

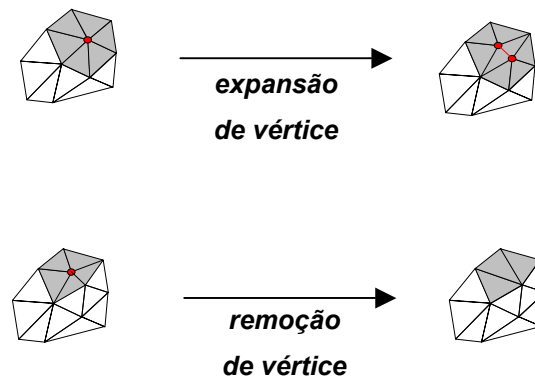
## 1 Introdução

As malhas de simulação do fluxo de fluidos em reservatórios naturais de petróleo (**RNPs**) são modelos compostos por até centenas de milhares de células, sendo que, com o constante desenvolvimento dos métodos de simulação e aquisição de dados (tais como sísmica e prospecção), há um aumento sistemático dessa quantidade ao longo do tempo.

A visualização das malhas de simulação requer taxas de interação que não são conseguidas com os atuais computadores comumente utilizados (PCs e estações de trabalho de uso geral). Para resolver este problema, podem-se utilizar técnicas de aceleração, dentre as quais destacam-se (a) o uso de um esquema de representação em diferentes **níveis de detalhe** no qual a malha original é substituída por versões menos refinadas e (b) o descarte de regiões da malha que estão fora do volume de visão (*frustum culling*).

A primeira técnica caracteriza os modelos de **multi-resolução**, os quais, sob o ponto de vista de uma técnica de aceleração, devem ser capazes de manter uma estrutura compacta de representação através da qual simplificam-se regiões cujas projeções na tela ocupam áreas pequenas. Diversos algoritmos de multi-resolução foram propostos nos últimos anos para tratar tipos distintos de objetos representados pelo paradigma poligonal. A literatura é vasta e vem se tornando estruturada devido à formalização dos conceitos utilizados e à criação de *frameworks* bastante expressivos [Flo97, Pup97].

Obtiveram-se resultados substanciais para tratar superfícies e volumes de topologia *manifold*<sup>1</sup> imersos no espaço tridimensional. Garland [Gar99] salienta que há uma tendência de considerar complexos simpliciais aos quais é aplicada uma série de transformações locais (Figura 1.1), alterando-os gradualmente por simplificação ou refinamento. Os trabalhos de Hoppe [Hop97, Hop96] são exemplos expressivos aplicados ao caso de superfícies e os de Cignoni [Cig98, Cig97] ao caso volumétrico.



**Figura 1.1- Transformações locais tipicamente aplicadas a superfícies 2-manifold.**

Para malhas de topologia *non-manifold*, os algoritmos de multi-resolução adotam diferentes abordagens, que variam desde a superposição de uma grade regular, fazendo com que vértices pertencentes à mesma célula na grade sejam colapsados (*vertex clustering*) [Rossignac93, Low97, Sch95] (Figura 1.2-a), até a aplicação de técnicas voltadas a *manifold* que apenas conectam vários componentes disjuntos gerando superfícies *non-manifold* [Gar99] (Figura 1.2-b). Poucos algoritmos tratam essa topologia de forma explícita, sendo que um dos trabalhos mais recentes nesse sentido é o de Hoppe e Popović [Hop98], que considera também o uso de células de diferentes dimensões em uma mesma malha.

<sup>1</sup> Uma superfície  $S$  é manifold se  $\forall p \in S$ , a vizinhança aberta de  $p$  é homeomorfa ao círculo unitário aberto ou ao semi-círculo unitário, resultado da interseção entre o círculo unitário aberto e o semi-plano fechado com  $x$  positivo. A definição de um volume manifold é análoga à de superfície, entretanto utiliza-se a bola aberta e a semi-bola aberta [Math].

