

# **Integração e Contextualização de Modelos 3D no Ensino da Área da Saúde**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
2009 / 2010

**Miguel Ângelo Dantas da Rocha (1900437)**



## **Mestrado em Engenharia Informática Sistemas Gráficos e Multimédia**

**Orientador:** António Abel Vieira de Castro (MsC)

**Co-Orientador:** João Paulo Jorge Pereira (PhD)

### **Júri**

**Presidente:** Paulo Alexandre Gandra de Sousa (PhD)

**Vogais:** Eurico Manuel Elias Morais Carrapatoso (PhD)

António Abel Vieira de Castro (MsC)

João Paulo Jorge Pereira (PhD)



*Aos meus filhos Mariana e Diogo, os filhos perfeitos, que por entre as  
brincadeiras e os estudos sempre me incentivaram.*

*À minha esposa Rosa Maria, a mulher da minha vida, que sempre  
esteve ao meu lado nos bons e maus momentos.*

*Para eles, todo o meu amor.*



## **Agradecimentos**

Aos meus orientadores, ao Doutor António Vieira de Castro (Docente no Instituto Superior de Engenharia do Porto e investigador no GILT) e ao Doutor João Paulo Jorge Pereira (Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto) pela paciência, dedicação, incentivo e por todo o apoio valiosíssimo que incansavelmente me deram ao longo da realização desta dissertação de mestrado.

Ao grupo de I&D GILT - *Graphics, Interaction and Learning Technologies* por todo o apoio prestado, em especial à linha Multimédia e Medicina que me associou como investigador.

Ao Dr. Augusto Magalhães, médico oftalmologista do Hospital de S. João pela disponibilidade, receptividade e colaboração preciosa na apreciação de um modelo 3D em formato electrónico de olho humano.

À Doutora Paula Escudeiro, Professora Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto, à Dra Sandra Bucarey, Professora Instructora de Anatomia Facultad de Medicina de la Universidad Austral de Chile, ao Dr. Pedro Aravena Torres (Professor Instructor de Facultad de Medicina de la Universidad Austral de Chile) e ao Dr. Ramón I. Esperón Hernández (Facultad de Medicina, UADY, Mérida, Yucatán, México) pelas considerações valiosas que fizeram sobre o meu modelo digital 3D do coração, permitindo com as suas importantes palavras que este trabalho tenha sido valorizado.

Ao ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto por permitir as condições necessárias à realização deste trabalho e a todos que de alguma forma, mesmo que indirecta tenham facilitado ou permitido que esta possa ter sido uma tese melhor.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Deus ter-me permitido chegar ao fim desta grande tarefa.



## Resumo

Os modelos físicos 3D têm sido utilizados transversalmente como forma de ensino nas mais variadas áreas do saber, tal como por exemplo na engenharia aeronáutica, na engenharia mecânica, no *design*, na arquitectura e também na anatomia e área da saúde em geral. Estes modelos físicos têm tido um importante papel na aprendizagem, permitindo inclusivamente, através de simulação de situações práticas, o contacto físico com o objecto de estudo, o contacto directo e a noção de volumetria, bem como conhecer a posição exacta de cada componente do modelo.

Na área da saúde, e de acordo com o parágrafo anterior, existem modelos físicos 3D que não são facilmente substituíveis por outro recurso, como por exemplo os modelos físicos de primeiros socorros e de ressuscitação, cujo principal objectivo é a aprendizagem/simulação de situações reais com contacto físico efectivo. Apesar disso, os modelos físicos 3D não satisfazem todas as necessidades de aprendizagem na área da saúde. Por exemplo, um aluno não pode facilmente transportar um modelo físico 3D de médio ou grande porte para um local de estudo diferente do habitual, quando quiser e a qualquer hora. Para além disso, o modelo físico 3D não pode facilmente conter informação contextualizada de cada um dos seus componentes e em qualquer nível de granularidade, nem muito menos conter testes de controlo de aprendizagem inseridos no próprio modelo.

Desta forma, os modelos 3D em formato electrónico pretendem complementar significativamente os tradicionais modelos físicos 3D. Não obstante não permitirem ao aluno a noção do tacto e da volumetria, apresentarão outras características igualmente importantes.

Neste trabalho procurar-se-á demonstrar a exequibilidade de modelos digitais 3D no ensino na área da saúde, com a preocupação de obter formas consideradas anatomicamente correctas ou, pelo menos, próximas do anatomicamente correcto.

Para além das técnicas e estratégias de modelação e das ferramentas informáticas necessárias para o fazer, será avaliado neste trabalho, o impacto e o interesse gerado, junto dos profissionais de saúde pelos modelos digitais 3D produzidos, realçando em que medida podem estes ser encarados como recursos de aprendizagem válidos, discriminando as suas vantagens e as suas desvantagens, bem como de que modo as suas vantagens podem ou não superar significativamente as suas desvantagens, não esquecendo a interactividade e a

animação que pode ser feita sobre estes modelos, simulando comportamentos ou procedimentos cirúrgicos que, de outra forma, poderia implicar a morte de uma cobaia.

## Abstract

3D physical models have been used across as form of education in various disciplines, such as, for example, in aeronautical engineering, mechanical engineering, in *design*, architecture and also in the anatomy and health in general. These physical models have played an important role in learning, allowing even through simulation practical situations, physical contact with the object of study, the direct contact and the concept of volume as well as meeting the exact position of each component of the model.

In health and in accordance with the preceding paragraph, there are 3D physical models, which are not easily replaceable by another feature, such as physical models of first aid and resuscitation, whose main objective is the learning / simulation of real situations to physical contact owner. Nevertheless, the physical 3D models do not satisfy all learning needs in healthcare. For example, a student cannot easily carry a medium or large physical 3D model for a study site different from usual, anytime and at any time. In addition, the physical 3D model cannot easily contain background information for each one of its components at any level of granularity, or even contain control tests in the learning model itself.

Thus, the 3D models in electronic format intended, significantly, to supplement the traditional physical 3D models. Although they did not allow the student to understand the concept of touch and volume, they also show other important features.

This work will seek to demonstrate the feasibility of 3D digital models in health education, with the concern of obtaining anatomically correct shapes or, at least, close to the anatomic exactness.

In addition to the modeling techniques and strategies and virtual tools necessary to do so, in this work, the impact and interest generated from the health professionals by the 3D digital models produced, shall be evaluated, highlighting the extent to which these can be seen as valid learning resources, detailing its advantages and its disadvantages, as well as how their advantages may or may not significantly overcome its disadvantages, and the interactivity and animation that can be done about these models, simulating behavior or surgical procedures that could otherwise lead to the death of a guinea pig.



# Índice

<i>Agradecimentos</i> .....	v
<i>Resumo</i> .....	vii
<i>Abstract</i> .....	ix
<i>Índice de Ilustrações</i> .....	xv
<i>Índice de Tabelas</i> .....	xix
<i>Notação e Glossário</i> .....	xxi
<b>1</b> <i>Introdução</i> .....	<b>1</b>
1.1 Modelos 3D e o ensino na área da saúde .....	2
1.2 Objectivos e Contributos Esperados .....	9
1.3 Motivação .....	10
1.4 Organização da Tese .....	11
<b>2</b> <i>O ensino e a sociedade em mudança</i> .....	<b>13</b>
2.1 O Ensino Presencial .....	14
2.2 O <i>E-learning</i> .....	15
2.3 O <i>B-learning</i> .....	16
2.4 Os Objectos de Aprendizagem .....	17
2.4.1 Características dos OA's .....	18
2.4.2 Os Metadados e os OA's .....	21
2.4.3 O uso de normas .....	22
2.4.3.1 O <i>sharable content object reference model</i> (SCORM) .....	22
2.4.3.2 A <i>Dublin Core metadata initiative</i> (DCMI) .....	23
2.4.3.3 O <i>IMS global learning consortium</i> .....	24
2.4.3.4 A <i>aviation industry CBT committee</i> (AICC) .....	25
2.4.3.5 A <i>ARIADNE educational metadata recommendation</i> .....	26
2.4.3.6 A <i>IEEE LOM</i> .....	26
2.5 Recurso a OA's na <i>Web</i> .....	27
2.5.1 O repositório MERLOT .....	27
2.5.2 O repositório WISC-ON-LINE .....	28
2.5.3 O repositório RWLO .....	29
2.5.4 O repositório MELOR .....	30
2.6 Sumário .....	31
<b>3</b> <i>Recursos 3D em OA's para a área da saúde</i> .....	<b>33</b>
3.1 Modelos 3D no tratamento de fobias .....	34
3.2 Modelos 3D na fisioterapia .....	34
3.3 Simulador de Cirurgia em Realidade Virtual LAPSIM .....	35
3.4 Medicina reconstrutiva Medmat <i>Innovation</i> .....	37

3.5	Exemplos de Modelos 3D no Ensino da Medicina .....	38
3.5.1	O <i>Caveman</i> .....	39
3.5.2	O <i>VisibleBody</i> .....	40
3.5.3	A <i>Medpedia</i> .....	42
3.5.4	A <i>Primalpictures</i> .....	43
3.6	Sumário.....	44
4	<i>Modelação, foto-realismo e animação 3D</i> .....	45
4.1	Um pouco de história.....	45
4.2	Programas de modelação, foto-realismo e animação 3D.....	48
4.3	Técnicas de modelação .....	49
4.3.1	<i>Polygonal modeling</i> .....	50
4.3.2	<i>Patch modeling</i> .....	51
4.3.3	<i>NURBS modeling</i> .....	52
4.3.4	<i>Subdivision surface modeling</i> .....	52
4.4	Técnicas de foto-realismo.....	54
4.4.1	<i>Scanline Rendering</i> .....	54
4.4.2	<i>Raytracing</i> .....	55
4.4.3	Comparação <i>Scanline Rendering vs. Raytracing</i> .....	56
4.5	Técnicas de animação .....	56
4.5.1	<i>Keyframe Animation</i> .....	57
4.5.2	<i>Procedural Animation</i> .....	57
4.5.3	<i>Dynamic Simulation</i> .....	57
4.5.4	<i>Character Animation</i> .....	58
4.5.5	<i>Motion Capture Animation</i> .....	58
4.5.6	<i>Deformable and Flexible Objects Animation</i> .....	58
4.5.7	<i>Particle Systems Animation</i> .....	59
4.5.8	<i>Space Warps Animation</i> .....	59
4.6	Modelação 3D por Engenharia Inversa.....	59
4.7	Prototipagem na modelação 3D .....	60
4.7.1	Modelação manual.....	61
4.7.2	Maquetismo .....	61
4.7.3	Carpintaria de Moldes.....	62
4.7.4	Maquinagem Tradicional CNC.....	62
4.7.5	Prototipagem Rápida .....	63
4.7.5.1	<i>Fused Deposition Modeler</i> .....	64
4.7.5.2	<i>Layer Object Modeler</i> .....	65
4.7.5.3	<i>Three Dimensional Printer</i> .....	65
4.7.5.4	<i>Selective Laser Sintering</i> .....	65
4.7.5.5	<i>Stereolithography</i> .....	66
4.8	Projecto de modelação 3D na área da saúde .....	66
4.8.1	Modelação 3D por vectorização de vistas ortogonais .....	70
4.8.1.1	O modelo 3D do estômago e esófago .....	70
4.8.1.2	O modelo 3D do olho.....	74
4.8.2	A modelação 3D a partir de imagens médicas.....	78

4.8.2.1	A norma DICOM.....	79
4.8.2.2	Programas adicionais utilizados .....	79
4.8.2.2.1	O <i>Invesalius</i> .....	80
4.8.2.2.2	O <i>Itk-snap</i> .....	81
4.8.2.2.3	O <i>MeshLab</i> .....	81
4.8.2.3	Os modelos gerados .....	82
4.8.2.3.1	O modelo digital 3D da orelha .....	82
4.8.2.3.1.1	Modelo digital 3D para filme de animação .....	85
4.8.2.3.2	Modelo digital 3D do coração .....	86
4.8.2.3.2.1	Modelo digital 3D interactivo para a <i>Web</i> .....	93
4.8.2.3.2.2	Modelo digital 3D para filme de animação .....	98
4.9	Sumário .....	100
5	<i>Disseminação e validação dos modelos 3D produzidos</i> .....	103
5.1	O processo de catalogação e submissão ao MELOR.....	103
5.2	Validação com recurso a MEDUCA .....	109
5.3	Validação do interesse via <i>youtube</i> .....	110
5.4	Validação do interesse de uso de modelos digitais 3D no ensino da área da saúde .....	115
5.5	Sumário .....	125
6	<i>Conclusão</i> .....	127
7	<i>Bibliografia</i> .....	133
8	<i>Anexos</i> .....	139
8.1	Anexo 1 .....	139
8.2	Anexo 2 .....	145



## Índice de Ilustrações

Ilustração 1 - Análise da cabeça de um cadáver conservado .....	3
Ilustração 2 - Modelos físicos 3D com informação do geral para o particular .....	4
Ilustração 3 - Molde 3D produzido pelo autor: meia-moldação de colher e textura 3D para a cunhagem .....	6
Ilustração 4 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: pormenor de um lote, Pormenor do jardim e panorâmica da urbanização .....	6
Ilustração 5 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: modelo 3D de anel, alfinete em borboleta e anéis .....	6
Ilustração 6 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: duas perspectivas do interior de um apartamento .....	7
Ilustração 7 - Modelação, foto-realismo e animação 3D produzidos pelo autor: exemplo de publicidade a um produto de consumo – sequência de animação .....	7
Ilustração 8 - Exemplo de um recurso 3D de aprendizagem, mais elaborado .....	7
Ilustração 9 - Exemplo de um modelo 3D do coração, com foto-realismo .....	8
Ilustração 10 - Exemplo de um modelo 3D do coração em corte transversal, com foto-realismo .....	8
Ilustração 11 - Exemplo representativo da granularidade .....	20
Ilustração 12 - Excerto de um OA programado em <i>Flash</i> embebido em página <i>Web</i> .....	28
Ilustração 13 - Sequência ilustrativa de um OA na fase de questionário e na fase final .....	28
Ilustração 14 – Um exemplo de conteúdos didácticos de um RWLO .....	29
Ilustração 15 - Exemplo de um recurso de aprendizagem no MELOR, apresentando os seus metadados .....	31
Ilustração 16 - Paciente em tratamento de fobia .....	34
Ilustração 17 - Demonstração da utilização em fisioterapia .....	35
Ilustração 18 - Sequências de uma cirurgia recorrendo a objectos 3D em realidade virtual ...	35
Ilustração 19 - Equipamento associado ao simulador de cirurgia em realidade virtual .....	36
Ilustração 20 - Prótese femoral em liga de titânio e prótese facial Bioactiva .....	37
Ilustração 21 - Biomodelação 3D aplicada à cirurgia maxilofacial para fabrico de guias cirúrgicas .....	38
Ilustração 22 - Estudo do corpo humano no <i>Caveman</i> .....	39
Ilustração 23 - Panorâmica geral do <i>Caveman</i> .....	40
Ilustração 24 - Diferentes camadas de visualização do corpo humano .....	40

Ilustração 25 - Interface do programa em ambiente <i>web</i> .....	41
Ilustração 26 - Representação do público-alvo deste projecto .....	42
Ilustração 27 - Interface <i>web</i> do projecto <i>MEDPEDIA</i> .....	43
Ilustração 28 - Pormenores do modelo 3D do corpo humano da Primal Pictures .....	43
Ilustração 29 - Representação dos elementos que compõe uma face poligonal.....	50
Ilustração 30 - Representação dos níveis de subdivisão de superfícies .....	53
Ilustração 31 - Exemplo de <i>raytracing</i> recursivo.....	55
Ilustração 32 - Fases de um projecto de modelação 3D.....	69
Ilustração 33 - Fase inicial de modelação 3D do estômago em NURBS, no <i>Rhinoceros</i> .....	72
Ilustração 34 - Fase avançada da animação 3D do bolo alimentar a percorrer o esófago e o estômago, no programa <i>3D studio max</i> .....	73
Ilustração 35 – Modelo 3D produzido pelo autor: fases de projecto aplicadas à modelação 3D do estômago e esófago .....	74
Ilustração 36 - Representação da fase avançada de animação do modelo 3D do olho no <i>3D studio max</i> .....	76
Ilustração 37 - Diferentes perspectivas da animação do modelo 3D do olho .....	77
Ilustração 38 - Fase de vectorização da cabeça de um paciente a partir das imagens médicas no programa <i>Invesalius</i> .....	83
Ilustração 39 - Extracção da área da orelha para reconstrução anatómica em superfícies NURBS no <i>Rhinoceros</i> .....	84
Ilustração 40 - Fases da reconstrução anatómica da orelha na modelação em NURBS no <i>Rhinoceros</i> .....	84
Ilustração 41 - Fases da animação da orelha com foto-realismo, no <i>3D studio max</i> .....	86
Ilustração 42 - Sequência evolutiva do método de vectorização <i>Snake evolution</i> sobre as imagens médicas no programa <i>Itk-snap</i> .....	87
Ilustração 43 - Representação dos dois tipos de velocidades.....	87
Ilustração 44 - Perspectivas diferentes que ilustram o ruído das estrias e das zonas fronteira no coração .....	88
Ilustração 45 - Modelo do coração oriundo das imagens médicas destacando o número de faces e vértices .....	89
Ilustração 46 - Fase inicial do processo de reconstrução no <i>Rhinoceros</i> .....	90
Ilustração 47 - Sequência da reconstrução de uma das superfícies NURBS, realçando o ajuste ao modelo original.....	90
Ilustração 48 - Modelo em NURBS finalizado .....	91

Ilustração 49 - Sequência de perspectivas do coração com sombreado .....	92
Ilustração 50 - Procedimento de conversão de modelo NURBS para modelo poligonal .....	92
Ilustração 51 - Apresentação da técnica de dizimação no programa <i>MeshLab</i> .....	94
Ilustração 52 - Ambiente de programação em <i>adobe flex</i> com as bibliotecas <i>papervision</i> .....	95
Ilustração 53 - Interface gráfico do programa de interacção do modelo digital 3D do coração, criado no <i>adobe flex</i> .....	97
Ilustração 54 - Fase avançada de tratamento de texturas e de animação do modelo do coração em <i>3D studio max</i> .....	98
Ilustração 55 - Diferentes perspectivas do modelo digital 3D final em foto-realismo do coração .....	100
Ilustração 56- Acesso ao MELOR .....	104
Ilustração 57 - Escolha da colecção a que pertence o recurso a ser carregado no repositório	104
Ilustração 58 - Triagem inicial de número de títulos, publicação e número de ficheiros do recurso .....	105
Ilustração 59 - Fase de preenchimento do nome do autor, título(s), publicação e tipo de recurso .....	105
Ilustração 60 - Fase de introdução das palavras-chave para pesquisa e o preenchimento do resumo do recurso .....	106
Ilustração 61 - Fase da submissão após carregamento do ficheiro para o repositório .....	107
Ilustração 62 - Fase de verificação dos dados e de eventuais correcções .....	107
Ilustração 63 - Fase de apresentação da licença.....	108
Ilustração 64 - Fase final da colocação de um recurso no repositório MELOR, sendo visíveis os seus metadados .....	108
Ilustração 65 - Pesquisa por palavras-chave no Google, do recurso no MELOR.....	109
Ilustração 66 - Visão geral da plataforma de aprendizagem MEDUCA.....	110
Ilustração 67 - Gráfico com as linhas de tendência da evolução da popularidade da animação no site do <i>youtube</i> .....	112
Ilustração 68 - Nível de popularidade da animação em todo o mundo .....	113
Ilustração 69 - Apresentação da forma como a animação foi visualizada .....	114
Ilustração 70 - Gráfico que apresenta a capacidade desta animação cativar o público-alvo..	114
Ilustração 71 - Gráfico da primeira pergunta do questionário .....	116
Ilustração 72 - Gráfico da segunda pergunta do questionário .....	117
Ilustração 73 - Gráfico da terceira pergunta do questionário .....	117
Ilustração 74 - Gráfico da quarta pergunta do questionário .....	118

Ilustração 75 - Gráfico da quinta pergunta do questionário .....	119
Ilustração 76 - Gráfico da sexta pergunta do questionário .....	119
Ilustração 77 - Gráfico da sétima pergunta do questionário.....	120
Ilustração 78 - Gráfico da oitava pergunta do questionário .....	121
Ilustração 79 - Gráfico da nona pergunta do questionário .....	122
Ilustração 80 - Gráfico da décima pergunta do questionário .....	122
Ilustração 81 - Gráfico da décima primeira pergunta do questionário .....	123
Ilustração 82 - Gráfico da décima segunda pergunta do questionário .....	124
Ilustração 83 - Gráfico da décima terceira pergunta do questionário .....	125

## Índice de Tabelas

Tabela 1 Listagem do programa para gerar a interactividade do modelo 3D .....	97
Tabela 2 - Estatística geral do modelo 3D do esófago e estômago no <i>youtube</i> .....	111
Tabela 3 - Recolha do número de visualizações em meses homólogos.....	111



## Notação e Glossário

2D	Bidimensional.
3D	Tridimensional.
<i>Acis</i>	<i>Kernel</i> (sistema nuclear) geométrico desenvolvido pela companhia de <i>software Spatial Corp.</i> que permite a modelação a três dimensões.
CAD	Computer-Aided Design. O mesmo que desenho assistido por computador.
CAM	Computer Aided Manufacturing. O mesmo que produção assistida por computador.
CT/MRI	Computer tomography/magnetic resonance imaging
DCMI	<i>Dublin Core Metadata Initiative.</i>
DICOM	Uma norma de imagens médicas.
IMS	<i>Instructional Management System.</i>
<i>multi-thread</i>	Execução de múltiplos processos e tarefas de forma concorrente no mesmo processador
<i>NURBS</i>	<i>Non Uniform Rational Basis Spline</i> é um modelo matemático usado regularmente em programas gráficos de modelação espacial para gerar e representar curvas e superfícies complexas.
OA	Objecto de aprendizagem.
<i>on-line</i>	Acontecimento que ocorre em contínuo.
<i>Patch</i>	Superfície curva envolvida num polígono fechado
RM	Ressonância magnética
SCORM	<i>Sharable Content Object Reference Model.</i>

TAC	Tomografia axial computadorizada
URI	Uniforme resource identifier.
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i> , é um padrão de formato de arquivo para a realidade virtual.
<i>Web</i>	Abreviação de <i>World wide Web</i> . É um sistema de documentos em hipermédia na <i>internet</i> .
<i>World wide web</i>	É um sistema de documentos em hipermédia na <i>internet</i> .
<i>youtube</i>	Repositorio de videos armazenados pelo utilizador.

# 1 Introdução

*"Podemos escolher o que semear, mas somos obrigados a colher aquilo que plantamos."*

*Provérbio chinês*

A educação, no seu sentido mais lato, é o meio através do qual se verifica a continuidade da vida humana. Todos os elementos que constituem um grupo social, tanto numa sociedade moderna como numa tribo selvagem, nascem imaturos, carentes de ajuda, não possuindo qualquer tipo de linguagem, convicções, ideias, ou padrões sociais.

Cada indivíduo, cada unidade portadora da experiência de vida do grupo a que pertence, com o tempo desaparece. No entanto, a vida do grupo continua.

A formação é inevitável e contínua desde o nascimento até á morte de cada indivíduo. Ao nível social, a necessidade de educação é uma constante.

Ao longo dos tempos verificou-se uma alteração de mentalidades e formas de ensinar e aprender. A verdade é que a educação, na sua expressão mais arcaica, surgiu como uma imposição social ditada pela própria necessidade de sobrevivência colectiva [Sobral, 1983].

Uma tarefa socialmente incontestável que os educadores desenvolveram ao longo dos séculos e que não requer mais esclarecimentos é a referente à orientação das crianças e jovens, de tal modo que se coloquem em contacto com a tradição e possam receber o património acumulado durante os séculos precedentes [Abbagnano, et al., 1981].

Quando se transmite o património científico e técnico, os conhecimentos específicos e as capacidades de vários tipos, é conservada a continuidade do desenvolvimento que constitui a base do progresso. A sociedade está profundamente interessada em agir no sentido de que a transmissão do património tradicional permita às novas gerações que se apropriem dos conhecimentos e capacidades que caracterizam o nível moderno da civilização para que

possam mais tarde desenvolver a mesma civilização de maneira criativa [Abbagnano, et al., 1981].

A necessidade de ensinar e aprender para assegurar a contínua existência de uma sociedade é, de facto, tão óbvia que pode até parecer que andamos às voltas com frases feitas.

## **1.1 Modelos 3D e o ensino na área da saúde**

Nos dias de hoje é generalizada a utilização de modelos físicos 3D para auxílio no ensino da anatomia na área da saúde, tendo em conta o grau de pormenor e perfeição obtido, como é o caso do modelo físico do esqueleto e o modelo do corpo humano com diferentes camadas amovíveis que lhe conferem diferentes graus de pormenor.

Como forma de minimizar o uso de cobaias ou de cadáveres na aprendizagem na área da saúde, tem sido comum a utilização de modelos anatómicos.

De acordo com *Nick Jukes & Mihnea Chiuia InterNICHE* no livro “*From Guinea Pig to Computer Mouse*” os modelos anatómicos, têm provado ser eficazes no treino de competências e técnicas.

Os Modelos em plástico de órgãos com tecido macio, desenvolvidos pela Universidade de *Illinois*, foram considerados como tendo propriedades de manuseamento comparáveis à dos órgãos reais e foram utilizados para o ensino de uma variedade de procedimentos cirúrgicos comuns.

Plásticos mais rígidos têm sido utilizados para a criação de modelos de ossos e são utilizados de forma eficaz para demonstração e ensino de muitos aspectos dos procedimentos cirúrgicos ortopédicos. Para além disso existem muitos outros materiais e abordagens práticas para a aprendizagem na área da saúde, como são os modelos digitais 3D, simuladores de pacientes, modelos de realidade virtual e treino cirúrgico, com a vantagem de não requererem a morte ou dano de uma cobaia. [Chiuia, 2003]

Contudo, o uso de modelos anatómicos para o ensino remonta provavelmente a muitos séculos atrás. Embora a dissecação tenha sido considerada, por um longo período de tempo, como a melhor maneira de entender a anatomia, o estudo e o ensino da anatomia humana

depararam-se com dois problemas reais no curso de sua história: a proibição de dissecar corpos humanos na Idade Média e a indisponibilidade de cadáveres nos séculos XVII e XVIII.

Por conseguinte, foi necessário engenho e criatividade para contornar estes problemas e a falta de amostras humanas levou à necessária construção de modelos anatómicos. Desde então, todos os tipos de materiais foram utilizados com mais ou menos sucesso: cera, madeira, marfim, papelão, bronze, tecidos, gesso, borracha e plástico [Olry, 2000].

Como se pode ver na figura 1, o primeiro modelo anatómico de estudo 3D é o próprio ser humano.

De facto, o contexto 3D parte do modelo 3D real que é o corpo humano, sendo utilizado pelos alunos no seu processo de ensino-aprendizagem.



**Ilustração 1 - Análise da cabeça de um cadáver conservado<sup>1</sup>**

O fabrico de modelos anatómicos de uma forma geral, requer uma colaboração próxima entre o anatomista ou cirurgião e um escultor ou modelador [Olry, 2000].

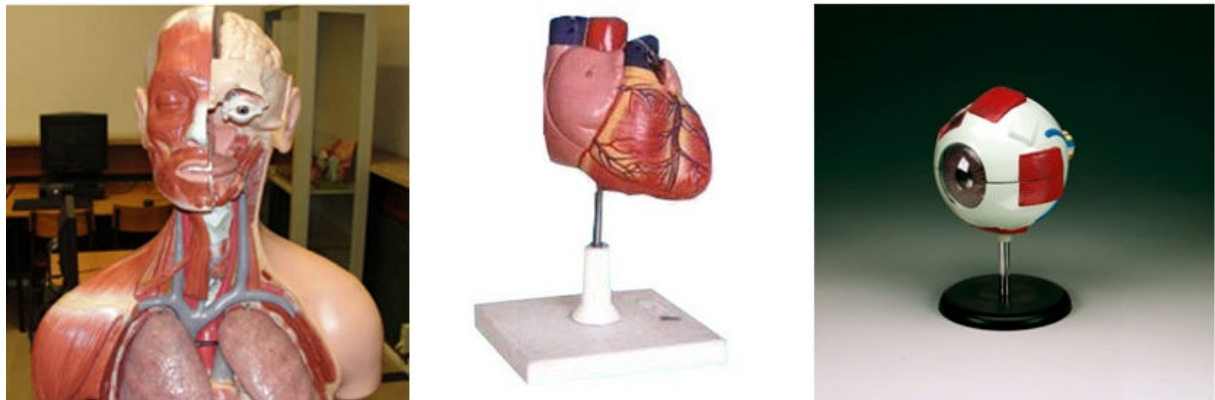
Ao longo do tempo e com a evolução tecnológica foram surgindo os modelos anatómicos por injeção de plástico compostos por camadas ou elementos constituintes, como se de um *puzzle* se tratasse, com diferentes graus de pormenor de informação.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://gilt.issep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/500>

Quando um desses modelos é analisado como um todo, está-se perante o acesso a informação mais generalizada, mas quando é analisado em particular um dos seus componentes, está-se perante o acesso a informação mais pormenorizada e mais detalhada.

Alguns autores, como S. K. Lujara, classificam esta característica como estando associada à granularidade do recurso facilitador da aprendizagem, assunto que será analisado no capítulo 2 do presente trabalho [Lujara, et al., 2007].



**Ilustração 2 - Modelos físicos 3D com informação do geral para o particular**

No entanto, com esta mesma evolução tecnológica que abriu caminho aos modelos físicos 3D baseados em material plástico, tem também aberto o caminho a novas oportunidades para a elaboração de modelos anatómicos 3D em formato digital considerados anatomicamente correctos e que pela sua natureza digital podem-se encontrar disponíveis, por exemplo na *internet* 24 horas por dia e 7 dias por semana para uso em aprendizagem.

Neste sentido, pode-se depreender a importância dos modelos digitais 3D como conteúdos que elevam a qualidade dos recursos onde se inserem, ao ter como referência a investigação de Tim Vernon do *Department of Medical Illustration, St. James's University Hospital*, que afirma que a animação destes modelos digitais 3D, quando combinados, por exemplo, com filme ou vídeo real, pode estender enormemente a capacidade destes recursos de multimedia. Por exemplo, numa cirurgia, o filme ou vídeo real pode mostrar o evento pelo exterior, enquanto simultaneamente podem ser ilustrados os eventos internos que ocorrem sob o tecido, com o auxílio da animação 3D. O espectador pode deste modo ver a simulação digital 3D do que ocorre no interior de qualquer estrutura anatómica ou do tecido celular enquanto visualiza o vídeo real [Vernon, et al., 2002].

Contudo a sua elaboração não é uma tarefa fácil, pelo que em semelhança com qualquer um dos modelos físicos produzidos, é necessário existir um modelador/animador 3D com bastante experiência na modelação de formas complexas e processos de animação e foto-realismo.

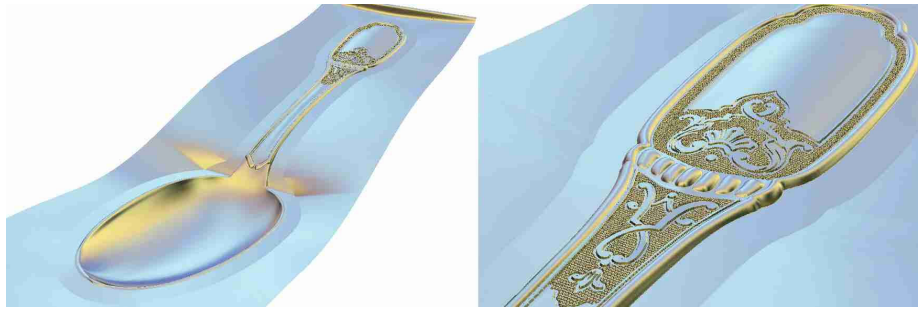
É também necessária a colaboração estreita de profissionais da área médica para que seja possível a validação anatómica dos modelos obtidos. Assim será possível gerar objectos que possam efectivamente ser usados em ambientes de aprendizagem sem haver o risco de falhas ou imprecisões que possam pôr em causa a sua credibilidade.

A modelação 3D tem nos dias de hoje um papel fundamental na produção dos mais variados objectos do dia-a-dia, quer seja para melhorar o aspecto visual de um produto, diminuir tempo de produção, permitir estudos de protótipos, análise de esforços e até mesmo obter objectos que, pela sua complexidade seria muito difícil ou mesmo impossível de os fazer por outra via.

Conjugando a modelação 3D com a definição de texturas, estudos de iluminação e sombras, cores e outras propriedades dos objectos reais, gerando imagens de síntese de grande realismo, em conjunto com técnicas que permitem criar a animação dessas imagens, é possível comunicar conceitos, ideias e simulação de comportamentos que podem ser aplicados tanto na promoção de projectos imobiliários como na produção de OA's para o ensino e formação, filmes de animação 3D para cinema, publicidade televisiva ou, de uma forma geral, na produção de imagens animadas quando estas são fundamentais na comunicação entre as pessoas.

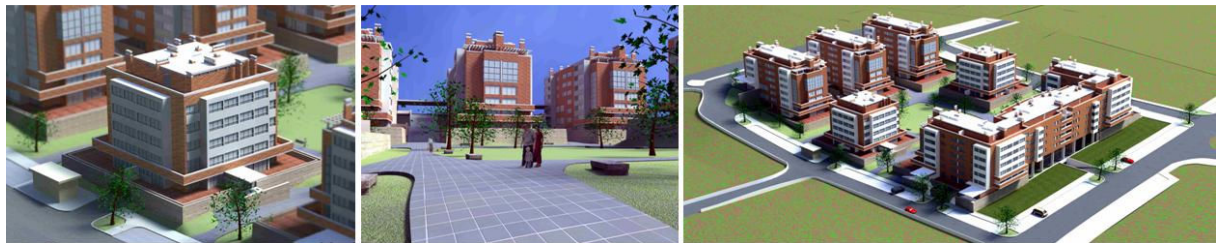
Podemos encontrar vários exemplos de aplicabilidade em várias áreas, começando pelo desenho industrial, no qual se procura não apenas um excelente *design*, mas também bons produtos criados no momento certo.

No exemplo da figura 3 podemos ver o molde de uma colher com a modelação 3D a definir relevos e texturas superficiais.



**Ilustração 3 - Molde 3D produzido pelo autor: meia-moldação de colher e textura 3D para a cunhagem**

Na promoção imobiliária com as maquetas electrónicas 3D, recorrendo ao foto-realismo e animação, passando pela sobreposição perspectivada do modelo 3D sobre a envolvente urbana para fazer estudos de impacto ambiental.



**Ilustração 4 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: pormenor de um lote, Pormenor do jardim e panorâmica da urbanização**

Na área da ourivesaria e joalharia, para transmitir as ideias mais complexas e apresentá-las aos clientes em foto-realismo antes de iniciar a produção e, uma vez aprovado o projecto, iniciar directamente a produção em prototipagem rápida ou em fresadora, do modelo mestre para fundição.



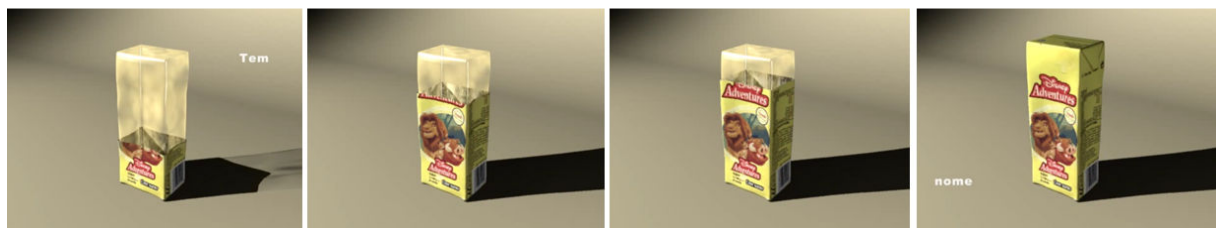
**Ilustração 5 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: modelo 3D de anel, alfinete em borboleta e anéis**

No *design* de interiores, onde a luz, as sombras e as propriedades dos materiais são importantes para transmitir conceitos e ideias.



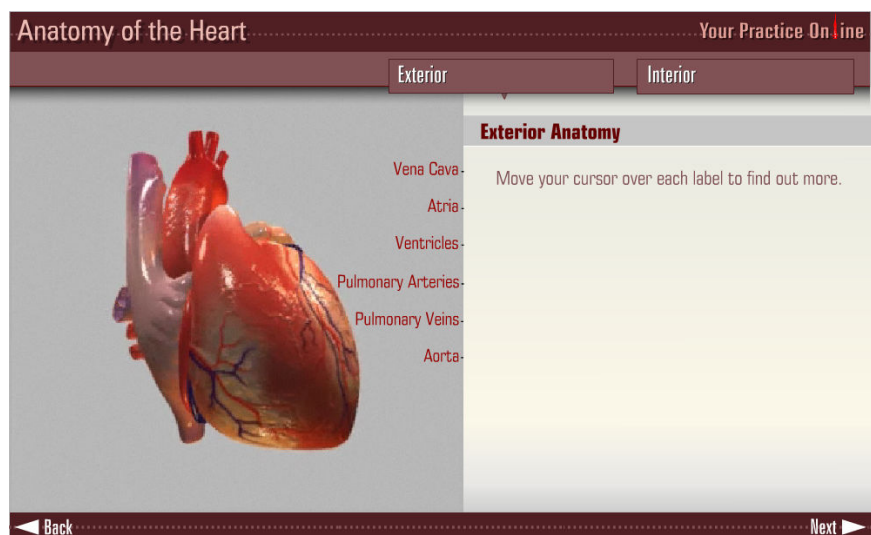
**Ilustração 6 - Modelos 3D e foto-realismo produzidos pelo autor: duas perspectivas do interior de um apartamento**

Na multimédia, e mais concretamente na publicidade, como forma de promover um produto.



**Ilustração 7 - Modelação, foto-realismo e animação 3D produzidos pelo autor: exemplo de publicidade a um produto de consumo – sequência de animação**

Na indústria naval e em muitas outras áreas onde os grandes projectos são convertidos em excelentes produtos quando os programas de modelação 3D são suficientemente bons para oferecer a liberdade e a precisão necessária para os capturar em formato digital.

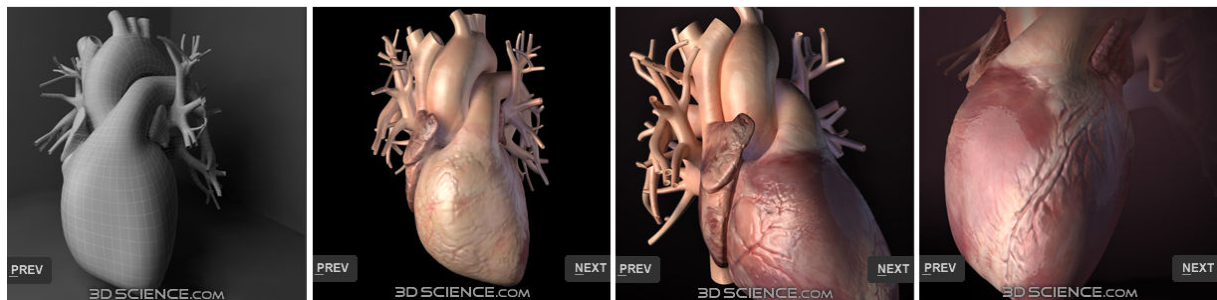


**Ilustração 8 - Exemplo de um recurso 3D de aprendizagem, mais elaborado<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Disponível em: [http://www.orthosports.info/multimedia/heart-anatomy/cuz\\_heart\\_anatomy.swf](http://www.orthosports.info/multimedia/heart-anatomy/cuz_heart_anatomy.swf)

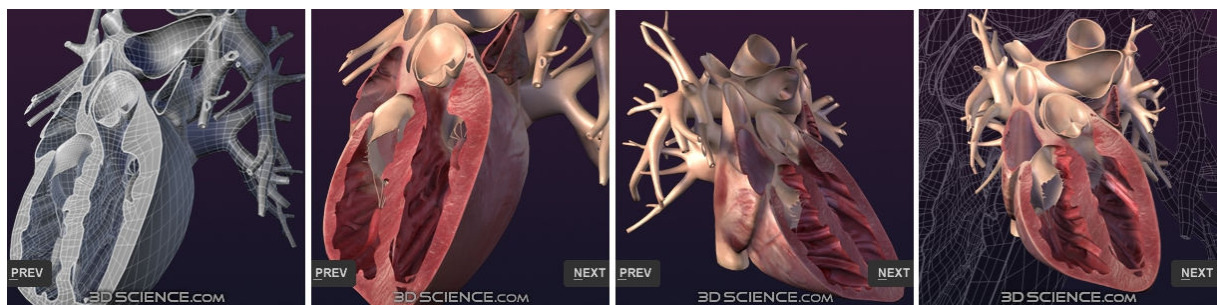
Também na área da saúde o campo de aplicação dos modelos 3D é vasto. Estes podem ser aplicados a todas as valências e podem ir da mera representação de um modelo até a um recurso mais elaborado para efeitos de aprendizagem, como pode ser visto na figura anterior:

Potencialmente qualquer objecto que possa ser explicado de forma visual é passível de ser modelado a 3D e animado com foto-realismo, como pode ser visto na figura seguinte:



**Ilustração 9 - Exemplo de um modelo 3D do coração, com foto-realismo<sup>3</sup>**

Porém a modelação 3D ganha maior relevância e interesse quanto mais difícil ou até mesmo impossível se torna o ensino de um determinado assunto pela forma tradicional, como por exemplo quando se pretende a visualização do batimento cardíaco e comportamento do fluxo sanguíneo de um coração, aberto em corte transversal, com a visualização das aurículas e ventrículos em pleno funcionamento, quando isso implicaria, noutra circunstância, a provável morte de uma cobaia. Na figura pode-se ver um modelo digital 3D do coração em corte:



**Ilustração 10 - Exemplo de um modelo 3D do coração em corte transversal, com foto-realismo<sup>4</sup>**

---

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.3dsience.com/3D\\_Models/Human\\_Anatomy/Heart/Heart\\_3.php](http://www.3dsience.com/3D_Models/Human_Anatomy/Heart/Heart_3.php)

<sup>4</sup> Disponível em [http://www.3dsience.com/3D\\_Models/Human\\_Anatomy/Heart/Heart\\_3\\_Anterior\\_Cut.php](http://www.3dsience.com/3D_Models/Human_Anatomy/Heart/Heart_3_Anterior_Cut.php)

## 1.2 Objectivos e Contributos Esperados

Com o presente trabalho o autor pretende efectuar um estudo que permita contribuir, com técnicas e estratégias de modelação 3D, foto-realismo e animação, que de uma forma eficiente, permitam a realização na área da saúde de modelos digitais 3D tendo em vista a obtenção de formas anatomicamente correctas, criando recursos de aprendizagem passíveis de vir a integrar qualquer OA de maior ou menor granularidade.

