

# USINAGEM DE FORMAS COMPLEXAS EMPREGANDO A TÉCNICA DE FATIAMENTO

**Dalberto Dias da Costa**

UFPR – Dept. de Engenharia Mecânica – Curitiba – PR – [dalberto@ufpr.br](mailto:dalberto@ufpr.br)

**Neri Volpato**

UTFPR – Dept. de Engenharia Mecânica - Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER) – 80230-901 - Curitiba – PR - [nvolpato@utfpr.edu.br](mailto:nvolpato@utfpr.edu.br)

**Resumo.** *A usinagem de superfícies complexas vem se tornando um grande desafio para a indústria metal-mecânica devido à exigência, cada vez maior, por produtos desenvolvidos sob medida e em pequenos lotes. De um modo geral isso vem sendo enfrentado a partir de investimentos elevados em sistemas CAM (Computer-Aided Manufacturing) e máquinas-ferramenta com um maior número de graus de liberdade. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a implementação de um sistema computacional de baixo custo que possa ser aplicado no fresamento de um número razoável de geometrias consideradas complexas. A metodologia proposta está fundamentada na técnica de fatiamento de modelos digitais, largamente utilizada nos processos de fabricação por camadas. Os algoritmos implementados permitem o fatiamento de modelos tridimensionais representados no formato STL (STereoLithography). A validação dos programas CN (Comando Numérico) foi realizada em um centro de usinagem vertical com três eixos comandados. A principal conclusão do trabalho é que existe uma família de peças e ou superfícies para as quais o problema da geração da trajetória da ferramenta de corte pode ser reduzido, de uma usinagem tridimensional para um fresamento em 2 ½ eixos.*

**Palavras-chave:** *fresamento de contornos, STL, fabricação por camadas.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria moderna, em especial os segmentos que dependem da fabricação de produtos sob medida, em pequenos lotes ou na forma de protótipos, vem enfrentado de modo crescente a necessidade de produzir superfícies com elevada complexidade geométrica as quais, em várias situações, não possuem uma representação analítica válida e, por conseguinte são modeladas por aproximação.

As soluções para se enfrentar tal problemática passam pelo investimento em sistemas CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), máquinas-ferramenta com 5 ou mais eixos programáveis e pelos processos de fabricação por camadas.

Existem casos nos quais somente a adoção de um desses recursos, ou a combinação deles, pode produzir o produto desejado. Entretanto, em outros momentos, todo esse investimento em novas tecnologias é aplicado na fabricação de componentes mais simples, os quais apesar de ainda possuírem superfícies com elevada complexidade geométrica, as possuem em orientações favoráveis. Nesses casos, processos mais econômicos, tais como o fresamento em máquinas com apenas três eixos comandados, podem ser adotados.

O fresamento em fresadoras com apenas 3 eixos comandados é, do ponto de vista econômico, mais favorável devido ao investimento inicial menor, mão-de-obra mais barata e uma maior

disseminação de equipamentos. Entretanto, no caso de superfícies de elevada complexidade, o investimento em sistemas CAM ainda é imprescindível.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para o fresamento de superfícies complexas, baseada na técnica de fatiamento, em máquinas-ferramenta com três eixos comandados. O presente artigo contém, além dessa introdução, uma revisão sobre o atual estágio de desenvolvimento do fresamento por camadas. Na terceira seção é apresentada uma metodologia para a geração da trajetória da ferramenta. Os resultados da implementação de um protótipo computacional e os testes para sua validação são apresentados e discutidos na quarta seção. As conclusões são apresentadas na penúltima parte, seguidas pelas referências bibliográficas utilizadas neste texto.

## 2. FRESAMENTO DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS

Inicialmente, deve-se fazer uma distinção entre peças cuja usinagem é considerada complexa, de peças com superfícies complexas. Peças complexas podem conter até superfícies também complexas; embora, na maioria dos casos, elas possam ser simplesmente planas. A sua complexidade decorre, basicamente, da quantidade de operações necessárias a sua usinagem e das tolerâncias, dimensionais e geométricas, impostas. Isto, geralmente, conduz a um número elevado de alinhamentos e fixações e, em alguns casos, demanda a utilização de mais de um tipo de máquina.

No quesito máquina-ferramenta e tipo de controle, peças de complexidade elevada podem até ser executadas manualmente em máquinas e dispositivos de elevada repetibilidade. Quando se emprega a programação CN (Comando Numérico) esta pode ser feita em apenas 2 ½ eixos para uma família grande de peças <sup>(1)</sup>.

Por outro lado, uma peça com superfícies complexas implica em uma maior dificuldade para a geração da trajetória da ferramenta. Este tipo de superfície raramente possui uma definição analítica, exigindo que sua modelagem seja feita por aproximações. O termo “*free-form surfaces*” ou “*sculptured surfaces*” tem sido freqüentemente encontrado na literatura como sinônimo de superfícies complexas.

