

## **7 Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros**

Este trabalho apresentou um modelo de multi-resolução para a visualização das malhas de simulação do fluxo de fluido em reservatórios naturais de petróleo. O modelo proposto é fortemente baseado nas características peculiares dessas malhas e nas características de visualização do problema em si, o qual é caracterizado como um problema de visualização científica.

Em síntese, o modelo de multi-resolução apresentado é um modelo hierárquico que mantém a célula hexaédrica como unidade básica de fragmentação e permite a extração de malhas adaptativas dependentes do erro geométrico, da câmera e do número desejado de polígonos.

Os resultados dos testes realizados permitiram obter conclusões específicas, que foram citadas anteriormente, dentre as quais destacam-se:

- algoritmo de construção da estrutura de MR utilizado permite uma boa relação entre custo de processamento e qualidade geométrica das aproximações;
- a extração das malhas pode ser feita em tempo real, utilizando-se equipamentos do tipo PC com aceleração gráfica, sendo que, para isso, preferencialmente, o estágio de rastreamento da plataforma de *hardware* utilizada deve ser eficiente;

- as características de visualização foram atendidas parcialmente, destacando-se os bons resultados atingidos em relação aos requisitos de desempenho dos algoritmos; e
- o carregamento por demanda das propriedades escalares na estrutura de MR atingiu bons resultados, não prejudicando muito a capacidade de redução de complexidade das aproximações; entretanto, não há garantias de que bons resultados ocorram sempre.

## 7.1 Recomendações

A bateria de testes realizada permitiu estabelecer algumas recomendações importantes em relação aos requisitos de *hardware* necessários para um bom desempenho do MMR proposto.

A primeira recomendação direciona-se para a quantidade de memória disponível para o processo que executa o algoritmo de construção da hierarquia de células hexaédricas. Como dito na seção 6.2.1, o bom desempenho do algoritmo depende da inexistência de transferência de dados entre memória principal e auxiliar (*swap*). Sendo assim, os resultados da seção 6.2.2, que descrevem a quantidade de memória consumida pelo algoritmo de construção, devem ser utilizados como referência para a quantidade de memória que deve estar disponível para o processo. Os cálculos teóricos prevêem um consumo de  $473 \times NC$  bytes de memória (onde NC é o número de células do modelo). Assim, para processar um modelo composto, por exemplo, por um milhão de células, seriam necessários 473 MB de memória disponível.

Outra recomendação é feita em relação ao *hardware* gráfico. Os testes de desempenho realizados na seção 6.3.3 mostraram um ganho de interatividade de, aproximadamente, 10 vezes em malhas de grande densidade de células. Esse valor pode ser considerado como base para a performance esperada e serve também para guiar a escolha do *hardware* gráfico a ser utilizado para a visualização de um determinado modelo. É válido ressaltar que essa recomendação é somente válida para o caso do gargalo do canal de visualização ser a geometria.

## 7.2 Trabalhos Futuros

O modelo de multi-resolução proposto pode sofrer algumas melhorias imediatas. Uma delas é definir um algoritmo de transição suave (*geomorphing*) entre duas malhas, ou seja, dadas duas malhas  $m_1$  e  $m_2 \in \mu'$ , um parâmetro de transição  $\alpha \in [0,1]$  e uma função de transição  $\sigma: \mu' \times \mu' \times [0,1] \rightarrow \mu'$ , achar  $\sigma(m_1, m_2, \alpha) \in \mu'$ , sendo que  $\sigma(m_1, m_2, 0) = m_1$  e  $\sigma(m_1, m_2, 1) = m_2$ . Basicamente, o algoritmo de transição deve receber dois cortes na árvore, que representam os dois modelos de referência, e gerar o corte intermediário. Um algoritmo simplificado de transição já foi implementado e os resultados iniciais mostraram-se bastante motivadores. A transição implementada é aplicada somente a dois cortes que possuem um nível de diferença entre si na hierarquia. Assim, uma simples interpolação linear entre vértices (Figura 7.1) é aplicada para gerar a malha intermediária.

Outra melhoria é permitir a variação de cores dentro de uma macro-célula, através da interpolação das cores que estariam, agora, associadas aos vértices da macro-célula e não mais à macro-célula em si. Isso deve melhorar os resultados obtidos com o carregamento por demanda das propriedades escalares, resolvendo, por exemplo, o problema de propriedades que apresentam variações bruscas entre camadas consecutivas (Figura 7.2).

