

## **Plano de Trabalho de Conclusão de Curso**

### **Reconstrução 3D de superfícies a partir de nuvem de pontos**

UDESC - Centro de Ciências Tecnológicas  
Departamento de Ciência da Computação  
Bacharelado em Ciência da Computação - Integral  
Turma 2010/2 - Joinville – Santa Catarina

***André Diego Piske – andrepiske@gmail.com***

***Orientador: Roberto Silvio U. Rosso Jr. – roberto.rosso@udesc.br***

**Resumo** – A reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos possui diversas aplicações. Uma delas é a usinagem de um objeto, do qual uma nuvem de pontos pode ser obtida por meio de um escâner 3D. A nuvem não contém informação topológica do objeto e, portanto, a reconstrução dos pontos em uma representação adequada é necessária. Esta representação pode ser uma malha de triângulos ou um conjunto de superfícies, sejam implícitas, paramétricas ou outra. Neste trabalho serão revisados métodos existentes de reconstrução a partir de nuvem de pontos. Um método adequado será então implementado e validado.

**Palavras-chave:** *reconstrução, ajuste de superfícies, nuvem de pontos.*

## 1. Introdução e Justificativa

Uma definição de reconstrução de superfícies é dada por (CAZALS e GIESEN, 2006), que em tradução livre é: *“Dado uma amostra finita  $P \subset \mathbb{R}^d$  de uma superfície  $S$ , a reconstrução de superfícies preocupa-se com o cálculo do modelo  $S$  a partir de  $P$ . O modelo pode ser representado como uma superfície suave ou triangulada, e espera-se que ela se iguale a  $S$  em relação a topologia e a geometria”*.

O objetivo da reconstrução de superfícies é obter um modelo geométrico em formato digital que seja o mais próximo possível da superfície de um dado objeto real. Quando não se dispõe de um modelo digital do objeto, é possível obtê-lo a partir de uma etapa de aquisição de nuvem de pontos e posterior reconstrução. A nuvem de pontos não possui informações topológicas de superfície, portanto a reconstrução é necessária para obtê-las. Uma nuvem de pontos de um objeto pode ser obtida através de um escâner 3D.

Existem diversos métodos para reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos na literatura. Eles podem ser separados em duas classes, de acordo com o resultado que eles produzem. Numa classe estão os interpoladores, onde a superfície resultante garantidamente passará em todos os pontos da nuvem. Apesar desta garantia, eles podem apresentar problemas quando a nuvem de entrada possui ruído, furos ou quando é não-uniforme (BERGER *et al.*, 2013). Na outra classe estão os algoritmos aproximadores. Nesta classe, não há garantia de que a superfície resultante irá passar por todos os pontos da nuvem de entrada. Alguns trabalhos, como (SUN *et al.*, 2001), (LI, HAN e WEE, 2009) e (BERGER *et al.*, 2013) sugerem que esta classe produz melhores resultados que os interpoladores para entradas ruidosas, com furos e não-uniformes.

Em (SUN *et al.*, 2001), é apresentado um algoritmo para reconstrução de malhas de triângulos. Ele permite o ajuste de um parâmetro, que é a tolerância da diferença entre a superfície gerada e a nuvem de pontos. O algoritmo trabalha em duas etapas: filtragem e reconstrução. Na filtragem, o número de pontos a serem considerados na reconstrução é diminuído de acordo com a tolerância dada. Ela coloca os pontos em contêineres (*bins*, no texto original), usando um algoritmo denominado *voxel-binning*, que serão utilizadas na etapa de reconstrução. A reconstrução é feita incrementalmente a partir de um ponto semente, baseada em uma série de heurísticas. Este método permite um ajuste

manual da tolerância de erro. Porém, ele não é robusto para modelos com artefatos de alta frequência ou de topologia complexa.

Em Li, Han e Wee (2009), os autores introduzem um método de reconstrução dirigido por prioridades. Ele constrói uma malha de triângulos a partir de uma nuvem de pontos sem necessitar das normais. Para realizar a escolha do próximo ponto a ser incluído no processo de triangulação, ele cria uma lista de pontos ordenados pela prioridade, onde o ponto que resultar no triângulo com o menor ângulo em relação ao atual possui a maior prioridade. Ou seja, ele dá preferência aos pontos que resultam em uma superfície mais próxima a um plano. Deste modo, este método é robusto para nuvens com topologias complexas e frequências altas. Em uma comparação com outros métodos, o algoritmo gerou melhores resultados visuais e teve maior rapidez na geração.

