

Agentes ou Jogadores? Os monstros estranhamente reais dos jogos de computadores

Agents or Players? uncanny sensations on gaming

Filipe Costa Luz
João M. C. S. Abrantes
Movlab, Universidade Lusófona
Filipe.luz@ulusofona.pt
Av. do campo Grande, 376
1749 – 024 Lisboa
217515500 ext: 2389

Curriculum Vitae (João M. C. S. Abrantes)

Professor Catedrático Aposentado Universidade Técnica de Lisboa (UTL) onde fundou e dirigiu até 2005 o Laboratório de Biomecânica da Faculdade de Motricidade Humana. Foi Pró-Reitor da Universidade Técnica de Lisboa de 1999 a 2005 .

Actualmente é Presidente do Conselho Científico da Escola Superior de Saúde do Alcoitão desde Outubro de 2006; consultor e Investigador para a área de Biomecânica do Laboratório de Marcha do Centro de Medicina de Reabilitação do Alcoitão, desde 1998 e desde 2007, Coordenador Científico do MovLab (Laboratório de Animação Digital e Biomecânica do Movimento Humano) / Universidade Lusófona / Lisboa.

É Membro do Conselho Editorial das revistas (Re)habilitar; “Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica”, “Revista Portuguesa de Ciências do Desporto”, “Brazilian Journal of Biomechanics”.

A área de actividade científica é a Biomecânica do Movimento Humano com especial incidência nas aplicações de metodologias de análise do domínio da Biomecânica que se constituam como meio complementar de diagnóstico específico, actualmente foca os interesses de investigação no campo da aplicabilidade dos modelos desenvolvidos, quer na avaliação e análise da estabilidade articular, quer no estudo da interacção com as técnicas de animação digital de modo a desenvolver aplicações específicas. (Março 2008).

Curriculum Vitae (Filipe Costa Luz)

Filipe Costa Luz é Mestre em Ciências da Comunicação (2006) pela Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa e licenciado em Design Industrial (1999) pelo Instituto de Artes Visuais Design e Marketing (IADE).

É Coordenador executivo do movlab – Laboratório de animação digital e Biomecânica do movimento humano integrado na Escola de Comunicação, Artes e Tecnologias da Informação da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa.

Esteve ligado ao IADE até 2003 onde desempenhou funções executivas no laboratório de CAD e leccionou em disciplinas de projecto e de modelação e animação 3D nas licenciaturas de Design Industrial e Design de Interiores.

Presentemente, está vinculado à universidade Lusófona de humanidades e Tecnologias desde 2003 onde lecciona para a licenciatura de Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, disciplinas da área de Pós-produção Vídeo, Modelação e animação 3D, programação para Espaços Interactivos.

A área de actividade científica é a Animação Digital, onde procura investigar, através de tecnologias digitais, novos meios de representação para realidade aumentada e virtual. De igual modo, procura nas ferramentas de animação e vídeo explorar percursos de criatividade através de projectos de videoclips, pós-produção ou motion graphics design.

Resumo

As novas técnicas de produção de conteúdos para cinema ou jogos de computadores são hoje poderosas ferramentas de realismo que permitem produzir conteúdos capazes de nos seduzir emocionalmente. Contactando seres artificiais, habitamos as planícies de Masahiro Mori, o uncanny valley.

Os movimentos das personagens, a física das colisões entre objectos, a inteligência artificial dos agentes, as imagens processadas em tempo real, aproximam-se “daquele mundo” que é capturado por uma câmara de filmar. Espelhamos o nosso universo nestes simuladores de vida, onde a interacção com a máquina torna-se mais transparente ao ponto da fronteira entre real e artificial se diluir no acto de jogar: “Este avatar é um bot?”

Palavras- chave: Captura de Movimentos, AI, Realismo

Abstract

Abstract: The ultimate techniques to develop video games are tools to produce artificial worlds with a high level of realism details on images and animations. Our emotions are touched by agents, it's the uncanny valley claim by Masahiro Mori.

