



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Informática

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática
1º Semestre, 2008/2009

Malhas de Polígonos para Simulação de Tecidos Baseadas em Regiões Afins

Nº 26149 Maria João Moutela

Orientador:
Prof. Doutor Fernando Birra

20 de Fevereiro de 2009

Nº do aluno: 26149

Nome: Maria João Rodrigues Marques Moutela

Título da dissertação:

Malhas de Polígonos para Simulação de Tecidos Baseadas em Regiões Afins

Palavras-Chave:

- Malhas de polígonos
- Conversão de malhas de polígonos
- Superfícies de subdivisão
- Maya Plug-ins
- Modelação de tecidos

Keywords:

- Polygonal meshes
- Polygonal mesh conversion
- Subdivision surfaces
- Maya plug-ins
- Cloth modeling

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me ajudaram e apoiaram na realização deste trabalho.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Fernando Birra, pela sua supervisão, orientação, sugestões e tempo disponibilizado para a concretização deste projecto.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos e colegas que me apoiaram ao longo do percurso curricular.

À Diana Moutela, minha irmã, agradeço a ajuda na revisão ortográfica e gramatical do texto deste trabalho.

Agradeço ao Eng. Samuel Silva, pela contribuição dada no âmbito da elaboração da análise dos resultados.

Por fim, quero agradecer especialmente aos meus pais, que estiveram sempre presentes e contribuíram com o seu apoio incondicional em todos os passos da realização desta dissertação.

Resumo

Em computação gráfica, a representação de tecidos virtuais é, normalmente, constituída por malhas de triângulos ou quadriláteros, nas quais se podem definir as propriedades usadas no modelo físico (elasticidade, densidade, rigidez à curvatura, etc.).

Quanto mais detalhada é uma malha, maior é o realismo na representação de um tecido real, levando também a um processo de simulação de tecidos mais moroso. Usando um simulador de tecidos com detalhe dinâmico alivia-se o processamento inerente a malhas mais detalhadas.

Com este projecto pretendeu-se criar um conjunto de funcionalidades que disponibilizem um sistema de conversão de malhas poligonais quaisquer, modeladas de forma livre num programa de modelação, para malhas com um formato específico necessário ao simulador de tecidos com detalhe.

A característica mais importante do trabalho resulta da capacidade dos algoritmos de conversão desenvolvidos serem capazes de preservar as características individuais dos modelos geométricos, tais como vincos, mapeamento de texturas ou a mistura de diferentes propriedades materiais em zonas diferenciadas do modelo. A ideia principal consiste na determinação de regiões de polígonos afins sobre o modelo original, nas quais se pode efectuar a conversão de forma livre. O sistema construído é flexível ao ponto de poder ser estendido para diferentes critérios de afinidade, incluindo critérios a definir de futuro.

No final analisam-se os resultados obtidos pelos algoritmos desenvolvidos recorrendo, quer à inspecção visual dos resultados, quer à comparação metódica entre os modelos obtidos e o modelo original. São ainda analisados alguns indicadores que permitem aferir a qualidade das malhas assim obtidas.

Abstract

In computer graphics, virtual cloth is usually represented by triangle or square composed meshes, in which it is possible to define properties used by the physical model (elasticity, density, and resistance to bend, etc.).

The more detailed the mesh is, the closer the virtual cloth looks to its real appearance, but this also slows down clothing simulation process. By using a dynamic detail cloth simulator, it is possible to reduce mesh processing time.

The aim of this project is to create a system which allows the conversion of any kind of polygonal meshes, freely created on any modeling program, into meshes in the specific format required by the dynamic detail cloth simulator.

The most important feature of this work is that the developed conversion algorithms preserve the individual characteristics of the geometric models, such as wrinkles, texture mapping or a mixture of other material properties in different zones of the model. The main idea consists in finding similar polygon regions on the original model, where it is possible to freely convert the mesh. The system built is flexible enough to extend to different similarity criteria, including criteria to be defined in the future.

At the end, the results obtained from the algorithms developed are analyzed, by visual inspection, as well as by methodically comparing the models obtained from the original model. Additionally, some measures, which allow accessing the quality of the obtained meshes, are analyzed.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Principais contribuições	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
2. Trabalho relacionado.....	5
2.1 Modelação e Simulação de Tecidos	5
2.1.1 Modelação de Tecidos	5
2.1.2 Simulação de Tecidos	7
2.2 Simulação de Tecidos com malhas adaptativas	9
2.3 Métodos de conversão de malhas poligonais em malhas 4-k.....	12
2.4 Análise e comparação de malhas poligonais com o programa Polymeco.....	14
3. Modelação Geométrica de Tecidos	19
3.1 Desenho de Tecidos – propriedades físicas.....	19
3.1.1 Desenho por Painéis.....	20
3.1.2 Desenho Livre.....	21
3.2 Modelação de propriedades adicionais de tecidos – propriedades visuais.....	24
3.2.1 Metáfora do pincel	26
3.2.2 Aplicação de textura	26
3.3 Discussão.....	27
4. Conversão de malhas de polígonos em malhas 4-k	29
4.1 Método de subdivisão de raiz de 3.....	29

4.1.1	Algoritmo de subdivisão de raiz de 3 (malhas triangulares).....	29
4.1.2	Método de subdivisão de raiz de 3 proposto.....	30
4.2	Método de subdivisão de Velho e Zorin	32
4.2.1	Algoritmo de subdivisão de Velho e Zorin (malhas triangulares).....	32
4.2.2	Método de subdivisão de Velho e Zorin proposto	33
4.3	Discussão Preliminar.....	34
4.3.1	Artefactos visuais.....	38
4.3.2	Artefactos geométricos	40
4.3.3	Conclusão.....	42
5.	Técnica de Conversão Proposta	43
5.1	Algoritmos de referência.....	44
5.2	Algoritmo Genérico proposto.....	45
5.3	Critérios de afinidade e respectivos cenários de utilização.....	47
5.4	Desenvolvimento da Técnica de Conversão em Maya	50
5.4.1	Elaboração de <i>plug-ins</i> C++ em Maya	51
5.4.2	Estudo de bases da arquitectura da API C++ do Maya.....	53
5.4.3	<i>Plug-ins</i> implementados em C++ Maya	57
6.	Análise de Resultados.....	59
6.1	Resultados visuais	61
6.2	Resultados geométricos com o polymeco	66
6.2.1	<i>Geometric Distance</i>	68
6.2.2	<i>Normal Deviation</i>	73
6.3	Dados Estatísticas.....	75
6.4	Resumo.....	77
7.	Conclusões e Trabalho Futuro	79

7.1	Objectivos.....	79
7.2	Contribuições e resultados	80
7.3	Trabalho Futuro.....	81
	Bibliografia	83

Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Método de subdivisão 4-8.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2 - Buraco numa malha</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 - Área e respectivos cenários do Polymeco</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4 - Processo de comparação do Polymeco.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5 - Dois painéis com o formato de uma t-shirt</i>	<i>20</i>
<i>Figura 6 - Vista frontal e lateral de um colete em formação</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7 - Metade de um colete moldado em Maya</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8 - Exemplo de um colete construído em Maya.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9 - Aplicação de propriedades físicas materiais a um tecido.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10 - Aplicação de um valor de massa a um vestido através de um pincel.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11 - Colete colorido com o pincel disponibilizado pelo Maya.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 12 - Colete com um padrão aplicado pelo sistema de coordenadas UV.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13 - Conversão usando método de subdivisão raiz de 3 uniforme</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14 - Conversão genérica de polígonos com o método raiz de 3.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15 - Conversão de malha mista com o método raiz de 3.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 16 - Conversão usando o algoritmo de subdivisão de Velho e Zorin.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 17 - Conversão de malha mista com o método Velho e Zorin.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 18 - Modelo de um casaco</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19 - Casaco convertido pelo método raiz de 3 (esq.) e pelo método Velho e Zorin (dir.).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20 - Descontinuidade das coordenadas UV pelo método raiz de 3 (esq.) e pelo método Velho e Zorin (dir.)</i>	<i>36</i>
<i>Figura 21 - Modelo de um vestido.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 22 - Disparidade de resultados entre método raiz de 3 (esq.) e método de Velho e Zorin (dir.).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23 - Modelo convertido sucessivamente pelo método de Velho e Zorin.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 24- Descontinuidade da cor no método raiz de 3.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 25 - Descontinuidade da cor pelo método Velho e Zorin.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 26 - Artefactos geométricos criados pelo método raiz de 3</i>	<i>41</i>
<i>Figura 27 - Artefactos geométricos provocados pelo método de Velho e Zorin – vista de cima (em cima) e vista lateral (em baixo).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 28 - Exemplo duma função de critério de afinidade.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 29 - Exemplo de vectores de geometria na criação de uma malha poligonal.....</i>	<i>54</i>

<i>Figura 30 - Exemplo de vectores de texturas na criação de uma malha poligonal</i>	<i>55</i>
<i>Figura 31 – Necessidade de inverter as malhas no Polymeco</i>	<i>59</i>
<i>Figura 32 - Áreas e cenário respectivo no Polymeco.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 33 - Histograma de distribuição de cores – Polymeco.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 34 - Escala de comparação de diferença entre duas malhas</i>	<i>61</i>
<i>Figura 35 - Modelo do vestido analisado.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 36 - Conversão com o método raiz de 3 + continuidade UV</i>	<i>63</i>
<i>Figura 37 - Conversão com o método Velho e Zorin + continuidade UV</i>	<i>64</i>
<i>Figura 38 - Conversão com o método raiz de 3 + vincos</i>	<i>65</i>
<i>Figura 39 - Conversão com o método Velho e Zorin + vincos</i>	<i>65</i>
<i>Figura 40 – Conversão com o método raiz de 3 + continuidade UV e vincos.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 41 - Modelo das calças analisadas.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 42 - Método Raiz 3 no vestido com critério vincos – Geometric Distance</i>	<i>68</i>
<i>Figura 43 - Método Raiz 3 nas calças com critério vincos – Geometric Distance</i>	<i>69</i>
<i>Figura 44 - Método Velho e Zorin no vestido com critério vincos – Geometric Distance.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 45 - Método Velho e Zorin nas calças com critério vincos – Geometric Distance</i>	<i>71</i>
<i>Figura 46 - Comparação dos métodos conversão nas calças com critério vincos a 90° – Geometric Distance</i>	<i>72</i>
<i>Figura 47 - Comparação dos métodos de conversão nas calças com critério vincos a 1° – Geometric Distance</i>	<i>73</i>
<i>Figura 48 - Cálculo da orientação das normais entre duas malhas com o Polymeco.....</i>	<i>74</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Dados estatísticos do modelo do vestido.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 2 - Dados estatísticos do modelo calças.....</i>	<i>76</i>

1. Introdução

A modelação e simulação de tecidos de vestuário em computação gráfica é um tema que merece uma grande atenção visto ser muito utilizada no mundo da animação. Este tópico abrange uma grande diversidade de áreas, desde a animação digital aos jogos de computador passando pela televisão e pelo design.

Por exemplo, quando se realiza um filme de animação existem sempre personagens que necessitam de peças de vestuário. A tendência no mundo cinematográfico tem sido aproximar ao máximo a representação destas peças à realidade, simulando com maior detalhe as suas características. Tanto a modelação, como a simulação gráfica de tecidos tem evoluído bastante nas últimas décadas.

Em computação gráfica, as peças de vestuário são representadas sobre a forma de malhas poligonais arbitrárias. Quanto mais detalhada é a malha, maior é o realismo na representação do tecido. Contudo, o excesso de detalhe pode prejudicar a simulação, tornando-a demasiado lenta. Foi por isso necessário encontrar uma solução que permitisse uma simulação rápida dos tecidos, mas que ao mesmo tempo preservasse um grau de detalhe suficiente para não prejudicar o seu realismo. A solução encontrada foi a criação de um simulador de tecidos com detalhe variável, implementado numa aplicação isolada (Birra, 2006), onde somente as áreas necessárias à preservação do realismo do tecido são detalhadas.

O simulador de tecidos com detalhe variável só processa malhas com um formato específico, que permite o simulador detalhar as malhas sem ocorrerem perturbações na simulação. No entanto, a representação de tecidos em computação gráfica, costuma ser constituída por malhas de triângulos ou quadriláteros, construídos de forma livre, com diferentes formatos. Surgiu então a necessidade de converter este tipo de malhas para o formato requerido pelo simulador.

1.1 Motivação

A principal motivação desta dissertação resultou da ideia de fazer uma interligação entre um programa de modelação, que permita modelar peças de vestuário livremente, com o simulador de tecidos com detalhe variável criado numa aplicação isolada.

O programa de modelação usado foi o Autodesk Maya, um programa de modelação tridimensional (3D), animação e efeitos especiais, muito usado no âmbito de computação gráfica e que fornece um conjunto de ferramentas para a modelação e simulação de tecidos.

O objectivo foi criar um *Framework* que permita converter um modelo de peça de roupa, construído sobre a forma de malhas poligonais arbitrárias com o Maya, para o formato requerido pelo simulador de tecidos com detalhe variável. Desta forma pode-se proceder ao carregamento do modelo no simulador, permitindo a utilização do mesmo.

Implementaram-se dois métodos de conversão distintos para efectuar a conversão de malhas. Os resultados dos métodos apresentaram artefactos visuais e geométricos nos modelos convertidos. O que surtiu numa nova motivação para este trabalho: melhorar os dois métodos de conversão de modo a corrigir os artefactos criados nas malhas resultantes dos modelos.

O passo seguinte foi, então, a criação de um algoritmo genérico, que incorpora os dois métodos de conversão, que permitiu corrigir as perturbações encontradas na conversão das malhas representativas de peças de roupa. Surgindo assim uma nova motivação para analisar visualmente e geometricamente os resultados obtidos pelos métodos de conversão em conjunção com o novo algoritmo, de modo a poder perceber qual o método que obtém melhores resultados de conversão e qual o mais adequado para diferentes situações.

1.2 Principais contribuições

No processo de construção de um *Framework* que permite converter malhas poligonais arbitrárias para malhas com o formato requerido pelo simulador de malhas com detalhe variável, surgiram diversos resultados importantes:

- Generalização de dois algoritmos de subdivisão de triângulos conhecidos para dois métodos de conversão de malhas compostas por triângulos e quadriláteros.
- Proposta de uma técnica de conversão genérica, usando os dois métodos de conversão, que permite subdividir malhas delimitando áreas de subdivisão.
- Análise visual e geométrica dos métodos de conversão criados juntamente com os critérios que permitem delimitar as áreas de subdivisão das malhas.
- Desenvolvimento de *plug-ins* que permitem a conversão de malhas poligonais modeladas em Maya para malhas com o formato requerido pelo simulador tecidos de malhas adaptativas, exportando as mesmas para serem carregadas no simulador.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada contém sete capítulos com a seguinte estrutura:

Capítulo 1: No primeiro capítulo enquadra-se o tema da dissertação, explicando-se a motivação e o objectivo da mesma. Referem-se também as principais contribuições do trabalho elaborado.

Capítulo 2: Neste capítulo pretende-se fazer a ligação entre as várias vertentes da dissertação. Começa-se por uma introdução às propriedades de tecidos de vestuário, seguindo-se de uma explicação sobre o simulador de tecidos com detalhe variável e a apresentação de possíveis abordagens para a conversão de modelos com malhas poligonais arbitrárias para o formato específico do simulador. Por fim, apresenta-se um programa que permite analisar e comparar os resultados das malhas convertidas.

Capítulo 3: Neste capítulo são descritos diferentes métodos para a construção de uma peça de roupa em computação gráfica, abordando também as propriedades inerentes a um tecido. O programa usado para exemplificação da modelação é o programa Autodesk Maya.

Capítulo 4: Este capítulo apresenta a proposta de dois métodos de conversão de malhas poligonais arbitrárias em malhas com o formato requerido pelo simulador de tecidos com detalhe variável, com base em dois algoritmos de subdivisão. No final do capítulo é feita uma discussão sobre os resultados e defeitos encontrados com estes dois métodos.

Capítulo 5: Neste capítulo propõe-se um algoritmo de conversão genérico que tenta melhorar os métodos de conversão apresentados no capítulo 4, delimitando áreas de subdivisão e aplicando os métodos de subdivisão propostos apenas a zonas não problemáticas da malha. O algoritmo utiliza critérios que permitem definir áreas de subdivisão, possibilitando, também, a adição de novos critérios.

Capítulo 6: Este capítulo apresenta o estudo feito sobre os resultados da técnica de conversão proposta em diversos modelos e analisa comparativamente os dois métodos de conversão usados.

Capítulo 7: Este capítulo conclui a dissertação, resumindo os resultados obtidos e propondo possíveis desenvolvimentos futuros.

2. Trabalho relacionado

Neste capítulo começa-se por referir algumas das propriedades inerentes a um tecido de vestuário e descrever os processos de modelação de tecidos tradicionalmente seguidos em computação gráfica.

Segue-se a apresentação de um simulador que permite acrescentar realismo a uma malha (representação gráfica de um tecido), minimizando a penalização do desempenho computacional da simulação de peças de vestuário. O simulador simplifica ou aumenta o nível de detalhe do tecido, conforme o requerido para a apresentação de uma malha com maior grau de realismo - simulador de malhas com detalhe variável.

De seguida, apresentam-se algumas abordagens possíveis para a conversão de modelos de tecidos genéricos para um formato específico, necessário para o simulador de malhas com detalhe variável que vai ser apresentado.

Por fim, apresenta-se um programa que permite a análise e comparação de malhas poligonais. Este programa permite analisar os resultados de malhas convertidas para o formato específico requerido pelo simulador de malhas com detalhe variável.

2.1 Modelação e Simulação de Tecidos

Na modelação de tecidos, em computação gráfica, podem utilizar-se diversos métodos para simular a dinâmica de um tecido. Esta simulação visa aproximar ao máximo a representação do tecido com a aparência e características que o mesmo possui no mundo real.

2.1.1 Modelação de Tecidos

As propriedades de um tecido podem ser agrupadas em algumas categorias, como por exemplo:

- Físicas
- Visuais
- Tácteis
- Olfactivas

No entanto, em computação gráfica apenas se transmitem as características físicas e visuais. Categorias como as tácteis e olfactivas que definem se um tecido é mais macio ou se tem um cheiro intenso, ainda não se conseguem representar em computação gráfica.

Propriedades Físicas

Categoria composta por propriedades estruturais e materiais usados no fabrico do tecido.

A estrutura de um tecido pode ser composta por fios entrelaçados. Neste tipo de estrutura, define-se trama como o conjunto de fios que passa na direcção transversal e urdume como o conjunto de fios que passa na direcção longitudinal. Outro exemplo de estrutura é o entrelaçamento de fibras através de agentes químicos, como o feltro.

Os materiais do tecido podem definir aspectos como a curvatura, a rigidez e o peso. É de notar que algumas propriedades físicas podem ser ajustadas posteriormente ao fabrico do tecido. Um exemplo disso é a rigidez do tecido, que se pode aumentar aplicando goma ao tecido fabricado.

Em computação gráfica, a construção de superfícies representativas de tecidos traduz-se na especificação de um modelo matemático para a superfície. Normalmente usa-se uma geometria definida por polígonos simples, triângulos ou quadriláteros, para representar uma malha.

Numa malha quadrangular pode-se fazer uma analogia com a própria estrutura de um tecido, onde, numa direcção, as arestas representam os fios ao longo do urdume e, na outra, os fios ao longo da trama. Uma malha triangular apresenta um modelo geométrico que apenas representa de forma directa a geometria do tecido, e não a sua estrutura.

As propriedades físicas materiais, como a elasticidade e a massa, são determinadas usando os vértices como pontos de amostragem do tecido real, podendo-se medir as deformações

apresentadas e, com base nos parâmetros físicos atribuídos ao modelo, calcular a resposta a dar a essas deformações.

Na modelação de um tecido é necessário ter em conta que este, futuramente, poderá ser usado numa simulação, com o objectivo de animar o seu comportamento dinâmico e interacção com os objectos envolventes. Esta categoria reúne as características necessárias para a simulação de tecidos, englobando propriedades dinâmicas definidas pela sua composição material.

Uma forma de definir propriedades dinâmicas num tecido, em computação gráfica, é através da definição de valores de resistência, elasticidade, compressão, entre outros, nos diversos locais do modelo do tecido. Desta forma, quando a simulação de um tecido estiver a decorrer, o simulador pode usar estes valores definidos e comportar-se conforme o desejado.

Propriedades Visuais

Como o nome indica, esta categoria é composta por características visuais, como por exemplo, a cor e a textura.

Para simular estas propriedades recorre-se a técnicas muito usadas em computação gráfica: a aplicação de texturas (permite aplicar um padrão a um objecto), a simulação da iluminação e características de reflexão de luz dos objectos.

Na aplicação de texturas às superfícies de malhas poligonais utiliza-se um sistema de coordenadas de textura (coordenadas UV). As coordenadas UV são coordenadas bidimensionais (2D) que controlam a aplicação de um mapa de texturas num modelo tridimensional (3D), fazendo a relação entre a posição de um pixel no mapa de texturas 2D aos vértices do modelo 3D, garantido desta forma a posição correcta da textura na superfície modelada.

2.1.2 Simulação de Tecidos

A ferramenta mais usada para a modelação de superfícies é um sistema de partículas, em que cada partícula representa geometricamente uma porção de tecido. Para representar os tecidos,

usam-se malhas poligonais formadas por triângulos ou quadriláteros, como já referido, onde os vértices das malhas constituem as partículas do sistema. A simulação de tecidos utiliza este sistema de partículas para simular os diversos efeitos que uma malha pode ter.

Existem vários modelos de simulação física que contemplam a simulação de tecidos. Normalmente, estes modelos baseiam-se em determinar as forças aplicadas nas partículas do objecto modelado e aplicar técnicas de integração numérica que determinam as novas posições das partículas de acordo com a simulação das leis da física.

Os modelos de simulação física mais referidos na área são: o Modelo de Provot (Provot, 1995) e o Modelo Baraff-Witkin (Baraff & Witkin, 1998).

O Modelo de Provot usa um sistema de partículas de massas e molas onde as configurações das molas se destinam especificamente a modelar tecidos. Neste modelo, as partículas encontram-se ligadas por molas que se podem apresentar em diversos arranjos, nomeadamente estruturais, de flexão e de deformação transversa (com as molas em repouso ou em tensão).

A evolução do sistema de partículas presente no modelo de Provot consiste na utilização da lei fundamental da dinâmica de Newton: $\mathbf{f}_i = \mathbf{m}_i \cdot \mathbf{a}_i$, em que \mathbf{f} representa a força total exercida sobre a partícula i de massa \mathbf{m}_i e aceleração \mathbf{a}_i causada pela força \mathbf{f}_i . Para integrar as forças e calcular novas posições das partículas o autor usa o método de integração explícita de Euler (Press, Flannery, Teukolsky, & Vetterling, 1988) onde, ao longo do tempo, se usa a equação de integração de forma a simular dinamicamente o tecido.

No modelo de Baraff-Witkin o tecido é modelado por meio de uma malha triangular em que os pontos de massa, ou seja as partículas, se situam nos vértices dos triângulos. A cada partícula deste modelo estão associadas um par de coordenadas (u, v) no plano do tecido, as quais são úteis para avaliar a tensão e a deformação transversa no plano exercidas no tecido em cada instante, podendo ainda, em algumas situações, ser usadas para efectuar o mapeamento de texturas no tecido. Cada partícula possui, também, uma posição variável do espaço tridimensional.

A simulação do modelo Baraff-Witkin usa um método de integração implícita (House & Breen, 2000) que confere ao tecido estabilidade suficiente para se poderem efectuar grandes passos de simulação.

2.2 Simulação de Tecidos com malhas adaptativas

No decorrer de uma simulação, o simulador tem de avaliar o modelo do tecido várias vezes em cada passo, portanto o uso de malhas com muito detalhe é impensável, visto requerer um significativo poder computacional.

