

MÉTODO DE DETECÇÃO DE CONTORNO PARA RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES

José Nilton Fonseca Junior

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica,
Av. João Naves de Ávila, 2160. Santa Mônica, Bloco 1M - Uberlândia/MG.
jfonsecajr@yahoo.com.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Resumo: Os processos atuais de engenharia exigem o desenvolvimento e fabricação do produto em tempo reduzido, visando obtê-los com alta qualidade e baixo custo. A Engenharia Reversa consiste em uma tecnologia inovadora que satisfaz as exigências atuais, reconstruindo modelos CAD a partir de modelos reais. O processo consiste na aquisição de pontos, o pré-processamento dos dados e a obtenção da superfície, sendo a segunda etapa responsável por fornecer dados confiáveis à etapa seguinte. O presente trabalho descreve o método de detecção de contorno (MDC) desenvolvido para fornecer os pontos que melhor representam o contorno de um objeto. A metodologia utilizada baseia-se no cálculo de um parâmetro principal envolvendo os pontos localizados no interior de uma macro-região, cujas dimensões são função de uma resolução pré-definida. Assim, foram analisados os fatores de maior influência no processo para compor o parâmetro principal. Os resultados obtidos com a aplicação deste método foram satisfatórios, pois os pontos resultantes representaram detalhadamente a superfície do objeto usado. Além disso, foi possível verificar a influência das dimensões da macro-região sobre o resultado, a relação entre o método de detecção do contorno com o método de redução de pontos e a rapidez de obtenção do mesmo.

Palavras-chave: Reconstrução Gráfica, Superfícies, CAD, Engenharia Reversa.

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Reversa surgiu da necessidade de substituir ou modificar um produto já existente, cujas informações sobre seu desenvolvimento e fabricação são desconhecidas, por outro produto com as mesmas características. Os produtos obtidos através dessa tecnologia oferecem alta qualidade, baixo custo e tempo de obtenção reduzido, despertando grande interesse de diversas áreas. A busca incessante da indústria em reduzir os custos e o tempo no desenvolvimento do produto, mantendo ou aumentando a qualidade do mesmo, tornou a engenharia reversa uma tecnologia poderosa na obtenção de sistemas produtivos mais ágeis e flexíveis. Assim, o número de pesquisas em engenharia reversa cresceu em todo mundo objetivando aperfeiçoar os processos envolvidos nesta tecnologia e aplicá-la às mais diversas áreas existentes.

Esta tecnologia envolve três etapas básicas, que são: digitalização de forma (aquisição de dados), pré-processamento (tratamento dos dados) e geração da superfície (reconstrução gráfica).

Nos últimos anos as técnicas de digitalização aplicadas à Engenharia Reversa têm apresentado um grande desenvolvimento. A velocidade e precisão das técnicas de digitalização se devem ao avanço nas áreas de física, engenharia elétrica, o desenvolvimento dos lasers, CCD's e as unidades de aquisição de dados de altas velocidades. Tais tecnologias têm permitido medir perfis com precisão na relação de 1 por 1.000 e taxas acima de 20.000 amostragens por segundo. Dependendo do objeto, milhares ou até milhões de amostragens são adquiridas. O resultado consiste em uma "massa" de dados que requerem algoritmos eficientes e confiáveis que possam gerar modelos

computacionais a partir destas amostragens. Estes dados formam, na realidade, uma nuvem de pontos, nem sempre organizados (Curless, 1997).

O objetivo da reconstrução de uma superfície pode ser definido como: “dado um conjunto de pontos P assumindo definir uma superfície S , criar uma superfície modelo S' o mais próximo possível de S ”. O processo de reconstrução da superfície não garante que ela será exatamente igual a S , visto que é conhecida uma quantidade finita de pontos. Um aumento na quantidade de pontos também não garante a exatidão da superfície. Neste caso, o algoritmo pode não conseguir reconstruir a superfície por “identificar” certos pontos como sendo ruídos. Em alguns casos é necessário definir alguns parâmetros para que o algoritmo possa solucionar o problema de reconstrução da superfície. Por esta razão, o método de reconstrução depende da aplicação e, para cada aplicação deve ser usado o algoritmo adequado. A reconstrução da superfície é um problema difícil: primeiro porque os pontos medidos são desorganizados e, geralmente, cheios de ruídos; depois, a superfície pode ser arbitrária, com topologia desconhecida e com formas angulares. Então, o método de reconstrução deve identificar a geometria correta, a topologia e a forma a partir de um número finito de pontos (Remondino, 2003).