O trabalho de Amenta, Choi e Kolluri (2001) introduz o algoritmo *Power Crust*. Ele toma como entrada uma nuvem de pontos e gera uma malha de triângulos. Segundo os autores, ele elimina a necessidade de etapas de pós-processamento no sólido, que são necessárias por diversos outros métodos de reconstrução. A partir de experimentos realizados pelos autores com nuvens provenientes de um escâner 3D, os autores concluem que em relação a algoritmos precedentes, o proposto por eles é mais robusto em relação a nuvens esparsas, ruidosas e que possuem cantos agudos e furos.

O trabalho de Wang *et al.* (2011) introduz um método de interpolação na reconstrução de malhas a partir de nuvem de pontos. Dada uma nuvem de pontos com as normais, o algoritmo irá interpolar novos pontos que, em conjunto com os pontos originais, deve, segundo os autores, gerar uma reconstrução mais realística em relação a reconstrução sem usar os pontos interpolados. Isto é demonstrado por experimentos, comparando visualmente as malhas com e sem a aplicação da interpolação.

O trabalho Zhang *et al.* (2010) introduz um método para remover o ruído de uma nuvem de pontos e obter uma reconstrução de malha de triângulos. Nele, os pontos da nuvem são mapeados em um plano e, partindo disto, uma triangulação é feita (usando, por exemplo, o algoritmo de Delaunay) e então a triangulação é voltada para o espaço tridimensional. De um mapeamento tridimensional dos pontos para um plano bidimensional e de volta, ocorrem distorções, que visam ser minimizadas por este método.

A reconstrução pode ser dividida em dois grupos, segundo Wang *et al.* (2011). O primeiro é o grupo denominado “subdivisão espacial” (tradução livre de “*spatial subdivision*”). Eles dividem o espaço da nuvem de pontos em células e então fazem a reconstrução a partir delas. O algoritmo descrito em Sun *et al.* (2001) está nesta categoria. No outro grupo, denominado “crescimento de malha” (tradução livre de “*growing mesh*”) um triângulo inicial é gerado e escolhido utilizando algum critério. A triangulação é feita partindo deste triângulo inicial, escolhendo-se novos pontos para expandi-lo, até ter-se uma malha fechada (sem furos). O algoritmo descrito em Li, Han e Wee (2009) está neste grupo.

Segundo Li, Han e Wee (2009) os algoritmos baseados em subdivisão espacial conseguem alcançar o ótimo global e podem facilmente fazer representações multi-resolução, porém são computacionalmente caros quando uma maior resolução do modelo é desejada. Ainda segundo estes autores, algoritmos da classe de crescimento de malha conseguem representar com maior precisão, em relação a outra classe, o modelo reconstruído. Porém, eles não são robustos para entradas ruidosas.

Uma possível aplicação para a reconstrução de superfícies é quando se deseja realizar a usinagem de um objeto quando não se dispõe de um modelo digital dele; também diz-se que não se possui o modelo CAD (*Computer-Aided Design*). Porém, os *software* CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) utilizados comercialmente necessitam de um modelo digital para gerar a trajetória da ferramenta de usinagem para acionar uma máquina-ferramenta a CNC (*Computer Numerical Control*). Esta trajetória é fundamental para realizar a usinagem. Portanto, é necessário dispor de um modelo digital como, por exemplo, uma representação de malha de triângulos para ser usada como entrada para *software* CAM.

Segundo Feng e Teng (2005), é possível modelar um objeto em algum material flexível, tal como argila, ao invés de modelá-lo em um *software* CAD, para ser posteriormente usinado em uma máquina. Uma forma de se dispor do modelo digital a partir de um objeto físico é realizar o escaneamento 3D deste objeto.

O resultado do escaneamento 3D é uma nuvem de pontos, que não possui informações da superfície do objeto. A reconstrução da nuvem de pontos em uma

malha de triângulos almeja obter, da nuvem, a superfície do objeto, para ser posteriormente dada como entrada num *software* CAM.

Um dos problemas para este projeto é a pouca literatura sobre validação deste tipo de trabalho (BERGER *et al.*, 2013). Assim, uma proposta de validação seria pelo uso de uma técnica em três fases: modelagem de uma superfície, amostragem e avaliação. Berger *et al.* (2013) utilizou superfícies implícitas para modelar formas capazes de representar detalhes e várias características de tamanho e forma. Por fim eles comparam com os resultados com o resultados obtidos de escâneres comerciais.

Um escâner óptico será utilizado na pesquisa a partir de uma parceria com o SENAI-SC.

## 2. Objetivos

Objetivo Geral:

Gerar um sólido 3D composto de superfícies suaves, tendo como entrada uma nuvem de pontos e avaliar os resultados obtidos com o algoritmo.