Para obter um melhor desempenho na simulação, o detalhe das malhas é descurado, o que impede que as malhas recriem todas as características usuais dum tecido real.

A subdivisão de malhas é a técnica usada para obter maior detalhe e melhor suavidade num tecido sem penalizar em demasia o desempenho. Por exemplo, pegando-se numa malha poligonal simples poder-se-á aplicar um conjunto de regras de subdivisão, obtendo-se novos vértices e faces, de forma a obter uma malha mais detalhada e mais suave.

Apesar desta subdivisão suavizar o aspecto da superfície, ao efectuar a subdivisão uniformemente ao longo da malha torna-se pesado, para a simulação, processar a totalidade da malha refinada. No entanto, não é necessário efectuar uma subdivisão uniforme, podendo-se optar por métodos de subdivisão e simplificação adaptativos.

Com a utilização de subdivisões adaptativas podem escolher-se os critérios de dimensão da malha ou da relevância de detalhe numa determinada zona, distribuindo as operações de subdivisão e simplificação na malha conforme as necessidades da mesma. A simulação de tecidos é, então, efectuada com um grande nível de detalhe, potencialmente com maior realismo, e não exigindo demasiado poder computacional da simulação.

Aplicando os métodos de variação dinâmica do nível de detalhe, permite-se a obtenção de uma malha mais detalhada em zonas do tecido mais relevantes e mais simplificada onde não é necessário tanto detalhe, aliviando o simulador de processamentos desnecessários e simulando com um bom desempenho os efeitos dos tecidos.

O estudo das vantagens que advém da simulação de tecidos com detalhe variável é descrito em (Birra 2006), onde foi implementado um simulador, numa aplicação isolada, que utiliza malhas com detalhe variável.

Foi necessário compreender o trabalho realizado na construção do simulador de malhas com detalhe variável, que serviu de base para a realização do trabalho aqui apresentado, com o objectivo de oferecer um *Framework* que possibilite a conversão de uma representação de tecidos sob a forma de malhas poligonais arbitrárias para o formato necessário na utilização do simulador referido.

Este simulador foi construído numa aplicação isolada e baseia-se no modelo de Baraff-Witkin (Baraff e Witkin 1998) já referido neste capítulo. Este modelo foi escolhido por se basear num algoritmo simples que permite tratar de restrições no processo de simulação sem grandes penalizações em termos computacionais e pela estabilidade obtida nas simulações ser elevada, estas razões estão descritas em detalhe em (Birra 2006).

Ao nível da variação do detalhe, o simulador implementado usa o método de subdivisão 4-8 (Velho e Zorin, 4-8 Subdivision s.d.) para subdividir e simplificar a malha de forma adaptativa.

O simulador com variação dinâmica de detalhe aplica o método de subdivisão 4-8 apenas a malhas de triângulos 4-k. As malhas 4-k, requeridas pelo simulador, são malhas formadas por triângulos agrupados dois a dois em quadriláteros (triquads) e por triângulos isolados (os triângulos que não se conseguem agrupar porque não possuem um triângulo que possa ser seu par).

Surgiu deste modo a necessidade de converter malhas poligonais arbitrárias em malhas com este formato, 4-k, com o intuito de permitir a construção livre de malhas representativas de tecido que, após a conversão, poderão ser usadas no simulador.

O processo de subdivisão adaptativa de malhas 4-k realizado pelo simulador através do método de subdivisão 4-8 consiste nos passos apresentados na Figura 1: para cada par de triângulos na Figura 1 a), começa por remover a aresta inicial que define o agrupamento dos dois triângulos, e insere um novo vértice no centro do quadrilátero formado na Figura 1 b).

De seguida, liga o novo vértice aos vértices do quadrilátero na Figura 1 c), originando 4 novos triângulos, como se pode observar na Figura 1 d).

Cada triângulo inicial origina dois novos triângulos e, a cada passo da subdivisão, o agrupamento de pares de triângulos vai mudando.

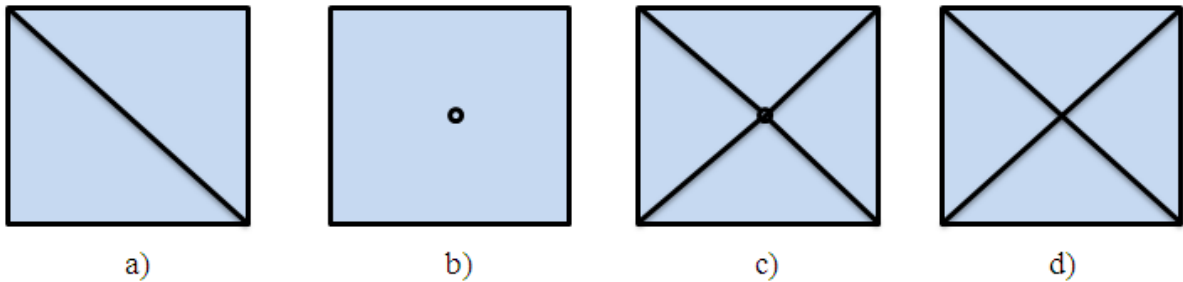


Figura 1 - Método de subdivisão 4-8

Este método foi escolhido, principalmente, para se conseguir garantir que a orientação dos triângulos gerados pela subdivisão fosse exactamente a mesma que a dos triângulos originais, deixando a malha coerente em relação à malha inicial, o que não acontece com os métodos mais usuais, tais como o método de Loop (Loop, 1987) (Stam 1 & Loop 2) e a subdivisão raiz de 3 (Kobbelt, 2000). Se a orientação dos triângulos originados for diferente dos seus triângulos originais alteram-se as forças estruturais da malha, que permitem por exemplo simular a deformação da malha, o que pode originar distúrbios no processo de simulação.

O método de subdivisão de 4-8 tem também a vantagem de não permitir a ocorrência de buracos na malha, evitando-se assim o uso de medidas correctivas avulso, requeridas, por exemplo, no método de Loop.

A ocorrência de um buraco numa malha advém de descontinuidades na malha. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de um buraco na malha, provocado pela inserção de um novo vértice numa aresta partilhada entre dois triângulos, na Figura 2 b), sendo esse vértice usado para dividir apenas um dos triângulos originais. Se ocorrer uma deslocação do novo vértice surge um buraco na malha, visível na Figura 2 c).

O método de subdivisão 4-8 tem ainda a vantagem adicional de gerar um menor número de faces em cada transição e de, no decorrer das subdivisões, permitir uma transição gradual e fina entre as sucessivas malhas.

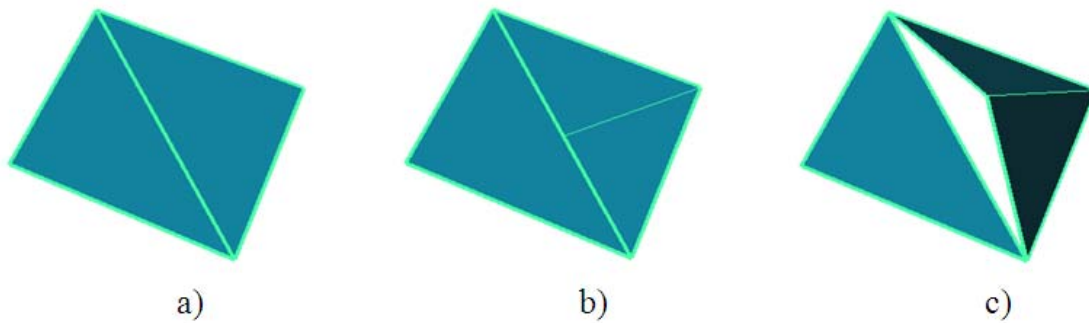


Figura 2 - Buraco numa malha

O método de subdivisão escolhido no simulador possui uma simplicidade que torna a técnica de subdivisão eficiente e com um efeito positivo nas questões de desempenho da simulação, conseguindo-se uma execução rápida da técnica.

2.3 Métodos de conversão de malhas poligonais em malhas 4-k

Com este trabalho pretende-se permitir a conversão de uma malha poligonal arbitrária, como por exemplo uma malha mista de triângulos e quadriláteros, numa malha 4-k, pois este é o formato necessário para o simulador poder aplicar o método de subdivisão 4-8, que permite a subdivisão adaptativa das malhas.

As malhas 4-k foram escolhidas por não apresentarem perturbações ao longo das subdivisões e simplificações efectuadas com o método de subdivisão 4-8. Em (Birra, 2006) descrevem-se os motivos desta escolha com mais detalhe e alguns métodos de subdivisão de malhas.

Para converter uma malha é necessário efectuar um conjunto de operações, que estão presentes nos algoritmos de subdivisão, como subdividir polígonos, alterar arestas e vértices. Consequentemente, os métodos estudados de conversão de malhas poligonais arbitrárias representativas de tecidos em malhas 4-k têm como base algoritmos de subdivisão.

Os algoritmos de subdivisão são muito usados em computação gráfica para simular o aspecto suave de uma superfície ou, inversamente, simplificar uma malha que não precise de apresentar um aspecto muito acurado.

A subdivisão de uma superfície consiste num processo que subdivide cada face poligonal em faces mais pequenas, tornando a superfície com uma aparência mais suave. Este processo costuma ser recursivo, refinando uma dada malha poligonal através de subdivisões que criam novos vértices e novas faces. Na conversão de uma malha, através da subdivisão, a adição de novos vértices pode ser efectuada no interior de cada polígono ou ao longo da fronteira da superfície.

O processo de refinamento da subdivisão de superfícies pode ser dividido em duas categorias:

- a interpolação, onde se requer que a malha resultante possua os vértices da malha inicial, resultando numa superfície interpolada da superfície inicial;
- a aproximação, em que as posições e os vértices da malha resultante podem ser ajustados, originando uma superfície aproximada à original.

Existem diversos tipos de algoritmos de subdivisão que podem ser usados para converter malhas, os algoritmos encontrados com mais referências bibliográficas, no âmbito da computação gráfica, são a subdivisão de Loop (Loop, 1987) (Stam, Evaluation of Loop Subdivision Surfaces), que se aplica a malhas de triângulos e gera malhas aproximadas das originais; a subdivisão de Catmull-Clark (Catmull & Clark, 1978)(Stam, Exact Evaluation of Catmull–Clark Subdivision Surfaces at Arbitrary Parameter Values, 1998) e a de Doo-Sabin (Doo & Sabin, 1978) que se aplicam a malhas de quadriláteros e produzem superfícies por aproximação.

Para além dos algoritmos de subdivisão mais frequentes encontram-se também outros métodos, tais como o método Borboleta (Dyn, Levin, & Gregory, 1990)(Zorin, Schroder, & Sweldens, Aug. 1996), que cria superfícies por interpolação de pontos de controlo da malha original, e o método Quad/Triang (Stam 1 & Loop 2), que unifica subdivisões

quadrangulares e triangulares com base nas subdivisões de Catmull-Clark e Loop, originando malhas contínuas em toda a sua superfície.

Como suporte da conversão de malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k, optou-se pela utilização de dois algoritmos de subdivisão que contemplam malhas de triângulos, a subdivisão raiz de 3 (Kobbelt, 2000) e a subdivisão de Velho Zorin (Velho & Zorin, 4-8 Subdivision, 2001).

A escolha destes dois algoritmos baseou-se num estudo preliminar efectuado na implementação do simulador com detalhe variável (Birra, 2006) que demonstra a validade da utilização dos dois algoritmos quando aplicados na conversão de malhas triangulares.

2.4 Análise e comparação de malhas poligonais com o programa Polymeco

O programa Polymeco (Silva, 2007) foi criado com o fim de analisar e comparar características de malhas poligonais. O objectivo da utilização deste programa, no contexto desta tese, é perceber qual dos dois métodos de conversão de malhas poligonais em malhas 4-k, suportados pelos algoritmos de subdivisão raiz de 3 e subdivisão de Velho Zorin, apresentam melhores resultados de conversão.

O Polymeco é direccionado para analisar métodos de simplificações de malhas, comparando uma malha original mais complexa com as respectivas malhas resultantes simplificadas (com menos subdivisões).

A Figura 3 pretende demonstrar como é criado o ambiente de comparação de malhas no Polymeco. Começa-se por criar uma área de teste com a malha original e adiciona-se a esta área os cenários de teste que representam as malhas originadas. A partir deste ponto pode-se usufruir das diversas funcionalidades de análise e comparação de malhas poligonais que o Polymeco disponibiliza.

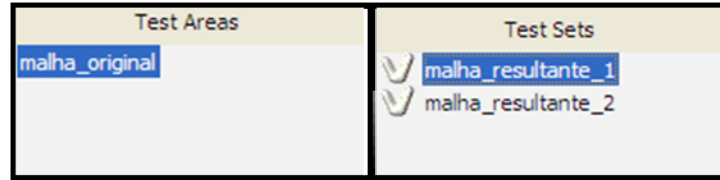


Figura 3 - Área e respectivos cenários do Polymeco

O processo de comparação de duas malhas no programa Polymeco, ilustrado na Figura 4, usa como base de comparação os vértices da malha original, considerada como malha de referência, e obtém os pontos comuns entre as duas malhas através da amostragem da malha de referência ao longo da superfície da malha resultante. Os vértices de comparação obtidos na malha resultante podem ser pontos que já pertenciam à malha inicial ou pontos amostrados no meio de uma das suas faces.

A representação dos resultados da comparação entre a malha a) e b) da Figura 4 é apresentada na Figura 4 c), onde cada vértice da malha original tem atribuído a sua "distância" em relação ao ponto correspondente da malha resultante. Os pontos a verde e vermelho da Figura 4 c) representam dois pontos para os quais foram, a título de exemplo, detectadas diferenças de localização nas duas malhas.

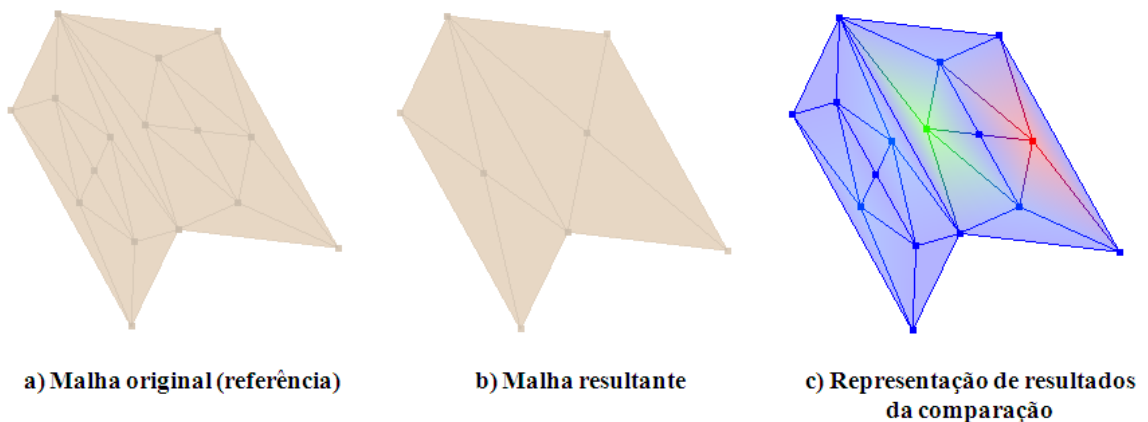


Figura 4 - Processo de comparação do Polymeco

O Polymeco apresenta-nos um conjunto diversificado de opções de análise e comparação de malhas. Nesta tese pretende-se analisar comparativamente a malha original com as malhas

resultantes por dois métodos distintos de conversão de malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k (com base nos algoritmos subdivisão raiz de 3 e subdivisão de Velho Zorin).

No programa Polymeco são disponibilizadas cinco métricas de comparação de malhas, que comparam a malha de referência com a malha do cenário de teste:

- *Geometric Distance* – mede a distância entre duas malhas, compara os vértices de referência da malha de referência com os vértices correspondentes na malha de teste e calcula as suas diferenças em termos de localização espacial, obtendo a distância geométrica entre as malhas.

- *Normal Deviation* – mede a diferença entre a normal de cada vértice da malha de referência com a correspondente normal estimada na malha de teste, calculando o desvio entre as normais das duas malhas.

- *Mixed Measure* – usa uma fórmula que atribui pesos às métricas *Geometric Distance* e *Normal Deviation* e compara as duas malhas com base no peso de cada métrica.

- *Mean and Gaussian Curvature Deviations* – usa os métodos já descritos para calcular as diferenças de curvatura entre as malhas.

- *Visual Metric* – retorna uma medida sobre a mudança visual que a malha resultante sofreu em relação à malha original, baseada na distância física entre elas. Permite apenas comparar modelos onde os vértices de uma malha correspondem directamente aos vértices da outra, visto os modelos terem de ter o mesmo número de vértices.

Visto que a métrica *Visual Metric* não se aplica às malhas em estudo, pois o número de vértices das malhas resultantes são sempre maiores que o da malha que as originou e que as métricas *Mixed Measure* e *Mean and Gaussian Curvature Deviations* são um misto entre as outras métricas, optou-se pela utilização das seguintes métricas de comparação de malhas: *Geometric Distance* e *Normal Deviation*.

Para analisar a qualidade dos triângulos o polymeco tem diversos tipos de métricas. Neste trabalho utilizou-se apenas o *Minimum Angle Analysis*, a qual, para cada triângulo da malha calcula o valor do seu ângulo mínimo, o que dá uma boa panorâmica da forma dos triângulos

ao longo da malha. Quando o ângulo mínimo se aproxima dos 60° então a forma do triângulo aproxima-se de um triângulo equilátero.

O Polymeco permite, também, definir manualmente a escala dos resultados da comparação das malhas para cada área, definindo-se a mesma escala para as diferentes áreas de teste consegue-se comparar os resultados entre elas.

Verificando as potencialidades deste programa, decidiu-se utilizá-lo para o auxílio da análise dos métodos de conversão de malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k.

3. Modelação Geométrica de Tecidos

A modelação geométrica de tecidos contempla diversas propriedades inerentes a um tecido, nomeadamente as propriedades físicas e visuais.

Neste capítulo descrevem-se diferentes métodos para a construção de uma peça de roupa em computação gráfica, começando-se por explicar dois métodos diferentes de desenho que permitem a construção estrutural de uma peça de roupa. De seguida, abordam-se as propriedades físicas materiais e por fim as propriedades visuais definidas como propriedades adicionais de um tecido.

O programa usado para a explicação prática da modelação é o programa Autodesk Maya 2008. O Maya é um programa de modelação e simulação muito utilizado nas diversas áreas de animação. Muitos produtores de Hollywood, como por exemplo a Pixar, apostam neste programa que já contribuiu para filmes como Transformers, Surf's Up, The Da Vinci Code, entre outros.

3.1 Desenho de Tecidos – propriedades físicas

A modelação de tecidos é um problema real. Por exemplo, um alfaiate, para elaborar uma peça de roupa, tem de ter em conta diversos factores. O alfaiate começa por escolher o tecido da peça de roupa e decidir o formato da mesma. De seguida, faz os cortes no tecido de acordo com os diferentes painéis que deseja criar e que compõem a peça de roupa. Por fim tem que coser os painéis criados, de forma a obter o produto final.

A modelação de tecidos é suportada por dois sistemas conhecidos, o Desenho por Painéis, que possui uma abordagem parecida à do método de um alfaiate e o Desenho Livre, onde a modelação de tecidos é processada de maneira diferente da real.

3.1.1 Desenho por Painéis

Os programas de modelação têm a opção de criar peças de roupa através deste tipo de desenho, este sistema traz uma vertente de modelação mais semelhante à criação real de uma peça de roupa, apresentando ao modelador um conjunto de funcionalidades específicas para a construção de peças de vestuário.

Nesta abordagem começa-se pela criação de painéis, ou seja pela criação de objectos bidimensionais, através de polígonos ou de curvas. Na Figura 5 encontram-se ilustrados dois painéis com o formato de uma t-shirt.

De seguida, processa-se a costura dos tecidos, definindo os pontos de costura e juntando os painéis de forma a obter a peça de roupa desejada, assemelhando-se desta forma ao recorte e costura dum tecido feito pelo alfaiate.



Figura 5 - Dois painéis com o formato de uma t-shirt

O programa Maya possui um *plug-in* chamado *Classic Cloth* (Autodesk Maya 8.5), apenas disponibilizado no Maya 8.0, que utiliza este tipo de sistema, o Desenho por Painéis, para a modelação de tecidos e permite aplicar propriedades materiais à malha.

Nas versões do Maya mais recentes, Maya 8.5 e Maya 2008, este *plug-in* aparece desactivado à partida porque tende a ser completamente descartado no futuro. A Autodesk adoptou um sistema de desenho livre apresentado no ponto seguinte, que permite uma modelação flexível, acessível e prática de peças de roupa.

Acabou-se por não testar o *Classic Cloth* no Maya 2008 devido a problemas relativos ao licenciamento do próprio software.

3.1.2 Desenho Livre

A maior parte dos programas de modelação, hoje em dia, optam pela modelação livre dos objectos, incluindo as malhas representativas de peças de roupa.

A modelação de objectos em Desenho Livre tem uma abordagem diferente da real, segue o mesmo sistema usado na construção de qualquer outro objecto, que se traduz num processo de criação de superfícies tridimensionais representando o objecto pretendido (neste caso uma peça de roupa). O processo de modelação requer o uso das ferramentas de modelação geométrica. Sobre as superfícies criadas é necessário modelar formas, tamanhos, detalhes e proporções para que o objecto final apresente uma configuração convincente.

Para modelar uma superfície costuma-se recorrer a três tipos de representações: superfícies poligonais, *Nurbs* (curvas livres com pontos de controlo) e superfícies de subdivisão.

A representação poligonal permite criar superfícies compostas por polígonos que contêm faces, vértices e arestas. As linhas (*wireframes*) representam as arestas de cada face e a intersecção das arestas representam os vértices. As superfícies poligonais dispõem de um conjunto vasto de aplicações e comparando com as outras duas representações apresentadas possibilitam um melhor desempenho das técnicas de modelação interactiva.

As superfícies compostas por *Nurbs* (*Non-Uniform Rational B-splines*) usam um método matemático de descrição de curvas e superfícies. Os *Nurbs* são caracterizados por serem rapidamente modelados e editados usando diversas técnicas, por serem compostos por curvas *Nurbs* e por possuírem uma forma suave. Estas características tornam esta superfície como sendo a preferencial quando se pretende definir um objecto com formas suaves e animar o mesmo.

As superfícies de subdivisão são superfícies do tipo híbrido e possuem características de ambas as superfícies mencionadas anteriormente (Poligonais e *Nurbs*) e ainda algumas características que estas duas não oferecem. Permite a criação de formas suaves usando

poucos vértices de controlo, tal como os *Nurbs*, e possibilita aplicar algumas funcionalidades disponibilizadas nas superfícies poligonais, como por exemplo criar detalhes adicionais. As superfícies de subdivisão permitem que o utilizador trabalhe com diferentes níveis de detalhe.

Segue-se um pequeno exemplo de um sistema de Desenho Livre, usando o programa Maya 2008, que, com recurso às variadas ferramentas de modelação geométrica, permite modelar de forma bastante flexível qualquer um dos três tipos de representação de superfícies. Este software permite ainda a conversão entre os diferentes tipos de superfícies.

No exemplo que se segue pretende-se criar uma peça de roupa, um colete, com o Maya. Pode-se começar por criar uma das superfícies descritas anteriormente e modelar a mesma de diversos modos, por exemplo suavizando a superfície, subdividindo a superfície em faces mais pequenas ou diminuindo/aumentado o tamanho das mesmas.

O Maya possui várias perspectivas que auxiliam o modelador na construção de um objecto, na Figura 6 estão representadas duas delas.