De forma a eliminar estes problemas, é necessário reduzir o número de pontos visando extrair o conjunto de dados que melhor descrevem a superfície digitalizada. O presente trabalho apresenta um novo método para detecção de contorno utilizando os pontos provenientes de um método qualquer de redução de pontos. O método desenvolvido é fruto da realização de diversos testes, que são apresentados ao longo do trabalho, assim como os resultados obtidos com a versão final do algoritmo desenvolvido. Além disso, é importante citar que a detecção do contorno corresponde à fase subsequente ao método de redução de pontos, onde é realizada a organização dos pontos segundo uma ordem de ligação entre eles.

Os resultados do pré-processamento são, posteriormente, usados no processo de geração da superfície do objeto digitalizado. Atualmente, existem inúmeros processos de reconstrução de superfícies, porém optou-se pela geração de superfícies através das secções transversais do modelo real. Para isso, foram realizados vários estudos sobre os métodos de geração de superfícies, onde as superfícies NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) e B-splines apresentaram resultados satisfatórios. Então, para validar os resultados obtidos com o método de detecção de contorno (MDC), foram comparadas as superfícies construídas com diferentes números de pontos, bem como o tempo de geração de cada uma.

2. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

Em uma primeira etapa do pré-processamento, é realizado um processo de redução de pontos através de um método especial designado por MRP3D. Este método consiste na substituição de um conjunto de pontos existentes em uma determinada região, por seu centro de massa (CM), considerando que cada ponto possui massa unitária. Assim, é obtido um conjunto com reduzido número de pontos, representado pelos CM de cada região, que é organizado de maneira a representar fielmente o contorno real da secção transversal.

O processo de detecção de contorno tem como função identificar a sequência de ligação entre os centros de massa, definindo o contorno da secção transversal. A ordem nos quais os CM são ligados pode resultar em inúmeros contornos distintos que, muitas das vezes, não descreve com fidelidade o contorno do objeto digitalizado. Então, para evitar tal problema, foram selecionados alguns parâmetros, e combinações entre eles, para serem analisados e comparados.

Os parâmetros utilizados foram: a distância entre o ponto de referência e cada ponto pertencente a uma macro-região; e o número de pontos (densidade) utilizados na definição de cada ponto reduzido.

2.1 Determinação e Análise dos parâmetros

Na determinação dos parâmetros utilizados no algoritmo, foram realizados testes visando analisar tanto os resultados obtidos pelos parâmetros isolados como pelas combinações dos mesmos. A densidade da região foi escolhida como parâmetro fundamental por fornecer, com base no número de pontos contidos na região, a probabilidade do CM pertencer ou não ao contorno da secção transversal. A distância entre um CM de referência e os CM delimitados por uma macro-região (definida como uma região de busca) é um parâmetro que possibilita a preservação dos contornos da curva, porém, não é eficiente para sistemas de aquisição de dados de baixa precisão.

A aplicação de cada parâmetro, assim como das suas combinações, é influenciada pela dimensão da macro-região que determina o número de CM ordenados do contorno. Nos testes com os parâmetros isolados foi possível notar que o parâmetro “densidade” elimina CM interiores ao contorno, descrevendo uma secção transversal mais próxima da secção real do objeto. O parâmetro “distância” não eliminou CM, mas descreveu o contorno preservando todos os detalhes descritos pela quantidade de pontos inicial.

Desta maneira, optou-se por testar combinações entre estes dois parâmetros visando conciliar as características oferecidas por cada um deles isoladamente. Nos testes foram analisadas a preservação dos detalhes de contorno, a quantidade de CM final e a faixa de resolução utilizada. Dentre as combinações realizadas, foram obtidos ótimos resultados com a multiplicação da distância entre o CM de referência e os CM de cada região, pelo número de pontos que define cada ponto.

