

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial -  
Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental

Relatório Interno

## **Análise de Soluções Comerciais para Seguimento e Análise da Marcha**

Daniela Sofia S. Sousa  
João Manuel R. S. Tavares

Trabalho realizado no âmbito do projecto:

**ACTIDEF - Avaliação Computacional e Tecnológica Integrada do Desempenho  
e Funcionalidade de Cidadãos com Incapacidades Músculo-esqueléticas**

**Parceria CRPG / FEUP / INEGI / INEB.  
Financiado pelo programa POS-Conhecimento.**



Janeiro 2006



## **Resumo**

Este relatório tem por objectivo principal a apresentação e a análise de diferentes soluções existentes no mercado para o diagnóstico e estudo clínico da marcha.

## **Abstract**

This report presents and discusses a list of some commercial motion capture systems for gait's clinical study.



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2. PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE BIOMECÂNICA DA MARCHA</b> .....	<b>7</b>
2.1 CAPTURA DO MOVIMENTO .....	8
2.2 SEGUIMENTO .....	8
2.2.1 <i>Inicialização</i> .....	9
2.3 RECONHECIMENTO DA POSE.....	10
2.4 ESTUDO CINEMÁTICO E CINÉTICO .....	10
<b>3. SOLUÇÕES COMERCIAIS</b> .....	<b>11</b>
3.1 LISTA DE EMPRESAS .....	11
3.2 SIMI .....	13
3.2.1 <i>Simi Motion</i> .....	13
3.3 VICON PEAK .....	14
3.3.1 <i>Peak Motus</i> .....	14
3.3.2 <i>Vicon MX</i> .....	15
3.4 C-MOTION .....	15
3.4.1 <i>Visual 3D</i> .....	16
3.5 QUALYSIS .....	16
3.5.1 <i>QTM</i> .....	17
3.6 NORTHERN DIGITAL .....	17
3.6.1 <i>Optotrak</i> .....	17
3.7 CHARWOOD DYNAMICS.....	18
3.7.1 <i>Coda</i> .....	18
3.8 ZEBRIS.....	19
3.9 POLHEMUS.....	19
3.9.1 <i>Liberty</i> .....	19
<b>4. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS SISTEMAS COMERCIAIS</b> .....	<b>20</b>
4.1 HARDWARE .....	21
4.2 SOFTWARE.....	21
4.3 ANÁLISES EFECTUADAS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	21
4.4 RESTRIÇÕES.....	22
4.5 PREÇO.....	22
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
5.1 RANKING DE SOLUÇÕES COMERCIAIS .....	29
5.2 OPORTUNIDADES .....	32
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>33</b>



## 1. Introdução

A análise do movimento tem sido um problema amplamente estudado devido às inúmeras áreas de aplicação: sistemas de diagnósticos e exames clínicos ([Mcinerney, 1996; Moeslund, 2002], etc.), sistemas de aquisição de modelos virtuais 3D de indivíduos e de movimentos ([Gleicher, 1999], etc.), sistemas de identificação de sujeitos e de comportamentos ([Cucchiara, 2000], etc.), sistemas de interacção homem-máquina ([Pavlovic, 1997]), etc.

As soluções comerciais para o diagnóstico e estudo clínico da marcha são o objecto principal de estudo deste relatório. Este tipo de sistemas permitem ao utilizador compreender e analisar a biomecânica do movimento do indivíduo em observação e detectar possíveis factores de melhoramento. Ou seja, pretendem-se obter as coordenadas 3D do movimento para efectuar uma análise cinemática - estudo do movimento do corpo sem referências às forças que originam o movimento [Bogart, 2000; Bronner, 2006], como posições, ângulos, velocidades e acelerações - e posteriormente obterem-se as forças, momentos e binários do mesmo movimento (cinética) [Bronner, 2006].

Neste documento é feita uma introdução teórica aos conceitos por detrás da captura (aquisição) do movimento de marcha e da sua análise clínica. Seguidamente, são apresentadas as soluções mais referenciadas no mercado para tal propósito. Posteriormente, é efectuado um levantamento das características de alguns sistemas comerciais. Finalmente, discutem-se as vantagens e desvantagens das diversas soluções comerciais consideradas, tecnologias usadas, etc., tendo em vista aplicações como a reabilitação do movimento e o desempenho atlético.

## 2. Procedimentos para a Análise Biomecânica da Marcha

A análise clínica da marcha consiste, em termos gerais, na captura do movimento, no seguimento de pontos-chave ao longo desse movimento e, por fim, no reconhecimento da pose para posterior estudo cinemático e cinético [Perales, 2000; Pinho, 2004].

Os pontos-chave são normalmente assinalados por dispositivos artificiais (marcas exteriores) colocados em zonas do corpo fortemente correlacionadas com a localização das extremidades dos segmentos humanos em análise.

## 2.1 Captura do Movimento

Existem várias maneiras possíveis para captar o movimento em estudo [Perales, 2000; Bronner, 2006; Welch, 2002; Lu, 2004; Pinho, 2004]. Assim, alguns sistemas usam câmaras como sensores da energia natural ou artificial reflectida por pontos-chave do movimento, outros campos electromagnéticos ou ultra-sónicos para seguir um grupo de sensores. Existem também sistemas mecânicos que usam potenciómetros para determinar a deslocação das diferentes articulações em estudo. É ainda possível usar as propriedades inércias de um sistema para a captura de ângulos e acelerações. Finalmente, existem sistemas baseados na combinação de diferentes tecnologias.

Os sistemas mais usados para a análise biomecânica da marcha baseiam-se na captura do movimento através de tecnologia óptica [Bogart, 2000; Lu, 2004; Perales, 2000; Figueroa, 2002; Bronner, 2006]. Estes sistemas ópticos podem ser divididos em duas categorias [Richards, 1999]: passivos e activos. Nos sistemas passivos mede-se a luz reflectida, normalmente luz ambiente ou infravermelhos (*IR*), por pontos-chave do movimento humano. Nos sistemas activos os pontos-chave contêm fontes de luz próprias. Exemplos de fontes de luz passiva são marcas coloridas, marcas reflectoras, superfícies do corpo humano. Exemplos de fontes activas são *LEDs - light-emitting diodes*, lasers, etc. Nos sistemas ópticos as diferentes câmaras usadas permitem obter as coordenadas 2D de cada ponto-chave considerado.

No restante documento, para facilitar a distinção entre sistemas ópticos passivos com luz ambiente e sistemas ópticos passivos com iluminação infravermelha, utiliza-se a designação de sistemas passivos vídeo e sistemas passivos *IR*.

## 2.2 Seguimento

O seguimento é o processo de obtenção de correspondências entre quadros de uma sequência de imagens do sujeito em análise. Dependendo da tecnologia usada, o seguimento pode ser um processo complexo, por exemplo, no caso dos sistemas ópticos passivos, ou pelo contrário pode ser apenas um processo de armazenamento das coordenadas 2D dos pontos-chave fornecidas automaticamente pelos diferentes sensores ao longo do tempo, por exemplo, no caso dos sistemas ópticos activos, magnéticos, etc.

Nos sistemas passivos de aquisição o seguimento envolvido pode ser um problema tão complexo que muitas vezes a intervenção humana é necessária, o que impossibilita o seguimento de forma totalmente automática. Por exemplo, no *Simi Motion* se houver a oclusão de um marcador durante mais de três quadros consecutivos o seguimento automático é



interrompido; além do mais, neste sistema é necessário por parte do utilizador indicar na primeira imagem da sequência todas as marcas a considerar no seguimento [Simi, 2006b].

Para facilitar o processo de seguimento recorre-se geralmente a modelos para o sujeito para estimar a posição inicial do mesmo, que vai sendo incrementada sucessivamente nos diferentes quadros da sequência temporal. Embora com este procedimento se perca a generalidade do algoritmo implementado, torna-se o mesmo mais robusto a oclusões, reaparecimento das marcas a seguir, etc., [Pinho 2004].

## 2.2.1 Inicialização

Para o sucesso do seguimento dos pontos-chave (por exemplo, marcas) do movimento é necessário assegurar a correcta interpretação do mesmo e a respectiva simplificação do processo de localização desses pontos [Pinho, 2004]. Assim, na fase de inicialização garante-se o cumprimento das restrições do problema, calibram-se e sincronizam-se os diferentes sensores de aquisição de dados. Algumas inicializações são feitas *off-line*, enquanto outras são efectuadas durante o próprio processo de análise da marcha de um determinado indivíduo [Moeslund, 2002].

Para reduzir a complexidade do problema de seguimento introduzem-se algumas restrições relativas ao movimento envolvido [Moeslund, 2002] (como por exemplo, limitação do movimento a uma dada área, seguimento de apenas uma pessoa em cada instante, movimento paralelo ao plano da câmara, inexistência de oclusões, movimentos lentos e contínuos, movimento de tipo conhecido, limitação no número de membros do indivíduo em movimento, o terreno em que o sujeito se move é plano, etc.), restrições no ambiente (tais como, iluminação constante, *background* estático e uniforme, etc.), restrições em relação ao sujeito (por exemplo, conhecimento da posição inicial, conhecimento dos parâmetros antropométricos, uso de marcas exteriores, uso de fatos especiais, etc.), etc.