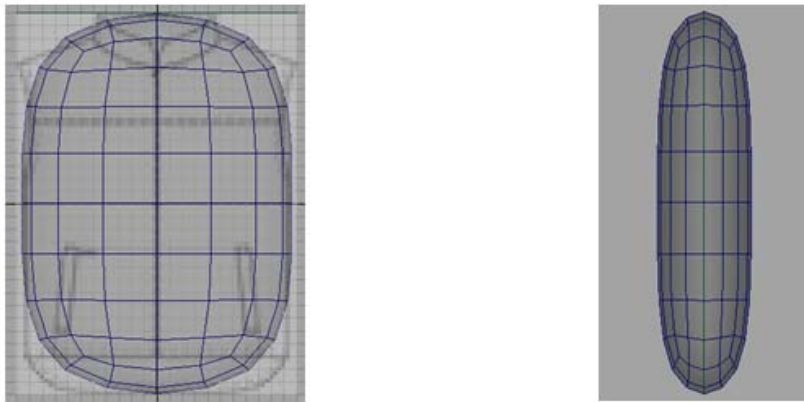


Figura 6 - Vista frontal e lateral de um colete em formação

Na criação de um colete tradicional é necessária a simetria do objecto, o programa escolhido dispõe de um conjunto de funcionalidades que permite um modelador trabalhar em apenas metade da superfície, efectuando o conjunto de transformações necessárias na mesma, como por exemplo eliminar faces, moldar a escala e posição de vértices de controlo e corrigir

imperfeições, visível na Figura 7. Com esta funcionalidade consegue-se assegurar facilmente a simetria de uma peça de roupa.

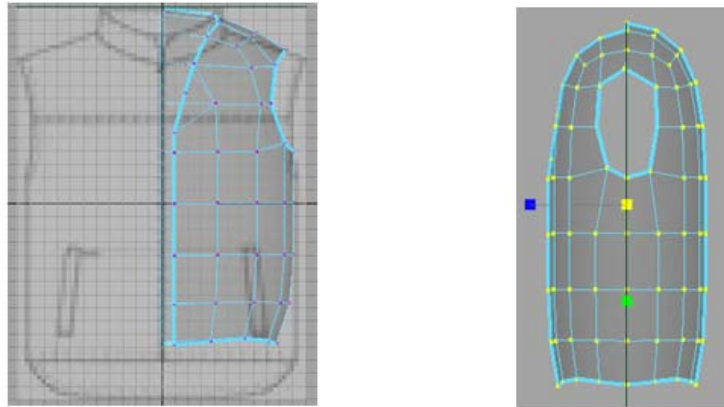


Figura 7 - Metade de um colete moldado em Maya

Após finalizar a metade do objecto representativo da peça de roupa, pode-se criar a metade oposta para o lado oposto do eixo de simetria de forma a obter o modelo completo, na Figura 8 apresenta-se uma superfície refinada e semelhante à peça de roupa desejada.

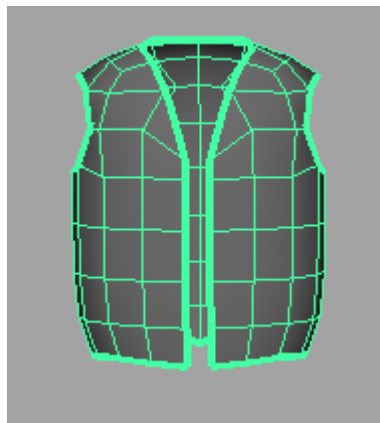


Figura 8 - Exemplo de um colete construído em Maya

A modelação de propriedades físicas de peças de vestuário não se limita à definição da estrutura da sua superfície, os tecidos de vestuário são também compostos por materiais com propriedades físicas como a massa, a rigidez, a capacidade de deformação e afins.

Para a definição de propriedades físicas materiais nas malhas, o Maya 2008 disponibiliza um sistema de tecidos denominado por *nCloth* (Autodesk Maya 2008) que se pode aplicar no final da construção do modelo criado, obtendo-se uma peça de roupa *nCloth*. Para usar as ferramentas do *nCloth* é necessário que o resultado final da modelação de tecidos seja apresentado como uma malha de polígonos.

A atribuição de diferentes valores de uma propriedade material, como por exemplo a massa, às diferentes partículas de uma peça de roupa em Maya, começa pela escolha da propriedade a definir, como se pode observar no vestido *nCloth* da Figura 9.

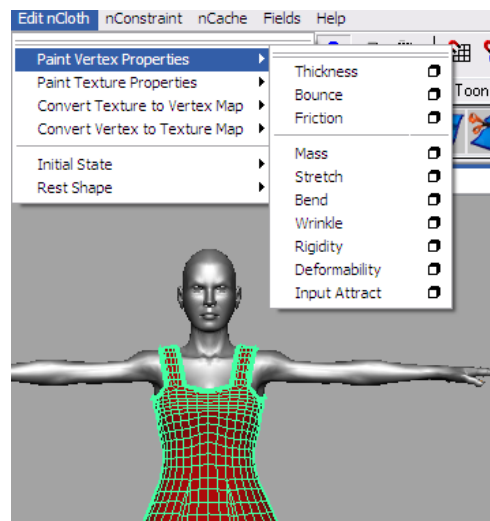


Figura 9 - Aplicação de propriedades físicas materiais a um tecido

De seguida, pode-se definir um valor geral para todo o tecido e ir variando os valores da propriedade escolhida do tecido, aplicando os valores nas partículas desejadas através de um sistema de pintura, que reside na aplicação de cor através de um pincel, disponibilizado pelo Maya. Na Figura 10 demonstra-se a alteração dos valores da massa de um vestido através deste sistema de pintura.

3.2 Modelação de propriedades adicionais de tecidos – propriedades visuais

Na modelação de tecidos a aparência dum superfície é definida não só pela sua estrutura e pelos seus materiais básicos mas também por propriedades adicionais tais como a definição

da cor, textura, iluminação e sombras de uma peça de roupa – propriedades visuais de um tecido.

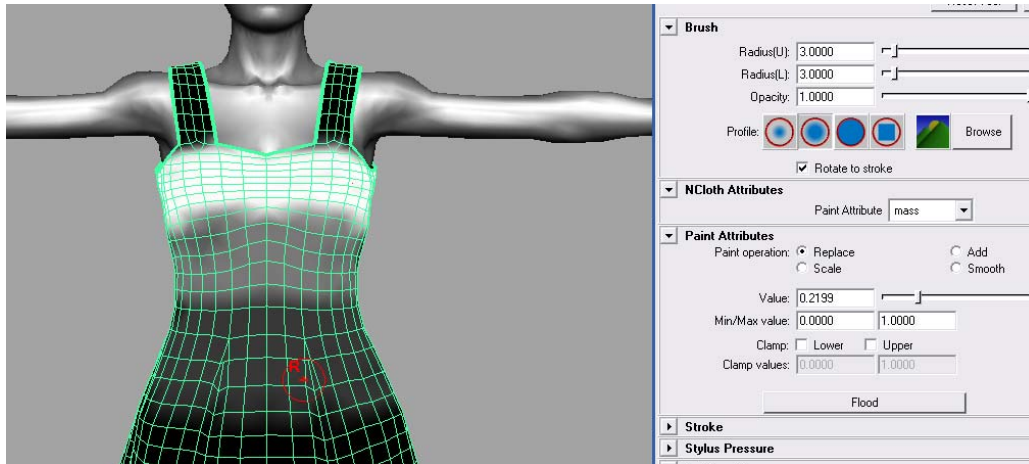


Figura 10 - Aplicação de um valor de massa a um vestido através de um pincel

Estas propriedades estão muito interligadas entre si, a cor/textura de um objecto define atributos complexos, como atribuição de um padrão a um modelo e atributos como a transparência e brilho fazem parte de um conjunto de atributos de iluminação, que definem como a imagem do objecto nos é reflectida.

Na vida real, a aparência de um objecto é-nos transmitida pela iluminação inerente ao objecto. A iluminação consiste na forma como o objecto absorve ou reflecte a luz, em (Foley, van Dam, Feiner, & Hughes, 1997) encontra-se informação extensiva sobre os modelos de *shading* e iluminação de um objecto.

Por exemplo, no programa Maya representa-se o sistema de iluminação através duma rede de *shaders* (características da iluminação), que consistem numa colecção de nós de *rendering* – componentes individuais que interligamos para produzir os efeitos de *rendering* (processo que gera uma imagem de um modelo a partir de um processo computacional) - *conectados* que definem como as cores e as texturas contribuem para o aspecto final das superfícies.

As aplicações de modelação disponibilizam um conjunto variado de funcionalidades no que toca à aplicação de cores e texturas às superfícies criadas. Utiliza-se dois tipos de sistema para este efeito: Aplicação por pincel e aplicação por ficheiro.

3.2.1 Metáfora do pincel

A metáfora do pincel consiste na atribuição de uma cor/textura usando um pincel para pintar o objecto desejado.

Ao utilizar um pincel, costuma ser disponibilizada uma variada paleta de cores e diferentes características para aplicar à superfície, este sistema por norma apresenta um variado número de texturas com diversos padrões e diferentes conjunções de cores.

Na aplicação de cor/textura através de um pincel pode-se definir diversos aspectos, como o diâmetro que define a área que o modelador deseja abranger, a forma do pincel e as cores que se pretendem aplicar. De modo a embelezar a peça de roupa modelada pode-se também usufruir de diferentes funcionalidades de pintura, que consistem na aplicação de efeitos especiais num modelo tridimensional.

Na Figura 11 demonstra-se um colete onde foi usada esta técnica de pintura através do programa Maya. O círculo a vermelho na imagem representa o diâmetro do pincel definido.



Figura 11 - Colete colorido com o pincel disponibilizado pelo Maya

3.2.2 Aplicação de textura

Este sistema consiste na aplicação de uma textura às coordenadas de textura (UV) do modelo e é realizada através dum editor de texturas UV, onde se apresenta um quadrante bidimensional (2D) com a textura que se deseja aplicar.

Num editor de texturas, as coordenadas UV variam entre os valores de (0, 0) e (1, 1) e representam a textura no espaço para a superfície, havendo uma relação directa entre as coordenadas apresentadas no editor e a apresentação da superfície moldada.

Para melhor compreender este sistema, recorre-se à Figura 12, que exemplifica a aplicação deste sistema com o programa Maya. No lado direito da figura consegue-se visualizar um editor de texturas que apresenta uma imagem bidimensional (2D) do objecto e a relação do modelo tridimensional (3D), do lado esquerdo da imagem, com as respectivas coordenadas UV.

O Maya permite a projecção dos planos do objecto 3D no editor de texturas UV, com o intuito de auxiliar o modelador na aplicação dos padrões existentes no ficheiro ao modelo representativo da peça de roupa. Neste programa pode-se modelar e modificar a textura conforme o efeito desejado no editor de texturas, pode-se por exemplo, coser as arestas que se deseja e mover as projecções por cima das imagens que se pretende apresentar no modelo 3D.

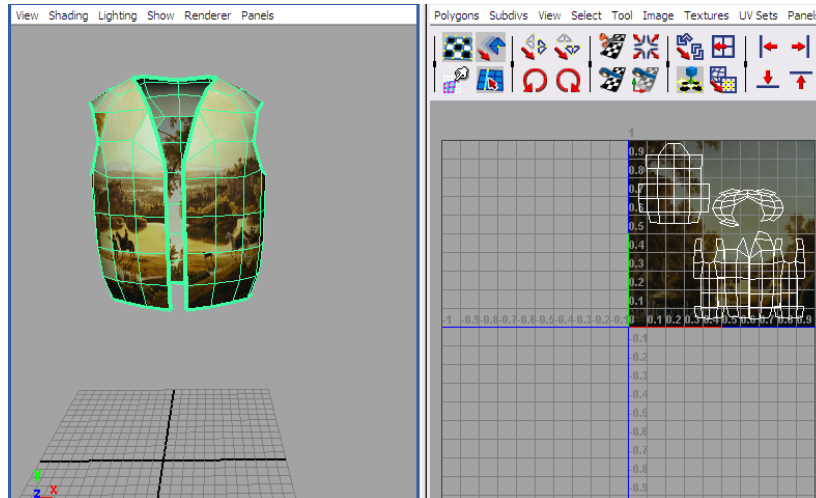


Figura 12 - Colete com um padrão aplicado pelo sistema de coordenadas UV

3.3 Discussão

A modelação geométrica de tecidos apoia-se no desenho por painéis e no desenho livre para a construção de objectos representativos de tecidos. Para além da estrutura do tecido, os

tecidos possuem diversas propriedades materiais, como a massa e a rigidez, que podem ser definidas.

Ao nível de propriedades visuais podem ser aplicados dois sistemas de pintura que permitem criar propriedades como a cor e textura de um objecto.

O Maya e o sistema *nCloth* permitem modelar um objecto com um grande número de ferramentas e recursos. No campo da aplicação de texturas, possui também uma vasta gama de aplicações permitindo a aplicação de texturas e outras propriedades físicas de um tecido a partir duma coloração do objecto 3D (através de um pincel) e através da aplicação de um ficheiro (mapeamento de coordenadas UV).

Conclui-se que o programa Maya é uma aplicação bastante extensa e completa e considerou-se ser uma aplicação que abrange as necessidades inerentes à tese. Por este motivo optou-se pela utilização do mesmo, no âmbito de modelação de tecidos, ao longo do estudo.

4. Conversão de malhas de polígonos em malhas 4-k

Com este trabalho pretende-se permitir a conversão de uma malha poligonal arbitrária numa malha 4-k. Este é o formato necessário para que o simulador de tecidos com detalhe variável (Birra, 2006) possa aplicar o método de subdivisão 4-8, que, por sua vez, permite a subdivisão adaptativa das malhas.

A conversão de malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k pode ser efectuada por diversos métodos. Foram estudados dois métodos distintos que apenas suportam malhas de triângulos, como ponto de partida para esta conversão: a subdivisão raiz de 3 uniforme (Kobbelt, 2000) e o algoritmo proposto por Velho e Zorin (Velho & Zorin, 4-8 Subdivision, 2001).

Com o intuito de se poder converter malhas de triângulos, quadriláteros ou mistas (com triângulos e quadrados) em malhas 4-k, efectuaram-se algumas alterações nos dois algoritmos. De seguida, apresenta-se os dois métodos distintos com essas alterações.

4.1 Método de subdivisão de raiz de 3

O método de subdivisão raiz de 3 aqui apresentado é uma derivação do algoritmo raiz de 3. O algoritmo inicial aplica-se apenas a malhas de triângulos. Contudo a sua generalização para outros polígonos é trivial.

4.1.1 Algoritmo de subdivisão de raiz de 3 (malhas triangulares)

O algoritmo de subdivisão de raiz de 3, ilustrado na Figura 13, segue um conjunto de passos:

1 – Começando pela malha representada na Figura 13 a), insere um novo vértice no centro de cada triângulo, construindo uma ligação entre o novo vértice criado e os vértices do triângulo inicial, criando assim 3 novos triângulos, resultando na malha da Figura 13 b);

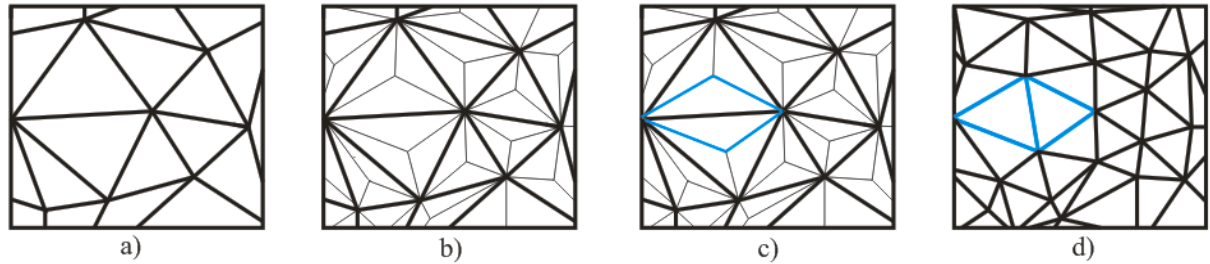


Figura 13 - Conversão usando método de subdivisão raiz de 3 uniforme

2 – Na fase seguinte, foca-se a atenção nas arestas mais carregadas na Figura 13 b), que representam as arestas iniciais da malha, e agrupam-se os novos triângulos que se situam de cada lado destas arestas. Cada agrupamento de triângulos, que partilham a mesma aresta inicial da malha, forma um quadrilátero, como se pode ver a azul na Figura 13 c).

3 – No último passo, troca-se a aresta interna do bloco, representado a azul na Figura 13 c), pela sua diagonal oposta, resultando num par de triângulos destacados a azul na Figura 13 d).

O resultado destes 3 passos é uma malha 4-k visível na Figura 13 d).

Com o método apresentado preserva-se a orientação dos triângulos visto que os vértices adicionados são introduzidos no interior do triângulo. São originados então três triângulos por cada triângulo encontrado.

Este método apresenta uma malha subdividida uniforme e com pouca disparidade entre o tamanho dos triângulos, produzindo uma malha homogénea.

4.1.2 Método de subdivisão de raiz de 3 proposto

O método de subdivisão proposto é uma generalização do algoritmo de subdivisão de raiz de 3 que permite a conversão de outros polígonos para além dos triângulos, tais como quadriláteros, pentágonos, etc.

A generalização consiste num conjunto de passos similares aos apresentados anteriormente, mas desta vez para todos os polígonos.

Para uma melhor compreensão deste processo, segue-se a descrição da conversão com apenas dois polígonos, ilustrada pela Figura 14:

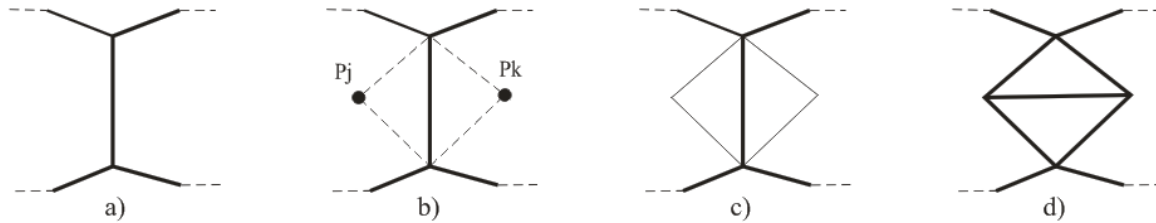


Figura 14 - Conversão genérica de polígonos com o método raiz de 3

1 – O processo inicia-se com uma malha poligonal. Na Figura 14 a) temos dois polígonos que partilham uma aresta, segue-se a inserção na Figura 14 b) de dois pontos P_j e P_k no centro de cada polígono e a respectiva ligação dos vértices do polígono ao novo ponto criado.

2 – Neste ponto temos uma malha triangular, onde o processo se desenrola tal como no algoritmo de subdivisão raiz de 3 descrito anteriormente. O método agrupa os dois novos triângulos na Figura 14 c) que partilham a aresta inicial, formando um quadrilátero.

3 – Por fim troca a aresta interna do bloco formado pelos dois triângulos que partilham a mesma aresta inicial e obtém-se na Figura 14 d) a malha poligonal convertida.

Neste estudo são tratadas particularmente malhas compostas por quadrados, triângulos ou mistas. Na Figura 15 apresenta-se a evolução da conversão numa malha mista, salientando-se o processo em triângulos e quadriláteros.

Com esta abordagem o método consegue converter malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k baseando-se no algoritmo de subdivisão raiz de 3.

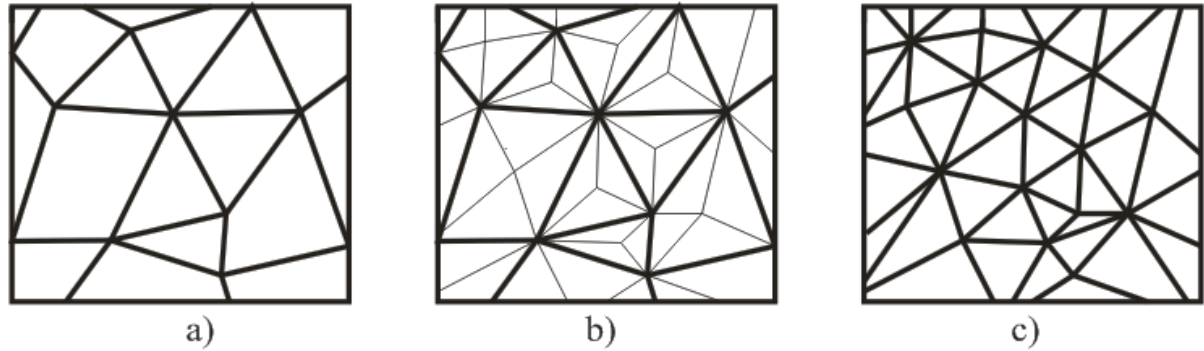


Figura 15 - Conversão de malha mista com o método raiz de 3

4.2 Método de subdivisão de Velho e Zorin

O método de subdivisão de Velho e Zorin é uma extensão ao algoritmo de Velho e Zorin, que se aplica a malhas triangulares, para poder suportar também malhas quadrangulares e mistas (com triângulos e quadriláteros).

4.2.1 Algoritmo de subdivisão de Velho e Zorin (malhas triangulares)

O algoritmo proposto por Velho e Zorin trata de malhas triangulares, exemplificadas na Figura 16, que subdivide a malha da seguinte forma:

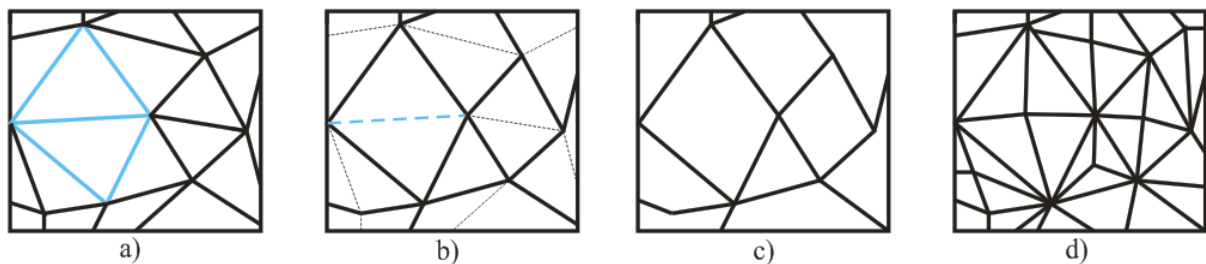


Figura 16 - Conversão usando o algoritmo de subdivisão de Velho e Zorin

1 – Agrupa dois a dois os triângulos da malha que partilham a mesma aresta. A escolha das arestas que definem que triângulos vão ser agrupados é efectuada com base nos comprimentos das arestas. O agrupamento é feito sucessivamente por ordem decrescente de comprimento da aresta partilhada, começando no par de triângulos que possui o maior

comprimento de aresta partilhada, representado a azul na Figura 16 a), até não se poder realizar mais junções de pares de triângulos;

2 – As arestas interiores dos quadriláteros formados pelo agrupamento de pares de triângulos são identificadas na Figura 16 b) – linhas a tracejado – e removidas de acordo com o parâmetro de comprimento de arestas explicado no ponto 1;

3 - Após a remoção das arestas, podemos verificar na Figura 16 c) que sobram os quadriláteros formados e triângulos que não foram agrupados, tanto por fazerem parte da fronteira, logo não partilham nenhuma aresta com mais nenhum triângulo, como por os seus triângulos vizinhos já estarem agrupados.

4 – Segue-se a última fase, apresentada na Figura 16 d), que consiste na introdução de um vértice no centro dos quadriláteros e dos triângulos que não foram agrupados e por fim na ligação deste novo vértice aos vértices dos blocos existentes. Neste passo, cada quadrilátero origina quatro novos triângulos e cada triângulo origina três novos triângulos.