On games, character movements, physics effects between objects, avatar's artificial intelligence and realistic renderings processed in real time, push our perceptions to similar sensations of real world.

The real and artificial frontiers are being blurred by digital process: “This avatar is a bot?”

Keywords: Motion capture, AI, Realism

Parte I – Realismo de movimentos

No último quartel do séc. XVIII, Étienne-Jules Marey desenvolveu máquinas fotográficas para a captura de movimentos de objectos e animais. Mais tarde, o fotógrafo inglês Edward Muybridge continuou o seu trabalho e, com o intuito de analisar movimentos humanos, tornou famosas as suas fotografias de movimentos congelados de fotograma em fotograma. A partir deste momento foi então possível observar, sem limitação de tempo, um corpo humano no desempenho de determinada tarefa. Animadores como Ollie Johnston ou Frank Thomas¹, que passavam a maior parte do tempo em bancos de jardins a observar como a “vida se movimenta”, puderam a partir da utilização destas imagens projectadas sobre uma tela, reproduzir com mais realismo os movimentos naturais. Esta técnica de projecção foi patenteada como rotoscopia em 1915, por Max Fleisher, sendo uma das primeiras ferramentas de análise de movimentos humanos (*motion capture*, ou *mocap*) que serviu como base para produzir desenho de animação a partir de vídeo real.

Habitados a analisarem movimentos com recurso à memória visual, os animadores passaram a desenhar por cima de fotografias que, associadas a movimentos de 15 fotogramas por segundo, geravam a ilusão de movimento.

Actualmente, os sistemas de *mocap* fazem exactamente o mesmo, mas com mais definição (informação). Existem sistemas ópticos, magnéticos, mecânicos, entre outros, mas pretendem todos solucionar o mesmo problema – reproduzir os movimentos de um “actor” de modo mais fiável possível. Podemos afirmar que já é possível reconhecermos os nossos movimentos num avatar qualquer, seja ele um robot, um monstro ou outra personagem qualquer. Em capturas feitas no movlab², a fiabilidade da aquisição dos dados é tão elevada, que os movimentos que nos são característicos, como por exemplo o modo de caminhar, são de tal modo fidedignamente traduzidos para uma personagem modelada numa aplicação 3D (Maya, 3ds max, XSI, entre outros) que o reflexo é imediato, apesar da representação ser um avatar com aspecto visual bem diferente.



Fig 1 e 2 – Imagem de captura de movimentos de capoeira e integração em personagens 3D (<http://movlab.ulusofona.pt>)

Os sistemas *mocap* são amplamente utilizados em laboratórios de análise do movimento humano para estudos biomecânicos³ para que, de modo científico, se possam identificar as forças físicas que actuam sobre os corpos, nas articulações, ossos ou tecidos. Em Portugal, o Laboratório de Marcha do Centro de Medicina e Reabilitação, em Alcoitão, monitoriza diversos casos clínicos a partir de um conjunto de tecnologias, onde se insere um sistema Vicon de *motion capture* baseado em 6 câmaras de infra vermelhos, 4 plataformas de forças AMTI. Este laboratório procura analisar a energia mecânica que é utilizada para a execução de um determinado movimento, ou seja, segundo os objectivos gerais, são definidos os âmbitos de acção do Laboratório de Marcha:

a) A "monitorização" dos progressos dos utentes é concretizada por medidas laboratoriais que fazem a descrição das variáveis exteriorizadas. Cada uma das variáveis exteriorizadas deve corresponder a um dos elementos biomecânicos básicos da marcha, tem a correspondente metodologia de recolha (métodos e instrumentação), tem o correspondente processo de integração de componentes e de comportamento temporal (análise). São exemplos das monitorizações efectuadas, o comprimento e a frequência da passada, o comportamento angular intersegmentar, a velocidade do centro de gravidade, os momentos angulares de segmentos anatómicos, a potência absorvida ou gerada em cada articulação, as forças reactivas do apoio, as energias rotacionais, a actividade electromiográfica de grupos musculares específicos. A "monitorização" contribui, paralelamente, para a acumulação de conhecimentos

biomecânicos específicos à análise da marcha e para a constituição de bases de dados de um utente, de uma população, de variáveis cinemáticas e dinâmicas e ainda, de casos específicos clinicamente caracterizados.