O processo de calibração é fortemente dependente da tecnologia empregue na captura. Para sistemas passivos vídeo [Simi, 2006a; Vicon, 2006] é necessário gravar pelo menos uma imagem com um objecto de calibração (tipicamente um paralelepípedo), depois o utilizador terá de assinalar os diferentes pontos de calibração na imagem, indicando as respectivas coordenadas e conexões, e repetir este processo para as diferentes câmaras usadas no sistema de aquisição de imagem.

Para sistemas passivos *IR* usualmente move-se uma vara para melhorar a calibração interactivamente e ao mesmo tempo corrigir as distorções impostas pelas lentes das câmaras, enquanto um objecto de calibração é usado para definir as coordenadas do sistema [Qualysis, 2006; Vicon, 2006].

Em sistemas de captura de movimento baseados em outras tecnologias, por exemplo, magnéticos, óptico activos, a calibração é feita pelo próprio fabricante [CharnDyn, 2006; Qualysis, 2006; Ascension, 2006].

O processo de sincronização, dos diferentes sensores usados permite o sincronismo das medições respectivas, poderá necessitar da intervenção humana. Por exemplo, no *Simi Motion*, é necessário indicar ao sistema a primeira imagem do movimento a considerar para o sincronismo das diferentes câmaras de aquisição de imagem [Simi, 2006a].

### **2.3 Reconhecimento da Pose**

Esta etapa prende-se com a obtenção da postura 3D de um sujeito que pode ser usada, por exemplo, na análise do comportamento do mesmo [Pinho, 2004].

De um modo geral, o processo de reconstrução das coordenadas 3D consiste em armazenar um conjunto de vistas 2D do corpo humano em várias posições e segundo diversos pontos de vista. No caso dos sistemas ópticos, a partir das coordenadas 2D obtidas de duas ou mais câmaras calculam-se as coordenadas 3D por triangulação. Já no caso dos sistemas magnéticos, sensores são colocados nas articulações do sujeito medindo a posição 3D e a orientação das articulações em relação a uma dada referência.

### **2.4 Estudo cinemático e cinético**

A cinemática do sujeito é determinada através da transformação das coordenadas 3D das marcas consideradas na pose do modelo biomecânico usado. Para calcular a cinética recorre-se à dinâmica inversa [Robert, 2005]. Note-se que para tal é necessário considerar os parâmetros antropométricos do indivíduo, colocar as marcas exteriores no mesmo de acordo com um determinado protocolo e recolher dois tipos de informação 3D: medições com o sujeito estático e dados do movimento. Nem todas as tecnologias permitem fazer o estudo completo da biomecânica do indivíduo.

Existem diversos protocolos para a disposição das marcas exteriores no corpo do sujeito em análise [APAS, 2006]; por exemplo, o método de *Helen Hayes Hospital* (que usa 17 marcas), o de *Keith Vaughan Original* (que considera 15 marcas), etc. Para o cálculo biomecânico do movimento é necessário que os protocolos para colocação das marcas sejam suportados pelas ferramentas computacionais a usar.

Os resultados obtidos usuais são posições, ângulos, distâncias, velocidades lineares/angulares, acelerações lineares/angulares, momentos, forças e binários em coordenadas globais e anatómicas.

### 3. Soluções Comerciais

Nesta sessão listam-se as empresas referenciadas em artigos técnicos e entidades da área (institutos de investigação, empresas, clínicas, etc.) com soluções para a captura e análise biomecânica da marcha. Seguidamente, estudam-se alguns produtos representantes das tecnologias de captura mais comuns no mercado, com o objectivo de posteriormente avaliar as vantagens/desvantagens das respectivas soluções comerciais e das tecnologias usadas.

#### 3.1 Empresas

A Tabela 1, contém algumas das empresas com soluções para a análise da biomecânica do movimento humano. Na referida tabela, para cada empresa são apresentadas as áreas de actuação, a tecnologia usada na captura, indicação se existe representante em Portugal e as referências encontradas no decorrer do presente estudo em publicações e instituições públicas e privadas especializadas na área.

EMPRESA	TECNOLOGIA DE CAPTURA	APLICAÇÕES	REPRESENTANTE EM PORTUGAL	REFERÊNCIAS
<b>Vicon Peak</b>	Passivo vídeo, Passivo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	Sim;	[Lepetit, 2005], [BioYellowPages, 2006], [Prophysics, 2006], [Vaquita, 2006], [Motion Lab Systems, 2006], [Richards, 1999], [Marrc, 2006], [Bronner, 2006], [Mulder, 1994], [Figueroa, 2002], [Zanchi, 2000], [Welch, 2002];
<b>Ariel Dynamics</b>	Passivo vídeo;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006], [Richards, 1999], [Bronner, 2006], [Zanchi, 2000];
<b>Contemplas</b>	Passivo vídeo;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006], [Prophysics, 2006];
<b>Simi Motion</b>	Passivo vídeo;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	Sim;	[BioYellowPages, 2006];

**Tabela 1. Algumas empresas com soluções para o estudo biomecânico da marcha (continua).**

<b>Innovision Systems</b>	Passivo vídeo;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006];
<b>Biogesta</b>	Passivo vídeo, Passivo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006];
<b>Motion Analysis Corporation</b>	Passivo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[Motion Lab Systems, 2006], [InnovativeSportsTraining, 2006], [Richards, 1999], [Bronner, 2006], [BioYellowPages, 2006], [Welch, 2002];
<b>Bioengineering Technology Systems (BTS)</b>	Passivo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[Motion Lab Systems, 2006], [BioYellowPages, 2006], [Richards, 1999], [Bronner, 2006], [Mulder, 1994], [Figueroa, 2002], [Simsik, 2005];
<b>Qualysis</b>	Passivo IR, Activo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[Motion Lab Systems, 2006], [InnovisionSystems, 2006], [InnovativeSportsTraining, 2006], [Marrc, 2006], [BioYellowPages, 2006], [Richards, 1999], [Bronner, 2006], [Tau, 2004];
<b>Northern Digital</b>	Passivo IR, Activo IR, Magnético;	Medicina (imagem médica, etc.), desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[Richards, 1999], [Bronner, 2006], [BioYellowPages, 2006], [InnovativeSportsTraining, 2006], [Mulder, 1994], [Figueroa, 2002], [Zanchi, 2000];
<b>Charnwood Dynamics</b>	Activo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[Motion Lab Systems, 2006], [Richards, 1999], [Bronner, 2006], [BioYellowPages, 2006], [Mulder, 1994], [Welch, 2002], [Tau, 2004];
<b>Phoenix Technologies</b>	Activo IR;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006];
<b>C-Motion</b>	Solução apenas de análise e não de captura;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	*	[InnovisionSystems, 2006], [Qualysis, 2006], [Northern Digital, 2006];
<b>Darras Software Development</b>	Magnético;	Medicina, desporto, etc.;	*	[BioYellowPages, 2006];
<b>Ascension</b>	Magnético, Inércias, Activo IR, Sistemas híbridos;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	Sim;	[Bronner, 2006], [InnovativeSportsTraining, 2006], [Welch, 2002];
<b>Polhemus</b>	Magnético;	Medicina, desporto, entretenimento, indústria, etc.;	Sim;	[Bronner, 2006], [Welch, 2002];
<b>Zebris</b>	Ultrasons;	Medicina, desporto, etc.;	Sim;	[Prophysics, 2006], [BioYellowPages, 2006];

**Tabela 1. Algumas empresas com soluções para o estudo biomecânico da marcha (continuação).**

Para além das empresas com produtos próprios, existem outras baseadas em soluções comerciais existentes: *Vaquita*, *Prophysics*, *Innovision Systems*, *Innovative Sports Training*.

A *Innovision Systems* comercializa, por exemplo, soluções da *Qualysis* mas tem também produtos próprios para análise cinemática de dados 3D: *MaxMate* e *MaxTraq*. *Innovative Sports Training*, já para a análise da marcha apresenta o *MotionMonitor*.

Existem algumas empresas que não permitem uma análise completa do movimento humano, mas que também têm soluções nessa área: *Biometrics* (seguimento mecânico, baseado em góniómetros), *Motus Bioengineering* (seguimento inercial, baseado em giroscópios), etc.

## 3.2 Simi

A *Simi Reality Motion Systems* [Simi, 2006a; Simi, 2006b] é uma empresa especializada na oferta de *software* e de *hardware* para a análise de movimento humano, de animais e de objectos, apresentando soluções para áreas como a medicina, indústria, biomecânica, entretenimento, sociologia, psicologia, etc.

A tecnologia usada pela *Simi* é passiva com base em câmaras digitais (*DV*, câmaras de alta velocidade ou câmaras normais – a 25 Hz) ou analógicas. As câmaras obtêm a posição 2D das marcas através da luz reflectida pelas mesmas. Pode-se optar pela não utilização de marcas exteriores; no entanto, o processo de seguimento e de cálculo da dinâmica inversa tornam-se neste caso mais complexos. Para a análise da marcha são necessárias pelo menos duas câmaras, mas quanto maior for o número de câmaras usadas mais robusto se torna o seguimento.