Em várias situações, este tipo de superfície pode ser executado por uma única máquina-ferramenta em apenas uma fixação. Um bom exemplo disto são as cavidades encontradas em moldes para injeção, fundição ou sopro. Pode se acrescentar ainda que neste tipo de componente as tolerâncias dimensionais e geométricas são relativamente mais largas.

Entretanto, na usinagem de uma superfície complexa verifica-se a necessidade de controle de três ou mais eixos simultaneamente, o que torna imprescindível a utilização de sistemas CAM.

Em vários segmentos industriais, a utilização de máquinas-ferramenta com mais de três eixos, rotação elevada — o que viabiliza o emprego de fresas de pequeno diâmetro — e o investimento em sistemas CAM de alta confiabilidade vêm se tornando quesitos de competitividade. Por outro lado, vários pesquisadores vêm propondo alternativas mais baratas e com eficiência similar <sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup>.

Uma alternativa que, recentemente, vem se tornando mais recorrente é a utilização do fresamento de modo similar ao que acontece nos processos de fabricação por camadas. Ressalta-se, obviamente, que o fresamento é um processo de remoção, ao passo que aqueles se baseiam na deposição de material. Ao se adotar este tipo de estratégia, toda a complexidade tridimensional de uma dada superfície se reduz a um caso simples de usinagem em 2 ½ eixos.

Objetivando fugir dos problemas de perda de dados na troca de informações entre sistemas CAx (*Computer-Aided “X”*), o setor de prototipagem rápida optou por desenvolver uma forma mais simples e segura de representação geométrica 3D. O formato que tem sido adotado como padrão *de facto* é o desenvolvido pela empresa 3D System, Inc., denominado de STL (*STereoLithography*) <sup>(6)</sup>. Este padrão aproxima a superfície do modelo matemático por meio de triângulos (face plana). Quando a tolerância da geração da malha de triângulos for baixa, este modelo 3D pode ser utilizado também para a geração de programa CN em sistemas CAM. Em um processo visando a manufatura por camada, esse modelo é fatiado por planos paralelos entre si, cujas normais e distâncias são

definidas a priori. As distâncias entre os planos podem ser constantes ou variáveis e definem a espessura da fatia <sup>(7)(8)(9)</sup>. Por outro lado, a normal a estes planos é constante e sempre paralela a um dos eixos da máquina. No caso de máquinas verticais, adota-se a normal paralela ao eixo “Z”, o que dá a esta técnica uma outra denominação: “fresamento com Z constante”, a qual é encontrada em várias publicações.

Quando uma superfície modelada por triângulos é interceptada por um plano, o resultado é o aparecimento de um ou mais contornos sobre o mesmo <sup>(7)(8)(9)</sup>. Esses contornos são fechados, salvo alguma falha na modelagem, e podem ser tratados como polígonos simples, ou seja: aqueles cujas arestas, ou vértices, estejam ordenados e que não se interceptam.

Dessa forma, o problema relacionado à usinagem de uma superfície fica reduzido ao fresamento dos contornos fatiados, sendo que a trajetória da ferramenta, em acabamento, será sempre paralela aos polígonos.

Em várias ocasiões, os polígonos obtidos podem conter vértices côncavos, os quais, quando fresados, ficarão deformados, ou seja, aparecerá um arco entre as duas arestas que o definem. Esse arco terá um raio cujo valor será, no mínimo, igual ao da fresa utilizada. Esse “arredondamento” do vértice representa um dos três tipos de *gouging* bidimensional.

O segundo acontece quando da existência de uma seqüência de dois ou mais vértices côncavos, dando origem a um “bolsão” no contorno. Neste caso, o *gouging* pode ocorrer se a distância entre os dois vértices convexos que definem as duas extremidades do “bolsão” for inferior ao diâmetro da fresa selecionada.

O terceiro tipo de *gouging* bidimensional ocorre no aparecimento de múltiplos contornos em um mesmo plano. Nesse caso, torna-se imprescindível a determinação da relação entre os contornos, se internos ou externos. Quando a distância entre dois contornos for inferior ao diâmetro da fresa escolhida ocorrerá o terceiro tipo de *gouging* bidimensional, o que é caracterizado pela reusinagem de parte de um dos contornos. As Figuras 1(a-c) contêm, nesta ordem, uma representação dos três tipos de *gouging* bidimensional descritos. Nessas Figuras, as regiões escuras indicam a condição de *gouging*.

Uma vez definida a direção da normal dos planos de intersecção, deve-se verificar quais superfícies podem ser usinadas. Isto implica em uma condição de “visibilidade”, tendo como referência a direção “Z” e a ponta da ferramenta. Nos casos onde uma superfície fatiada esteja sombreada por outra, ocorrerá um outro tipo de *gouging*, também denominado, de *gouging* tridimensional. Nesses casos, o cabo, ou parte não cortante da ferramenta, entrará em contato com a peça.

Os casos de *gouging* mencionados implicarão em condições inadequadas de usinagem, as quais conduzirão, na melhor das hipóteses, à obtenção de peças em desacordo com o padrão especificado.