Na busca desses modelos digitais 3D anatomicamente correctos procura-se realçar a importância do trabalho em equipa, que deverá ser composto por um ou mais profissionais quer da área da computação gráfica, quer da área da saúde e dar a conhecer as características, os conhecimentos e as competências que um modelador 3D deve possuir para criar com sucesso este tipo de modelação anatómica.

Pretende-se efectuar a análise e a elaboração de procedimentos que facilitem a aprendizagem e a formação de especialistas na área da modelação 3D, especialmente na produção de modelos de órgãos ou outros componentes do corpo humano que possam ser considerados anatomicamente correctos.

Neste sentido, após um breve enquadramento dos modelos 3D no contexto da aprendizagem, é feita uma análise pormenorizada de vários programas e de diferentes técnicas de modelação.

A definição de uma estratégia de modelação com vista à obtenção de modelos digitais 3D que sejam considerados anatomicamente correctos, foi reforçado pela realização por parte do autor, de alguns modelos 3D de órgãos humanos em formato digital, usando diferentes abordagens.

A validação final terá como objectivo aferir a importância e viabilidade dos modelos 3D no ensino na área da saúde, verificando se é possível minimizar a utilização de órgãos provenientes de cadáveres humanos ou dos modelos físicos 3D. O presente estudo visa analisar o potencial dos modelos 3D digitais e a sua extensão permanente ao processo de ensino na área da saúde.

### 1.3 Motivação

Com mais de 20 anos de experiência na área de CAD (Desenho Assistido por Computador) e de CAM (Maquinação Assistida por Computador), o autor acompanhou de forma activa o desenvolvimento da modelação 3D, animação, foto-realismo desde o seu aparecimento nos computadores pessoais.

Foi responsável técnico dos programas *Autocad*<sup>5</sup>, *3D studio max*<sup>6</sup> e *Architectural desktop*<sup>7</sup> da empresa *Autodesk*, na distribuidora em Portugal, a Micrograf. Tendo sido a primeira pessoa a utilizar e a dar formação oficialmente dentro do País em *3D studio max*, por virtude de este ter sido lançado em Portugal pelo autor em representação da Micrograf.

Colaborou na elaboração de dois livros da editora FCA: o livro “3D Studio VIZ 2” da colecção “Curso Completo” de autoria de João Santos (Eng. Informático) e de João Barata (Eng. Mecânico) e o livro “*Autodesk Architectural desktop*” da colecção “Depressa & Bem” de autoria de Pedro Aroso (Arq.), estando referenciado em ambos na área dos agradecimentos [Santos, et al., 2001] [Aroso, 2002].

A produção de maquetas 3D com foto-realismo e animação na arquitectura e a produção de moldes para a indústria foram áreas desenvolvidas com vários trabalhos realizados.

A sua actividade na área do ensino e na formação profissional tem sido constante, pelo que durante o seu percurso profissional a manteve sempre em paralelo com as outras actividades atrás referidas.

O seu enquadramento como investigador no projecto *Medical Learning Methodology* (MLM) do grupo de Investigação GILT (*Graphics, Interaction and Learning Technologies*) inserido na linha Multimédia e Medicina, tem-lhe permitido novas experiências e troca de saberes, que servem de motivação acrescida para o desenvolvimento do presente trabalho, no qual gostaria de poder aplicar o seu conhecimento e a experiência adquiridos, mesmo a pensar numa perspectiva futura de produção de conteúdos 3D para a área da saúde.

---

<sup>5</sup> Programa de desenho assistido por computador com informação disponível em: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

<sup>6</sup> Programa de modelação e animação 3D disponível em: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

<sup>7</sup> Programa de projecto 3D de arquitectura já descontinuado.

## 1.4 Organização da Tese

Este trabalho de investigação está organizado em seis capítulos.

No capítulo um efectua-se uma apreciação geral do tema a ser abordado, analisando a integração e contextualização de modelos 3D no ensino da medicina, a sua utilização ao longo do tempo e ainda a motivação e trabalho a ser desenvolvido

No capítulo dois são abordadas as mudanças sociais, os modelos e abordagens pedagógicas, as técnicas e tecnologias de ensino e aprendizagem existentes. São abordados os OA's e a informação a eles associada, as suas normas e especificações. Porém são apresentados alguns exemplos reais de repositórios de OA's disponíveis pela *internet*.

No capítulo três são apresentados vários exemplos de objectos de aprendizagem que utilizam modelos digitais 3D na área da saúde, nas mais variadas especialidades, desde o tratamento de fobias, treino e simulação de cirurgia, até ao ensino ou apresentação didáctica.

No capítulo quatro é feita uma contextualização histórica da computação gráfica e em particular da modelação 3D, foto-realismo e animação. São apresentados os programas importantes e as técnicas de modelação mais eficientes para a modelação de formas orgânicas, na qual se enquadra a modelação anatómica, bem como as técnicas de foto-realismo e animação. Também são apresentadas tecnologias de produção, que estão ligadas à produção de modelos físicos 3D como objectos de aprendizagem na área da saúde. São apresentados e explicados os casos práticos produzidos para este trabalho: o coração (incluindo o modelo interactivo em *flash*), o esfago e o estômago, o olho e a orelha e todas as técnicas aplicadas.

No capítulo cinco é apresentada a integração do coração e de todos os modelos digitais 3D produzidos como um recurso de aprendizagem num repositório. Foi feita a recolha e análise de dados estatísticos do modelo digital 3D do esfago e estômago que tinha sido publicado, com esse intuito, no repositório de vídeos *youtube*, há 1 ano e 8 meses atrás. Por fim, foram analisados os resultados do inquérito sobre a viabilidade e importância dos modelos digitais 3D no ensino na área da medicina efectuado junto dos profissionais de saúde após a visualização dos modelos digitais 3D produzidos.

No capítulo seis foram apresentadas as conclusões finais deste trabalho e algumas considerações sobre o eventual trabalho futuro.



## 2 O ensino e a sociedade em mudança

*“Por maior que seja a montanha, esta nunca poderá tapar o sol.”*

*Provérbio chinês*

No ensino, uma das correntes educacionais mais utilizada, baseia-se na abordagem tradicional, que se caracteriza por um ensino centrado no professor e que faz a transmissão de conhecimentos ou de informação para o aluno, assumindo este um papel passivo.

Nas últimas décadas, as teorias educacionais tem evoluído em dois vectores principais [Santos, 2010]:

- A aprendizagem pela resolução de problemas (que se caracteriza numa aprendizagem individual e na relação professor-aluno)
- A aprendizagem baseada em projectos de trabalho (que se caracteriza pela interacção aluno-aluno como condição essencial para a construção do conhecimento).

Como se pode depreender das palavras de *Savery*, a aprendizagem pela resolução de problemas é um dos melhores exemplos de um ambiente de aprendizagem construtivista<sup>8</sup>, teoria com um ponto de vista filosófico referente à forma como o ser humano atinge o conhecimento que, de uma forma resumida, passa por três pontos fundamentais [Savery, et al., 1996]:

- O conhecimento obtêm-se pela interacção com o meio.
- O conflito cognitivo ou a perplexidade são um estímulo à aprendizagem e determinam a organização e a natureza do que é aprendido.
- O conhecimento ocorre pela colaboração e interacção social permitindo a análise comparativa do conhecimento dos outros com o conhecimento do próprio indivíduo.

Por outro lado, a aprendizagem baseada em projectos de trabalho, como se depreende das palavras de *Grant*, é uma abordagem que para além de construtivista é também

construcionista<sup>9</sup>, teoria baseada no construtivismo de *Piaget* e que postula que o indivíduo aprende melhor quando está a construir algo que possa ser reflectido e compartilhado com os outros indivíduos [Grant, 2002].

Estas teorias e abordagens têm sido a base de várias metodologias de ensino que tanto se tem aplicado no ensino presencial como também, mais recentemente, no ensino a distância, que com o advento e posterior proliferação da maior rede de informação alguma vez criada, a *internet*, e em particular o seu serviço *World wide web*, caracterizado por páginas cada vez mais atractivas e com um enorme grau de interactividade para com o utilizador, abriram novas oportunidades para a transmissão do saber e de competências a distância, cujas características estão muito associadas ao ensino e à formação profissional.

## **2.1 O Ensino Presencial**

No ensino presencial os alunos/formandos e os professores/formadores estão condicionados tanto temporal como geograficamente a um contacto face-a-face, sendo que no ensino tradicional os alunos tendem a ter uma atitude passiva comparativamente ao papel activo do professor, enquanto no ensino de abordagem construtivista os alunos tendem a ter um papel activo.

São também tipicamente utilizados recursos e material como manuais escolares, papel para escrita e alguns recursos multimédia como por exemplo vídeo projector. A formação presencial está também dependente da disponibilidade de instalações e das suas dimensões, limitando o número de alunos por turma. Contudo, os professores no ensino presencial têm a possibilidade de perceber a evolução, a atenção e o interesse de qualquer um dos alunos e o seu comportamento em sala e com isso conhecer as suas competências e limitações [Vidal, 2002].

---

<sup>8</sup> Teoria educacional iniciada por Piaget.

<sup>9</sup> Teoria educacional baseada no construtivismo de Piaget e iniciada por Papert e que se caracteriza pelo “aprender fazendo”.

## 2.2 O E-learning

O conceito de formação a distância abrange diversos tipos de formação, que se caracterizam pela sua especificidade e nos quais se verifica a quase permanente separação (em termos de tempo e/ou espaço) entre formador e o formando ao longo do processo de aprendizagem.

O aparecimento de ferramentas facilitadoras da comunicação no processo de aprendizagem, como as que estão associadas à *internet*, promoveu novas formas de comunicar. Na formação a distância, que no século XX durante alguns anos foi sinónimo de cursos por correspondência, passaram a estar incluídos os cursos de formação *on-line*, que nos dias de hoje são tanto mais sofisticados quanto a evolução tecnológica associada à *internet* o permite.

De acordo com Holmes, no livro *E-learning: Concepts and Practice*, existem tantas definições de *e-learning* como de publicações sobre o tema. Ainda segundo este autor, se pudéssemos ser tão arrojadados e concentrarmo-nos no essencial, a definição preferida seria a de ver o *e-learning* como o acesso a recursos de aprendizagem *on-line*, em qualquer lugar e a qualquer momento [Holmes, et al., 2006].

De acordo com os autores do livro “*The Impact of E-learning in Medical Education*” o *e-learning* corresponde ao uso das tecnologias de *internet* como forma de bem transmitir o conhecimento e as competências.

Com efeito, o *e-learning* permite aos alunos ou formandos o controlo sobre os conteúdos, o momento, a sequência e o ritmo de aprendizagem e até mesmo em alguns casos adaptar essa aprendizagem às suas experiências pessoais e dessa forma atingir os objectivos propostos [Ruiz, et al., 2006].

Já no “*The eLearning Action Plan*” da Comissão Europeia, o *e-learning* é definido como o uso das novas tecnologias multimédia e da *internet* para melhoria da qualidade da aprendizagem facilitando o acesso a recursos e serviços bem como a colaboração e transferência de dados com acesso remoto [CE, 2001].

Um dos pontos fracos apontados ao *e-learning* é a ausência de contacto físico entre o instrutor e o formando. De acordo com *Holmes*, no debate entre as vantagens e desvantagens do *e-learning*, vem inevitavelmente à discussão como ponto negativo a ausência de contacto face-a-face entre o formador ou o agente que promove a aprendizagem e o formando ou o receptor

da aprendizagem, o que naturalmente veio catalisar a interacção entre o *e-learning* e o tradicional processo de ensino presencial [Holmes, et al., 2006].

Sob o ponto de vista educacional, como diz *Paurette* no seu documento sobre *e-learning and constructivism*, a teoria construtivista é considerada a ideal para ser utilizada em *e-learning* porque permite tirar partido tanto dos seus pontos fortes como dos seus pontos fracos durante o processo de aprendizagem. Sendo que esta aprendizagem na perspectiva construtivista pode tirar partido de certas aplicações de *e-learning* como o desenvolvimento de recursos *on-line*, grupos de discussão, desenvolvimento de portfolios e também na utilização de hiperligações com recursos *on-line* partilhando-as de forma colaborativa com outros colegas [Paurette, 2003].

### **2.3 O B-learning**

O *e-learning* teve e tem um interessante impacto na área do ensino e aprendizagem. No entanto, verifica-se ainda um grande potencial no desenvolvimento da aprendizagem tendo em conta a forma como tem evoluído no sentido do *b-learning*, isto é, na integração da aprendizagem *on-line* com os métodos mais tradicionais da aprendizagem tal como a formação ou o ensino presencial.

O *b-learning* será a evolução mais natural e lógica do próprio *e-learning*. Apresenta uma boa solução para uma aprendizagem na medida em que permite ir de encontro às necessidades do indivíduo. Representa a oportunidade de integração dos avanços tecnológicos que a aprendizagem *on-line* oferece, com a interacção e participação que o ensino tradicional pode oferecer [Thorne, 2003].

Com a utilização crescente do *e-learning* e do *b-learning* como forma de potenciar o ensino/aprendizagem nos vários métodos e técnicas pedagógicas, surgiu a necessidade de utilizar outros tipos de ferramentas que suportados por toda esta tecnologia permitam a transmissão do conhecimento ou da aprendizagem.

## 2.4 Os Objectos de Aprendizagem

Existem várias definições para OA. De acordo com *David Wiley* um OA corresponde a qualquer recurso digital que possa ser reutilizado para permitir a aprendizagem. Esta definição inclui qualquer coisa que possa ser solicitada e transmitida através de uma rede informática, seja de grande ou de pequena dimensão e reutilizável, como por exemplo, imagens ou fotografias em formato digital, transmissão de dados em tempo real como a cotação da bolsa ou até mesmo uma página *Web* completa que combine texto, imagem e outros elementos de multimédia que possam permitir uma experiência de aprendizagem completa [Wiley, 2002].

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* define OA's como sendo uma entidade digital ou não digital que pode ser usada para o processo de aprendizagem no ensino ou na formação, num dado suporte tecnológico de aprendizagem, como por exemplo os sistemas de aprendizagem assistidos por computador, ambientes interactivos de aprendizagem, sistemas inteligentes de aprendizagem assistidos por computador, sistemas de aprendizagem a distância ou ambientes de aprendizagem colaborativos, e inclui conteúdos multimédia e de aprendizagem, objectivos de aprendizagem, programas e/ou ferramentas de ensino e ainda referência a pessoas, organizações ou eventos. [IEEE, 2002].

Para *Chiappe*, OA's são entidades autónomas e reutilizáveis com um propósito claro de aprendizagem, contendo pelo menos três componentes internos editáveis:

- Conteúdo de aprendizagem
- Actividades e elementos de contexto.

Devem ter também uma estrutura externa que permita a sua identificação, armazenamento e acesso, que são os metadados [Chiappe, 2007].

A definição seguinte foca a relação entre OA e media digital. A *British inter-university Learning Objects Center*, define “OA's reutilizáveis” como “peças interactivas de aprendizagem a distância baseadas em *internet*, projectadas para atingir os objectivos de aprendizagem de forma independente”.

Já *Rehak e Robin Mason* definem OA's como “uma entidade digitalizada que pode ser usada, reutilizada ou referenciada na aprendizagem com recurso a suporte tecnológico” [Rehak, et al., 2003].

Robert J. Beck, por adaptação a partir da definição do *Wisconsin On-line Resource Center*, sugere que os OA's são recursos habitualmente disponibilizados por *internet* ou suporte de armazenamento digital e que podem ser usados e reutilizados como suporte à aprendizagem. Oferecem uma nova concepção no processo de aprendizagem, dado que se apresentam em unidades de aprendizagem mais curtas, autónomas e que podem mesmo ser reutilizáveis, sendo uma nova forma de pensar os conteúdos de aprendizagem [Beck, 2007].

### 2.4.1 Características dos OA's

Segundo Beck, os OA's, apresentam um conjunto relevante de características que devem ser aqui referidas e comentadas [Beck, 2007]:

- **Autónomos** – cada OA pode ser usado de forma independente.
- **Reutilizáveis** – um só OA pode ser usado em múltiplos contextos e em vários objectivos.
- **Agregáveis** - em vastas colecções de conteúdos, incluindo em cursos que tenham a estrutura tradicional.
- **Catalogáveis com metadados** – cada OA tem informação descritiva associada que facilita muito a sua pesquisa.

E como sugerido por *Longmire* num artigo publicado pela *American Society for Training & Development*, ainda se pode enumerar mais características associadas aos OA's [Longmire, 2000]:

- **Flexibilidade** - Se o material for projectado para utilização em múltiplos contextos, este pode ser reutilizado mais facilmente do que outro material que tenha que ser reescrito para cada novo contexto.

- **Facilidade de actualização, procura e gestão de conteúdos** – As etiquetas ou palavras-chave dos metadados facilitam e agilizam a actualização, a pesquisa e a gestão de conteúdos, permitindo seleccionar e filtrar apenas o conteúdo pretendido.
- **Personalização de conteúdos** - Quando a necessidade individual ou organizacional exige personalização de conteúdos, o modelo de OA facilita uma abordagem em tempo-real para a personalização. A característica modular do OA potencia e/ou facilita a utilização de *software* adequado para a personalização, permitindo a recombinação e distribuição do material com o nível de detalhe pretendido.
- **Interoperabilidade** - A abordagem ao modelo de objecto permite às organizações definir as especificações relativas à concepção, desenvolvimento e apresentação dos OA's com base nas necessidades organizacionais, mantendo a interoperabilidade com outros sistemas de aprendizagem e outros contextos.
- **Conteúdos de valor acrescentado** - Do ponto de vista comercial, o valor dos conteúdos aumenta devido às melhorias que lhes são adicionadas à medida que vão sendo reutilizados. Paralelamente existe a diminuição dos custos, devido à supressão do tempo relativo à fase de concepção e do desenvolvimento, podendo-se ainda acrescentar a possibilidade de venda destes conteúdos, em diferentes contextos, a entidades terceiras.

Alguns autores realçam a granularidade como uma característica bastante importante:

- No ponto de vista de *Lujara*, a granularidade corresponde ao processo de divisão do conteúdo digital em pequenas partes ou módulos. Estando relacionado directamente com o tamanho do OA, tem como objectivo a possibilidade de os combinar, partilhar e reutilizar nos mais variados contextos de aprendizagem [Lujara, et al., 2007].
- Conforme refere *Moen*, a literatura sobre OA's usa o termo granularidade para se referir ao seu tamanho. Alguns autores sugerem que quanto mais pequeno ou mais granular for o OA mais possibilidade existe de este ser reutilizado em vários contextos de aprendizagem [Moen, 2008].
- *Thompson* refere mesmo que os OA's devem ficar num justo equilíbrio entre a sua contextualização e a sua reutilização, isto é, deve ter uma abrangência de conteúdos

suficiente para que seja produtivo para o aluno ou formando e ser útil à instituição que o produz ao ser suficientemente granular (granularidade alta) para ser reutilizado nos mais variados contextos [Thompson, et al., 2005].

A figura seguinte apresenta uma série de níveis granulares, que vai desde os pequenos conteúdos de nível básico até aos conjuntos de objectos que podem se constituir em cursos.

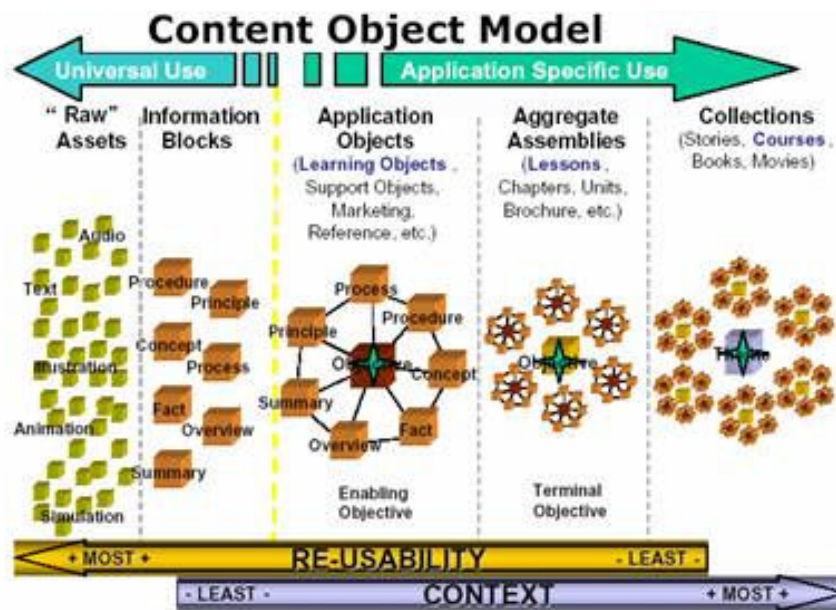


Ilustração 11 - Exemplo representativo da granularidade<sup>10</sup>

O primeiro nível, representado pelo *raw assets*, é formado por elementos ou dados que se encontram a um nível básico, correspondem aos dados mais elementares que podem ser armazenados, como por exemplo, ilustrações, animações, vídeo e áudio.

O segundo nível, representado pelo *Information Blocks*, é formado por dados elementares básicos ou por pequenas peças de informação que embora possam ser mais elaboradas ainda tem uma granularidade alta, isto é, ainda é suficientemente genérico para poder ser facilmente reutilizável em vários contextos.

O Terceiro nível, representado pelo *Application Objects* é formado por um conjunto de objectos de informação reunidos em torno de um dado objectivo.

O resultado final é um repositório de objectos de informação reutilizáveis que podem ser aproveitados para uso em diferentes modalidades de aprendizagem como o *e-learning*, *b-*

<sup>10</sup> Disponível em: <http://www.abed.org.br/congresso2004/por/htm/146-TC-D2.htm>

*learning* e ensino presencial, bem como em diferentes tipos de distribuição multimédia, como a impressão em papel, CD interativo ou a *Web*.

Quanto mais se avançar nos níveis mais baixa é a sua granularidade, isto é, mais agregadas se encontram as peças de informação e por isso mais específicas se tornam, começando gradualmente a ser mais específicas e contextualizadas, perdendo assim a sua capacidade de reutilização como objectos de aprendizagem [Silva, 2004].

## **2.4.2 Os Metadados e os OA's**

Uma das questões chave na utilização de OA's é a sua identificação pelos motores de pesquisa ou pelas plataformas de gestão da aprendizagem. Para facilitar esse processo é feita a associação de informação descritiva aos recursos de aprendizagem.

Estes dados denominam-se como metadados.

Tal como numa livraria um livro está registado em catálogo, um OA deve estar catalogado pela associação de metadados.

### **Os Componentes**

Segundo o IEEE, eis uma lista que apresenta alguns tipos de informação que pode ser incluída num OA como metadados [IEEE, 2002]:

- Dados gerais de descrição do curso, incluindo: identificadores, idioma dos conteúdos (Português, Inglês, Francês, Espanhol, etc), assunto abordado (matemática, literatura, etc.), texto descritivo, palavras chave;
- Ciclo de vida, incluindo: versão, estado;
- Instruções sobre os conteúdos, incluindo: texto, páginas *Web*, imagens, som, vídeo;
- Glossário de termos, incluindo: termos, definições, acrónimos;
- Questionários e elementos de avaliação, incluindo: perguntas, respostas;

- Direitos, incluindo: custos, direitos de autor, restrições de uso;
- Relação com outros cursos, incluindo pré-requisitos;
- Nível académico ou de qualificação, incluindo: nível de graduação, idade abrangente, tempo de aprendizagem, grau de dificuldade.

### 2.4.3 O uso de normas

Existem vários padrões e especificações que pretendem definir diferentes partes de um OA e que são o resultado do trabalho desenvolvido por várias instituições como a *Global Learning Consortium* com várias especificações associadas ao seu projecto de sistemas de gestão de aprendizagem designado IMS (*Instructional Management Systems*), a AICC (*Aviation Industry Computer-Based Training Committee*), a ARIADNE (*Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe*) e a IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers Learning Technology Standards Committee*).

A iniciativa ADL (*Advanced Distributed Learning*) em colaboração com estas instituições incorporou estas especificações, harmonizando-as num modelo referencial para a estruturação de modelos de aprendizagem e a sua portabilidade entre sistemas, dando assim origem ao SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*).

A DCMI (*Dublin Core Metadata Initiative*), uma das instituições mais importantes na produção de normas de metadados, em conjunto com a IEEE LOM, criaram uma base de cooperação com o objectivo de desenvolverem mutuamente a interoperabilidade dos seus metadados associados aos objectos e ferramentas de aprendizagem [IEEE, 2000].

#### 2.4.3.1 O *sharable content object reference model* (SCORM)

O SCORM é produzido pelo grupo de investigação *Advanced Distributed Learning* (ADL) pertencente ao departamento de defesa dos Estados Unidos da América.

O acrónimo SCORM corresponde às iniciais das palavras “*Sharable Content Object Reference Model*” e que sugere a criação de unidades de aprendizagem que possam ser partilhadas entre sistemas. A expressão “*Sharable Content Object*” reflecte a criação e a

partilha de conteúdos, que possam ser reutilizados em diferentes sistemas e contextos. Já a expressão “*Reference Model*” reflecte o facto de o SCORM não ser uma norma. A ADL não criou o SCORM a partir do zero, mas em vez disso colectou um variado conjunto de normas que apenas resolviam parte do problema. O SCORM simplesmente referencia estas normas existentes e orienta os desenvolvedores de como as utilizar.

Assim, pode-se dizer que o *SCORM*, corresponde a uma colecção de normas e especificações adaptadas a partir de múltiplas fontes, fornecendo um conjunto de capacidades de *e-learning* e que permite a interoperabilidade, acessibilidade e reutilização dos conteúdos de aprendizagem em ambiente *Web*.

Este modelo procura coordenar as tecnologias emergentes bem como as implementações públicas e comerciais.

O *SCORM* aplica os desenvolvimentos da tecnologia aos conteúdos de um modelo produzindo recomendações para uma implementação consistente junto do público-alvo [Wisher, 1999].

#### **2.4.3.2 A Dublin Core metadata initiative (DCMI)**

O DCMI é uma organização aberta, registada em Singapura como pública e sem fins lucrativos, comprometida no desenvolvimento de normas de interoperabilidade de metadados *on-line* e que suporta um grande leque de recursos e OA's.

Para além das especificações de metadados, as actividades do DCMI incluem, entre outras, o trabalho colaborativo de comunidades e grupos de trabalho, conferências, *workshops*, ligação entre normas e iniciativas educacionais com o intuito de promover uma aceitação alargada das normas de metadados e suas aplicações práticas [DCMI, 1995].

O nome “Dublin” deve a sua origem a uma *workshop* realizada em Dublin no Ohio e o nome “Core” é devido aos seus elementos serem genéricos e abrangentes, que pode ser usado para descrever um espectro alargado de recursos.

O *Dublin Core Metadata Element Set* refere-se a um conjunto de elementos de metadados composto por quinze propriedades que tem como objectivo a sua utilização na descrição de um recurso.

Estes quinze elementos foram normalizados em 1998, com a designação ISO Standard 15836:2009 da *International Standard Organisation* (ISO) e compõe o “*Dublin Core*” clássico.

Os quinze elementos da “*Dublin Core*” descritos nesta norma fazem parte de um conjunto alargado de vocabulários de metadados e de especificações técnicas mantidas pela DCMI. O conjunto completo de vocábulos também inclui conjuntos de classes de recursos, vocábulos de codificação de esquemas e vocábulos de codificação de sintaxe de esquemas. Os termos dos vocábulos DCMI foram pensados para ser usados em combinação com termos de outros vocábulos compatíveis no contexto dos perfis da aplicação e na base do modelo *DCMI Abstract Model*.

Os quinze elementos da “*Dublin Core*” são: *Contributor, Coverage, Creator, Date, Description, Format, Identifier, Language, Publisher, Relation, Rights, Source, Subject, Title* e *Type* [DCMI, 2010].

#### **2.4.3.3 O IMS *global learning consortium***

O IMS apresenta cerca de dezasseis especificações em várias áreas da tecnologia de aprendizagem, desde a acessibilidade até às *Web services*, sendo que estas especificações têm diferentes graus de implementação e de adopção. Existem muitas organizações em todo o mundo que utilizam e distribuem estas especificações [IMS, 1997].

Como exemplo, a especificação IMS - *Content Packaging* tem como finalidade descrever a estrutura de dados que pode ser utilizada para a troca entre sistemas, dos quais se deseja importar, exportar, agregar ou desagregar pacotes de dados. Permite a exportação de conteúdos a partir de um sistema de gestão de conteúdos de aprendizagem ou de um repositório digital para outro, retendo a informação relativa ao elemento audiovisual existente no pacote de conteúdos, qual a sua estrutura, tabela de conteúdos ou a página *Web* inicial a mostrar. Esta especificação encontra-se focada na unidade e portabilidade dos recursos mas não determina a sua natureza, permitindo a quem adoptar o conjunto de especificações IMS, a possibilidade de estruturar e agregar conteúdos nos mais variados formatos possíveis [Imsglobal, 2010].

#### **2.4.3.4 A aviation industry CBT committee (AICC)**

A AICC é uma instituição dedicada a apoiar a comunidade de formação em aeronáutica, tentando aproximar e facilitar o contacto entre os instrutores de aviação, desenvolvedores de conteúdos de aprendizagem, vendedores de *software*, simuladores de projecto e fabricantes de estruturas aeronáuticas através do desenvolvimento de normas, recomendações tecnológicas e de boas práticas [AICC, 1988].

A especificação de metadados da aviation industry é catalogada em conformidade com as categorias e elementos da norma LOM IEEE.

Todas as categorias ou elementos que são acrescentados pela AICC aparecem após as categorias e elementos da norma LOM IEEE.

O propósito de aplicação destes metadados é o de permitir o reconhecimento de um objecto e fornecer informação descritiva sobre o objecto como um todo.

Este perfil de extensão do LOM IEEE tem como finalidade suprir as necessidades gerais de treino e não especificamente da indústria, contudo também inclui uma categoria adicional de elementos a pensados para a indústria da aviação.

A audiência-alvo deste perfil é composta por designers, criativos, organizações de treino e por utilizadores de conteúdos do treino.

O propósito do perfil AICC LOM é o de permitir e facilitar a descrição de objectos tal como [AICC, 2006]:

- Facilitar a pesquisa;
- Avaliar a usabilidade de um objecto;
- Fornecer informação sobre como obter um objecto;
- Fornecer informação sobre o uso de um objecto;
- Facilitar tomadas decisões sobre a usabilidade/aplicabilidade de um objecto;
- Facilitar a partilha e a troca de objectos AICC permitindo o desenvolvimento de catálogos e inventários;

- Facilitar a manutenção dos objectos AICC.

#### **2.4.3.5 A ARIADNE *educational metadata recommendation***

A ARIADNE foi criada com o intuito de explorar e desenvolver os resultados obtidos com os projectos europeus anteriores ARIADNE e ARIADNE II, os quais permitiram criar ferramentas e metodologias para produção, gestão e reutilização de elementos pedagógicos assistidos por computador. Actualmente, o núcleo base da infra-estrutura ARIADNE corresponde a uma rede distribuída de repositórios de aprendizagem [Ariadne, 2006].

O esquema de metadados ARIADNE encontra-se orientado para o material que for utilizado no contexto da educação (faculdade, escola secundária, etc.), no entanto muitos outros contextos de utilização existem e que podem tirar as suas vantagens.

Os metadados ARIADNE procuram resolver dois problemas existentes quando um sistema de metadados é utilizado:

- Indexação (criação de metadado manualmente) deve ser o mais fácil possível
- A exploração do metadado pelo utilizador na procura de material pedagógico relevante deve o mais fácil e eficiente possível.

No contexto europeu, mas de uma forma geral numa cooperação internacional mais alargada, é imperativo que o sistema de metadados funcione num ambiente multi-linguístico e multi-cultural e portanto, ser neutra em relação tanto à língua nativa do documento original que está sendo indexada como à língua usada para criar os metadados [CEN, 2010].

#### **2.4.3.6 A IEEE LOM**

A IEEE é uma instituição dedicada à inovação tecnológica e que se caracteriza por ser uma das maiores associações de profissionais da área tecnológica em todo o mundo.

Com mais de 395.000 membros em mais de 160 países, é constituída por cientistas, engenheiros e profissionais da área tecnológica cujos interesses gravitam à volta das áreas da electricidade/electrónica, ciência de computadores, engenharia e disciplinas afins e tem produzido um grande número de conferências e publicações, sendo uma das instituições que desenvolveu algumas das normas que, nos dias de hoje, são utilizadas nas áreas das

telecomunicações, das tecnologias da informação, da geração de energia e da área dos serviços.

Sendo muitas vezes a fonte central para a normalização de uma vasta gama de tecnologias emergentes, o IEEE tem um portfólio de mais de 900 normas em uso e muitas outras normas em desenvolvimento [IEEE, 2010].

A IEEE LOM é uma norma que especifica quer a sintaxe quer a semântica dos metadados associados a um OA. Esta última, focaliza-se na utilização do menor número possível de atributos que permitam a gestão, localização e o correcto processamento dos OA's. Os campos referentes a estes metadados podem ser, em alguns casos, de preenchimento obrigatório e, noutros de preenchimento facultativo.

Como atributos mais relevantes inclui-se o tipo de objecto, autor, proprietário, termo e formato de distribuição e, quando aplicável pode ainda inclui atributos de carácter pedagógico, como o tipo de ensino ou interacção, nível de graduação, nível de domínio e pré-requisitos [IEEE, 2002].

## **2.5 Recurso a OA's na Web**

Na *internet* e mais propriamente na *Web*, encontra-se disponível uma quantidade substancial de recursos facilitadores da aprendizagem, que podem estar apresentados em conjunto ou isoladamente na forma áudio, texto, imagem e vídeo ou em outros formatos. Alguns são de utilização pública e outros de utilização reservada, mas de acordo com algumas das definições de OA's atrás referidas alguns desses recursos não preenchem todos os requisitos necessários para adquirirem esse estatuto. Contudo, existem na *internet* alguns repositórios de OA's, com uma dimensão ou importância considerável e que merecem ser assinalados.

### **2.5.1 O repositório MERLOT**

Trata-se de um repositório de recursos de aprendizagem e ensino com acesso livre, criado em 1997 no *California State University Center for Distributed Learning* e que até à data de hoje

tem uma base de dados de OA's multidisciplinares de tamanho considerável [MERLOT, 1997].

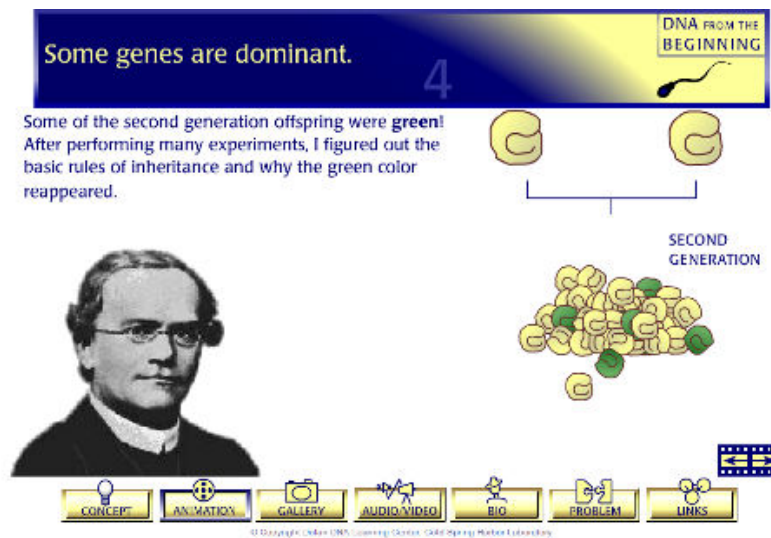


Ilustração 12 - Excerto de um OA programado em *Flash* embebido em página *Web*

## 2.5.2 O repositório WISC-ON-LINE

O WISC-ON-LINE é um repositório digital de OA's que foi desenvolvido inicialmente pela faculdade de *Wisconsin Technical College System*, e que conta com uma equipa de *designers* de conteúdos educativos, editores, técnicos e estudantes da instituição, bem como por técnicos de multimédia que criam os interfaces gráficos dos OA's.

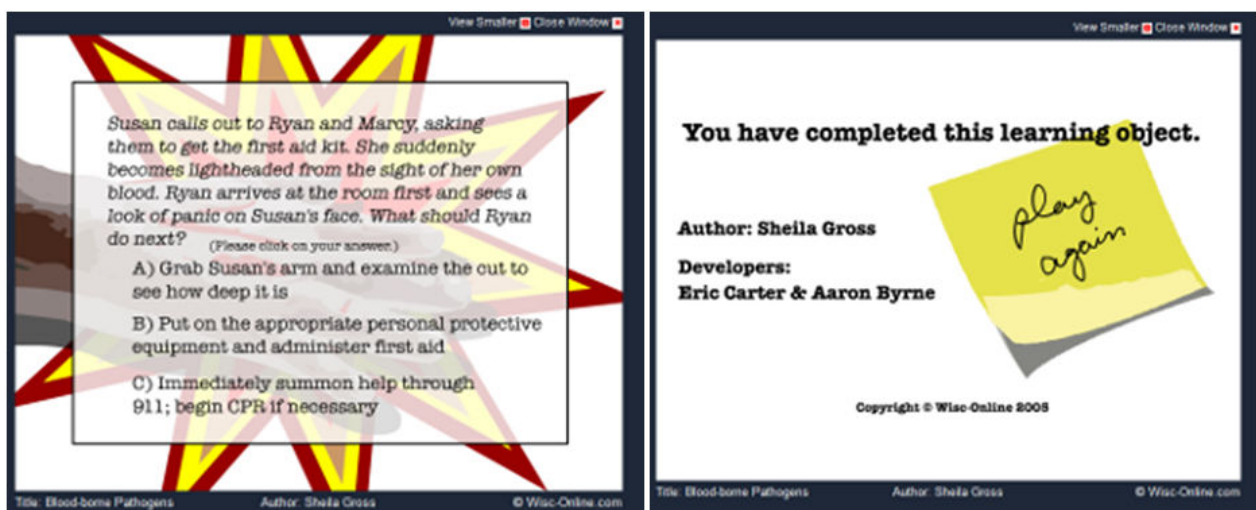


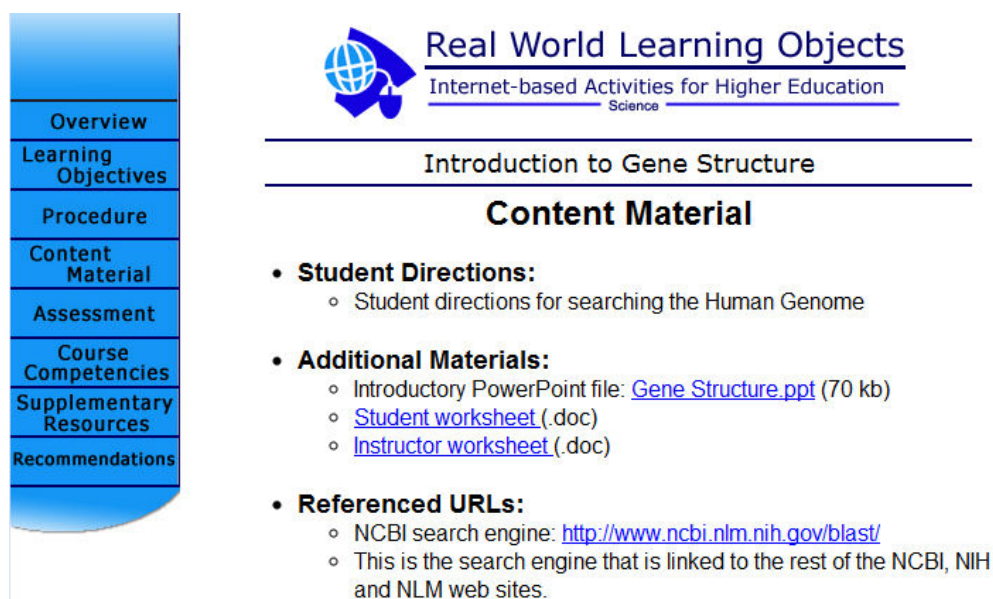
Ilustração 13 - Sequência ilustrativa de um OA na fase de questionário e na fase final

Estes OA's estão acessíveis a todos os membros da faculdade sem qualquer custo, mas também estão disponível a todos os interessados desde que o façam sob permissão da instituição [Wisc-Online, 1999].