O algoritmo de subdivisão de Velho e Zorin duplica o número de triângulos iniciais que se conseguiram agrupar e triplica os triângulos que permaneceram isolados durante o processo. A orientação dos triângulos é mantida porque os triângulos gerados estão situados no mesmo plano que os originais.

Os resultados deste algoritmo apresentam uma malha subdividida uniforme com alguma disparidade entre o tamanho dos triângulos, dependendo do tamanho dos triângulos da malha original.

4.2.2 Método de subdivisão de Velho e Zorin proposto

O método de subdivisão proposto aproveita parte do algoritmo de subdivisão de malhas triangulares de Velho e Zorin para aplicar a conversão também a malhas de quadriláteros ou mistas (triângulos e quadriláteros).

Na Figura 17 ilustra-se o método de subdivisão proposto que se transcreve em três fases:

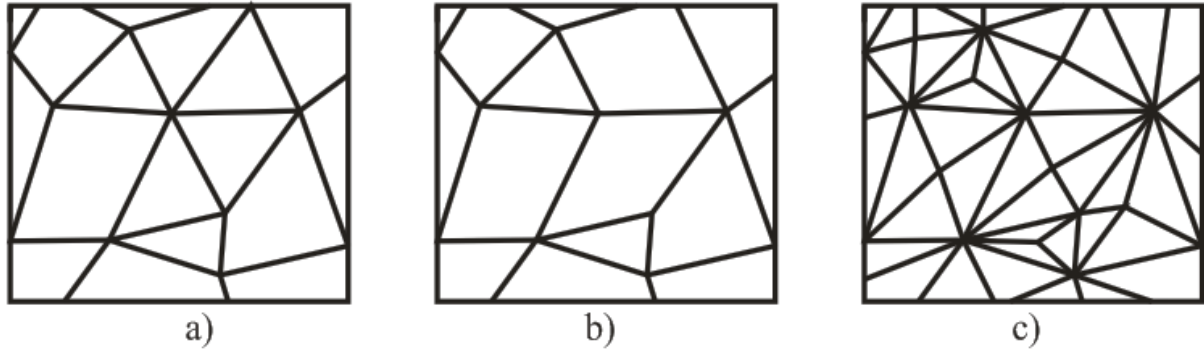


Figura 17 - Conversão de malha mista com o método Velho e Zorin

1 – Na malha inicial, na Figura 17 a), o método começa por diferenciar triângulos de quadriláteros. Focando por enquanto a atenção nos triângulos da malha.

2 – Aplica-se o algoritmo de Velho e Zorin aos triângulos, removendo as arestas internas dos blocos formados por par de triângulos, de acordo com o critério de eliminar as arestas por ordem decrescente de comprimento. Neste ponto não se faz nenhuma alteração aos quadriláteros, ficando com uma malha composta por quadriláteros e triângulos isolados, visível na Figura 17 b).

3 – Por fim, insere-se um vértice no centro dos polígonos na malha e liga-se este novo vértice aos vértices dos polígonos, resultando na Figura 17 c).

Com estas 3 fases consegue-se obter a conversão de malhas triangulares, quadrangulares ou mistas em malhas 4-k através do método de Velho e Zorin, criando-se dois novos triângulos por cada triângulo e quatro novos triângulos por cada quadrilátero.

4.3 Discussão Preliminar

Com o intuito de verificar os resultados dos dois métodos de conversão propostos, implementaram-se dois *plug-ins* no Maya para efectuar alguns testes em objectos representativos de tecidos.

Começou-se por escolher como modelo o casaco ilustrado na Figura 18, retirado de (Infinitee). Alterou-se a textura do colete conforme as necessidades da discussão e, de seguida, aplicaram-se os dois métodos de conversão.

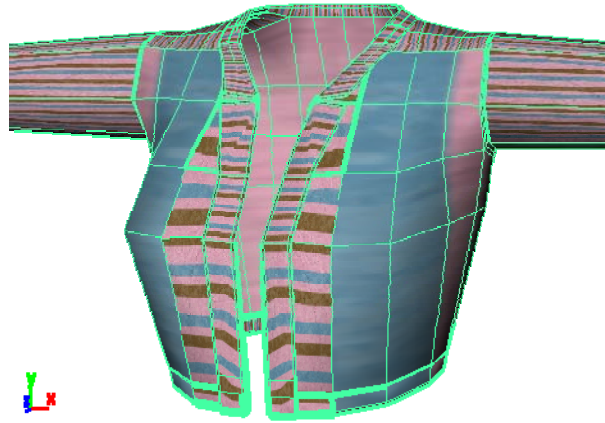


Figura 18 - Modelo de um casaco

Após a conversão, os resultados apresentados, ilustrados na Figura 19, parecem satisfatórios ao nível da geometria e estrutura do modelo, tendo os dois métodos de conversão funcionado como previsto, subdividindo a malha de acordo com os métodos de conversão propostos.

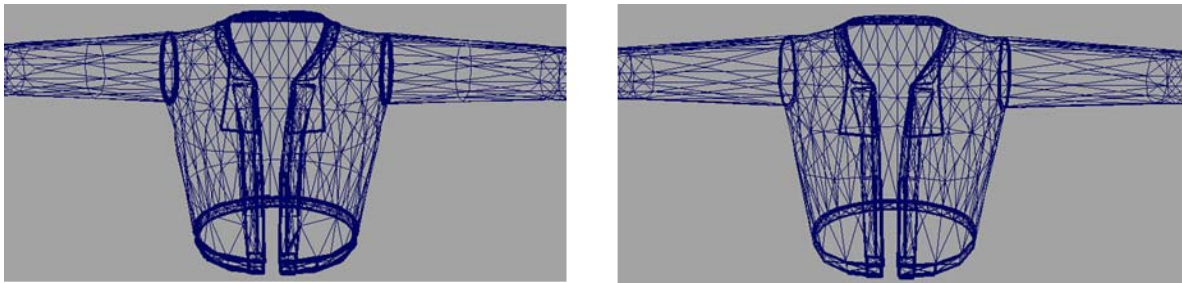


Figura 19 - Casaco convertido pelo método raiz de 3 (esq.) e pelo método Velho e Zorin (dir.)

Ao nível de propriedades adicionais de tecidos foram detectados alguns problemas nos métodos de conversão. Observando, por exemplo, a textura dos objectos criados, visível na Figura 20, denota-se um problema sobre o mapeamento de coordenadas de textura nos modelos, que resultou na criação de artefactos visuais na malha.

No primeiro modelo convertido, verifica-se que a conversão pelo método raiz de 3 produz uma descontinuidade nos padrões da malha. Esta descontinuidade não foi encontrada à partida pelo método de conversão por Velho e Zorin.



Figura 20 - Descontinuidade das coordenadas UV pelo método raiz de 3 (esq.) e pelo método Velho e Zorin (dir.)

Para aprofundar um pouco o estudo dos métodos propostos, decidiu-se aplicar ambos os métodos a outro modelo. Efectuou-se a mesma experiência noutra superfície representativa de peças de roupa, neste caso um vestido retirado de tutoriais do programa Maya em (Autodesk Maya 2008) com algumas alterações na sua textura, demonstrado na Figura 21.



Figura 21 - Modelo de um vestido

Os resultados obtidos para o segundo modelo foram semelhantes aos do primeiro. O resultado do método de raiz de 3 foi visualmente mais fraco que o segundo método de conversão estudado, tal como se pode ver na Figura 22.

O método de raiz de 3 produziu artefactos ao nível do mapeamento das texturas e ao longo da silhueta do vestido, resultando em perturbações à geometria inicial da malha.

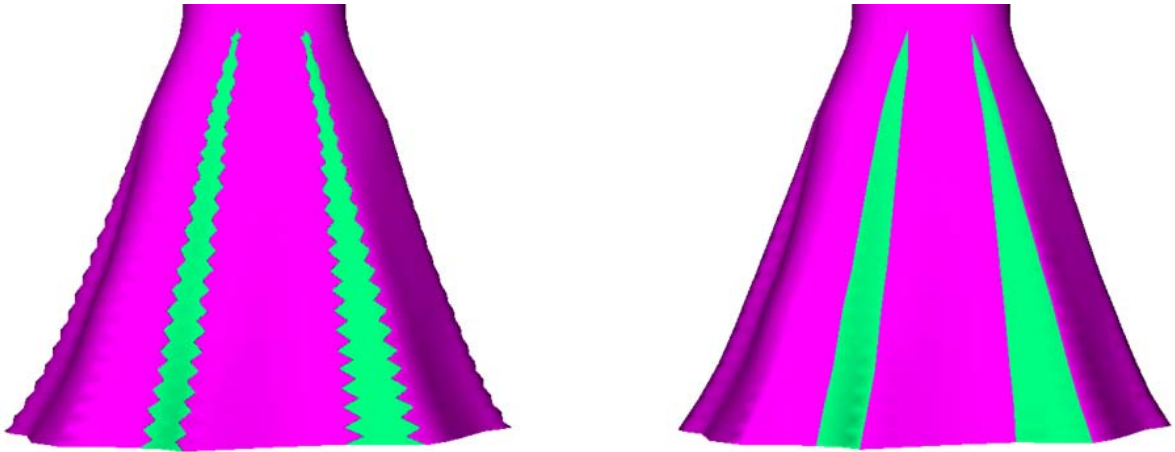


Figura 22 - Disparidade de resultados entre método raiz de 3 (esq.) e método de Velho e Zorin (dir.)

O segundo método continua a obter melhores resultados visuais do que o método de subdivisão de raiz de 3.

Chegando a este ponto, decidiu-se focar a atenção no método que demonstrou melhores resultados aparentes, explorando então o método de Velho e Zorin.

Efectuou-se uma nova conversão pelo método de Velho e Zorin no vestido já convertido por este mesmo método, visualizando deste modo a subdivisão sucessiva do mesmo. Após a conversão, denotou-se uma alteração significativa da malha, apresentando, como se pode ver na Figura 23, os mesmos defeitos obtidos pelo método de raiz de 3.

Verificando os resultados obtidos pelos dois métodos nos diferentes modelos, pode-se concluir que ambos apresentam defeitos nas malhas após feita a conversão. Os defeitos visíveis nos modelos consistem em artefactos visuais, na descontinuidade da textura, e artefactos geométricos nas superfícies representativas de tecidos.



Figura 23 - Modelo convertido sucessivamente pelo método de Velho e Zorin

Os problemas encontrados na triangulação dos tecidos demonstraram a necessidade de melhorar os métodos de conversão implementados. Para este efeito foi necessário apurar as causas que originaram as imperfeições das malhas convertidas.

Encontraram-se dois defeitos na conversão das malhas arbitrárias em malhas 4-k com os métodos propostos: artefactos visuais e artefactos geométricos.

4.3.1 Artefactos visuais

As diferentes cores e texturas numa malha poligonal podem ser aplicadas em regiões de polígonos que representam porções de tecido com a mesma cor/textura e são limitadas pelas arestas dos conjuntos de polígonos que formam a região.

Com os métodos de conversão implementados, ao mudar a configuração da triangulação pode ocorrer a subdivisão de polígonos pertencentes ao limite das regiões, surgindo o problema de se poder interpolar regiões diferentes, perturbando a continuidade da cor/textura nas regiões afectadas.

Para demonstrar os artefactos visuais provocados pelos dois métodos de conversão segue-se dois exemplos aplicados a uma malha com duas cores diferentes, ou seja com duas regiões. Os exemplos poderiam ter sido compostos por texturas, os resultados seriam idênticos.

Na Figura 24 apresenta-se o método raiz de 3 sobre uma malha que possui duas regiões totalmente diferentes, divididas pelo tracejado. A Figura 24 a) representa a conversão de uma malha já na sua segunda fase, em que é necessário agrupar os pares de triângulos, que partilham arestas iniciais, para proceder na Figura 24 b) à troca das arestas internas dos blocos formados pelos pares de triângulos. Com a alteração da disposição dos triângulos no limite das fronteiras representadas pelo traço a tracejado da Figura 24 b), podemos observar o impacto nos valores das coordenadas de cor da malha, originando descontinuidades dos seus padrões nos limites da região.

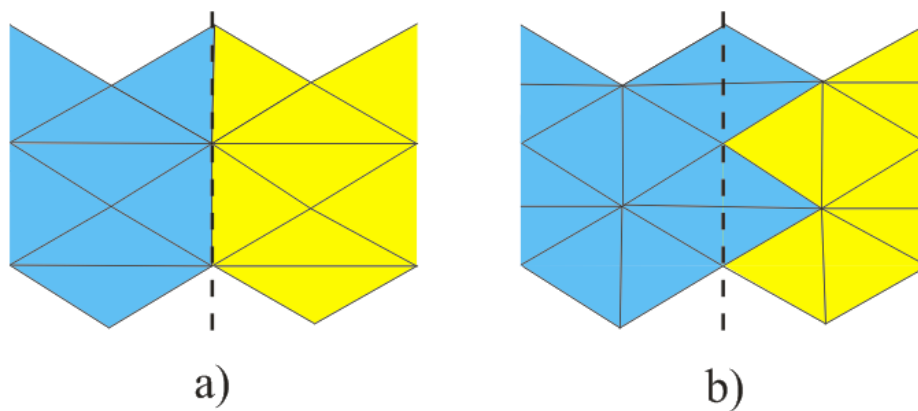


Figura 24- Descontinuidade da cor no método raiz de 3

Aplicando o método de Velho e Zorin, ilustrado na Figura 25, numa malha com duas regiões compostas por cores diferentes, o processo de agrupar cada par de triângulos e eliminar as arestas comuns aos dois triângulos é demonstrado da Figura 25 a) para a Figura 25 b). Tendo especial atenção aos quadriláteros formados por pares de triângulos nos limites das regiões, visível na Figura 25 b) (sendo o limite o traço a tracejado), verifica-se que ao passar à fase final, na Figura 25 c), com a inserção de um novo ponto no meio do quadrilátero, surgem perturbações na malha, denotando-se o aparecimento de descontinuidades na cor/textura da mesma.

Na inserção de um novo vértice na fase final, o cálculo das suas coordenadas de cor é feito com uma operação (automática) que calcula as coordenadas através da média dos vértices envolventes. Na Figura 25 c) consegue-se observar que os novos pontos inseridos na

fronteira das regiões da malha, situam-se mais para a região do lado esquerdo do que para a do lado direito, o que leva ao desvio das coordenadas de cor nos novos triângulos.

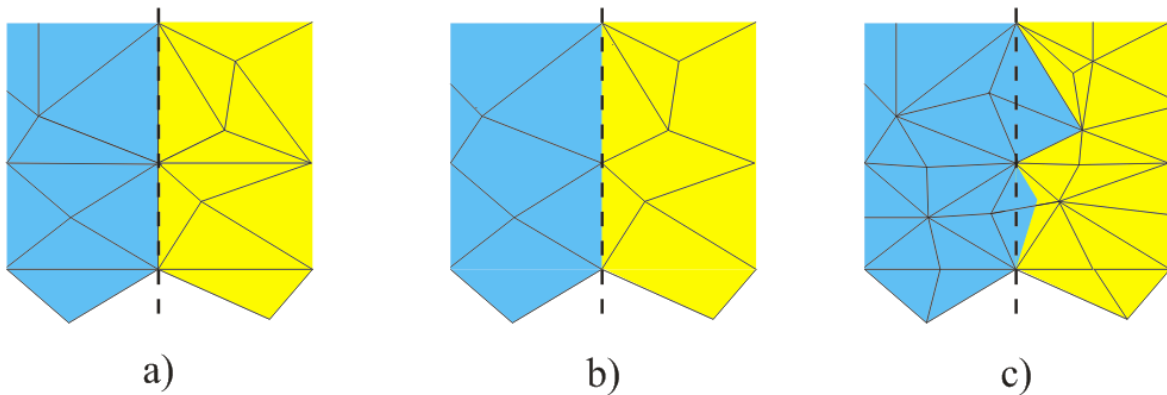


Figura 25 - Descontinuidade da cor pelo método Velho e Zorin

4.3.2 Artefactos geométricos

Os artefactos geométricos encontrados nos modelos resultantes podem ser provocados na conversão devido à mudança do ângulo formado por dois polígonos adjacentes na malha. Acentuando-se o ângulo entre dois polígonos de um objecto criam-se artefactos, que representam vincos na malha, ou acentuam-se artefactos existentes.

Tal como na descontinuidade da textura, também se pode dividir uma malha por regiões “mais planas” definindo como limite das regiões os ângulos mais acentuados da malha.

De seguida, exemplifica-se as causas de os métodos de conversão implementados provocarem artefactos geométricos.

No exemplo da Figura 26 converte-se um modelo composto por dois quadriláteros que possuem um grande ângulo entre eles, através do método de raiz de 3. De Figura 26 a) para a Figura 26 b) efectua-se o passo de adição de um novo vértice e respectivas arestas a cada face. Na Figura 26 b) verifica-se que só existe um único agrupamento de triângulos possível, que partilha a aresta inicial apontada pela seta. Segue-se a troca da aresta interna do par de triângulos que provoca o surgimento de um artefacto na malha visível na Figura 26 c).

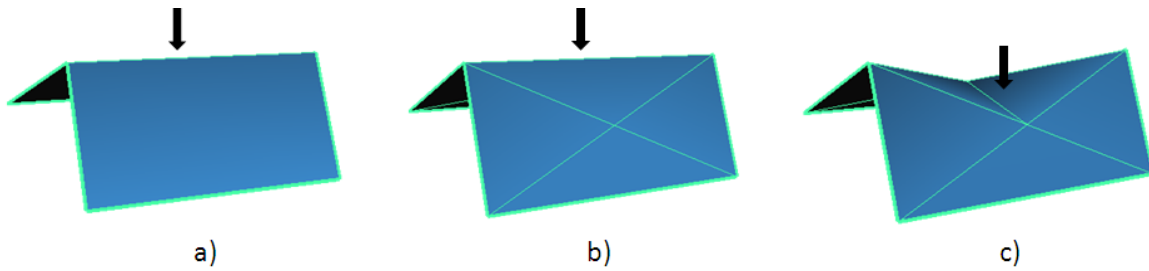


Figura 26 - Artefactos geométricos criados pelo método raiz de 3

O método de Velho e Zorin, ilustrado na Figura 27 com o mesmo modelo em duas perspectivas diferentes, elimina a única aresta inicial que consegue formar um par de triângulos neste exemplo da Figura 27 a) para a Figura 27 b). Com a aresta removida, passa ao último passo (c), inserindo um novo vértice no centro de cada polígono e ligando-o aos vértices envolventes. Na Figura 27 c), na primeira vista (de cima), aparentemente não se encontram artefactos, no entanto, se olharmos para o modelo de outra perspectiva (por exemplo lateral) verifica-se que se gerou um artefacto na malha, provocado pelo novo vértice inserido e pela criação de novos triângulos.

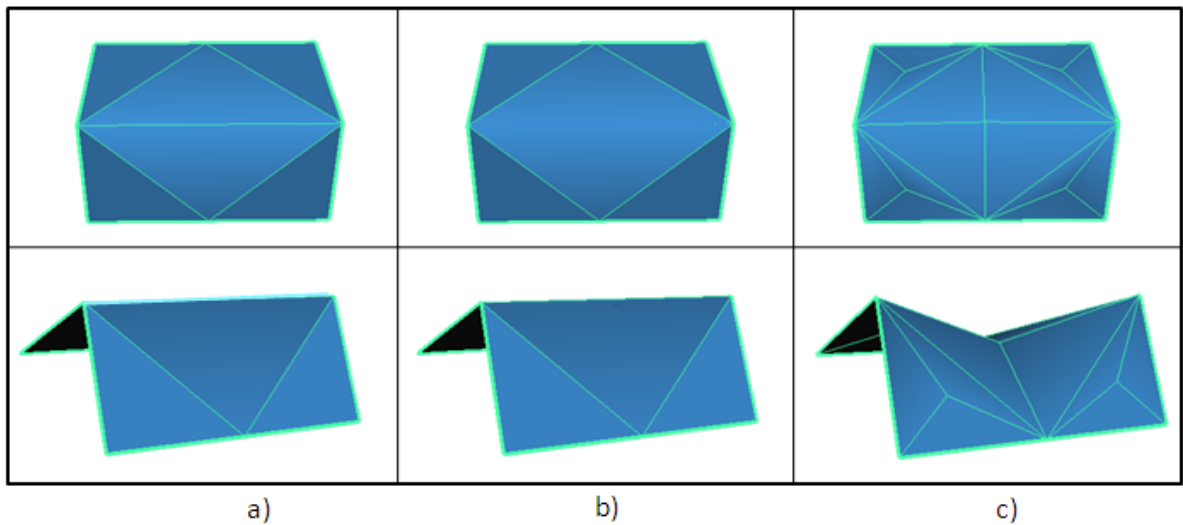


Figura 27 - Artefactos geométricos provocados pelo método de Velho e Zorin – vista de cima (em cima) e vista lateral (em baixo)

4.3.3 Conclusão

As imperfeições encontradas nos métodos de conversão propostos resultaram de uma falta de limitação da área de conversão da malha.

Definindo zonas de subdivisão, as divisões feitas entre polígonos com cores muito diferentes ou feitas sobre ângulos mais acentuados da malha não seriam efectuadas, apresentando-se desta forma uma malha convertida mais uniforme no que toca aos artefactos visuais e geométricos que surgem na malha.

Nos capítulos seguintes apresenta-se uma solução para os problemas encontrados e os respectivos resultados.

5. Técnica de Conversão Proposta

Neste capítulo propõe-se uma técnica de conversão de malhas triangulares e quadrangulares em malhas 4-k através da subdivisão da malha por regiões. A técnica proposta tenta melhorar os resultados obtidos pelos dois métodos de conversão apresentados no capítulo anterior: o método de raiz de 3 e o método de Velho e Zorin.

As regiões de uma malha são compostas por conjuntos de polígonos vizinhos que possuem características semelhantes, como por exemplo a mesma cor/textura. Para definir uma região podem ser usados critérios de afinidade, que verificam se dois polígonos vizinhos fazem parte da mesma região.

O algoritmo proposto pretende delimitar áreas de subdivisão e aplicar os métodos de subdivisão propostos apenas a zonas não problemáticas da malha, ao contrário do que se fez anteriormente (a conversão era aplicada a toda a malha).

Optou-se pela implementação de um algoritmo genérico que utiliza um critério ou uma conjunção de critérios de afinidade para definir regiões de subdivisão da superfície representativa de um tecido.

A escolha de um algoritmo genérico possibilita o fácil acréscimo de novos critérios de afinidade que permitem delimitar as zonas de subdivisão da malha.

De seguida descreve-se os vários passos do desenvolvimento do algoritmo proposto, começando com algoritmos de referência, passando para a descrição do algoritmo implementado, seguido a apresentação de cenários de utilização e critérios de afinidade e finalizando com as ferramentas usadas na implementação do algoritmo.

5.1 Algoritmos de referência

A técnica de conversão proposta tem semelhanças com alguns algoritmos direccionados para grafos.

Os grafos são um conjunto de pontos (vértices), conectados por linhas (arestas), em que cada ponto é denominado por nó e cada linha é denominada por arco. Os arcos de um grafo podem ter direcção, permitindo ou não a ligação entre dois nós, e tanto os arcos como os nós podem ter pesos ou custos associados. Por exemplo, pode-se representar um mapa com um grafo e aplicar um algoritmo de procura do caminho mais curto entre dois pontos nesse grafo, sendo atribuído a cada aresta um custo (uma distância).

Pode-se representar uma malha poligonal analogamente com um grafo, em que cada face de uma malha corresponde a um nó de um grafo e cada ligação de um polígono com o seu vizinho (afinidade) corresponde a um arco do grafo.

O algoritmo genérico desenvolvido pode ser visto como uma simplificação de dois algoritmos conhecidos de busca em grafos: o algoritmo de pesquisa A*(Hart, Nilsson, & Raphael, 1968); e o algoritmo de Dijkstra (Dijkstra, 1959).