Esta combinação apresentou a maior taxa de redução de pontos com a maior resolução possível, sendo que a faixa de resolução pode ser identificada com base em simulações devido à dependência da resolução utilizada no método de redução de pontos. Assim, a combinação escolhida passa a ser o parâmetro principal de avaliação na obtenção do conjunto de pontos de definição do contorno.

2.2. Método de Detecção de Contorno

O método desenvolvido consiste, basicamente, no cálculo dos dois parâmetros fundamentais e a combinação deles (parâmetro principal) para obter o novo conjunto de pontos que definirão o contorno da superfície. Inicialmente, com base em um CM de referência qualquer, é definido a região de busca onde estão localizados os CM vizinhos ao referencial. Assim, é calculada a distância (dp) entre o CM de referência e todos os CM que compõem a vizinhança. Este, então, é multiplicado ao seu respectivo número de pontos (np), provenientes do processo de aquisição de dados, que foram utilizados para definir cada um dos centros de massa vizinhos.

A Figura 1 representa, de maneira simplificada, um conjunto de pontos adquiridos juntamente com os centros de massa (pontos reduzidos) e suas respectivas regiões, definidas por dx e dy . Para o CM de referência, fica definida a macro-região, que consiste nas regiões vizinhas à região que contém o CM de referência.

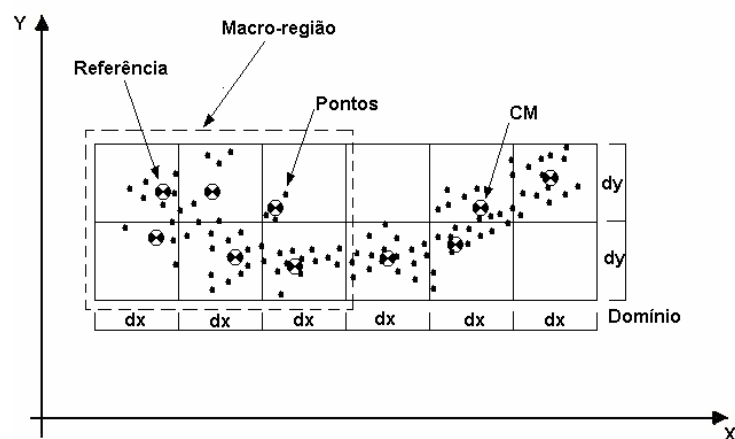


Figura 1: Método de detecção de contorno.

Os valores do parâmetro principal são, agora, comparados entre si de forma a selecionar o centro de massa que possuir o maior valor. Os CM não selecionados são desprezados e não participam do processamento restante. Porém, o CM selecionado passa a ser a nova referência e, partir dele, é definida a nova macro-região, dando continuidade ao processo. Por fim, este é finalizado quando a nova referência selecionada coincidir com o referencial inicial.

A eficiência do processo é definida diretamente pela resolução que determina as dimensões da macro-região, pois assim pode-se variar o número final de pontos como também o tempo computacional.

No algoritmo computacional desenvolvido é possível alterar as dimensões da macro-região de forma a obter resultados convenientes à aplicação. Porém, a combinação entre a resolução do método de redução de pontos e a resolução do presente método oferece resultados variados, que devem ser avaliados mediante simulações visando buscar as melhores resoluções para a aplicação desejada.

3. APLICAÇÃO

3.1 Aplicação da metodologia

Para validar o algoritmo desenvolvido, foram realizados vários testes com um objeto de forma conhecida, tornando possível comparar os resultados obtidos e analisar os parâmetros de maior influência na determinação do conjunto de pontos mais adequado. Neste trabalho, a metodologia proposta é aplicada a um objeto de forma cilíndrica.

Inicialmente, tem-se o conjunto de pontos, proveniente do processo de aquisição de dados realizado com um objeto cilíndrico, com diâmetro de 10 mm, totalizando 380084 pontos. Com a aplicação do método de redução de pontos tridimensional foi possível obter um conjunto composto por 58 CM, que pode ser aplicado ao método apresentado.

Na Figura 2 têm-se a distribuição dos centros de massa com relação as suas respectivas regiões e a definição da região de busca inicial (macro-região), para execução do método de detecção de contorno.