O pacote de *software* desta empresa a analisar neste trabalho é o *Simi Motion*, uma vez que é o mais indicado para o diagnóstico e estudos clínicos da marcha.

### 3.2.1 Simi Motion

O *Simi Motion* [Simi, 2006a; Simi, 2006b; Sousa, 2006] é um *software* constituído por um conjunto de módulos, sendo a sua selecção dependente dos requisitos da aplicação em causa. Neste trabalho analisaremos apenas os módulos: *Simi Motion Basic*, *Capture DV*, *Data Analysis and Report*, *Data Force: Force Plate*, *Data Force: EMG*, *3D Kinematics*, *Inverse Dynamics* e *Insole Measurements*. No restante documento, entende-se por *Simi Motion* o pacote de *software* constituído pelos módulos referidos.

O *Simi Motion Basic* é o *software* de integração e suporte aos restantes módulos. O módulo *Capture DV* permite o tratamento da informação visual e o sincronismo entre as diferentes câmaras vídeo digitais usadas na aquisição de imagens, e o módulo *Data Analysis and Report* possibilita o tratamento dos dados recolhidos e a sua visualização sob a forma de gráficos, animações 2D/3D, relatórios, etc. Através do *Data Force: Force Plate* adquirem-se os dados de

plataformas de forças. O módulo *Data Force: EMG* permite a visualização e análise da actividade muscular (por electromiografia), o *Inverse Dynamics* permite estimar forças, momentos, binários internos, etc. Com o *Insole Measurements* analisam-se pressões e, finalmente, o *3D Kinematics* considera e trata informação visual de movimento 3D.

Note-se, que existem outros módulos que conferem mais funcionalidades ao sistema *Simi Motion*; nomeadamente, o *Capture High Speed Control* para a captura de imagens a partir de câmaras de alta velocidade.

### 3.3 Vicon Peak

A empresa *Vicon Peak* [Vicon, 2006] resultou da fusão da *Vicon Motion Systems* com a *Peak Performance*. É uma empresa que fornece soluções (*software/hardware*) com base em tecnologia passiva vídeo e passiva *IR* para análise de movimento. Os seus produtos são orientados para a análise clínica de diversos movimentos (humanos ou não), análise desportiva, indústria cinematográfica, realidade virtual, ambientes inteligentes, indústria, etc.

Os seus produtos dividem-se em dois grupos: o *Vicon MX* e o *Peak Motus*. O primeiro é um sistema passivo *IR* e o segundo um sistema passivo vídeo. Ambos podem ser aplicados à análise clínica da marcha.

O modo de operação do sistema passivo vídeo é semelhante ao descrito para o sistema da *Simi*. Já o sistema passivo *IR* consiste na iluminação das marcas com luz infravermelha, vermelha visível (*visible red*) e quase infravermelha (*near infrared*), depois as câmaras usadas (constituídas por sensores *CMOS*) captam a luz reflectida por estas.

#### 3.3.1 Peak Motus

O *software Peak Motus* [Vicon, 2006] é composto pelos módulos *Automatic Acquisition Module* e *KineCalc Module* e ainda podem ser adicionados os seguintes *plug-ins*: *Gait*, *PECS*, etc.

Para a análise cinemática e cinética da marcha é preciso em termos de *hardware* equipamento para sincronizar as câmaras usadas, o módulo *MX Control* para a ligação de outros sensores como plataformas de força, dispositivos de *EMG*, etc. e as respectivas câmaras de imagem. Em termos de *software* será necessário o *Peak Motus* com ambos os módulos e o *Plug-in Gait*.

O módulo *Automatic Acquisition* pode dividir-se em dois: o *Manual Acquisition Module* para o seguimento manual, e o *Automatic Acquisition Module* para o seguimento automático. Por seu lado, o módulo *KineCalc Module* permite a aplicação de algoritmos especificados pelo

utilizador, como o filtro *Butterworth*, etc. Já o *Plug-in Gait* permite a análise cinemática e cinética do movimento para membros superiores e inferiores.

Note-se, que as ferramentas do *Peak Motus* para a aplicação de algoritmos de processamento de imagem e de apresentação de dados obtidos são uma versão base de dois módulos extra: o *BodyBuilder* e o *Polygon*.

### 3.3.2 Vicon MX

Quanto ao *hardware* [Vicon, 2006] este sistema pode ser subdividido em câmaras *IR (infrared)*, o módulo *MX Net* (para o sincronismo e controlo das câmaras) e o módulo *MX Control*. Em termos de *software*, à semelhança do *Peak Motus*, apenas descrever-se-ão os módulos necessários à análise biomecânica do movimento: os módulos *Vicon Workstation* e *Vicon Polygon*.

O módulo *Vicon Workstation* é um pacote para aquisição e tratamento de dados, que contém as funcionalidades necessárias para calibrar, adquirir, verificar, editar e processar os dados analógicos e cinemáticos. Suporta a sincronização de imagens de vídeo, com os dados obtidos por plataformas de força, dispositivos de *EMG*, etc.

O referido módulo realiza automaticamente a reconstrução das coordenadas 3D a partir das coordenadas 2D. Também permite a visualização de distâncias, ângulos, velocidades, acelerações, dados da electromiografia, etc., sob a forma de gráficos. Com este módulo é ainda possível exportar a informação obtida para outras aplicações segundo diversos formatos.

Já o módulo *Polygon* é uma ferramenta multimédia para apresentação e visualização dos resultados obtidos, como gráficos 3D, animações humanas, vídeo, texto, etc. Este módulo contém ainda o *Plug-In Gait*, apresentando assim todas as suas funcionalidades.

## 3.4 C-Motion

A empresa *C-Motion* [CMotion, 2006] teve origem numa transferência de tecnologia de análise do movimento 3D do *Physical Disabilities Branch of the National Institutes of Health* para o mercado. Actualmente, o *Visual3D* é a solução comercial da *C-Motion* para reabilitação do movimento, neurologia, desempenho desportivo, veterinária, ambientes de realidade virtual, indústria, etc.

O *Visual 3D* é um pacote de *software* que gere, analisa e representa os parâmetros biomecânicos da marcha a partir dos dados 2D/3D obtidos pelos sistemas comerciais de captura óptica do

movimento, como o *Vicon*, o *Qualysis*, o *BTS*, etc. O *Visual 3D* não é um sistema para captura do movimento, mas aceita os dados da maioria dos fabricantes desta área.

### 3.4.1 *Visual 3D*

O *Visual 3D* [CMotion, 2006] é uma ferramenta computacional para análise de dados e não para a captura ou para a calibração e, muito menos, para o controlo dos diferentes sensores usados.

Para efectuar a análise dos dados biomecânicos são necessários pelo menos dois tipos de ficheiros: um referente à calibração estática e outro com os dados do movimento em estudo.

Para a análise da marcha, por cada segmento do corpo são necessárias 3 marcas para a determinação do seu movimento. No entanto, para segmentos com menos de 3 marcas o *Visual 3D* cria marcas virtuais, a posição destas marcas virtuais é visível ao utilizador. Este *software* suporta a análise cinética e cinemática de movimento humano, animal ou mecânico.

O *Visual3D* permite ao utilizador adicionar funcionalidades para além das existentes de origem, pois apresenta uma arquitectura aberta.

Os resultados são apresentados sob a forma de modelos esqueletizados, diagramas 2D e 3D, relatórios, imagens vídeo, etc. Os sinais de *EMG*, forças de reacção, pressões também pode ser visualizados. Os dados podem ser exportados para outras aplicações nos mais variados formatos.

### 3.5 *Qualysis*

A *Qualysis* [Qualysis, 2006] apresenta soluções ao nível de *hardware* e *software* para a captura e análise do movimento humano, animal, etc.

A solução para análise biomecânica da marcha [Qualysis, 2006] é um sistema passivo/activo de captura através de câmaras *IR ProReflex*, com uma interface, a *Qualysis Analogue Interface*, para ligar outro tipo de sensores, inclui um *software*, o *Qualysis Track Manager*, responsável pela captura dos dados 3D e sincronismo dos sensores e um outro para os cálculos da cinética e cinemática da marcha o *Visual 3D*.

Note-se, que o *Visual 3D* é desenvolvido pela *C-Motion*. Os sistemas de captura do movimento da *Qualysis* são vendidos juntamente com o *Visual 3D*.

O sistema *IR* passivo é formado por um conjunto de câmaras que emitem luz infravermelha a qual é reflectida por marcas apropriadas e adquirida pelas diversas câmaras *ProReflex* usadas. O sistema óptico activo consiste num conjunto de 4 *LEDs* (marcas activas), cuja activação é multiplexada no tempo e controlada por um dispositivo de controlo portátil. Cada unidade de



controlo tem 4 marcas activas ligadas a essa unidade. É possível considerar em simultâneo 8 unidades de controlo, o que equivale a considerar 32 marcas activas.

### 3.5.1 QTM

O sistema *Qualysis Track Manager* [Qualysis, 2006] permite o seguimento automático de marcas passivas e activas. Integra imagens vídeo e dados de outro tipo de sensores, como dispositivos de *EMG*, etc., sincronizados com as coordenadas 3D do movimento.