b) A "avaliação" como consequência lógica da alínea anterior tem duas naturezas complementares. Primeiro, uma avaliação técnica consequência imediata da análise biomecânica realizada. Segundo, a integração desta análise técnica no respectivo caso clínico e, conseqüentemente, na avaliação clínica específica. A "avaliação" contribui para a acumulação de conhecimentos de natureza integrada na área clínica.

Tal como os desenvolvimentos de tecnologias de análise Marey, ou do trabalho de Muybridge, os laboratórios equipados com aplicações *mocap* possibilitam o estudo e o desenvolvimento de aspectos específicos e novas metodologias através da modificação do tipo de informações que eram usadas (por exemplo, da observação visual como recorriam os animadores Ollie Johnston ou Frank Thomas) ou, do desenvolvimento de novas informações para avaliação (coordenadas específicas de articulações, potência articular, entre outros) (Abrantes, 2007). Assim sendo, estas "novas tecnologias", rapidamente foram associadas ao desporto, para perceber como os atletas reagem às adversidades ou rotinas dos seus desportos e, mais tarde, para as áreas de entretenimento, como os jogos de computador e o cinema.

No jogo "Tiger Woods PGA Tour 08, os movimentos do super atleta norte-americano Tiger Woods foram capturados de vários ângulos por diversas câmaras de filmar, para se reconstruir um modelo tridimensional do atleta através da triangulação dos pixels das diversas câmaras. Esta é uma técnica que ainda é baseada em princípios de rotoscopia mas, existe a preocupação de num futuro próximo, serem substituídos os *markers* do *mocap*, pelos pixels gerados pela imagem digital⁴. As técnicas de computação gráfica (computer vision) têm evoluído progressivamente nesta direcção, porém a reconstrução de modelos tridimensionais a partir de vídeo requerem algoritmos muito desenvolvidos para colmatar a pouca informação tridimensional que um conteúdo vídeo oferece.

Para simplificar este processo, usam-se sistemas ópticos de *motion capture*, para que os movimentos dos actores sejam digitalizados de modo mais fácil traduzindo-se em referências espaciais (coordenadas) e serem aplicadas a *softwares* de animação 3D. O actor Andy Serkis participou recentemente no desenvolvimento da personagem Bohan do jogo Heavenly Sword (Playstation, 2007). As expressões corporais e faciais

foram capturadas através de um sistema óptico de *mocap* devido ao resultado ser mais realista que a animação tradicional de faces (*morph animation*) por não estarmos dependentes da “magia” do animador, mas apenas da arte de um actor. Com o auxílio de processamento gráfico da Playstation 3, a qualidade das imagens e dos movimentos capturados por *mocap*, aproximam-se do realismo já existente nos filmes que abusam de efeitos especiais.

Segundo muitos membros da academia, o mesmo actor deveria ter sido premiado com nomeação para Óscar no seu papel de Sméagol no filme *Lord of the Rings*. De facto, Sméagol ganhou vida através das mais inovadoras técnicas de animação digital com recurso às técnicas de *mocap*, mas foram os movimentos graciosos de Serkis que deram consistência a este estranho *Gollum*. Desde a animação tradicional à animação por captura de movimentos, que o realismo da representação já nos habituou a elementos artificiais que vivem no grande ecrã. Ficamos totalmente absortos nas narrativas ao ponto de ansiosamente interagirmos com os filmes.