A pesquisa A* parte de um ponto inicial de um grafo e tenta achar o caminho mais rápido para um objectivo, através de uma pesquisa informada no conjunto de nós do grafo. A pesquisa é informada porque assenta numa função heurística que determina a ordem pela qual são feitas as pesquisas aos nós do grafo. A função heurística que determina o custo do algoritmo A* é $f(\mathbf{x}) = g(\mathbf{x}) + h(\mathbf{x})$, onde $g(\mathbf{x})$ representa a distância actual mais curta entre o nó inicial e o nó corrente, e $h(\mathbf{x})$ representa a estimativa da distância do nó corrente até ao objectivo.

O algoritmo de Dijkstra é uma simplificação do algoritmo A*, que determina a trajectória de menor caminho entre os nós do grafo, partindo de um nó inicial para todos os nós do grafo. O custo deste algoritmo é dado por $f(\mathbf{x}) = g(\mathbf{x})$, onde $g(\mathbf{x})$ representa a distância entre o nó inicial e o nó corrente, perdendo-se a componente $h(\mathbf{x})$ relativamente à pesquisa A*.

O algoritmo proposto é uma simplificação do algoritmo de Dijkstra, pois percorre o grafo (mais precisamente a malha) pelo mesmo método, partindo de um nó inicial para todos os nós do grafo, mas não apresenta custos, sendo a sua função de custos dada por $f(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$, perdendo-se a componente $g(\mathbf{x})$ do algoritmo de Dijkstra.

O algoritmo genérico implementado herda também algumas características de um algoritmo de distribuição de grafos conhecido por algoritmo de inundação. Um algoritmo de inundação é um algoritmo para distribuir informação para todos os nós de um grafo, em que cada nó age como um receptor que transmite “a mensagem” para todos os seus vizinhos, excepto pelo vizinho cuja mensagem foi originada. Em computação gráfica, o algoritmo de preenchimento por inundação é um exemplo deste algoritmo, que determina a área conectada a um dado nó e preenche toda uma área delimitada por uma cor com outra cor a partir de um ponto inicial.

O algoritmo proposto, tal como o algoritmo de inundação, parte de um nó inicial (polígono inicial) e envia uma mensagem aos seus vizinhos para verificar se eles fazem parte da mesma região, se fizerem, continua-se a explorar os vizinhos até se definir toda uma região. Quando uma região é definida, passa-se para o próximo polígono, que ainda não faz parte de nenhuma região, e refaz-se o mesmo processo.

O efeito da técnica de conversão proposta é muito parecido ao algoritmo de inundação, espalhando-se a informação que um polígono pertence à mesma região através dos polígonos vizinhos.

5.2 Algoritmo Genérico proposto

O algoritmo genérico proposto aplica-se a malhas poligonais. Para iniciar o algoritmo é necessário obter primeiro os polígonos (nós) da malha inicial e inseri-los na lista de nós por afectar.

Para o auxílio do algoritmo mantêm-se três listas distintas:

- Lista de nós por afectar – representa os polígonos que ainda não foram afectados, garantindo que os polígonos que se encontram nesta lista ainda não foram tratados. Os polígonos só são removidos desta lista quando já fizerem parte de uma região;
- Lista de nós por processar/expandir – representa o polígono corrente a ser tratado e os seus vizinhos que fazem parte da mesma região. Nesta lista explora-se os vizinhos do polígono corrente, se os vizinhos fizerem parte da mesma região inserem-se na lista. De seguida transfere-se o polígono corrente para a lista de nós da região e elimina-se da lista de nós por afectar, pois já foi afectado;
- Lista de nós da região – representa a região a ser construída, nomeadamente os polígonos da região que já foram tratados, ou seja, já foram identificados como pertencentes à mesma região. No final de cada lista criada aplica-se os métodos de conversão à região construída.

Segue-se então o conjunto de procedimentos que definem o algoritmo proposto:

1. Enquanto houver nós por afectar:

1.1. Escolhe-se o primeiro nó por afectar;

1.2. Insere-se o nó na lista de nós a processar/expandir;

1.3. Enquanto houver nós por expandir:

1.3.1. Escolhe-se o nó que está à cabeça da lista de nós a processar/expandir;

1.3.2. Insere-se o nó escolhido na lista de nós da região corrente;

1.3.3. Remove-se o nó da lista de nós a processar/expandir e este passa a ser o nó corrente (nó a tratar);

1.3.4. Remove-se o nó da lista de nós por afectar;

1.3.5. Explora-se os vizinhos do nó corrente;

1.3.6. Para cada nó vizinho:

1.3.6.1. Verifica se o nó vizinho já foi tratado, ou seja, se já foi removido da lista de nós por afectar. Se sim, descarta o nó e segue para o próximo nó em 1.3.6;

- 1.3.6.2. Verifica se o nó vizinho já se encontra na fila de nós por processar. Se sim, descarta o nó e passa para o vizinho seguinte em 1.3.6;
- 1.3.6.3. Verifica se o nó vizinho passa os critérios de afinidade, ou seja se pertence à mesma região que o nó corrente;
- 1.3.6.4. Se o nó vizinho não passar os critérios de afinidade descarta-se o nó e passa-se para o nó vizinho seguinte em 1.3.6;
- 1.3.6.5. Se o nó vizinho passar os critérios de afinidade, ou seja, se fizer parte da mesma região que o nó corrente, insere-se o nó na lista de nós por processar/expandir;
- 1.4. Quando a fila de nós por expandir chega ao fim, encontra-se vazia, significa que a fila de nós da região representa uma região completa da malha;
- 1.5. Definindo-se o final da região corrente construída passa-se ao tratamento da mesma, aplicando o método escolhido, o método raiz de 3 ou o método de Velho e Zorin;
- 1.6. A região resultante, convertida por um dos métodos de conversão, é inserida numa estrutura de dados que guarda a informação das regiões convertidas;
- 1.7. Limpa-se a lista de nós da região corrente e começa-se a construção de uma nova região, seguindo-se para o próximo nó da lista de nós por afectar, para o ponto 1;
2. Neste ponto, a lista de nós por afectar encontra-se vazia, todos os nós da malha foram tratados, e a informação das regiões convertidas estão agrupadas numa só estrutura de dados;
3. Procede-se a criação da superfície representante de um tecido através da estrutura de dados de regiões convertidas;
4. Com estes passos possuímos uma malha 4-k convertida através da subdivisão da malha por regiões e o algoritmo de conversão proposto finaliza.

5.3 Critérios de afinidade e respectivos cenários de utilização

A técnica de conversão proposta permite definir a divisão de uma malha por regiões a partir de critérios de afinidade.

Os critérios de afinidade definem se dois polígonos vizinhos fazem parte da mesma região, esta verificação é feita através da comparação do polígono corrente com o polígono vizinho em estudo. Esta comparação é feita com o intuito de verificar se os dois polígonos satisfazem as condições para pertencerem à mesma região.

Nesta secção apresentam-se quatro critérios de afinidade implementados: sempre, nunca, continuidade UV e vincos.

➤ Sempre

Critério: subdivide a malha no seu total sem restrições, não delimita regiões, apresenta os mesmos resultado que os métodos de conversão inicialmente propostos.

Função: indica que dois polígonos vizinhos pertencem sempre à mesma região, não delimitando portanto nenhuma região no objecto.

Cenário de Utilização: a necessidade desta funcionalidade advém de situações em que não se pretende delimitar a malha, ou seja, pretende-se que os métodos de conversão sejam aplicados a todo o seu domínio, sem restrições.

➤ Nunca

Critério: define cada polígono como uma região, deixando a configuração inicial da malha intacta e subdividindo apenas o interior de cada polígono.

Função: retorna que os dois polígonos a comparar nunca pertencem à mesma região, definindo cada polígono como uma região isolada.

Cenário de Utilização: o critério Nunca é aplicado quando se pretende subdividir uma malha e que ela permaneça com a sua configuração inicial.

➤ Continuidade UV

Critério: define regiões de subdivisão através das coordenadas de cor/textura dos modelos, agrupando em regiões os polígonos vizinhos que possuem a mesma cor/textura.

Função: obtém os vértices do polígono corrente e do polígono vizinho e compara a orientação UV dos dois polígonos. Se a orientação for igual significa que os dois polígonos pertencem à mesma região.

Cenário de Utilização: este critério é utilizado para controlar as subdivisões entre regiões com cores/texturas completamente diferentes, evitando a criação de artefactos visuais na malha após a conversão.

➤ Vincos

Critério: delimita a áreas de subdivisão através da imposição de um ângulo máximo entre dois polígonos vizinhos, agrupando em regiões os polígonos vizinhos que respeitam o ângulo máximo de subdivisão. Neste critério permite-se a passagem por argumento do ângulo que se deseja, sendo o ângulo por defeito 60°.

Função: dado um ângulo máximo ou usando o ângulo definido por defeito, calcula o ângulo entre o polígono corrente e o vizinho. Caso o ângulo calculado seja maior que o ângulo dado então os dois polígonos não pertencem à mesma região.

Cenário de Utilização: este critério pretende controlar as subdivisões da malha em zonas cujos ângulos são muito acentuados, evitando o aparecimento de artefactos geométricos nas malhas, os chamados vincos.

A técnica de conversão abordada possui estes quatro critérios de opção, onde se podem conjugar os mesmos como funções que delimitam regiões de subdivisão. No entanto, pelo carácter genérico do algoritmo implementado, é possível adicionar mais critérios de afinidade ao programa criado.

A adição de novos critérios de afinidade pode ser realizada de forma simples, com a criação da função desejada e a sua adição ao vector de funções que o programa percorre para verificar que critérios de subdivisão de regiões foram invocados.

Para criar funções de critérios de afinidade é necessário seguir o *Framework* apresentado na Figura 28, tendo-se em atenção dois pontos:

- A função tem de ter quatro argumentos: a malha poligonal, o polígono corrente, o polígono vizinho em estudo e uma lista de argumentos.

A lista de argumentos pode ser vazia, visto que nem todos os critérios precisam de mais argumentos, no entanto, a estrutura genérica necessita deste argumento no

cabeçalho da função. Esta lista é necessária em critérios como por exemplo os vincos, onde se pode passar como argumento o ângulo máximo desejado na malha.

- A função tem de ser de carácter booleano e para o bom funcionamento da conversão deverá apenas retornar verdadeiro ou falso.

```
bool sempre( MFnMesh& fnMesh, int poligono_corrente, int poligono_vizinho,
std::list<double>& argumentos)
{
    return true;
}
```

Figura 28 - Exemplo duma função de critério de afinidade

Para acrescentar critérios ao programa é disponibilizada uma classe, a classe *Util*. Desta forma permite-se estender os critérios de afinidade que definem uma região, de acordo com as necessidades requeridas pelo utilizador.

Nos critérios de afinidade pode-se aceder também a outra informação exterior que se tenha acrescentado à malha, através da variável que representa a malha, *fnMesh*, que é passada como argumento. Por exemplo, o material de uma malha pode ser adicionado como um atributo à própria malha, representando informação adicional que poderá ser necessária aceder nas funções de afinidade, caso se queira definir como regiões zonas da malha compostas por diferentes materiais.

5.4 Desenvolvimento da Técnica de Conversão em Maya

O Autodesk Maya fornece um software robusto para a modelação e simulação de tecidos, baseado numa arquitectura aberta que permite a adição de *plug-ins* através de dois tipos de linguagem: MEL (*Maya Embedded Language – Scripting*), uma linguagem específica do programa; e C++ (Maya API), que possibilita a ligação dinâmica de novas funcionalidades ao Maya.

O desenvolvimento da técnica proposta de conversão de malhas de triângulos e quadriláteros em malhas 4-k foi realizado com a linguagem C++, usando ao máximo as funcionalidades apresentadas pela API C++ do Maya.

Esta secção dedica-se a dois pontos importantes que auxiliaram a construção dos *plug-ins* de conversão, a elaboração de *plug-ins* C++ e o estudo de algumas bases de arquitectura da API do Maya. Por fim apresentam-se os *plug-ins* implementados.

5.4.1 Elaboração de *plug-ins* C++ em Maya

O Maya suporta dois tipos de linguagem para o desenvolvimento de *plug-ins*:

- MEL (*Maya Embedded Language*);
- C++.

O MEL é uma linguagem criada especificamente para trabalhar no interior do Maya, tem uma estrutura e sintaxe simples e permite realizar todo o tipo de instruções relativas a comandos do Maya.

O C++ é a linguagem adequada a utilizar quando se pretende criar funcionalidades não existentes no Maya, porque possui uma API vasta onde se encontram os acessos e os controlos do Maya e permite a execução de comandos MEL a partir da mesma. Quando os *plug-ins* em C++ são utilizados no Maya já estão compilados e com as ligações estabelecidas, logo o resultado destes é mais eficiente e otimizado na plataforma do Maya do que o MEL. Devido a estes factores, optou-se por implementar os *plug-ins* de conversão de malhas em C++.

A API C++ do Maya permite acrescentar diversas funcionalidades ao programa e está organizada por áreas e ferramentas oferecidas pelo Maya, em (Gould, Complete Maya Programming – An Extensive Guide to MEL and C++ API, 2003) entra-se em detalhe sobre este tema.

Para se ter uma noção da organização da API, apresenta-se uma lista de todas as áreas e funcionalidades do Maya que podem vir a ser prorrogadas em C++:

- *Commands* – trata dos comandos em Maya que permitem executar instruções como built, help, undo e redo.
- *Dependency Graph Nodes* – permite a criação de nós DG personalizados (*dependency graph* – nós direccionados para representar dependências entre os diversos objectos). Possibilita criar desde nós simples, que providenciam funcionalidades básicas como unir dois pontos, a complexas, como animar um objecto. Pode-se também criar conexões entre nós.
- *Tool/Contexts* – consiste nos passos interactivos para efectuar uma tarefa, como por exemplo para dividir uma aresta é necessário seleccionar duas arestas e carregar *enter*.
- *File Translators* – controla o exportar/importar dados para o Maya e possibilita a conversão de qualquer tipo de dados para formatos próprios do Maya.
- *Deformers* – providenciam um mecanismo que permite mover um conjunto de pontos.
- *Shaders* – permite criar nós *shaders* (nós representantes de propriedades visuais) acedendo por completo a informações relevantes como normais, posições e texturas.
- *Manipulators* – fornece um conjunto de controlos de interacção para modificar os atributos dos nós, como por exemplo, aumentar o raio de uma esfera.
- *Locators* – são utilizados para apresentar ao utilizador um ponto de referência visível.
- *Fields* – um *field* providencia as forças que podem ser aplicadas a um objecto. Aplica-se tipicamente a partículas para as mover de um modo específico.
- *Emitters* – Determina como e quando se geram partículas, controlando a velocidade e a direcção do movimento das partículas.
- *Shapes* – Possuem os dados geométricos de um objecto. Permite a construção, eliminação e edição de formas geométricas.
- *Solvers* – Permite criar um método que define a posição final de um objecto e gera o movimento necessário para chegar a esse estado final.

As áreas e funcionalidades do Maya distribuem-se pela API C++ através duma série de classes, divididas em hierarquias lógicas baseadas no seu tipo. O Maya C++ possui um diversificado número de classes mas apenas algumas são utilizadas na construção de *plug-ins*.

Todas as classes em Maya possuem como letra inicial do seu nome a letra M e separam-se conforme o prefixo do seu nome. Por exemplo, o prefixo M representa classes como *MPoint* ou *MFnMesh*, que tratam respectivamente de pontos e de funcionalidades de uma malha poligonal em Maya.

Foi necessário pesquisar como obter uma ligação directa entre um *plug-in* em C++ e o programa Maya, que permita o uso da API C++ disponibilizada pelo Maya.

A criação de um *plug-in* C++ para o Maya é feita através do *MayaPluginWizard*, onde se consegue criar projectos C++ direccionados para o programa Maya. O resultado da compilação dos *plug-ins* criados com esta aplicação é um ficheiro com a extensão .mll pronto a ser utilizado no Maya. O Maya fornece uma opção *plug-in Manager* que permite carregar os ficheiros com extensão .mll e usá-los como uma funcionalidade extra do programa.

5.4.2 Estudo de bases da arquitectura da API C++ do Maya

O estudo efectuado foi orientado para o problema em questão, a conversão de malhas poligonais em malhas 4-k, tentando-se aproveitar ao máximo as funções disponibilizadas pela API C++ Maya.

Para melhor compreender esta API efectuaram-se alguns estudos sobre as funcionalidades do Maya e a interacção entre o ambiente Maya e o código em C++. Para este efeito recorreu-se a alguns *plug-ins* disponibilizados em (Gould, Complete Maya Programming volume II – An In-depth Guide to 3D Fundamentals, Geometry and Modeling, 2005), (Bateman, 2004) e (Batista, 2006) .

A pesquisa feita sobre a API C++ visou obter informações sobre os modelos do Maya criados e a navegação pelas entidades que compõem o modelo geométrico (como por exemplo, o número de vértices e o número de arestas de uma malha).

Começou-se por compreender como criar uma malha poligonal que poderá representar uma peça de roupa. A informação de um objecto criado consiste em 3 vectores:

- vector de vértices
- vector de polígonos
- vector de ligações

A Figura 29 apresenta uma malha poligonal composta por dois triângulos e quatro vértices que ajuda a compreender a articulação entre os três vectores de criação de uma malha.

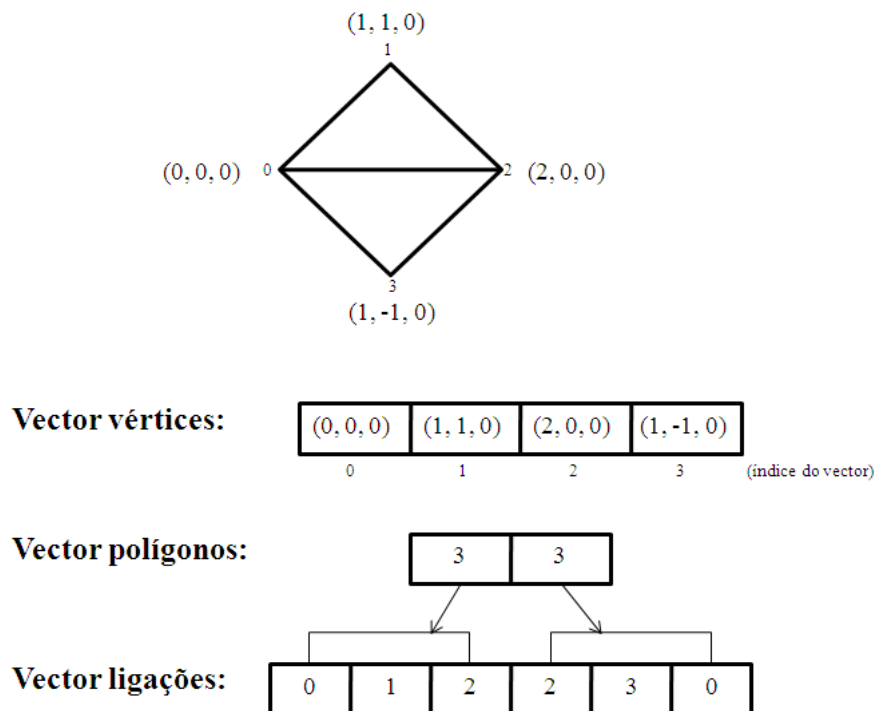


Figura 29 - Exemplo de vectores de geometria na criação de uma malha poligonal

O vector de vértices é composto pelas coordenadas de todos os vértices da malha. Na figura, o vector de vértices tem a configuração { (0,0,0), (1,1,0), (2,0,0), (1,-1,0) } com os respectivos índices {0, 1, 2, 3}.

O vector de polígonos possui o número de vértices de cada polígono, o tamanho do vector representa o número de polígonos existentes na malha. No exemplo dado existem dois triângulos, cada um com três vértices, logo o vector é {3, 3}.

O vector de ligações é composto pelas conexões dos vértices em cada polígono. Para cada polígono, o vector de ligações guarda a posição dos vértices desse polígono. Na Figura 29 verifica-se que a cada polígono do vector de polígonos correspondem três casas do vector de ligações com os índices dos vértices que fazem parte do polígono, o vector apresenta a configuração: {0, 1, 2, 2, 3, 0}.

A construção de uma malha poligonal pode passar também pela sua textura, sendo necessário aplicar ao modelo as coordenadas de textura UV de cada ponto. No Maya as coordenadas UV são definidas por quatro vectores:

- vector u
- vector v
- vector *uvCounts*
- vector *uvIds*

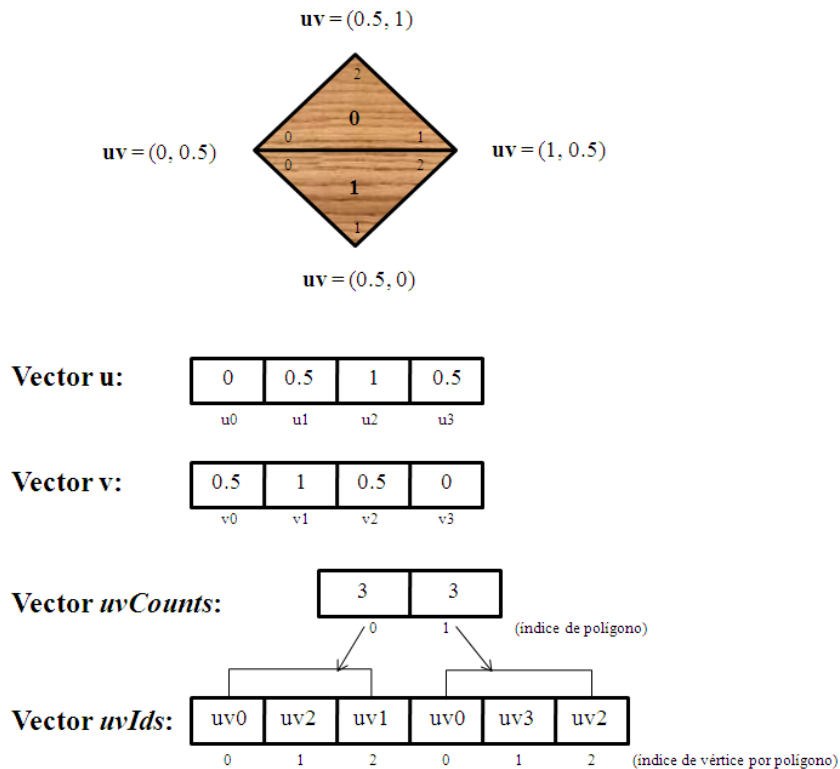


Figura 30 - Exemplo de vectores de texturas na criação de uma malha poligonal

A Figura 30 demonstra uma malha poligonal idêntica à malha da Figura 29, mas desta vez com uma textura, para ajudar a perceber a ligação entre os diferentes vectores que permitem a aplicação de uma textura a um modelo. A aplicação de uma textura é feita seguindo a base que se encontra na malha apresentada na figura, uma malha é composta por polígonos (números a negrito) e cada polígono é composto pelos seus vértices (números nos vértices no interior da malha).

Os vectores u e v guardam as coordenadas de textura u e v , respectivamente. A cada coordenada u no vector u corresponde a sua coordenada v na mesma posição no vector v . Estas coordenadas podem tomar valores entre 0 e 1 e podem ser definidas logo na criação de uma malha.

Para aplicar o mapeamento de uma textura a uma malha é necessário invocar um método que necessita dos vectores *uvCounts* e *uvIds*.

O vector *uvCounts* contém o número de coordenadas UV por polígono, visto que o mapeamento é feito por vértice por polígono. Na Figura 30 verifica-se que cada triângulo da malha possui três coordenadas UV. Se uma das entradas do vector for “0” então o polígono correspondente não é mapeado na textura.