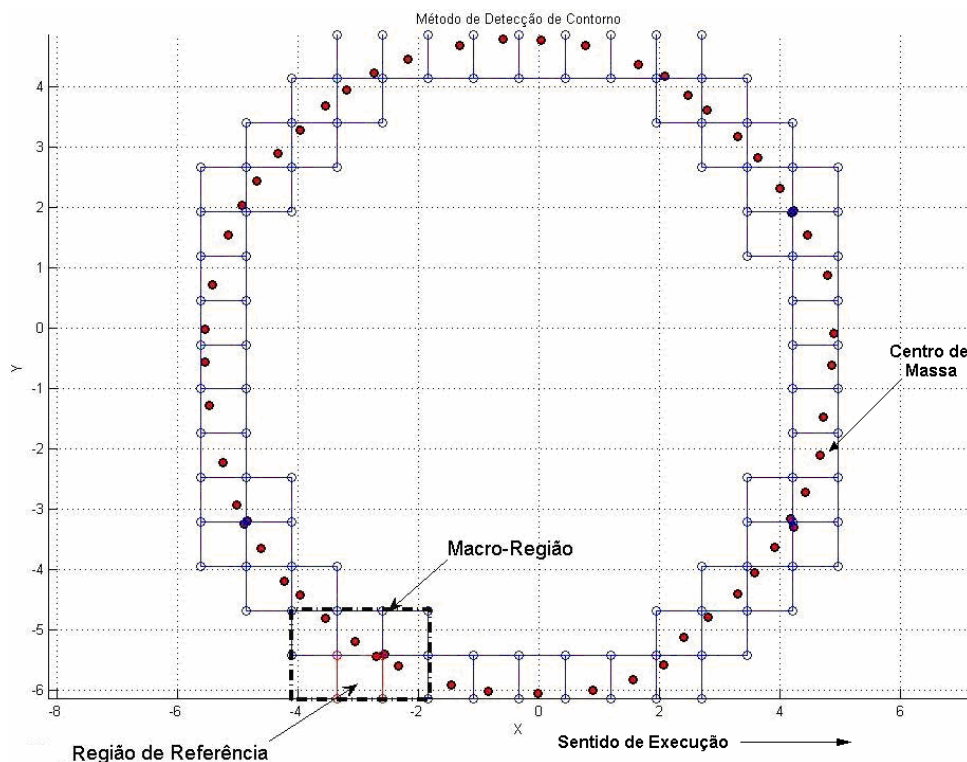


Figura 2: Vista do Plano XY dos centros de massa e da definição da região de busca para o início do método

Nos testes realizados, para diversos contornos, foram observados que os detalhes mais minuciosos permaneceram intactos mesmo com o contorno sofrendo uma pequena redução do número de pontos que o compõe. Na figura 3, tem-se o contorno da secção transversal definido pelos centros de massa resultantes do método de detecção de contorno.