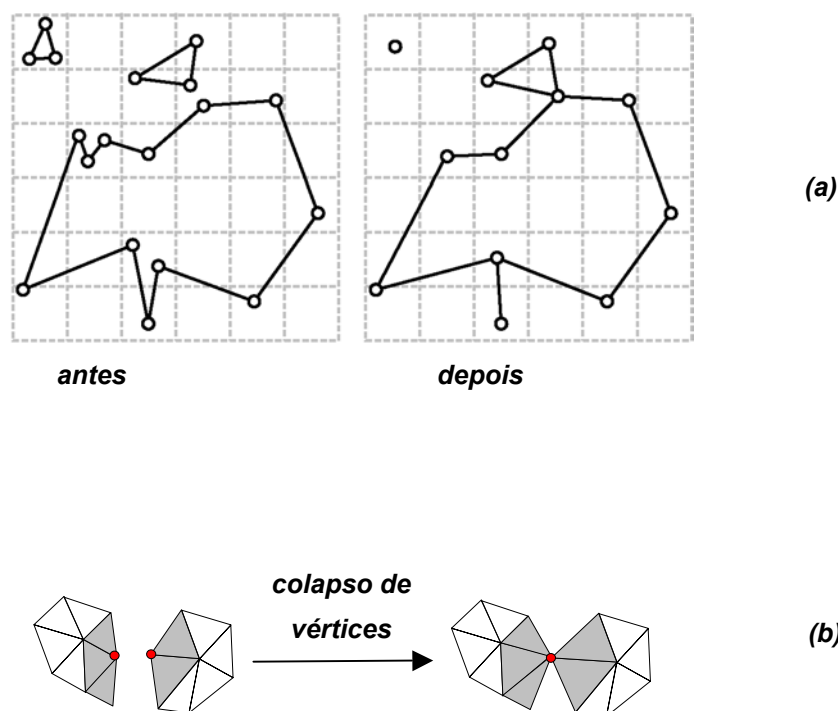


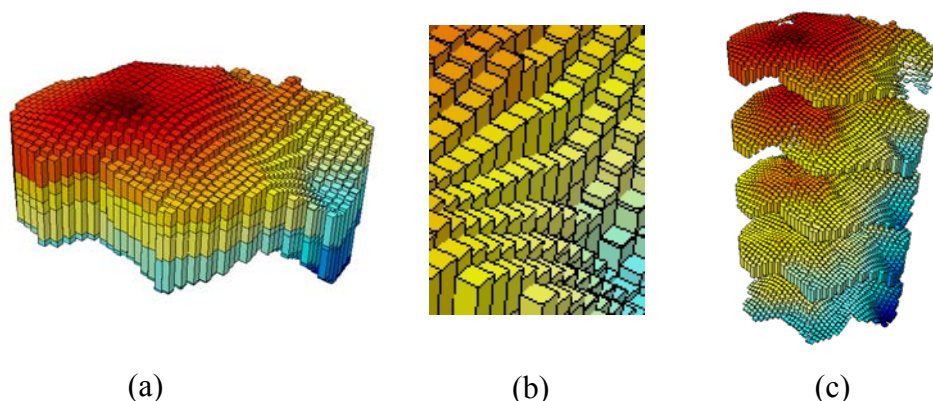
Figura 1.2 - Em (a), o algoritmo de *vertex clustering* (imagem retirada de [Gar99]). Em (b), um exemplo de operação que permite a geração de superfícies *non-manifold*.

A visualização das malhas de simulação em reservatórios se caracteriza pela visualização da fronteira de células hexaédricas dotadas de uma relação de vizinhança definida explicitamente: cada célula é identificada por uma tripla  $\langle i, j, k \rangle$  e é vizinha das células  $\langle i+1, j, k \rangle$ ,  $\langle i-1, j, k \rangle$ ,  $\langle i, j+1, k \rangle$ ,  $\langle i, j-1, k \rangle$ ,  $\langle i, j, k+1 \rangle$  e  $\langle i, j, k-1 \rangle$ . Tipicamente, células vizinhas possuem discontinuidades de forma que o arranjo das células forme uma malha **não-conforme**<sup>2</sup> e o conjunto de suas fronteiras, globalmente, tenha topologia *non-manifold* (Figura 1.3-a).