O vector *uvIds* contém os índices UV que são mapeados para cada par polígono/vértice na malha. A entrada deste vector especifica que u_v s da tabela de u s e v s da malha mapeiam cada vértice pertencente a um polígono. Por exemplo, ao triângulo 1 da Figura 30 que se encontra na última casa do vector *uvCounts* correspondem três vértices no vector *uvIds* (correspondência indicada pela seta). A cada um destes vértices está atribuída uma coordenada u e uma coordenada v cujos valores se encontram nos respectivos vectores.

A soma de todas as entradas do vector *uvCounts* tem de ser igual ao tamanho do vector *uvIds*.

Ao criar uma nova malha é necessário ter em atenção a orientação pela qual cada polígono é construído, ou seja a ordem pela qual inserimos as ligações entre os vértices no vector de ligações, de modo aos traços mais grossos corresponderem de facto aos traços delimitadores da malha.

Para esse efeito, dando o modelo inicial como correcto, com as faces orientadas de forma consistente, ao criar novas faces para um novo objecto, basta verificar se a orientação das novas faces é a mesma que a da face original. Esta verificação pode ser feita através do produto interno entre as normais das duas faces, se a orientação for diferente troca-se a ordem dos vértices de construção do novo polígono.

No âmbito das texturas e iluminação também se tem de ter alguma atenção a passar as propriedades de uma malha original para uma nova malha. Uma forma de aplicar os *shaders* da malha existente a uma nova malha é através da classe *MFnDependencyNode* e duma instrução MEL que permite aplicar os nós dependentes à malha criada.

Após a pesquisa da construção de uma malha poligonal, passou-se às funcionalidades disponibilizadas pelo Maya que permitem actuar sobre os objectos criados.

Para percorrer uma malha, a API C++ Maya disponibiliza um conjunto de iteradores. É possível percorrer um objecto através das suas arestas, vértices e polígonos. Pode-se também aceder às propriedades da malha através de diversas funções inerentes à própria malha.

Para ter uma ideia melhor das funcionalidades disponibilizadas pela API C++ do Maya pode-se constatar as diferentes classes e funções respectivas a malhas de polígonos no campo API em (Autodesk Maya 2008). Entre outras, as classes que suportam as malhas de polígonos são essencialmente: *MFnMesh*, *MItMeshEdge*, *MItMeshFaceVertex*, *MItMeshPolygon*.

Este estudo permitiu também observar que em C++ pode-se invocar instruções MEL, por exemplo, no caso de uma funcionalidade MEL não se encontrar na API C++ pode-se simplesmente invocar a mesma.

5.4.3 *Plug-ins* implementados em C++ Maya

Para atingir os objectivos propostos criaram-se os seguintes *plug-ins* em C++ para o programa Maya:

- Dois *plug-ins* com o algoritmo genérico de conversão, um com o método de raiz de 3 e outro com o método de Velho e Zorin.

Estes *plug-ins* são aplicados a objectos representativos de tecidos modelados em Maya e efectuam a acção de percorrer a superfície que representa o tecido e converter as malhas poligonais, através da técnica de conversão proposta, em malhas 4-k, no formato específico de malhas requerido pelo simulador implementado em (Birra, 2006).

- Um *plug-in* de exportação que percorre a malha convertida e exporta a informação da malha representante do tecido para um ficheiro com um formato .3dm, para ser carregado no simulador de malhas com detalhe variável.

Ao longo da criação dos *plug-ins* de conversão encontraram-se algumas dificuldades:

- A nível do utilizador, o Maya é um programa pouco intuitivo, com muitas funcionalidades e muitas potencialidades, o que torna o programa um pouco confuso e difícil de manusear à primeira.

A documentação disponível para a aprendizagem da modelação e simulação em Maya é apoiada por diversa documentação, tanto literária como cibernética e, é feita através da construção e animação exemplificativa de objectos.

- A nível de desenvolvimento foram encontradas diversas dificuldades, principalmente pelo Maya apresentar uma API C++ confusa, pouco explícita e com uma organização/hierarquia pouco intuitiva.

A documentação literária de desenvolvimento encontrada resume-se a duas obras de um autor, David Gould, em que não se encontraram as suas edições em Portugal. A documentação cibernética encontrada é pouca, no entanto, os fóruns encontrados para expor dúvidas são muito úteis(The CGSociety, 2002)(Lanier, 2001).

A fraca documentação leva a situações em que quando se pretende adicionar uma nova funcionalidade ao *plug-in*, perca-se muito tempo à procura das funções que tornam o objectivo possível.

6. Análise de Resultados

Neste capítulo estudam-se os resultados da técnica de conversão proposta no capítulo anterior, aplicada a diversos modelos e analisa-se, comparativamente, os dois métodos incorporados na técnica: método de raiz de 3 e método de Velho e Zorin.

A abordagem à análise de resultados foi a seguinte:

- Análise visual da técnica de conversão proposta utilizando os dois métodos com os diversos critérios de afinidade.
- Análise geométrica dos resultados da técnica de conversão proposta.
- Análise de um conjunto de estatísticas sobre os resultados da técnica de conversão.

As duas últimas análises foram feitas através do programa de análise de malhas poligonais Polymeco (Silva, 2007), o qual permite, não só comparar malhas poligonais entre si, como também obter dados estatísticos relativos à qualidade de cada uma das malhas.

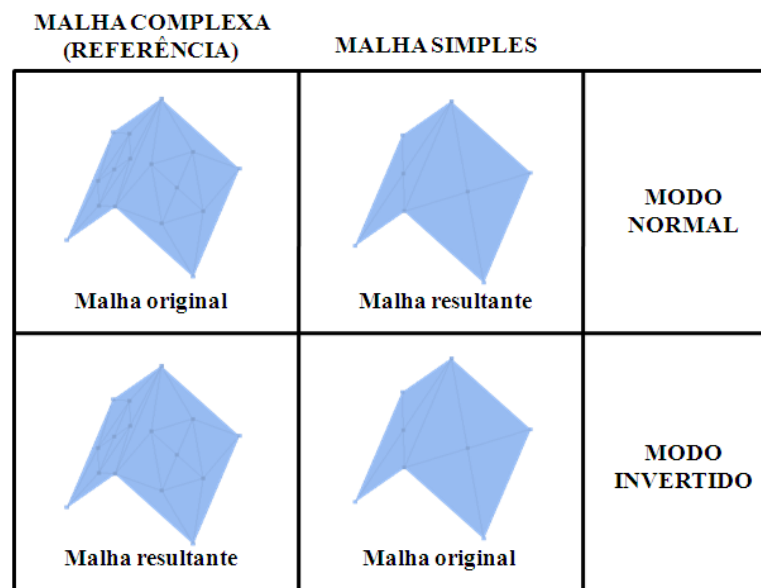


Figura 31 – Necessidade de inverter as malhas no Polymeco

O método de conversão com regiões de afinidade funciona na direcção oposta às características do Polymeco, referidas na secção 2.4, no aspecto de começar por uma malha original mais simples e converter a malha para malhas mais complexas (mais subdivididas). Para utilizar o Polymeco foi necessário trocar os papéis da malha resultante e da malha original, como ilustrado na Figura 31, no modo invertido.

Para fazer esta troca, agindo de acordo com as características do programa, que consiste na comparação entre uma malha original mais complexa e uma malha resultante simplificada, definiu-se como área de teste as malhas resultantes e como cenário de teste a malha original, como ilustrado na Figura 32.

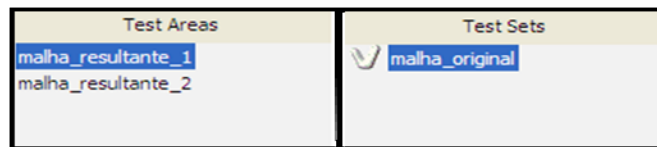


Figura 32 - Áreas e cenário respectivo no Polymeco

Os resultados das métricas aplicadas nos modelos que se encontram em diferentes áreas de teste podem ser comparados regulando a escala dos valores dos resultados de cada malha através de um histograma de distribuição de cores dos respectivos modelos, disponibilizado no programa, exemplificado na Figura 33.

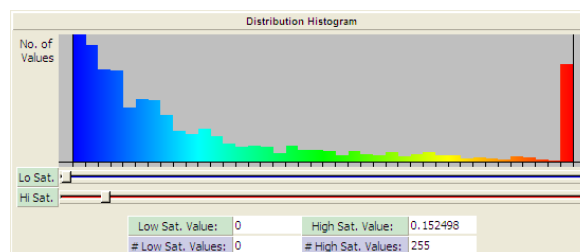


Figura 33 - Histograma de distribuição de cores – Polymeco

Para comparação dos resultados entre uma malha original e uma malha resultante, de acordo com o critério que tiver sido escolhido para o efeito, o Polymeco usa uma escala de cores muito útil para visualizar as diferenças entre o modelo original modelado e o modelo resultante, mostrada na Figura 34. O arco-íris representa as cores atribuídas aos valores

resultantes da métrica de análise escolhida, definindo as cores desde o valor mínimo dos resultados (0) ao valor máximo, definido dinamicamente pelo programa.



Figura 34 - Escala de comparação de diferença entre duas malhas

Neste trabalho, visto os papéis das malhas de referência serem ocupados pelas malhas resultantes dos processos de conversão, e uma vez que a escala de cores do histograma é determinada dinamicamente para cada comparação individual, há necessidade de ajustar manualmente as referidas escalas para que se use uma escala única nos diversos testes comparativos, referentes a uma mesma malha de partida.

A ligação entre os modelos construídos e convertidos no Maya e o programa Polymeco é feita através da exportação dos respectivos modelos para um ficheiro com um formato compatível com o Polymeco, que suporta ficheiros com o formato obj, off ou stl. No site (Highend Network, 1996) encontrou-se um *plugin* para o Maya que permite esta ligação: exporta os modelos do Maya para ficheiros .obj requeridos pelo Polymeco.

Os modelos escolhidos para a análise dos resultados foram um vestido composto maioritariamente por quadriláteros, ilustrado na Figura 35, e umas calças modeladas em Maya, Figura 41, compostas por mais triângulos do que quadriláteros. Estes modelos de teste foram escolhidos para permitir analisar os resultados dos algoritmos propostos em modelos compostos pelos dois formatos de malhas mais usados na representação de tecidos, malhas de quadriláteros e de triângulos.

De seguida, apresentam-se os resultados das análises efectuadas.

6.1 Resultados visuais

A análise dos resultados visuais consiste na visualização do efeito que a técnica proposta teve nas malhas, usando os critérios de afinidade. Os métodos propostos inicialmente

apresentavam algumas perturbações nas malhas resultantes, com esta análise pretende-se verificar se os defeitos foram corrigidos.

Os defeitos encontrados nos primeiros métodos de conversão implementados consistiram em: artefactos visuais e artefactos geométricos mais facilmente detectáveis ao longo da silhueta da malha. Os critérios de afinidade criados na técnica de conversão por regiões com vista a corrigir estes defeitos são, respectivamente, a continuidade UV e os vincos. Utilizou-se o modelo da Figura 35 para verificar os resultados visuais da técnica de conversão proposta comparativamente aos resultados dos métodos de conversão inicialmente implementados.

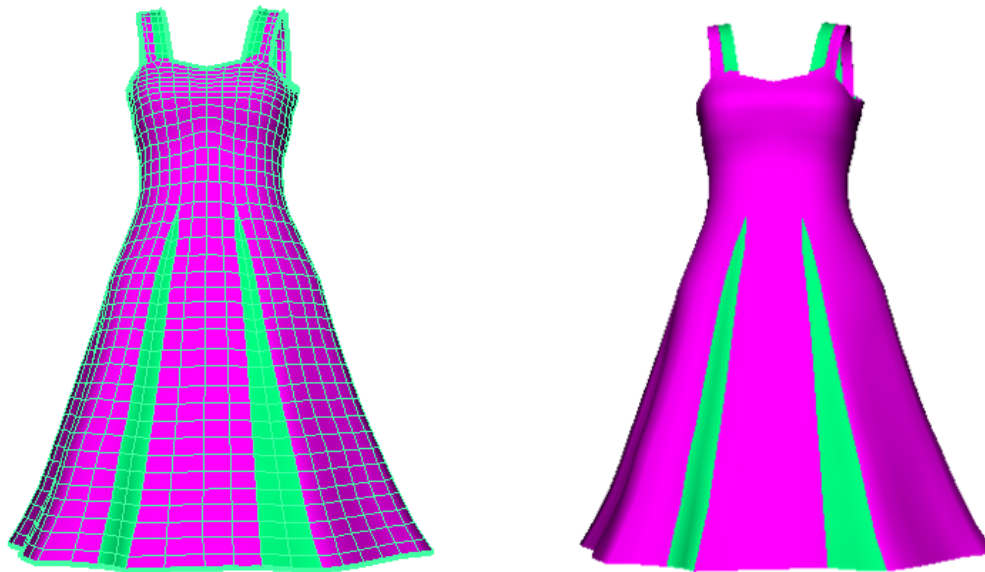


Figura 35 - Modelo do vestido analisado

Tentou-se corrigir os artefactos visuais criados anteriormente na malha com os métodos de subdivisão iniciais, descritos na secção 4.3, aplicando o critério de afinidade continuidade UV na técnica de conversão proposta. Este critério poderia também ser facilmente adaptado para outras situações, como a descontinuidade na cor ou nas propriedades do material do modelo (usadas posteriormente durante a simulação).

Inicialmente, o método raiz de 3 apresentava artefactos visuais, identificados na secção 4.3, como se pode ver na Figura 36 a). Usando o método raiz de 3 com regiões de faces afins observa-se a correcção dos artefactos visuais (explicados em 4.3.1) na Figura 36 b).

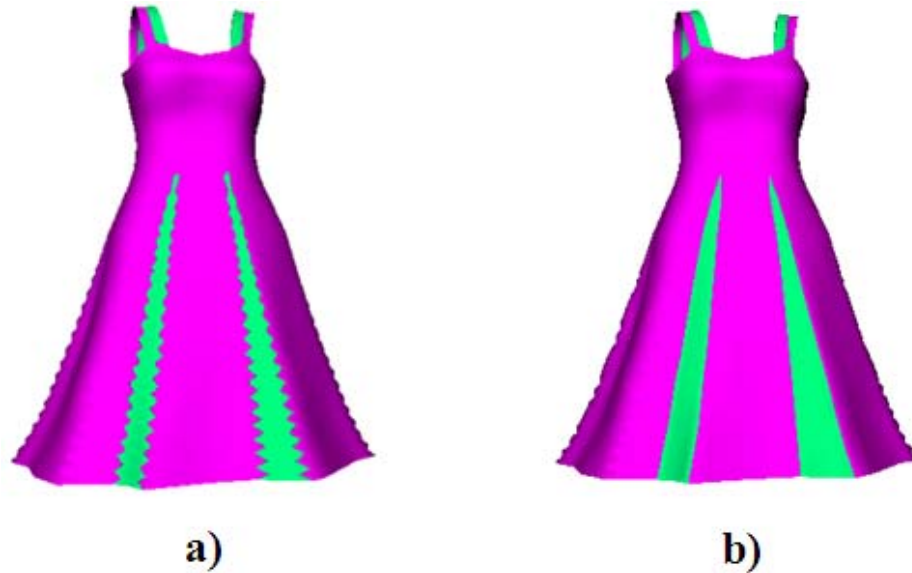


Figura 36 - Conversão com o método raiz de 3 + continuidade UV

O método de Velho e Zorin, aplicado ao modelo do vestido não criava artefactos na primeira conversão, como se pôde ver na secção 4.3. Este facto justifica-se pelo vestido apresentar quadriláteros ao longo das fronteiras onde a textura (ou o material) do vestido muda e o método preservar as arestas dos quadriláteros.

Para verificar a correcção dos artefactos visuais criados anteriormente, explicados em 4.3.1, aplicou-se o método de Velho e Zorin, de forma sucessiva, com as alterações introduzidas no capítulo anterior, usando o critério de afinidade da continuidade UV.

O método de Velho e Zorin, implementado inicialmente, apresenta os mesmos defeitos encontrados no método raiz de 3, como se pode ver na Figura 37 a), após duas passagens de conversão sucessivas. Em contraste, na Figura 37 b), podemos observar o resultado do método corrigido de acordo com o critério de formação de regiões baseado na continuidade de coordenadas de textura.

Utilizando a técnica de conversão por regiões eliminam-se, assim, os defeitos encontrados ao nível dos artefactos visuais da malha, resultantes da modificação errada constatável na Figura 36 a) e Figura 37 a), das coordenadas de textura de alguns vértices.

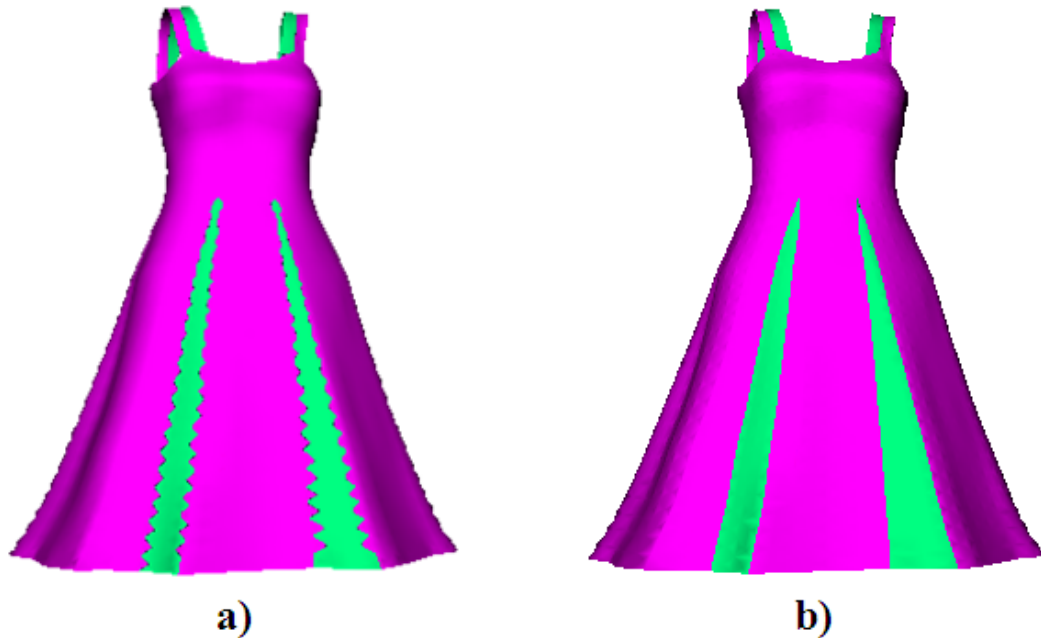


Figura 37 - Conversão com o método Velho e Zorin + continuidade UV

As malhas resultantes dos dois métodos de conversão implementados continuam a apresentar artefactos geométricos porque o critério desenvolvido a pensar neste problema, o critério de afinidade vincos, não foi aplicado no exemplo. No método de raiz de 3, estes artefactos surgem da troca de arestas que é feita ao longo da conversão da malha. No método de Velho e Zorin os artefactos geométricos que surgem na malha derivam do cálculo de novos pontos ligeiramente para dentro do vestido em relação ao seu plano inicial. Os artefactos geométricos criados são explicados em pormenor na secção 4.3.2.

Com o intuito de corrigir os artefactos geométricos, aplicou-se a técnica de conversão proposta ao modelo do vestido, juntamente com o critério de afinidade vincos, com um ângulo máximo de 10° e utilizando os dois métodos de conversão.

Na Figura 38 encontram-se os resultados do método raiz de 3 com regiões afins. Comparativamente aos resultados obtidos anteriormente com os métodos de conversão sem critérios de afinidade e observados na Figura 38 a), referidos na secção 4.3, a técnica de conversão modificada conseguiu eliminar os artefactos geométricos, visíveis ao longo da silhueta da malha, conforme se vê na Figura 38 b).

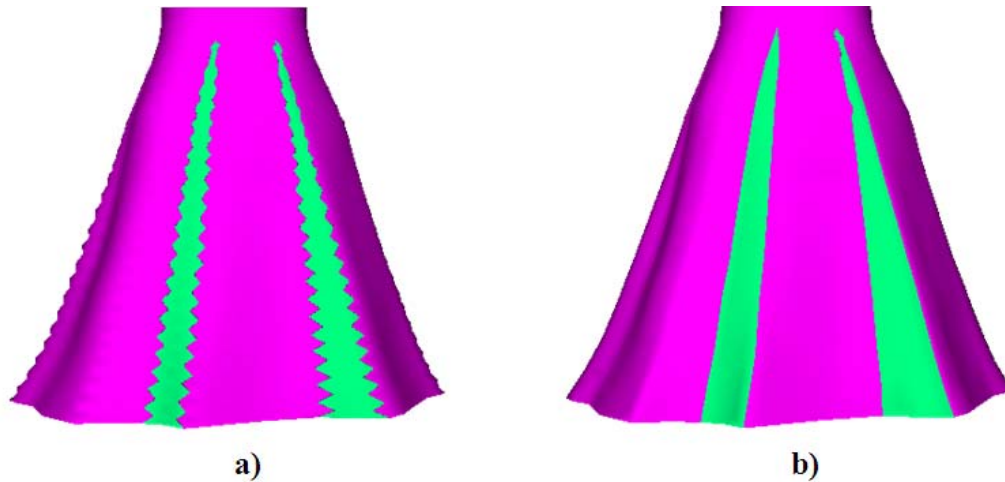


Figura 38 - Conversão com o método raiz de 3 + vincos

O método de Velho e Zorin, como explicado anteriormente, não cria artefactos da primeira vez que se aplica a este modelo, tendo que ser aplicado duas vezes seguidas para gerar os artefactos geométricos e se poder verificar a correcção dos mesmos com o método adaptado a regiões.

Os resultados da técnica de conversão proposta com o método de Velho e Zorin são visíveis na Figura 39, onde se nota a diferença dos resultados obtidos na secção 4.3 patentes na Figura 39 a), com os resultados obtidos com a técnica de conversão baseada em regiões afins, na qual se conseguem eliminar os artefactos geométricos ao longo da malha (Figura 39 b)).

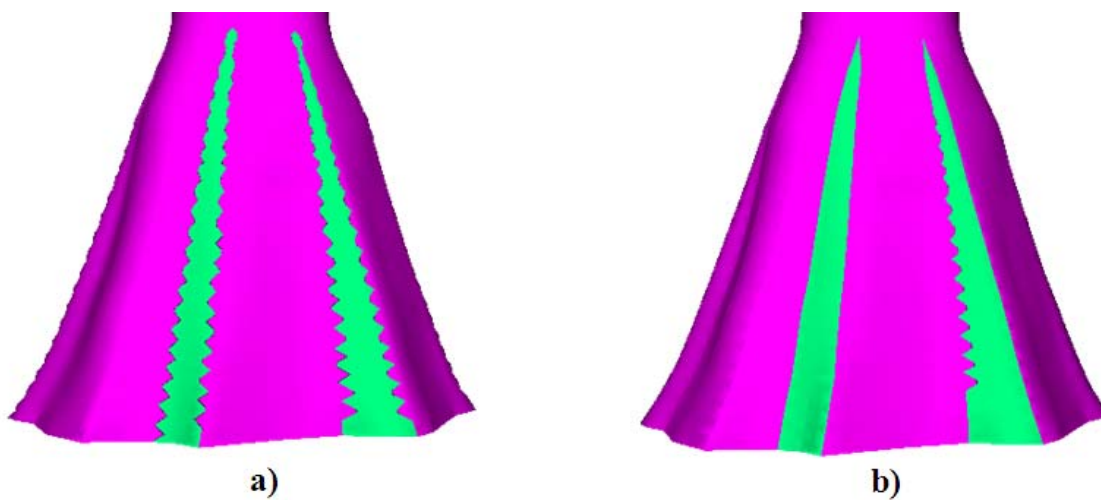


Figura 39 - Conversão com o método Velho e Zorin + vincos

As malhas resultantes dos dois métodos de conversão com o critério de afinidade vincos eliminam os artefactos geométricos da malha mas apresentam artefactos visuais, visto que não foi utilizado o critério que corrige esse defeito, a continuidade UV. Os artefactos visuais criados são explicados em pormenor na secção 4.3.1.