Objetivos Específicos:

1. Desenvolver algoritmo de reconstrução de superfície a partir de nuvem de pontos.
2. Comparar, usando um método adequado, o objeto escaneado com o reconstruído, a fim de validar o algoritmo de reconstrução.

## 3. Metodologia

Como primeira etapa, uma extensa revisão de literatura será efetuada. Isto inclui os atuais métodos reconstrução 3D, sejam interpoladores ou aproximadores e as formas de validação da reconstrução.

Serão também revisados tópicos de modelagem geométrica, tais como representações de superfícies (implícitas, paramétricas, NURBS, dentre outras), ajuste de superfícies, de triangulação, dentre outros.

Para realizar a reconstrução, nuvens de pontos são necessárias. Elas podem ser encontrados em repositórios *on-line*, tal como o repositório disponível no endereço <<http://pointclouds.org/media>>. O algoritmo de reconstrução será então implementado em uma linguagem de programação a ser definida.

Os resultados devem ser validados com um método adequado. Para este fim também será feita uma revisão da literatura neste tópico. Entre os métodos já encontrados pode ser citado o proposto em Berger *et al.* (2013).

#### 4. Cronograma Proposto

As atividades a serem desenvolvidas são as que seguem:

1. Efetuar revisão dos métodos existentes de reconstrução 3D.
2. Realizar revisão em tópicos de modelagem geométrica.
3. Efetuar revisão dos métodos de validação da reconstrução.
4. Avaliar os métodos existentes, a fim de selecionar um adequado para posterior geração de trajetória de usinagem.
5. Escrita da monografia de TCC-I.
6. Desenvolvimento do algoritmo de reconstrução.
7. Testes e validação dos resultados.
8. Análise dos resultados obtidos e da validação.
9. Escrita da monografia de TCC-II.

Etapas	2014						2015					
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

#### 5. Linha e Grupo de pesquisa

Linha de pesquisa: Processamento Gráfico aplicado a Automação da Manufatura (CAD/CAM). Este projeto está vinculado ao grupo de pesquisa LARVA (Laboratory for Research on Visual Applications).

#### 6. Forma de Acompanhamento/Orientação

O trabalho será acompanhado por uma reunião semanal, com ata registrada eletronicamente. O material gerado será armazenado em um diretório compartilhado num serviço em nuvem e gratuito. O correio eletrônico também será utilizado para eventuais questões acerca do trabalho.

## **7. Referências Bibliográficas**

- AMENTA, N.; CHOI, S. e KOLLURI, R. K. The power crust. **Proceedings of the sixth ACM symposium on Solid modeling and applications - SMA '01**, p. 249–266, 2001, doi:10.1145/376957.376986.
- BERGER, M. ; LEVINE, J. A.; NONATO, L.G.; TAUBIN, G.; SILVA, C. T. A Benchmark for Surface Reconstruction. **ACM Transactions on Graphics**, v. 32, n. 2, p. 20:1–20:17, 2013, doi:10.1145/2451236.245124.
- CAZALS, F. e GIESEN, J. Delaunay triangulation based surface reconstruction: Ideas and algorithms. In: *Effective Computational Geometry for Curves and surfaces*, 2006, Springer.
- FENG, H.-Y. e TENG, Z. Iso-planar piecewise linear NC tool path generation from discrete measured data points. **Computer-Aided Design**, v. 37, n. 1, p. 55–64, 2005, doi:10.1016/j.cad.2004.04.001.
- LI, X.; HAN, C.-Y. e WEE, W. G. On surface reconstruction: A priority driven approach. **Computer-Aided Design**, v. 41, n. 9, p. 626–640, 2009, doi:10.1016/j.cad.2009.04.006.
- SUN, W.; BRADLEY, C.; ZHANG, Y. F. e LOH, H. T. Cloud data modelling employing a unified, non-redundant triangular mesh. v. 33, p. 183–193, 2001.
- WANG, Y.; HUIMIN, L.; XIAOJUAN, N. *et al.* A new interpolation method in mesh reconstruction from 3D point cloud. v. 1, n. 212, p. 235–242, 2011.
- ZHANG, L.; LIGANG, L.; GOTSMAN, C.; HUANG, H. Mesh reconstruction by meshless denoising and parameterization. **Computers & Graphics**, v. 34, n. 3, p. 198–208, 2010, doi:10.1016/j.cag.2010.03.006.

---

**Prof. Dr. Roberto S. Ubertino Rosso Jr.**  
**Orientador**

---

**André Diego Piske**  
**Estudante**

---

**Prof. Dr. André Tavares da Silva**  
**Líder do LARVA**