

ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE MAQUINAGEM EM PEÇA DE GEOMETRIA COMPLEXA

A. M. Ramos, C. Relvas, J. A. Simões

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Aveiro

RESUMO

Neste artigo é descrito um estudo que teve como finalidade a comparação de diferentes estratégias de maquinagem e a sua influência no tipo de textura, perfil de rugosidade, controlo dimensional e tempos de maquinagem. Para o efeito, foi seleccionada uma peça de geometria complexa, uma hélice de um barco. A peça, pelo facto de apresentar as superfícies superior e inferior das pás com diferentes curvaturas, permitiu avaliar as estratégias e a maquinagem em situações de geometria distintas.

1. INTRODUÇÃO

A maquinagem de materiais tem sido, ao longo destes últimos anos, objecto de imensa investigação. Neste campo, o estudo de estratégias de maquinagem tem assumido um carácter relevante para a obtenção de peças com elevada qualidade superficial e dimensional. A qualidade da maquinagem pode ser avaliada através de diversos parâmetros, sendo os mais importantes a rugosidade da superfície e os desvios dimensionais e geométricos. Para além destes factores, o tempo de maquinagem e a eficiência na utilização dos sistemas de CAD/CAM, são parâmetros a ter em conta, pois podem reflectir-se ao nível da competitividade das empresas.

A correcta selecção de estratégias de maquinagem depende, entre outras, do tipo de peça, no que se refere às suas superfícies, que permitem, ou não, a obtenção de peças com melhor ou pior qualidade. O estudo desenvolvido permitiu determinar a influência de três tipos de estratégias de maquinagem na qualidade da superfície de uma hélice, tendo esta sido avaliada pelo tipo de textura e perfil de

rugosidade medido e pelo controlo dimensional realizado.

Para o estudo realizado, utilizou-se a aplicação de CAM comercial - *PowerMill*, (*Delcam plc., Birmingham, U. K.*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O objecto utilizado para o estudo das estratégias de maquinagem foi uma turbina de um barco, ilustrada pela sua modelação na figura 1 [1]. Este objecto foi escolhido devido, essencialmente, ao facto de ser uma peça de aplicação industrial e por apresentar superfícies complexas. Outro motivo residiu no facto de ter sido possível, para a mesma estratégia e para o mesmo tipo de pá, a realização de maquinagens em superfícies côncava e convexa.

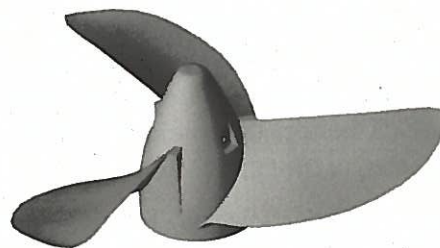


Fig. 1 - Representação do objecto de estudo (modelação).

A modelação do objecto de estudo foi realizada utilizando o *software* de CAD *SolidWorks*[®], versão 2000, utilizando ainda o *software* *PowerShape*[®] da *Delcam* (*Birmingham U.K*) para a modelação dos raios de concordância entre as pás e o núcleo central. Após a modelação do objecto, foi realizada a maquinagem virtual, usando para o efeito o *software* de CAM *PowerMill* (*Delcam,plc., Birmingham*) para definição de trajectórias das ferramentas.

1.1 Estratégias de maquinagem

As estratégias de maquinagem são parte essencial do desempenho de uma aplicação de CAM, pois influenciam a qualidade das superfícies maquinadas. No essencial, existem dois tipos de estratégias de maquinagem: desbaste e acabamento. No caso presente, o desbaste foi realizado de igual forma em todas as pás, utilizando uma ferramenta de topo direito de 12 mm de diâmetro. A estratégia de *offset* foi escolhida para o desbaste, em que o material é removido por sucessivas trajectórias paralelas ao contorno da peça (figura 2).



Fig. 2 - Representação da operação de desbaste em *offset*.

A escolha das estratégias de acabamento foi feita tendo em consideração aquelas que representassem as classes de estratégias de maquinagem passíveis de serem aplicadas nas pás da hélice, tendo em consideração a sua geometria típica.

Para a superfície_pá_1, utilizou-se a estratégia *Raster* que consiste num varrimento unidireccional ou bidireccional no plano XY, paralelo a este ou com um

ângulo pré-definido. No caso presente, considerou-se um ângulo de 45°, ou seja, a direcção do movimento da ferramenta faz um ângulo de 45° no plano XY como mostra a figura 3.