### 2.5.3 O repositório RWLO

O *Real World Learning Objects (RWLO)* é um repositório *on-line* de Objectos de Aprendizagem desenhados com base na facilidade de acesso e de utilização para que a comunidade educativa os possa utilizar e adaptar nas às aulas.

Desenvolvido através do projecto *PT3 Community College Pathways to Improved Teacher Preparation through Technology* com o apoio do departamento de educação dos Estados Unidos da América com o objectivo de promover o uso da *internet* pelo acesso a dados em tempo real, tele-colaboração ou publicações *Web*.



The image shows a screenshot of a Real World Learning Object (RWLO) page. On the left is a vertical navigation menu with blue buttons: Overview, Learning Objectives, Procedure, Content Material, Assessment, Course Competencies, Supplementary Resources, and Recommendations. The main content area features the RWLO logo (a globe with a magnifying glass) and the title 'Real World Learning Objects' with the subtitle 'Internet-based Activities for Higher Education Science'. Below this is the title 'Introduction to Gene Structure' and 'Content Material'. The content includes three sections: 'Student Directions' (with a sub-point about searching the Human Genome), 'Additional Materials' (with sub-points for a PowerPoint file, a student worksheet, and an instructor worksheet), and 'Referenced URLs' (with sub-points for the NCBI search engine and a note about its linkage to other NCBI, NIH, and NLM sites).

Ilustração 14 – Um exemplo de conteúdos didácticos de um RWLO

Cada OA no RWLO é composto por 8 componentes:

- **Apresentação** – Fornece uma curta apresentação do OA.
- **Objectivos de aprendizagem** – Lista de objectivos que se pretendem atingir.

- **Procedimentos** – Fornece todos os procedimentos para a implementação do OA.
- **Conteúdos didácticos** – Contém os conteúdos didácticos incluído no curso.
- **Avaliação** – Descreve a forma como o aluno vai ser avaliado nesse OA .
- **Competências** – Descreve as competências que serão satisfeitas com o OA.
- **Recursos complementares** – Referências a material didáctico que pode ser usado como complemento de aprendizagem.
- **Recomendações** – Fornece recomendações de como deverá ser integrado em actividades baseadas em resolução de problemas ou baseadas em investigação [RWLO, 2010].

#### 2.5.4 O repositório MELOR

O MELOR é um repositório temático onde todos os profissionais e investigadores da área da saúde poderão colocar recursos, como artigos, apresentações, videos, fotos, teses, simulações objectos de aprendizagem, entre outros para que possam ser acedidos de forma fácil e rápida por outros com interesses similares em qualquer parte do mundo.

Enquadrado no projecto *Medical Learning Methodology* (MLM) do Grupo de Investigação GILT (*Graphics, Interaction and Learning Technologies*) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, apresenta já um vasto conjunto de recursos de aprendizagem das mais variadas especialidades médicas e é já utilizado quer para consulta quer para submissão de conteúdos em diferentes partes do mundo.

Em termos de metadados, o MELOR utiliza as especificações *Dublin Core* (DCMI) para a submissão de OA's ou de recursos de aprendizagem, como pode ser visto no exemplo da figura seguinte:

The image displays two screenshots of the MELOR (Medical Learning Objects Repository) interface. The left screenshot shows a search results page for the author 'Bucarey, Sandra'. It features a table with columns for Issue Date, Title, and Author(s). The right screenshot shows the detailed metadata for a specific item, including Title, Authors, Keywords, Issue Date, Abstract, and a list of files in the item.

Ilustração 15 - Exemplo de um recurso de aprendizagem no MELOR, apresentando os seus metadados

O MELOR apresenta as seguintes características:

- Os autores preservam os seus direitos;
- Cataloga os recursos e disponibiliza para os motores de busca;
- Projecta e divulga os recursos armazenados;
- Preserva digitalmente os recursos ao longo do tempo;
- Permite a partilha.

Permite a interacção directa entre os pares e receber por e-mail informações sobre novos recursos colocados.

## 2.6 Sumário

Numa sociedade em mudança e em franco progresso tecnológico o ensino ou a forma como este é transmitido tem evoluído de um ensino tradicional baseado no papel activo do professor para um ensino mais centrado no aluno adquirindo este um papel mais activo. Paralelamente surgiram novas formas de ensinar e aprender, nomeadamente as modalidades de *e-learning* e de *b-learning* que potenciaram de alguma forma o desenvolvimento dos OA's como novas ferramentas e recursos facilitadores da aprendizagem em formato digital. Assim, para além de uma caracterização a algumas teorias ou abordagens pedagógicas, procurou-se neste capítulo transmitir a noção de OA e de todas as características que lhe estão associadas bem como o seu grau de disponibilidade ao nível da *internet*.



### 3 Recursos 3D em OA's para a área da saúde

*"O que ouço, esqueço. O que vejo, recordo. O que faço, aprendo."*

*Confúcio*

O pedagogo alemão *Froebel*<sup>11</sup>, quando visitou a escola de *Pestalozzi*<sup>12</sup> na Suíça, ficou profundamente entusiasmado com as suas ideias educacionais. Em consequência, *Froebel* desenvolveu uma série de material educacional que, através de objectos e actividades relacionadas, permitia às crianças aprenderem a cor, a forma, a geometria e certos conceitos físicos através da construção e desenho de estruturas em 2D e 3D. Sob o ponto de vista educacional, *Froebel* privilegiou a aprendizagem daquilo que rodeia o ser humano, através da concepção e construção de modelos que existem no mundo real [Zuckerman, 2002].

Actualmente, com a tecnologia que nos rodeia, os alunos encontram-se particularmente motivados na aprendizagem baseada em imagem, vídeo e áudio de alta definição, que são facilmente encontrados em jogos interactivos e em ambientes virtuais 3D. A investigação sobre o uso de computadores e de tecnologia no ensino multidisciplinar de ciência, tecnologia, engenharia e matemática, mostra que, quando combinada com as actividades práticas baseadas em investigação e análise reflexiva, a interacção tecnológica é particularmente eficaz para promover o conhecimento, tendo em conta que a tecnologia 3D que pode ser aplicada estabelece a ponte entre os conceitos obtidos na aprendizagem e a sua aplicação no mundo real.

É neste sentido e de acordo com as palavras anteriores sobre a importância do 3D, que são apresentados alguns exemplos de utilização de modelos digitais 3D em OA's na área da saúde e que se encontram disponíveis na *internet*.

---

<sup>11</sup> Friedrich Froebel, pedagogo e reformador educacional alemão (1782 e 1852), fundador dos jardins-de-infância.

<sup>12</sup> Johann Heinrich Pestalozzi, pedagogo e reformador educacional suíço (1746 e 1827), com métodos educacionais centrados na criança e nas diferenças individuais de aprendizagem.

### 3.1 Modelos 3D no tratamento de fobias

Podem-se encontrar modelos 3D aplicados à realidade virtual (linguagem *VRML*) e realidade aumentada em situações como o tratamento de fobias, onde o paciente é colocado em ambiente simulado com recurso a modelação 3D e imagens reais em tempo real, para que dessa forma possa ser feita uma terapia adequada [Hoffman, 2002].

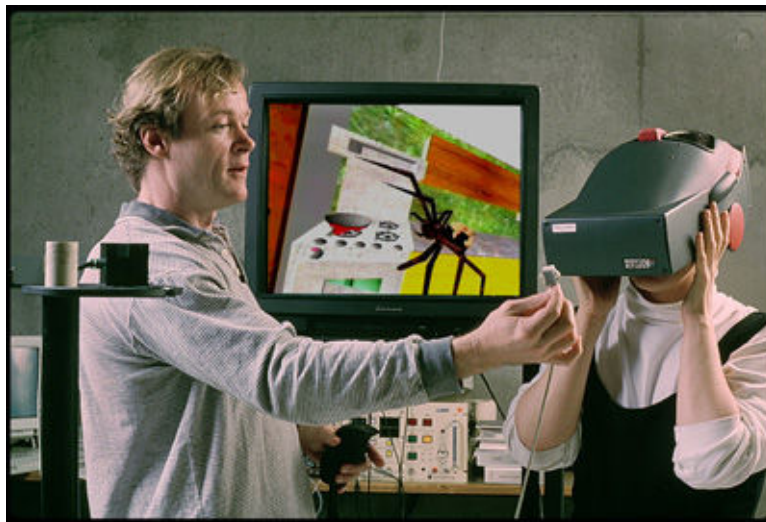


Ilustração 16 - Paciente em tratamento de fobia

### 3.2 Modelos 3D na fisioterapia

Em fisioterapia também já é possível encontrar tratamentos que fazem utilização destes mesmos recursos, mas aplicados em jogos, permitindo ao paciente interagir activamente em ambientes imersivos ou não imersivos, com o objectivo de obter maior qualidade de recuperação. [MOTÉK, 2007]

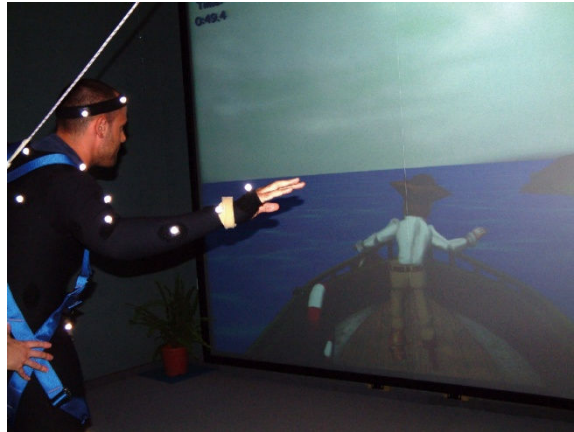


Ilustração 17 - Demonstração da utilização em fisioterapia

### 3.3 Simulador de Cirurgia em Realidade Virtual LAPSIM

A universidade *Health & Science University School of Medicine* (OHSU), situada em *Portland* do estado de *Oregon*, dos Estados Unidos da América, adquiriu em 2005 um dispositivo de simulação que permite aos cirurgiões a prática em operações complexas antes de entrarem na sala de operações, aumentando assim o número de intervenções cirúrgicas bem sucedidas nos seus pacientes.



Ilustração 18 - Sequências de uma cirurgia recorrendo a objectos 3D em realidade virtual

O dispositivo simulador em realidade virtual para cirurgia laparoscópica, o LSW 3.0 (LAPSIM), criado pela *Surgical Science* de Estocolmo, Suécia, emula, com um elevado grau de precisão, a anatomia dos órgãos e tecidos, preenchendo o que até agora tem sido um grande vazio em simuladores de realidade virtual: a capacidade de sentir através do tacto, quando é cometido um erro, de acordo com o presidente de cirurgia da OHSU, *John Hunter*.



**Ilustração 19 - Equipamento associado ao simulador de cirurgia em realidade virtual**

Os instrumentos de cirurgia do simulador utilizam o efeito de força em *feedback*, isto é, usam o efeito de retorno nas mãos do cirurgião devido à acção tomada. O simulador imita os tecidos e o sangue de maneira a que o cirurgião os possa sentir tal como se estivessem a agir na realidade.

“Isto é um grande avanço em simuladores e uma enorme vantagem para a formação dos cirurgiões”, refere *John Hunter*, ele próprio um pioneiro na cirurgia laparoscópica.

Ainda de acordo com *John Hunter*, “é uma enorme vantagem...”, referindo um estudo publicado em 2002 no *Annals of Surgery*, que mostrava cirurgiões que, para realizar uma cirurgia laparoscópica, utilizavam previamente, a agora chamada primeira geração de simuladores de realidade virtual, conhecida como *neblina VR*, onde por consequência foram constatadas operações mais proíficas e com menos erros na sala de cirurgia do que aquelas operações que eram feitas noutras instituições e que não tinham nenhum sistema de realidade virtual para aprendizagem através da simulação de cirurgias. Menos erros traduzem-se em melhores resultados para os pacientes e espera-se também, em último caso, mais vidas salvas.

Dado que a cirurgia laparoscópica é utilizada para tratar uma série de doenças e situações clínicas, incluindo situações de obesidade mórbida, remoção e reconstrução de tecidos afectados ou pré-canceroso do esófago ou de outras partes do aparelho digestivo, bem como para efectuar biopsias, envolvendo para o efeito a introdução de câmaras minúsculas, luzes e instrumentos através de um pequeno orifício aberto no abdómen, surge então a necessidade de treino dos cirurgiões, situação na qual é importante a utilização de simuladores de realidade virtual, dado que lhes permite adquirir mais experiência, desta feita fora da sala de cirurgia, aprendendo a diminuir a margem de erro e sobretudo sem causar complicações reais para os doentes, ajudando assim a acelerar a curva de aprendizagem.

O simulador oferece sofisticados programas de treino, onde são registados os erros, sendo uma forma de medir o desempenho e eficiência das operações, funcionando simultaneamente como um instrumento educativo e um instrumento de validação das competências. [Surgical Science, 2001]

### 3.4 Medicina reconstructiva *Medmat Innovation*

A *Medmat Innovation*, Lda é uma empresa dedicada à medicina reconstructiva e regenerativa, nomeadamente na construção de dispositivos médicos, biomateriais e biomodelação 3D. Encontra-se vocacionada para as soluções médicas que contribuem para a melhoria da qualidade de vida adaptada às necessidades de cada paciente.



**Ilustração 20 - Prótese femoral em liga de titânio e prótese facial Bioactiva**

Sendo especialistas na reconstituição anatómica a partir da biomodelação 3D, a empresa produz modelos médicos, guias cirúrgicas, próteses e implantes personalizadas através de *Stereolithography* (SLA), *Selective Laser Sintering* (SLS) e impressão 3D para cirurgia maxilofacial, implantologia, ortopedia e cirurgia vascular entre outras.

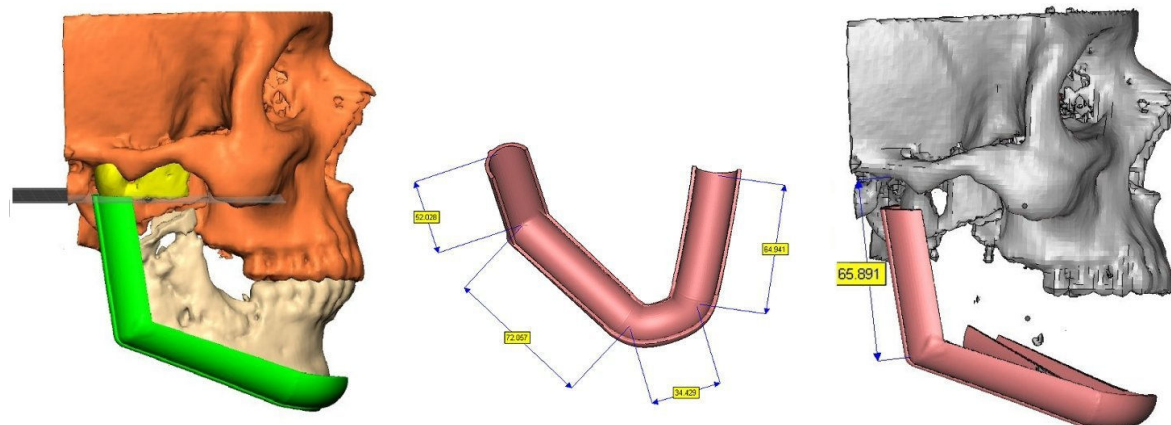


Ilustração 21 - Biomodelação 3D aplicada à cirurgia maxilofacial para fabrico de guias cirúrgicas

A empresa utiliza o *software* apropriado de edição e processamento de informação obtida por CT/MRI para produção em Prototipagem rápida (RP) e construção de biomodelos 3D físicos. Para o efeito são necessários três passos [Medmat, 2009]:

- **Captura da informação** – A partir de qualquer *scanner* médico (CT, MRI ou DSA) obtendo a informação necessária sobre o paciente para obter o biomodelo 3D.
- **Edição de dados** – Através de programas que permitem a manipulação eficiente, edição, visualização e a conversão para ficheiros de prototipagem rápida. É possível, nesta fase, proceder à reconstrução de partes em falta no biomodelo 3D.
- **Exportação de dados** – O programa permite criar ficheiros VRML para enquadramento em realidade virtual e ficheiros *Standard Tessellation Language* (STL) que são utilizados para produzir os biomodelos 3D em prototipagem rápida. Os ficheiros STL são a base para a produção de guias cirúrgicas, implantes ou próteses bioinertes e bioactivas de forma personalizada e adaptada ao paciente.

### 3.5 Exemplos de Modelos 3D no Ensino da Medicina

De uma forma geral os modelos 3D são utilizados em contexto de OA's, dos quais se apresentam aqui alguns exemplos relevantes:

### 3.5.1 O *Caveman*

O projecto *Caveman* visa criar mapas visuais de informação sobre doenças que têm um componente genético, como o cancro, a diabetes e o *Alzheimer*. Usando a *CAVE*, um ambiente de realidade virtual imersiva, a investigação irá integrar atlas digitais de alta resolução do corpo humano, com dados médicos relativos a doenças específicas. O resultado final será a nova geração de um sistema de visualização 4D (espaço e tempo) para observar processos evolutivos de doença e os efeitos das respectivas intervenções, tais como drogas e outros fármacos.



Ilustração 22 - Estudo do corpo humano no *Caveman*

Do ponto de vista técnico, o *software Caveman* é programado em Java, sendo enfatizada a sua portabilidade completa em todos os dispositivos de visualização, desde um simples computador portátil até à instalação mais sofisticada de realidade imersiva do tipo *CAVE*. O objectivo é o desenvolvimento completo de um atlas anatómico do corpo humano em Java e criar mecanismos de mapeamento entre o atlas e os dados biomédicos do paciente.

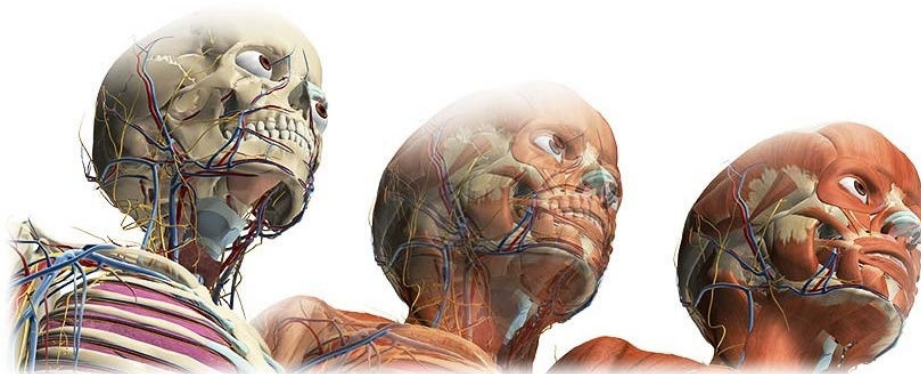


**Ilustração 23 - Panorâmica geral do Caveman**

A equipa do *Caveman* colabora com a empresa *Kasterstener Publications Inc.*, de *Red Deer, Alberta (E.U.A.)*, que é especializada no desenvolvimento de conteúdos pedagógicos de anatomia. Estes conteúdos são modelos anatómicos orientados a objectos, construídos a partir de múltiplas fontes de informação, incluindo livros de anatomia e a análise de cadáveres, seguindo a terminologia anatómica em uso. [Soh, 2005]

### **3.5.2 O VisibleBody**

O *Argosy's Visible Body* é uma das melhores ferramentas de visualização da anatomia humana, disponível actualmente sobre a *internet*.



**Ilustração 24 - Diferentes camadas de visualização do corpo humano**

O *Visible Body* caracteriza-se por ser um sistema interativo 3D completo da anatomia do corpo humano com modelos detalhados de todos os sistemas de corpo, capacidades dinâmicas de pesquisa, controles 3D de fácil utilização e compatibilidade com os navegadores de *Web* mais populares.

Esta aplicação, inteiramente orientada para a *Web*, assume-se como um verdadeiro explorador do corpo humano, oferecendo uma compreensão da anatomia humana que não tem precedentes. O *Visible Body* inclui modelos 3D de mais de 1700 estruturas anatómicas, incluindo todos os principais órgãos e sistemas do corpo humano.

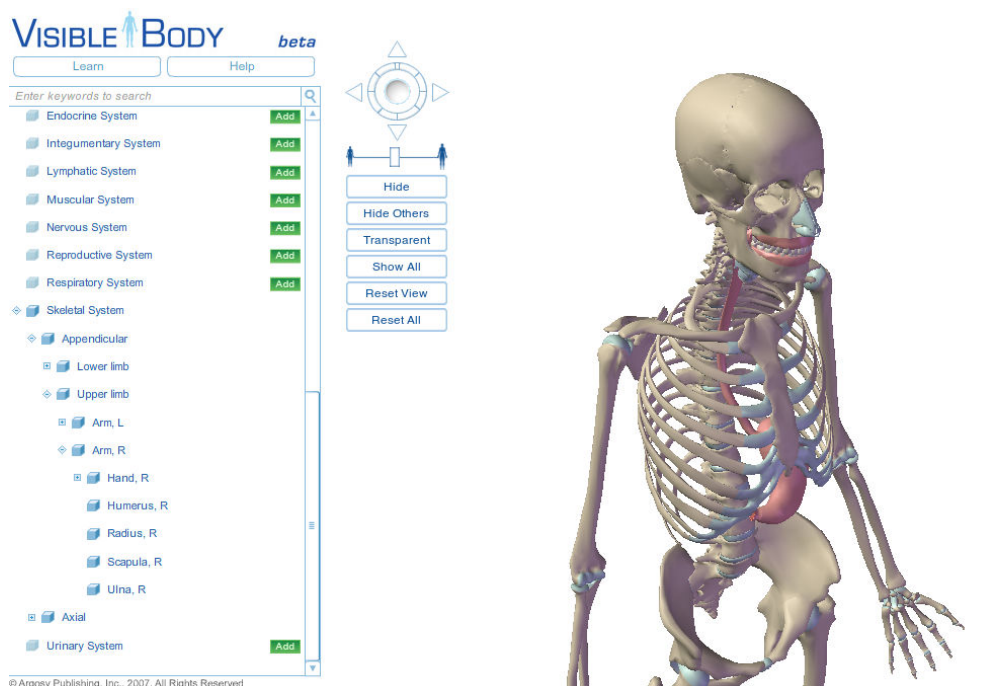


Ilustração 25 - Interface do programa em ambiente *web*

Os públicos-alvo do *Visible Body* são:

- **Professores/Formadores**
  - Para usar em sala de aula, na demonstração de estruturas e seus relacionamentos.
- **Estudantes**
  - Para usar como auxiliar de estudo e de memorização
- **Profissionais de Saúde**

- Para transmitir e explicar aos pacientes a sua situação actual de saúde.
- **Publico em geral**
  - Para explorar e aprender acerca do corpo humano.

O *Visible Body* é constituído por modelos 3D de grande detalhe e com elevado grau de precisão anatómica de todos os sistemas do corpo humano. [Argosy Publishing, 2007]

### 3.5.3 A *Medpedia*

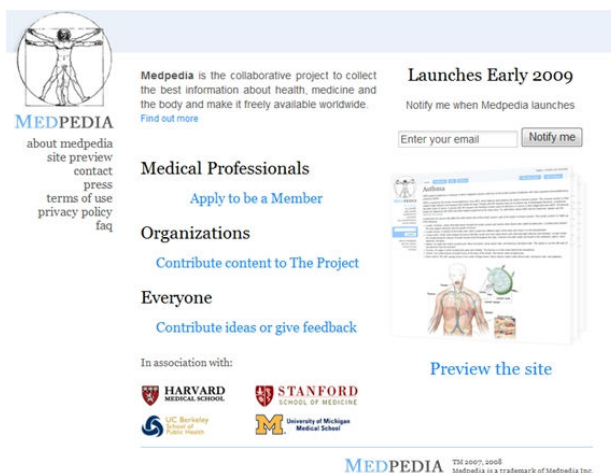
A *Medpedia* é um projecto de âmbito mundial, de longo prazo e que pretende evoluir para um novo modelo de partilha de conhecimentos avançados sobre saúde, medicina e do corpo humano, entre os profissionais da área médica e do público em geral. Este modelo baseia-se no fornecimento de uma plataforma tecnológica gratuita *on-line* colaborativa, interdisciplinar e transparente.



**Ilustração 26 - Representação do público-alvo deste projecto**

Os utilizadores da plataforma incluem médicos, consumidores, revistas científicas, escolas médicas, institutos de investigação, associações médicas, hospitais, organizações com e sem fins lucrativos, estudantes, profissionais da área médica, cientistas, etc.

Com o crescimento, a *Medpedia* irá ao longo dos próximos anos, tornar-se um repositório actualizado e imparcial de informação médica, mantida e contribuída por especialistas de saúde em todo o mundo, e disponível gratuitamente para todas as pessoas. A informação nela contida será fácil de descobrir e de navegar, e a sua plataforma tecnológica irá expandir-se à medida que a comunidade for reinventando novas formas de utilização.



**Ilustração 27 - Interface web do projecto MEDPEDIA**

Em associação com a *Harvard Medical School*, Escola de Medicina de *Stanford*, *Berkeley School of Public Health*, *University of Michigan Medical School* e outras organizações de saúde líderes mundiais, a *Medpedia* será uma verdadeira fonte de recolha de informação. [Ooga Labs, 2009]

### 3.5.4 A *Primalpictures*

A *Primal Pictures* foi criada em 1991 com o objectivo de criar um modelo 3D da anatomia humana, único, completo e medicamente exacto. A partir de 2003, o *software* de anatomia 3D é já utilizado na área da educação, sendo actualmente utilizado por pacientes, médicos e estudantes em vários países do mundo.



**Ilustração 28 - Pormenores do modelo 3D do corpo humano da *Primal Pictures***

A empresa *Primal Pictures*, afirma que a representação do corpo humano no seu *software* é único devido à sua precisão e grau de detalhe, sendo derivado de dados médico genuínos, que foram interpretados por uma equipa de anatomistas da *Primal*, e depois traduzidos em imagens tridimensionais por uma equipa de especialistas gráficos. As imagens de anatomia

são acompanhadas por animações tridimensionais que demonstram a função biomecânica e os procedimentos cirúrgicos. Para completar estes dados tridimensionais de anatomia, afirmam terem acrescentado vídeos clínicos e documentos escritos por alguns dos principais médicos especialistas no mundo.

Os utilizadores do *software* da *Primal Pictures* são:

- Educadores/Professores/Formadores
- Profissionais da área da saúde
- Estudantes
- Utilizadores autodidactas

A produção de *software* relacionado com este projecto está sediada em Londres, no Reino Unido, embora tenha consultores de vendas baseados tanto em Inglaterra como em várias regiões dos Estados Unidos. [Primal Pictures, 2003]

### **3.6 Sumário**

Com *Froebel*, os objectos 3D passaram a ter uma importância preponderante na educação das crianças, privilegiando a construção de modelos 3D físicos para adquirirem mais facilmente conceitos como a forma, geometria e outras propriedades físicas. Se fosse possível descrever este conceito em duas palavras, talvez as mais adequadas fossem “aprender, fazendo”.

Nos dias de hoje e seguindo no caminho das ideias educacionais de *Froebel*, é inegável em muitas situações o recurso a modelos 3D para melhor transmitir o conhecimento e fomentar a aprendizagem nas mais variadas situações e particularmente na área da saúde, incluindo o auxílio em processos terapêuticos. Neste capítulo procurou-se ilustrar o “estado da arte” referente à utilização destes recursos e que podem ser encontrados na *internet* apenas com alguns cliques.

## 4 Modelação, foto-realismo e animação 3D

*"Aquele que faz da realidade um sonho é um artista. Mas também é um artista aquele que do sonho faz a realidade."*

*Malba Tahan*

Os modelos digitais 3D aplicados à área da saúde, quando são anatomicamente correctos constituem uma mais-valia considerável para a sua integração em OA's. Na verdade, a percepção de certas características de um órgão ou parte do corpo humano só podem ser bem aprendidas através de um OA quando estas noções lhe estão associadas. No caso de o OA ser digital, a noção de volumetria, textura e forma e ainda a percepção do movimento conseguido pela animação pode ser obtida pela inclusão de modelos digitais 3D, como será o caso de um OA com um modelo digital 3D que represente um coração em corte transversal, com animação produzida de forma a visualizar com foto-realismo o seu comportamento interno enquanto ocorre o fluxo sanguíneo pelo seu interior. No caso de o OA ser baseado num modelo 3D físico, então ganha-se ainda a noção de mais algumas características como o tamanho, rugosidade e peso.

Actualmente, devido à constante sofisticação da tecnologia quer a nível de programas, quer a nível de *hardware*, com um aumento muito significativo da capacidade de processamento, estão a ser abertas portas a nível de programação que há poucos anos era impensável, levando a que tecnologias, como por exemplo o caso da Realidade Virtual que, embora já exista há algum tempo, possam agora ser aperfeiçoadas, abrindo o caminho aos Ambientes Imersivos e à Realidade Aumentada, que podem ser utilizadas a distância através da *internet*.

Todos eles têm um grande elo em comum: os modelos digitais 3D.

### 4.1 Um pouco de história

A modelação, o foto-realismo e a animação 3D são uma consequência directa do desenvolvimento da computação gráfica que para muitos autores surgiu em 1950 com o projecto *Whirlwind*, desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e que deu

origem ao primeiro computador com capacidades gráficas, o *Whirlwind I* em 1951 e que foi a base do sistema da defesa aérea conhecido por *Semi-Automatic Ground Environment (SAGE)* da força aérea dos Estados Unidos da América. O objectivo deste projecto era o de criar um simulador de voo capaz de proteger contra um ataque nuclear. Era composto por um grande ecrã de osciloscópio capaz de fornecer informação numérica e gráfica e esteve em operação até 1958 [Carlson, 2007].

Em 1963 *Ivan Sutherland* apresentou a sua tese "*Sketchpad: A Man-machine Graphical Communications System*", na qual propôs um programa revolucionário que permitia desenhar no ecrã utilizando uma caneta óptica como dispositivo de entrada. Estabeleceu também um marco na computação gráfica interactiva em tempo real ao criar um interface gráfico baseado em botões e com interacção directa sobre os objectos, tendo sido o primeiro *Graphical User Interface (GUI)* antes da definição do próprio termo, e cujo estilo de interacção pessoa-máquina é nos dias de hoje conhecido como *Direct Input Style* [SHKlyar, 2003].

O primeiro sistema de CAD 3D terá sido muito provavelmente o programa *Sketchpad III*, desenvolvido por *Timothy Johnson* na sequência do desenvolvimento anterior de *Ivan Sutherland*. O programa era apenas capaz de manipular segmentos de recta e figuras a três dimensões representadas apenas pelas suas arestas a cuja representação se deu o nome de *wireframe* (estrutura de arame) [webbox, 2008] [Myers, 1998].

O sistema de localização 3D por ultrasons "*Lincoln Wand*" que foi criado por *Larry Roberts* no laboratório da *Lincoln Labs* em 1986, apresentou o primeiro algoritmo de eliminação interactiva de *hidden lines* no espaço tridimensional, isto é, permitia ocultar objectos que se encontrassem por trás de outros objectos em relação ao ponto de vista definido no programa. Uma das suas primeiras utilizações foi na modelação molecular. Mas, o primeiro sistema de CAD/CAM industrial terá sido provavelmente o DAC-1 desenvolvido na *General Motors* [Myers, 1998].

Os primeiros programas de CAD/CAM eram acessíveis apenas para as grandes empresas na indústria da aeronáutica, automóvel e electrónica, porque só estas conseguiam suportar os grandes custos dos computadores com a capacidade necessária para efectuar os cálculos intensivos para correr esses programas. Nessa altura, as empresas líderes no desenvolvimento dos primeiros programas foram a *General Motors*, a *Lockheed* e a *Renault* [Berard, et al., 2008].

Durante esse tempo os sistemas de CAD/CAM foram proliferando, amadurecendo e algumas novas técnicas foram criadas. Nessa sequência evolutiva, surgiram algumas empresas e programas que são nos dias de hoje as grandes referências nas áreas de aplicação do CAD e do CAM, como a *Dassault Systèmes* que lançou o modelador de superfícies *CATIA*<sup>13</sup> (1981), a *Autodesk* (1982) com a primeira versão de *Autocad*, programado para correr em microprocessadores *Intel* 8080, 8085 e microprocessadores *Zilog* Z80 com o sistema operativo CP/M. Só a segunda versão do *Autocad* (1983) é que foi programado para os primeiros PC's cujo sistema operativo era baseado em DOS. Em 1984 a *Bentley Systems* lança o *MicroStation*<sup>14</sup>, a *CADKEY*<sup>15</sup> lança o seu programa de CAD 3D com o mesmo nome e em 1987 é lançado na Hungria o *Archicad*<sup>16</sup>.

Ao nível dos sistemas de modelação e animação 3D, embora a empresa *Alias Research* tenha sido fundada no ano anterior à empresa *Wavefront Technologies* fundada em 1984, terá sido esta última a primeira a lançar, nesse mesmo ano o primeiro *software* comercial, o *Preview*. Durante cerca de uma década, estas duas empresas foram amealhando sucessos até a empresa *Silicon Graphics Inc.* (SGI) as ter adquirido em 1995 criando a *Alias|Wavefront*. Paralelamente em 1986 foi criada a *Softimage*<sup>17</sup>, cujo programa *Softimage|3D* foi o primeiro a incluir comercialmente o módulo de cinemática inversa, tendo sido adquirida em 1994 pela *Microsoft*. Por sua vez, a *Autodesk* criou a sua primeira versão de *3D Studio* para DOS em 1990 (cuja última versão antes de ser descontinuada foi a versão quatro). Enquanto isso a *Autodesk* vinha preparando em sigilo um novo programa, o *3D studio max*, com características paramétricas e totalmente redesenhado de raiz para o sistema operativo *Windows NT*, tendo sido o primeiro programa a tirar partido das capacidades de *multi-thread* do *Windows NT*. O autor desta dissertação teve o privilégio de o lançar oficialmente em Portugal e ter sido a primeira pessoa a trabalhar, dar formação e a especializar-se neste programa, em virtude de ter sido o responsável técnico dos programas da *Autodesk* na empresa distribuidora exclusiva em Portugal, a *Micrograf*.

A *Autodesk*, num processo que culminou em 2006 adquiriu a *Alias|Wavefront* (que entretanto tinha já suprimido o nome *Wavefront* para ficar somente como *Alias*) e, por consequência, o

---

<sup>13</sup> Informação disponível em: <http://www.3ds.com/changerdere/the-competition/catia-modeling>

<sup>14</sup> Informação disponível em: <http://www.bentley.com/en-us/products/microstation/>

<sup>15</sup> Informação disponível em: <http://www.kubotekusa.com/products/cadkey.html>

<sup>16</sup> Informação disponível em: <http://www.graphisoft.com/products/archicad/>

<sup>17</sup> Informação disponível em: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13571168>

seu bem sucedido *software Maya*<sup>18</sup>. Na sequência, a *Autodesk* assinou também um acordo com a empresa *Avid Technology*, (que entretanto tinha já comprado a *Softimage Co* à *Microsoft*), para a aquisição da marca e os activos de animação 3D da *Softimage*.

Assim, pode-se dizer que hoje a *Autodesk* tem em seu domínio os principais sistemas de modelação e animação 3D, que são detentores da maior projecção no mercado e muito bem conceituados em termos de indústria.

Contudo, podem ser ainda destacados programas como o *Blender*<sup>19</sup> e o *Rhinoceros*<sup>20</sup>. O primeiro está ao nível dos melhores sistemas de modelação e animação 3D comerciais e tem a particularidade de ser *open source* ou seja, de uso livre com código de programação aberto à comunidade, registado ao abrigo da licença GPL. Começou a ser reescrito em 1995 pela mão de *Ton Roosendaal*, mas só ficou disponível de forma livre para a comunidade quando foi definitivamente registado com a licença GPL em 2002. O segundo é um dos melhores e mais intuitivos programas de modelação de superfícies complexas baseado no modelo matemático *Non Uniform Rational Basis Spline* (NURBS).

## 4.2 Programas de modelação, foto-realismo e animação 3D

Na modelação 3D, dependendo do objectivo final e da área de intervenção, podem ser escolhidos vários programas que melhor possam satisfazer a situação concreta. No mercado existem programas que são simultaneamente de modelação, foto-realismo e animação 3D, como o *3D studio max*, *Maya*, *Softimage* e *Blender*, assim como programas que são predominantemente de modelação 3D, como o caso do *Catia*, *Inventor*<sup>21</sup>, *Artcam*<sup>22</sup>, *Powershape*<sup>23</sup> e *Rhinoceros* e ainda programas que são exclusivamente de foto-realismo como o caso do *Pov-ray*<sup>24</sup>.

---

<sup>18</sup> Informação disponível em: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13577897>

<sup>19</sup> Informação disponível em: [www.blender.org](http://www.blender.org)

<sup>20</sup> Informação disponível em: [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com)

<sup>21</sup> Informação disponível em: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13717655>

<sup>22</sup> Informação disponível em: [www.delcam.com](http://www.delcam.com)

<sup>23</sup> Informação disponível em: [www.powershape.com](http://www.powershape.com)

<sup>24</sup> Informação disponível em: [www.povray.org](http://www.povray.org)

É também importante usar um programa de tratamento de imagem que possa ajudar na preparação de texturas a utilizar na criação do foto-realismo, como o *Photoshop*<sup>25</sup>, que é uma referência na área, com a particularidade de ser um produto comercial ou ainda o *Gimp*<sup>26</sup>, que responde bem, na grande maioria das situações e tem a particularidade de ser um programa livre ao abrigo da licença GPL.

Na elaboração de modelos 3D para a área da saúde, a escolha dos programas por parte do autor recai sobre o *Rhinoceros*, *3D studio max* e *Gimp*, não só pelas suas excelentes capacidades e pela natureza da modelação 3D na área da saúde, mas também porque o autor sendo formador nestes programas, tem naturalmente a possibilidade de fazer a sua utilização académica de versões de ensino, exceptuando o *Gimp* por ser de utilização livre.

### 4.3 Técnicas de modelação

A maior dificuldade na representação de modelos 3D, e em especial na área da saúde, está relacionada com a complexidade da própria estrutura anatómica, que obriga na maioria das situações à modelação de superfícies complexa para a sua representação mais correcta. Assim, os modelos digitais 3D, para manterem uma precisão e perfeição visual aceitável, têm de ter um número de polígonos muito elevado, causando um aumento drástico na quantidade de informação necessária à sua representação. Como consequência, pode-se tornar inviável a sua transmissão via *internet*. É principalmente por esta razão que os modelos 3D encontrados na *web* têm qualidade e perfeição visual diminuta, quando comparados com os modelos 3D vocacionados para a produção industrial.

Actualmente existe uma grande variedade de algoritmos baseados em modelos matemáticos para criar e editar os objectos 3D, e que dão origem a técnicas de modelação como a modelação por *Polygonal modeling*, *editable mesh*, *Patch modeling*, *NURBS modeling*, e *Subdivision surface*, que permitem, com abordagens e naturezas distintas, atingir o mesmo objectivo de obtenção do objecto 3D final, procurando cumprir com todos os requisitos inicialmente propostos.

---

<sup>25</sup> Informação disponível em: [www.photoshop.com](http://www.photoshop.com)

<sup>26</sup> Informação disponível em: [www.gimp.org](http://www.gimp.org)

### 4.3.1 Polygonal modeling

Os polígonos são formas geométricas planas com três ou mais arestas retilíneas e definidos por pontos no espaço tridimensional, que correspondem aos vértices. A região interior do polígono corresponde a uma superfície, a que se dá o nome de face. Os polígonos são modificados pela edição dos seus vértices, arestas e faces.

Um polígono também é simplificado chamado de face. Quando várias faces se conectam umas com as outras, estamos perante uma rede de faces a que se dá o nome de *polygon mesh* (malha poligonal). Os modelos 3D assim criados são baseados nas faces da malha poligonal.