É interessante para a visualização que as discontinuidades entre células sejam fielmente representadas, principalmente quando uma região pequena do reservatório está em foco (Figura 1.3-b). Além disso, há a necessidade de visualização de entidades especiais formadas por agrupamentos de células, os quais são identificados através das relações de vizinhança entre células, cujo exemplo típico é o agrupamento

<sup>2</sup> Uma malha é dita conforme se faces adjacentes no espaço compartilham exatamente arestas e vértices em bordas comuns [Velho00].

por camadas de sedimentação que, para serem visualizadas, são separadas explicitamente no espaço através de translações (Figura 1.3-c).



**Figura 1.3 - Visualização de RNPs. Em (a), todo o reservatório. Em (b), uma região em foco. Em (c), separação explícita entre camadas.**

Assim, devido à topologia da malha e à necessidade de visualização de suas descontinuidades, os algoritmos de multi-resolução baseados em *manifold* não são diretamente aplicáveis a reservatórios. Por outro lado, os algoritmos baseados em transformações como colapso de vértices (Figura 1.2-b) tratariam a malha de simulação como uma malha qualquer de polígonos, perdendo a semântica da célula hexaédrica e de suas relações de vizinhança. Neste sentido, estruturas clássicas como *octrees* e *quadtrees* são opções possíveis, mas não geram aproximações bem adaptadas a geometrias complicadas [Pup97], como é o caso das malhas de simulação em reservatórios.

Percebe-se, portanto, a ausência de algoritmos de multi-resolução adequados às características peculiares da visualização das malhas de simulação do fluxo de fluidos em RNPs. Somando-se a isto a necessidade latente de aumento das taxas de interação obtidas atualmente, tem-se um contexto que justifica o estudo e o projeto de um algoritmo de multi-resolução específico para a visualização de reservatórios.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é propor e analisar um modelo de multi-resolução que responda aos requisitos específicos da visualização das malhas de simulação em reservatórios. O modelo deve levar em consideração as características peculiares dessas malhas, observando a partição descontínua do espaço, a semântica baseada na célula hexaédrica e a relação de vizinhança entre células e possibilitando a extração de malhas adaptativas em tempo real controlada pelo erro geométrico da aproximação, pela posição da câmera e pelo número desejado de polígonos contidos na malha.

## **1.2 Organização do Texto**

Visando apresentar alguns quesitos pertinentes ao assunto proposto e outros necessários a uma boa compreensão deste trabalho, o texto é organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta um estudo sobre modelos de multi-resolução, definindo o problema de multi-resolução e caracterizando dois modelos bastante significativos. Os conceitos e nomenclaturas nele definidos serão utilizados posteriormente.

O Capítulo 3 analisa os reservatórios naturais de petróleo, objetivando oferecer um entendimento, mesmo que superficial, a respeito do fenômeno físico relacionado aos RNPs e caracterizar as malhas de simulação em reservatórios com sua geometria e propriedades. Nesta ocasião, os objetivos a serem alcançados pelo modelo de multi-resolução proposto são definidos com precisão.

Nos três capítulos seguintes, o modelo de multi-resolução é proposto e analisado, e os resultados são apresentados. O Capítulo 4 concentra-se na definição e análise do modelo. No Capítulo 5, os algoritmos de extração de malhas adaptativas a partir do modelo proposto são explicados e analisados. E, no Capítulo 6, apresenta-se o estudo de caso de uma implementação desse modelo de multi-resolução. Tanto os resultados de desempenho quanto os de qualidade das aproximações são analisados.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas.