

8 Conclusões e Trabalhos Futuros

8.1 Conclusões

Esta tese apresentou um método de extração de malhas adaptativas em multi-resolução a partir de dados volumétricos. O método é aplicado a superfícies regulares, ou seja, superfícies que possuem uma parametrização 2D (seção 2.1). A malha extraída apresenta uma série de propriedades importantes, conforme descreve a seção 3.1. Nos próximos parágrafos estas propriedades serão mencionadas em **negrito**.

O algoritmo de extração recebe como entrada um dado volumétrico e um valor de iso-superfície. Inicialmente é extraída uma estrutura super amostrada da malha, chamada grafo de conectividade, que retém toda geometria e conectividade do objeto. O grafo de conectividade permite inclusive que **superfícies desconexas** e **superfícies com borda** também sejam corretamente extraídas. Uma vez extraídas as informações super amostradas da superfície, são aplicadas operações de simplificação: através de um processo de simplificação por aglomeração são geradas estruturas como a cobertura de discos e a cobertura de Voronoi que têm como respectivos objetivos selecionar um subconjunto do grafo de conectividade e estabelecer a conexão dos elementos deste subconjunto. Esta conexão (dual da cobertura de Voronoi) define uma triangulação ou malha base, cujos triângulos devem apresentar uma **boa razão de aspecto**. A geração da cobertura de discos e cobertura de Voronoi verifica a ocorrência de eventos topológicos, de modo a garantir que a malha base retenha a **topologia correta** do objeto. Além disso, as restrições das vizinhanças entre os discos também colaboram para que a malha base seja **adaptativa**.

Após a extração da malha base, é obtida uma representação em **multi-resolução**, através de sucessivas operações de bisseção aplicadas às arestas, formando uma malha de subdivisão 4-8. Malhas 4-8 apresentam uma série de vantagens na representação de malhas em multi-resolução, além de

permitirem que as malhas sejam **regulares e semi-regulares**. Antes de se aplicar as operações de bisseção, a malha é estruturada de modo a definir uma quadrangulação triangulada ou quad-tri. As operações de bisseção são aplicadas às arestas da malha quad-tri a partir de um critério estabelecido sobre as arestas, de modo que o **refinamento seja adaptativo**. Este processo afeta a conectividade (não a geometria) da malha garantindo uma **subdivisão consistente** dos triângulos.

Simultaneamente a cada operação de bisseção (subdivisão de uma aresta) são aplicados deslocamentos aos novos vértices, de modo que a malha refinada **convirja para a superfície**. Estes deslocamentos, ou forças, aproximam os novos vértices da superfície, procurando manter a **razão de aspecto dos triângulos** durante o refinamento. Representação em multi-resolução permite **rápido processamento** de malhas, uma vez que se tem controle sobre a quantidade de amostras necessárias a cada processo.

Vale destacar alguns comentários comparativos em relação aos principais trabalhos que inspiraram o método aqui desenvolvido, apesar de estes trabalhos já terem sido descritos na seções 3.3 e 6.2. No método desenvolvido em [47], a extração da topologia é realizada de forma semelhante à extração do grafo de conectividade. Porém, é utilizado um processo de propagação de informação através de voxels que interceptem a iso-superfície apenas se estes forem vizinhos. Isto impossibilita a extração de componentes não conexas na superfície. Além disto este processo de propagação só é aplicado a superfícies fechadas, impossibilitando que sejam extraídas malhas com borda. Este método também aplica a componente Laplacina para adaptar os triângulos durante o refinamento, porém, diferentemente das malhas 4-8, o método de subdivisão utilizado requer várias combinações para que a malha mantenha uma estrutura conforme e semi-regular.

O trabalho desenvolvido em [54] praticamente inspirou o processo de extração da malha base. Neste trabalho o refinamento da malha é obtido através do refinamento da própria cobertura de discos, ou seja, enquanto os discos não satisfizerem a um determinado critério, o processo de refinamento é aplicado. Um dos problemas deste método é que para obter uma malha em uma determinada resolução, deve-se aplicar todo processo de geração da cobertura de discos, cobertura de Voronoi e triangulação, para a resolução especificada. Além do custo para se obter uma família de malhas com resoluções diferentes, um outro problema deste método é que não é mantida uma relação entre malhas de níveis hierárquicos diferentes, ou seja, não é criada uma estrutura de subdivisão. Esta relação é fundamental para

diversas aplicações que utilizam malhas, como compactação, transmissão em rede, e outras. Além disso, apesar de garantir boa razão de aspecto aos triângulos, a estrutura da malha é irregular.