As posições (x,y,z) podem ser visualizadas por gráficos 2D/3D. Este sistema tem uma arquitectura aberta permitindo a adição de funcionalidades extra. É possível exportar os dados 3D obtidos usando ficheiros segundo os formatos *C3D*, *TSV*, etc.

O cálculo da cinemática e cinética, assim como, uma apresentação mais elaborada dos resultados obtidos, etc., é deixada a cargo do módulo *Visual 3D*.

## 3.6 Northern Digital

A empresa *Northern Digital (NDI)* [Ndigital, 2006] apresenta três produtos para captura e análise do movimento: o *Polaris*, o *Optotrak* e o *Aurora*. O *Polaris* é um sistema activo *IR* usualmente usado para guiar cirurgias através de imagem e também para movimentos de pequena amplitude, como o seguimento de mãos, da cabeça, etc. Já o *Aurora* é um sistema magnético, mas com as mesmas áreas de aplicação que o anterior. Uma particularidade do *Aurora* é não ser afectado com as interferências provocadas pelos metais dos dispositivos médicos (*medical-grade metals*). Para análise da marcha o produto *Optotrak Certus* é a solução mais indicada.

### 3.6.1 Optotrak

O *Optotrak* é um sistema óptico activo [Ndigital, 2006] capaz de obter as coordenadas 3D de *LEDs* de infravermelhos (*IREDS*) usados como fontes de energia. São necessário 3 *IREDS* para determinar a posição e orientação do objecto rígido em causa. É possível o controlo dos *LEDs* via *wireless*, opção extra através do *Tether less Kit*, ou usando cabos.

O pacote base *Optotrak* é formado pelo *Optotrak Certus Position Sensor* (sensor óptico constituído por 3 câmaras numa estrutura fixa), o *System Control Unit* (dispositivo para controlo do *hardware*), o *Markers Strobers* (dispositivo de activação dos *IREDS* que suporta até 24

*LEDs*), 30 marcas activas, e o sistema *First Principle* (software da *NDI* para aquisição, manipulação e apresentação dos resultados obtidos, conversão de ficheiros de dados, etc.).

O *Optotrak* é um sistema que permite o cálculo das coordenadas 3D, não tem por objectivo o cálculo da cinemática ou cinética do movimento. Para tal, a *NDI* aconselha a compra conjunta do *Optotrak* com o sistema da *C-Motion*, o *Visual 3D*.

Note-se que existe ainda um dispositivo de activação dos *IREDs* capaz de suportar 80 marcas activas, o *Axon Strober*, e também é possível usar diversos conjuntos de *Markers Strobers* em simultâneo.

Existe ainda o módulo *Application Programmer Interface* que permite o controlo e o acesso aos dados do sistema *Optotrak* e do *Optotrak Data Acquisition Unit* - dispositivo com 16 canais analógicos e 8 digitais, que permite ligar sistemas de *EMG*, plataformas de forças, etc.

Este sistema da *NDI* proporciona dois tipos de sensores ópticos: o *Certus Close Focus Measurement Volume* e o *Certus Far Focus Measurement Volume*, com o objectivo de abranger volumes de captura de diferentes dimensões.

### **3.7 Charwood Dynamics**

A empresa *Charwood Dynamics* [CharnDyn, 2006] apresenta a solução *Coda* para a aquisição e análise do movimento 3D, possíveis aplicações são a análise da marcha, avaliação da performance desportiva, ambientes de realidade virtual, etc.

#### **3.7.1 Coda**

O *Coda* [CharnDyn, 2006] é um sistema activo óptico para o seguimento e análise da marcha. A sua configuração base é constituída pelo *Coda Sensor Unit* (3 câmaras *IR* dispostas horizontalmente numa estrutura fixa), os *Coda Markers* (marcas activas: *LEDs*), a *Marker Drive Box* (dispositivo que controla a activação dos diferentes *LEDs* usados como marcas) e o *Active Hub* ou *MiniHub* (dispositivos para a ligação de sensores: dispositivos de *EMG*, *Coda Sensor Unit*, etc., e a alimentação dos sensores do sistema).

Note-se, que o aparelho de controlo das marcas é portátil, assim ao ser colocado no sujeito em análise não limita o movimento a uma dada área. Este sistema não sofre de oclusões ou limitações quanto à proximidade entre as diferentes marcas, porque a activação dos *LEDs* é multiplexada no tempo.

Em termos de software para a análise clínica do movimento é necessário o *Codamotion Software* e o *Gait Analysis Package*.

O *Codamotion Software* é a interface gráfica para o *hardware* de aquisição de dados, dá acesso às medições obtidas, permite filtragem dos dados, a aplicação de algoritmos de processamento de dados e representa os resultados através de gráficos, animações humanas virtuais e relatórios. Existe também um módulo mais sofisticado para a apresentação de relatórios, o *Report Generator*.

Já o *Gait Analysis Package* é o *software* que permite a análise biomecânica da marcha, considerando posições, velocidades, forças, momentos, etc.

### **3.8 Zebris**

A empresa *Zebris* [Zebris, 2006] fornece soluções de *software/hardware* para análise do movimento 3D; principalmente para satisfazer os requisitos de áreas da medicina (como a análise da postura da coluna, a análise da marcha, etc.) e da medicina dentária (tais como o movimento da mandíbula, etc.). O princípio usado para a aquisição é o tempo de transmissão dos sinais ultrasónicos desde as fontes de energia até aos sensores receptores, sendo determinadas por triangulação as coordenadas 3D do movimento.

A solução apresentada pela *Zebris* para a análise da marcha é composta em termos de *hardware* pelo sistema *CMS-HS*. Em termos de *software* é constituída pelo módulo *Gait Analysis* e pelo módulo *Win Gait*. Com esta solução é possível adquirir os sinais ultrasónicos, realizar a análise cinemática do ganho, analisar os dados de dispositivos *EMG* e de plataformas de forças, apresentar os resultados sob a forma de gráficos e relatórios, exportar a informação para outras aplicações, filtrar dados, etc.

### **3.9 Polhemus**

A empresa *Polhemus* [Polhemus, 2006] fornece soluções para a captura do movimento, 3D *scanners*, etc. Para a captura da marcha a *Polhemus* apresenta dois produtos: o *Liberty* (capta até 16 sensores à frequência de 240 Hz) e o *FasTrak* (capta até 4 sensores à frequência de 30 Hz).

Nestes sistemas, um conjunto de sensores são colocados nas articulações do sujeito, obtendo a posição 3D e a orientação das articulações em relação a uma antena transmissora que emite um sinal magnético. Para a análise clínica do movimento humano o *Liberty* é a melhor opção.

#### **3.9.1 Liberty**

O sistema *Liberty* [Polhemus, 2006] contém o *software* e o *hardware* para gerar e detectar os campos magnéticos, calcular a posição e orientação das fontes de energia. Os seus componentes são: sensores, transmissores e fonte de energia.

Existem vários tipos de transmissores e de sensores que são caracterizados principalmente pelo volume de captura e pela dimensão. Para a análise da marcha é conveniente usar como transmissores os *TX4* (até 2 m de alcance), como sensor tipicamente usa-se o *RX2*. É necessário ter um dispositivo para gerar o campo magnético e captar os valores lidos pelos sensores, o *System Electronics Unit (SEU)*. Este dispositivo é constituído por *software* e *hardware*. Note-se que os sensores e os transmissores estão ligados por cabo ao dispositivo *SEU*.

A *Polhemus* oferece também uma solução *wireless*, a solução *Liberty Latus*. Neste caso, os componentes são a unidade *SEU*, fontes electromagnéticas colocadas no indivíduo sem a utilização de cabos, e vários receptores ligados por cabos ao dispositivo *SEU* que detectam os sinais magnéticos emitidos pelas fontes usadas.

## 4. Características de alguns Sistemas Comerciais

Muitos parâmetros podem ser usados para caracterizar o estado de arte dos diferentes sistemas de análise da marcha actuais. Por exemplo, a dimensão do espaço de seguimento (2D ou 3D), a mobilidade dos sensores (estáticos ou móveis), a fonte energia, o tipo de sensores usados, a localização dos sensores, o tipo de movimento a observar (rígido, não rígido ou articulado), número de sujeitos a seguir, aplicações, etc.

Para a análise clínica da marcha existem algumas particularidades que já foram definidas. Assim, para uma maior precisão apenas interessa o estudo do movimento 3D, a análise é feita por cada sujeito, pretende-se a cinemática e cinética do movimento apresentadas sob a forma de gráficos, animações humanas, imagens vídeo. Seria desejável um sistema não invasivo (ausência de marcas exteriores ou utilização marcas de dimensões reduzidas, sistemas sem cabos, etc.), portátil, capaz de trabalhar em ambientes não controlados, sem necessidade de grande intervenção humana, etc., e obviamente com um custo aceitável.