A reorientação da peça e a escolha de fresas de pequeno diâmetro podem resolver, em muitas ocasiões, os problemas apresentados nos tipos II e III de *gouging* bidimensional, como também no tridimensional. Entretanto, no primeiro caso (tipo I), o que pode ocorrer será apenas uma redução do problema, pois uma aresta côncava será sempre deformada pelo arco de contato da ferramenta de corte. Nesta situação, o que ocorre é uma relaxação dessa restrição, e o contorno é considerado como equivalente para um pequeno diâmetro de fresa.

O realinhamento múltiplo da peça para evitar o *gouging* 3D vem sendo resolvido com a utilização de máquinas com mais de 3 eixos. Entretanto, deve-se acrescentar que a geração da trajetória da ferramenta para este tipo de cinemática demanda um investimento complementar (aquisição e treinamento) e sistemas CAM.

A metodologia apresentada a seguir tem como premissa a criação de um sistema de baixo custo, tanto computacional, como financeiro, para a usinagem de superfícies complexas em máquinas com apenas três eixos comandados.

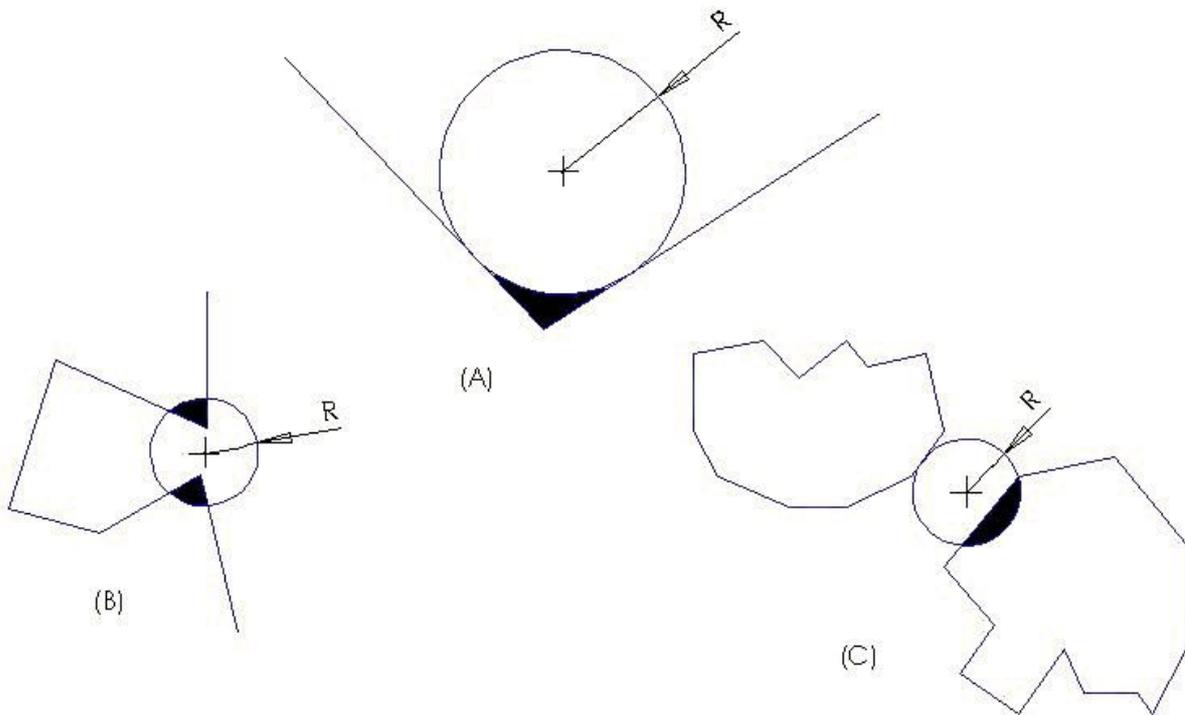


Figura 1. Três casos de *gouging* bidimensional

### 3. METODOLOGIA PARA O FRESAMENTO DE CAMADAS

A partir das limitações geométricas apresentadas no tópico anterior somam-se ainda à presente metodologia as seguintes restrições:

- i) o componente a ser fresado deve ser modelado por aproximação e representado por triângulos de acordo com o formato STL-ASCII;
- ii) as superfícies a serem usinadas serão apenas aquelas consideradas externas, ou seja, cujas normais estejam no intervalo  $[0,1]$  em relação ao eixo de rotação da fresa, aqui denominado eixo “Z”;
- iii) a fresa a ser utilizada será de topo reto com diâmetro (**Df**) previamente determinado e cujo comprimento (**L**) seja suficiente para a usinagem de todas as superfícies que atendam ao critério fixado na condição **ii**;
- iv) a usinagem será realizada em uma máquina com três eixos comandados, cujo CNC possa interpretar as primitivas básicas de programação definidas na norma ISO 6983;
- v) A existência dos *gouging* 3D e 2D (tipos II e II), como definido na seção 2, não serão considerados;
- vi) a profundidade de usinagem, será mantida constante e deve ser previamente determinada de acordo com o número de fatias, assim como os valores das velocidades de corte e avanço; e
- vii) o sentido do fresamento será sempre discordante — anti-horário quando observado sobre o plano “X-Y”.