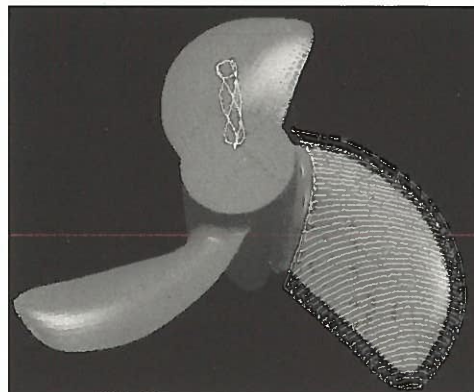


Fig. 3 - Representação da estratégia *Raster* 45°.

Para a superfície_pá_2 utilizou-se a estratégia *Radial*, definida por um varrimento do tipo radial, como mostra a figura 4. A ferramenta nesta estratégia segue uma trajectória definida através de um centro e de um ângulo, sendo adequada à maquinagem de componentes circulares com áreas planas, ou quase planas.

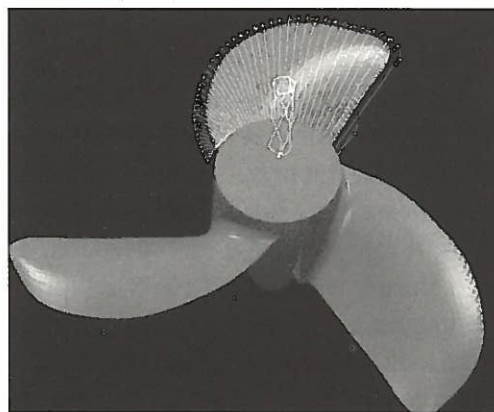


Fig. 4 - Representação da estratégia *Radial*.

Na superfície_pá_3 utilizou-se uma estratégia *3D offset*. Nesta estratégia é criada uma fronteira do contorno exterior da pá, que é projectada sobre o modelo, sendo posteriormente geradas trajectórias equidistantes sobre a superfície com um dado passo. Esta estratégia produz uma textura mais homogénea ao longo da peça e reduz as variações da altura da crista, sendo a mais indicada para superfícies de

geometria complexa, facto comprovado neste estudo. A figura 5 ilustra a estratégia referida.

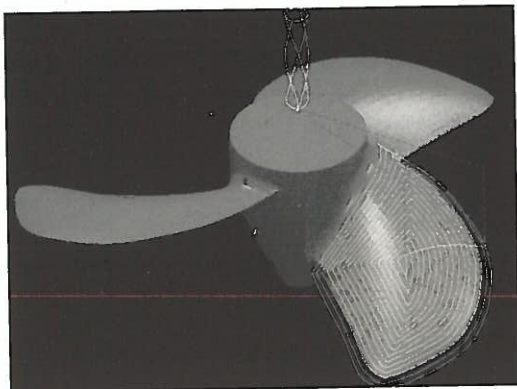


Fig. 5 - Representação da estratégia 3D offset.

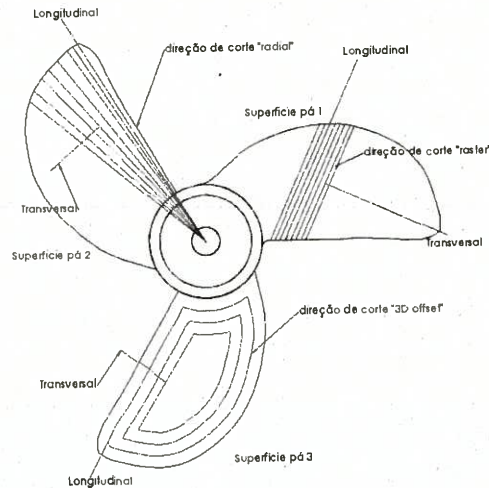


Fig. 6 - Direcções de medição da rugosidade.

2.2 Material e equipamento

A hélice foi maquinada em alumínio comercial da série 1000, usando para o efeito um centro de maquinagem Mikron VCM500, com controlador Hass (similar ao Fanuc). Os parâmetros de corte utilizados estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de corte

	Desbaste	Semi-acabamento	Acabamento
Ferramenta	topo direito	Topo esférico	Topo esférico
Diâmetro	12 mm	8 mm	8 mm
Passo lateral	8 mm	0.3 mm	0.15 mm
Profundidade de corte	1.5 mm	0.3 mm	0.15 mm
Tolerância	0.1 mm	0.1 mm	0.01 mm
r.p.m	6000	6000	*
Avanço (mm/min)	1000	1000	*

* máximo admitido pela máquina (6000 r.p.m, 1500 mm/min)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos objectivos do estudo consistiu na comparação das rugosidades obtidas em cada estratégia. As medições foram realizadas segundo os movimentos longitudinal e transversal de corte, de acordo com o desenho esquemático da figura 6. Realizaram-se três medições em cada pá, e em cada direcção, apresentando a média das leituras nas tabelas 2 e 3 para os vários parâmetros medidos.

