a velocidade de avanço real é inferior à da interpolação linear.

Além dessas características, a determinação do método ideal para representar a trajetória da ferramenta requer o estudo de outros modelos matemáticos de interpolação *Spline*, tais como, a interpolação polinomial e a interpolação *NURBS* e da influência destes tipos de interpolação na exatidão final e no acabamento superficial do corpo de prova.

Referências

- [1] Setor de máquinas e equipamentos projeta crescimento de 10%. Conjuntura, Revista Metal Mecânica. São Paulo, n.343, Jun/Jul 2000, p.8-12.
- [2] Fabricantes de Ferramentas investem em soluções para moldes e matrizes. Mercado, Revista Metal Mecânica. São Paulo, n.349, DEZ 2000/JAN 2001, p.8-20.
- [3] SANDVIK, Guia de Aplicação – Fabricação de Moldes e Matrizes, 1999.
- [4] SCHULZ, H., Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Munchen, Hanser-Verlag, 1996.
- [5] SOUZA, A.F., Análise das interpolações de trajetórias de ferramenta na usinagem HSC (High Speed Cutting) em superfície complexas. Universidade Metodista de Piracicaba, 2001. Dissertação de Mestrado. 88 p.
- [6] MAHON, MC.; BROWNE, J.: *CAD/CAM From Principles to Practice*. Suffolk, UK. Addison-Esley. 1993. ISBN 0-210-56502-1.
- [7] DANIEL, A., - High speed machining in the practice of the tool and mould making industry. Seminário Internacional de Alta Tecnologia “Manufatura Avançada”- Universidade Metodista de Piracicaba, 2001