

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FELIPE ZONTA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOS  
PARA A PRODUÇÃO DE NÍVEL DE DETALHE**

**MEDIANEIRA**

**2025**

**FELIPE ZONTA SILVA** 

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOS  
PARA A PRODUÇÃO DE NÍVEL DE DETALHE**

**Evaluation of Different Methods for Producing Level of Detail**

Tipo de Documento apresentado como requisito para obtenção do título de Título Acadêmico em Curso(s) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador:  
Prof. Dr. Everton Coimbra de Araújo

**MEDIANEIRA**

**2025**



Este Tipo de Documento está licenciado sob [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso e distribuição em qualquer meio ou formato, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

**FELIPE ZONTA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOS  
PARA A PRODUÇÃO DE NÍVEL DE DETALHE**

Tipo de Documento apresentado como requisito para  
obtenção do título de Título Acadêmico em Curso(s)  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: DD de mmmmmm de 2025

---

Prof. Dr. Prenome(s) Sobrenome-C1  
Instituição (Membro-C1)

---

Prof. Dr. Prenome(s) Sobrenome-C2  
Instituição (Membro-C2)

---

Prof. Dr. Prenome(s) Sobrenome-C3  
Instituição (Membro-C3)

**MEDIANEIRA**

**2025**

## RESUMO

O resumo deve ser redigido na terceira pessoa do singular, com verbo na voz ativa, não ultrapassando uma página (de 150 a 500 palavras, conforme a norma vigente). Evitar o uso de parágrafos no resumo, assim como abreviaturas, caracteres especiais, citações, equações, fórmulas e símbolos. Iniciar o resumo situando o trabalho no contexto geral, apresentar os objetivos, descrever a metodologia adotada, relatar a contribuição, comentar os resultados obtidos e apresentar finalmente as conclusões mais importantes do trabalho. As palavras-chave devem aparecer logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave, seguida de dois pontos, e separadas entre si por ponto e vírgula e finalizadas por ponto. As palavras-chave devem ser grafadas com inicial minúscula, exceto nomes próprios ou científicos. Por exemplo, "Palavras-chave: gestação; Aedes aegypti; UTFPR; Brasil.". Para definição das palavras-chave (e suas correspondentes em inglês no Abstract), consultar em Termo tópico do Catálogo de Autoridades da Biblioteca Nacional, disponível em: [https://acervo.bn.gov.br/sophia\\_web](https://acervo.bn.gov.br/sophia_web). Para editar o resumo e as palavras-chave, usar o arquivo pre-textual.tex em ./Pre-Textual/.

Palavras-chave: palavra-chave-1; palavra-chave-2; palavra-chave-3.

## ABSTRACT

The abstract should be drafted in the third-person singular with the verb in the active voice, at most one page (from 150 to 500 words, in accordance with the current regulation). Avoid using paragraphs in the abstract, as well as abbreviations, special characters, quotes, equations, formulas, and symbols. Initiate the abstract by setting the work in the general context, presenting the objectives, describing the methodology adopted, reporting the self-contribution, commenting on the results, and finally presenting the work's most relevant conclusions. The keywords should appear below the abstract, preceded by the expression Keywords, followed by a colon, separated from each other by a semicolon, and ending with a period. The keywords must be written with a lowercase initial, except for proper or scientific names. For example, "Keywords: pregnancy; Aedes aegypti; UTFPR; Brazil.". To define the keywords (and their corresponding Portuguese in the Resumo), query the Authorities Catalog Topic term in the National Library, available at: [https://acervo.bn.gov.br/sophia\\_web](https://acervo.bn.gov.br/sophia_web). To edit the abstract and keywords, use the file `pre-textual.tex` in `./Pre-Textual/`.

Keywords: keyword-1; keyword-2; keyword-3.

**SUMÁRIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>7</b>
1.1.1	Objetivo Geral	7
1.1.2	Objetivos Especificos	7
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>7</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Trabalhos relacionados</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>14</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>15</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia é inimaginável a interação com um computador sem o uso de uma interface. Segundo James D. Foley, em 1996, afirmou que interfaces de usuário baseadas em gráfico facilitaram tanto a aderência às novas tecnologias que o uso de um computador sem gráficos é algo extremamente raro. (Foley, 1996)

A transformação de dados em imagem é a ponte entre computação e a compreensão dela para o indivíduo atrás da tela, a área de conhecimento que trata dessas transformações é a computação gráfica. Essa abrange desde a amostragem de simples textos na tela até a renderização de cenas inacreditáveis com efeitos simulados. As aplicações também são variadas, visualização de gráficos, digitalização de objetos reais, simulação de mecânica de fluidos, entre muitas outras.