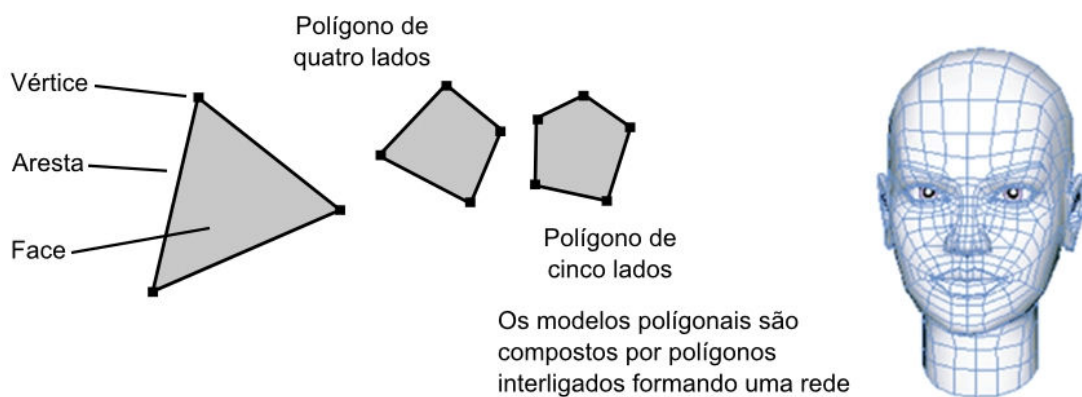


Ilustração 29 - Representação dos elementos que compõe uma face poligonal

Existem várias técnicas que podem ser usadas para criar modelos 3D poligonais:

- **Modelação baseada em primitivas básicas** – As primitivas básicas são, por exemplo esferas, paralelepípedos, cilindros, cones, entre outros, que podem ser modificados para os tornar mais ou menos complexos em termos de forma. É possível cortar, extrudir, juntar ou apagar os componentes das primitivas, para alterar a sua forma original.
- **Modelação baseada em formas bidimensionais** – Começando com formas geométricas no plano que podem conter segmentos com diferentes graus de curvatura, criados com precisão dimensional ou com forma livre, pode-se obter objectos tridimensionais pela extrusão, ou seja, pelo varrimento da forma bidimensional esticando-a ao longo do terceiro eixo. Por exemplo, de uma forma circular pode obter-se um cilindro.

- **Polígonos individuais** – criar polígonos individuais pela colocação dos seus vértices no espaço tridimensional, criando com isso faces individuais, às quais se podem ir adicionando novas faces interligadas construindo uma malha poligonal face-a-face.
- **Conversão em polígono** – Os polígonos pode também ser criados pela conversão de objectos de outra natureza, construídos a partir de outros modelos matemáticos.
- **Editable mesh/Editable Poly** - A modelação é feita pela edição das faces, arestas e vértices de um objecto poligonal já existente, permitindo aplicar escala, rotação, extrusão, torção e deslocação sobre as faces seleccionadas, obtendo um objecto de forma progressivamente mais complexa.

### 4.3.2 *Patch modeling*

Este tipo de modelação permite criar objectos que se assemelham aos de malha poligonal, mas com a diferença de a curvatura de cada superfície com forma rectangular poder ser livremente controlada com a interacção do dispositivo apontador sobre as alavancas definidas em cada vértice das respectivas superfícies. O polígono que corresponde a uma face na modelação poligonal é sempre plano, ou seja, é sempre rebatido num plano, de tal forma que na representação de um objecto com superfície curva são necessárias várias faces poligonais interligadas que, passo a passo, reproduzem essa curvatura, enquanto que o polígono quadrangular que representa uma unidade de superfície na modelação *Patch* pode ser curvo, ou seja, não reside em nenhum plano. Como consequência, a representação do mesmo objecto com superfície curva pode ser feita com apenas um polígono ou, na pior das hipóteses, com alguns, poucos, polígonos de *Patch*.

A modelação pode ser feita a partir da construção de *Patch* individual com possibilidade de adição de novos *Patch*, pela criação de uma grelha plana ou pela conversão de objectos 3D em objectos *Patch* e a sua edição posterior.

### **4.3.3 NURBS *modeling***

A expressão Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) corresponde a um modelo matemático de representação de geometria 3D que pode descrever com precisão qualquer forma, desde um segmento de recta no plano, um círculo, um arco, até curvas mais complexas, incluindo superfícies ou sólidos com formas orgânicas complexas. Devido ao seu grau de precisão e de flexibilidade, os modelos NURBS podem ser utilizados em qualquer processo de desenho, desde a ilustração, animação e até na produção industrial.

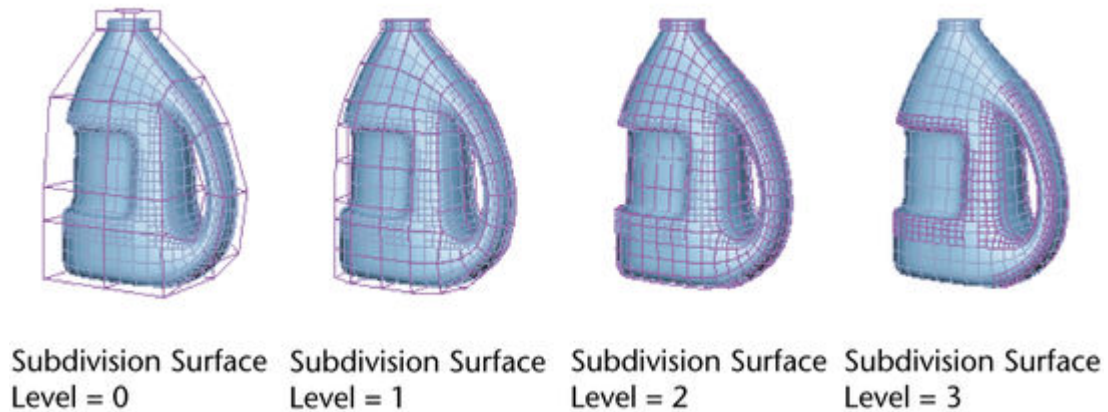
A representação de geometria baseada em NURBS tem várias características muito importantes, que a tornam a escolha ideal para a modelação assistida por computador:

- O modelo NURBS permite representar com precisão tanto os objectos com geometria básica como, por exemplo, os segmentos de recta, círculos, elipses, esferas, bem como os objectos com geometria mais complexa, como a forma estrutural de um carro ou como a forma do corpo humano.
- A quantidade de informação necessária para a representação geométrica baseada no modelo NURBS é significativamente inferior aquela que é necessária na modelação por ajuste de faces poligonais à forma exacta da geometria.
- Existem vários ficheiros de transferência baseadas em standards industriais que permitem a transferência da geometria NURBS entre sistemas de modelação 3D, sem perda de informação. O que significa que é expectável para o utilizador poder transferir modelos geométricos entre diferentes programas de modelação ou de animação ou ainda de análise de dados no projecto de engenharia, sem a preocupação de perda de informação.

### **4.3.4 *Subdivision surface modeling***

Este tipo de modelação define um tipo de superfície com características que, em parte, são semelhantes às faces poligonais e, em parte, semelhantes às superfícies NURBS.

Tal como nas superfícies NURBS, as superfícies baseadas no tipo de modelação *Subdivision surfaces* produzem formas orgânicas suaves e podem ser modeladas usando relativamente poucos pontos de controlo.



**Ilustração 30 - Representação dos níveis de subdivisão de superfícies**

Tal como as superfícies com faces poligonais, as superfícies baseadas em *Subdivision surfaces* permitem a extrusão de faces em áreas específicas, criando desta forma mais detalhe geométrico. Para além disso, existe a possibilidade de controlar os componentes das superfícies a vários níveis, podendo fazer a mudança de nível de modelação em qualquer instante.

Como é possível ter diferentes níveis de detalhe em diferentes regiões, então uma região que tenha uma forma mais complexa deverá ter mais pontos de controlo para permitir uma modelação com mais resolução e qualidade, enquanto nas regiões de forma simples, plana ou lisa deverá ter menos pontos de controlo.

Este tipo de modelação deve o seu nome à sua característica de modelação, a divisão em regiões de maior detalhe. Tudo começa com uma malha na qual se divide e subdivide em mais regiões cada vez com mais detalhe e resolução, permitindo em cada subdivisão ter um maior controlo nessa área.

A subdivisão de superfícies é feita pela modificação dos pontos de controlo a diferentes níveis hierárquicos. A malha base permite subdividir a área superficial em áreas mais pequenas. No nível de cada área existe um controlo mais pormenorizado nessa região específica.

Vantagens da modelação por *Subdivision surfaces*:

- Este tipo de modelação permite um nível de controlo e detalhe superior em relação ao tipo de modelação com faces poligonais.
- Permite criar geometria complexa apenas onde ela é precisa, ou seja em regiões mais complexas da superfície do modelo.
- Permite fazer mudança de direcção entre superfícies, criando arredondamento com concordância ou criando uma aresta sem arredondamento.

## 4.4 Técnicas de foto-realismo

Para uma representação bidimensional dos modelos digitais 3D com uma qualidade próxima do real é necessária a utilização de técnicas de representação que entram em linha de conta com as fontes de iluminação definidas e as propriedades de superfície dos objectos e a distância a que cada objecto se encontra do ponto de visualização. Nesse sentido existem várias técnicas traduzidas em algoritmos aplicáveis nos programas de *rendering*.

### 4.4.1 *Scanline Rendering*

A técnica de *Scanline rendering* é a mais usada actualmente na computação gráfica como, por exemplo, na indústria de jogos, em filmes de animação, em programas de visualização utilizados frequentemente na área científica e de engenharia e já se encontrando implementado mesmo em *hardware*, ao ponto de ser considerada na prática um padrão de *rendering*. Esta técnica faz uma abordagem baseada num modelo centrado no objecto, ou seja cada objecto é processado de forma a verificar que pixéis vai ocupar na imagem, fazendo de forma selectiva um varrimento da imagem linha a linha, contrariamente ao modelo que verifica para um dado pixel qual o objecto representado.

Com efeito, para cada primitiva é feita a sua decomposição em triângulos e os que ficam no alcance dos pixéis do ecrã têm o nome de micropolígonos. O processo de atribuição de cor aos pixéis através destes micropolígonos tem o nome de *rasterization*. Assim, após a identificação dos pixéis correspondentes aos vértices de um dado polígono, este polígono será subdividido em tiras horizontais de maneira a que seja feito o *Scanline* pixel a pixel entre as

arestas do polígono e após determinadas as várias características associadas ao polígono é atribuída a cada um dos pixéis a cor apropriada. Assim, só os pixéis do ecrã que alcancem os polígonos, serão processados .

#### 4.4.2 *Raytracing*

É uma técnica que se baseia na forma como os raios luminosos se propagam no espaço 3D, contabilizando apenas aqueles que passam pelo ponto de visualização e que se enquadram dentro da perspectiva definida previamente. Uma vez encontrado o ponto de intersecção do raio com um objecto, é calculada a cor do ponto que será atribuído ao pixel. Isto é obtido através de um processo de duas etapas, em que a primeira corresponde a traçar um novo raio entre o ponto de intersecção e a fonte de luz para determinar a intensidade de luz no ponto. Considerando que só existe um ponto de emissão luminosa, se esse raio intersectar outro objecto, então o ponto estará na sombra e não produzirá cor. Caso contrário, o ponto terá cor cuja intensidade dependerá do ângulo de inclinação que o raio fará com a superfície do objecto nesse ponto. A segunda etapa entrará em linha de conta com as propriedades de superfície do objecto. Se o objecto tem a propriedade de reflexão então é necessário determinar qual a cor a atribuir a essa reflexão. Isso é feito traçando um raio desde o ponto de intersecção seguindo a direcção predeterminada da reflexão. Se o raio encontrar um objecto, então haverá reflexão, por sua vez poderá ser calculada nova reflexão sobre este objecto encontrado, traçando um novo raio, sendo este um processo iterativo que só termina com a indicação da profundidade de cálculo, limitando o número de iterações e/ou quando a intensidade luminosa se torna insignificante, conforme se pode ver na figura:

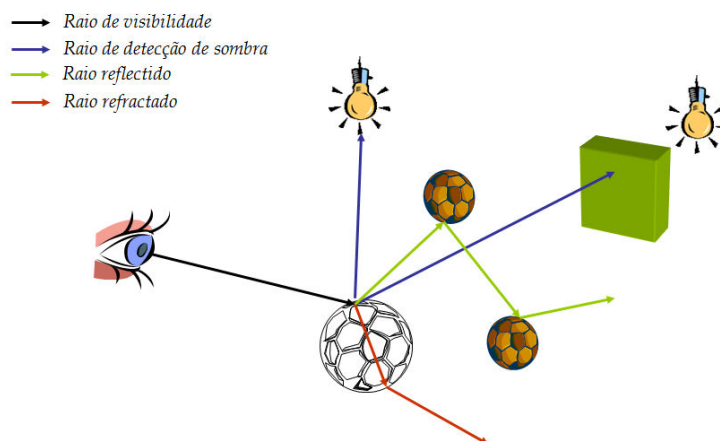


Ilustração 31 - Exemplo de *raytracing* recursivo

No caso de o objecto principal ter a propriedade de refacção, então é definido um raio desde o ponto de visualização, que atravessa o objecto até encontrar ou não um novo objecto, seguindo um comportamento análogo à reflexão incluindo a aplicação da recursividade no algoritmo de cálculo. Se o meio a ser atravessado pelo raio for o mesmo antes e depois da superfície, o raio não sofre desvio. Se o meio antes e depois for diferente, o raio será desviado de acordo com os índices de refacção (IOR) característicos de ambos os meios (lei de *Snell/Descartes*). A cor do pixel correspondente ao ponto em análise será então determinada pela afectação destas propriedades [codermind, 2008].

#### **4.4.3 Comparação *Scanline Rendering* vs. *Raytracing***

A técnica de *Scanline rendering* oferece uma substancialmente maior velocidade de processamento comparativamente com a técnica de *raytracing*, principalmente porque não processa os pixéis que não contém a geometria dos polígonos dos modelos 3D. Devido a isto, os sistemas com processamento de imagem em tempo real utilizam este processo de *Scanline*.

Por outro lado, a técnica baseada em *raytracing* é de longe a que fornece melhores resultados na produção de imagens em foto-realismo com o efeito de reflexo, transparência, múltiplas fontes de luz e áreas de emissão de luz e sombra.

#### **4.5 Técnicas de animação**

A animação tradicional é produzida por uma sequência de imagens que são gravadas fotograma-a-fotograma. Na animação por computador, embora seja seguido o mesmo princípio base, os fotogramas podem ser obtidos de várias outras formas que só em computador é possível produzir. No entanto, o resultado final é realmente o mesmo, ou seja uma sequência de imagens para animação.

O autor pretende neste ponto abordar os conceitos e as técnicas mais importantes da animação, sem contudo aprofundar, apenas para mostrar que são úteis para a animação de modelos digitais 3D na integração em objectos de aprendizagem na área da saúde [Autodesk, 2010].

### **4.5.1 *Keyframe Animation***

A animação por *keyframe* consiste na definição de propriedades num dado fotograma-chave que determina a forma como os fotogramas intermédios vão ser gerados para definir a interpolação do movimento em cada objecto animado. Isto é, o animador cria os fotogramas-chave pela definição de parâmetros nos respectivos tempos de animação. Como resultado, os fotogramas são gerados à medida que o movimento dos objectos é interpolado entre os fotogramas-chave. Na prática, todo o tipo de movimento, rotação, escala, deformação ou parâmetros geométricos dos objectos são animáveis por este tipo de animação.

### **4.5.2 *Procedural Animation***

Este tipo de animação é baseado em instruções estruturadas com base em algoritmos de programação. O animador define um conjunto de fórmulas matemáticas em programação estruturada que vão definir o movimento ou o comportamento do objecto a ser controlado. Desta forma, é possível simular correctamente certos movimentos mais complexos, como por exemplo, a animação da rotação dos pneus de um carro, transformando esse efeito no correspondente movimento linear do automóvel sem existir escorregamento dos pneus no chão. Também a animação do aumento progressivo da escala de um objecto, sendo, por exemplo, este sempre metade do tamanho de outro, ou ainda animar correctamente a trajetória de um corpo no seu percurso de subida e queda.

### **4.5.3 *Dynamic Simulation***

A animação baseada apenas na cinemática não entra em linha de conta com a dinâmica dos corpos, nomeadamente as leis de Newton. Só os objectos animados com base nestas forças físicas têm um movimento semelhante ao dos corpos reais. As forças e binários gerados produzem acelerações lineares e angulares de acordo com o comportamento real dos corpos. Neste tipo de animação são definidos quais os tipos de forças físicas que actuam no sistema, como por exemplo a gravidade ou o vento e os objectos que são afectados pelas forças físicas, bem como os objectos que aceitam as colisões. Por fim, é gerada a solução que produz os fotogramas-chave que determinam a animação.

#### **4.5.4 *Character Animation***

A maior parte da animação de personagens é baseada na estrutura hierárquica correspondente a um esqueleto. Quando é definida uma sequência de animação, essa sequência actua sobre o esqueleto de forma articulada. Este esqueleto é composto por segmentos interligados que correspondem a membros ou vértebras com as respectivas articulações. A articulação, tal como num esqueleto real, corresponde ao ponto de ligação dos membros, tendo estes uma amplitude de movimento restrito. Ao ângulo entre os dois membros de uma articulação, corresponde a amplitude angular. Na rotação dos membros existem geralmente três graus de liberdade correspondentes aos três eixos x, y e z. Em dois dos três eixos, a rotação ocorre provocando o movimento de todos os membros que hierarquicamente lhe estejam dependentes. No terceiro eixo que se encontra na mesma direcção do membro a que corresponde a articulação, existe uma rotação de torção, que também afecta todos os membros que dele estejam dependentes hierarquicamente.

#### **4.5.5 *Motion Capture Animation***

Este método consiste na captura e gravação do movimento a partir de dispositivos que permite capturar o movimento do mundo real e associá-lo ao espaço virtual 3D, guardando para cada fotograma a informação do movimento. É caso da captura e gravação da postura do andar do ser humano. Esta abordagem na animação produz movimentos extremamente reais, pois derivam directamente da realidade. Esta técnica tem, por exemplo, excelente aplicação no desporto de alta competição, mais concretamente na captura dos movimentos de um atleta para uma análise biomecânica e posterior correcção e aperfeiçoamento da postura técnica.

#### **4.5.6 *Deformable and Flexible Objects Animation***

Esta técnica permite fazer a animação de corpos deformáveis e flexíveis, como por exemplo, a animação de tecidos ou cabelos. Nos últimos anos tem sido dada muita importância a este tipo de animação. Esta técnica não só é aplicada na roupa das personagens com também noutros objectos como bandeiras, cortinados, toalhas de mesa e telas. A abordagem geométrica aos tecidos é feita com os objectos mais simples possíveis que não comprometam nem o aspecto

nem a flexibilidade e ao mesmo tempo favoreçam a simplicidade de processamento ao nível das propriedades físicas como a elasticidade, anisotropia e visco-elasticidade.

#### **4.5.7 *Particle Systems Animation***

Esta técnica de animação permite, através da geração de partículas, simular o comportamento de fluidos como a água corrente, lava, neve e granizo, bem como simular raios luminosos ou explosões com geração das partículas do objecto explodido. Para uma representação em foto-realismo pode ser feita a associação de texturas e materiais às partículas bem como de efeitos especiais tipo néon, incandescência ou lens flare.

#### **4.5.8 *Space Warps Animation***

Consiste na criação de deformadores de espaço que influenciam e deformam todos os objectos que entrem no seu raio de acção, como por exemplo uma bola de futebol a tocar na rede da baliza deformando-a ou ainda a animação da deformação do esófago à medida que o bolo alimentar segue o seu percurso descendente até ao estômago.

### **4.6 Modelação 3D por Engenharia Inversa**

Na engenharia de produto é actualmente frequente ver produtos de empresas concorrentes, com formas muito semelhantes ou apenas com algumas diferenças. Esta prática incide não só sobre os produtos concorrentes mas também na produção de sobresselentes para equipamentos obsoletos, ou na reprodução de peças de automóveis antigos ou ainda, entre outras, na conversão de modelos sólidos reais produzidos artesanalmente, como por exemplo uma escultura, em modelos digitais 3D. A este processo, que parte de produtos sólidos já existentes para a sua replicação digital em ambiente de projecto, com a possibilidade de os reproduzir ou de os transformar em novos produtos, chama-se Engenharia Inversa [Cheng, et al., 2009].

Anteriormente o processo empregue para a obtenção de copias obrigava à utilização do modelo tal e qual ele existia e eventuais modificações a efectuar obrigavam à utilização do

trabalho de um modelador ou maquetista, com todos os inconvenientes da perda de precisão que acarreta este processo manual. Mas nos últimos anos houve uma evolução muito grande na área da engenharia inversa com a criação de equipamentos de digitalização 3D que permitem obter modelos digitais 3D de maneira a ser possível em ambiente de projecto fazer alterações de forma e de escala.

A proposta de modelação digital 3D que o autor vai apresentar neste capítulo enquadra-se neste processo de engenharia inversa, na medida em que começa pela digitalização do corpo de um paciente, por tomografia axial computadorizada ou por ressonância magnética, seguido da sua replicação, por conversão da digitalização 3D em formato vectorial com a maior exactidão possível, obtendo modelos digitais 3D anatomicamente correctos, com a possibilidade de modificar a forma, as dimensões e a escala, em ambiente de projecto.

## **4.7 Prototipagem na modelação 3D**

A prototipagem tem sido usada desde há muito tempo como ferramenta de apoio à criação de novos produtos. Como tal, evoluiu em várias frentes pela necessidade de adaptação a diferentes aplicações. O recurso a protótipos surge da necessidade de reduzir ao máximo possível a probabilidade de defeitos na fase final do produto, para reduzir os tempos de produção e por consequência a redução do prazo de colocação desses produtos no mercado [Alves, et al., 2001].

### **Tecnologias Tradicionais de Prototipagem**

As tecnologias tradicionais de prototipagem utilizam todo o tipo de materiais, possibilitando a realização de protótipos no mesmo material do produto final, tornando estas tecnologias, em muitos casos, a única alternativa possível para a fabricação de alguns tipos de protótipos funcionais e pequenas séries.

As tecnologias tradicionais mais utilizadas para fabricar protótipos nos mais diversos materiais são:

- Modelação manual.

- Maquetismo.
- Carpintaria de moldes.
- Maquinagem convencional.
- Maquinagem CNC.

A versatilidade destas tecnologias implica uma grande disparidade nos custos envolvidos, sendo reduzidos para protótipos de geometria simples e de grandes dimensões, aumentando substancialmente para protótipos de formas complexas e de reduzidas dimensões.

#### **4.7.1 Modelação manual**

A modelação manual é um processo antigo que tem vindo a perder importância para a indústria devido ao aparecimento de tecnologias de prototipagem mais recentes, mas provavelmente nunca será eliminada completamente, principalmente nas situações em que a componente artística é preponderante.

Este processo requer do artesão uma grande habilidade, e em muitos casos, uma capacidade artística elevada. A diversidade de materiais que podem ser utilizados é vasta e vai desde a plasticina, gesso, espuma de poliuretano, argilas, madeiras, espuma de poliestireno, metais, entre outros, estando apenas limitada pela imaginação, competência do artesão e da disponibilidade de ferramentas adequadas.

O rigor dimensional é reduzido e a duplicação de formas complexas é difícil de realizar, razão pela qual este processo é utilizado essencialmente nos projectos de cariz artístico.

#### **4.7.2 Maquetismo**

O maquetismo é um processo de representação bastante antigo. Está normalmente associado a modelos escalados de arquitectura. Alguns dos objectivos do maquetismo são a avaliação estética, o impacto sobre o ambiente circundante e a angariação de clientes ainda na fase de

projecto. Mas o maquetismo também é utilizado na indústria para a representação e para o estudo técnico de peças, mesmo até as de grande porte como automóveis, motos, barcos, aeronaves, entre outros.

Os materiais utilizados na construção de maquetas são vastos, podendo ser cartão, plasticina, gesso, resina, fibras, madeira, plástico e metais.

### **4.7.3 Carpintaria de Moldes**

Esta é uma actividade bastante antiga, que é fundamentalmente utilizada para a fabricação de ferramentas de fundição, como moldes e caixas de machos para fundição em areia. Nos últimos anos, a actividade tem diminuído substancialmente devido às metodologias envolvidas nesta tecnologia serem algo incompatíveis com o ritmo de produção elevado característico dos dias de hoje.

A realização de um trabalho tradicional em carpintaria de moldes tem início com a recepção de um desenho 2D enviado pelo cliente, da peça a fundir ou do molde e caixa de machos. Todo o trabalho é realizado a partir do desenho em papel e com pouco recurso a máquinas, sendo no entanto possível obter peças com formas complexas e com elevada precisão dimensional. Normalmente o carpinteiro de moldes assegura total ou parcialmente o projecto das ferramentas de fundição, onde se incluem a definição de superfícies de apartação, ângulos de saída e sobreessuras para a maquinagem posterior.

O material mais utilizado para a realização dos modelos é a madeira, que pode ser monolítica ou em contraplacado.

### **4.7.4 Maquinagem Tradicional CNC**

Embora a maquinagem tradicional, quando comparada com as tecnologias de prototipagem rápida, não seja muito recente, revela-se extremamente competitiva e de grande utilidade para a realização de protótipos.

A maquinagem tradicional CNC utiliza o método substractivo a partir de um material em bloco, isto é, utiliza o método de arranque de aparas até chegar ao objecto com a forma final.

As características da maquinagem tradicional CNC tornam-na a ideal para realizar protótipos sólidos que normalmente não tenham geometria interior e que tenha a geometria exterior igual à do produto final.

Para a realização de protótipos, este processo, contrariamente ao que acontece com o processo de prototipagem rápida (método aditivo), não requer que o modelo digital 3D tenha coerência sólida, isto é, não é necessário um volume com as superfícies bem fechadas, isto porque se o objectivo for o de criar, por exemplo, um cunho, então é necessário definir apenas as superfícies que são maquinadas no bloco.

A principal limitação prende-se com as formas geométricas de maior complexidade, porque exigem ferramentas de corte de muito pequena dimensão, que obriga a muitas passagens da ferramenta para a obtenção de um bom acabamento superficial, aumentando o tempo e custo de produção.

Na maquinagem tradicional CNC, os protótipos podem ser produzidos praticamente em qualquer material e receber acabamentos superficiais.

#### **4.7.5 Prototipagem Rápida**

Nos vários processos de prototipagem rápida os modelos são obtidos por adição de material camada a camada até ser obtido o objecto pretendido. Por este motivo, as peças obtidas por estes processos apresentam irregularidades superficiais que são tanto mais acentuadas quanto maior for a espessura das camadas de deposição, que podem ser mais tarde atenuadas com acabamento superficial posterior.

Por convenção, a fabricação rápida de protótipos só deve ser considerada prototipagem rápida se:

- O processo for baseado em desenho vectorial 3D, mais concretamente modelos digitais 3D;
- O protótipo for criado quase automaticamente, ainda que possa ser necessário algum trabalho de preparação e de acabamento;
- Conclusão do protótipo no prazo de algumas horas até alguns dias;

- O modelo for produzido por adição de material;
- O processo dispensar a utilização de pessoal especializado;
- O processo for quase ilimitado na capacidade de geração de formas.

Tendo em conta o indicado, exclui-se naturalmente a maquinagem tradicional CNC, por ser um processo por arranque de apara (método substractivo) e exigir uma elevada especialização dos operadores apesar da fabricação num curto espaço de tempo.

Em todos os processos de prototipagem rápida recorre-se ao desenho 3D, que previamente é exportado em formato de ficheiro .STL, no qual todas as superfícies do modelo digital 3D são convertidas, com um certo grau de aproximação, a facetas triangulares. O ficheiro .STL ao ser introduzido no equipamento de prototipagem rápida é convertido num ficheiro .SLI, que divide o modelo digital 3D em fatias de espessura que podem ser extremamente finas, correspondente às várias camadas que compõe o modelo, na construção aditiva de camadas.

Nos diferentes processos e técnicas existentes, a escolha do processo que melhor se aplica à produção de um protótipo deverá ter em consideração os seguintes factores:

- Propriedades físicas, mecânicas e estéticas exigidas ao protótipo;
- Material a usar;
- Disponibilidade dos processos;
- Custos envolvidos;
- Prazos para a realização do protótipo.

#### **4.7.5.1 *Fused Deposition Modeler***

O processo *Fused Deposition Modeler* (FDM), consiste na fabricação de protótipos por adição de material em camadas, formadas pela extrusão de um material termoplástico sob a forma de fio através de uma microfieira, alimentado por uma bobine. A cabeça do cursor extrude e deposita o material em camadas muito finas, unindo-se a camada depositada à camada anterior durante a solidificação.

#### **4.7.5.2 *Layer Object Modeler***

No processo *Layer Object Modeler* (LOM), os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, nas quais são cortados, por um feixe laser, os contornos exteriores correspondentes aos cortes localizados dos componentes. O equipamento de prototipagem rápida deste processo, desenrola um rolo de papel impregnado com cola termoplástica na sua superfície inferior e depois comprime a lâmina de papel sobre a camada anterior dando-se assim a colagem entre as duas camadas.

#### **4.7.5.3 *Three Dimensional Printer***

Embora existam vários processos derivados do *Three Dimensional Printer* (TDP), de uma forma simplificada, a construção dos modelos é feita através da aplicação de um ou mais jactos que permitem a construção do modelo por camadas. Num dos métodos, a construção dos protótipos é feita a partir de um material em pó aplicado de forma uniforme sobre a superfície de trabalho, seguindo-se a deposição de um ligante líquido com a forma da camada, por intermédio de jactos muito finos. O processo é repetido para cada camada as vezes necessárias até obter a peça completa. Noutro método é feita a injeção de termoplástico através de microjactos que depositam a camada com a forma localizada da peça, sendo o processo repetido as vezes necessárias até obter a peça final. Normalmente existem dois injectores: um para o termoplástico que corresponde à peça final e o outro para o material de suporte que é usado, por exemplo, para ocupar as partes ocas das peças.

#### **4.7.5.4 *Selective Laser Sintering***

O processo *Selective Laser Sintering* (SLS), é um processo de prototipagem rápida que utiliza pós muito finos de material plástico, compósitos à base de polímeros, metais revestidos a termoplástico ou ligas metálicas que são ligados entre si através de um varrimento laser. Na câmara de construção pré-aquecida é laminada uma camada de pó correspondente à espessura de cada camada de construção. Usando sistemas electromecânicos de precisão, o feixe laser incide nas partículas, provocando a fusão parcial, obtendo-se desta forma uma estrutura sólida parcialmente porosa. O processo é repetido para cada camada até a peça estar finalizada.

#### **4.7.5.5 Stereolithography**

O processo *Stereolithography* (SLA ou SL), é o processo mais antigo de prototipagem rápida e um dos mais usados. Em SLA, os objectos são construídos pela fotopolimerização de uma resina epoxy líquida, usando um feixe laser de raios ultravioleta, que provoca na resina uma reacção fotoquímica. A reacção de polimerização da resina ocorre nas zonas onde o feixe incide. Usando sistemas electromecânicos de grande precisão, o modelo é construído varrendo em cada camada o equivalente à superfície correspondente ao contorno localizado da peça.

### **4.8 Projecto de modelação 3D na área da saúde**

Na busca de uma técnica eficiente para a produção de modelos digitais 3D de órgãos ou partes do corpo humano que possam ser considerados anatomicamente correctos, existe desde logo uma questão que pode ser levantada. O que se poderá entender por “modelo anatomicamente correcto”? Sem prejuízo de qualquer outra definição válida, o autor entende neste trabalho, como sendo um modelo digital 3D cujas superfícies adquirem a forma do objecto anatómico real com uma aproximação muito elevada, apenas limitada por uma margem de erro considerada aceitável se o modelo digital 3D se mantiver verosímil. Assim, será considerado um modelo digital 3D anatomicamente correcto, aquele que reproduz por ajuste das superfícies uma parte do corpo humano ou um órgão mesmo que este seja considerado morfológicamente deficiente. Precisamente porque o reproduz tal como ele é, com uma margem de erro aceitável e mantendo a verosimilhança.

Por conseguinte, a modelação que se baseia em superfícies curvas e que se interligam umas às outras com continuidade geométrica concordante, dando origem a superfícies complexas de forma suave, é frequentemente chamada de modelação orgânica, pela similitude com a forma anatómica dos seres vivos.

Neste enquadramento, pela complexidade que as formas dos órgãos ou outras partes do corpo humano apresentam, não deve ser feita uma abordagem de modelação com dimensionamento exacto semelhante à do projecto de máquinas ou de projecto de arquitectura, em que essas formas apresentam um cariz geométrico mais simples e dimensionalmente previsível e

reproduzível e com uso muito frequente de objectos geométricos básicos como esferas, cilindros, caixas e outros, também chamados de primitivas básicas.

A produção de modelos 3D para o apoio ao ensino da área da saúde, requer normalmente que exista pelo menos um especialista em modelação 3D e um especialista na área da saúde, pelo que apenas e só no ponto de vista estrutural é que segue o mesmo modelo de projecto utilizado em engenharia mecânica, civil ou arquitectura, onde são normalmente utilizadas para o efeito, equipas multidisciplinares.

Antes do projecto de produção de um modelo 3D começar, devem ser definidos todos os objectivos do trabalho a realizar.

Um modelo 3D será um recurso de aprendizagem que poderá ser utilizado para criar imagens com diferentes perspectivas, filmes de animação 3D ou para integrar OA's e assumir um papel interactivo e manipulável pelo utilizador.

No caso de um OA, este pode ser físico ou digital. Se for físico, a modelação 3D será orientada para a produção em oficina. Este é um dos pontos (não sendo o único) no processo de produção de um modelo 3D, onde o método de modelação escolhido é crucial para o resultado do modelo físico final. O mesmo é dizer, que é neste ponto que o método de modelação de superfícies orgânicas baseadas em NURBS em conjunto com a modelação de sólidos é crucial e preponderante em relação à modelação poligonal e a todos os outros métodos que tenham por base a modelação por polígonos. Isto porque as superfícies geradas em NURBS, por mais complexas que sejam e mais detalhe que tenham, são sempre reproduzidas por equações matemáticas que as descrevem com rigor. Assim, quando é necessária a exportação para o processo de fabrico, o modelador só tem de escolher qual a aproximação às superfícies NURBS que os polígonos do ficheiro de transferência vão ter. Deste modo, para uma reprodução fiel do modelo 3D, tal e qual foi modelado e dependendo se o modelo tem detalhes muito pequenos ou não, a tolerância de afastamento dos vértices dos polígonos às superfícies deve situar-se entre 0,01mm e 0,001mm. As tolerâncias com mais casas decimais irão dar origem a mais polígonos cada vez mais pequenos sobre superfícies que não apresentam mais pormenores a capturar e, por isso, sem maior ganho em termos de pormenor na fabricação e com a desvantagem de gerar ficheiros desnecessariamente maiores, que por isso podem por em causa o poder computacional dos computadores.

Mesmo assim, caso venha a ser necessário gerar um ficheiro de exportação com mais detalhe, basta gerar a transferência de novo, mas com a tolerância ainda mais pequena.

Se o modelo 3D fosse feito com base em algum método de modelação poligonal, o modelador teria sempre o compromisso de escolher um ponto de equilíbrio entre dois critérios antagónicos, o detalhe superficial e a informação poligonal mínima necessária para o fazer. Nesta dualidade nunca se consegue ter simultaneamente nem a informação mínima nem todo o detalhe necessário, pelo que, ao pretender exportar o modelo 3D com todo o detalhe, o que ficar situado entre os vértices de cada polígono gerado será perdido e substituído por uma faceta plana. Desta forma, a exportação para um ficheiro de transferência, por mais pequena que seja a tolerância definida, irá gerar fielmente o modelo original mas já com o detalhe perdido, o que teria pouco ou nenhum interesse para a produção de modelos físicos. Um processo análogo ocorre com uma fotocópia de um desenho original que já não apresenta a nitidez necessária para os detalhes da imagem serem capturados. Dessa forma já não é possível reproduzir na fotocópia esses detalhes porque também já não existiam no original.

Na modelação poligonal, se fosse necessário um modelo 3D com maior detalhe, contrariamente ao que acontece com a modelação NURBS, seria neste caso necessário fazer a modelação toda de novo mas com mais detalhe inicial na modelação 3D.

Se o objecto de aprendizagem for digital, o modelo 3D pode ser criado com recurso a qualquer um dos métodos de modelação 3D que o modelador considerar melhor no momento. O detalhe de um modelo digital 3D é necessário apenas para a sua apresentação visual. Nesta circunstância, o critério mais importante é o da simplificação do modelo pela redução do número de polígonos, mesmo que por vezes seja feito à custa da perda de algum detalhe. Assim, é possível reduzir drasticamente o número de polígonos, tendo como resultado nenhuma ou pouca perda no grau de detalhe necessário, através da técnica de dizimação, que consiste na redução estratégica do número de polígonos que não influenciam nem põem em causa a representação dos detalhes.

Paralelamente pelo recurso à técnica de representação que simula a suavização das arestas dos polígonos na sua representação gráfica é possível disfarçar a ausência acentuada de polígonos e conseqüentemente o efeito visual de superfícies bastante facetadas.

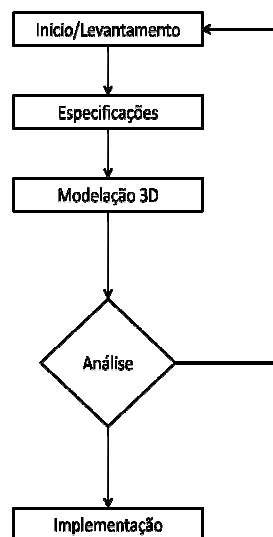
Assim, com modelos digitais 3D de baixo número de polígonos poderá ser viabilizada a sua utilização como recurso de aprendizagem ou pertencentes a OA's transmitidos via *Web* e

reproduzidos em qualquer computador ou dispositivo móvel, sem comprometer a sua reprodução correcta nem o poder computacional existente.

Existe uma fase inicial de levantamento de necessidades e de compreensão do que será o projecto e do contexto envolvente, sendo também o momento em que será feita uma análise prévia de viabilidade. Seguem-se as especificações, com o estudo aprofundado do projecto envolvendo a equipa.

No passo seguinte é feito o primeiro modelo 3D do qual é feita uma análise pela equipa multidisciplinar que decidirá se foi atingido o objectivo pretendido ou se será necessário proceder à execução de novos modelos. Este passo tem um carácter iterativo, o que normalmente o torna na etapa mais demorada do projecto. Porém, evita muitos erros que poderiam aparecer desnecessariamente no trabalho final. Quando esta etapa for dada como concluída, vem a implementação onde são produzidos os modelos 3D finais, com base nas conclusões obtidas. Todos estes passos são repetidos para cada projecto como no foto-realismo, na animação, nos efeitos especiais e na eventual integração num OA.

Podem-se resumir as etapas atrás referidas, da seguinte forma:



**Ilustração 32 - Fases de um projecto de modelação 3D**

Para a modelação 3D na área da saúde, duas abordagens foram ponderadas pelo autor. Uma entra em linha de conta com a observação do objecto a ser modelado, que partindo da planificação das vistas ortogonais de frente, lado esquerdo, lado direito, lado de cima, lado de baixo e lado de trás, será vectorizado pelo decalque manual efectuada no programa de modelação 3D. A outra entra em linha de conta com as imagens obtidas através de

digitalizadores usados na tomografia axial computadorizada ou ressonância magnética que, pela diferenciação de pixéis, serão vectorizadas permitindo obter informação tridimensional bastante detalhada e verosímil.

#### **4.8.1 Modelação 3D por vectorização de vistas ortogonais**

Enquadrado nesta abordagem o autor construiu para a elaboração desta tese dois modelos 3D com foto-realismo e animação (anexo 2). A representação do estômago/esófago e a representação externa de um olho com os músculos e o nervo óptico.

##### **4.8.1.1 O modelo 3D do estômago e esófago**

Partindo de uma imagem digitalizada com a representação do aparelho digestivo, colocada como fundo na vista frontal do programa *Rhinoceros*, foram construídas as curvas correspondentes aos contornos e às secções transversais.

Como se tratam de curvas complexas que resultam em formas orgânicas, a construção não pôde ser feita à base de segmentos de recta nem de arcos perfeitos, pelo que se utilizou curvas NURBS no decalque dos contornos. A modelação NURBS de curvas e superfícies tem por base a definição de equações matemáticas cuja ordem de complexidade pode ser bastante elevada.

A complexidade da geometria assim obtida é variável, bastando para o efeito a alteração do grau da equação. Assim, uma equação de grau 1 dá origem a uma equação NURBS linear e, conseqüentemente, à representação visual de segmentos de recta, semelhante a um segmento de recta produzido pela equação da recta. Quanto maior for o grau da curva, mais suave esta será. É frequente na indústria utilizar curvas de grau 3, grau 5 e, por vezes, grau 7. Contudo, se o grau for ainda maior a complexidade de cálculo aumenta, o que a partir de certa altura é ineficaz para a modelação e torna a modelação mais lenta e difícil de manipular.