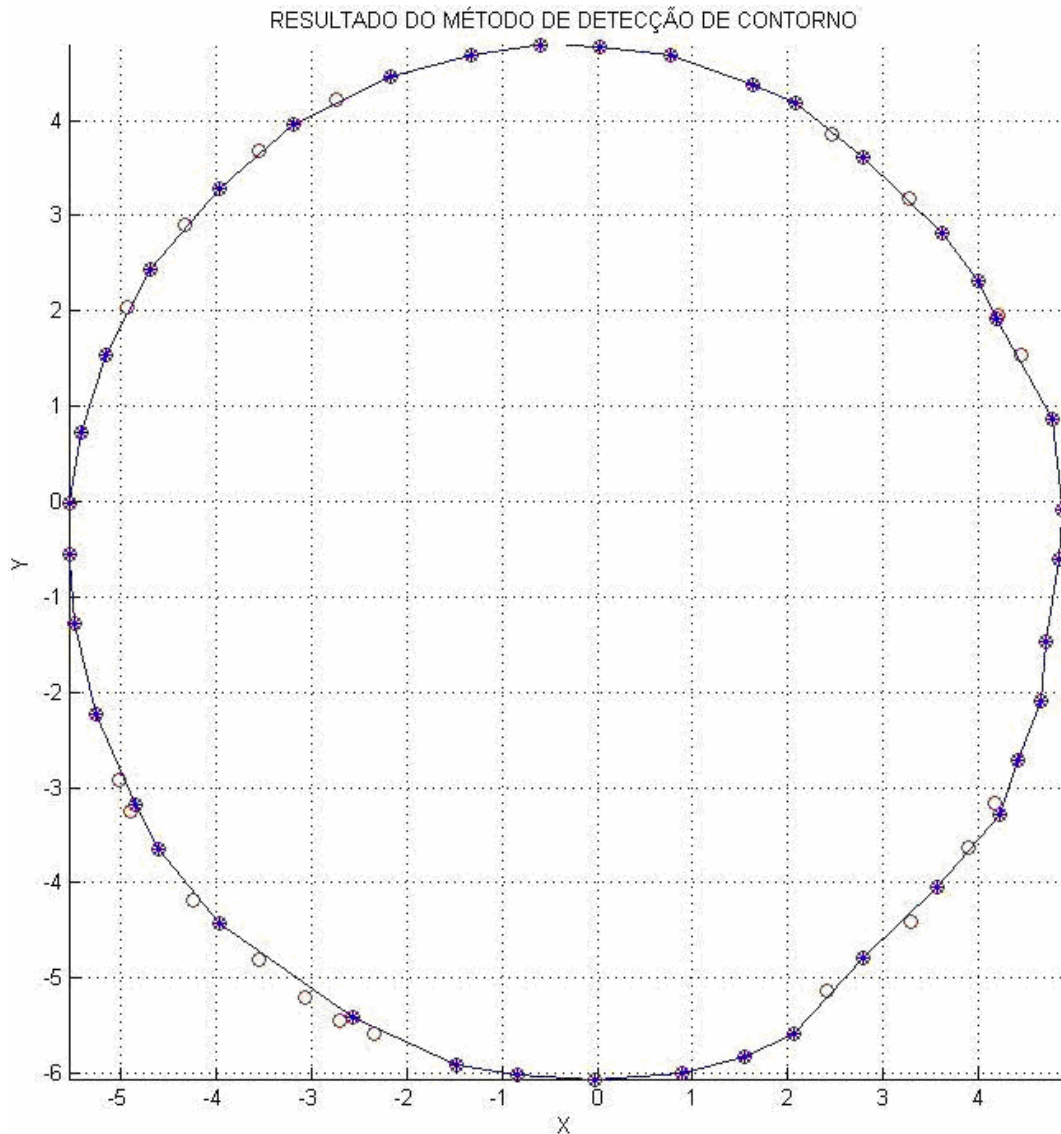
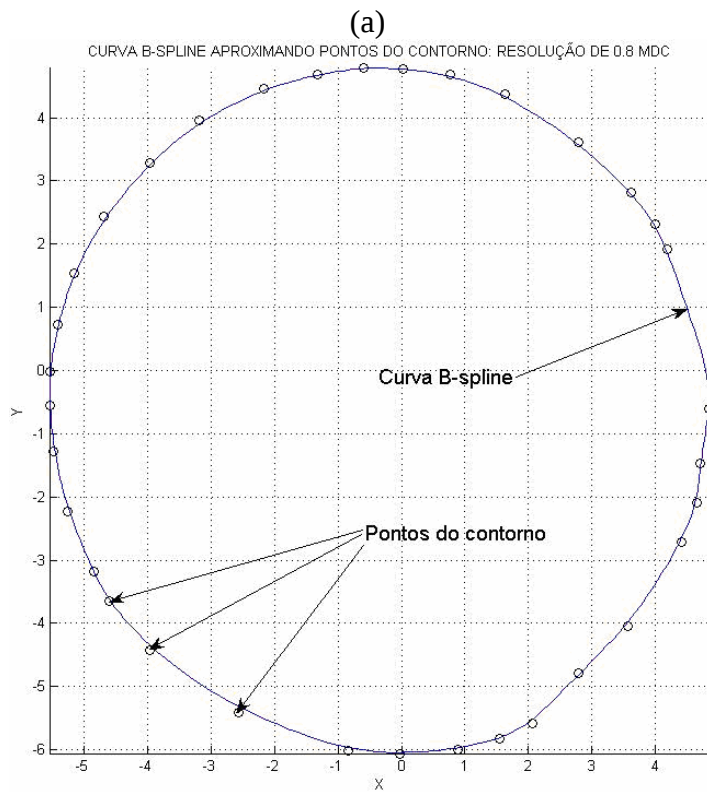
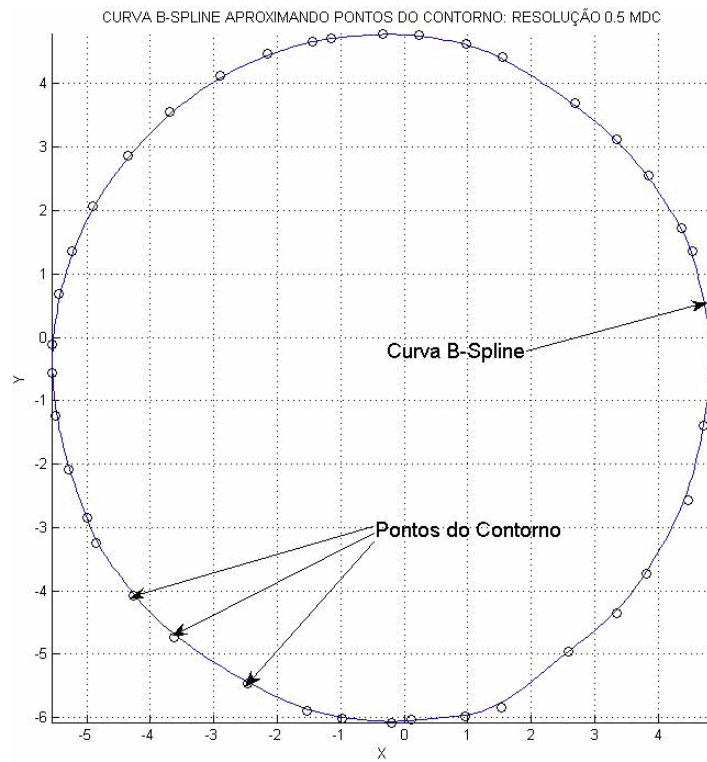