Para corrigir os dois defeitos encontrados podem-se conjugar os diversos critérios de afinidade, de modo a obter uma malha mais semelhante à malha original. Na Figura 40 aplicou-se ao vestido o método raiz de 3 e os critérios de afinidade continuidade UV e vincos conjugados, com o ângulo máximo de 10°. Os resultados apresentados mostram um vestido convertido na Figura 40 b) sem artefactos visuais nem artefactos geométricos.

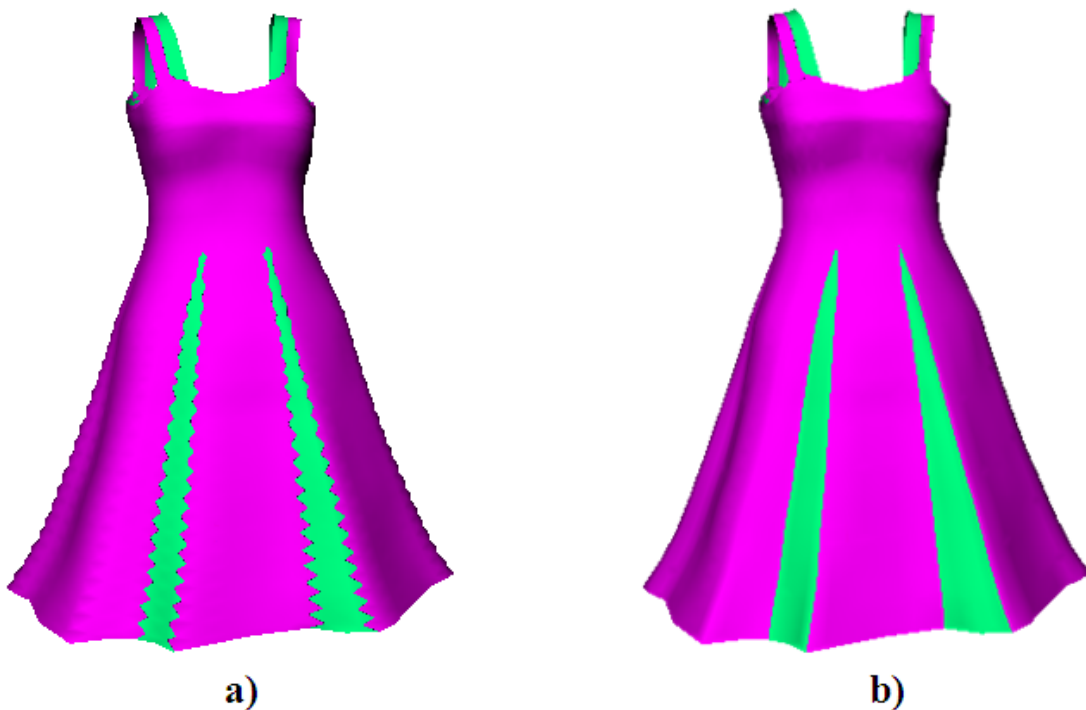


Figura 40 – Conversão com o método raiz de 3 + continuidade UV e vincos

6.2 Resultados geométricos com o polymeco

A análise geométrica das malhas resultantes foi realizada com o programa Polymeco. Neste estudo focou-se a atenção nas funcionalidades de comparação *Geometric Distance* e *Normal Deviation*.

No decorrer do estudo as malhas resultantes definem sempre a área de teste e a malha original define o cenário de teste de modo a respeitar as características do programa, o qual compara uma malha mais complexa com várias malhas simplificadas.

Foram escolhidos dois modelos para os testes realizados com as duas métricas de comparação: o vestido mostrado na secção anterior, ilustrado na Figura 35, e as calças apresentadas na Figura 41. Esta escolha permitiu analisar os algoritmos propostos em duas vertentes:

- malhas compostas por um maior número de quadriláteros (vestido).
- malhas compostas por um maior número de triângulos (calças).

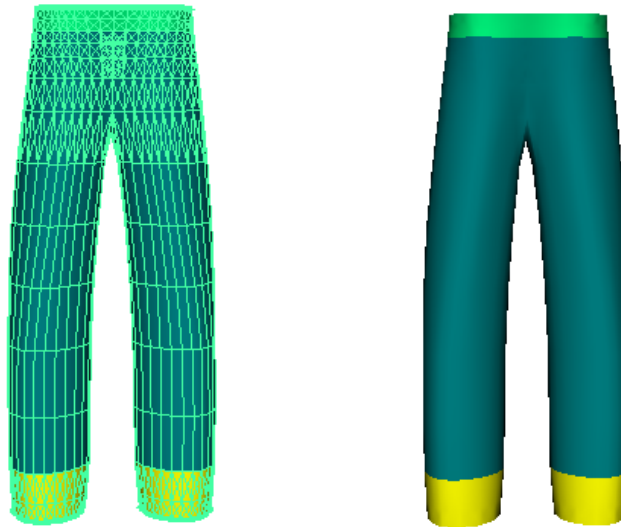


Figura 41 - Modelo das calças analisadas

Foram aplicados os dois métodos de conversão com a técnica proposta nos dois modelos. As métricas de comparação escolhidas permitem avaliar alterações geométricas na malha, o que leva a que o critério de afinidade vincos seja o mais adequado a usar para as comparações, visto que é o único que tenta corrigir alterações geométricas da malha. No modelo do vestido usou-se apenas o critério de afinidade vincos e no modelo das calças usaram-se dois critérios conjugados, a continuidade UV e o vincos.

Ao longo dos testes, foram utilizados diferentes ângulos para o critério vincos para se poder observar as diferenças das malhas resultantes com diferentes regiões definidas. Foi utilizada uma escala comum, mostrando-se em cada imagem dos resultados os valores mínimos e máximos definidos na escala, para se poder efectuar a comparação entre os diferentes resultados.

6.2.1 *Geometric Distance*

Esta métrica é visível em malhas mistas ou quadrangulares, os quadriláteros são polígonos que podem ser não co-planares, provocando deste modo distâncias geométricas nas malhas resultantes. Os testes efectuados em malhas plenamente triangulares, assim formadas por polígonos co-planares, apresentam valores de distância geométrica muito reduzidos e muito próximos de zero, por esta razão não estão incluídas na demonstração dos resultados desta métrica malhas completamente triangulares.

Com a métrica *Geometric Distance*, no modelo do vestido, o método raiz de 3 para diferentes ângulos apresenta os resultados obtidos na Figura 42. Como se pode observar, à medida que diminuímos o ângulo, as distâncias geométricas da malha resultante à malha original diminuem, demonstrando desta forma o controlo do critério vincos sobre a subdivisão de malhas com artefactos geométricos.

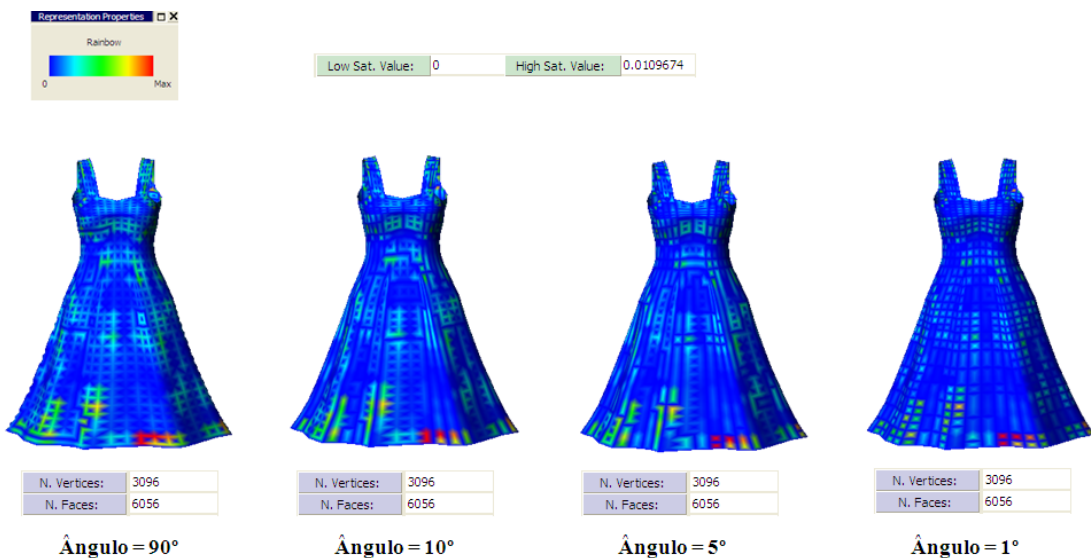


Figura 42 - Método Raiz 3 no vestido com critério vincos – *Geometric Distance*

Com o modelo das calças, os resultados do método raiz de 3 são similares aos do vestido, diminuindo as distâncias geométricas com a diminuição do ângulo máximo de afinidade. Este facto é justificado pelo critério que define regiões de subdivisão ser mais apertado quanto menor for o ângulo definido, deixando a malha mais aproximada à configuração da sua malha original.

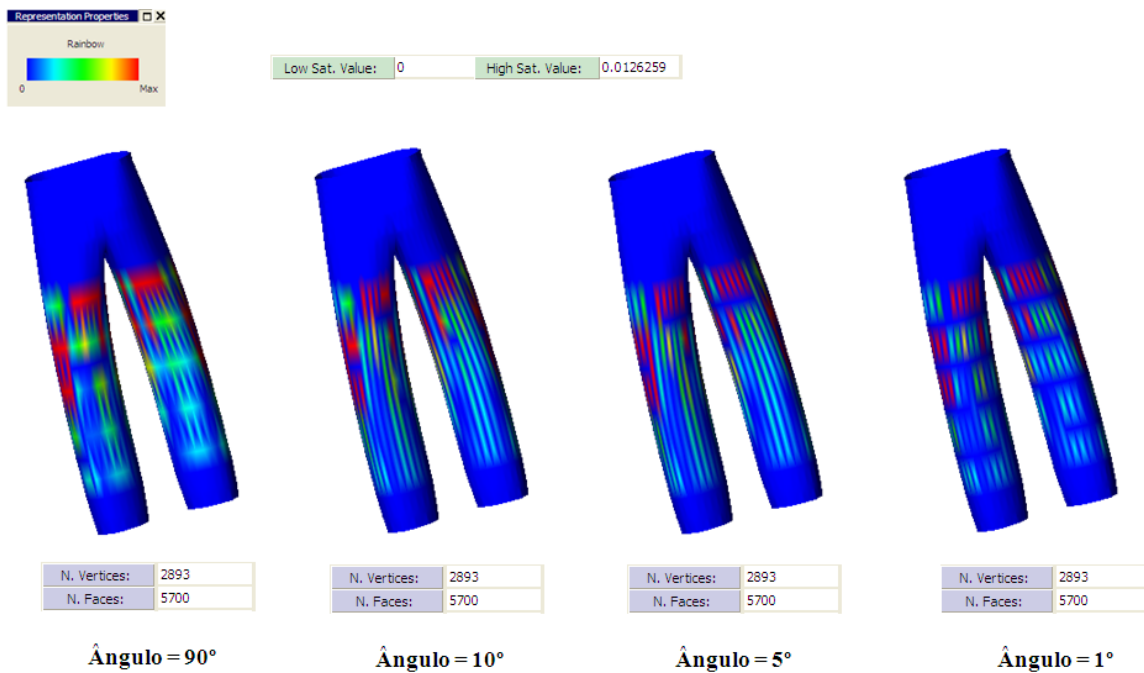


Figura 43 - Método Raiz 3 nas calças com critério vincos – *Geometric Distance*

Os dois modelos convertidos pelo método raiz de 3 mantêm o mesmo número de vértices e número de faces ao longo da diminuição dos ângulos máximos de subdivisão. Isto justifica-se pelo método subdividir sempre as malhas, o ângulo máximo do critério define se é feita a troca de arestas do método ou não, logo as diferentes malhas resultantes apenas diferem na configuração das arestas, à medida que o ângulo que determina a afinidade vai sendo alterado.

O método de Velho e Zorin aparentemente não apresenta tantas diferenças geométricas entre os diversos ângulos do critério vincos no modelo do vestido, sendo a distância geométrica entre a malha resultante e a malha original semelhante ao longo da variação do ângulo

imposto, como se demonstra na Figura 44. Estes resultados são coerentes com o facto do método Velho e Zorin não apresentar artefactos no modelo do vestido.

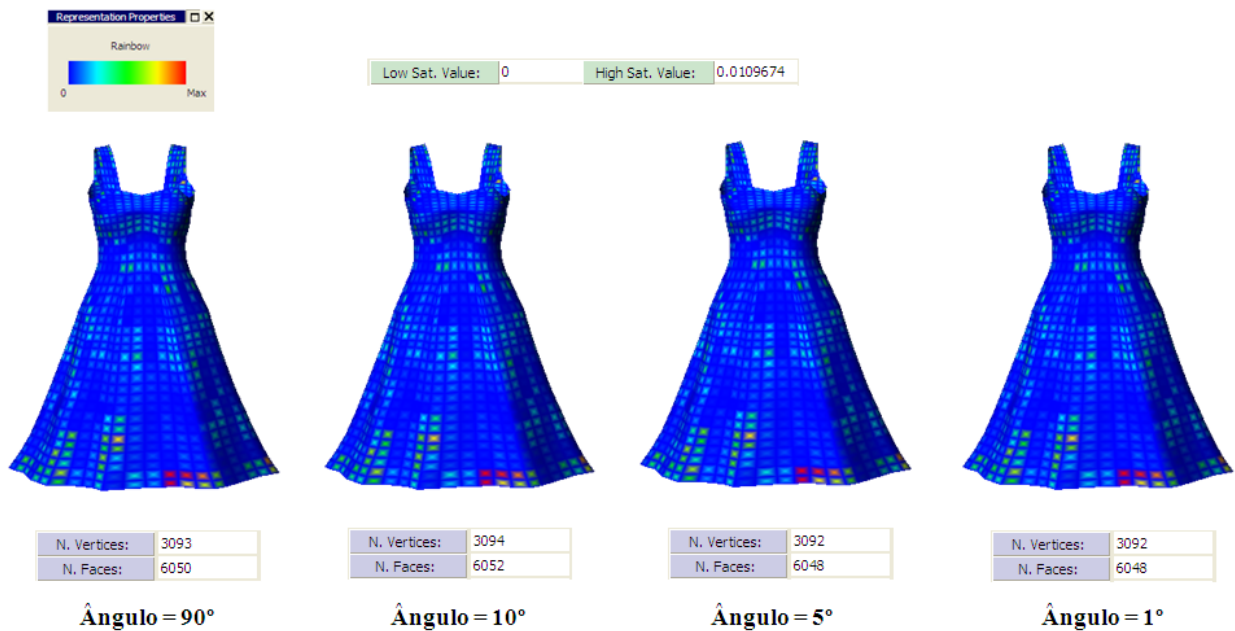


Figura 44 - Método Velho e Zorin no vestido com critério vincos – *Geometric Distance*

No entanto, no modelo das calças o método de Velho e Zorin apresenta mais diferenças geométricas do que no vestido, como se pode ver na Figura 45. As diferenças geométricas vão diminuindo ao longo da diminuição do ângulo máximo de subdivisão, sendo mais notável a diferença entre o ângulo a 5° e o ângulo a 1°.

As diferenças observadas entre um modelo e outro podem ser explicadas pelo tipo de malha de cada um. O vestido é composto por uma malha poligonal maioritariamente de quadriláteros enquanto que as calças possuem mais triângulos, apresentando uma malha mista. O método de Velho e Zorin trata os quadriláteros inserindo um novo ponto no centro de cada quadrilátero e unindo aos vértices do mesmo. Desta forma a configuração inicial da malha não é alterada, ocorrendo poucas diferenças geométricas entre a malha original e a originada, desde que os quadriláteros iniciais sejam aproximadamente planos, o que parece ser o caso do modelo do vestido.

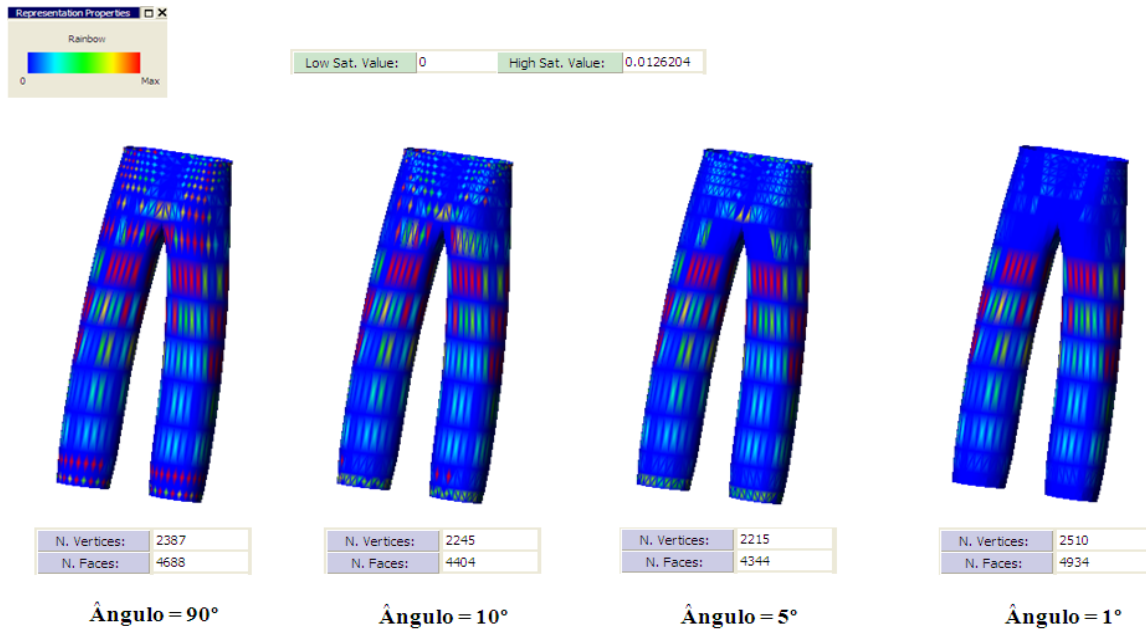


Figura 45 - Método Velho e Zorin nas calças com critério vincos – *Geometric Distance*

Relativamente ao número de vértices e polígonos criados, no modelo do vestido estes mal variam, pelas razões explicadas no parágrafo anterior. No entanto, nas calças o número de vértices e polígonos vai, curiosamente, descendo com a diminuição do ângulo máximo, com excepção do último ângulo, o de 1°, onde o número de vértices e faces aumenta explosivamente. Este aumento é explicado porque quanto mais regiões são impostas menos arestas internas desaparecem e efectuam-se mais divisões. Por exemplo, se um par de triângulos formar uma região, a aresta interna desaparece, cria-se um novo ponto e surgem um novo vértice com quatro novos polígonos. Se o par de triângulos não formar uma região, cada triângulo cria um novo vértice e três novos triângulos, formando dois novos pontos e seis novos polígonos.

A comparação directa entre os dois métodos de conversão com a técnica proposta foi feita com os ângulos maior e menor, testando sobre o modelo das calças (uma malha mista) e regulando a escala do histograma de distribuição de cores para obter a mesma escala nos dois métodos. Os resultados encontram-se na Figura 46.

Na Figura 46 nota-se que o método raiz de 3 cria mais vértices e polígonos que o método de Velho e Zorin com o ângulo de 90°. A nível geométrico o método de raiz de 3 aparenta ter

maiores valores (em valor absoluto) de distância geométrica, mas o método de Velho e Zorin possui um maior número de zonas onde tais erros existem, ao longo da malha. No método de raiz de 3 os pontos são criados no mesmo plano que o modelo inicial e de seguida efectua-se a troca de arestas internas de pares de triângulos, enquanto que, no método de Velho e Zorin, quando se eliminam arestas internas dos pares de triângulos podem criar-se novos pontos ligeiramente afastados do plano das faces iniciais.

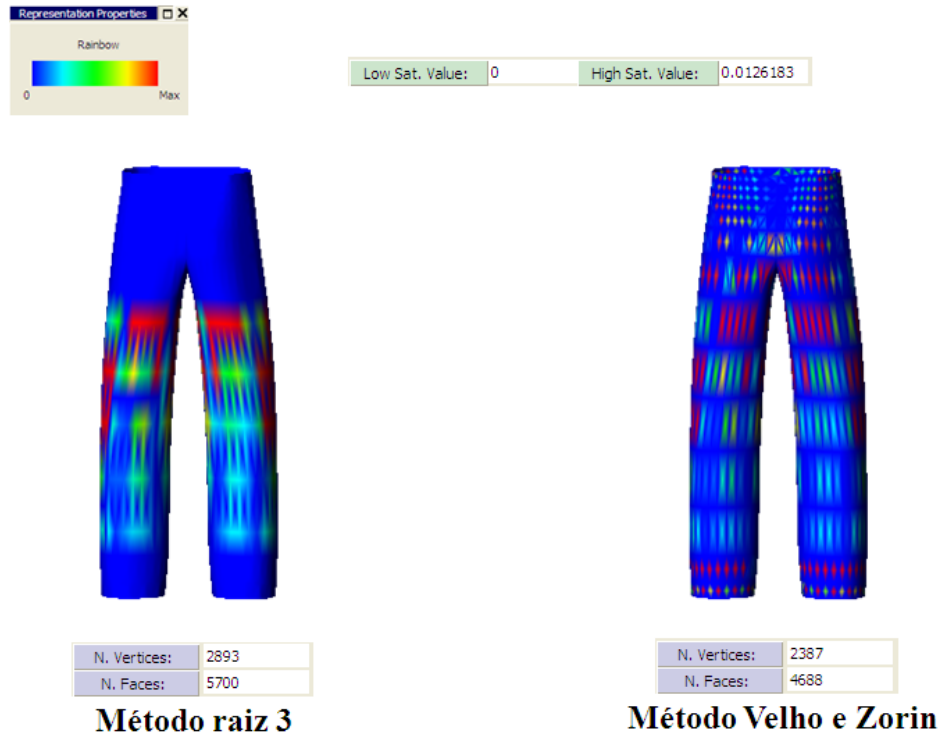


Figura 46 - Comparação dos métodos conversão nas calças com critério vincos a 90° – *Geometric Distance*

O método raiz de 3 cria mais polígonos que o método de Velho e Zorin porque subdivide sempre todos os polígonos, enquanto que o método de Velho e Zorin agrupa os triângulos e elimina a aresta interna dos mesmos e, só depois, subdivide os polígonos, criando menos dois polígonos por cada par de triângulos encontrado.

Com o critério vincos a 1°, os resultados demonstrados na Figura 47 mostram que apesar do método raiz de 3 criar mais vértices e polígonos que o método de Velho e Zorin, ambos possuem valores de distância geométrica similares.

A nível da distância geométrica, com o ângulo a 1° , os resultados dos dois métodos são aproximados porque o sistema de subdivisão é quase idêntico quando se aplica um critério tão apertado. No método de raiz de 3 insere-se um novo ponto no meio de cada polígono e não se trocam tantas arestas porque não pertencem às mesmas regiões e no método de Velho e Zorin não se eliminam tantas arestas internas e insere-se um novo ponto no meio de cada polígono.