O realismo dos movimentos e expressões da personagem sméagol devem-se à representação de Serkis, do mesmo modo que o realismo de determinados avatares em jogos de computador, devem-se ao trabalho cooperativo de actores e animadores, porém é necessário também a predisposição da audiência para a sensação de presença numa narrativa (Ryan, 2001).

Estamos certos que na produção de jogos de computadores, a introdução das novas técnicas de captura de movimentos (*mocap*), da inteligência artificial ou da progressiva evolução da computação gráfica, serão responsáveis pelo elevado realismo que a simulação virá a ter no futuro onde, por determinados momentos, a fronteira entre real/artificial se irá fundir por completo.

A Curta “Future of Gaming” (Johnny Hardstaff, 2001), encomendada pela Playstation é desconcertante, pois a relação ciborgue é uma condição dos jogos de computador do futuro, onde a interface vai se aproximar progressivamente do nosso corpo. Veja-se como a Wii tem sido um sucesso comercial apesar de, aos olhos de muitos, onde me incluo, se esperava um falhanço comercial tipo o telemóvel/consola Ngage da Nokia. Felizmente estava enganado, a possibilidade de jogarmos numa última interface, o nosso próprio corpo, parece estar mais perto.

Parte II – Jogos como espelhos do mundo real

As aplicações para processamento em tempo real (*Game Engines*) estão desenvolvidas para calcular duas principais áreas: Animação e Processamento Gráfico.

Na primeira pretende ser simulada toda a animação das personagens e ambientes, ou seja, movimentos e sua reacção física. Em *softwares* de animação e modelação 3D preparam-se os objectos e executam-se animações complexas, tais como personagens a andar, objectos a deformar-se, entre outros. Porém, transformações (movimentos, rotações e escalas) devem ser programadas nos Game Engines para optimização do processamento. Quando pretendemos aumentar o realismo do movimento das personagens, usa-se frequentemente sistemas de *motion capture* ou *softwares* de algoritmos genéticos, tipo Endorphine da empresa Natural Motion. Quando queremos simular física, tal como um carro a colidir com um obstáculo, ou um objecto a cair graviticamente, recorre-se a aplicações de simulação de física tipo Havok Physics (Havok co.).

No que se refere ao processamento gráfico, o realismo é mais elevado se os “artistas das texturas” desenvolverem um trabalho exemplar. Como os objectos têm de ser processados em tempo real, recorrem-se a técnicas de mapeamento 3D (*Normal Bump*, *Light maps*, entre outras) para a texturização dos modelos 3D. Por outro lado, aproveitando o elevado desempenho dos processadores das placas gráficas (GPU, ou *Graphics processing unit*) em Direct X ou Open GL pode-se programar *shaders*, ou seja, dar informação de cor e luz aos pixels e vértices dos objectos 3D. Os *Vertex shaders* e os *Pixels shaders* (DirectX), ou *fragment shaders* (Open GL), ajudam a criar ambientes que espelham os materiais e superfícies do mundo real (Kerlow, 2004). Recomendamos especial atenção a aplicações como Ogre, Quest 3D ou Virtools que permitem associar conteúdos de *softwares* 3D (onde a distinção entre imagens reais e artificiais pode ser já impossível de definir), programar com física (cálculos gravíticos muito realistas) e associar blocos de programação em C++ que facultam incrementar a inteligência artificial destes sistemas complexos que são os jogos de computador.

Parte III – Inteligência Artificial

Com apenas 26 anos, o Sinclair ZX spectrum é hoje um *vintage* e volta a custar uma fortuna, agora nos leilões da e-bay. De facto, a Lei de Moore tem vindo a aplicar-se (Kurzweil, 1999) e os computadores de hoje são “bombas de processamento”. O velhinho Spectrum processava a 3.5 mhz, com recurso a 48kb de ram e resolução gráfica de 256x192 pixels. Qualquer coisa como uns impressionantes 49 mil pixels. A actual consola PS3 processa gráficos em HD (superior em 2 milhões de pixels) onde o olho humano deixa de conseguir distinguir todas as cores que são processadas⁵.