Figura 3: Contorno definido através da aplicação do método de detecção de contorno.

Durante os testes para o mesmo objeto, procurou-se verificar o nível de influência causado pela variação das dimensões da região de busca, na qualidade do contorno e no tempo computacional. O tempo computacional obtido, com o aumento da resolução, é praticamente desprezível em uma análise isolada do desempenho do MDC, porém o tempo obtido torna as etapas seguintes mais velozes reduzindo o tempo total do processo de reconstrução gráfica. Já a qualidade do contorno apresentou alto nível de preservação dos detalhes em determinada faixa de resolução, definida através de simulações para cada tipo de objeto, e grande influência da resolução utilizada no método de redução de pontos.

Na Figura 4 tem-se pontos provenientes do método proposto aproximados por curvas B-splines, sendo possível notar a influência da resolução sobre a qualidade do contorno obtido.



(b)

Figura 4: Curva B-Spline aproximando os pontos do contorno da secção transversal para diferentes resoluções. (a) Resolução menor e (b) Resolução maior.

Ao comparar as figuras 4(a) à 4(b), pode-se notar a redução do número de pontos do contorno e, conseqüentemente, a alteração do contorno, descrito pela curva B-spline. A redução excessiva dos pontos, causada por combinações inadequadas das resoluções dos métodos de redução de pontos e detecção de contorno, pode acarretar na eliminação de detalhes importantes da secção transversal fornecendo superfícies que não correspondem ao modelo real. Além disso, é possível verificar a alteração no contorno causado pela inserção ou remoção de um único ponto na secção.

O estudo dos efeitos causados pela combinação de resoluções, entre os métodos de redução de pontos e detecção de contorno, deve ser feito para cada caso separadamente, pois a variação da complexidade de forma resulta na alteração das resoluções adequadas. Assim, com simulações é possível determinar valores ótimos para produzir superfícies confiáveis e tempo computacional reduzido.

3.2 Validação do Método

Com o objetivo de avaliar os resultados obtidos com a metodologia proposta, foi utilizado um software comercial de reconstrução de superfícies tridimensionais.