A partir dessa simplificação, uma metodologia para o fresamento de superfícies de forma livre é representada por meio do fluxograma da Figura 2. Por uma questão de limitação de espaço, apenas a etapa relacionada ao acabamento será detalhada aqui. A estratégia para o desbaste será apresentada em trabalhos futuros e os métodos para fatiamento de arquivos STL foram adaptados da literatura corrente, em especial nas pesquisas realizados por <sup>(7)(8)(9)</sup>.

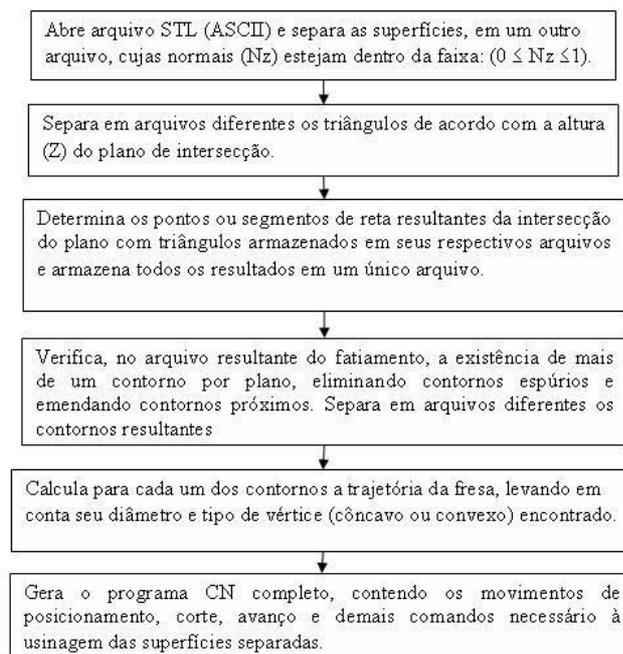


Figura 2. Fluxograma simplificado para o fatiamento e fresamento de superfícies

### 3.1 Geração da Trajetória Para o Acabamento dos Contornos

Após a obtenção dos contornos em todos os planos fatiados, determina-se a trajetória da ferramenta para a operação de acabamento conforme o pseudocódigo apresentado na Figura 3. Considera-se, inicialmente, por uma questão de simplificação, que uma operação prévia de desbaste já tenha sido realizada, deixando um sobrematerial apenas para o acabamento. Neste caso considera-se o sentido do fresamento discordante — o contorno está sendo percorrido no sentido anti-horário e com a ferramenta à direita.

A trajetória da ferramenta é corrigida de acordo com o tipo de vértice (côncavo ou convexo), o diâmetro da fresa e também pela normal ao segmento em usinagem. Para o fresamento de vértices convexos, ver Figura 4, a ferramenta descreve uma trajetória circular, de forma similar a um rolamento sobre o vértice. Existe na literatura corrente <sup>(2)</sup>, uma outra alternativa com intuito de se evitar a destruição da “quina” formada no caso de vértices agudos (ângulo interno menor que 90°). Na referida abordagem, o movimento da fresa é prolongado em ambas as arestas que definem o vértice.

As Equações 1 a 4 são utilizadas para a determinação das coordenadas (Xc1, Yc1) do início do arco de rolamento (C1) sobre o vértice “O”. O vetor  $\vec{U}$  representa o segmento  $\overline{OP_1}$  e  $\vec{W}_1$  o vetor perpendicular a ele.  $\vec{W}_{c1}$  é um vetor paralelo a  $\vec{W}_1$ , com origem em C1 e comprimento igual ao raio da fresa (R).

Para o cálculo das coordenadas (Xc2, Yc1) do final do arco (C2) aplica-se o mesmo conjunto de equações, sendo que neste caso, a aresta considerada é dada pelo vetor  $\vec{V}$  e os índices dos demais vetores e pontos são substituídos por 2, conforme disposto na Figura 4. Deve-se observar que para ambas as arestas existem dois sentidos possíveis para os vetores perpendiculares ( $\vec{W}_1$  ou  $\vec{W}_2$ ). Entretanto, eles são limitados pelo sentido de fresamento e pelo lado da ferramenta em relação ao contorno, os quais já foram pré-definidos.

$$\vec{W}_1 = (\vec{U}_y, \vec{U}_x) \quad (1)$$

$$\vec{W}_c = \frac{R}{|\vec{W}_1|} \cdot \vec{W}_1 \quad (2)$$

$$X_c = O_x + \vec{W}_{cx} \quad (3)$$

$$Y_c = O_y + \vec{W}_{cy} \quad (4)$$

Para os vértices côncavos, ver Figura 5, o movimento da ferramenta é executado até que seu centro (C) encontre a reta bissetriz, representada pelo vetor  $\vec{W}$ , ao arco definido pelos vetores  $\vec{U}$  e  $\vec{V}$ . O vetor  $\vec{W}$  é obtido pela soma dos versores  $\hat{U}$  e  $\hat{V}$ .  $\vec{W}_c$  é um vetor paralelo a  $\vec{W}$ , cujo comprimento é obtido (ver Equação 6) em função do raio da fresa (R) e do ângulo ( $\theta$ ) formado pelos vetores  $\vec{U}$  e  $\vec{V}$ . As coordenadas ( $X_c, Y_c$ ) do centro da fresa são encontradas (ver equações 8 e 9) após a soma das coordenadas do vértice “O” com as projeções do vetor  $\vec{W}_c$  nas direções “X” e “Y”, respectivamente. Após encontrar a reta bissetriz, o movimento de avanço é mantido com a fresa tangente à outra aresta.

$$\vec{W} = \hat{U} + \hat{V} \quad (5)$$

$$|\vec{W}_c| = \frac{R}{\sin(\theta/2)} \quad (6)$$

$$\vec{W}_c = \frac{|\vec{W}_c|}{|\vec{W}|} \cdot \vec{W} \quad (7)$$

$$X_c = O_x + \vec{W}_{cx} \quad (8)$$

$$Y_c = O_y + \vec{W}_{cy} \quad (9)$$

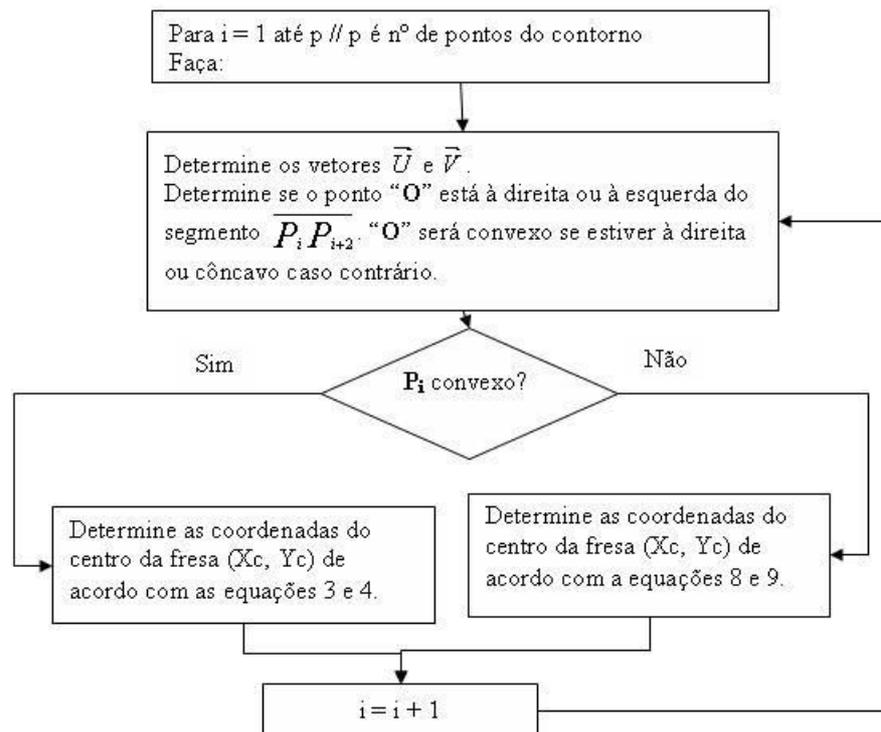


Figura 3. Pseudocódigo para a determinação do centro da fresa em acabamento

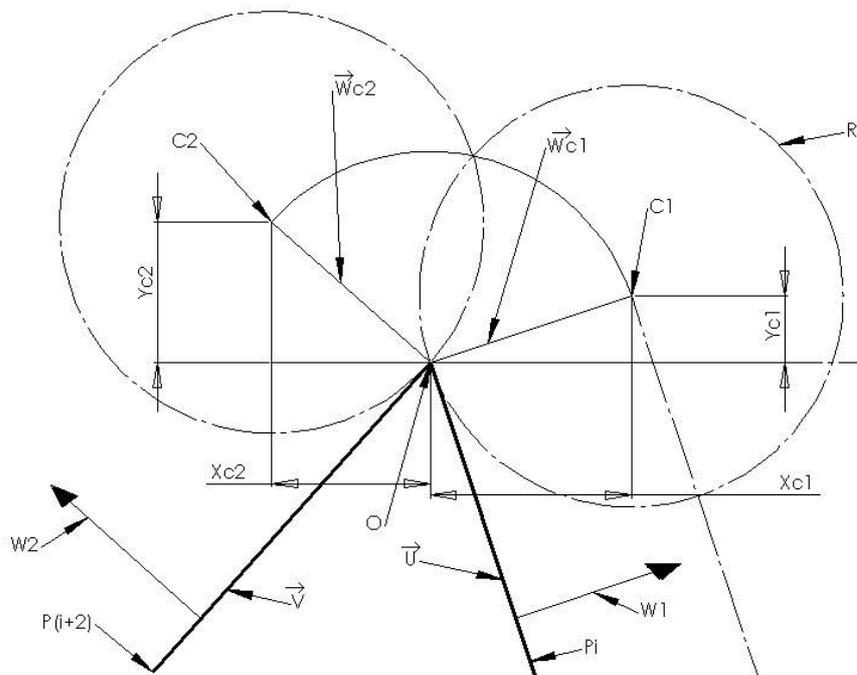


Figura 4. Rolamento da fresa sobre um vértice convexo "O"

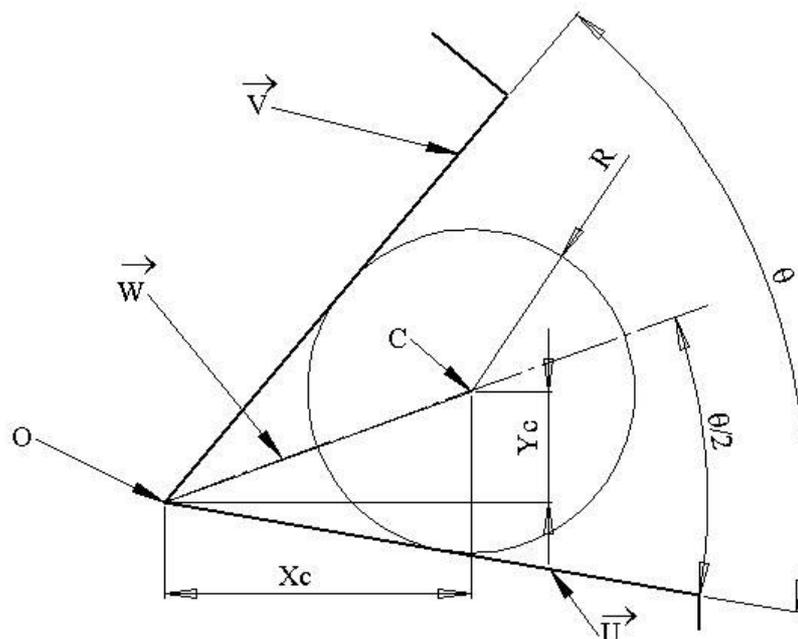


Figura 5. Fresamento de vértices côncavos

#### 4. IMPLEMENTAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Baseando-se na metodologia apresentada na seção 3, um protótipo computacional foi implementado utilizando a linguagem MS-Visual Basic<sup>®</sup>, a qual foi escolhida tendo em vista a necessidade de desenvolvimento rápido e a facilidade propiciada pela mesma para a integração futura de bibliotecas gráficas mais avançadas.

Os componentes selecionados para a validação da metodologia proposta foram:

1) a calota superior de um crânio humano seco modelada por Bazan<sup>(10)</sup>, a partir de imagens tomográficas. A modelagem foi realizada com o auxílio do software Mimics<sup>®</sup>, o qual é um CAD dedicado ao processamento de imagens médicas e que também propicia a conversão para o formato

STL. A Figura 6 contém uma imagem em perspectiva do referido modelo, o qual possui dimensões, em milímetros, 44 (direção Z), 133 (direção X) e 163 (direção Y); e 2) um sólido em forma piramidal na direção Z, cuja seção transversal contém contornos com vértices côncavos e convexos. Apesar de sua simplicidade, esse componente é considerado como um exemplo típico da família de peças que atendem às restrições impostas na elaboração da metodologia apresentada na 3ª seção. Sua modelagem foi realizada no software SolidWorks® e exportada no formato STL. A Figura 7 contém uma imagem em perspectiva deste modelo, o qual mede, em milímetros, 10 (direção Z), 65 (direção X) e 90 (direção Y). Os contornos obtidos após seu fatiamento, com espessura de 0,25 mm, contendo a trajetória da fresa já corrigida são apresentados na Figura 8.

A trajetória da ferramenta e os programas CN gerados foram testados de duas maneiras: a primeira por meio de uma análise visual, conforme apresentado na Figura 8; e a segunda com o auxílio do Comando Romi Mach9 disponível em um centro de usinagem vertical. Os testes no Romi-Mach9 possibilitaram, além da verificação da sintaxe, a simulação bidimensional, porém sem usinagem. A simulação no Mach9 é similar àquela realizada no protótipo implementado.

No caso do primeiro componente, observou-se, dada à sua elevada complexidade, a ocorrência do *gouging* do tipo II (ver Figura 1b), além de vários do tipo I (Figura 1a). Isto implicou na violação da quinta restrição (ver seção 3) assumida na metodologia proposta. Apesar do fatiamento e a geração do código CN terem sido realizados, a usinagem do mesmo ainda seria impraticável, pois conduziria à uma superfície diferente da modelada.

Para o segundo componente verificou-se, apenas, o *gouging* do tipo I, o qual pode ser minorado à medida que fresas de pequeno diâmetro sejam selecionadas. Entretanto, deve-se observar que a relação (L/Df), entre o diâmetro da fresa e seu comprimento, deve ser mantida no menor valor possível, para evitar uma flexão exagerada da mesma e a conseqüente inviabilidade do fresamento.