O processamento gráfico evoluiu de tal modo, que os jogos actuais processam em tempo real imagens com resultados idênticos ao que era lentamente renderizado por workstations Silicon Graphics da década de 90.

Hoje, os guiões dos jogos são mais completos, a interactividade é superior, a inteligência artificial continua a evoluir, os mapas são mais extensos e os dispositivos são progressivamente mais ergonómicos. A relação homem-máquina é então mais transparente e, por conseguinte, a sensação de presença é reforçada em pura imersão nos jogos de computador.

Em 1950, o teste de Alan Turing permitiu-nos vislumbrar como a inteligência artificial poderia iludir o utilizador da real interacção com uma máquina e, de facto, veio a confirmar-se. No MMORPG (*Massive Multiplayer Online Role-Playing Game*) World of warcraft (Blizzard, 2004) é fácil o jogador inexperiente ter dificuldades em distinguir os avatares das personagens existentes no mapa. O Second Life é propício aos diálogos entre pessoas e avatares artificiais, devido ao tipo de abordagens entre pessoas em *chats* ser de algum modo padronizado e, por conseguinte, permitir a prévia programação de um avatar que, através de inteligência artificial, consegue responder a uma maior diversidade de perguntas.

O recurso a AI é também utilizada em pós-produção para cinema, veja-se como foi criado o *software* Massive para a trilogia “senhor dos Anéis, com o intuito de evitar animações difíceis das multidões de soldados que combatem em grandes ambientes cinematográficos. Nos épicos antigos, como no Ben-h-ur (William Wyler, 1959), contratavam-se milhares de figurantes para fazer as cenas de combates. Hoje, modelam-se realisticamente personagens em 3D, captam-se movimentos em *Mocap* e integram-se em personagens (bots) dotadas de inteligência artificial, No Massive é possível criar agentes que lutam entre si, que reagem à diversidade dos ambientes

adaptando-se às transformações que o ambiente digital vai sofrendo, para que sozinhas consigam atingir os objectivos para os quais foram programadas.

O exemplo mais básico de inteligência artificial de um personagem 3D, será seguir um caminho ou deslocar-se para um determinado ponto.

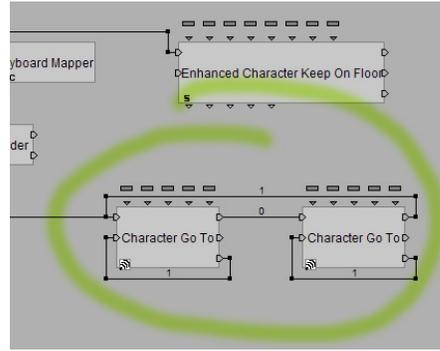
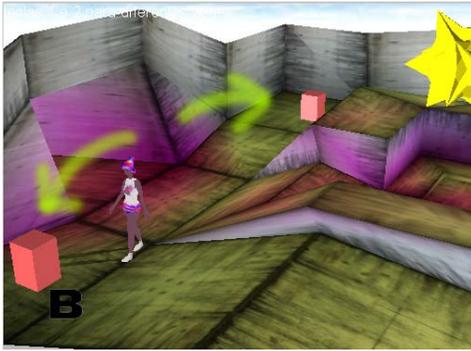


Fig 1 e 2 – Exemplo de programação em Virtools onde se encaminha ciclicamente um avatar de caixa em caixa.

Neste básico exemplo de programação em Virtools, se aparecer um obstáculo entre a orientação do avatar e o seu destino, ele bloqueia porque não consegue alcançar o seu objectivo, não está programado para reagir e procurar o caminho mais perto.