O software apresentado possibilita a aplicação de diversas técnicas de reconstrução e o controle da forma da superfície de forma interativa. Porém, ele não fornece ao usuário o controle total do processo, informando dados específicos. Por isso, justifica-se a aplicação da metodologia e a comparação entre os resultados.

Em testes com secções transversais de um objeto conhecido, pode-se verificar a fidelidade das superfícies construídas através de secções transversais. Na Figura 5, tem-se a visualização da superfície estudada, utilizando-se o software comercial, em três ângulos diferentes, e a renderização correspondente com a malhagem utilizando NURBS. A superfície foi construída a partir de cinco secções transversais, de contornos semelhantes, igualmente espaçadas. O resultado representou com fidelidade os contornos de cada curva com ótima qualidade, mostrando ser uma referência confiável para comparação com as superfícies obtidas pela metodologia apresentada.

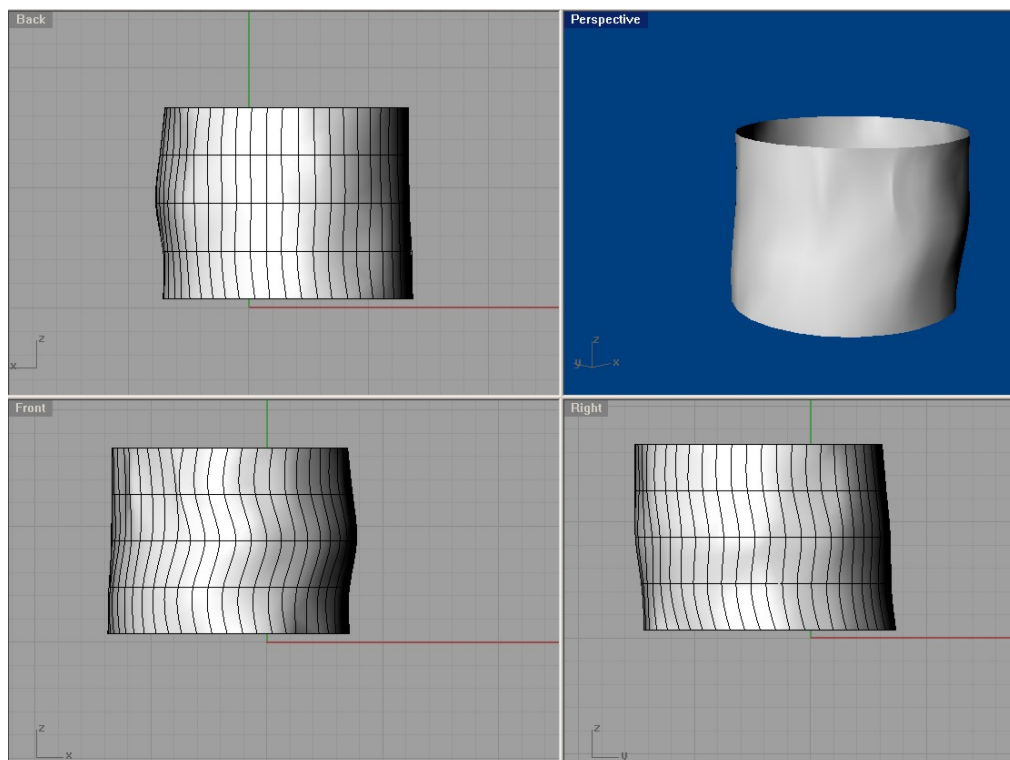


Figura 5: Superfície renderizada a partir de cinco “fatias” obtidas com o processo de redução de pontos e detecção de contorno conforme proposto, utilizando um software comercial de representação gráfica.

Cabe salientar que neste projeto de pesquisa não está incluída a etapa de renderização visto que existem diversos programas, inclusive de uso livre, que permitem efetuar a renderização a partir de curvas que representam o contorno do objeto.

4. CONCLUSÕES

Os resultados produzidos tornaram possível validar a metodologia desenvolvida para a detecção de contorno e, ainda, determinar os fatores de maior influência. Nos testes iniciais, foi comprovada a eficiência do método, que demonstrou grande capacidade de preservação de detalhes do contorno mesmo apresentando ligeira redução no número de pontos. Além disso, foram verificadas pequenas variações no tempo computacional, mediante alterações da resolução utilizada no processo, que podem afetar de forma positiva ou negativa o processo de reconstrução gráfica.