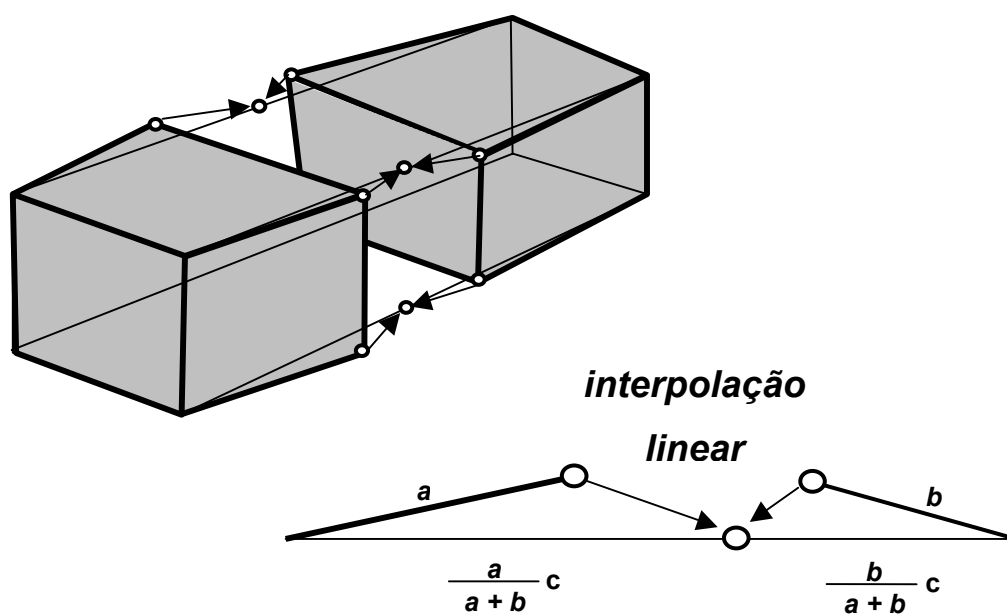


Figura 7.1 – Transição (*geomorphing*) por interpolação linear.

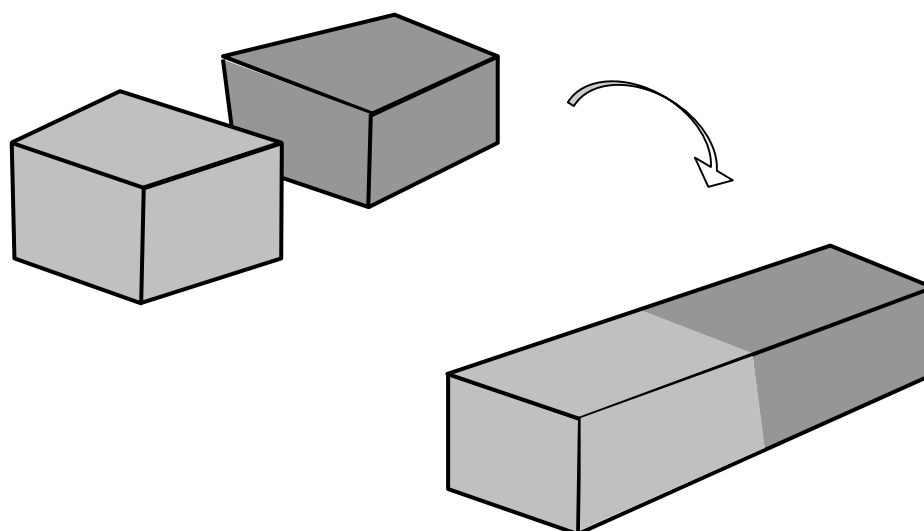


Figura 7.2 – Atributos de cores por vértices de célula. A variação das cores dentro da célula pode ser feita através da utilização de textura unidimensional.

Como uma terceira melhoria, pode-se pensar no aperfeiçoamento da operação de colapso utilizada pelo MMR, de forma que ela gere macro-células mais ajustadas à geometria do reservatório, principalmente em macro-células que representem baixas resoluções. Entretanto, deve-se analisar o impacto dessa nova operação no custo computacional do algoritmo de construção. Em particular, em contraposição à medida de erro utilizada neste trabalho, que, apesar de apresentar bons resultados, baseou-se numa estimativa intuitiva, pode-se utilizar uma medida que obedeça realmente a alguma norma conhecida ou que seja baseada em alguma medida estatística bem formalizada.

Além disso, pode-se estudar formas mais elaboradas de utilizar a hierarquia de células hexaédricas para visualização da grade. Por exemplo, a utilização de textura pode ajudar a resolver o problema.

Finalmente, está pendente um estudo aprofundado sobre a utilização da hierarquia de células em operações de busca, pois, apesar dessa estrutura não possuir a propriedade de altura logarítmica (*logarithmic height*), que é necessária para a realização eficiente desse tipo de operação [Pup97], a hierarquia de células apresentou um certo balanceamento nos testes realizados (a profundidade da árvore não ultrapassou o valor 45 nas malhas testadas). A operação de busca pode ser útil para responder, por exemplo, a perguntas do tipo: quais são as células que possuem valores de propriedade dentro do intervalo  $[i_o, i_f]$ .