A utilização de fresas de topo reto, tal como proposto aqui, implica em um aumento do “efeito escada” nas regiões onde a normal vertical (Nz) aproxima-se de 1. Este comportamento é apontado por vários autores<sup>(2)(6)(7)(8)(9)(11)</sup> como sendo inerente ao processo de fatiamento. Uma maneira de minorar esse problema passa pela adoção de fresas de ponta esférica ou a utilização de fatias de menor espessura. A última abordagem, obviamente implica em um maior tempo de usinagem. A primeira não foi contemplada na metodologia proposta, ficando para um trabalho futuro.

A vantagem da fresa de topo reto decorre da possibilidade de se trabalhar com maiores valores de avanço e penetração de trabalho, quando comparados com aqueles adotados em ferramentas de ponta esférica<sup>(2)</sup>. A melhor alternativa, para este tipo de usinagem seria a utilização de fresas de topo reto para o desbaste e as de ponta esférica para o acabamento.

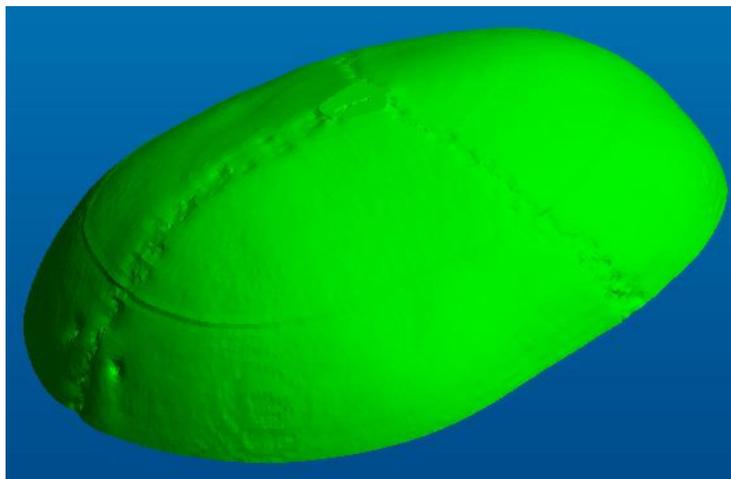


Figura 6. Modelo em STL de uma calota craniana<sup>(10)</sup>

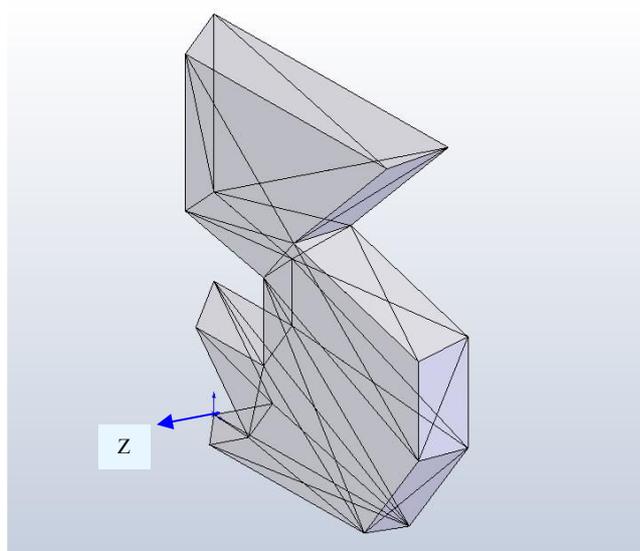


Figura 7. Modelo em STL do segundo componente

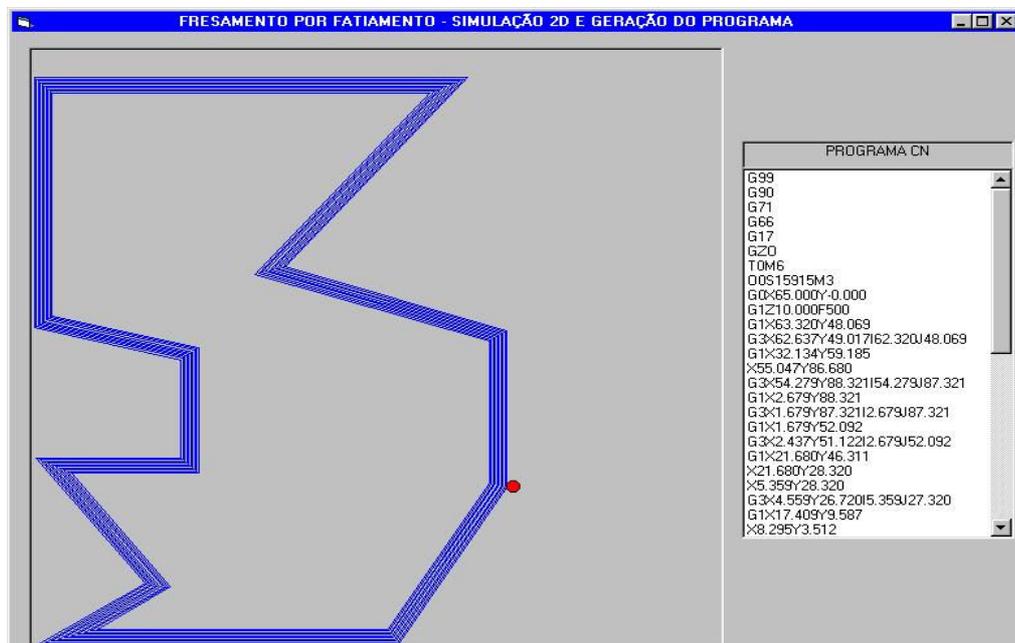


Figura 8. Resultado da simulação do fatiamento e geração do código CN para o segundo componente com fresa de  $\phi$  2mm

## 5. CONCLUSÕES

Dentro das condições de simplificação aqui impostas, pôde-se concluir que a técnica de fresamento por fatiamento pode ser aplicada na usinagem de uma família de componentes com elevada complexidade geométrica, a um custo computacional relativamente baixo. Isto decorre da redução de complexidade, originalmente imposta pela modelagem tridimensional, para um problema bidimensional.

A metodologia aqui proposta pôde ser facilmente implementada, o que permitiu a obtenção de um protótipo computacional para a geração da trajetória da ferramenta compatível com a sintaxe de comandos comerciais que interpretam o padrão ISO 6983 ou EIA 274D.

Os resultados alcançados permitem afirmar que a partir da ampliação da metodologia proposta, i.e., com a inclusão das etapas de pré-acabamento, correção do raio de corte para fresas de ponta esférica e detecção dos demais tipos de *gouging* poder-se-á ampliar a família de peças possíveis de serem fabricadas pelo fresamento de camadas.

## 6. REFERÊNCIAS

1. FRANK, M. C.; WYSK, R. A.; JOSHI, S. B. Rapid planning for CNC milling – a new approach for rapid prototyping. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 13, n. 3, p. 242-255. 2004.
2. CHANG, C. M.; YAU, H. T. A new approach to Z-level contour machining of triangulated surface models using fillet endmills. **Computer-Aided Design**, v. 37, p. 1039-1051. 2005.