Tendo em conta os referidos requisitos, a seguir listam-se as propriedades em termos de *hardware*, *software*, restrições, preço e análises efectuadas de algumas das principais soluções comerciais actuais do mercado. Os dados contidos nas diferentes tabelas foram obtidos com base na informação das páginas *web* respectivas, complementados com esclarecimentos adicionais fornecidos pelos departamentos comerciais dos representantes ou das próprias empresas. No caso de não se ter conseguido obter uma dada informação relativamente a um determinado produto, preencheu-se a célula em causa com um asterisco. No caso de alguns

*items* das colunas não se aplicarem, ou não existirem para um dado produto, preencheram-se as células devidas com um *underscore*.

## 4.1 Hardware

Independentemente da tecnologia usada, pode-se considerar que as diversas soluções para análise do movimento existentes são constituídas pela combinação de uma ou mais fontes de energias, com um ou mais sensores que respectivamente reflectem e absorvem energia [R Gonzalez, 2003; Pinho, 2004].

Assim sendo, as características do *hardware* das diferentes soluções comerciais podem ser subdivididas segundo as fontes de energia e os sensores usados.

Para as fontes de energia identificam-se o número mínimo e máximo de fontes (indica a possibilidade de estender o sistema), o tipo de fontes (identifica a tecnologia usada), e a dimensão. Relativamente aos sensores, lista-se o número mínimo e máximo de sensores, a sua mobilidade, a frequência de captura e o tipo. Na coluna de dispositivos extra, listam-se os dispositivos que se podem ligar ao sistema (como dispositivos *EMG*, plataformas de força, etc.) ou as interfaces que permitem a respectiva ligação, ver tabela 4.

Note-se, que na coluna *Nº Min/Nº Max* de *Fontes de Energia* colocou-se como número mínimo a quantidade de marcas (ou fontes de energia) necessárias ao cálculo da dinâmica inversa. A linha com os dados do *Liberty* é uma excepção a esta regra, pois neste caso os dispositivos colocados em pontos-chave do corpo são os sensores e não as fontes de energia.

## 4.2 Software

Na tabela 5, apresentam-se algumas características das diferentes soluções ao nível do *software*. Tenciona-se evidenciar a automatização e o funcionamento do processo de seguimento, a automatização e o modo de operação da calibração e o sincronismo dos sensores. A capacidade de adicionar mais funcionalidades ao *software* existente (isto é, apresentar uma arquitectura aberta) e a efectividade temporal em mostrar os resultados são também aspectos considerados.

## 4.3 Análises Efectuadas e Apresentação dos Resultados

A tabela 6, lista o tipo de análise efectuada pelos diversos produtos analisados (dispositivos de electromiografia, pressões, consideração da cinemática e cinética do corpo inteiro ou de metade

do corpo), e o modo como as análises e as medições realizadas são apresentadas ao utilizador (usando gráficos, animações humanas, relatórios, imagens vídeo ou outros meios).

#### 4.4 Restrições

As restrições tratadas nesta secção dizem respeito a condicionalismos tecnológicos na performance dos diferentes produtos, como ambientais e zona de captura. Restrições ambientais compreendem as limitações ao nível de interferências magnéticas, temperatura, iluminação, etc. A zona de cobertura é o espaço no qual deve ser efectuado o movimento para poder ser captado adequadamente pelos diferentes sensores.

PRODUTO	RESTRICÇÕES	
	AMBIENTAIS	ZONA DE COBERTURA
SIMI MOTION	*	Para uma maior precisão o movimento deve ser realizado no interior da zona calibrada;
PEAK MOTUS	As paredes do laboratório não devem reflectir a luz e deve ser garantida uma boa iluminação ( <i>floodlights</i> ou <i>ring lights</i> ) dos marcadores; O seguimento manual não tem restrições ambientais;	*
VICON MX	Iluminação dos marcadores; Marcas reflectoras não funcionam adequadamente em ambientes exteriores;	*
VISUAL 3D	–	–
QTM	No caso de marcas passivas, iluminação dos marcadores; As marcas activas são mais próprias para ambientes não controlados, não são tão afectadas pelo efeito da luz (reflexões, etc.), etc.;	0.2 a 70 m; Vista Horizontal: 10° a 45°;
OPTOTRAK	Necessário haver linha de visão ( <i>line-of-sight</i> ) entre sensores e marcas; Como para qualquer sistema óptico, a sua performance pode ser afectada se houver outras fontes de IR, se a luz do sol incidir directamente sob as marcas ou sob as câmaras. De qualquer maneira, marcas activas tornam o sistema mais robusto a este tipo de problemas;	2.7 m <sup>3</sup> ou 20 m <sup>3</sup> ; Vista Horizontal: +/- 80°; Para uma distância do sensor de 2.25m a precisão é de 0.1mm RMS (x,y) e 0.15 mm RMS para z;
CODA	O sistema pode ser usado no exterior ou no interior. No exterior é conveniente não fazer medições directamente sob o sol. No interior existe um tipo de lâmpadas que emitem luz fluorescente a 50 Hz que interferem na performance do sistema;	Para 5 m tem um ruído de 0.05 mm; Vista Horizontal: 80°;
ZEBRIS	<i>CMS-HS</i> não deve ser usado em salas com superfícies suaves ( <i>smoothed surfaces</i> ), salas com correntes de ar também não são recomendadas;	2.5 m e pode ir até 4 m no caso de uso de uma unidade especial para suporte dos sensores;
LIBERTY	Objectos metálicos (secretárias, etc.) próximos do transmissor ou do receptor podem afectar a performance; Para prevenir distorções provocadas por objectos metálicos é conveniente que estes estejam 3 vezes mais distantes do que a distância entre o sensor e a fonte de energia;	Para uma precisão de ~ 0.7 mm RMS (x,y,z) e ~ 3.8° RMS: ~ 2 m para uma fonte TX2; ~ 4.5 m para uma fonte <i>Long Range</i> ; Cobertura angular: A toda a altura;

Tabela 2. Restrições ambientais e restrições a nível da área de captura.

#### 4.5 Preço

Comparar o custo de diferentes produtos é sempre uma tarefa delicada e, por vezes, pouco fidedigna, uma vez que o mesmo varia com as funcionalidades requeridas, com o suporte pós-

venda existente, etc. Para tentar fazer uma comparação mais precisa dos diferentes produtos, foram listados os módulos *software/hardware* compreendidos no preço indicado.

PRODUTO	PREÇO	
	HARDWARE e SOFTWARE	
SIMI MOTION	<i>Simi Motion Basic + Capture DV + Data Analysis and Report + Data Force: Force Plate + Data Force: EMG + 3D Kinematics + Inverse Dynamics e Insole Measurements</i> = ~ 35000€ 3 DV câmaras + <i>Simi I/O Box</i> = ~ 3200€	~ 38200€
PEAK MOTUS	<i>Peak Motus (Automatic Acquisition Module + KineCalc Module) + Plug-In Gait</i> + Software de Aquisição Analógica = ~ 28000€ 3 DV câmaras + 3 tripés + <i>MXControl</i> = ~ 5000€	~ 33000€
VICON MX	4 MX3 câmaras + <i>MXNet + MXControl + Vicon Workstation + Vicon Polygon</i> (~ 13000€)	~ 46513€
VISUAL 3D	<i>Visual 3D</i>	~ 8400€
QTM	<i>Qualysis Track Manager + 4 ProReflex câmaras + Qualysis Analogue Interface + Visual 3D;</i>	~ 40000€
OPTOTRAK	<i>Optotrak Certus Position Sensor + s-type System Control Unit + Marker Strobers + 30 marcas activas + NDI Software First Principle</i>	~ 52000€
CODA	<i>Coda Motion Sensor Unit + Active Hub + Marker Drive Box + Active Markers Coda Motion Software + Gait Software + Report Generator</i>	~ 67500€
ZEBRIS	<i>CMS-HS</i> (1 antena, marcas ultra-sónicas, unidade de controlo do hardware) + <i>Gait Analysis + Win Gait</i>	*
LIBERTY	<i>SEU + 8 sensores RX2 + TX2</i>	*

**Tabela 3. Preço dos módulos e dos dispositivos necessários a análise biomecânica da marcha de cada sistema analisado.**

## 5. Discussão

A avaliação e escolha dos sistemas comerciais e das tecnologias para a captura e a análise do movimento devem ter em conta a aplicação a que se destinam. Por exemplo, para o estudo de como tubarões em cativeiro reagem ao estímulo da introdução de comida num tanque, apenas é necessária a análise num só plano (2D) e não é possível a colocação de marcas. Assim sendo, uma solução vídeo passiva com apenas uma câmara, por exemplo a Solução *Peak Motus*, poderia satisfazer as necessidades da respectiva aplicação.

No caso da análise biomecânica da marcha, é necessária uma elevada precisão e robustez na captura e análise do movimento 3D. Como se pretendem os dados cinemáticos e cinéticos, em caso utilização de marcas externas, é necessário que o sistema capte o número mínimo de marcas exigidas ao cálculo da dinâmica inversa, é necessário considerar ligações para outros sensores analógicos, como plataformas de forças, dispositivos de *EMG*, etc. Por último, o sistema tem de lidar com problemas de oclusão e a frequência de captura tem de ser adequada para a análise da marcha.