O decalque da imagem do estômago e esófago deve situar-se no justo equilíbrio entre o mínimo número de pontos necessários para ajustar à forma e a quantidade de pontos necessária e suficiente para resolver os seus detalhes. Tendo em conta isto, esta é uma das

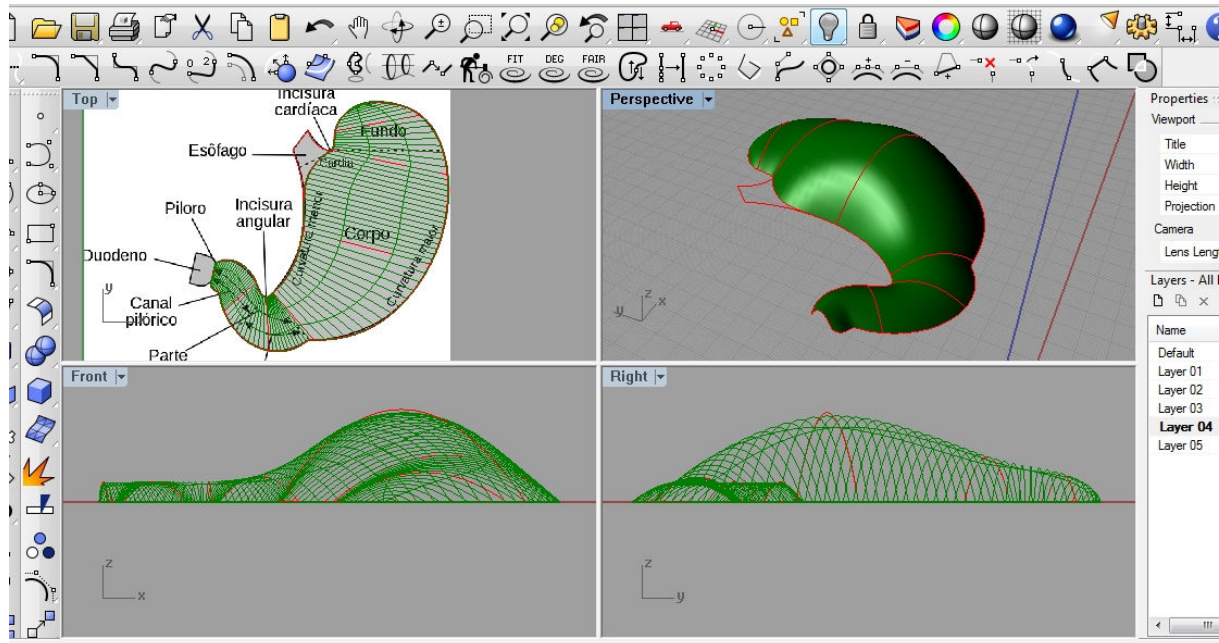
situações onde entra com toda a certeza a experiência e sensibilidade do modelador 3D. Com efeito, numa forma curva e lisa (sem detalhes), se for possível representar essa forma com uma curva NURBS de apenas três pontos, porque é que se vai utilizar seis, sete, oito ou mais pontos? Trata-se de informação a mais e desnecessária, que inclusivamente pode trazer maior dificuldade de modelação, se for necessário posteriormente editar essa curva.

A ferramenta escolhida no programa *Rhinoceros* para o decalque foi a curva NURBS por interpolação de pontos com grau 3.

Depois de definidos os pontos por onde deveria passar a curva, a equação associada fez a interpolação da forma da curva entre esses pontos, mantendo sempre uma relação de suavidade. A partir desta imagem, o estômago e o esófago foram decalcados com o objectivo de os modelar separadamente em 3D e juntá-los no fim com uma continuidade geométrica de tangencia.

Em qualquer dos casos foram posteriormente construídas as curvas que representavam as secções transversais do objecto para obter a estrutura anatómica.

No caso do estômago, foi construída a superfície NURBS *NetworkSrf*, que permitiu obter a forma de uma metade do objecto. Esta superfície utilizou a rede de curvas da estrutura dispostas em duas direcções perpendiculares umas às outras. O resultado obtido, para efeito de uma melhor compreensão, pode ser comparado ao revestimento de uma estrutura de arame com um plástico semelhante ao usado para cobrir os alimentos. Ao esticar o plástico, este, por ser maleável, vai-se conformar à estrutura de arame, embora no intervalo dos arames o plástico tenha uma progressão linear tornando a superfície final algo facetada. Na construção da superfície NURBS, o intervalo entre as curvas vai ser interpolado pela equação associada que pode ser cúbica ou mesmo de grau superior, garantindo sempre uma curvatura suave e por conseguinte uma superfície final também de forma suave, conforme é possível ver na figura seguinte:



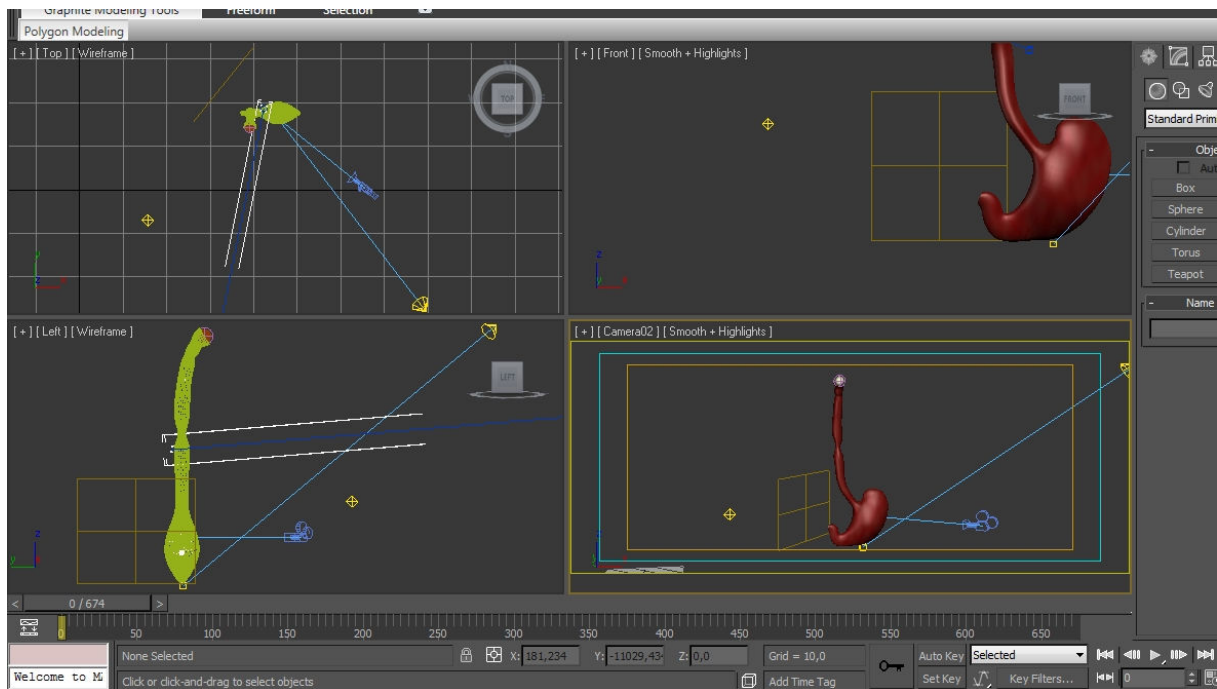
**Ilustração 33 - Fase inicial de modelação 3D do estômago em NURBS, no *Rhinoceros***

Através do comando de transformação por simetria, o comando *Mirror*, foi feita a cópia para a outra metade do objecto, ficando concluída a forma 3D do estômago.

No caso da modelação do esófago, foi utilizado o comando *Sweep1*, que através da curva axial e das diferentes secções transversais ao longo do esófago permitiu construir a superfície por varrimento dessas secções ao longo do eixo.

Para ligar o esófago ao estômago, foi feita a abertura do estômago cortando e removendo a parte da superfície que não era necessária, e construída uma superfície de ligação através do comando *BlendSrf*, que garantiu a suavidade de transição entre a superfície do esófago e a superfície do estômago.

Com a modelação pronta no *Rhinoceros*, transferiu-se para o *3D studio max* com o objectivo de criar o foto-realismo e a animação. Havia várias opções de transferência do modelo 3D, sem que existisse perda significativa de qualidade. Foi adoptado o ficheiro com o formato *.3ds* por ser um formato de transferência da *Autodesk* muito usual na transferência de e para o *3D studio max*.



**Ilustração 34 - Fase avançada da animação 3D do bolo alimentar a percorrer o esófago e o estômago, no programa 3D studio max**

Para criar a textura, havia essencialmente duas abordagens: uma consistiria em obter uma imagem real do estômago e tratá-la posteriormente em *Gimp* para a adaptar ao modelo 3D; a outra abordagem seria desenhar totalmente a textura no *Gimp* e adaptá-la ao modelo 3D no programa 3D *studio max*.

Não tendo sido possível obter uma imagem adequada da superfície do estômago, foi usada a segunda abordagem.

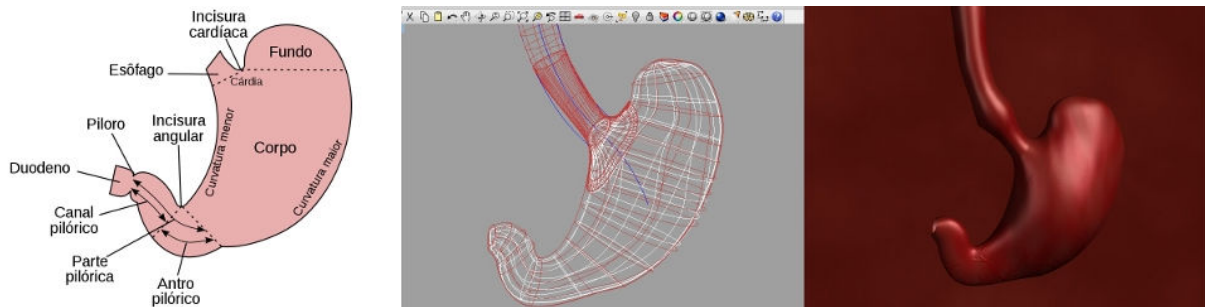
Na definição do material do estômago e esófago foram definidas as propriedades de luz difusa, especular e ambiente e a quantidade de luz absorvida e reflectida e a propriedade de rugosidade superficial, para que a textura não ficasse completamente lisa.

Em termos de iluminação, foi definido um projector *spotlight* posicionado de forma a iluminar a perspectiva da câmara e uma luz distribuída *omni*, do mesmo lado da câmara mas em posição oposta ao projector, com uma intensidade mais reduzida para equilibrar e diminuir os contrastes de luz no espaço de cena.

Na animação pretendeu-se simular o percurso do bolo alimentar até ao estômago. Para se poder obter um grande pormenor num percurso com uma grande amplitude, optou-se por dar movimento à câmara de maneira a conseguir manter sempre um bom enquadramento. Na

parte final da animação foi definida a propriedade translúcida à parede do estômago para se poder visualizar o seu interior.

Para animar o bolo alimentar no movimento descendente pelo esófago foi definida uma esfera à qual foi associada no programa *3D studio max* um gerador de campo de forças esférico *Displace* responsável pela distorção das paredes do esófago, à medida que estas entram dentro do campo de acção dessas forças, simulando assim a elasticidade do tecido do esófago.



**Ilustração 35 – Modelo 3D produzido pelo autor: fases de projecto aplicadas à modelação 3D do estômago e esófago**

#### **4.8.1.2 O modelo 3D do olho**

Relativamente ao modelo 3D do olho, pretendeu-se fazer apenas a sua representação exterior anatómica. Para tal, foram construídas as curvas da forma do globo ocular e dos músculos no programa *Rhinoceros*, usando uma imagem como fundo contendo a representação lateral do olho. A partir dessas curvas foram modeladas as superfícies representativas da esclerótica do globo ocular, da córnea, da íris e pupila, do nervo óptico e dos músculos recto superior, recto interno, recto externo, recto inferior, oblíquo superior e oblíquo inferior e ainda do músculo elevador da pálpebra superior, embora este último posicionado um pouco mais afastado da sua posição normal para permitir uma melhor leitura e percepção dos outros músculos.

Após a modelação 3D estar concluída, foi feita a exportação para o *3D studio max* usando o formato de transferência .3DS.

No *3D studio max* foram atribuídos os materiais e a definição dos processos e técnicas de animação no geral e em particular a simulação da dilatação ou contracção da íris sobre a abertura da pupila.

A definição do material da íris e da pupila partiu de uma fotografia do olho, que sofreu um tratamento de imagem no programa de edição de imagens *Gimp*, essencialmente para eliminar

o acentuado brilho existente sobre a pupila e também equilibrar as cores e a intensidade de luz.

O material para a esclerótica do globo ocular foi criado sinteticamente no *Gimp* a partir de um fundo de cor branca no qual foram desenhados a vermelho os vasos sanguíneos característicos do olho.

O material dos músculos foi criado a partir de uma imagem sintetizada no *Gimp*. Esta foi construída a partir de faixas intercaladas em cor avermelhada, variando entre um tom mais claro e mais escuro. Nas extremidades das faixas foi definida a cor branca com riscos a preto. Nos objectos 3D dos músculos, definiu-se um mapeamento da textura que permitiu forçar as faixas a esticarem até ao comprimento total dos músculos, ficando assim uma textura semelhante à de um músculo real.

No material atribuído ao objecto 3D do nervo óptico não foi usada nenhuma textura. Apenas foram atribuídas as propriedades do material relativas ao nível de rugosidade, cor e a luminosidade absorvida e reflectida.

No material atribuído à córnea não foi usada nenhuma textura. Apenas foram atribuídas as propriedades do material relativas à transparência, ao brilho intenso sobre a zona especular da luz e ao reflexo produzido pelo modelo de *rendering* por *raytrace*, capaz de reflectir todo o meio ambiente.

Foram geradas duas animações do olho, uma para permitir visualizar o olho em 360 graus e a outra mostrar a dilatação e contracção da íris com o conseqüente aumento e diminuição do diâmetro da pupila.

Qualquer animação deve ser preparada tendo em conta qual vai ser a sua forma de reprodução. Se esta vai ser reproduzida em vídeo para televisão ou para cinema, para computador ou para *internet*. Será portanto necessário definir parâmetros como a resolução da imagem, a profundidade de cor, o número de fotogramas por segundo (25 fotogramas por segundo (fps) para o sistema de televisão PAL, 24 fps para cinema, 12 a 15 fps para computador ou *internet*) e também a sua duração e taxa de compressão dos fotogramas.

As animações aqui produzidas foram pensadas para a reprodução em computador ou eventualmente através da *internet*, pelo que os parâmetros atrás referidos foram definidos em

conformidade, para que não ficassem animações com um grande peso computacional e permitisse a sua reprodução em tempo real.

Para a animação do olho numa volta de 360 graus foi definida uma resolução de imagem de 640x480 pixéis a uma razão de 15 fotogramas por segundo para um total de 450 fotogramas, correspondendo a 30 segundos de filme.

Foi definido um círculo em torno do olho que serviu para controlar o percurso da câmara à sua volta. A câmara foi colocada a uma altura num plano ligeiramente superior ao plano do olho para obter um bom enquadramento de perspectiva, mantendo sempre o alvo da câmara no centro do olho.

Em termos de iluminação foram feitas duas abordagens. Uma para o foto-realismo de imagens de alta qualidade de *render* e outra para a animação. A iluminação para o foto-realismo de imagens de alta qualidade deve ser feita com fontes de luz que garantam a maior aproximação possível à realidade, utilizando por exemplo a técnica de iluminação global como forma de distribuição da luz, associado também à aplicação de *render* de maior qualidade possível, que neste caso é o motor de *render mentalray*. O tempo de cálculo é significativamente maior, mas perfeitamente justificado pela qualidade de imagem obtida e por ser apenas para a produção de poucas imagens. Assim, foram utilizadas uma fonte de luz *Skylight* que faz uma distribuição de luz semelhante à luz ambiente exterior, uma fonte de luz fotométrica com uma área rectangular de emissão de luz e com feixe dirigido com produção de sombra *raytrace* e uma luz fotométrica com um ponto de emissão de luz e com feixe dirigido sem produção de sombra. Na imagem seguinte é apresentada a cena no 3D Studio MAX:

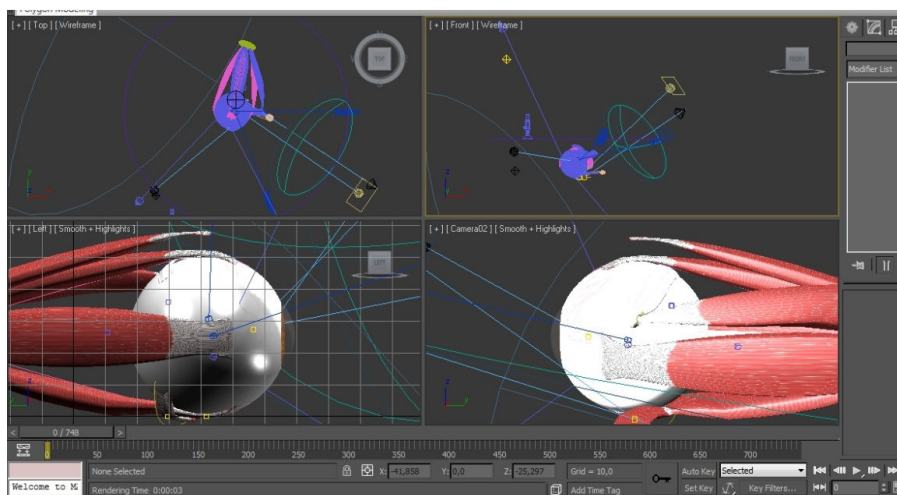


Ilustração 36 - Representação da fase avançada de animação do modelo 3D do olho no 3D studio max

A iluminação para animação poderia ter sido feita com a mesma iluminação usada para a produção de imagens de alta qualidade, mas porque demoraria muito tempo e seria necessária a utilização do processamento paralelo de vários computadores em rede, conhecido por *render farms*, só faria sentido numa produção cinematográfica ou de outra natureza, onde os ganhos da venda de direitos de exibição justificassem largamente os orçamentos gastos em produção. Assim, associado ao motor de *render default Scanline renderer*, que produz um foto-realismo bastante rápido e de qualidade muitíssimo aceitável, foram utilizadas duas fontes de luz omnidireccionais como luzes secundárias sem produção de sombra, para simular um efeito algo parecido com a radiosidade obtida através da técnica de iluminação global e uma fonte de luz fotométrica com uma área rectangular de emissão de luz e feixe dirigido, produzindo sombra, simulando uma fonte de luz com distribuição luminosa, intensidade, temperatura de cor, atenuação e efeito de sombra semelhante à iluminação real.

Na animação da dilatação e contracção da pupila, foi aproveitado o facto de o *3D studio max* ser um programa paramétrico, no qual é possível animar quase todos os parâmetros, foi feita a animação do parâmetro correspondente ao raio interior do anel que foi criado para representar o conjunto íris e pupila. A câmara ficou estática numa perspectiva que permitisse visualizar em pormenor toda a animação. A iluminação e o *render* utilizados foram os mesmo usados na animação à volta de 360°.

A imagem seguinte apresenta o resultado final do modelo digital 3D do olho em diferentes perspectivas:

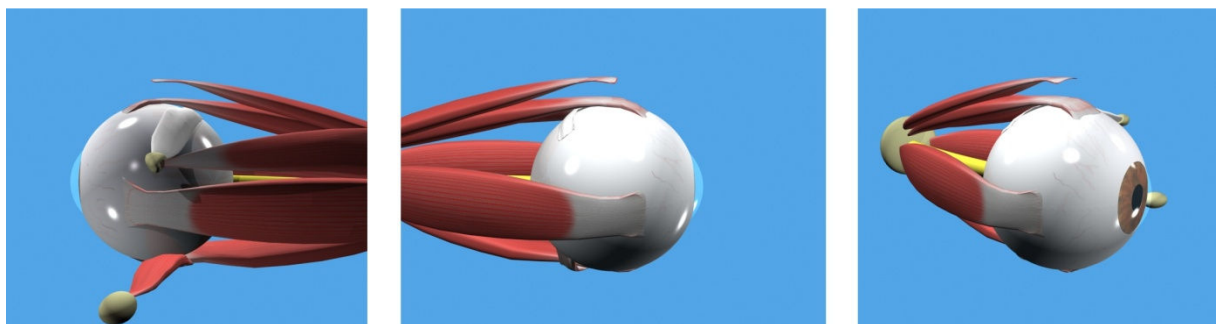


Ilustração 37 - Diferentes perspectivas da animação do modelo 3D do olho

## 4.8.2 A modelação 3D a partir de imagens médicas

Contrariamente à modelação descrita anteriormente, a modelação 3D baseada em imagens médicas, que são obtidas por método não invasivo a partir do corpo do paciente quando este se sujeita a passar através de uma máquina digitalizadora de tomografia axial computadorizada (TAC), ultra-sons ou ressonância magnética (RM), a informação assim obtida permite criar modelos digitais 3D que podem ser considerados anatomicamente correctos.

Estas digitalizadoras fazem o varrimento axial do corpo ou de parte do corpo humano obtendo a informação para cada secção transversal que atravessa, guardando num formato de ficheiro de imagens médicas.

Os ficheiros assim obtidos têm tanto mais informação quanto mais pequeno é o passo para obtenção da secção transversal no varrimento que é feito durante o movimento axial da digitalizadora, isto é, quanto mais secções transversais forem obtidas na mesma distância percorrida durante o movimento axial.

Outros factores importantes para a qualidade da informação obtida são as propriedades associadas à imagem, como por exemplo o brilho e o contraste. Uma imagem com alto contraste consegue capturar os pormenores mais ténues na separação entre tecidos ou órgãos, aumentando assim a qualidade das imagens.

Cada imagem assim obtida é detentora de muita informação gráfica distribuída por uma área plana correspondente à secção transversal analisada. Esta informação por si só já é fundamental para os actos médicos de diagnóstico, mas se as imagens obtidas no mesmo contexto forem empilhadas, passa a existir toda a informação volumétrica do corpo ou parte do corpo humano, apenas limitada pelo número de secções transversais que forem definidas na digitalização.

Neste contexto, existem programas que permitem visualizar, manipular e mesmo obter modelos digitais 3D em formato vectorial que podem ser produzidos fisicamente pelo processo de prototipagem rápida, na modalidade de impressão 3D.

#### **4.8.2.1 A norma DICOM**

Com a introdução da TAC e de outras modalidades de diagnóstico digital nos anos 70 do séc. XX e com o incremento do uso de computadores em actos clínicos, a *College of Radiology (ACR)* e a *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* reconheceram a necessidade emergente de uma norma que permitisse disciplinar os diferentes formatos de imagem digital utilizados e o método de transferência dessas imagens e da informação associada, entre dispositivos de diferentes marcas e fabricantes.

Estas duas instituições formaram em 1983 um comité para o desenvolvimento da norma *Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM)* que teve por base promoção da comunicação de imagens e da informação associada que fosse independente do fabricante de dispositivos, facilitasse o desenvolvimento e expansão do arquivo de imagens médicas e a comunicação entre sistemas que pudessem ser interligados com outros sistemas de informação hospitalar e ainda permitisse a elaboração de bases de dados de informação de diagnóstico que pudesse ser acedido por grande variedade de dispositivos e que fosse independente da localização geográfica.

O formato de ficheiro DICOM da norma com o mesmo nome, foi o formato utilizado para o desenvolvimento desta tese, tendo também em conta a quantidade razoável de imagens disponibilizadas de forma livre na *internet*, com a devida salvaguarda da informação pessoal do paciente.

#### **4.8.2.2 Programas adicionais utilizados**

Existem no mercado vários programas, uns comerciais e outros de utilização gratuita, para visualização de imagens médicas. Estes programas permitem essencialmente a sua visualização, conversão e impressão. Exemplos de programas de visualização são o DicomWorks, MicroDicom, Sante Dicom viewer e o OsiriX Dicom Viewer,

No entanto também existem alguns programas com capacidades avançadas de manipulação e edição de imagens médicas. Na sua grande maioria são programas comerciais bastante onerosos. Contudo também existem alguns programas *open source*, isto é, de código aberto e de utilização livre, de excelente qualidade e que resolvem a grande maioria das situações práticas existentes, não só para a visualização das imagens como também para a sua manipulação e exportação vectorial, como por exemplo o *Invesalius* e o *Itk-snap*.

#### 4.8.2.2.1 O *Invesalius*

É um programa de utilização livre e de código aberto ao abrigo da licença *General Public License*, para reconstrução tridimensional de estruturas anatómicas, baseado na manipulação de conjuntos de imagens DICOM, obtidas através de equipamentos de TAC ou RM, permitindo gerar modelos 3D de regiões de interesse do corpo humano.

A informação relativa à reconstrução 3D pode ser exportada no formato STL e utilizada para criar modelos 3D físicos pelo processo de maquinação ou de prototipagem rápida.

Foi desenvolvido no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, centro de pesquisas do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil, e está hospedado no Portal do *Software Público* brasileiro. A licença do *software* é CC-GPL 2 e está disponível em português do Brasil, inglês francês e espanhol.

Foi desenvolvido na linguagem de programação python e pode ser utilizado nos sistemas operativos GNU Linux e Windows.

Trata-se de uma ferramenta simples, de utilização livre e gratuita, robusta, multi-plataforma, comandos em português, funções claras e directas, de fácil manuseamento e rápida quando executada em microcomputador PC.

O uso das tecnologias de visualização e de análise tridimensional das imagens médicas e de prototipagem rápida permitem que seja feito um planeamento cirúrgico detalhado e uma simulação prévia com a antecedência necessária às intervenções mais complexas, como por exemplo, no caso de uma deformação facial profunda ou mesmo na implantação de vários tipos de próteses.

Até 2010, o *software* já havia sido utilizado para gerar mais de 1500 modelos de prototipagem rápida de estruturas anatómicas.

Ao fazer a sua aplicação nesta tese, o autor constatou ser um programa interessante, pertencente a um projecto bastante dinâmico e em constante desenvolvimento e que permite até à versão 2, obter de forma relativamente fácil o modelo 3D da parte exterior do corpo, obter de forma manual regiões internas do corpo humano, mas ainda sem a implementação de ferramentas com técnicas automáticas ou semi-automáticas para filtrar, contornar e segmentar as imagens DICOM relativamente aos órgãos ou outras regiões internas do corpo humano.

O modelo final da orelha, criado pelo autor para esta tese, teve na sua génese a informação obtida por este programa a partir das imagens médicas DICOM.

#### **4.8.2.2.2 O *Itk-snap***

É um programa de utilização livre e de código aberto ao abrigo da licença *General Public License*, para a reconstrução tridimensional de estruturas anatómicas, baseado na manipulação de conjuntos de imagens médicas de vários formatos incluindo o formato DICOM, obtidas através de equipamentos de TAC ou RM.

Para além da disponibilização de vários utilitários, permite gerar modelos 3D de regiões de interesse do corpo humano a partir de segmentação automática baseada em métodos geradores de contornos activos e de propagação dinâmica. Permite ainda, pela navegação das imagens médicas, delinear os contornos pelo processo manual.

A informação relativa à reconstrução 3D pode ser exportada no formato STL e utilizada para criar modelos 3D físicos pelo processo de maquinação ou de prototipagem rápida.

Ao fazer a sua aplicação nesta tese, o autor constatou ser um programa interessante, com um bom interface e de grande usabilidade na interacção pessoa-máquina, que permitiu de forma relativamente fácil utilizar uma técnica automática para filtrar, contornar e segmentar as imagens médicas relativamente ao coração.

O modelo final do coração, criado pelo autor para esta tese, teve na sua génese a informação obtida por este programa, utilizando a segmentação automática a partir das imagens médicas DICOM.

#### **4.8.2.2.3 O *MeshLab***

É um programa de utilização livre e de código aberto ao abrigo da licença *General Public License*, para o processamento e edição de malha poligonal triangular não-estruturada de superfícies.

Foi concebido para auxiliar no processamento de modelos não estruturados oriundos da digitalização 3D. Para o efeito, este programa disponibiliza um conjunto de ferramentas para

edição, limpeza, simplificação, restauro, inspecção, foto-realismo e conversão da malha poligonal.

A dizimação de uma malha poligonal de superfícies é uma das simplificações existentes e corresponde ao processo de remoção de vértices e faces para obtenção de uma malha de superfícies mais simplificada e que possa ter um menor peso computacional em tempo de execução.

Existem várias técnicas para a dizimação poligonal, contudo aquela que melhor consegue preservar a forma original do objecto é a que se baseia no modelo *quadratic edge collapse decimation* e que corresponde à fusão de dois vértices por remoção da aresta correspondente, reposicionando o novo vértice na posição que menor afastamento introduz, pelo cálculo do erro quadrático, relativamente à sua forma original.

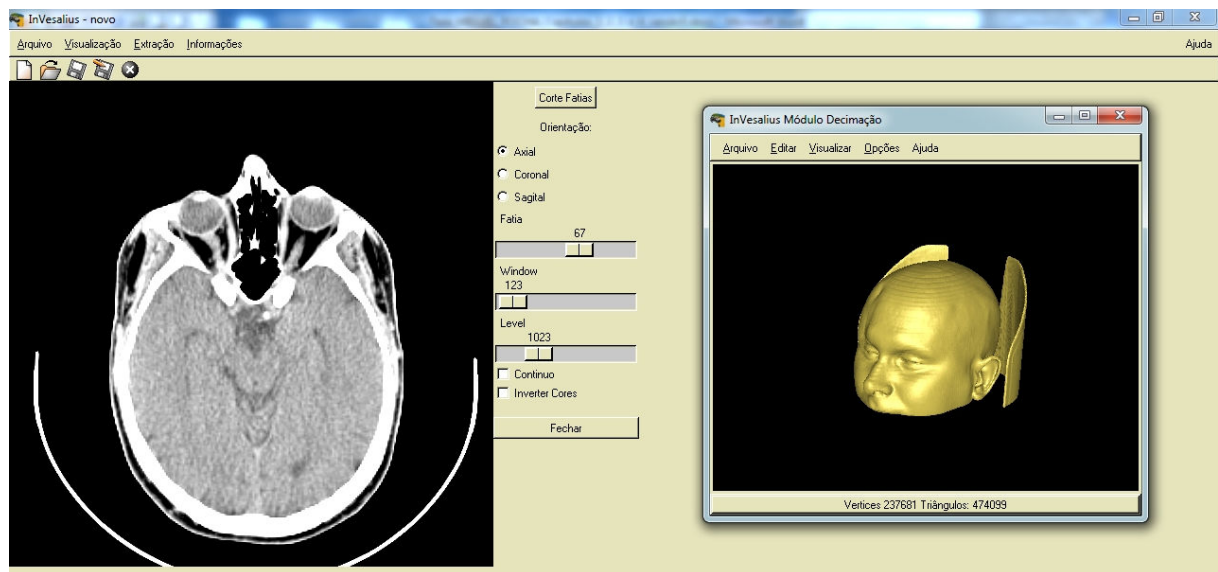
Trata-se de um programa bastante usado para a simplificação de modelos digitais 3D e que foi nesta tese utilizado para criar as versões simplificadas dos modelos digitais 3D da orelha e do coração.

### **4.8.2.3 Os modelos gerados**

Para verificar a exequibilidade de todo este processo na obtenção de modelos que possam ser o mais aproximadamente possível do anatomicamente correcto, foram criados dois modelos distintos baseados na informação oriunda das imagens médicas (anexo 2), um correspondente a uma região externa do corpo, a orelha e o outro correspondente a um órgão interno, o coração.

#### **4.8.2.3.1 O modelo digital 3D da orelha**

O modelo digital 3D final da orelha foi concebido com base na reconstrução anatómica da cabeça de um paciente obtida através das imagens médicas no formato DICOM a partir do programa *Invesalius v.1*, com a técnica de vectorização por delineação dos contornos das regiões, baseada na diferenciação de pixéis em cada imagem axial, coronal ou sagital.

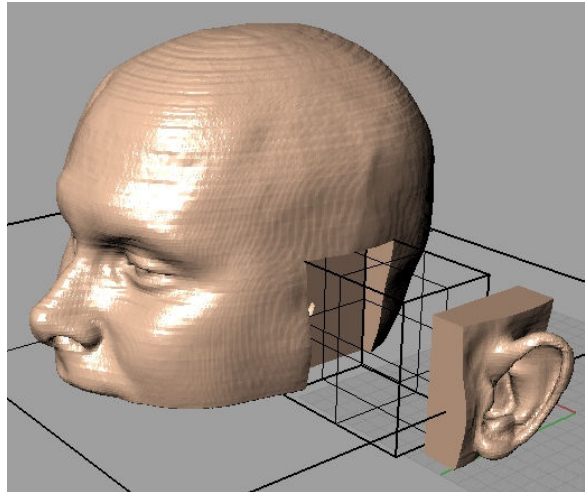


**Ilustração 38 - Fase de vectorização da cabeça de um paciente a partir das imagens médicas no programa *Invesalius***

Esta vectorização, que deu origem a toda a informação de reconstrução anatómica digital 3D, não só capturou a informação anatómica real como também todo o ruído proveniente das estrias entre camadas provenientes da natural falta de informação ocorrida entre cada imagem médica ao longo do eixo da digitalização.

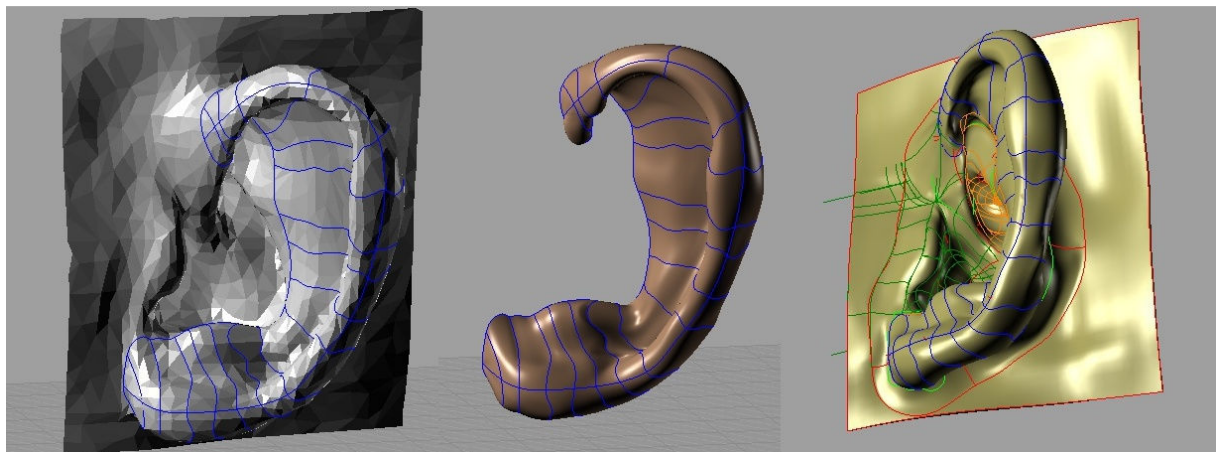
No caso da orelha, por ser uma região em contacto com o meio exterior, não apresentou na sua superfície o problema de ruído devido às regiões-fronteira mal filtradas. Assim, este modelo poderia, para situações menos exigentes, ter sido utilizado desde já como recurso digital 3D de aprendizagem, apenas com a aplicação de uma técnica de amaciamento das arestas para dar um efeito liso à superfície na visualização em sombreado, porém o ruído devido às estrias continuaria lá, embora mais reduzido.

No programa *Rhinoceros* foi feita a extracção da região da orelha pela aplicação da operação *booleana intersection* entre a cabeça e uma caixa construída para o efeito e foi feito todo o tratamento necessário para isolar apenas as superfícies da região da orelha que se pretendeu tratar, como se pode ver na imagem seguinte:



**Ilustração 39 -** Extracção da área da orelha para reconstrução anatómica em superfícies NURBS no *Rhinoceros*

Para minimizar o ruído das estrias e maximizar a forma anatómica da orelha, foi feita no programa *Rhinoceros* v.4, a reconstrução da orelha em superfícies NURBS do tipo *NetworkSrf*, *Patch* e *BlendSrf*, a partir de curvas de secção obtidas do modelo de malha poligonal vindo do programa de imagens médicas *Invesalius*.



**Ilustração 40 -** Fases da reconstrução anatómica da orelha na modelação em NURBS no *Rhinoceros*

A construção da orelha em superfícies NURBS apresentou as seguintes vantagens:

- Maior controlo dimensional sobre o modelo 3D
- Forma orgânica suave das superfícies obtidas
- Possibilidade de definir continuidade geométrica entre superfícies

- Maior controlo de modelação porque as superfícies passavam pelos pontos indicados
- Maior controlo sobre a reconstrução da forma geométrica
- Aspecto visual apelativo
- Possibilidade de gerar malha poligonal com qualquer resolução

Após a modelação ter sido concluída, foi necessário estabelecer claramente qual a orientação a dar ao modelo digital 3D como recurso de aprendizagem na área da saúde:

- Modelo digital 3D interactivo para a *web*
- Modelo digital 3D para filme de animação
- Molde para modelo físico 3D

Para o efeito desta tese foi elaborado o modelo para filme de animação 3D.

#### **4.8.2.3.1.1 Modelo digital 3D para filme de animação**

Assim, após a modelação orgânica em NURBS, o modelo foi exportado igualmente em NURBS (.IGS) sem nenhuma perda de informação, para o *3D studio max*.

Foi definido um material com uma cor próxima da cor da pele e com um mapa processual celular, para criar um efeito orgânico. Este mapa foi associado à propriedade *bump* cujo objectivo é o de simular a rugosidade da textura.

Relativamente à iluminação, foram criadas três fontes de luz. Uma como luz principal, o projector, que produz sombra e tem a maior intensidade luminosa da cena. As restantes como pontos de luz, foram colocadas de forma a simular um pouco o efeito de radiosidade, com uma intensidade baixa e sem produção de sombras. Todas as fontes de luz assumiram o modelo real de atenuação *inverse square*, que caracteriza a intensidade luminosa como inversamente proporcional ao quadrado da distância.

A animação foi definida para reprodução em sistema de televisão PAL com a velocidade de 25 fotogramas por minuto e uma resolução de 768x576 pixéis e uma duração de aproximadamente 30 segundos. Para o efeito, foi criado um percurso circular ao qual foi associado uma câmara.

O resultado da animação foi guardado em ficheiro de animação *Audio Video Interleave* (.AVI) da *Microsoft*, com o *codec cinepack radius* sem uso de compressão. A escolha deste *codec* deveu-se à necessidade de compatibilidade na portabilidade para outros computadores, porque se assim não fosse poderia ter sido guardado em .AVI e codificado em *digital vídeo* (DV).

Como o recurso vídeo foi armazenado no repositório MELOR do GILT, houve também a necessidade de conversão do vídeo para o padrão MPEG2.

Na imagem seguinte apresenta-se uma sequência de perspectivas que apresentam o resultado final do trabalho de modelação 3D e foto-realismo da orelha, para esta dissertação.

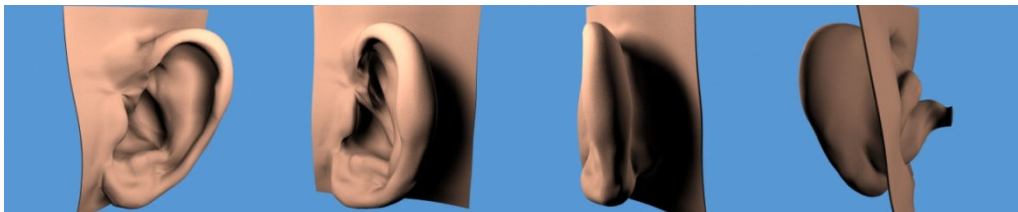
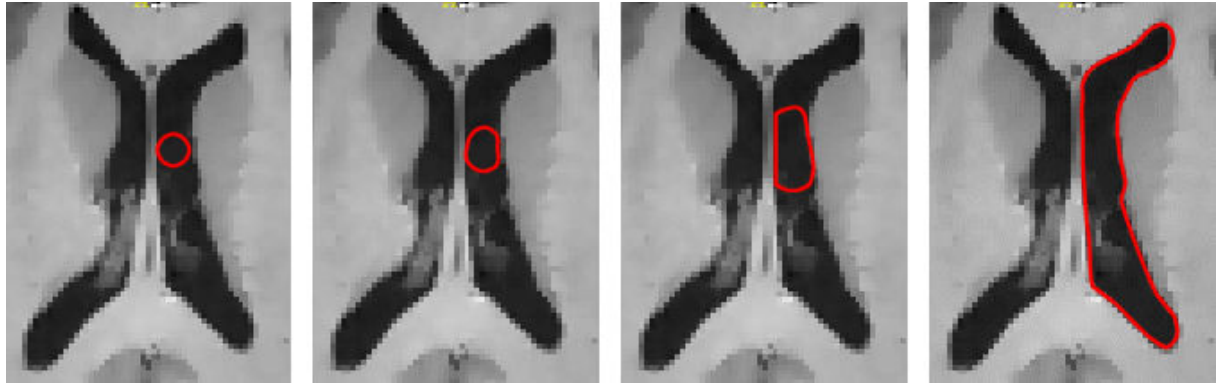


Ilustração 41 - Fases da animação da orelha com foto-realismo, no *3D studio max*

#### 4.8.2.3.2 Modelo digital 3D do coração

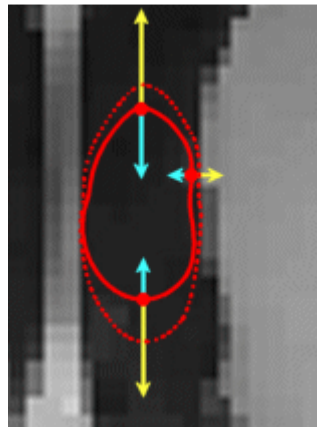
O modelo digital 3D final do coração foi concebido com base na reconstrução anatómica do coração de um paciente, obtida através das imagens médicas no formato DICOM com o programa *Itk-snap*, utilizando a técnica automática de geração de contornos activos e de propagação dinâmica dos contornos das regiões ao longo das imagens, baseada na diferenciação de pixéis. Esta metodologia é conhecida pela expressão *snake evolution*.