Na produção de alguma cena ou experiência em um ambiente virtual 3D é interessante que os objetos tenham o máximo de detalhe possível, para que possam representar com fidelidade a visão artística dos criadores e proporcionar uma qualidade visual mais interessante, porém não é isso não é nem possível nem necessário uma vez que a nossa percepção de detalhes está diretamente ligada a distância do objeto.

Tendo essa perspectiva em mente, uma técnica que economiza recursos prejudicando o mínimo possível a fidelidade visual é o uso de diferentes níveis de detalhe de para malhas 3D. Comumente chamado de Level Of Detail(LOD), divide a qualidade de renderização em níveis, normalmente determinados pela distância do objeto à câmera, e designa uma malha mais simplificada ou detalhada com base no nível. Esse Trabalho vai direcionar a atenção a técnicas de níveis de detalhe(LOD) de simplificações de malha e reprojeção das texturas simplificadas.

É importante apontar que existem alguns diferentes tipos de malha que devem ser tratados considerando suas especificidades; por exemplo, um modelo de objeto deverá ser inteiramente simplificado na transição de um nível para outro já um modelo de terreno precisará ter partes dele simplificadas em diferentes níveis de detalhe. Essas diferenças de tipos de modelo também serão abordadas. Temas que não serão abordadas são otimizações em geral, o enfoque é nas simplificações no contexto de níveis de detalhe.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral testar a combinação de diversos algoritmos simplificadores, tanto de malha quanto de textura, no contexto na criação dos níveis e avaliar os impactos na performance e na qualidade visual.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Explorar técnicas de simplificação e reprojeção de texturas e malhas; implementar alguns desses algoritmos;
- Avaliar o impacto dos métodos aplicados nos seguintes aspectos: tempo de renderização por quadro, uso de memória e fidelidade visual;
- Comparar os resultados obtidos entre diferentes combinações de técnicas
- Identificar quais oferecem o melhor equilíbrio entre desempenho e qualidade visual;

## **1.2 Justificativa**

Computação gráfica sempre foi uma área muito intensiva no uso de recursos, a rasterização de cenas 3D é uma tarefa tão cara computacionalmente que foi separada para um hardware específico que é a placa de vídeo ou GPU. Para reduzir essa carga foram desenvolvidos diversos métodos para a redução de custo da replicação ou simulação de um efeito desejado com a menor diferença entre o original e o atingido.

Mesmo com os avanços computacionais fornecendo muito poder-máquina o uso de LOD ainda é interessante, já que concomitantemente ao avanço da tecnologia a demanda de cenas mais complexas e com mais detalhes também cresce.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está organizado em 2 capítulos. O Capítulo 1 introduz o tema, apresenta o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa do estudo. O Capítulo



2 aborda a fundamentação teórica, apresentando trabalhos relacionados ao Level of Detail (LOD), como simplificação de modelos 3D e reprojeção de malhas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Trabalhos relacionados

Greg Turk descreve um método baseado na reação-difusão para a parametrização de texturas e demonstra como texturas podem ser geradas de forma a corresponder à geometria de uma superfície fornecida. O artigo apresenta um método pelo qual as texturas de reação-difusão são criadas para corresponder à geometria de uma determinada malha 3D. Isso é realizado criando uma malha sobre uma determinada superfície e simulando o processo de reação-difusão na malha.

A malha é gerada distribuindo uniformemente os pontos sobre o modelo e determinando quais pontos são adjacentes construindo suas regiões de Voronoi. As texturas são projetadas na malha usando uma soma ponderada de valores de malha para calcular a cor da superfície em uma determinada posição. (Turk, 1991)

Outro método proposto também por Turk para a simplificação de modelos 3D utiliza de um conjunto de vértices distribuídos, usando uma estimativa de curvatura, e conectados à superfície do modelo original para a transição do modelo de maior qualidade geométrica para o de geometria reduzida. A técnica de criação de modelo intermediário, chamado de "tesselação mútua", contém os vértices do modelo original e os novos pontos. O novo modelo é então criado removendo cada vértice original e re-triangulando localmente a superfície, assim possibilitando a interpolação suave dos diferentes níveis de detalhe. (Turk, 1992)