O processo de adaptação dos triângulos foi inspirado no trabalho desenvolvido em [57], onde dada uma malha inicial, é aplicada uma série de forças visando aproximar esta malha de uma superfície implícita $f(x, y, z) = 0$ e manter a regularidade de seus triângulos. Uma das forças utilizadas visa a aproximação dos vértices à superfície sem destruir as "quinas" (caso ocorram na superfície) que venham a ser características naturais da superfície. A aproximação à superfície é feita através de um processo semelhante mostrado na seção 5.2.1, através do gradiente da função f . Porém, f não é uma função de distância e este deslocamento precisa ser ajustado. A parametrização é feita através da componente tangencial Laplaciana e a manutenção das quinas é garantida através de um ajuste nas normais dos triângulos. Estes três deslocamentos funcionam bem, principalmente porque são aplicados a malhas de resolução constante. Um dos defasios do método apresentado nesta tese é fazer a adaptação durante o refinamento, ou seja, enquanto a resolução da malha e a conectividade dos triângulos estão sendo alteradas. Como mostrado na seção 5.2.1, o deslocamento correto na direção da superfície não é garantido caso o triângulo a ser refinado intercepte o eixo medial da superfície. Para contornar este problema, foi utilizado um conceito discreto de geodésica. Além do mais a adaptação dos triângulos é feita localmente em cada aresta refinada, enquanto em [57] a adaptação da malha (com resolução fixa) é feita, em cada iteração, de forma global.

Outra dificuldade é o ajuste correto da borda da superfície. Como o operador tangencial laplaciano não pode ser aplicado aos vértices do bordo, nem sempre a boa razão de aspecto dos triângulos da borda é garantida.

Uma das desvantagens deste método é a grande quantidade de estruturas intermediárias criadas durante a implementação. No algoritmo desenvolvido em [54] a cobertura de discos vai sendo refinada até que um determinado critério seja satisfeito. Só então é calculada a cobertura de Voronoi e daí resulta a malha já na resolução final. No método aqui apresentado é necessário manter uma comunicação nos dois sentidos entre a cobertura de discos e a cobertura de Voronoi, afinal há situações em que a cobertura de Voronoi detecta erros topológicos na "futura" malha base e passa estas informações à cobertura de discos, que deve refazer os discos que ocasionariam o erro. A manutenção destas estruturas onera, de certa forma, o processo de implementação. A princípio, o grafo de conectividade poderia ser descartado após a extração da malha base, porém, com a necessidade do

cálculo de geodésicas durante o refinamento, faz-se necessário manter esta estrutura até o final do refinamento.

8.2

Trabalhos Futuros

- Aplicar operadores de reparametrização que mantenham características como "quinas" no objeto. A componente tangencial laplaciana destrói estas informações dos objetos. A idéia para manter tais características é através da construção de uma matriz de covariância definida na vizinhança de cada vértice v que será deslocado. Os auto-vetores desta matriz formam uma base ortonormal indicando as possíveis direções para onde o vértice pode ser deslocado, enquanto os auto-valores indicam os pesos do deslocamento em cada direção.
- A geração de geodésicas encarece a etapa de refinamento da malha, além de ser necessária a manutenção do grafo de conectividades. Uma forma de reduzir estes custos é realizando o cálculo das geodésicas apenas em estágios iniciais do refinamento. Assim, faz-se necessária a definição de critérios que estabeleçam até que ponto deve-se calcular geodésicas. A partir deste ponto, podem ser aplicados deslocamentos baseando-se na transformada de distância.
- A transformada de distância define uma função D sobre o objeto volumétrico, de modo que o campo gradiente de D é unitário (exceto no eixo medial). O eixo medial interno E_i da iso-superfície S (onde $D = 0$) pode ser visto como um "gerador" ou repulsor do campo vetorial gradiente, no sentido em que em E_i o gradiente é nulo e se afasta perpendicularmente de E_i . O campo segue se afastando de E_i e atravessa perpendicularmente a iso-superfície S . Após atravessar S o campo segue até se encontrar perpendicularmente no eixo medial externo E_e (caso exista E_e). Neste sentido o E_e pode ser visto como um atrator do campo gradiente. Conhecendo-se este comportamento do campo gradiente e conhecendo-se as distâncias do eixo medial à iso-superfície, a idéia é desenvolver métodos de extração malhas em multi-resolução baseando-se nestas informações.
- Utilizar a geração da cobertura de discos para obter uma malha semi-regular representada em multi-resolução, estabelecendo relações de dependências entre níveis hierárquicos consecutivos. Verificar outras

restrições para a geração dos discos, visando a extração de malhas semi-regulares.