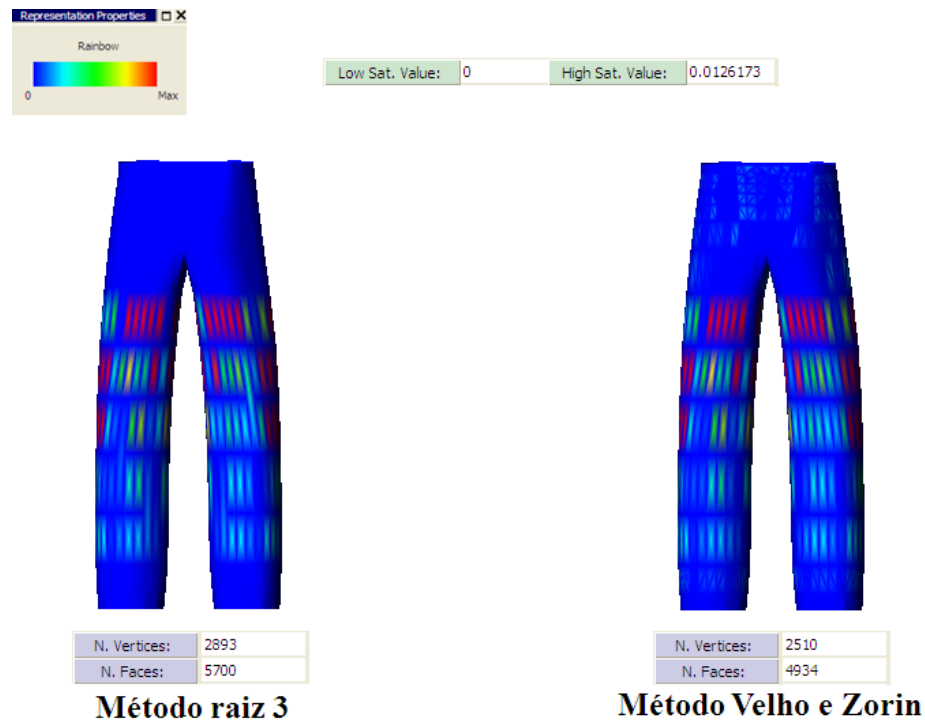


Figura 47 - Comparação dos métodos de conversão nas calças com critério vincos a 1° – *Geometric Distance*

O método de raiz de 3 continua a criar mais polígonos que o método de Velho e Zorin pela razão explicada no exemplo anterior, de vincos a 90° .

6.2.2 Normal Deviation

A métrica *Normal Deviation* seria, em princípio, útil para detectar situações em que as malhas de comparação possam diferir na orientação das respectivas faces. Esta situação ocorre regularmente e pode até estar presente em cenários onde nem sequer há alteração ao

número e localização dos vértices, mudando apenas a forma como se definem as faces. Isto é especialmente relevante no método de raiz de 3, durante a fase de troca de arestas.

Nos testes realizados usando esta métrica obtiveram-se resultados completamente contraditórios às expectativas. Por exemplo, ao diminuir o ângulo usado no critério vincos, seria de esperar que os erros obtidos fossem sucessivamente menores, visto não serem considerados numa mesma região os polígonos com orientações ligeiramente diferentes. Os resultados foram exactamente o oposto, diminuindo o valor médio do desvio das normais, assim como os valores máximos, quando o critério dos vincos era relaxado, usando um limite superior para o ângulo.

O que se passa está ilustrado na Figura 48, recorrendo a uma malha composta por um único triângulo, o qual deu origem a 3 outros, após a subdivisão. Este cenário corresponde a utilizar um ângulo de 0° no critério vincos, o que força a que cada polígono da malha inicial dê origem a uma região própria.

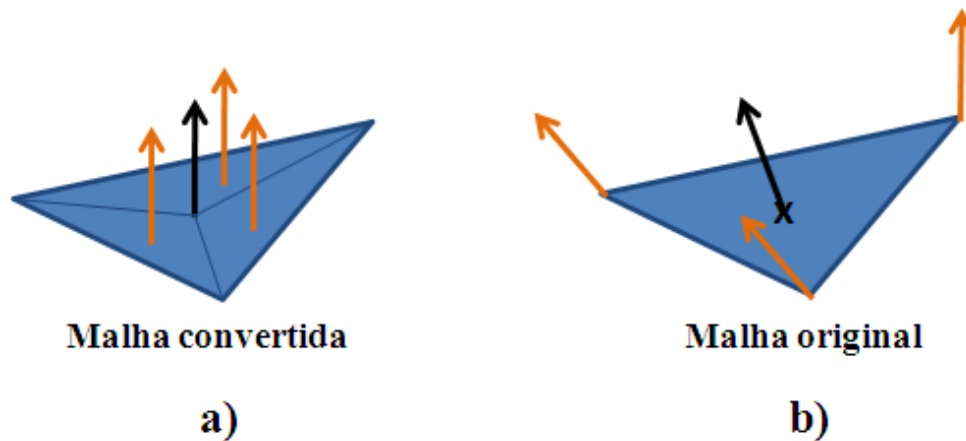


Figura 48 - Cálculo da orientação das normais entre duas malhas com o Polymeco

Na Figura 48 a) temos o resultado obtido após a conversão, onde se pode ver que foi introduzido um vértice no centro da face inicial, na Figura 48 b). Ao comparar os desvios das normais entre estes dois modelos, representados pelas setas a preto, o Polymeco compara a normal do novo vértice da malha convertida, com uma normal estimada no centro do triângulo do modelo inicial. Enquanto a normal do novo vértice, obtida por ponderação das faces adjacentes (setas a laranja na Figura 48 a)), conduz a uma normal com a mesma

direcção que a de cada uma das faces introduzidas, a normal estimada no centro do triângulo da malha inicial é obtida por ponderação das normais dos vértices desse mesmo triângulo (setas a laranja na Figura 48 b)). Ora, estas normais dos vértices são, novamente, obtidas por amostragem das respectivas normais das faces adjacentes. No exemplo mostra-se, claramente, uma situação onde existe um desvio entre as normais dos dois modelos. Por esta razão este critério não pode ser considerado para a nossa análise.

6.3 Dados Estatísticas

Nesta secção apresentam-se alguns dados estatísticos que dão indicação da qualidade das malhas resultantes dos dois métodos de conversão, usando os modelos e testes apresentados na secção anterior. As tabelas permitem comparar a geometria das malhas e ter uma maior percepção dos valores obtidos com cada métrica nos diferentes métodos. As métricas estudadas foram: *Minimum Angle Analysis* e *Geometric Distance*.

Na Tabela 1, preenchida com os dados do modelo do vestido, verifica-se que os dois métodos de conversão criam aproximadamente o mesmo número de vértices e faces, aumentando consideravelmente os seus valores em relação aos valores de partida.

Vestido	Nº Vértices	Nº Faces	Área de superfície	<i>Minimum Angle Analysis</i>				<i>Geometric Distance</i>				
				Mínimo	Médio	Máximo	Variância	Desvio Mínimo	Desvio Médio	Desvio Máximo	Variância	
Malha Original	1580	3024	106,49	0,00065	34,938	57,291	67,088					
Vincos 90°	Raiz 3	3096	6056	106,85	1,61430	39,166	59,502	100,100	0	0,00081	0,01389	2,23E-06
	Velho e Zorin	3093	6050	106,47	4,18234	39,480	59,933	100,483	0	0,00080	0,01388	2,13E-06
Vincos 1°	Raiz 3	3096	6056	106,47	3,36386	40,246	59,407	103,475	0	0,00081	0,01389	2,27E-06
	Velho e Zorin	3092	6048	106,47	7,63768	39,494	59,933	100,003	0	0,00080	0,01388	2,13E-06

Tabela 1 - Dados estatísticos do modelo do vestido

A métrica *Minimum Angle Analysis*, para cada triângulo da malha calcula o valor do seu ângulo mínimo, quanto maiores forem os valores, melhores são os resultados, porque representa que os triângulos aproximam-se mais de triângulos equiláteros. Os resultados mostram não existir grandes diferenças estatísticas entre os dois métodos, quer no que

respeita à qualidade de triângulos medida de acordo com este indicador (ângulo), quer com a métrica *Geometric Distance*.

Não se evidenciam diferenças entre os dois métodos porque o modelo inicial do vestido apresenta uma malha composta, maioritariamente, por quadriláteros, e os dois métodos processam de forma semelhante os quadriláteros que não possuem triângulos vizinhos.

Na Tabela 2, que representa os dados no modelo das calças, verifica-se que os dois métodos de conversão continuam a aumentar significativamente o número de vértices e faces relativamente à malha original, sendo o método raiz de 3 o que produz um maior número de vértices e faces na malha resultante.

Como explicado na secção 6.2.1, o método raiz de 3 subdivide sempre todos os polígonos, enquanto que o método de Velho e Zorin só subdivide os polígonos após agrupar pares de triângulos e eliminar as arestas internas dos mesmos, criando menos dois polígonos por cada par de triângulos. Como o modelo das calças tem mais triângulos do que quadriláteros, o método de Velho e Zorin acaba por agrupar mais triângulos, criando menos vértices e polígonos do que o método de raiz de 3.

Calças	Nº Vértices	Nº Faces	Área de superfície	<i>Minimum Angle Analysis</i>				<i>Geometric Distance</i>				
				Mínimo	Médio	Máximo	Variância	Desvio Mínimo	Desvio Médio	Desvio Máximo	Variância	
Malha Original	1073	2060	840,40	7,37096	29,567	59,492	240,056					
Vincos 90°	Raiz 3	2893	5700	838,93	2,70736	27,931	59,233	179,552	0	0,00056	0,03780	8,23E-06
	Velho e Zorin	2387	4688	839,65	1,19651	23,907	59,285	130,851	0	0,00257	0,05802	3,53E-05
Vincos 1°	Raiz 3	2893	5700	840,25	2,70736	23,134	58,880	154,689	0	0,00056	0,03780	8,23E-06
	Velho e Zorin	2510	4934	840,24	2,24911	20,606	58,996	119,362	0	0,00074	0,03751	9,29E-06

Tabela 2 - Dados estatísticos do modelo calças

Na métrica *Minimum Angle Analysis*, o método raiz de 3 tem valores médios melhores do que o método de Velho e Zorin, o que representa que a qualidade dos seus triângulos é superior. No entanto, os valores da variância indicam que no método raiz de 3 a dispersão do valor médio ao longo da malha é maior, o que leva a que a uniformidade da qualidade dos triângulos seja menor do que no método de Velho e Zorin.

Na métrica *Geometric Distance*, o método raiz de 3, aparentemente, apresenta valores de desvio médios e variância melhores do que o método de Velho e Zorin. No entanto, o método de raiz de 3 com a troca de arestas cria alterações na malha que só seriam visíveis com a métrica *Normal Deviation*, através da comparação da orientação das normais das malhas resultantes com a malha original. Este teste seria importante para verificar qual o método que deixa a malha resultante mais aproximada à malha original.

Os valores obtidos com a métrica *Geometric Distance*, são explicados por o método raiz de 3, em malhas triangulares, criar novos pontos no mesmo plano que o modelo inicial, não variando a distância geométrica dos vértices. No método de Velho e Zorin, primeiro eliminam-se arestas internas dos pares de triângulos e só depois se criam novos pontos que podem estar ligeiramente afastados do plano das faces iniciais. Como a malha do modelo das calças possui mais triângulos do que quadriláteros, o método de raiz de 3 apresenta, então, melhores resultados.

6.4 Resumo

Com os resultados visuais dos dois métodos consegue-se comprovar que o objectivo da técnica de conversão proposta foi atingido. Os artefactos visuais e geométricos são facilmente eliminados por conjunção dos critérios disponíveis para a criação de regiões afins.

Os resultados geométricos em conjunção com os resultados estatísticos obtidos com o Polymeco permitem a comparação entre os dois métodos de conversão: método raiz de 3 e método de Velho e Zorin.

Nas malhas compostas maioritariamente por quadriláteros não existem grandes diferenças entre as malhas resultantes dos dois métodos de conversão. Sendo o número de vértices e polígonos criados semelhante entre as duas, tal como os resultados obtidos com as métricas *Minimum Angle Analysis*, que permite estudar a qualidade das malhas através do ângulo mínimo de cada triângulo, e *Geometric Distance*, que permite calcular a distância geométrica entre duas malhas.

Nas malhas compostas por mais triângulos do que quadriláteros, o método de raiz de 3 produz um maior número de vértices e faces do que o método de Velho e Zorin. Aparentemente, ao nível da qualidade da malha, o método de raiz de 3 apresenta uma melhor qualidade dos triângulos gerados, em média, embora exista uma menor uniformidade dos valores ao longo da malha do que no método de Velho e Zorin. Os resultados da métrica *Geometric Distance* foram melhores no método de raiz de 3, mas não se conseguiu verificar os resultados obtidos com a métrica *Normal Deviation*, que ajudariam a chegar a uma conclusão mais completa.

Com os resultados estudados pode-se concluir que o método de raiz de 3 apresenta melhores resultados de detalhe da malha, obtendo uma melhor qualidade na malha resultante do que o método de Velho e Zorin. No entanto, o método de Velho e Zorin produz menos vértices e faces, o que permite ao simulador de malhas com detalhe variável uma simulação de tecidos menos pesada.

7. Conclusões e Trabalho Futuro

7.1 Objectivos

Em computação gráfica, a representação de tecidos é feita através de malhas poligonais, modeladas livremente por programas de modelação. No entanto, quanto mais detalhe tem uma malha, mais difícil se torna processar a malha ao longo da simulação da mesma. Neste âmbito foi criado, numa aplicação isolada, um simulador de tecidos com detalhe variável, que aplica detalhe apenas a áreas necessárias para preservar o realismo do tecido.

O objectivo da dissertação apresentada foi o de criar um conjunto de funcionalidades que disponibilizassem um sistema de conversão de malhas poligonais, modeladas de forma livre num programa de modelação, para malhas 4-k, o formato requerido pelo simulador de malhas com detalhe variável.

Os dois métodos de conversão criados inicialmente produziram artefactos visuais e geométricos na malha, o que levou a um novo objectivo, criar um algoritmo de conversão que, em conjunto com os métodos de conversão criados, corrigisse os artefactos encontrados. A principal característica deste novo algoritmo é a determinação de regiões de polígonos afins sobre o modelo original, de modo a que quando a conversão é efectuada, as características individuais dos modelos geométricos, como os vincos e o mapeamento de texturas, sejam preservadas. Um ponto importante na construção deste algoritmo foi o de permitir a extensibilidade do algoritmo a outros critérios de afinidade que permitam determinar regiões afins.

Por fim, outro objectivo importante desta dissertação foi a avaliação do trabalho, através da análise visual e geométrica entre os resultados obtidos pelos dois métodos de conversão e o modelo original. Analisando-se, também, alguns indicadores que permitem fazer uma comparação metódica entre os dois métodos.

7.2 Contribuições e resultados

A primeira contribuição da dissertação foi a generalização de dois algoritmos de subdivisão de triângulos conhecidos, a subdivisão de raiz de 3 e a subdivisão de Velho e Zorin, para passar a abranger também malhas compostas por quadriláteros. Criando-se, então, dois métodos de conversão que permitem a conversão de malhas poligonais em malhas 4-k: método de raiz de 3 e método de Velho e Zorin. Estes métodos são descritos no capítulo 4. No caso do método de raiz de 3 é ainda possível aplicá-lo a malhas de polígonos genéricos (N-faces).

A segunda contribuição residiu na proposta de um novo algoritmo extensível que permite subdividir malhas definindo critérios de afinidade que delimitam regiões de subdivisão. O algoritmo proposto visa a correcção dos defeitos encontrados no capítulo 4. Esta contribuição cobre o segundo objectivo da dissertação e encontra-se descrita no capítulo 5.

Outra contribuição dada por esta dissertação foi a análise visual e geométrica dos métodos de conversão criados juntamente com os critérios de afinidade que permitem delimitar as áreas de subdivisão das malhas, cumprindo-se o terceiro objectivo. A análise é elaborada no capítulo 6.

Por fim, a última contribuição dada foi o desenvolvimento de *plug-ins* que permitem a conversão de malhas poligonais modeladas em Maya para malhas 4-k, requeridas pelo simulador de tecidos de malhas adaptativas, através da exportação de um ficheiro, através do programa Maya, para o formato requerido pelo simulador. Isto permite o carregamento do modelo no simulador de tecidos de detalhe variável.

Com esta última contribuição, o objectivo inicial é cumprido, efectuando-se a conversão das malhas através do algoritmo de subdivisão por regiões com critérios de afinidade com os dois métodos de conversão: método de raiz de 3 e método de Velho e Zorin.

Relativamente aos resultados, com os métodos de conversão iniciais, os resultados não foram satisfatórios, apresentando artefactos visuais e geométricos nos modelos convertidos. No entanto, a técnica de conversão proposta, que visava corrigir estes mesmos artefactos,

permitiu uma correcção controlada dos artefactos criados, através de critérios de afinidade, que permitem corrigir especificamente os artefactos que desejamos.

A análise das malhas resultantes, elaborada no capítulo 6, pretendia concluir sobre qual o método de conversão que obtém melhores resultados.

Nas malhas compostas maioritariamente por quadriláteros não se evidenciaram grandes diferenças entre as malhas resultantes dos dois métodos de conversão.

Nas malhas compostas por mais triângulos do que quadriláteros, o método de raiz de 3, apesar de produzir um maior número de vértices e faces do que o método de Velho e Zorin, apresenta melhores resultados ao nível da qualidade da malha e de distância geométrica relativamente à malha original.

Pode-se concluir que o método raiz de 3 é melhor para apresentar um detalhe mais refinado do tecido, mas no entanto, o método de Velho e Zorin produz um menor número de vértice e faces, sendo o mais indicado para uma simulação de tecidos que não requer tanto detalhe, aumentando a rapidez do simulador, visto que não precisa de processar tantos vértices e faces como os criados pelo método de raiz de 3.

Conseguiram-se carregar os modelos criados em Maya no simulador de tecidos com detalhe variável, através da exportação das malhas resultantes da conversão dos modelos para o formato específico necessário ao simulador.

7.3 Trabalho Futuro

Com esta dissertação ficam em aberto alguns estudos que se poderão fazer futuramente como, por exemplo, o facto da análise efectuada aos métodos de conversão ter sido estática, propondo-se que seja feita a análise dos resultados dos modelos convertidos pelos dois métodos de conversão ao longo da simulação, de modo a poder-se verificar a degradação dos triângulos nas subdivisões.

Outra ideia que surgiu foi a possível integração do simulador de tecidos com detalhe variável no Maya, disponibilizando deste modo um sistema interativo de simulação de tecidos com detalhe dinâmico aos utilizadores do programa.

Como trabalho futuro, propõe-se também a adição de novos critérios de afinidade ao algoritmo de conversão desenvolvido que se considerem úteis e que completem o trabalho realizado, como por exemplo, a adição de um critério de afinidade que permita delimitar regiões baseando-se na mudança de materiais usados na composição de peças de vestuário complexas. Por exemplo, poderemos ter um casaco onde a zona do tronco possui umas determinadas propriedades mecânicas e a zona das mangas outras, completamente diferentes, por serem fabricados com outro tipo de material.

Bibliografia

- Autodesk Maya 2008, T. f. (s.d.). Obtido de
Autodesk/Maya2008/docs/Maya2008/en_US/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm
- Autodesk Maya 8.5, d. (s.d.). *ClassicCloth*. Obtido de
http://www.kxcad.net/autodesk/maya/Maya_Documentation/ClassicCloth.pdf
- Baraff, D., & Witkin, A. (1998). Large Steps in cloth simulation. *In SIGGRAPH 98: Computer graphics proceedings, Annual Conferences Series* (pp. 43-54). New York, NY, USA: ACM Press.
- Bateman, R. (20 de Junho de 2004). *The Maya Exporter Factfile*. Obtido de
<http://www.robthebloke.org/research/index.htm>
- Batista, R. (11 de Fevereiro de 2006). *highend3d*. Obtido de
http://www.highend3d.com/maya/tutorials/development_api/291-2.html
- Birra, F. P. (2006). *Técnicas Eficientes de Simulação de Tecidos com Realismo Acrescido*. Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Catmull, E., & Clark, J. (November de 1978). Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological surfaces. pp. 350-355.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *In Numerische Mathematik*, S. 269–271.
- Doo, D., & Sabin, M. (1978). *Behavior of recursive division surfaces near extraordinary points*. Computer-Aided Design.
- Dyn, N., Levin, D., & Gregory, J. A. (1990). *A Butterfly Subdivision Scheme for Surface*. Tel-Aviv University, Brunei University: ACM Transactions on Graphics .
- Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1997). *Computer Graphics - Principles and Practice* (Second Edition ed.). United States of America: Addison-Wesley Publishing Company.
- Gould, D. (2003). *Complete Maya Programming – An Extensive Guide to MEL and C++ API*. University of California, Berkeley: Morgan Kaufmann Publishers.

Gould, D. (2005). *Complete Maya Programming volume II – An In-depth Guide to 3D Fundamentals, Geometry and Modeling*. Morgan Kaufmann Publishers.

Hart, P., Nilsson, N., & Raphael, B. (1968). *A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths*. Artificial Intelligence Group of the Applied Physics Laboratory, Stanford Research Institute, Menlo Park, Calif.: IEEE Transactions of systems science and cybernetics.

Highend Network. (1996). *Highend3d.com*. Obtido de OBJ Import/Export - Poly Tools Modeling Mel Scripts for Maya:
http://www.highend3d.com/maya/downloads/mel_scripts/modeling/poly_tools/4120.html

House, D., & Breen, D. (2000). *Cloth Modeling and Animation*. Massachusetts, USA: A K Peters.

Infinitee. (s.d.). <http://www.infinitee-designs.com/Free-Maya-Models.htm>. Obtido de Infinitee Designs .

Kobbelt, L. (2000). p3 - subdivision. (*SIGGRAPH 2000*) (pp. 103-112). New York, NY, USA: ACM Press.

Lanier, D. (2001). *David Lanier 3D's community*. Obtido de David Lanier 3D's community:
<http://dl3d.free.fr/phpBB2/index.php?sid=acad4adf819d5056eacff520a15d2193>

Loop, C. (1987). *Smooth Subdivision Surfaces Based on Triangles*. M.S. Mathematics thesis , University of Utah.

Press, W., Flannery, B., Teukolsky, S., & Vetterling, W. (1988). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. United States Of America: Cambridge University Press.

Provot, X. (1995). Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior. *Institut National de Recherche en Informatique et Automatique* , pp. 147-155.

Russel, S., & Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence. A Modern Approach 2nd edition*. Prentice-Hall, Inc.

Silva, S. (2007). *PolyMeCo: A Polygonal Mesh Analysis and Comparison Tool*. Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática.

Stam 1, J., & Loop 2, C. *Quad/Triangle Subdivision*. 1 Alias wavefront, Seattle, WA, USA., 2 Microsoft Research, Redmond, WA, USA.

Stam, J. *Evaluation of Loop Subdivision Surfaces*. Alias wavefront, Inc.1218 Third Ave, 8th Floor, Seattle, WA 98101, U.S.A.

Stam, J. (1998). *Exact Evaluation of Catmull–Clark Subdivision Surfaces at Arbitrary Parameter Values*. Alias wavefront, Inc. 1218 Third Ave, 8th Floor, Seattle, WA 98101, U.S.A.: Proceedings of SIGGRAPH'98, In Computer Graphics Proceedings, ACM SIGGRAPH.

The CGSociety. (2002). *The Computer Graphics Society*. Obtido de CGSociety - society of digital artists: <http://www.cgsociety.org/>

TurboSquid. (s.d.). *3D Models, 3D Modeling Textures and Plugins at Turbosquid*. Obtido de 3D 3ds model cap simple: <http://www.turbosquid.com/3d-models/3d-model-cap-simple/384076/>

Velho, L., & Gomes, J. (Dec. 2000). *Variable Resolution 4-k Meshes: Concepts and Applications*. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Brasil.

Velho, L., & Zorin, D. (2001). 4-8 Subdivision., (pp. 397-427). Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Brasil. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Brasil. Media Research Laboratory Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.

Zorin, D., Schroder, P., & Sweldens, W. (Aug. 1996). *Interpolating Subdivision for Meshes with Arbitrary Topology*.