Na medição longitudinal, o valor de Ra obtido foi aproximadamente igual para as três estratégias.

Tabela 2 - Medição longitudinal relativamente a direcção de corte.

Parâmetros avaliados	Raster	Radial	3D offset
Ra	0.75	0.79	0.78
Rt	5.01	6.10	5.,47
Rp	2.21	2.32	2.51
Rq	0.92	0.98	0.97

A estratégia 3D offset apresentou o menor valor de Ra quando a medição foi realizada na direcção transversal. O valor mais alto de Ra foi obtido usando a estratégia Radial.

Tabela 3 - Medição transversal relativamente a direcção de corte

Parâmetros avaliados	Raster	Radial	3D offset
Ra	0.92	1.04	0.83
Rt	5.13	8.71	4.75
Rp	2.02	4.13	1.51
Rq	1.19	1.49	1.06

Fez-se a comparação entre as texturas para cada estratégia. Estas foram obtidas

através de um microscópio óptico (ampliação de 500 vezes).

Estratégia Raster : Este tipo estratégia deixou cristas entre as passagens realizadas pela ferramenta, como se pode observar pela figura 7 e comprovado pelo valor de Ra (0.92) obtido. As zonas mais escuras são cristas deixadas pela ferramenta e os sulcos não são uniformes ao longo da direcção do corte. Observa-se ainda uma orientação irregular do corte na superfície.

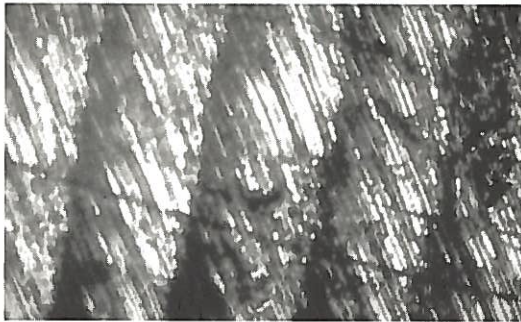


Fig. 7 - Estratégia Raster.

Estratégia Radial: Este tipo de estratégia permitiu sulcos uniformes e bem definidos ao longo da direcção de corte, como se pode observar pela figura 8, apresentando também uma largura superior aos anteriores. As cristas são mais elevadas mas menos inclinadas, com sulcos mais profundos, justificando a média de Ra (1.04) obtido.

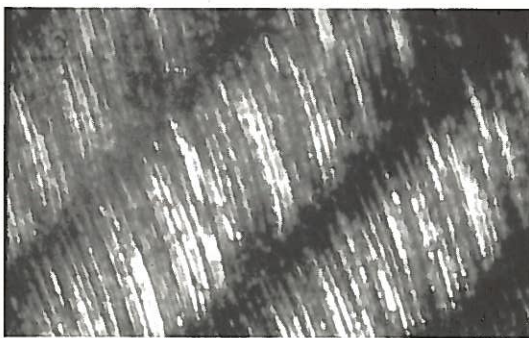


Fig. 8 - Estratégia Radial.

Estratégia 3D offset: A textura obtida com esta estratégia é completamente distinta das duas anteriormente descritas. Pode-se verificar que a superfície não evidencia a orientação do movimento de corte, ou seja, não há uma orientação definida, nem dos sulcos nem das cristas (figura 9).

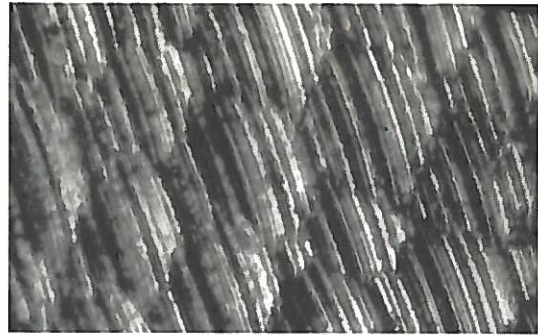


Fig. 9 - Estratégia 3D offset.

Relativamente aos tempos de maquinagem, observou-se que a estratégia 3D offset foi a que necessitou de mais tempo para maquinar a superfície. Os tempos de maquinagem para cada estratégia foram os seguintes:

Estratégia Raster : 2045 s;

Estratégia Radial : 1950 s;

Estratégia 3D offset : 2070 s.