Os testes finais tiveram como objetivo verificar a influência da relação entre a resolução usada no método de detecção de contorno com a usada no método de redução de pontos. E, diante dos resultados, pode-se notar que os métodos estão diretamente relacionados de forma que a pequena redução produzida pelo método de detecção de contorno pode causar resultados imprecisos dependendo do número de pontos fornecidos pelo método de redução. Assim, é necessário realizar simulações para cada caso de reconstrução gráfica, obtendo as resoluções adequadas para que ambos os métodos funcione precisamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica / PIBIC, pela bolsa concedida ao aluno José Nilton Fonseca Júnior para a realização do presente trabalho e ao financiamento do projeto pela FAPEMIG.

6. BIBLIOGRAFIA

- Hennes, N., Staimer, D., 2004, “Application of PKM in Aero space Manufacturing – High Performance Machining Centers ECOSPEED, ECOSPEED-F and ECOLI NER”, The 4th Chemnitz Parallel Kinematics Seminar – PKS 2004, Chemnitz, April 20-21, Germany.
- Hoppe, H., 1994, “Surface reconstruction from unorganized points”. PhD Thesis, Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, June 1994.
- Jacquet, P., Danescu, G., Carvalho, J.C.M., Dahan, M., 1992, “A Spatial Fully Parallel Manipulator”, in Proc. of World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, Udine, 1-4 Setembro 1992.
- J.P. Kruth *, A. Kerstens., 1997, “Reverse engineering modelling of free-form surfaces from point clouds subject to boundary conditions”, Journal of Materials Processing Technology 76 (1998) 120–127.
- Lamb Technicon, 2001, Lamb Technicon Machining Systems / UNOVA, Web site: www.lambtech.com.
- Lima, C.B., Telles, G.N., 2003, “Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida: Estudo de Casos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- Mencl, R., 2001, “Reconstruction of Surfaces from Unorganized 3D Points Clouds” . PhD Thesis, Dortmund University, Germany.
- Patias, P., 2001, “Photogrammetry and Visualization. Technical Reprot, ETH Zurich, Available at: <http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/quest.html>.
- Piegl, L.; Tiller, W. The NURBS Book. 2nd Edition, Springer, 1996. 646p.
- Romandino, F., 2003, “From Point Cloud to Surface: [The Modeling and Visualization Problem”, The Int. Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, 24-28 February 2003, Switzerland.

Stoddard,A., Hilton,A., Illingworth,J., 1994, “Slime : A new deformable surface”, Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Surrey.

Sviták, R., Skala, V., 2004, “Robust Surface Reconstruction from Orthogonal Slices”. Dpt. of Computer Science and Engineering. University of West Bohemia in Pilsen.

Turk, G., Levoy, M., 1994, “Zippered Polygon Meshes form Range Images”, Proc. of SIGGRAPH’94, Orlando, FL, July 24-29, 1994, ACM Press, pp. 311-318.

CONTOUR DETECTION METHOD APPLIED TO SURFACE RECONSTRUCTION

José Nilton Fonseca Junior

Federal University of Uberlandia, Mechanical Engineering School,
Av. João Naves de Ávila, 2160. Santa Mônica, Bloco 1M - Uberlândia/MG.
jfonsecajr@yahoo.com.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Abstract: Nowadays, the engineering process requires reduced time in the development and manufacturing of the products, but keeping high quality and low costs. The Reverse Engineering consists in a technology that satisfies all the present requirements and reconstructing CAD models through the real models. The process is carried out by the digitalizing process, the treatment of points process and the surface reconstruction, where the second stage is responsible to supply correct data for follow process. The present paper describes a contour detection method (MDC) developed to supply a set of points that represents the contour of an object. The used methodology is based on the calculation of the main parameter wrapping all points located inside of principal region, which her dimensions depend of a resolution. It was analyzed the factors that influences the process for to compose the main parameter. The obtained results with this method were satisfactory, because the resultant points represent the surface of the object with accuracy. It was possible to verify the influence of the principal region dimensions, the relationship between contour detection method and method of reduction points and the process velocity.

Keywords: Surface Reconstruction, CAD, Reverse Engineering, Surfaces.