Algumas outras propriedades desejáveis, mas não obrigatórias são: a não necessidade de utilização de marcas exteriores ao sujeito, interação humana diminuta, facilidade em montar o protocolo necessário para a aquisição do movimento (isto é, o posicionamento das marcas), preço reduzido, portabilidade, reduzida latência.

O ranking das soluções comerciais, e a avaliação das diferentes tecnologias, é efectuado neste relatório tendo em conta as propriedades necessárias e desejáveis a sistemas para análise clínica da marcha.



PRODUTO	HARDWARE							OUTROS DISPOSITIVOS
	SENSORES			FONTE DE ENERGIA				
	NºMIN/ NºMAX	MOBILIDADE	FREQUENCIA DE CAPTURA À MÁXIMA RESOLUÇÃO	TIPO	NºMIN /NºMAX	TIPO	DIMENSÃO	
SIMI MOTION	2/50	Estática;	~ 60 Hz / ~ 720x480 pixels; <sup>1</sup> ~ 100 Hz / ~ 656x492 pixels <sup>2</sup> ;	DV (Digital Video), Câmaras vídeo de Alta Velocidade (High Speed Camera);	~ 22/*	Vídeo Passiva (c/ e sem marcas);	Tipicamente ~ 15 <sup>3</sup> mm (diâmetro) para marcha;	É possível ligar outros dispositivos através de interfaces: FireWire (IEEE1394), USB, PCI, BNC;
PEAK MOTUS	2-4/*	Estática;	~ 60 Hz / ~ 720x480 pixels; ~ 100 Hz / ~ 656x492 pixels;	DV, Câmaras de Alta Velocidade;	~ 16/*	Vídeo Passiva (c/ e sem marcas <sup>3</sup> );	Tipicamente ~ 20 mm (diâmetro) para marcha;	É possível ligar outros dispositivos através de interfaces: Ref Out, Plate In, Ref Loop, Lic In, Lic Out, Net Connect, RS422, RS232, GPIO, REMOTÉ, FireWire (IEEE1394), etc.;
VICON MX	3-4/200	Estática;	~ 166 Hz / ~ 2352x1728 pixels <sup>5</sup> ; ~ 484 Hz / ~ 1280x1024 pixels <sup>6</sup> ;	Câmaras IR; Câmaras IR de alta velocidade;	~ 16/*	Passiva IR (marcas reflectoras);	Tipicamente ~ 14 mm (diâmetro) para marcha; Para outros movimentos pode descer até ~ 1mm;	É possível ligar outros dispositivos através de interfaces: Ref Out, Plate In, Ref Loop, Lic In, Lic Out, Net Connect, RS422, RS232, GPIO, REMOTÉ, FireWire (IEEE1394), etc.;
VISUAL 3D	-	-	-	-	-	-	-	Compatível com a maioria dos fabricantes de sistemas de captura ópticos, EMG, plataformas de força, etc.;
QTM	4/32	Estática;	~ 166 Hz / ~ 2352x1728 pixels; ~ 484 Hz / ~ 1280x1024 pixels;	Câmaras IR; Câmaras IR de alta velocidade;	MaxPassiva: ~ 150 MaxLEDs: ~ 250	Passiva IR (marcas reflectoras) + Activa IRs <sup>7</sup>	~ 19 mm (diâmetro) - marcas reflectoras;	BNC, PCI, USB, etc. Qualysis Analogue Interface permite ligar EMGs, plataformas de forças, etc.;

Tabela 4. Propriedades dos sensores e fontes de energia, análise da compatibilidade de outro tipo de hardware (continua).

- Exemplo dos valores encontrados para a frequência de captura e para a resolução em câmaras DV [SimiManual 2006].
- Exemplo (Baster 602f) dos valores encontrados para a frequência de captura e para a resolução em câmaras DV [SimiManual 2006].
- O software precisa de pelo menos 4x4 pixels juntos para reconhecer a marca em causa.
- As marcas podem ter superfície reflectora ou coloridas.
- Exemplo (MX40) dos valores encontrados para a frequência de captura e para a resolução em câmaras IR comercializadas pela Vicon [ViconWeb 2006].
- Exemplo (MX13) dos valores encontrados para a frequência de captura e para a resolução em câmaras IR de alta velocidade comercializadas pela Vicon [ViconWeb 2006].
- Cada kit de marcas activas é constituído por uma unidade de controlo recarregável e por 4 marcas activas (LEDs) ligadas a essa unidade. É possível considerar em simultâneo 8 unidades de controlo, o que equivale a 32 marcas activas.

OPTOTRAK	<sup>8</sup> 1/8	Estática;	$\sim \frac{4600}{n^{\circ} \text{marcas}} \text{ Hz}$	3 Câmaras IR montadas numa estrutura fixa;	$\sim 3^9 /$ MaxIREDS: 512	Activa IR <sup>10</sup> + Activa IR wireless	*	PCI, Ethernet, etc. Optotrak Data Acquisition Unit (ODAU) tem 16 canais analógicos e 8 digitais, permite ligar dispositivos de EMG, plataformas de forças, etc.; FireWire, RS422, RS232, etc. Compatível com a maioria dos fabricantes de sistemas de captura ópticos, EMG, plataformas de força, etc.; É possível ligar plataformas de força e dispositivos de EMG;
CODA	1/6	Estática;	A ~ 200 Hz para 28 marcas; A ~ 100 Hz para 56 marcas, etc;	3 Câmaras IR montadas numa estrutura fixa;	MaxLEDs: 56	Activa IR <sup>11</sup>	~ 3x3x3 mm (comprimento x largura x altura);	FireWire, RS422, RS232, etc. Compatível com a maioria dos fabricantes de sistemas de captura ópticos, EMG, plataformas de força, etc.; É possível ligar plataformas de força e dispositivos de EMG;
ZEBRIS	1/2	Estática;	80 Hz a 100 Hz por marca;	1 antena de ultrasons;	MaxMicros: 24	Ultrasons <sup>12</sup>	~ 7x6 mm (diâmetro x altura);	É possível ligar plataformas de força e dispositivos de EMG;
LIBERTY	8/16 <sup>13</sup>	Estáticos relativamente ao sujeito;	240 Hz para 16 sensores;	Conjunto de sensores magnéticos (electromagnetic coils enclosed in a molded plastic shell); Para RX2: ~ 2.2x2.7x1.5 cm (comprimento x largura x altura);	1 transmissor; (n/ modular)	Magnética + Magnética wireless	~ 5x5x5 cm (comprimento x largura x altura);	RS-232, RS-442, USB;

Tabela 4. Propriedades dos sensores e fontes de energia, análise da compatibilidade de outro tipo de hardware (continuação).

<sup>8</sup> Este número refere-se ao número de estruturas fixas, cada estrutura fixa tem um determinado número de câmaras. Também se aplica ao Coda.

<sup>9</sup> São precisos no mínimo 3 IREDS para determinar a posição e orientação de um corpo rígido.

<sup>10</sup> Cada kit de marcas activas é formado por Marker Strobers (hub para activação das marcas, permite até 24 marcas activas) e por um conjunto de 30 marcas activas. É possível colocar diversos Marker Strobers em simultâneo, além do mais existem hubs que permitem um maior número de marcas. Note-se, existe a opção para controlo wireless das marcas: Tether less kit.

<sup>11</sup> Cada kit de marcas activas é formado por Coda Markers (LEDs) e Marker Drive Box (dispositivo que controla a activação dos diferentes LEDs, até 4 marcas). É possível ligar diversas Marker Drive Boxes em simultâneo, até ao máximo de 8.

<sup>12</sup> O kit de marcas ultra-sónicas é composto pelos microfones de ultra-sónicos e por um cabo de 1,25 m que liga as marcas ao sistema CMS-HS.

<sup>13</sup> O kit de marcas magnéticas é composto pelo sensor (ex. RX2) ligado por cabo ao SEU. Note-se, que é possível usar marcas wireless, no entanto possuem dimensões superiores ao, ex. RX2, 7.4x3.96x2.16 cm (comprimento x largura x altura).