O termo *snake* refere-se a uma curva fechada quando visto no plano da imagem ou a uma superfície quando visto em perspectiva no espaço 3D, que representa a segmentação obtida pela propagação dinâmica desta curva ou superfície. Na propagação obtida por este método, a curva fechada evolui a partir de uma estimativa muito grosseira da estrutura anatómica em análise para uma forma muito aproximada dessa estrutura. Como pode ser visto da esquerda para a direita na figura seguinte:



**Ilustração 42 - Sequência evolutiva do método de vectorização *Snake evolution* sobre as imagens médicas no programa *Itk-snap***

A propagação pelo método *snake evolution* é controlada por uma equação que descreve a velocidade em cada ponto e num dado instante. A velocidade de cada ponto depende da forma da curva fechada e das intensidades da imagem nos pontos vizinhos e circundantes do ponto analisado, tal como mostra a imagem seguinte com a indicação das velocidades que podem actuar sobre a curva fechada:



**Ilustração 43 - Representação dos dois tipos de velocidades**

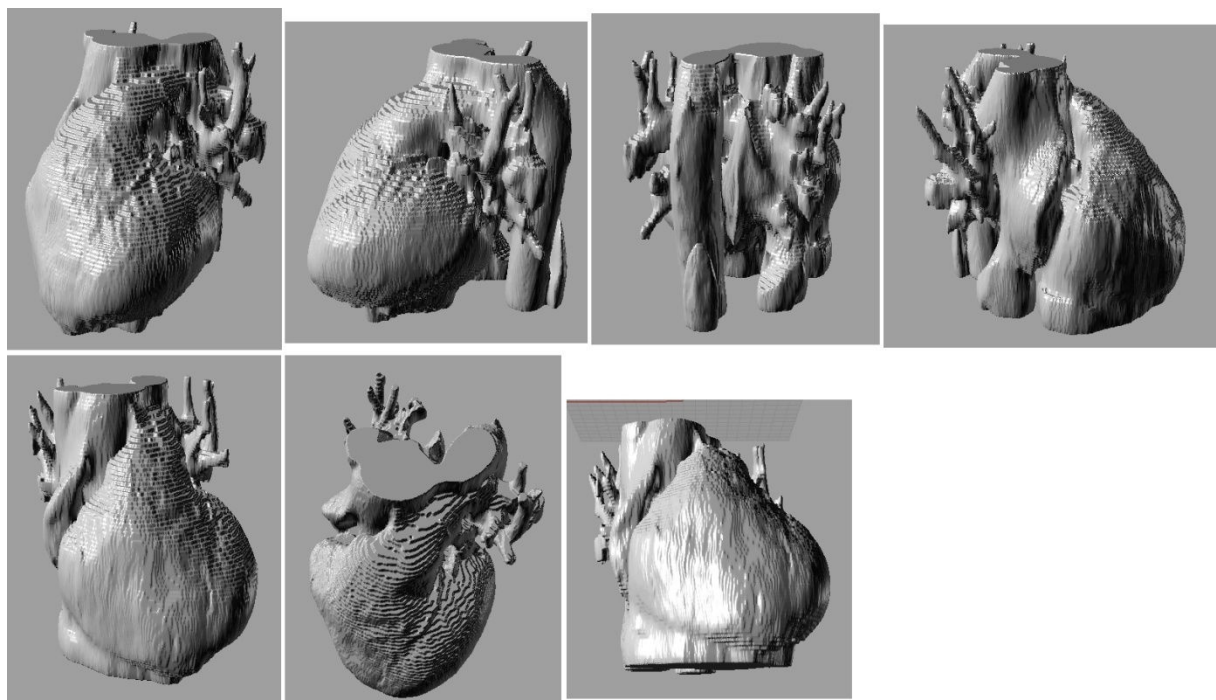
Na imagem é mostrada a azul e amarelo a velocidade que actua em alguns pontos numa direcção sempre perpendicular à curva fechada. Os vectores a amarelo representam a velocidade dependente das propriedades da imagem. Esta velocidade é maior em regiões da imagem onde a intensidade é mais homogénea e é menor em regiões onde existem arestas ou discontinuidades na intensidade da imagem. A propagação da curva fechada é mais lenta junto às arestas da imagem e mais rápida em regiões de intensidade homogénea. Assim é forçada a conformação da curva fechada à forma da região. Os vectores a azul representam a velocidade dependente da forma da curva fechada. A velocidade é maior onde a curvatura da

curva fechada é mais acentuada e menor onde a curvatura é quase inexistente. Pela atribuição de uma velocidade no sentido inverso à expansão junto às zonas da curva fechada que se apresentam com forma aguçada, é possível reduzir esse efeito e obter formas mais suaves.

O movimento de um ponto na propagação da curva fechada é determinado pela soma das velocidades nesse ponto. A figura mostra a evolução da propagação da curva fechada pela acção das velocidades. A linha a traço interrompido ilustra a propagação mostrando como será a curva fechada no instante seguinte ao actual.

A reconstrução do coração foi uma escolha estratégica por ser um órgão interno do corpo humano, pois pretendia-se verificar a viabilidade desta técnica em obter bons resultados ou pelo menos resultados satisfatórios.

A vectorização do coração, não só capturou a informação anatómica real como também o ruído adjacente proveniente de regiões-fronteira menos bem filtradas e das estrias entre camadas provenientes da falta natural de informação que ocorre entre cada imagem médica ao longo do eixo da digitalização. Como se pode ver na figura:

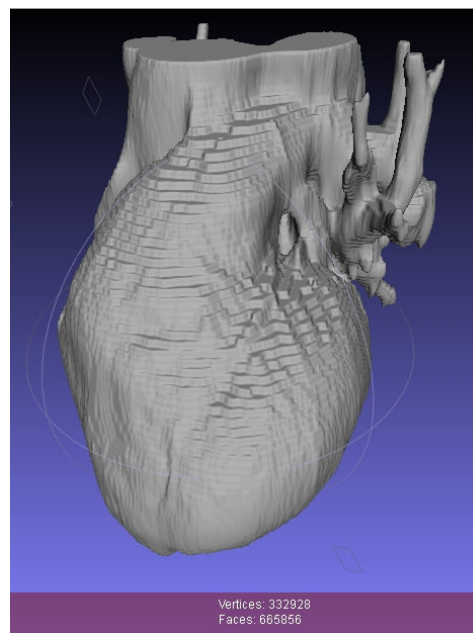


**Ilustração 44 - Perspectivas diferentes que ilustram o ruído das estrias e das zonas fronteira no coração**

As estrias são bem visíveis em todas as seqüências de imagem do coração, o que faz lembrar um jogo educativo de *puzzle* 3D.

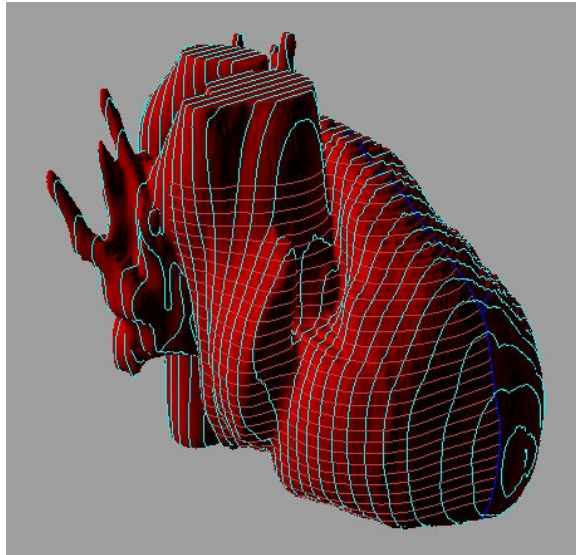
É também notório o ruído devido a zonas-fronteira menos bem filtradas, como pode ser observado na quinta imagem da sequência da esquerda para a direita e de cima para baixo na junção da veia cava superior com a aorta, no excesso de região fronteira na parte inferior do coração como pode ser observado na última imagem da sequência e ainda na rede de veias e artérias bastante incompletas que pode ser visível em todas as imagens da sequência.

Embora esta vectorização possa provavelmente ser já importante para o profissional de saúde, na medida em que poderá eventualmente fazer algum tipo de diagnóstico importante, por outro lado, no que diz respeito à obtenção de um modelo que possa ser usado como recurso de aprendizagem, este modelo 3D obtido a partir do programa de edição de imagens médicas *Itk-snap*, não pode ser utilizado nesse sentido desde já, sem primeiro ser reconstruído com recurso à modelação 3D. Para o efeito o modelo foi exportado no formato .STL gerando 665.856 faces e 332.928 vértices numa malha de polígonos não estruturada como pode ser visto na figura seguinte:



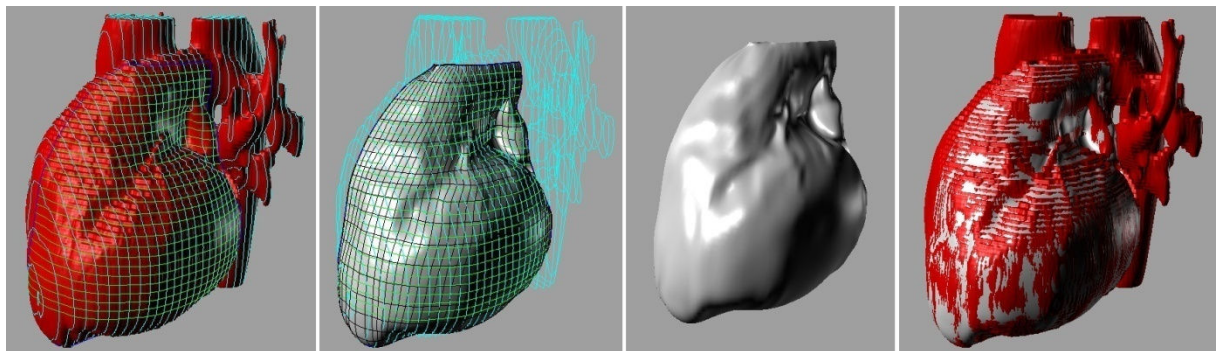
**Ilustração 45 - Modelo do coração oriundo das imagens médicas destacando o número de faces e vértices**

No programa *Rhinoceros*, após a importação, foram geradas curvas de secção ao longo de cada um dos três eixos. Estas curvas, após um tratamento de alisamento para atenuar a ondulação devido às estrias, foram subdivididas para permitirem dar origem a superfícies mais pequenas, facilitando o processo de modelação, como pode ser observado na imagem seguinte:



**Ilustração 46 - Fase inicial do processo de reconstrução no *Rhinoceros***

Com a utilização das superfícies *NURBS Sweep2*, *NetworkSrf*, *Patch* e *BlendSrf*, foram construídas as superfícies do coração utilizando as curvas obtidas do coração original aproximando-as o mais possível à forma real, tal como se pode ver na figura seguinte:



**Ilustração 47 - Sequência da reconstrução de uma das superfícies *NURBS*, realçando o ajuste ao modelo original**

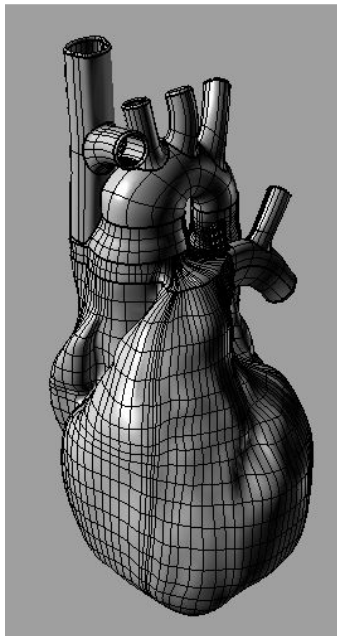
Na figura é visível da esquerda para a direita a sequência de operações. Na primeira imagem da sequência, vê-se o modelo 3D oriundo das imagens médicas com as curvas de secção já construídas. Na segunda imagem é apresentada a superfície *NetworkSrf* construída a partir das curvas de secção. Na terceira imagem foram escondidos todos os objectos, excepto a superfície *NetworkSrf* em sombreado para realçar a forma e a qualidade superficial obtida. Na quarta e última imagem é apresentada a sobreposição do modelo 3D oriundo das imagens médicas com a superfície *NURBS NetworkSrf* para realçar o elevado grau de ajuste obtido.

Para além da construção das superfícies *NURBS* a partir do modelo obtido pelas imagens médicas, o autor fez a reconstrução do arco da aorta e das restantes artérias e veias que ligam

directamente ao coração e de algumas do primeiro nível de derivação. Com efeito, o modelo obtido pelas imagens médicas não contém a informação anatômica relativa ao arco da aorta. Para além disso apresenta excessivo ruído nas regiões de ligação das artérias e veias ao coração e informação anatômica por defeito relativamente à forma das mesmas.

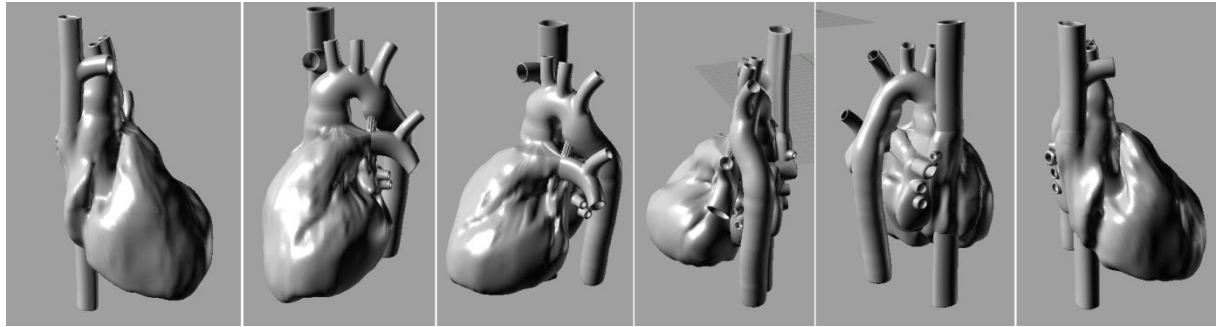
Partindo da informação anatômica existente, que apesar do ruído apresentou informação importante quanto à posição das artérias e veias e à sua forma generalizada, o autor fez uma extrapolação desses dados para obter a forma anatômica em falta.

Assim, foi possível obter o modelo digital 3D do coração relativamente à sua parte exterior com todo o detalhe. Na imagem é apresentada a estrutura das superfícies com as suas curvas internas visíveis:



**Ilustração 48 - Modelo em NURBS finalizado**

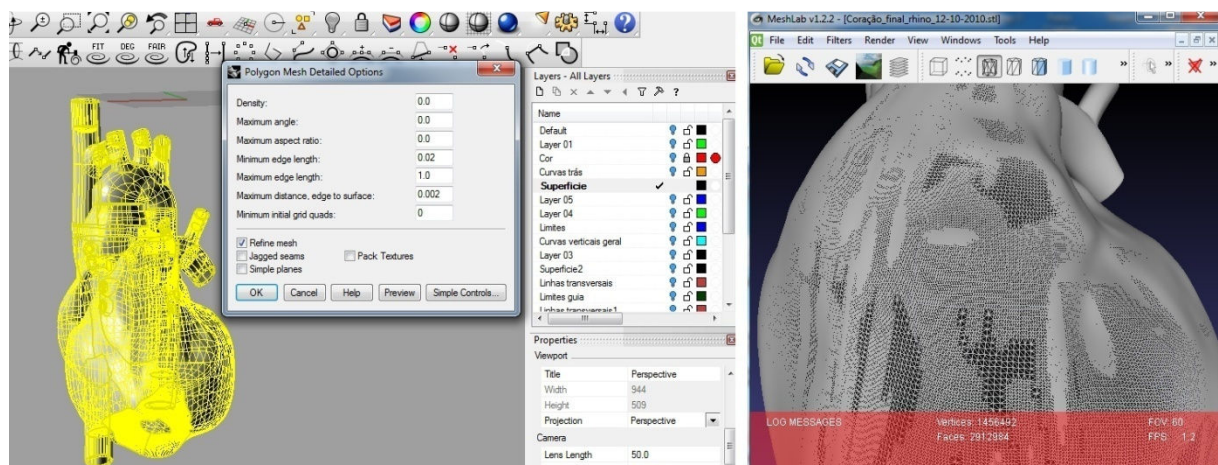
Na imagem seguinte apresenta-se uma sequência de perspectivas do coração, com as superfícies sombreadas e sem as curvas internas visíveis:



**Ilustração 49 - Sequência de perspectivas do coração com sombreado**

Tal como na construção do modelo digital 3D da orelha, o modelo do coração em superfícies NURBS apresentou as seguintes vantagens:

- Maior controlo dimensional sobre o modelo 3D;
- Forma orgânica suave das superfícies obtidas;
- Possibilidade de definir continuidade geométrica entre superfícies;
- Maior controlo de modelação porque as superfícies passavam pelos pontos indicados;
- Maior controlo sobre a reconstrução da forma geométrica;
- Aspecto visual apelativo;
- Possibilidade de gerar malha poligonal com qualquer resolução.



**Ilustração 50 - Procedimento de conversão de modelo NURBS para modelo poligonal**

Após a modelação 3D ter sido concluída foi gerado no *Rhinoceros* um modelo poligonal em formato .STL com alta resolução, isto é, com um número elevado de polígonos, para que

nenhum detalhe do modelo NURBS fosse perdido na fonte, conforme ilustrado na imagem anterior.

Como a utilização a ser dada ao modelo digital 3D como recurso de aprendizagem condiciona a escolha do grau de complexidade poligonal do modelo a ser gerado, foi necessário estabelecer previamente qual a orientação a dar:

- Modelo digital 3D interativo para a *Web*;
- Modelo digital 3D para filme de animação;
- Molde para modelo físico 3D.

No caso do coração foram elaborados os modelos para o recurso interativo na *Web* e para o recurso em filme de animação.

Se fosse para criar um modelo físico 3D, o modelo gerado no *Rhinoceros* com 2.912.984 polígonos era condição necessária e suficiente para a produção física do molde por tecnologia de maquinação por fresadora ou por tecnologia de prototipagem rápida em impressão 3D, com uma perda insignificante de detalhe superficial.

#### **4.8.2.3.2.1 Modelo digital 3D interativo para a *Web***

O modelo 3D interativo foi tratado na tecnologia *Flash*, por programação em ActionScript no *Adobe flex*, utilizando as bibliotecas de programação PaperVision para manipulação de objectos 3D em *Flash*.

Assim, antes do modelo poder ser utilizado de forma interactiva na *Web*, foi obrigatório diminuir drasticamente o seu número de polígonos sob pena de não ser computacionalmente comportável.

Apesar do programa *Rhinoceros* ter a ferramenta necessária para gerar os modelos em malha poligonal a partir das superfícies NURBS controlando a resolução, este não apresenta ferramentas que permitam a dizimação da malha poligonal com o controlo simultâneo do número de faces pretendidas e procurando respeitar sempre a forma anatómica do modelo. Desta forma, foi utilizado o programa *MeshLab* para fazer a dizimação do modelo pelo método *Quadratic Edge Collapse Decimation*, reduzindo (cerca de 93%) para um número de

faces aceitável para o processamento em tempo real e com perda mínima da forma anatómica, conforme apresentado na imagem seguinte:

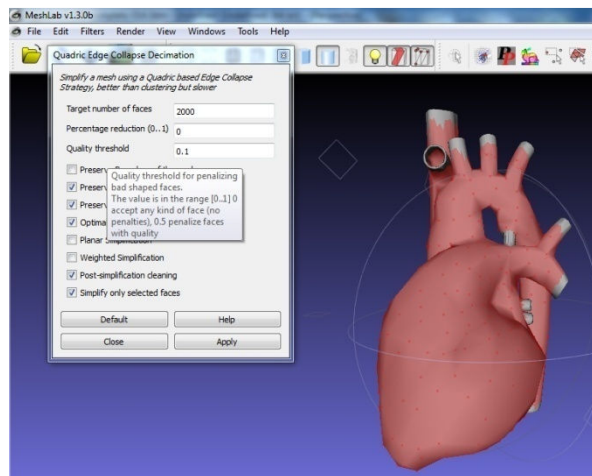


Ilustração 51 - Apresentação da técnica de dizimação no programa *MeshLab*

O modelo foi importado no programa *3D studio max* com o objectivo de criar a textura e de definir as coordenadas de mapeamento para a colocação da textura sobre a superfície do coração no modelo interactivo.

Sobre o modelo 3D foi aplicado o modificador *Unwrap UVW* com o objectivo de planificar o mapa com as coordenadas de mapeamento. Assim, em conjunto com o modificador *VertexPaint* foi possível pintar directamente a textura sobre o modelo 3D e saber no mapa planificado a correspondência de cada área para posterior tratamento da textura num programa de edição de imagem como o *Gimp*.

Para utilizar esta técnica de textura, foi fundamental o modelo conter um valor bastante pequeno de polígonos, pelo que o modelo ainda foi reduzido de 2000 polígonos para cerca de 1400 polígonos com o modificador *Optimize*, com perda mínima de forma. A planificação do mapa com as coordenadas de mapeamento não pôde ficar nunca com faces sobrepostas nem invertidas, sob pena de a textura não vir a aparecer correctamente no modelo interactivo, pelo que foi necessário cuidar da planificação quer de forma automática quer com manipulação manual sobre cada uma das faces, o que tornou este processo extremamente demorado.

Devido à limitação das bibliotecas do *PaperVision* sobre a programação em *actionsript*, que não permite ter simultaneamente em tempo real o sombreado macio e suave com fonte de luz (*shader Phong*) e a textura com as coordenadas de mapeamento no modelo 3D interactivo, foi necessário gerar no *3D studio max* através do comando *Render to texture*, o ficheiro de

imagem em foto-realismo exclusivamente da textura já com a distribuição de luz difusa e com o efeito de luz e de sombra e que foi aplicado como textura no modelo 3D interativo.

Após concluído todo o processo no *3D studio max*, o modelo 3D foi exportado em malha poligonal de superfícies no formato *Collada* (.DAE) com a informação das coordenadas de mapeamento incluídas. O formato *Collada* é o formato de modelo 3D que é reconhecido na programação em *actionscript* pelas bibliotecas do *PaperVision*.

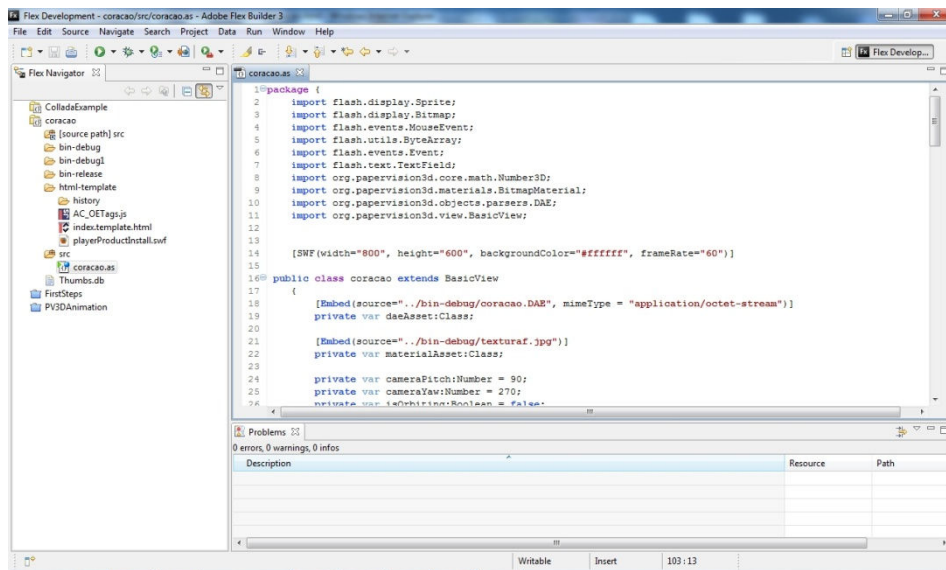


Ilustração 52 - Ambiente de programação em *adobe flex* com as bibliotecas *papervision*

A imagem anterior apresenta o ambiente de programação em *adobe flex*, onde se encontra parcialmente visível o programa que controla a interactividade do modelo do coração.

Na plataforma de desenvolvimento e programação *Adobe flex Builder* e com a utilização das bibliotecas *PaperVision* de manipulação de objectos 3D em *flash*, foi gerado o código para a manipulação e visualização interactiva com o uso do dispositivo apontador conforme pode ser visualizado na tabela seguinte:

```
package {
    import flash.display.Sprite;
    import flash.display.Bitmap;
    import flash.events.MouseEvent;
    import flash.utils.ByteArray;
    import flash.events.Event;
    import flash.text.TextField;
    import org.papervision3d.core.math.Number3D;
    import org.papervision3d.materials.BitmapMaterial;
    import org.papervision3d.objects.parsers.DAE;
    import org.papervision3d.view.BasicView;

    [SWF(width="800", height="600", backgroundColor="#ffffff", frameRate="60")]

    public class coracao extends BasicView
    {
        [Embed(source="../bin-debug/coracao.DAE", mimeType = "application/octet-stream")]
        private var daeAsset:Class;

        [Embed(source="../bin-debug/texturaf.jpg")]
        private var materialAsset:Class;
    }
}
```

```

private var cameraPitch:Number = 90;
private var cameraYaw:Number = 270;
private var isOrbiting:Boolean = false;
private var previousMouseX:Number;
private var previousMouseY:Number;

private var textF:TextField = new TextField();
private var textF1:TextField = new TextField();
private var textF2:TextField = new TextField();
private var textF3:TextField = new TextField();

public function coracao()
{

    var byteArray:ByteArray = new daeAsset() as ByteArray;
    var dae:DAE = new DAE();
    dae.load(byteArray);
    dae.scale=150;

    var campos:Number3D =new Number3D();
    var bitmap:Bitmap = new materialAsset() as Bitmap;
    var bitmapMaterial:BitmapMaterial = new BitmapMaterial(bitmap.bitmapData, true);
    bitmapMaterial.doubleSided = true;
    dae.materials.addMaterial(bitmapMaterial, "../bin-debug/texturaf.jpg");

    camera.useCulling = true;
    camera.zoom=100;
    camera.focus=20;

    textF.width = 200;
    textF.scaleY=textF.scaleX=2;

    textF.textColor=0x000000;
    textF.x = textF.y = 10;
    textF.text = "Premir o botão da esquerda \ndo rato e arrastar...";
    addChild(textF);

    textF3.width = 200;
    textF3.scaleY=textF3.scaleX=2;
    textF3.textColor=0x000000;
    textF3.x = 10; textF3.y = 60;
    textF3.text = "Usar o scroll do rato \npara zoom...";
    addChild(textF3);

    textF1.width = 200;
    textF1.scaleY=textF1.scaleX=1.5;

    textF1.textColor=0x000000;
    textF1.x =10; textF1.y = 140;
    textF1.text = "Modelo do coração com baixo \nnúmero de polígonos.";
    addChild(textF1);

    textF2.width = 200;
    textF2.height = 400;
    textF2.scaleY=textF2.scaleX=1.25;

    textF2.textColor=0x000000;
    textF2.x =10; textF2.y = 200;
    textF2.text = "Mestrado em Engenharia Informática \n\nÁrea de Especialização em \nSistemas
Gráficos e Multimédia \n\nAutor: \nMiguel A. Dantas Rocha \n\nCom a orientação de: \nMestre António Vieira de Castro
\nDoutor João Paulo Jorge Pereira \n\nInstituto Superior de Engenharia do Porto \n\n15-10-2010";
    addChild(textF2);

    scene.addChild(dae);

    startRendering();

    stage.addEventListener(MouseEvent.CLICK, onMouseDown);
    stage.addEventListener(MouseEvent.CLICK, onMouseMove);
    stage.addEventListener(MouseEvent.CLICK, onMouseUp);
    stage.addEventListener(MouseEvent.CLICK, mouseWheelHandler);

}

// Mais e menos zoom

private function mouseWheelHandler(event:MouseEvent):void
{
    camera.moveForward(10 * event.delta);
}

private function onMouseDown(event:MouseEvent):void
{
    isOrbiting = true;
    previousMouseX = event.stageX;
    previousMouseY = event.stageY;
}

private function onMouseUp(event:MouseEvent):void
{
    isOrbiting = false;
}

private function onMouseMove(event:MouseEvent):void
{
    var differenceX:Number = event.stageX - previousMouseX;

```

```
var differenceY:Number = event.stageY - previousMouseY;

if(isOrbiting)
{
    cameraPitch -= differenceY;
    cameraYaw -= differenceX;

    cameraPitch %= 360;
    cameraYaw %= 360;

    cameraPitch = cameraPitch > 0 ? cameraPitch : 0.0001;
    cameraPitch = cameraPitch < 180 ? cameraPitch : 179.9999;

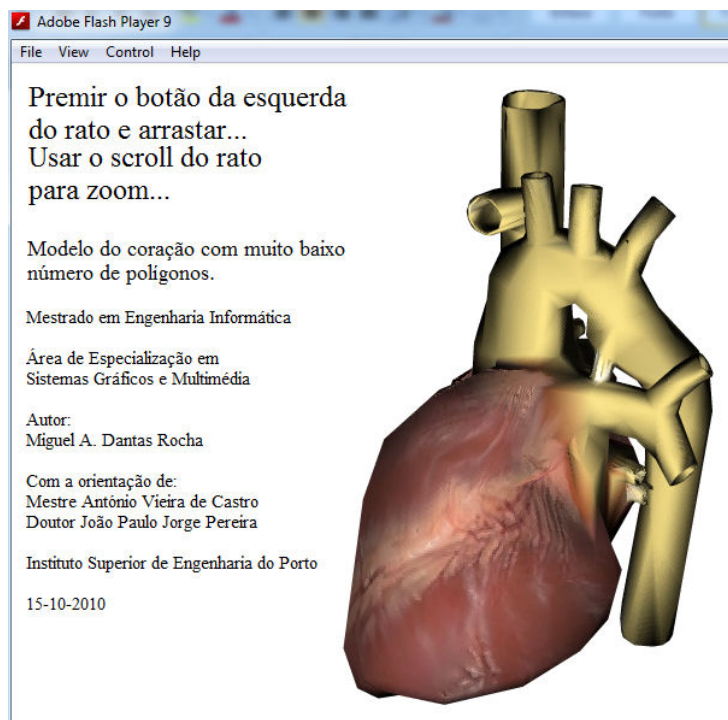
    previousMouseX = event.stageX;
    previousMouseY = event.stageY;

    camera.orbit(cameraPitch, cameraYaw);
}
}
}
```

**Tabela 1** Listagem do programa para gerar a interactividade do modelo 3D

Assim foi possível com o clique do dispositivo apontador sobre o modelo 3D, arrastar para a esquerda, direita, cima e baixo, de forma a visualizar até aos 360 graus de acordo com a liberdade de movimento.

Também foi definida a possibilidade de aproximar ou afastar o modelo 3D pelo uso do terceiro botão do dispositivo apontador ou com a rotação da roda do rato, como pode ser visto nas instruções existentes na janela de interacção com o modelo digital 3D, na imagem seguinte:



**Ilustração 53** - Interface gráfico do programa de interacção do modelo digital 3D do coração, criado no *adobe flex*

#### 4.8.2.3.2 Modelo digital 3D para filme de animação

Para a produção de um filme de animação 3D também é necessário ter em consideração o número de polígonos dos modelos digitais 3D. Quanto mais polígonos houver mais demorado o cálculo do foto-realismo no *rendering* de cada fotograma. Esta situação não é de forma nenhuma tão crítica como na produção de um modelo 3D interativo, porque no cálculo do foto-realismo, o processamento é local e pode ser feito de forma mais rápida ou mais lenta até à produção do filme, enquanto num modelo interativo é necessário ter em consideração a taxa de transmissão de dados via *internet* pelo facto de a manipulação ser em tempo real e o eventual processamento em computadores com diferentes tipos processadores, que têm maiores ou menores capacidades de processamento. Assim, foi utilizado no programa *3D studio max* o modificador *TurboSmooth* de recriação de polígonos, sobre o modelo 3D permitindo suavizar o modelo e minimizar a alteração da forma anatómica. É importante realçar que o modificador utilizado tem a particularidade de não alterar as coordenadas de mapeamento da textura já existente conforme demonstra a figura seguinte:

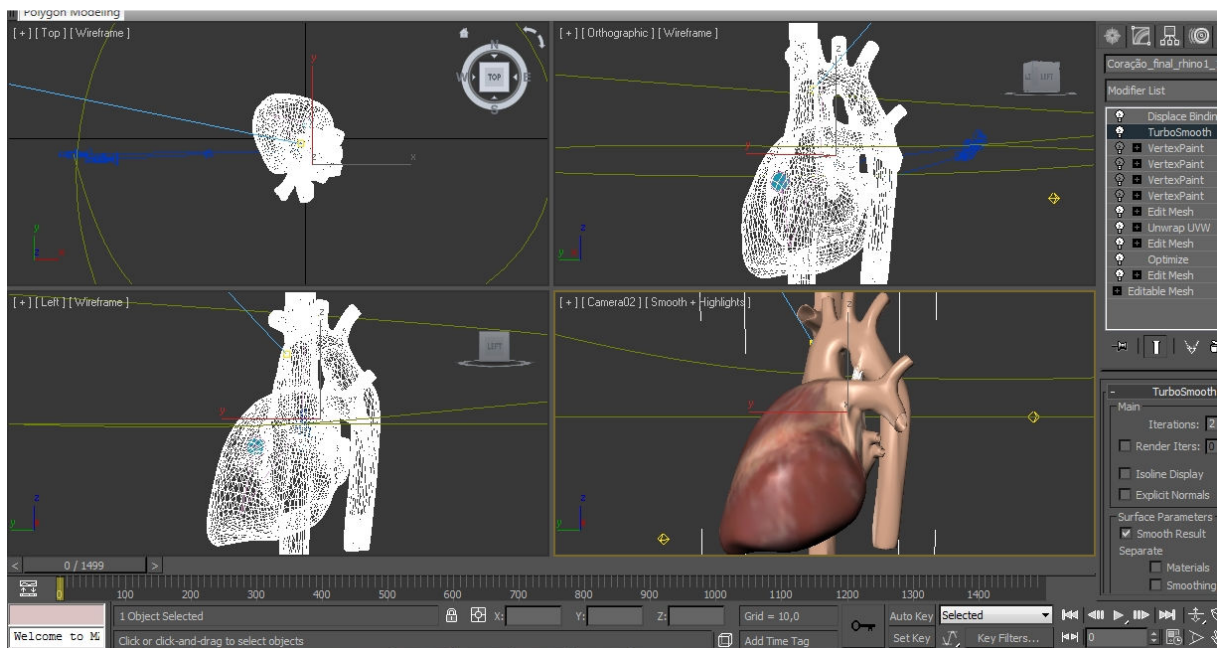


Ilustração 54 - Fase avançada de tratamento de texturas e de animação do modelo do coração em *3D studio max*

Na imagem pode ser visto o coração com a lista de modificadores aplicados, em especial o *TurboSmooth* com o efeito sobre a estrutura de arame e a textura intacta após a aplicação do modificador.

É também visível o percurso de animação da câmara e a barra de tempo com mais de 1400 fotogramas. A câmara tem um percurso de duas voltas completas, ou seja 720 graus com um movimento espiral ascendente ao longo do eixo dos *ZZ*.

A animação do batimento cardíaco foi conseguida pela aplicação no programa *3D studio max* de um campo de forças *Displace* que afectou e distorceu as superfícies que se encontravam dentro do seu campo de acção, ao simular o percurso do sangue no interior do coração. Esta animação foi construída no intervalo de tempo de um segundo e posteriormente extrapolado de forma repetitiva para a animação total.

Relativamente ao material já criado, apenas foi acrescentado no mapa *Bump* a mesma textura já definida no mapa *diffuse*, ou seja a textura do tecido das diferentes partes do coração. O mapa *Bump* acrescentou o efeito de relevo ou rugosidade superficial ao material.

Relativamente à iluminação, foram criadas três fontes de luz. Uma como luz principal, o projector, que produz sombra e tem a maior intensidade luminosa da cena. As restantes como pontos de luz, foram colocadas de forma a simular um pouco o efeito de radiosidade, com uma intensidade baixa e sem produção de sombras. Todas as fontes de luz assumiram o modelo real de atenuação *inverse square* que caracteriza a intensidade luminosa como inversamente proporcional ao quadrado da distância.

No final, a animação foi definida para ser reproduzida em sistema de televisão PAL com a velocidade de 25 fotogramas por minuto, uma resolução de 768x576 pixéis e uma duração de 60 segundos.

O ficheiro de animação foi guardado em *Audio Video Interleave* (.AVI) da Microsoft, com o *codec cinepack radius* sem uso de compressão. A escolha deste *codec* deveu-se à questão de portabilidade, pela necessidade de compatibilidade na reprodução em tempo real entre diferentes computadores. Outra possibilidade seria guardar no mesmo ficheiro .AVI mas com a codificação de *vídeo digital* (DV).

Como o recurso vídeo foi armazenado no repositório MELOR do GILT, houve também a necessidade de conversão do vídeo para o padrão MPEG.

Na imagem seguinte apresenta-se uma sequência de perspectivas que apresentam o resultado final do trabalho de modelação 3D e foto-realismo do coração humano para esta dissertação.

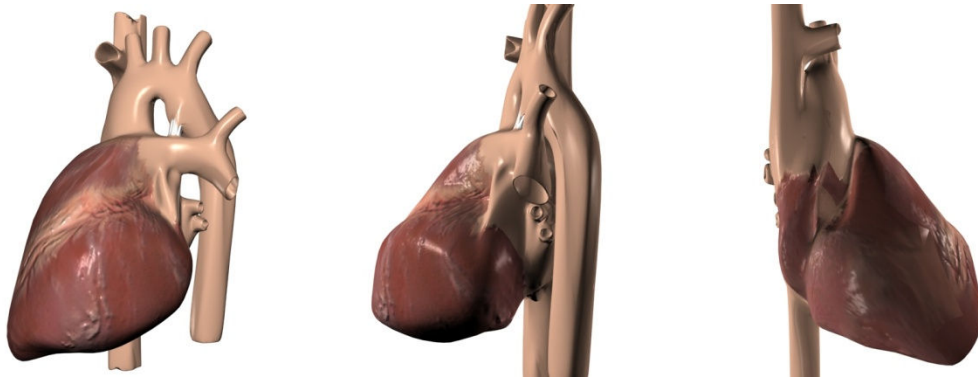


Ilustração 55 - Diferentes perspectivas do modelo digital 3D final em foto-realismo do coração

## 4.9 Sumário

A modelação, foto-realismo e animação 3D representam uma vasta área da computação gráfica, por isso um bom profissional nesta área deve possuir bons conhecimentos em variados domínios, como o desenho rigoroso e artístico para criar formas por um lado com rigor dimensional e por outro com qualidade visual, deve conhecer os conceitos fundamentais da fotografia, iluminação e de propriedades físicas dos materiais para poder criar boas imagens em foto-realismo, deve dominar vários programas de modelação 2D e 3D, conhecer as varias técnicas de modelação para poder criar os modelos mais arrojados, deve conhecer técnicas de cinema e de efeitos especiais para poder criar filmes de animação capazes de passar uma mensagem convincente, deve ter bons conhecimentos de programação para poder criar ambientes interactivos com os modelos digitais 3D à medida das necessidades, deve ter alguns conhecimentos em tecnologias de produção para orientar a produção de moldes e de modelos físicos que possam ser usados como objectos físicos de aprendizagem ou ainda na produção de próteses anatómicas e para além de tudo deve ainda possuir uma boa dose de criatividade.

A modelação 3D do corpo humano com orientação para as formas anatomicamente correctas, aplicada no ensino da área da saúde ou na produção de próteses anatómicas, é uma tarefa exigente por se tratar de formas orgânicas complexas. Contudo, neste capítulo procurou-se mostrar verdadeiramente a sua exequibilidade.

Na verdade, sob o ponto de vista de técnicas de modelação, saber modelar 3D para as áreas do *design*, arquitectura, engenharia civil ou mecânica não significa saber modelar na área da

anatomia, mas quem souber modelar bem na área da anatomia é capaz de modelar sem dúvida em qualquer uma das outras áreas.



## 5 Disseminação e validação dos modelos 3D produzidos

*“As grandes realizações são possíveis quando se dá atenção aos pequenos começos.”*

*Lao-Tsé*

Um modelo digital 3D, pelo seu grau de granularidade poderá ser utilizado como recurso individual de aprendizagem ou como parte integrante de um OA.