No que se refere ao ultimo parâmetro de comparação, o controlo dimensional, escolheu-se um intervalo de tolerância de 0.02 mm, tendo-se definido a sua eficiência pela seguinte fórmula:

$$\text{Eficiência(\%)} = \frac{n^\circ \text{ pontos total} - n^\circ \text{ pontos fora do intervalo}}{n^\circ \text{ pontos total}} \times 100$$

Para determinar a eficiência fez a medição em 270 pontos para a estratégia Raster e 233 pontos para as estratégias Radial e 3D offset. Deste modo, obteve-se a eficiência de 69%, 1% e 76% para as estratégias Raster, Radial e 3D offset, respectivamente. As figuras 10, 11 e 12 ilustram a frequência dos desvios em comparação com a curva de distribuição normal.

Na tabela 5 apresentam-se os parâmetros avaliados.

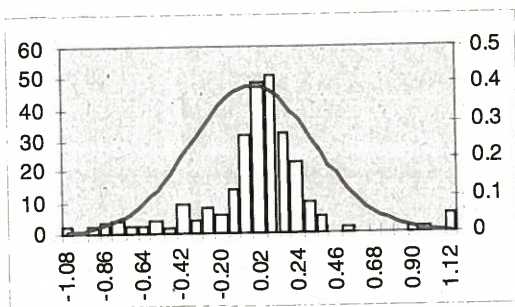


Fig. 10 - Distribuição de frequências da estratégia Raster 45°.

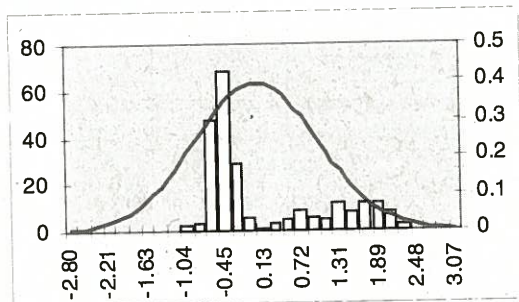


Fig. 11 - Distribuição de frequências da estratégia Radial.

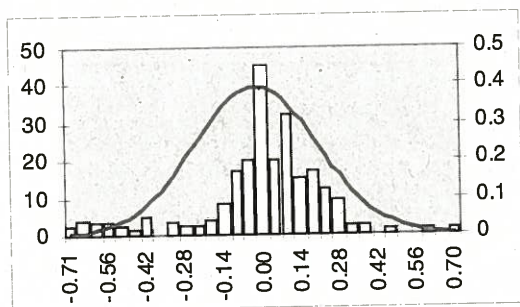


Fig. 12 - Distribuição de frequências da estratégia 3D offset.

4 CONCLUSÕES

No que se refere às estratégias estudadas, a que originou a melhor textura foi a 3D offset, pois permitiu uma superfície mais uniforme, com cristas mais baixas e sulcos menos profundos. A estratégia Raster provocou uma textura extremamente irregular com o surgimento de sulcos irregulares, embora bem definidos, ao longo da direcção de maquinagem.

Quanto à rugosidade obtida, a que originou a rugosidade mais baixa foi a estratégia 3D offset. Contudo, é de referir que os tempos de maquinagem foram superiores com esta estratégia, embora a

diferença não tenha sido significativa, atendendo à dimensão reduzida da peça em estudo. O tempo de maquinagem terá, certamente, uma maior expressão para grandes volumes de maquinagem de material, ou seja, em peças de maior dimensão. Relativamente ao controlo dimensional, a estratégia que provocou melhores resultados foi a estratégia 3D offset, apresentado a estratégia Raster os piores resultados.

Tabela 5 - Parâmetros comparativos de controlo dimensional.

	Raster 45°	Radial	3D offset
Eficiência	69%	1%	76%
Média do desvio	-0.017	0.035	-0.026
Desvio Padrão	0.350	0.936	0.224
Máximo desvio	1.492	2.189	0.717
Mínimo desvio	-1.103	-1.122	-0.741

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à empresa Norcam, Engenharia e Design Industrial, e ao Eng.º Marco Gomes a ajuda prestada na realização do controlo dimensional.

REFERÊNCIAS

- [1]- Ramos, A. M., 2001, "Estudo de Estratégias de Maquinagem em peça de geometria complexa", Seminário de Processos Tecnológicos, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- [2]- Relvas, C., 2000, "Controlo numérico computadorizado - Conceitos fundamentais", Publindustria Edições Técnicas, Porto.
- [3]- Delcam, 1996, "User Guide - The new 3D Machining Package", PowerMill.
- [4]- Solidworks, 2000, "User guide - Powerful 3D CAD software".