Os jogos estão muito mais “inteligentes” que esta programação simples. Os agentes não se limitam a habitar o espaço, eles estão programados para reagirem as nossas acções e interagirem connosco. Desse modo, no acto de jogar, as mensagens que enviamos aos parceiros de jogo, reais ou artificiais, são enviadas na mesma linguagem o que, em termos de percepção, pode ajudar a iludir quanto à verdadeira relação de interacção homem-máquina. Alan Turing já nos avisou há muito.

Quando no jogo Shadow Ops: Red Mercury (Atari, 2004) um avatar se orienta para a câmara e fala connosco, a sensação de desconforto é imediata, pois somos surpreendidos com uma reacção inesperadamente familiar. O avatar foi realisticamente modelado e texturizado, quando nos oferece ajuda para combater os adversários do jogo, sentimos a “Inquietante estranheza” de Freud⁶. Se, por um lado, sentimos desassossego no confronto da máquina que parece ganhar vida, por outro, facilmente nos encantamos por estes seres tão nossos semelhantes. O fascínio que os humanos têm por humanóides, tão bem retratado no filme Blade Runner (Ridley

Scott, 1982), foi registado no importante contributo, “The Uncanny valley”, de Masahiro Mori⁷. Fascinado como os humanos se sentem atraídos por máquinas que reproduzem realisticamente movimentos e expressões humanas, Mori definiu que não devem ser construídos robots de aspecto real se os seus movimentos não coincidirem com os movimentos naturais. Caso contrário seriam vistos “apenas” como monstros e a empatia dos humanos apenas se limitaria à atracção pela novidade.

Hoje em dia, facilmente nos seduzimos por monstros⁸. A Sony passeia pelo mundo fora o seu humanóide e atrai centenas para as suas demonstrações, provando que, tal como no passado as aberrações da natureza serviam como fonte de diversão, hoje estas criaturas são incrivelmente apaixonantes.

Os jogos de computador procuram explorar este potencial para gerar a experiência total de imersão em emoção extrema. Será possível chorar num jogo de computador?

A captura das expressões corporais, os bons cálculos de física e o recurso a AI, são fundamentais para o realismo do jogo e, por conseguinte, à experiência limite de imersão emocional.

Quando estamos tristes, não é apenas uma expressão facial que representa tal sensação. O corpo é uma interface que se exprime de forma completa, desse modo, o papel de um actor não se limita à sua expressão facial, mas à representação total através da sua postura. Os músculos recebem informação da espinal-medula e reagem energeticamente à sensação que o cérebro absorve ou tenta transmitir. Dependendo do ambiente envolvente, o corpo humano adapta-se física e emocionalmente. Não “funcionamos” sempre do mesmo modo, se caminhamos sobre um piso escorregadio os nossos passos são mais cuidadosos, vamos sensorialmente absorvendo o meio ambiente e reagimos naturalmente.

Os computadores funcionam por ciclos de programação e isso não é natural.

Se algum dia conseguirmos que a expressão facial de uma avatar artificial se mova como a nossa própria carne (já é possível), que essas expressões não funcionem em ciclos demasiado evidentes (já estamos quase a atingir) e se os seus diálogos e comportamentos se assemelhem ao nosso quotidiano (também andamos perto), os jogadores poderão sentir um nível de imersão muito mais sério.

Como já referimos anteriormente, o recurso a técnicas de *mocap* permite reproduzir realisticamente os movimentos de um actor, se conseguirmos que esses movimentos não sejam reproduzidos de uma forma visualmente automatizada, se

conseguirmos esconder a técnica da programação então a ligação será muito mais transparente. Este é o da interacção entre o homem e a máquina, ser tão fortes que se diluem no momento da ligação (Bolter & Grusin, 2001)

«Give us another year or 2 and we'll be able to completely get across that uncanny valley» (David Kunckler, 2007).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio dado a este trabalho pelos colegas José Maria Dinis e Vasco Bila na recolha dos dados que decorreram no Laboratório de Animação Digital e Biomecânica do Movimento Humano (movlab) em Lisboa. À Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto PTDC/CCI/74114/2006 (INFOMEDIA – Information Acquisition in New Media).