Pelos custos que podem estar associados à construção de um modelo digital 3D, é importante que este modelo se situe de forma equilibrada entre o genérico e o concreto. Isto quer dizer que não pode ser demasiado genérico sob pena de não transmitir informação útil ao integrar um OA, nem muito concreto para não limitar ou restringir demasiado a sua aplicação a um leque menos alargado de OA's.

A utilização de um modelo digital 3D como recurso de aprendizagem ou num OA será possível, se este modelo estiver acessível ao utilizador.

Isto em grande medida, passará pela integração num repositório de recursos de aprendizagem ou de OA's que esteja disponível através da *Web*.

Sendo o repositório MELOR um repositório temático para a área da saúde possibilitando a inserção de recursos de elevada granularidade, foi escolhido para catalogação e disseminação dos novos recursos.

### 5.1 O processo de catalogação e submissão ao MELOR

Após a conclusão da animação dos modelos 3D, estes foram submetidos ao MELOR. Para uns optou-se por um ficheiro de animação em vídeo na norma mpeg2. Num outro caso foi necessário compactar o recurso num ficheiro .zip, uma vez que um dos ficheiros era um executável .exe.

O processo de submissão do recurso 3D ao MELOR obriga a um registo prévio no mesmo como se pode ver na figura seguinte:

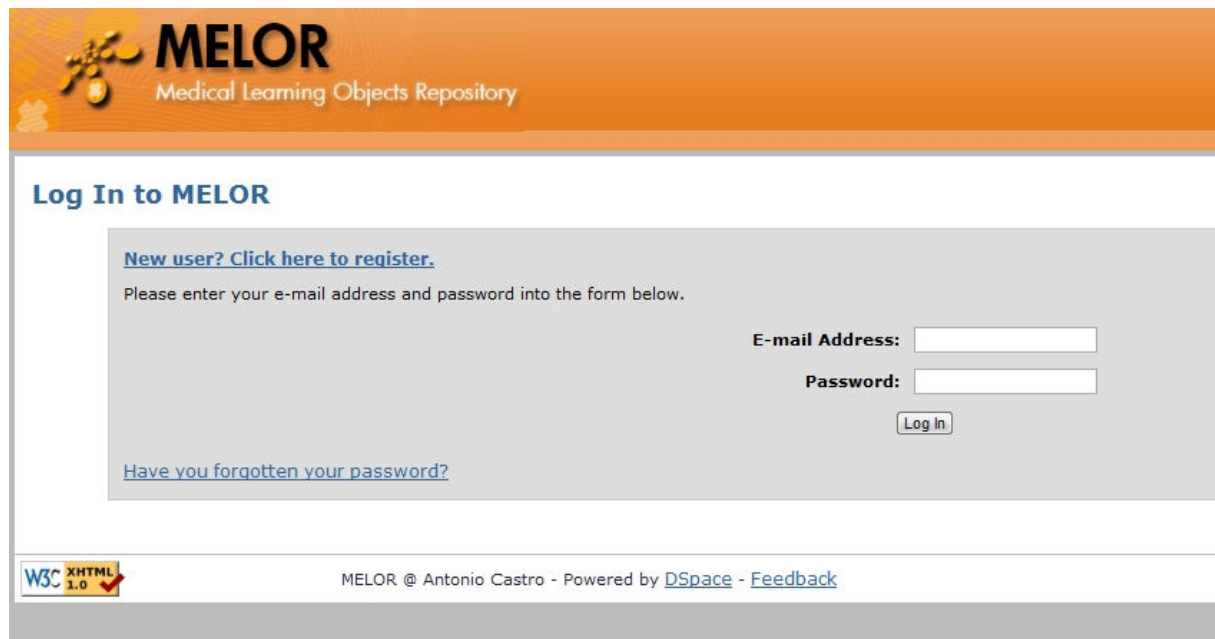


Ilustração 56- Acesso ao MELOR

Após ter sido associado a uma comunidade, é autorizado a efectuar a submissão do recurso de aprendizagem de acordo com os metadados baseados nas especificações da iniciativa DCMI, sendo o *workflow* do processo apresentado na figura seguinte:

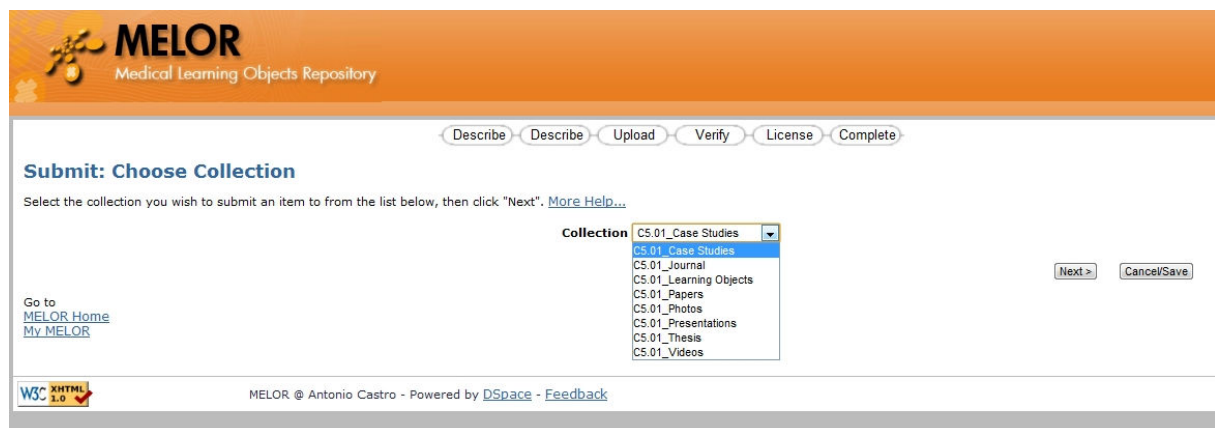


Ilustração 57 - Escolha da colecção a que pertence o recurso a ser carregado no repositório

Na primeira etapa foi escolhida a colecção na qual a animação do coração ficou catalogada, no caso concreto dos recursos em formato vídeo optou-se pela colecção c.5.01 videos.

Na segunda etapa do *workflow*, tratando-se de um ficheiro único (mpeg) e não publicado anteriormente, apenas houve a preocupação de o catalogar em um título em mais de uma língua, conforme se pode ver na figura seguinte:

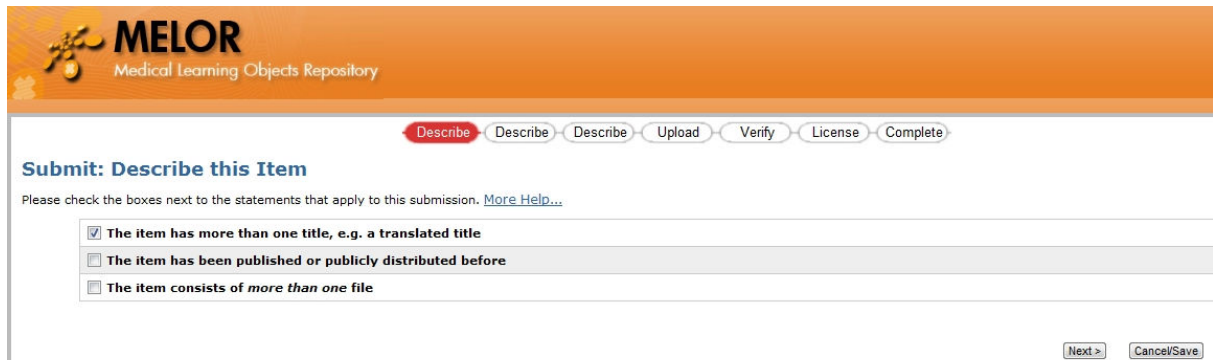


Ilustração 58 - Triagem inicial de número de títulos, publicação e número de ficheiros do recurso

Na terceira etapa, do *workflow* do MELOR, conforme se pode ver na figura seguinte, a descrição do recurso continua, sendo solicitados dados como a indicação do(s) autor(es), o(s) título(s), e alguma informação adicional do recurso para o caso de já ter sido publicado anteriormente e ainda a indicação do tipo de objecto ou recurso. Neste caso será catalogado como animação, conforme é representado na figura seguinte:

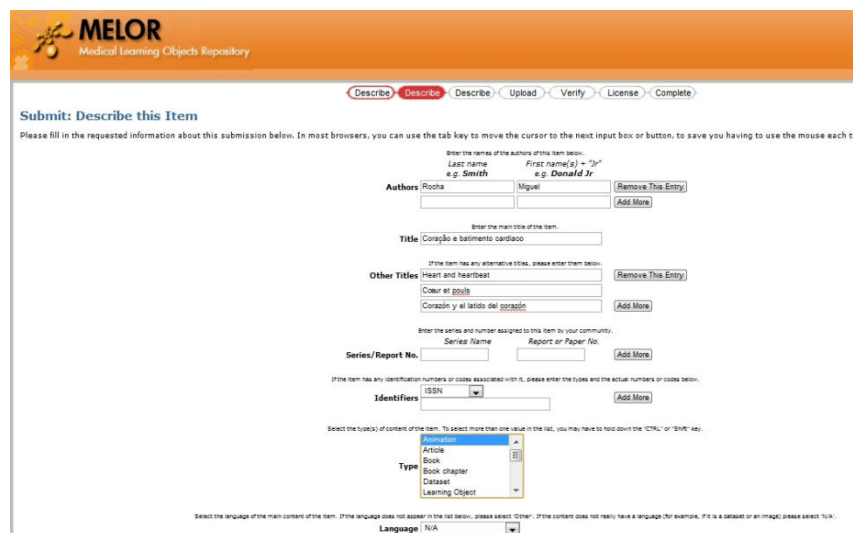


Ilustração 59 - Fase de preenchimento do nome do autor, título(s), publicação e tipo de recurso

Na quarta etapa do *workflow*, a fase da descrição solicita a indicação das palavras-chave de pesquisa na base de dados. O autor pode definir aqui as principais palavras que possibilitem uma melhor pesquisa do seu recurso através dos motores de busca como o google. Este é um ponto importante para que o recurso ou o OA possa ser pesquisado com sucesso

inclusivamente na plataforma. Para além disto pode ser incluído um resumo, uma descrição e a identificação dos eventuais patrocínios existentes, como universidades, grupos de investigação e desenvolvimento ou outros. Na figura seguinte podem ser observados os campos a serem preenchidos:

The image shows a screenshot of the MELOR submission interface. On the left is a smaller view of the form, and on the right is a larger, detailed view of the same form sections. The 'Subject Keywords' section contains a grid of text boxes with 'Remove' buttons below each. The 'Abstract' section is a large text area containing the text 'Animação em 360° do exterior do coração, acompanhado do batimento cardíaco.' The 'Sponsors' section is an empty text box. The 'Description' section is also an empty text box. Navigation buttons like 'Describe', 'Upload', 'Verify', 'License', and 'Complete' are visible at the top of the form.

**Ilustração 60 - Fase de introdução das palavras-chave para pesquisa e o preenchimento do resumo do recurso**

A quinta etapa do *workflow* é a da submissão do recurso de aprendizagem, indicando a localização original do ficheiro no computador, para a transferência para o repositório MELOR.

O seguinte ecrã aparece após a submissão do recurso estar completa:

The image shows a screenshot of the MELOR submission interface at the 'Upload a File' step. The navigation bar at the top shows 'Describe', 'Describe', 'Describe', 'Upload' (highlighted in red), 'Verify', 'License', and 'Complete'. The main heading is 'Submit: Upload a File'. Below it, there is a paragraph of instructions and a 'Netscape users please note' section. A 'Document File:' label is followed by a button 'Escolher ficheiro' and the text 'Coracao.mpg'. At the bottom right, there are buttons for '< Previous', 'Next >', and 'Cancel/Save'. The footer includes the W3C XHTML 1.0 logo and the text 'MELOR © Antonio Castro - Powered by DSpace - Feedback'.

Sendo ainda possível a validação do tipo de ficheiro submetido, conforme é visível na imagem seguinte:

**MELOR**  
Medical Learning Objects Repository

Describe Describe Describe **Upload** Verify License Complete

**Submit: File Uploaded Successfully**

Your file was successfully uploaded.

Here are the details of the file you have uploaded. Please check the details before going to the next step. [More Help...](#)

File	Size	File Format
<a href="#">Coracao.mpg</a>	16.988.160 bytes	MPEG ( <a href="#">known</a> )

[Click here if this is the wrong format.](#)  
[Click here if this is the wrong file.](#)

You can verify that the file has been uploaded correctly by:

- Clicking on the filename above. This will download the file in a new browser window, so that you can check the contents.
- The system can calculate a checksum you can verify. [Click here for more information.](#) [Show checksums](#)

#### Ilustração 61 - Fase da submissão após carregamento do ficheiro para o repositório

Na sexta etapa, o autor é confrontado com a verificação dos metadados introduzidos segundo a norma *Dublin Core*, podendo ainda realizar eventuais alterações:

Todas as informações introduzidas a partir desta etapa deixaram de poder ser alteradas, a menos que o recurso venha a ser eliminado pelo administrador do repositório, para uma nova submissão.

**MELOR**  
Medical Learning Objects Repository

Describe Describe Describe Upload **Verify** License Complete

**Submit: Verify Submission**

Not quite there yet, but nearly!

Please spend a few minutes to examine what you've just submitted below. If anything is wrong, please go back and correct it by using the buttons next to the error, or by clicking on the progress bar at the top of the page. [More Help...](#)

If everything is OK, please click the "Next" button at the bottom of the page.

You can safely check the files which have been uploaded - a new window will be opened to display them.

Item has more than one title: Yes  
Previously published item: No [Correct one of these](#)

Item consists of more than one file: No

Authors: Rocha, Miguel  
Title: Coração e batimento cardíaco  
Other Titles: Heart and heartbeat  
Cœur et pouls  
Corazón y el latido del corazón [Correct one of these](#)

Series/Report No.: None  
Identifiers: None  
Type: Animation  
Language: None

Subject Keywords: coração  
corazón  
heart  
coeur  
batimento cardíaco  
heartbeat  
battements cardiaque  
latidos del corazón [Correct one of these](#)

Abstract: Animação em 360º do exterior do coração, acompanhado do batimento cardíaco.  
Sponsors: None  
Description: None

Uploaded File: [Coracao.mpg](#) - MPEG (Known) [Upload a different file](#)

[< Previous](#) [Next >](#) [Cancel/Save](#)

MELOR © António Cadden - Powered by DSpace - Feedback

#### Ilustração 62 - Fase de verificação dos dados e de eventuais correcções

Na sétima e última etapa foi feita a aceitação da licença de distribuição do recurso pelo MELOR, conforme se pode ver na figura seguinte:

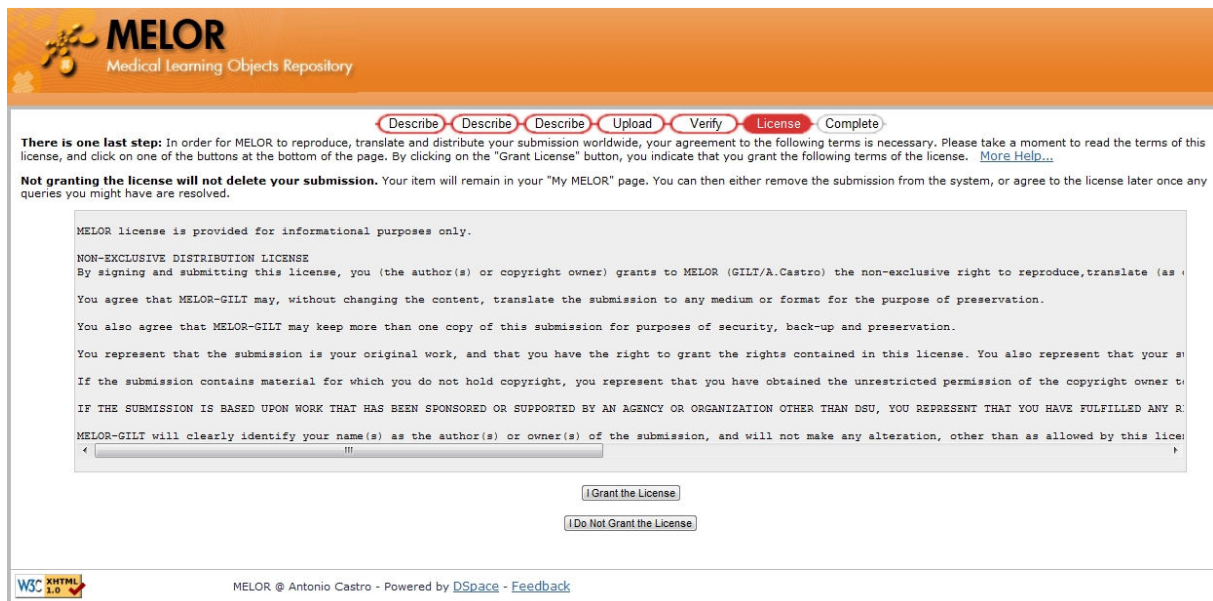


Ilustração 63 - Fase de apresentação da licença

A utilização do repositório é gratuita, sendo a licença para autorização do MELOR distribuir o recurso na *Web*, mantendo os direitos do autor do recurso.

Por fim a animação do coração ficou disponível no repositório MELOR para utilização em qualquer parte do mundo, com um simples acesso à *internet*, tal como é visível na figura seguinte:



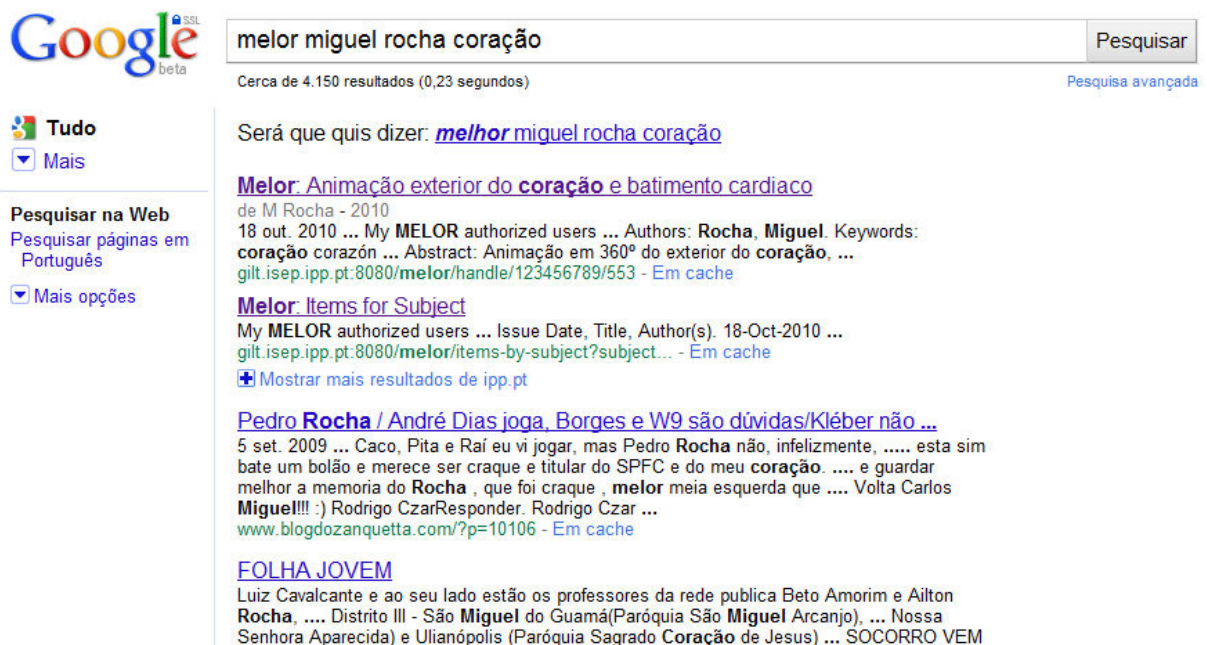
Ilustração 64 - Fase final da colocação de um recurso no repositório MELOR, sendo visíveis os seus metadados

O recurso de aprendizagem ou o OA é sempre referenciado com um URI, que corresponde ao seu apontador de hiperligação único e que deve ser usado quer para solicitar o acesso directo ou a visita ao recurso ou para citação dentro de um trabalho académico ou científico.

Neste caso foi atribuído ao recurso o URI.

<http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/553>

Posteriormente, fazendo a pesquisa num motor de busca como por exemplo o Google utilizando algumas das palavras-chave definidas, verifica-se que o recurso submetido no MELOR é o primeiro elemento da lista de resultados, apresentando o URI do recurso com a cor verde, conforme pode ser visto na figura seguinte:



The image shows a Google search interface. The search bar contains the text "melhor miguel rocha coração" and a "Pesquisar" button. Below the search bar, it indicates "Cerca de 4.150 resultados (0,23 segundos)" and a link for "Pesquisa avançada". On the left side, there are navigation options like "Tudo", "Mais", "Pesquisar na Web", "Pesquisar páginas em Português", and "Mais opções". The main search results area shows a list of results. The first result is highlighted in green and is titled "Melior: Animação exterior do coração e batimento cardiaco" by M Rocha - 2010. The snippet includes the text "18 out. 2010 ... My MELOR authorized users ... Authors: Rocha, Miguel. Keywords: coração corazón ... Abstract: Animação em 360º do exterior do coração, ... gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/553 - Em cache". Below this, there are other results like "Melior: Items for Subject" and "Pedro Rocha / André Dias joga, Borges e W9 são dúvidas/Kléber não ...".

Ilustração 65 - Pesquisa por palavras-chave no Google, do recurso no MELOR

A partir daqui, bastará ao utilizador clicar no primeiro elemento da lista de resultados, acedendo desse modo directamente ao recurso através do seu URI onde o poderá visualizar.

## 5.2 Validação com recurso a MEDUCA

A plataforma de aprendizagem MEDUCA encontra-se enquadrada no projecto *Medical Learning Methodology* (MLM) do Grupo de Investigação GILT (*Graphics, Interaction and*

*Learning Technologies*) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, e tem como objectivo a disponibilização de uma plataforma onde os intervenientes podem criar cursos *on-line* na área da saúde com todas as ferramentas necessárias para a formação a distância ou participar como aluno em qualquer um dos cursos já existentes.

Neste sentido, foi idealizado um cenário de validação destes recursos acedendo à MEDUCA na qual foram colocados como recursos todas as animações dos modelos 3D criados no âmbito desta dissertação, como pode ser observado na figura seguinte:



**Ilustração 66 - Visão geral da plataforma de aprendizagem MEDUCA**

Neste cenário de validação dos recursos os utilizadores inscritos puderam visualizar os modelos 3D e preencher o inquérito que lhes foi solicitado.

### **5.3 Validação do interesse via *youtube***

Já a pensar na elaboração desta dissertação, o autor elaborou em Janeiro de 2009 a modelação 3D, o foto-realismo e a animação do processo de deglutição apresentando os movimentos peristálticos que impulsionam o bolo alimentar em direcção ao estômago

A animação foi colocada no *youtube* com acesso público a partir do dia 15 de Fevereiro de 2009, com o intuito de mais tarde recolher alguma informação estatística que permitisse de auscultar o interesse gerado na comunidade internauta.

Os dados recolhidos apresentam alguns indicadores que ilustram a aceitação e popularidade perante a comunidade internauta interessada no tema.

Conforme a tabela apresentada, neste período de publicação, a estatística geral indica que a animação teve até ao momento 7358 visualizações, 1 comentário e 3 avaliações positivas.

Tempo de publicação:	1 ano e 8 meses
Visualizações:	7358
Comentários:	1
Apreciações:	3 positivas

**Tabela 2 - Estatística geral do modelo 3D do esófago e estômago no youtube**

Para fazer uma amostragem da evolução da popularidade da animação ao longo do tempo no *youtube*, recolheram-se os dados sobre as visualizações totais e únicas, referentes ao primeiro mês, ou seja, Março de 2009, Setembro de 2009, Novembro de 2009, Dezembro de 2009, Março de 2010 e do mês mais recente, Setembro de 2010. Estes dados são apresentados na tabela seguinte:

	Março 2009	Setembro 2009	Novembro 2009	Dezembro 2009	Março 2010	Setembro 2010
Visualizações únicas	125	318	373	212	408	484
Visualizações totais	162	387	473	261	488	593

**Tabela 3 - Recolha do número de visualizações em meses homólogos**

Nesta amostragem, para além da análise da popularidade da animação ao longo de todo o tempo de publicação, procurou-se também fazer uma comparação homóloga dos meses de Março e Setembro e uma comparação entre dois meses seguidos, Novembro e Dezembro, sensivelmente a meio da publicação da animação.

Na comparação homóloga procurou-se analisar a evolução da popularidade, minimizando as variações devido a interesses sazonais (período escolar, exames, trabalhos escolares, etc.), pois nestes casos, os interesses sazonais tendem a repetir-se em meses homólogos.

Com a comparação entre dois meses seguidos procurou-se verificar a consistência nas visualizações pela análise das oscilações nesse período.

A principal leitura que pode ser feita dos resultados obtidos, é a sua crescente popularidade no *youtube*. O crescimento no início foi mais acentuado, podendo ser devido a vários factores, entre eles, a indexação nos motores de pesquisa e o seu melhoramento no *ranking*, a colocação a partir de certa altura, pelo *youtube* como vídeo de destaque, facilitando a sua visualização pelos internautas, bem como o interesse que possa ter gerado e ter sido também recomendado a terceiros.

A partir de certa altura, o crescimento passou a ser menos acentuado, o que pode também ser explicado pelo facto da animação não ser rica em informação anatómica médico-científica, limitando-se apenas a ilustrar de forma introdutória o processo de deglutição.

Esta evolução encontra-se ilustrada no gráfico seguinte:

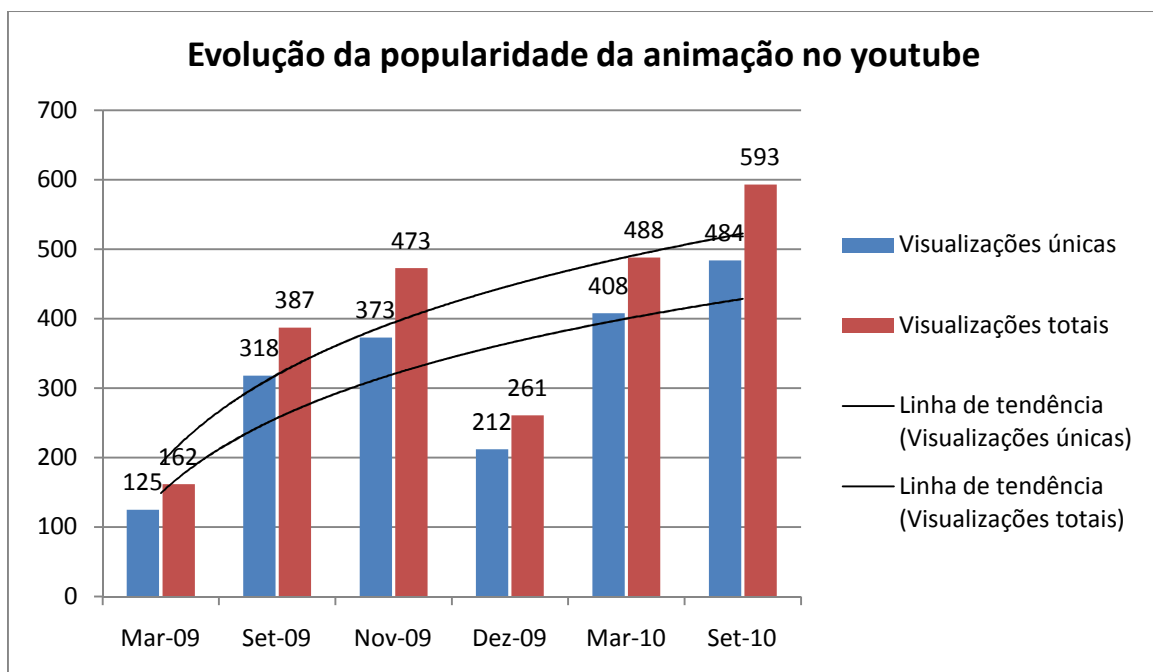


Ilustração 67 - Gráfico com as linhas de tendência da evolução da popularidade da animação no site do *youtube*

As linhas de tendência criadas são do tipo logarítmico, por um lado para minimizar as oscilações e por outro acentuar a tendência de crescimento/decrescimento e da sua aceleração/desaceleração.

Pela observação da linha de tendência, a partir de Setembro de 2009 o crescimento é moderado e homogéneo.

Outra leitura que pode ser feita através das linhas de tendência corresponde à diferença cada vez maior entre as visualizações únicas e as visualizações totais em cada mês, o que ilustra o aumento de internautas que visualizam a animação mais do que uma vez.

Em termos geográficos, esta animação já foi visualizada em todos os continentes. Contudo, embora o autor tenha definido palavras-chave de pesquisa em português, inglês, francês, espanhol e italiano, o título e a descrição ficaram escritos em português, o que talvez possa justificar em parte a maior popularidade em países de língua portuguesa e espanhola, com grande predominância da América latina, como pode ser visto na imagem seguinte:

<b>O seu vídeo é mais popular nestes países/estados.</b>	
<a href="#">Brasil</a>	0,13
<a href="#">Bolívia</a>	0,09
<a href="#">Portugal</a>	0,08
<a href="#">Equador</a>	0,06
<a href="#">México</a>	0,05
<a href="#">Angola</a>	0,04
<a href="#">Paraquai</a>	0,03
<a href="#">República Dominicana</a>	0,03
<a href="#">Peru</a>	0,03
<a href="#">Argentina</a>	0,02

Ilustração 68 - Nível de popularidade da animação em todo o mundo

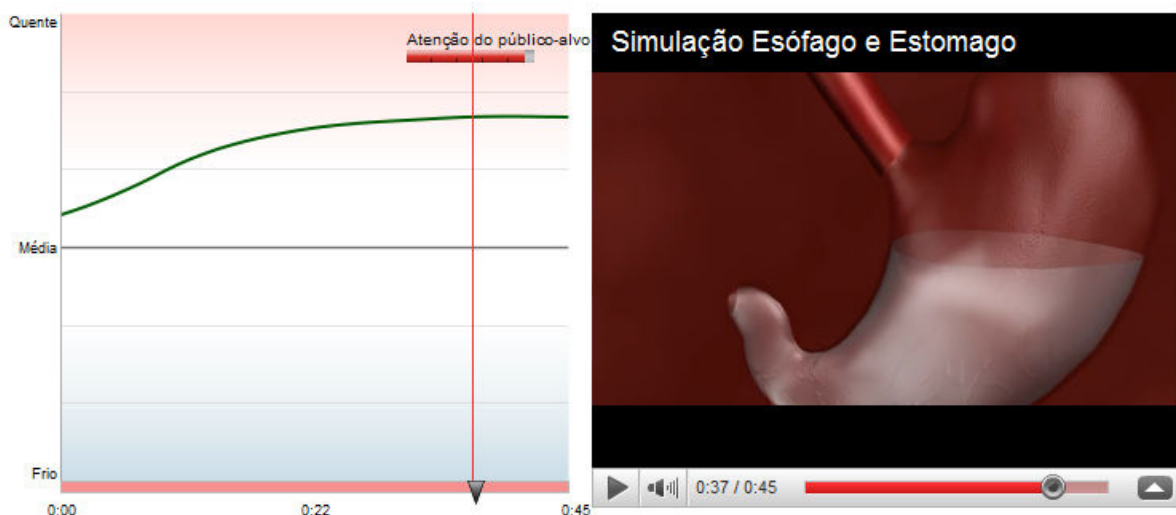
Relativamente à forma como a animação foi visualizada, aquela que ocorreu através da página do *youtube* foi predominante. Contudo é importante realçar o interesse por parte de alguns internautas em visualizar a animação em dispositivos móveis. Com a crescente proliferação destes dispositivos, poderá também crescer a tendência de visualização através deles. Assim poder-se-á depreender também, a importância crescente dos OA's de uma forma geral e dos OA's que integram modelos 3D em particular, estarem tecnologicamente preparados para a sua integral reprodução e interacção com o utilizador através dos dispositivos móveis.

A forma como a animação foi visualizada encontra-se ilustrada na imagem seguinte:

<input checked="" type="checkbox"/> Localização do leitor quando foi visualizado	Visualizações	% do total de visualizações
<input checked="" type="checkbox"/> Página de visualização do YouTube	7 034	95,4
<input checked="" type="checkbox"/> Leitor incorporado	275	3,7
<input checked="" type="checkbox"/> Telemóveis	55	0,75
<input checked="" type="checkbox"/> Páginas de canal do YouTube	6	0,08

**Ilustração 69 - Apresentação da forma como a animação foi visualizada**

Para verificar a capacidade da animação para gerar interesse e reter a atenção do internauta enquanto esta é reproduzida, apresenta-se na imagem seguinte o gráfico que ilustra os pontos quentes da animação ao longo do vídeo:



**Ilustração 70 - Gráfico que apresenta a capacidade desta animação cativar o público-alvo**

As oscilações no número de espectadores do vídeo em cada momento são comparadas com outros vídeos de duração semelhante. Quanto mais alto for o gráfico, menor é o número de espectadores a abandonar o vídeo e poderão inclusivamente estar a rebobinar para rever melhor um determinado ponto do vídeo.

A atenção do público-alvo é uma medida global para aferir a capacidade do vídeo para reter o seu público-alvo. Nesta medida, verifica-se que a animação tem tido de uma forma geral uma capacidade muito boa de reter a atenção do espectador. No primeiro terço da animação, apesar de a atenção estar acima da média, esta é comparativamente com o resto da animação mais baixa, devido certamente a vários factores, nos quais se incluí o facto de alguém entrar na página da animação mesmo que involuntariamente, esta começa de forma automática sem

intervenção voluntária do espectador. Se não era isto que o espectador estava à procura, então muitas vezes nem chega a olhar para o vídeo saindo de seguida da página sem qualquer tipo de avaliação, contando como abandono para efeitos estatísticos.

No segundo terço da animação a taxa de abandono diminui significativamente, o que significa que gerou bastante interesse ou pelo menos bastante curiosidade.

No último terço, verifica-se que a animação tem o mérito e a capacidade de manter e até aumentar ligeiramente esse interesse ou curiosidade que se mantém em níveis muito altos e sem oscilações até ao fim.

#### **5.4 Validação do interesse de uso de modelos digitais 3D no ensino da área da saúde**

Para conhecer o grau de interesse que os modelos digitais 3D despertam nos profissionais da área da saúde como recursos de aprendizagem, foi elaborado um inquérito *on-line* a partir do site de inquéritos [www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com) e que envolveu a auscultação de um total de 24 pessoas na área do Porto, repartidas pelas áreas da medicina dentária (fac. de medicina dentária da UP e Univ. Fernando Pessoa), da enfermagem (Hospital S. João), da nutrição/estomatologia (Hospital Pedro Hispano) e da terapia da fala (Associação do Porto de Paralisia Cerebral - APPC).

Antes do preenchimento do questionário, os participantes foram convidados a visualizar os modelos digitais 3D com as animações 3D criadas em foto-realismo e o modelo digital 3D e interactivo do coração (em *flash*), que foram feitos pelo autor para este trabalho.

Foi ainda apresentado um exemplo de um OA existente na *internet*, sobre o coração com recurso à interactividade e com explicação em texto e áudio dos componentes do coração e com textos para controlo de aprendizagem (testes de avaliação de conhecimentos).

Estes recursos de aprendizagem apresentados foram colocados no repositório MELOR, na plataforma de aprendizagem MEDUCA e na impossibilidade de utilizarem um dos métodos anteriores, também no *youtube* com acesso privado, apenas disponível pelas hiperligações indicadas.

## Análise e interpretação dos resultados

O questionário (anexo 1) foi composto por 13 perguntas, todas elas procurando indagar sobre a viabilidade ou importância dos modelos digitais 3D mas também procurando fazer a comparação e o confronto com os modelos físicos 3D tradicionais.

São apresentados de seguida os resultados obtidos neste inquérito e para cada pergunta foi feita uma análise das escolhas efectuadas pelos inquiridos.

A primeira pergunta, tem como objectivo clarificar a frequência e a experiência na utilização de modelos digitais 3D que os participantes já tiveram, como se pode ver na figura seguinte:

1. Já utilizou modelos digitais 3D anatómicos (em formato electrónico), para apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		4,2%	1
Muitas vezes		12,5%	3
Por vezes		45,8%	11
Nunca		37,5%	9
		questão respondida	24
		questão ignorada	0

Ilustração 71 - Gráfico da primeira pergunta do questionário

Verifica-se que existe interesse em utilizar os modelos digitais 3D como apoio à aprendizagem. A maioria dos inquiridos afirma utilizá-los algumas vezes (45,8%), sendo que alguns até usam sempre (4,2%) ou mesmo frequentemente (12,5%). Contudo ainda existe um conjunto de inquiridos que nunca usou este tipo de recursos.

Este facto pode levar a reflectir sobre dois aspectos. A falta de recursos existentes para o efeito ou a falta de metodologia associada à sua utilização.

A pergunta número dois tem como objectivo clarificar a frequência e a experiência na utilização de modelos físicos 3D que os participantes já tiveram, como se pode observar na figura seguinte:

<b>2. Já utilizou modelos anatômicos físicos tradicionais, como apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?</b>			
		<b>% de respostas</b>	<b>Contagem de resp.</b>
<b>Sempre</b>		16,7%	4
<b>Muitas vezes</b>		50,0%	12
<b>Por vezes</b>		33,3%	8
<b>Nunca</b>		0,0%	0
<b>questão respondida</b>			<b>24</b>
<b>questão ignorada</b>			<b>0</b>

**Ilustração 72 - Gráfico da segunda pergunta do questionário**

Neste caso verifica-se que todos os participantes do inquérito já utilizaram modelos físicos tradicionais em alguma altura da sua aprendizagem, sendo que a maior parte dos inquiridos já os utilizou frequentemente ou sempre (66,7%) e um conjunto ainda considerável utilizou-os algumas vezes (33,3%).

Este facto pode levar a reflectir sobre a importância que os modelos físicos 3D tradicionalmente têm para a aprendizagem na área da saúde.

Pretende-se na pergunta número três saber qual a importância que os modelos digitais 3D poderão ter no processo ensino/aprendizagem na área da saúde, como pode ser observado no gráfico seguinte:

<b>3. Considera que os modelos digitais 3D anatômicos (em formato electrónico) serão úteis para apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?</b>			
		<b>% de respostas</b>	<b>Contagem de resp.</b>
<b>Sempre</b>		45,8%	11
<b>Muitas vezes</b>		50,0%	12
<b>Por vezes</b>		4,2%	1
<b>Nunca</b>		0,0%	0
<b>questão respondida</b>			<b>24</b>
<b>questão ignorada</b>			<b>0</b>

**Ilustração 73 - Gráfico da terceira pergunta do questionário**

Pode-se verificar que todos os participantes sem exceção consideram os modelos digitais 3D importantes para a aprendizagem na área da saúde, verificando-se que 95,8% destes utilizadores recorrem sempre (45,8%) ou muitas vezes (50,0%) a este tipo de recursos quando tem possibilidade de o fazer, estes utilizadores consideram a inclusão ou uso destes recursos como válidos no processo de ensino/aprendizagem.

Pretende-se com a pergunta número quatro, conhecer o grau de disponibilidade dos modelos físicos 3D para os inquiridos e identificar a possibilidade de uso dos mesmos a qualquer hora que deles possam necessitar, conforme o gráfico da figura seguinte:





4. Tem possibilidade de utilizar os modelos anatómicos físicos tradicionais, à hora que quiser do dia ou da noite, como apoio à sua aprendizagem?			
		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		4,2%	1
Muitas vezes		4,2%	1
Por vezes		33,3%	8
Nunca		58,3%	14
questão respondida			24
questão ignorada			0

Ilustração 74 - Gráfico da quarta pergunta do questionário

Verifica-se que apesar da utilização dos modelos físicos 3D serem uma realidade, a sua disponibilidade a qualquer momento não é fácil, considerando a maioria dos inquiridos (91,6%) ter dificuldade de acesso aos mesmos ao ponto de 58,3% nunca o ter feito nas circunstâncias indicadas e apenas 33,3% indicam ter conseguido por vezes acesso a esses recursos.

Os inquiridos quando questionados na pergunta número cinco, sobre a portabilidade e a mobilidade destes modelos físicos 3D para outro local, para efeito de aprendizagem, referem que mesmo tendo em alguns momentos tido acesso aos mesmos (4,2%), verifica-se uma enorme dificuldade no seu transporte por serem recursos de médio ou grande porte, conforme se pode ver no gráfico seguinte:

5. Já alguma vez transportou um modelo anatómico físico tradicional, de médio ou grande porte (ex. cabeça ou outro) para estudar fora do seu local habitual, como apoio à sua aprendizagem?




		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		0,0%	0
Muitas vezes		4,2%	1
Por vezes		8,3%	2
Nunca		87,5%	21
questão respondida			24
questão ignorada			0

Ilustração 75 - Gráfico da quinta pergunta do questionário

Verifica-se ainda que a esmagadora maioria (87,5%) afirma que nunca os pode utilizar fora do seu local habitual.