Feito por Michael Garland e Paul S. Heckbert, o algoritmo de simplificação de malhas 3D baseado na contração de vértices utiliza de matrizes quadráticas para o cálculo do erro de posição dos vértices simplificados. A contração de vértice não se limita apenas a aqueles conectados por arestas mas também permite que regiões antes desconectadas mas muito próximas se juntem na simplificação. Os pares de vértices contraídos são selecionados com base no erro quadrático do novo vértice. A contração do par resulta na soma de suas matrizes, e a posição do novo vértice é otimizada para minimizar o erro quadrático. (Garland; Heckbert, 1997)

Também feito por Michael Garland Paul S. Heckbert, *Simplifying Surfaces with Color and Texture using Quadric Error Metrics*, apresenta uma continuação do algoritmo para simplificação de modelos 3D, agora incluindo propriedades de superfície como cor

e textura. Ele estende a métrica de erro original para lidar com atributos de vértices, cor e textura, usando quadríceps de dimensões superiores. O artigo discute a preservação de descontinuidades, como vincos e bordas, através de restrições de contorno. O método utiliza colocação ótima de vértices para melhor aproximação, embora a colocação de subconjunto seja uma alternativa para economizar espaço. (Garland; Heckbert, 1998)

O algoritmo desenvolvido por Jonathan Cohen, Marc Olano e Dinesh Manocha busca a simplificação de superfícies poligonais preservando a aparência. O algoritmo converte a superfície de entrada em uma representação com posição da superfície, curvatura desacopladas armazenando cores em mapas de textura. A métrica de desvio de textura desenvolvida garante que esses mapas se limitem a uma diferença de pixels especificado pelo usuário. O processo de simplificação filtra a posição da superfície, enquanto o sistema filtra as cores e normais por pixel. O algoritmo foi aplicado a vários modelos, alcançando simplificações significativas com pouca ou nenhuma perda na qualidade de renderização. (Cohen; Olano; Manocha, 1998)

O artigo *Lapped Textures* apresenta um método para criar texturas em malhas de superfícies 3D usando uma textura 2D de exemplo. A abordagem consiste em identificar regiões de interesse (patches de textura) na textura 2D e repeti-las na superfície até que ela esteja completamente coberta, criando uma textura sobreposta. A otimização da distribuição dos patches são decididas por um sistema linear esparso. Duas abordagens de renderização são apresentadas: pré-renderização em um atlas de textura ou composição direta dos patches de textura em tempo de execução. A renderização em tempo de execução evita artefatos de reamostragem e reduz drasticamente os requisitos de memória de textura. (Praun; Finkelstein; Hoppe, 2000)

SANDER, Pedro V et al apresentam um método de parametrização que se baseia na criação de malhas progressivas (PMs) onde todas as malhas na sequência PM compartilham um mapa UV comum. O objetivo é minimizar a distorção da textura (estiramento) e a discrepância (deslizamento) entre as aproximações da malha texturizada. O método divide a malha em cartas usando heurísticas de planaridade e compacidade criando uma carta parametrizada que minimiza o estiramento. As cartas são redimensionadas com base no estiramento resultante. A malha é então simplificada respeitando os limites das cartas, e a parametrização é re-otimizada. Finalmente, as cartas são compactadas em um atlas de textura. (Sander et al., 2001)

Memory efficient light baking apresenta um método para o processo de baking

de iluminação em tempo real, combinando técnicas de armazenamento de dados em vértices e texturas. A iluminação é armazenada nos vértices, e as texturas são usadas apenas onde a interpolação de vértices não consegue representar a iluminação real com precisão. Um classificador automático identifica as áreas que necessitam de texturas, segmentando e parametrizando apenas essas regiões para criar um atlas de texturas. Um shader mescla as informações de iluminação vindas dos vértices e das texturas, tornando as transições entre as duas mais suave. Essa abordagem reduz o uso de memória sem afetar negativamente a qualidade ou o desempenho da renderização.(Schäfer *et al.*, 2012)

O algoritmo de simplificação desenvolvido por Jing Chen n, Mo Li, Jiawei Li busca a simplificação de estruturas 3D pelo agrupamento de vértices. A malha é particionada em um espaço 5D (X, Y, Z, U, V), onde X, Y, Z são as coordenadas geométricas e U, V coordenadas de textura. Uma estrutura octree divide o espaço considerando a distribuição de vértices, depois são calculados os erros de geometria e textura em cada célula que é dividida até que o erro seja aceitável. Depois os vértices são reagrupados considerando os de maior importância para representar o modelo.(Chen; Li; Li, 2015)