PRODUTO	SOFTWARE							RESULTADOS EM TEMPO REAL
	ABERTO	SINCRONISMO DOS SENSORES	CALIBRAÇÃO	INICIALIZAÇÃO DOS ALGORITMOS	SEGUIMENTO			
					AUTOMÁTICO	MANUAL		
SIMI MOTION	Não;	Sim; Para as câmaras digitais indicar a 1ª imagem;	Objecto de calibração (mínimo 8); Indicar na imagem as coordenadas (x,y,z) dos pontos do sistema de calibração e interligá-los; Existem algoritmos para verificar a efectividade da calibração;	Para o seguimento: Na 1ª imagem assinalar todos os pontos a registar;	Com marcas, tolera até 3 oclusões; Na 1ª imagem assinalar todos os pontos a registar;	Com marcas ou sem marcas <sup>14</sup> (o utilizador tem de em cada quadro confirmar a exactidão dos diferentes pontos capturados);	Precisa de pós-processamento;	
PEAK MOTUS	Não <sup>15</sup> ;	Sim;	Objecto de calibração; Indicar na imagem as coordenadas (x,y,z) dos pontos do sistema de calibração e interligá-los;	Para o seguimento: Na 1ª imagem assinalar todos os pontos a registar;	Tolera oclusões <sup>16</sup> ; Na 1ª imagem assinalar todos os pontos a registar;	Com marcas ou sem marcas (o utilizador tem de em cada quadro confirmar a exactidão dos diferentes pontos capturados);	Precisa de pós-processamento;	
VICON MX	Não;	Sim;	Objecto de calibração e vara ( <i>wand</i> ).	-	Com marcas;	-	Coordenadas 3D em Tempo Real;	
VISUAL 3D	Sim;	É esperado que os sinais estejam sincronizados, tarefa do sistema de captura;	-	-	-	-	-	
QTM	Sim;	Sim;	Objecto de calibração e vara (110 mm para volume < 0.25 m <sup>3</sup> , 300 mm para 2 m <sup>3</sup> > volume > 0.25 m <sup>3</sup> , 1500 mm volume > 6 m <sup>3</sup> , etc.); Sistema pré-calibrado;	-	Com marcas activas e passivas;	-	Coordenadas 3D em Tempo Real;	
OPTOTRAK	Sim;	Sim;	Sistema pré-calibrado;	-	Com marcas activas;	-	Coordenadas 3D em Tempo Real;	
CODA	Sim;	Sim;	Sistema pré-calibrado;	-	Com marcas activas; As diferentes marcas são activadas à vez.	-	Coordenadas 3D em Tempo Real (~ 1 mm - 5 ms);	
ZEBRIS	*	Sim;	Sistema pré-calibrado;	-	Com marcas;	-	*	
LIBERTY	Sim;	-	Sistema pré-calibrado;	-	Com marcas;	-	Coordenadas 3D em Tempo Real (~ 3.5 ms);	

Tabela 5. Propriedades dos pacotes de *software* a nível de algoritmos e procedimentos.

<sup>14</sup> Para calcular a dinâmica inversa é necessário indicar ao algoritmo para cada quadro os pontos-chave, assim sendo é preferível utilizar marcas para uma maior precisão. Isto também se aplica ao *Peak Motus*.

<sup>15</sup> Tanto no *Peak Motus* como no *Vicon MX* existe a possibilidade de adicionar *plug-ins*, mas para isso será necessário negociar com a *Vicon Peak*.

<sup>16</sup> A marca é assinalada como não identificada e as medições correspondentes a essa marca serão preenchidas por filtros ou pelos dados obtidos através de outras câmaras.

PRODUTO	ANÁLISES EFECTUADAS						APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS					
	PRESSÃO	EMG	CINEMÁTICA 3D	DINÂMICA INVERSA	TRATAMENTO DOS DADOS	CORPO INTEIRO	GRÁFICOS	FORMAS HUMANAS SIMULADAS	RELATÓRIOS	IMAGENS VIDEO	EXPORTAR DADOS	
SIMI MOTION	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	
PEAK MOTUS	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	
VICON MX	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	
VISUAL 3D	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim <sup>17</sup> ;	Sim;	Sim;	
QTM	–	–	–	–	–	Sim <sup>19</sup> ;	Sim;	–	–	Sim;	Sim;	
OPTOTRAK	–	–	–	–	–	Sim;	Sim;	–	–	Sim;	Sim;	
CODA	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim <sup>20</sup> ;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	Sim;	
ZEBRIS	Sim;	Sim;	Sim;	–	–	Sim <sup>21</sup> ;	Sim;	Sim (animações pouco elaboradas);	Sim;	*	Sim;	
LIBERTY	–	–	–	–	–	Sim;	Sim;	–	–	–	Sim;	

Tabela 6. Ferramentas de análise e apresentação de resultados disponibilizadas pelas diferentes soluções comerciais.

<sup>17</sup> Mostra imagens vídeo se estas forem adquiridas pelo sistema de captura, mas não edita as mesmas.

<sup>18</sup> O QTM apenas mostra as coordenadas 3D das marcas seguidas, não mostra gráficos com dados de pressão ou de EMGs, mas permite receber informação destes sistemas e sincronizá-los. O mesmo se aplica ao *Optotrak*.

<sup>19</sup> Para captar o movimento de metade do corpo são precisas 4 câmaras, já para o corpo inteiro são precisas 8.

<sup>20</sup> Para análise bilateral da marcha (corpo inteiro) são necessários dois módulos *Coda Motion CX1*.

<sup>21</sup> Para captar o movimento bilateral do corpo são necessárias duas antenas.

Note-se que esta avaliação terá como base a informação comercial fornecida pelas respectivas empresas e, em caso de resultados inconclusivos, será apoiada por alguns estudos existentes na área. Este relatório termina com a identificação de possíveis oportunidades no sector a nível tecnológico e a nível de soluções comerciais disponíveis no mercado.

## **5.1 Ranking de Soluções Comerciais**

Todos os produtos indicados na secção 3 deste relatório captam dados 3D, à excepção do *Visual 3D* que não é um sistema de captura, Tabela 1.

Não é possível analisar a precisão recorrendo aos dados indicados na secção 3. Mas segundo [Richards, 1999; Welch, 2002; Perales, 2000] os sistemas ópticos são sistemas precisos; e segundo [Bogart, 2000] os sistemas ópticos activos são mais precisos do que os ópticos passivos. Quanto aos sistemas magnéticos e acústicos não é possível apresentar conclusões.

A robustez indica a resistência à degradação da performance com a luz, sons, temperatura, humidade, interferências magnéticas, volume adquirido, etc. A nível das restrições ambientais, todas as soluções indicadas na secção 3 apresentam restrições ao seu funcionamento; no entanto, as soluções ópticas activas talvez sejam as menos afectadas, seguidas das vídeo passivas, passivas *IR*, por fim, as magnéticas e as ultra-sónicas. Em [Welch, 2002; Perales, 2000; Lu, 2004] pode-se confirmar a maior tendência a interferências ambientais por parte dos sistemas magnéticos (interferências magnéticas) e ultra-sónicos (temperatura, humidade, correntes de ar).

A nível do volume de aquisição, as vídeo passivas são as mais robustas, seguidas das ópticas activas, passivas *IR* (devido à necessidade de iluminação das marcas). A ultra-sónica e magnética apresentam volumes de aquisição semelhantes e mais pequenos do que as soluções ópticas. Note-se, porém que todas cobrem um volume suficiente à análise da marcha. Também em [Perales, 2000] e [Lu, 2004] é referido o menor volume de aquisição das soluções magnéticas relativamente às ópticas.

Apenas obtêm a cinética do movimento os sistemas *Simi Motion*, *Peak Motus*, *Vicon MX*, *Visual3D* e *Coda*. Os dados cinemáticos são obtidos pelos mesmos e também pelo sistema *Zebris*.

De acordo com o protocolo *Keith Vaughan Original* o cálculo da dinâmica inversa pode ser realizado recorrendo a 15 marcas, todos os produtos analisados na secção 3 permitem captar um número superior de marcas. O *Liberty* da *Polhemus* apenas permite 16 marcas e estas têm dimensão ~ 2.2x2.7x1.5 cm (comprimento x largura x altura), o que não constituirá a solução mais adequada para a captura das marcas em aplicações de análise de marcha.

À excepção do sistema *Liberty*, todas as soluções da secção 3 permitem ligar sensores analógicos. No caso do *Liberty*, a funcionalidade de sincronismo e a ligação a outros sensores teria de ser conseguida por um outro dispositivo.

As tecnologias ópticas (usada nos sistemas *Simi Motion*, *Peak Motus*, *Vicon MX*, *QTM passiva*, *QTM*, *Optotrak* e *Coda*) sofrem problemas de oclusões. Todos estes sistemas têm formas de contornar o referido problema. Por exemplo, para o *Simi Motion* em caso de 3 oclusões seguidas é necessária a intervenção humana, já no sistema *Peak Motus* a marca é assinalada como não identificada e as medições correspondentes a essa marca são interpoladas. Nos sistemas acústicos é conveniente existir uma linha de visão entre os sensores e a fonte de energia [Welch, 2002]. No entanto, estes são mais tolerantes a problemas de oclusão do que os ópticos, uma vez que o som pode contornar e passar através dos objectos (caso do sistema *Zebris*). Os magnéticos não precisam sequer de linha de visão entre o sensor e a fonte de energia (caso do sistema *Liberty*).

Note-se, que os sistemas ópticos activos (nomeadamente o *QTM*, o *Optotrak* e o *Coda*) têm a vantagem de não sofrerem de problemas de identidade trocada das marcas usadas, porque estas são activas de uma forma multiplexada no tempo.

Todos os sistemas considerados trabalham a uma frequência de captura suficiente para o estudo clínico da marcha (50/60 Hz é a frequência necessária à captura da marcha [Ariel, 2006]).

Para o cálculo da cinemática, em todas as tecnologias consideradas é preciso usar marcas externas. Em termos de automatização do processo de sincronismo, calibração e seguimento é necessária uma menor intervenção humana nas soluções acústicas e nas ópticas activas, seguidas das ópticas *IR*, das ópticas vídeo e, por fim, do sistema *Liberty* (ausência do procedimento para sincronização de outros sensores).