Referências bibliográficas

(Máximo 300 caracteres)

ABRANTES, João M.C.S. (2007, Junho), *Biomecânica Clínica e de Reabilitação – a Análise de Marcha como Meio Complementar de Diagnóstico*, comunicação ao «XII Congresso Brasileiro de Biomecânica», Org. Mauro Gonçalves, TEC ART, 1 CD-Rom

THOMAS, F. & JOHNSTON, O. (1981), "Illusion Of Life", Disney Editions,

GIL, José, *Monstros*, Quetzal, Lisboa, 1994

KERLOW, Isaac V. (2004), *The art of 3d computer Animation and Effects*, 3ª edição, John Wiley & Sons, New Jersey

- KUNCKLER, D. (2007), Obsidian Entertainment at BBC, <http://www.gamesdog.co.uk/news/news.phtml/6231/7255/uber-realistic-games-coming-soon.phtml>
- KURZWEIL, R. (1999), *The Age of Spiritual Machines: when computers exceed human intelligence*, Penguin Books,
- MIRANDA, J. Augusto Bragança de (2006) “A Razão do Desassossego” in Revista de estudos transitivos do contemporâneo, 1ª Edição, Dezembro, Edição 1 - dezembro 2006 • ISSN: 1809-8312
http://www.tranz.org.br/pdf/jose_braganca_razao_do_desassossego.pdf
- MORI, Masahiro (1982), *The Buddha in the Robot*, Charles E. Tuttle
- RYAN, Marie-Laure (2001), *Narrative as Virtual Reality*, John Hopkins, Baltimore, pp.93-98
- ROY A., Chowdhury, Chellappa R., Krishnamurthy S., Vo T. (2001), *3D Face reconstruction from vídeo using a generic model*,
http://www.cfar.umd.edu/~rama/amtirc_papers/icme02.pdf
- TURING, Alan, (1950), *Computing machinery and Intelligence*, in “The New Media Reader”, Org. Nick Montfort, MIT Press, Cambridge, 2003, pp.50-53

¹ Autores das 12 famosas regras da animação clássica da Disney. Ver Frank Thomas & Ollie Johnston, "Illusion Of Life", 1981 (pp.47-69)

² O movlab é o laboratório de animação digital e biomecânica do movimento humano da universidade lusófona, que está equipado com um sistema Vicon de motion capture, que permite capturar movimentos até 472 fotogramas por segundo, através de 8 câmaras Vicon 1,3 megapixels, e identificar as forças que exercemos sobre o chão através de uma plataforma AMTI. Ver <http://movlab.ulusofona.pt>.

³ A Biomecânica do Movimento Humano tem como objecto de estudo a produção da interacção mecânica com o meio e integrada no comportamento motor. Ver João Abrantes, Biomecânica Clínica e de Reabilitação, 2007

⁴ Ver <http://youtube.com/watch?v=nvmntlq5JVI>

⁵ O olho humano consegue distinguir imagens com profundidade de cor 8-bit já não distingue todas as cores em imagens 10-bit, sendo esta a razão de em pós-produção para cinema e vídeo ter sido decidido adoptar este tecto, já que as cores representadas em película (filme em formato analógico) aproximam-se dos 14-bits.

⁶ Freud baseou-se no estudo de 1906, "On the Psychology of the Uncanny", do psiquiatra alemão, Ernst Jentsch. Ver http://faculty-web.at.northwestern.edu/german/uncanny/uncanny_readings.html

⁷ Ver <http://www.androidscience.com/theuncannyvalley/proceedings2005/uncannyvalley.html>

⁸ Ver José Gil, *Monstros*, 1994. Ver também Ieda Tucherman, *Breve história do corpo e de seus monstros*, 2004