3. PARK, S. C. Sculptured surface machining using triangular mesh slicing. **Computer-Aided Design**, v. 36, n. 2, p. 279-288. 2004.
4. TANG, K.; CHEN, L. L.; CHOU, S. Y. Optimal workpiece setups for 4-axis numerical control in industry. **Computers in Industry**, v. 37, n. 1, p. 27-41. 1998.
5. CHEN, Y. H.; SONG, Y. The development of a layer based machining system. **Computer-Aided Design**, v. 33, p. 331-342. 2001.
6. Jacobs, P. F., Stereolithography and other RP&M Technologies: from Rapid Prototyping to Rapid Tooling. SME, 1996, 392p.
7. TATA, K, et al. Efficient slicing for layered manufacturing. **Rapid Prototyping Journal**, v. 4, n. 4, p. 151-167. 1998.
8. LIAO, Y. S.; CHIU, Y. Y. A new slicing procedure for rapid prototyping systems. **International Journal of Manufacturing Technology**, v. 18, p. 579-585. 2001.
9. CHOI, S. H.; KWOK, K. T. Hierarchical slice contours for layered manufacturing. **Computers in Industry**, v. 48, p. 219-239. 2002.
10. BAZAN, O. **Usinagem de próteses a partir de imagens tomográficas**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
11. BEAMAN, J.J. **Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing**. Dordrecht London: Kluwer Academic Publishers, 1997. 330p.

## COMPLEX SHAPES MACHINING BY SLICING TECHNIQUE

**Dalberto Dias da Costa**

UFPR – Mechanical Engineering Department – Curitiba – PR – [dalberto@ufpr.br](mailto:dalberto@ufpr.br)

**Neri Volpato**

UTFPR – Mechanical Engineering Department – Prototyping and Tooling Group (NUFER) – 80230-901 - Curitiba – PR - [nvolpato@utfpr.edu.br](mailto:nvolpato@utfpr.edu.br)

***Abstract** - The complex surface machining is becoming a challenge to the industry due to the increasing need to develop tailor made products and also in small batches. In general, this issue has been tackled by a heavy investment in CAM (Computer-Aided Manufacturing) systems and in machine tools with a higher degree of freedom. The objective of this work is to present a methodology to implement a low cost system which can be used in the milling of complex geometry. This work explores the similarities and differences between the layer manufacturing and the milling process. Based on that, some algorithms have been created to slice a three-dimensional model in the STL (STereoLithography) format, similarly to what happens in the layer manufacturing process. The main conclusion of this work is that there is a part family or surfaces which the tool path generation can be simplified from a three-dimensional machining to a 2 ½ axes milling.*

**Keywords:** contour milling, STL, layer manufacturing