Na pergunta número seis pretende-se identificar para efeitos comparativos e em contra-ponto com a questão número quatro, a possibilidade de acesso a modelos digitais 3D, a qualquer hora e a partir de qualquer lugar através da *internet*, com se pode ver no gráfico da figura seguinte:

6. Considera a possibilidade de utilizar os modelos digitais 3D anatómicos (em formato electrónico) no computador, à hora que quiser do dia ou da noite, como apoio à sua aprendizagem?




		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		50,0%	12
Muitas vezes		41,7%	10
Por vezes		8,3%	2
Nunca		0,0%	0
questão respondida			24
questão ignorada			0




Ilustração 76 - Gráfico da sexta pergunta do questionário

Verifica-se, pela forma como estes modelos são disponibilizados em formato electrónico e por conseguinte passível de ser transmitido via *Web*, que a esmagadora maioria (91,7%) não hesita em considerar a sua utilização quando quiser e a qualquer hora do dia ou da noite para a sua aprendizagem.

Dos inquiridos 50,0% considera utilizar sempre os modelos digitais 3D, sendo que um conjunto significativo de inquiridos pretende usar frequentemente (41,7%) e apenas 8,3% pensam utilizá-los casualmente.

Constata-se neste gráfico, em comparação simétrica com o gráfico da pergunta número quatro que os modelos digitais 3D tem uma usabilidade bastante mais significativa e evitando assim o transporte dos modelos físicos tradicionais.

Com o intuito de identificar aproximações entre os modelos físicos 3D e os modelos digitais 3D no processo de ensino/aprendizagem, questionou-se os inquiridos nesse sentido, conforme o gráfico da figura seguinte:



7. Se pudesse optar livremente entre um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) e um modelo anatómico físico tradicional, para fazer a sua aprendizagem qual seria a sua escolha mais frequente?			
		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre o modelo 3D anatómico em formato electrónico		0,0%	0
Mais frequente o modelo 3D anatómico em formato electrónico		70,8%	17
Os dois tipos de modelo em igual proporção		25,0%	6
Mais frequente o modelo anatómico físico		4,2%	1
Sempre o modelo anatómico físico tradicional		0,0%	0
questão respondida			24
questão ignorada			0

**Ilustração 77 - Gráfico da sétima pergunta do questionário**

Perante a possibilidade de escolha entre um modelo ou outro para o mesmo propósito de aprendizagem, verifica-se que a grande maioria (70,8%) prefere a utilização de um modelo digital 3D em substituição de um modelo físico 3D, enquanto 25% considera utilizar os dois tipos de modelos em igual proporção e apenas um número muito reduzido 4,2% considera utilizar mais frequentemente os modelos físicos 3D.

Conclui-se ainda pela expressão dos resultados obtidos que para os inquiridos, apesar da grande preferência dos modelos digitais 3D, nenhum dos tipos de modelos exclui completamente a utilização do outro, antes pelo contrário, complementando-se mutuamente.

No que respeita à produtividade, pretende-se na pergunta número oito, estabelecer uma comparação entre os modelos digitais 3D e os modelos físicos 3D. Conforme se pode ver no gráfico da figura seguinte:

8. Considera mais produtivo fazer a sua aprendizagem através de um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) ou através de um modelo anatómico físico tradicional?			
		% de respostas	Contagem de resp.
Mais produtivo através de um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico)		41,7%	10
A produtividade é equiparada entre os dois tipos de modelos		58,3%	14
Mais produtivo através de um modelo anatómico físico tradicional		0,0%	0
questão respondida			24
questão ignorada			0

**Ilustração 78 - Gráfico da oitava pergunta do questionário**





A maioria (58,3%) considera que a produtividade é equiparada em ambos os tipos de modelos (58,3%), embora 41,7% considere a produtividade a partir dos modelos digitais 3D ser superior à dos modelos físicos 3D.

Nenhum dos inquiridos considerou o modelo físico 3D mais produtivo do que o modelo digital 3D.

Procurou-se saber na pergunta número nove se um modelo digital 3D poderá substituir o modelo físico 3D para efeito de aprendizagem.

Perante este cenário, quase todos os inquiridos (95,8) consideram a substituição dos modelos físicos 3D por modelos digitais 3D para a aprendizagem, pelo menos por vezes. Sendo que a maioria (58,3) pensa mesmo substituí-los muitas vezes, seguido por aqueles que consideram fazê-lo casualmente (29,2%), conforme o gráfico da figura seguinte:

**9. Considera possível um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) substituir o modelo anatómico físico tradicional, no apoio à aprendizagem na área da medicina/saúde?**




		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		8,3%	2
Muitas vezes		58,3%	14
Por vezes		29,2%	7
Nunca		4,2%	1
		questão respondida	24
		questão ignorada	0

**Ilustração 79 - Gráfico da nona pergunta do questionário**

Alguns inquiridos consideram substituí-los sempre (8,3%) e um conjunto muito reduzido considera nunca o fazer (4,2%).

Identificar mais uma vez se pensam usar os modelos digitais 3D, mas desta vez realçando as qualidades e as vantagens da sua utilização, foi o objectivo seguinte:

**10. Tendo em conta as capacidades de animação e de interactividade com o utilizador, que os modelos digitais 3D (em formato electrónico) permitem, pondera a hipótese de apoiar a sua aprendizagem na área da medicina/saúde, com base nestes modelos?**

		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre		25,0%	6
Muitas vezes		66,7%	16
Por vezes		8,3%	2
Nunca		0,0%	0
		questão respondida	24
		questão ignorada	0

**Ilustração 80 - Gráfico da décima pergunta do questionário**

Mais uma vez se verifica que a grande maioria considera apoiar a sua aprendizagem em modelos digitais 3D, sempre (25%) ou muitas vezes (66,7%).

Todos os inquiridos sem excepção consideram fazê-lo pelo menos algumas vezes e nenhum considerou a hipótese de nunca os vir a utilizar.

Perante a possibilidade de recorrer a ambos os modelos, mas discriminando as características e as vantagens mais importantes dos dois tipos de modelos, questionou-se por qual optaria, conforme apresentado no gráfico da figura seguinte:

**11. Se poder escolher entre um modelo digital 3D anatómico e interactivo (com a possibilidade de o rodar livremente, ampliar detalhes, clicar num detalhe e apresentar informação detalhada sobre o assunto) e um modelo anatómico físico tradicional (com a possibilidade de observar diferentes níveis de detalhe, ter a noção volumétrica e de tacto ao manipular com as mãos), qual seria a sua escolha?**

		% de respostas	Contagem de resp.
Sempre o modelo digital 3D anatómico e interactivo		0,0%	0
Mais frequente o modelo digital 3D anatómico e interactivo		83,3%	20
Os dois tipos de modelo em igual proporção		16,7%	4
Mais frequente o modelo anatómico físico tradicional		0,0%	0
Sempre o modelo anatómico físico tradicional		0,0%	0
		questão respondida	24
		questão ignorada	0

**Ilustração 81 - Gráfico da décima primeira pergunta do questionário**

A grande maioria dos inquiridos (83,3%) respondeu pretender utilizar mais frequentemente os modelos digitais 3D em vez dos modelos físicos 3D.

Os restantes inquiridos (16,7%) consideraram utilizar os dois tipos de modelos em igual proporção.

Nenhum dos inquiridos considerou sequer a possibilidade de utilizar mais frequentemente os modelos físicos 3D em detrimento dos modelos digitais 3D.

Em análise comparativa com a pergunta número três, o facto de salientar aos inquiridos algumas características e vantagens dos dois tipos de modelos, parece ter contribuído para uma resposta ainda bem mais favorável para os modelos digitais 3D.

A pergunta seguinte tinha como objectivo saber quão anatomicamente correcto deveria ser um modelo digital 3D para ser aceite como recurso de aprendizagem, desde que a animação dos procedimentos cirúrgicos estivesse correcta, como pode ser constatado no gráfico da figura seguinte:

12. Suponha que tem uma animação de um modelo digital 3D que simula correctamente os procedimentos de uma cirurgia, apesar de o modelo 3D estar incompleto ou menos correcto... Considera uma boa ferramenta de apoio para a sua aprendizagem?			
		% de respostas	Contagem de resp.
Sim, sempre		41,7%	10
Sim, mas só se não interferir com a simulação da cirurgia		54,2%	13
Não, nunca		4,2%	1
questão respondida			24
questão ignorada			0

Ilustração 82 - Gráfico da décima segunda pergunta do questionário

A quase totalidade dos inquiridos (95,9%) considera que mesmo perante estas circunstâncias pode ser uma boa ferramenta de apoio à aprendizagem, sendo que 41,7% considera ser sempre uma boa ferramenta de apoio à aprendizagem e 54,2% dos inquiridos considere ser uma boa ferramenta desde que não interfira na simulação dos procedimentos cirúrgicos.

Perante os resultados obtidos pode-se considerar que a menor perfeição dos modelos digitais 3D não é de todo um factor de exclusão, desde que exista alguma mensagem pedagógica a tirar e tendo em consideração que a capacidade humana de tolerância a falhas permite inferir correctamente a partir dos erros ou imperfeições desde que estes não sejam exagerados.

Por fim, questionou-se sobre o facto de o modelo digital 3D estar anatomicamente correcto e com o procedimento cirúrgico correcto, excepto o aspecto visual não ser bem de acordo com a realidade. Pretendia-se aferir a influência que o aspecto visual ao nível da textura teria sobre a validade do modelo digital 3D, como uma boa ferramenta de aprendizagem, como pode ser constatado no gráfico da figura seguinte:



13. Suponha que na animação da questão anterior tanto os procedimentos da cirurgia como a anatomia do modelo 3D estão correctos, excepto a cor e a textura do modelo digital 3D que não está bem de acordo com a realidade... Considera uma boa ferramenta de apoio para a sua aprendizagem?			
		% de respostas	Contagem de resp.
Sim		87,5%	21
Não		12,5%	3
questão respondida			24
questão ignorada			0

Ilustração 83 - Gráfico da décima terceira pergunta do questionário

A grande maioria dos inquiridos (87,5%) considera que o facto da cor ou da textura não estarem 100% aproximado ou semelhante à realidade, não é motivo para que o modelo digital 3D não possa ser considerado uma boa ferramenta de apoio à aprendizagem.

## 5.5 Sumário

Neste capítulo foi feita a título de exemplo a descrição do processo de integração no repositório MELOR, do modelo digital 3D do coração como recurso de aprendizagem para o ensino na área da saúde, ficando disponível para utilização a partir de qualquer parte do mundo. Essa integração foi conseguida pela introdução de informação que ficou associada ao recurso de aprendizagem como metadados baseados nas especificações *Dublin Core*, que entre outras coisas permite aceder rapidamente ao recurso pelo seu URI através de pesquisa por palavras-chave e facilmente conhecer, entre outras coisas, o seu autor bastando utilizar um motor de pesquisa como por exemplo o Google.

Foi também feita a referência à inclusão dos modelos digitais 3D desta dissertação na plataforma de aprendizagem MEDUCA, para utilização em ambientes de ensino por *e-learning*.

Foram ainda apresentados e analisados os resultados estatísticos da colocação do recurso de aprendizagem correspondente à animação 3D do processo de deglutição ao longo do esófago e estômago do bolo alimentar evidenciando os seus movimentos peristálticos, e que foi

colocado no *youtube* há um ano e oito meses com o objectivo de recolher agora os dados e estudar a impressão gerada na comunidade internauta.

Por fim, foi feita a análise e foram tiradas as conclusões relativas ao inquérito *on-line* que foi realizado junto dos alunos e profissionais de saúde auscultando a validade, a importância e o interesse gerado pelos modelos digitais 3D, tendo como referência os modelos e animações criados para esta dissertação e que foram disponibilizados no repositório MELOR, cuja avaliação decorreu com recurso à plataforma MEDUCA.

## 6 Conclusão

*O rio encontra sempre o caminho para o mar, porque é capaz de contornar um a um, todos os seus obstáculos.*

*Lao-Tsé*

Quando se avançou para este desafio de fazer a integração e contextualização de modelos 3D na área da saúde, surgiu desde logo a seguinte reflexão em forma de questão: tendo o autor anos de experiência na modelação 3D de formas complexas e de ensino nesta área, como é que modelará as formas mais complexas que existem, que são sem dúvida as dos órgãos ou regiões do corpo de um ser vivo, tendo como preocupação número um a obtenção das formas anatomicamente correctas, sem conhecimentos de anatomia? Iria ser capaz de executar o conjunto de todas as tarefas de desenvolvimento deste trabalho?

À medida que se foi desenrolando a pesquisa, foram sendo investigadas inúmeras técnicas e ferramentas que de alguma forma vieram auxiliar enormemente o processo, com vista à modelação de formas anatomicamente correctas, como as técnicas de vectorização obtidas sobre as imagens médicas oriundas da tomografia axial computadorizada ou a partir da ressonância magnética.

Nem todos os casos de modelação 3D precisaram de recorrer ao apoio das imagens médicas, como por exemplo a construção do modelo do esófago e do estômago que, para um modelador 3D experimentado, foi um dos casos mais simples de executar por serem formas muito suaves e de baixa irregularidade superficial.

Já o modelo da orelha e o modelo do coração apresentados, para que pudessem ter a forma anatomicamente correcta ou pelo menos o mais aproximado da realidade, tiveram como apoio as imagens médicas que permitiram obter bastantes informações adicionais de extrema importância.

No início deste trabalho procurou-se fazer um enquadramento sobre os modelos 3D e o ensino na área da saúde ao longo do tempo e uma análise às diferentes correntes educacionais, principalmente o construtivismo, que veio privilegiar a utilização de modelos físicos 3D no ensino.

Foi também feita uma apreciação do ensino numa sociedade em constante mudança, onde foram caracterizadas as três formas de ensino mais importantes, o ensino presencial, o *e-learning* e o *b-learning*, tendo em conta que os modelos digitais 3D têm um papel importante em qualquer uma das formas de ensino, embora tenha grande utilidade, como ferramenta no *e-learning* e *b-learning*.

Neste contexto, foi definido e caracterizado um OA e os seus metadados com base nas normas e especificações que os regem, que não obstante as diferentes definições existentes, são claramente entidades que tem o objectivo de servir a aprendizagem, onde se enquadram também como elementos e como recursos, os modelos digitais 3D, independentemente do seu grau de granularidade.

Procurou-se identificar e caracterizar alguns repositórios de OA's na *Web*, cujos recursos pudessem ser utilizados de forma livre, dependendo das políticas de utilização em cada caso. Um desses repositórios foi o MELOR do grupo de investigação do GILT.

Relativamente ao objecto de estudo deste trabalho, os modelos digitais 3D, foi elaborado o estado da arte, de forma a se conhecer o que já existe disponível neste domínio.

A utilização de modelos digitais 3D na área da saúde é já uma realidade aplicada em diferentes vertentes, como por exemplo no tratamento de doenças, na reabilitação física e na simulação de cirurgias ou actos médicos. Para o ensino na área da saúde também se encontram recursos e OA's de grande qualidade e com credibilidade, como por exemplo o *Caveman*, o *Visblebody*, a *Medpedia* e a *Primalpictures*, entre outros.

Um dos objectivos deste trabalho era o de apresentar e descrever um conjunto de programas, técnicas e tecnologias, que dependendo do resultado final pretendido, isto é, que o objecto final sendo um modelo digital 3D com ou sem animação, com ou sem foto-realismo, com ou sem interactividade, sendo ou não anatomicamente correcto pudesse ser um modelo digital 3D. Identificaram-se ferramentas importantes para todo o processo de produção de modelos digitais 3D. Destas ferramentas destacam-se o *Rhinoceros*, o *3D studio max*, o *Adobe flex* para a programação em *flash* com as bibliotecas *papervision*, os programas de tratamento de imagens médicas *Itk-snap* e *Invesalius*, as técnicas de modelação por engenharia inversa, as técnicas de foto-realismo *Scanline renderer* e *raytracing* e as técnicas de animação por *keyframe* e *Space Warps*, por serem as ferramentas mais utilizadas desde toda a fase de investigação até ao final deste trabalho.

Outro dos objectivos seria o de demonstrar a possibilidade de criar modelos digitais 3D de elevado grau de complexidade tendo em vista as formas anatomicamente correctas e a investigação sobre métodos de criar animações sobre esses modelos.

Para isso, criaram-se os modelos digitais 3D dum esófago e estômago com o processo de deglutição, de um olho, de uma orelha e de um coração.

No caso do esófago e estômago e do olho, foi usada a modelação em NURBS baseada em informação dimensional por observação directa e em alguns momentos por decalque de uma imagem de fundo.

No caso da orelha e do coração também foi usada a modelação NURBS, mas baseada na informação oriunda das imagens médicas respectivas.

Para efeitos de validação, foi pedido o parecer a alguns médicos sobre o modelo digital 3D do coração, tendo sido obtidas as seguintes respostas e considerações:

A Dra Sandra Bucarey (*Professora Instructora de Anatomia Facultad de Medicina de la Universidad Austral de Chile*) e o Dr. Pedro Aravena Torres (*Professor Instructor de Facultad de Medicina de la Universidad Austral de Chile*) indicam conjuntamente:

*“Tengo algunas opiniones respecto al trabajo:*

- *El corazón presenta su vertex (punta) hacia el lado izquierdo, no derecho*
- *Se debe separar la vena cava superior con la aorta ascendente*
- *El movimiento sistole-diastole del corazón es en forma helicoidal, es decir, al contraerse el corazón sube y se dirige hacia el lado izquierdo. Esto se debe a la disposición de las fibras musculares en forma de hélice.*
- *Recomiendo al alumno dejarse guiar por un especialista (cardiologo) para definir mejores detalles del movimiento sistole-diástole.*

*Eso puedo aportar.”*

Dr. Ramón I. Esperón Hernández (*Facultad de Medicina, UADY, Mérida, Yucatán, México*) indica:

*“He descargado y visualizado el corazón que en efecto tiene detalles anatómicos y fisiológicos, pero pasando a cuestiones más técnicas: sería bueno que el estudiante pudiera manipularlo, es decir girarlo, acercarlo, etcétera. Tal vez modificar el ritmo, paralizar una sección como pasa en los infartos, o acercar tanto como para ver los tejidos.”*

Foi também solicitado um parecer à Doutora Paula Escudeiro, Professora Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto, no Departamento de Engenharia Informática, do Grupo Disciplinar de Sistemas de Informação e da qual foi obtida a seguinte consideração:

*“Acho este recurso interessantíssimo. Bom trabalho! No entanto, penso que, terá que ser validado por especialistas na área da saúde para se tornar efectivamente recurso digital didáctico.”*

Estas importantes e valiosas considerações vêm reforçar o que tem sido defendido também neste trabalho, ou seja, a importância de haver uma equipa de trabalho composta por uma equipa multidisciplinar com um ou mais especialistas de modelação e animação 3D e de um ou mais especialistas na área da saúde relacionada.

Constata-se que só assim se evitarão situações como as assinaladas pela Dra. Sandra Bucarey e pelo Dr. Pedro Aravena Torres sobre a orientação do *vertex* do coração, da separação da aorta e da veia cava e do movimento sístole-diástole apresentado na animação.

Apesar do modelo digital 3D do coração ter sido baseado em informação de um coração real, podem sempre existir falhas que só num trabalho de equipa se dissiparão com toda a certeza em busca do anatomicamente correcto.

Realça-se também por um lado a afirmação realizada pelo Dr. Ramón I. Esperón Hernández que indica tratar-se de um modelo 3D já com detalhes anatómicos e fisiológicos e por outro lado a sugestão de poder manipular, rodar aproximar e afastar o modelo digital 3D e criar animações que simulem situações como mudança de ritmo e também, por exemplo, a paragem de um sector do coração como acontece nas situações de enfarte.

Na verdade já tinha sido criado pelo autor deste trabalho, antes desta apreciação, o modelo 3D do coração com interactividade permitindo rodar em 360 graus com *zoom in* e *out*. Este modelo interactivo não foi na altura colocado à apreciação como aconteceu com a animação do modelo digital 3D.

A sugestão de simulação comportamental do coração em situações de doença é algo muito importante e que permite tirar partido quer das potencialidades da modelação 3D quer das potencialidades da animação digital 3D e que gostaria de facto de criar num trabalho futuro.

A apreciação feita pela Doutora Paula Escudeiro reforça mais uma vez por um lado, tal como defendido também neste trabalho, a necessidade de validação por especialistas da área da saúde para que possa ser considerado de facto como um recurso digital didáctico e por outro lado realça de certa forma a credibilidade que visualmente o modelo digital 3D atingiu.

Se os modelos digitais 3D criados ao longo deste trabalho não atingiram o anatomicamente correcto face à formação do autor não ser da área da saúde mas sim de engenharia, conclui-se que com um bom trabalho de uma equipa multidisciplinar será possível vir a consegui-lo.

A partir do inquérito realizado aos profissionais de saúde em várias das suas vertentes pode-se concluir, embora salvaguardando o facto de o número de inquiridos ser apenas vinte e quatro, que existe uma tendência para a escolha mais frequente dos modelos digitais 3D e para a sua integração no processo de aprendizagem na área da saúde.

Verifica-se que os modelos físicos 3D não sendo os preferidos também não são rejeitados, mas antes aceites e considerados como um bom complemento à aprendizagem através de modelos digitais 3D.

Conclui-se haver uma tendência para considerar como possíveis recursos de aprendizagem, os modelos digitais 3D que não sejam contudo anatomicamente correctos, desde que de alguma maneira cumpram com a sua função pedagógica.

Esta tendência para ser aceite como bons recursos de aprendizagem aumenta ainda mais quando a falha nos modelos digitais 3D é apenas quanto à sua cor ou textura.

Assim, em vários casos pode não ser necessário procurar obter modelos digitais 3D anatomicamente correctos, poupando tempo e recursos e conseguir obter os resultados pretendidos.

Tudo dependerá da qualidade e nível de detalhe pretendido.

O desenvolvimento deste trabalho trouxe ao autor uma consciência mais alargada da área da informática aplicada à medicina e também uma noção mais clara das suas potencialidades de crescimento.

Tendo em conta a sua experiência na área de CAD/CAD, modelação e animação 3D e também no ensino destas mesmas áreas, é vontade do autor, num futuro próximo vir a candidatar-se a um doutoramento nesta área ou noutra área conexas, de forma a poder participar no desenvolvimento de algumas das vertentes, das muitas que ainda estão por explorar e que pode passar ou não pela implementação de simuladores de cirurgia.

O desenvolvimento de algum artigo de carácter científico baseado na abordagem utilizada nesta dissertação, embora não dependa só do autor também está no seu horizonte.

Tendo já sido incluído no âmbito do projecto MLM do GILT como investigador, pretende continuar com o desenvolvimento de conteúdos 3D para integração em Objectos de Aprendizagem digitais na área da saúde.

Equaciona ainda a produção de modelos para moldes anatomicamente correctos, num contexto de colaboração multi-disciplinar entre a engenharia informática e a engenharia mecânica.

A curto prazo pretende contribuir com a publicação de artigos sobre o tema e apresentar os resultados do presente estudo à comunidade interessada.

A sua incorporação como investigador numa proposta recente apresentada à FCT pode ser o primeiro passo para um amadurecimento do tema e de um trabalho futuro com enorme seriedade e responsabilidade.

## 7 Bibliografia

**A.F. Cemenasco G. Ramieri, S.D. Bianchi** WEB-3D VISUALIZATION OF ANATOMICAL STRUCTURES AND MEDICAL EQUIPMENTS: A RESEARCH OF NEW METHODOLOGIES [Relatório]. - [s.l.] : Università di Torino - Facoltà di Medicina e Chirurgia, Dipartimento di Discipline Medico-Chirurgiche, 2003.

**Abbagnano N. e Visalberghi A.** História da Pedagogia [Livro]. - Lisboa : Livros Horizonte, 1981.

**AICC** Aviation Industry Metadata Description [documento PDF]. - EUA : AICC, 2006.

**AICC** Welcome to the AICC - The aviation industry's information resource for training technology since 1988 [Online] // AICC - Aviation Industry CBT Committee. - AICC, 1988. - 20 de Julho de 2010. - <http://www.aicc.org/dev/>.

**Alves Fernando Jorge Lino [et al.]** ProtoClick! - Prottipagem Rápida [Livro]. - Portugal : Protoclick, 2001. - Vols. ISBN 972-95376-1-5.

**Argosy Publishing Inc.** VisibleBody [Online] // Visible Body 3D Human Anatomy. - 2007. - <http://www.visiblebody.com>.

**Ariadne** Ariadne [Online] // <http://www.ariadne-eu.org>. - 2006. - 24 de Julho de 2010. - <http://www.ariadne-eu.org>.

**Aroso Pedro** Autodesk Architectural Desktop [Livro]. - Lisboa : FCA - Editora Informática, 2002. - 1ª Edição : Vol. I. - ISBN 972-722-268-4.

**Autodesk** 3D Studio MAX 2011 Help [Online] // [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com). - 2010. - 2010. - <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/ENU/Autodesk%20ds%20Max%202011%20Help/index.html>.

**Beck Robert J.** What Are Learning Objects? [Online] // [http://www.uwm.edu/Dept/CIE/AOP/LO\\_what.html](http://www.uwm.edu/Dept/CIE/AOP/LO_what.html). - 23 de Janeiro de 2007. - 7 de Janeiro de 2009. - [http://www.uwm.edu/Dept/CIE/AOP/LO\\_what.html](http://www.uwm.edu/Dept/CIE/AOP/LO_what.html).

**Berard Ole e Schulz Jesper** GEOMETRICAL CORRECTION AND CONVERSION OF IFC2X3 MODELS [Livro]. - Master's Thesis at the IT University of Copenhagen : [s.n.], 2008.

**Carlson Katie** A Critical History of Computer Graphics and Animation - The emergence of computer graphics technology [Online] // College of the arts. - Ohio State University, 2007. - 27 de Agosto de 2010. - <http://design.osu.edu/carlson/history/lesson2.html>.

**CE** The eLearning Action Plan [Relatório]. - Bruxelas : Comissão da Comunidade Europeia, 2001.

**CEN ws-It learning technology standards observatory** ARIADNE Metadata - Overview [Online] // LTSO Contents. - CEN, 2010. - Novembro de 2010. - <http://www.cen-itso.net/Main.aspx?put=824>.

**Cheng Siyuan, Zhang Xiangwei e Yu Guoxin** A hybrid surfacing methodology for reverse engineering [Jornal]. - China : Taylor & Francis, 2009. - VirtualandPhysicalPrototyping : Vol. 4.

**Chiappe Segovia, & Rincon, H. Y** Toward an instructional design model based on learning objects [Jornal] // Educational Technology Research and Development. - [s.l.] : Educational Technology Research and Development, 2007.

**Chiuia Nick Jukes & Mihnea** Da Cobaia ao Rato de Computador [Secção do Livro] // Da Cobaia ao Rato de Computador. - 2003.

**codermind** A raytracer in C++ - Introduction - What is ray tracing ? [Online] // [www.codermind.com](http://www.codermind.com). - 2008. - <http://www.codermind.com/articles/Raytracer-in-C++-Introduction-What-is-ray-tracing.html>.

**DCMI** About the Initiative [Online] // Dublin Core Metadata Initiative (DCMI). - 1995.

**DCMI** Dublin Core Metadata Element Set, Version 1.1 [Jornal]. - [s.l.] : Dublin Core, 2010. - Metadata.

**Grant Michael M.** GETTING A GRIP ON PROJECT-BASED LEARNING: THEORY, CASES AND RECOMMENDATIONS [Online] // <http://www.ncsu.edu/meridian/win2002/514/project-based.pdf>. - Meridian - A Middle School Computer Technologies Journal, 2002. - Volume 5, Issue 1. - 19 de Agosto de 2010. - <http://www.ncsu.edu/meridian/win2002/514/project-based.pdf>.

**Hoffman Hunter** VR Therapy for Spider Phobia [Online] // HITLab Projects VR Therapy for Spider Phobia. - 2002. - <http://www.hitl.washington.edu/projects/exposure/>.

**Holmes Bryn e Gardner John** E-Learning: Concepts and Practice [Livro]. - Great Britain : SAGE Publications, ltd, 2006.

**IEEE** About ieee [Online] // <http://www.ieee.org/about/index.html>. - 24 de Julho de 2010. - 24 de Julho de 2010.

**IEEE Learning Technology Standards Committee** [Online]. - 2002. - [http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM\\_1484\\_12\\_1\\_v1\\_Final\\_Draft.pdf](http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf).

**IEEE ltsc.ieee.org** [Online] // IEEE - WG12: Learning Object Metadata. - IEEE, 10 de Dezembro de 2002. - 2010 de Julho de 25. - <http://ltsc.ieee.org/wg12/>.

**IEEE Metadata Standards Leaders IEEE and DCMI Collaborate to Design Future Metadata Architecture for Web-based Learning, Education and Training** [Online] // [standards.ieee.org](http://standards.ieee.org). - IEEE, 8 de Dezembro de 2000. - 25 de Julho de 2010. - <http://standards.ieee.org/announcements/metaarch.html>.

**IMS About IMS** [Online] // IMS. - 1997.

**Imsglobal IMS GLC: Content Packaging Specification** [Online] // Imsglobal. - 05 de 07 de 2010. - 5 de 07 de 2010. - <http://www.imsglobal.org/content/packaging/>.

**Jorge G. Ruiz Michael J. Mintzer e S. Barry Issenberg** Learning objects in medical education [Jornal]. - [s.l.] : Medical Teacher, 2006. - Allied Health; Medical Education : Vol. 28 issue 7.

**Longmire Warren** A Primer on Learning Objects [Jornal]. - [s.l.] : American Society for Training & Development, 2000.

**Lujara S. K. [et al.]** Learning Objects: A New Paradigm for E-Learning Resource Development for Secondary Schools in Tanzania [Jornal]. - [s.l.] : World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007.

**Medmat MEDMAT - Medical solutions for Better Life** [Online] // MEDMAT innovation. - MEDMAT innovation, lda, 2009. - 2009. - <http://www.medmatinnovation.com/>.

**MERLOT California State University Center for Distributed Learning** MERLOT - Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching [Online] // MERLOT - Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching. - California State University Center for Distributed Learning, 1997. - 05 de 08 de 2010. - <http://www.merlot.org>.

**Moen William E.** Designing and Implementing a Learning Object Repository: Issues of Complexity, Granularity, and User Sense-Making [Documento DOC]. - Texas : Texas Center for Digital Knowledge, University of North Texas ; Texas Center for Digital Knowledge, University of North Texas, 2008.

**MOTEK Medical BV vision** Rehabilitation Hospital at the Sheba Medical Center [Online] // Motek Medical - Links. - 2007. - <http://www.motekmedical.com/sheba.html>.

**Myers Brad A.** A Brief History of Human Computer Interaction Technology [Livro]. - School of Computer Science - Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213-3891 : ACM interactions, 1998. - Vols. 5, nº2.

**Olry Régis Wax,** Wooden, Ivory, Cardboard, Bronze, Fabric, Plaster, Rubber and Plastic Anatomical Models: Praiseworthy Precursors of Plastinated Specimens [Jornal]. - [s.l.] : Journal of the International Society for Plastination, 2000. - Vols. Vol 15 (1): 30-35, 2000.

**Ooga Labs a technology greenhouse in San Francisco** Welcome - Medpedia [Online] // Welcome - Medpedia. - 2009. - <http://www.medpedia.com>.

**Paurelle Susan** E-learning and constructivism [Jornal]. - United Kingdom : Learning & Teaching Enhancement Unit (LTEU) - Canterbury Christ Church University College, 2003. - E-learning.

**Primal Pictures Ida** 3D Human Anatomy Software [Online] // Primal Pictures 3D human anatomy medical software. - 2003. - <http://www.primalpictures.com>.

**Rehak Daniel R. e Mason Robin (2003), "Engaging with the Learning Object Economy"** Reusing online resources: A Sustainable Approach to E-Learning. Autor: Littlejohn, Allison [Livro]. - [s.l.] : Routledge, 2003.

RLO-CETL: Reusable Learning Objects [Online]. - 7 de Janeiro de 2009. - [http://www.rlo-cetl.ac.uk/joomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=235&Itemid=28](http://www.rlo-cetl.ac.uk/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=235&Itemid=28).

**Ruiz Jorge G. MD, Mintzer Michael J. MD e Leipzig Rosanne M. MD, PhD** The Impact of E-Learning in Medical Education [Jornal]. - E.U.A. : Academic Medicine, 2006. - E-Learning : Vol. 81.

**RWLO** Real World Learning Objects (RWLO) Resource Library [Online] // RWLO. - PT3 Pathways Project - Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), 2010. - 22 de 08 de 2010. - <http://www.ciese.org/pathways/rwlo/search.php>.

**Santos João e Barata João** 3D Studio VIZ 2 [Livro]. - Lisboa : FCA - Editora de Informática, 2001. - 2ª Edição : Vol. I. - ISBN 972-722-261-7.

**Santos Manuel** A importância dos jogos na aprendizagem da matemática // Pós Graduação TIC em contextos de aprendizagem. - Porto : Escola Superior de Educação Paula Frassinetti, 2010.

**Savery John R. e Duffy Thomas M.** Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework [Secção do Livro] // Constructivist Learning environments: case studies in instructional design / autor do livro Wilson Brent G.. - New Jersey - United States of America : Educational Technology Publications, Inc., 1996. - Vols. ISBN 0-87778-290-3.

**SHKlyar Dmitry** CGSociety - Feature Article [Online] // CGSociety - Society of Digital Artists. - cgsociety.org, 2003. - 27 de Agosto de 2010. -

[http://features.cgsociety.org/story\\_custom.php?story\\_id=1647&page=1](http://features.cgsociety.org/story_custom.php?story_id=1647&page=1).

**Silva Maria da Graça Moreira da** NOVAS APRENDIZAGENS [Online] // Associação Brasileira de Ensino a Distância. - Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac), Abril de 2004. - 11 de Novembro de 2010. -

<http://www.abed.org.br/congresso2004/por/htm/146-TC-D2.htm>.

**Sobral Francisco** Introdução à Educação Física [Livro]. - Lisboa : Livros Horizonte, 1983.

**Soh Jung** Sun Center of Excellence for Visual Genomics - CAVEman 4D Mapping of Genomic and Medical Information [Online] // CAVEman: 4D Mapping of Genomic and Medical Information. - 2005. -

[http://www.visualgenomics.ca/index.php?option=com\\_content&task=view&id=111&Itemid=194](http://www.visualgenomics.ca/index.php?option=com_content&task=view&id=111&Itemid=194).

**Surgical Science Inc.** LAPSIM - Laparoscopic training tool [Online] // Surgical Science Safer surgeons faster. - 2001. - <http://www.surgical-science.com/>.

**Thompson Kelvin e Yonekura Francisca** Practical Guidelines for Learning Object Granularity from One Higher Education Setting [Jornal]. - University of Central Florida, Orlando, FL, USA : University of Central Florida, Orlando, FL, USA, 2005. - Learning Object Granularity : Vol. I.

**Thorne Kaye** Blendedlearning [Livro]. - Great Britain : Kogan Page, Ltd, 2003.

**Vernon Tim e Peckham Daniel** The benefits of 3D modelling and animation in medical teaching [Jornal]. - [s.l.] : Journal of Visual Communication in Medicine, 2002. - Vols. Vol. 25, No. 4, Pages 142-148 , DOI 10.1080/0140511021000051117 .

**Vidal Elisabete** Ensino a distância vs. Ensino tradicional // Monografia. - Porto : Universidade Fernando Pessoa, 2002.

**webbox** Computer graphic timeline [Online] // WebBox - CGI Timeline - 1960s. - WebBox, 2008. - 27 de Agosto de 2010. - <http://www.webbox.org/cgi/1963%20Sketchpad%203.html>.

**Wiley David** Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy [Livro]. - [s.l.] : Agency for Instructional Technology, 2002. - Vol. 1ª edição.

**Wisc-Online** Welcome to Wisc-Online.com [Online] // Wisc-Online. - faculty from the Wisconsin Technical College System (WTCS), 1999. - 07 de 08 de 2010. - <http://www.wisc-online.com/Default.aspx>.

**Wisher Robert A.** [Online] // Advanced Distributed Learning (ADL). - 1999. -

<http://www.adlnet.gov/scorm/index.aspx>.

**Zuckerman Oren** Historical Overview and Classification of Traditional and Digital Learning

Objects [Jornal]. - Cambridge : MIT Media Laboratory, 20 Ames Street, Cambridge, MA

02139 , 2002.

## 8 Anexos

### 8.1 Anexo 1

# Questionário sobre utilização de modelos digitais 3D para o ensino na área da saúde

Respondido on-line nos endereços:

<http://www.surveymonkey.com/s/VVWB5S8>

<http://www.surveymonkey.com/s/VVTD8PZ>

\*

**1. Já utilizou modelos digitais 3D anatómicos (em formato electrónico), para apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**2. Já utilizou modelos anatómicos físicos tradicionais, como apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**3. Considera que os modelos digitais 3D anatómicos (em formato electrónico) serão úteis para apoio à sua aprendizagem na área da medicina/saúde?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**4. Tem possibilidade de utilizar os modelos anatómicos físicos tradicionais, à hora que quiser do dia ou da noite, como apoio à sua aprendizagem?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**5. Já alguma vez transportou um modelo anatómico físico tradicional, de médio ou grande porte (ex. cabeça ou outro) para estudar fora do seu local habitual, como apoio à sua aprendizagem?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**6. Considera a possibilidade de utilizar os modelos digitais 3D anatómicos (em formato electrónico) no computador, à hora que quiser do dia ou da noite, como apoio à sua aprendizagem?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**7. Se pudesse optar livremente entre um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) e um modelo anatómico físico tradicional, para fazer a sua aprendizagem qual seria a sua escolha mais frequente?**

- Sempre o modelo 3D anatómico em formato electrónico
- Mais frequente o modelo 3D anatómico em formato electrónico
- Os dois tipos de modelo em igual proporção
- Mais frequente o modelo anatómico físico
- Sempre o modelo anatómico físico tradicional

\*

**8. Considera mais produtivo fazer a sua aprendizagem através de um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) ou através de um modelo anatómico físico tradicional?**

- Mais produtivo através de um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico)
- A produtividade é equiparada entre os dois tipos de modelos
- Mais produtivo através de um modelo anatómico físico tradicional

\*

**9. Considera possível um modelo digital 3D anatómico (em formato electrónico) substituir o modelo anatómico físico tradicional, no apoio à aprendizagem na área da medicina/saúde?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**10. Tendo em conta as capacidades de animação e de interactividade com o utilizador, que os modelos digitais 3D (em formato electrónico) permitem, pondera a hipótese de apoiar a sua aprendizagem na área da medicina/saúde, com base nestes modelos?**

- Sempre
- Muitas vezes
- Por vezes
- Nunca

\*

**11. Se poder escolher entre um modelo digital 3D anatómico e interactivo (com a possibilidade de o rodar livremente, ampliar detalhes, clicar num detalhe e apresentar informação detalhada sobre o assunto) e um modelo anatómico físico tradicional (com a possibilidade de observar diferentes níveis de detalhe, ter a noção volumétrica e de tacto ao manipular com as mãos), qual seria a sua escolha?**

- Sempre o modelo digital 3D anatómico e interactivo
- Mais frequente o modelo digital 3D anatómico e interactivo
- Os dois tipos de modelo em igual proporção

- Mais frequente o modelo anatómico físico tradicional
- Sempre o modelo anatómico físico tradicional

\*

**12. Suponha que tem uma animação de um modelo digital 3D que simula correctamente os procedimentos de uma cirurgia, apesar de o modelo 3D estar incompleto ou menos correcto... Considera uma boa ferramenta de apoio para a sua aprendizagem?**

- Sim, sempre
- Sim, mas só se não interferir com a simulação da cirurgia
- Não, nunca

\*

**13. Suponha que na animação da questão anterior tanto os procedimentos da cirurgia como a anatomia do modelo 3D estão correctos, excepto a cor e a textura do modelo digital 3D que não está bem de acordo com a realidade... Considera uma boa ferramenta de apoio para a sua aprendizagem?**

- Sim
- Não

Concluído



## 8.2 Anexo 2

Todos os trabalhos realizados no âmbito desta dissertação e que se encontram disponíveis na internet com os URI:

Coração: <http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/553>

Coração interactivo: <http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/562>

Esófago e estômago: <http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/557>

Olho: <http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/555>

Orelha: <http://gilt.isep.ipp.pt:8080/melor/handle/123456789/561>

também se encontram, tal como o Curriculum Vitae do autor, armazenados no DVD em anexo, com a seguinte estrutura de directórios:

<b><u>Nome</u></b>	<b><u>Estrutura de directórios no DVD</u></b>
<b>Coração:</b>	\Modelo digital 3D do Coração\
<b>Coração interactivo:</b>	\Modelo Interactivo 3D do Coração\
<b>Esófago e estômago:</b>	\Modelo digital 3D do Esófago-Estômago\
<b>Olho:</b>	\Modelo digital 3D do Olho\
<b>Orelha:</b>	\Modelo digital 3D da Orelha\
<b>Curriculum Vitae:</b>	\CV de Miguel Rocha\