O artigo de Wendling, Q., Ravaglia, J., e Sauvage, B. apresenta um método de síntese e renderização de texturas em tempo real que visa arrumar distorções causadas pela parametrização de uma malha 3D. A técnica aprimora o algoritmo de ladrilhamento e mesclagem (TeB) introduzindo um campo de deformação que controla variações no plano UV. Este campo é derivado da parametrização da malha, ajustando distorções e permitindo o controle da orientação da textura. O algoritmo também remove artefatos de descontinuidade dos cortes da textura, para melhor continuidade visual. Embora eficaz em variações suaves do campo de deformação, o método apresenta limitações em variações abruptas, sendo sugeridas melhorias futuras como o uso de ladrilhos menores e um operador de suavização adaptativo.(Wendling; Ravaglia; Sauvage, 2025)

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Deve apresentar modelos utilizados, modelagem empregada, simplificações necessárias, metodologia e descrição do método de cálculo utilizado no desenvolvimento da pesquisa, para que a mesma possa ser reconstituída. Devem ser descritos também: montagem experimental, metodologia para a obtenção de resultados, análise de erros, amostras de resultados obtidos e comentários. Atenção: esta parte pode ser dividida em mais seções primárias conforme a especificidade do assunto.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Deve descrever detalhadamente os dados obtidos no trabalho. Os resultados são normalmente discutidos a partir de ilustrações (gráficos, quadros, etc.), tabelas, entre outros elementos, que podem ser incluídos no documento. Deve efetuar a comparação dos dados obtidos e/ou resultados com aqueles descritos na revisão da literatura, incluindo os comentários sobre os estudos de outros trabalhos.

## **5 CONCLUSÕES**

Deve finalizar o trabalho com respostas às hipóteses especificadas na introdução. O ponto de vista sobre os resultados obtidos deve ser expresso; não se deve incluir novos dados ou equações. A partir da tese, alguns assuntos identificados como importantes para serem explorados podem ser sugeridos como temas para novas pesquisas.

## REFERÊNCIAS

CHEN, Jing; LI, Mo; LI, Jiawei. An improved texture-related vertex clustering algorithm for model simplification. **Computers Geosciences**, v. 83, p. 37–45, 2015. ISSN 0098-3004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.07.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300415300133>.

COHEN, Jonathan; OLANO, Marc; MANOCHA, Dinesh. Appearance-preserving simplification. *In*: PROCEEDINGS of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1998. (SIGGRAPH '98), p. 115–122. ISBN 0897919998. DOI: [10.1145/280814.280832](https://doi.org/10.1145/280814.280832). Disponível em: <https://doi.org/10.1145/280814.280832>.

FOLEY, James D. **Computer graphics: principles and practice**. [S. l.]: Addison-Wesley Professional, 1996. v. 12110.

GARLAND, Michael; HECKBERT, Paul S. Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics. *In*: IEEE. PROCEEDINGS Visualization'98 (Cat. No. 98CB36276). [S. l.: s. n.], 1998. p. 263–269.

GARLAND, Michael; HECKBERT, Paul S. Surface simplification using quadric error metrics. *In*: PROCEEDINGS of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. [S. l.: s. n.], 1997. p. 209–216.

PRAUN, Emil; FINKELSTEIN, Adam; HOPPE, Hugues. Lapped textures. *In*: PROCEEDINGS of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. [S. l.: s. n.], 2000. p. 465–470.

SANDER, Pedro V *et al.* Texture mapping progressive meshes. *In*: PROCEEDINGS of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. [S. l.: s. n.], 2001. p. 409–416.

SCHÄFER, Henry *et al.* Memory efficient light baking. **Computers Graphics**, v. 36, n. 3, p. 193–200, 2012. Novel Applications of VR. ISSN 0097-8493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2011.12.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849311001683>.

TURK, Greg. Generating textures on arbitrary surfaces using reaction-diffusion. *In*: PROCEEDINGS of the 18th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1991. (SIGGRAPH '91), p. 289–298. ISBN 0897914368. DOI: [10.1145/122718.122749](https://doi.org/10.1145/122718.122749). Disponível em: <https://doi.org/10.1145/122718.122749>.

TURK, Greg. Re-tiling polygonal surfaces. *In*: PROCEEDINGS of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. [S. l.: s. n.], 1992. p. 55–64.



WENDLING, Quentin; RAVAGLIA, Joris; SAUVAGE, Basile. Deformed tiling and blending: application to the correction of distortions implied by texture mapping. *In*: WILEY ONLINE LIBRARY. COMPUTER Graphics Forum. [S. l.: s. n.], 2025. e70011.