Para o *Zebris*, o *Liberty*, o *Coda* e o *Optotrak* não é necessário calibrar os sensores usados e o seguimento é automático. Para o *QTM* passivo e o *Vicon MX* o seguimento é automático, mas é necessário calibrar as câmaras consideradas. Para o *Peak Motus* e o *Simi Motion* o seguimento requer muitas vezes a intervenção humana e é necessário calibrar as câmaras. Em [Djeraba, 2005] é possível confirmar esta tendência para um processamento mais complexo à medida que se vai diminuindo o nível de intrusão do sistema (isto é, a quantidade de dispositivos colocados no sujeito em análise e no ambiente envolvente).

Em termos de facilidade para preparar o sujeito com vista à análise do seu movimento, as soluções ópticas passivas são as que tem um *set-up* mais simples, seguidas das ópticas activas, e das acústicas e magnéticas. Nestas três últimas tecnologias é necessário fornecer energia às marcas colocadas no sujeito. No caso das ópticas activas, é colocada no indivíduo uma unidade de controlo dos *LEDs* (portátil) que está ligada por cabos às respectivas marcas activas. O *Optotrak* apresenta uma solução sem cabos para a mesma interligação. Para o *Liberty* é necessário colocar os sensores magnéticos no sujeito. Estes sensores e o transmissor magnético

associado têm de estar ligados por cabos ao módulo *SEU* (unidade não portátil que guarda as medições e cria o campo magnético). A *Polhemus* tem uma solução que permite que o indivíduo não tenha de estar ligado por cabos ao *SEU*; no entanto, as marcas colocadas no sujeito assumem dimensões consideráveis 7.4x3.96x2.16 cm (comprimento x largura x altura). No sistema da *Zebris* também é necessário conectar os microfones usados a uma unidade não portátil (a *CMS-HS*).

Em relação ao preço, com base na informação contida na tabela 3, podemos concluir que as ópticas activas são as soluções mais caras, seguidas das passivas *IR* e, por último, temos as passivas vídeo. Com base em [Lu, 2004; Perales, 2000; Silva, 2006] apenas se pode afirmar que as soluções baseadas em tecnologia magnética têm um custo mais acessível do que as ópticas baseadas em câmaras de infravermelhos.

Da análise efectuada, a solução mais portátil é talvez o sistema *Optotrak wireless*. Sem necessidade de calibração, consideração de movimentos não restringidos, utilização de cabos reduzidos, apenas três unidades a transportar (controlo das marcas, marcas e sensor óptico), seguido das restantes soluções ópticas activas. Depois vêm as vídeo passivas e as passivas *IR* (pelo menos 3 câmaras, um conjunto de marcas, necessidade de calibrar o sistema, sem a utilização de cabos, adequada a movimentos não restringidos). E finalmente, as soluções menos portáteis são os sistemas *Liberty* e *Zebris*.

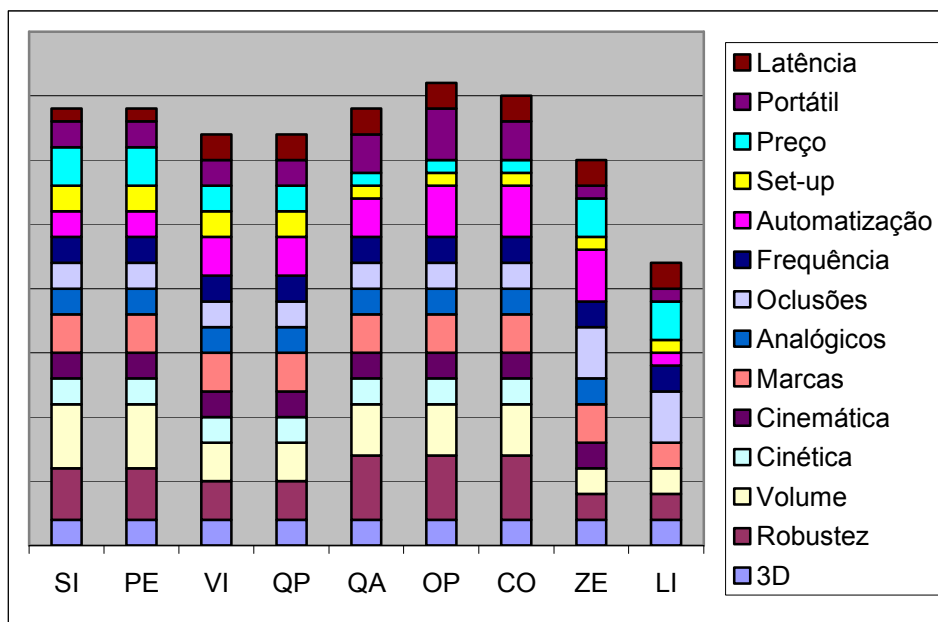
Em relação à latência na apresentação das coordenadas 3D, apenas os sistemas vídeo passivos (o *Peak Motus* e o *Simi Motion*) não apresentam os resultados em tempo real (< 5 ms).

Na Figura 1, pode-se verificar a solução mais vantajosa para problemas de análise da marcha. As características obrigatórias de uma aplicação para captura e análise da marcha têm um peso superior ao das características desejáveis. Note-se, que não se entra em conta com a precisão requerida, e na característica preço considerou-se que as soluções magnéticas e acústicas têm o mesmo custo que as vídeo passivas. Desta figura, o sistema *Optotrak* é a solução mais cotada, seguidas das restantes ópticas activas (o *Coda* e o *QTM* activa), depois vêm as passivas vídeo (o *Simi Motion* e o *Peak Motus*), seguidas das passivas *IR* (o *Vicon MX* e o *QTM* passiva) e, por fim, a acústica (o *Zebris*) e a magnética (o *Liberty*).

Existem no entanto algumas considerações que não foram tomadas em conta, na construção do gráfico apresentado, e que poderiam alterar a cotação das diferentes soluções em favor das passivas vídeo e passivas *IR*:

- Nas soluções ópticas activas existe o problema do aquecimento das marcas;
- As soluções ópticas activas e passivas *IR* necessitam de *hardware* extra para poderem fornecer imagens vídeo do movimento;
- Em certos casos a importância dada ao *Set-up* requerido pode ser maior do que a considerada;

- A maneira como o peso foi atribuído à portabilidade (o sistema *Zebris* e o sistema *Liberty* com a menor portabilidade, peso 1, seguidas das soluções *Simi Motion*, *Peak Motus* e *Vicon MX* com peso 2 e, com a maior portabilidade, peso 3, o *QTM Activo*, o *Optotrak* e o *Coda*) e à robustez (o *Zebris* e o *Liberty* com a menor robustez, peso 2, depois as soluções *Vicon MX* e *QTM Passivo*, com peso 3, e com peso 4 o *Simi Motion* e o *Peak Motus* e, com a maior robustez, peso 5, o *QTM Activa*, o *Optotrak* e o *Coda*) pode ser diferente consoante a aplicação.



**Figura 1. Ranking das soluções comerciais analisadas na secção 3: SI: *Simi Motion*, PE: *Peak Motus*, VI: *Vicon MX*, QP: *QTM* passivo, QA: *QTM* activo, OP: *Optotrak*, CO: *Coda*, ZE: *Zebris*, LI: *Liberty*.**

Para além das soluções analisadas na secção 3, não é desconsiderar outro tipo de soluções existentes como a *Elite* da *BTS*, o *APAS* da *Ariel*, o *MotionStar Wireless* da *Ascension*, etc.

## 5.2 Oportunidades

O *Visual 3D* é talvez a solução ideal para analisar a biomecânica do movimento humano, caso já se possua um sistema de captura e sincronismo de todos os sensores usados, pois o seu preço é relativamente baixo (~ 8400€) quando comparando com o dos outros pacotes de *software*, por exemplo, o do *Vicon Polygon* (~ 13000€) e as funcionalidades disponibilizadas parecem ser semelhantes.



A análise da marcha é geralmente um processo realizado em ambiente controlado; assim sendo, talvez a melhor opção sejam os sistemas passivos *IR*, uma vez que necessitam de uma menor intervenção humana e são mais precisos do que os sistemas passivos vídeo.

Por outro lado, os sistemas ópticos activos usam técnicas bastante invasivas, são mais dispendiosos e as suas supostas vantagens, em termos de automatização do processo de seguimento, calibração, portabilidade e robustez, não compensam as desvantagens apresentadas. Os desafios colocam-se mais ao nível da captura em ambientes não controlados (tanto exteriores como interiores). Assim, para ambientes interiores (como habitação, local de trabalho, laboratórios, etc.) são preferíveis as tecnologias acústicas; já para ambientes exteriores, a solução mais indicada é a passiva vídeo. No entanto, seria conveniente poder realizar aproximações ao objecto em movimento durante o processo de seguimento de forma a detectar mais facilmente os pontos-chave a seguir, aumentar a robustez dos algoritmos de seguimento usados, etc.

## Bibliografia

- [AMM, 2006] – Advanced Motion Measurement, [www.advancedmotionmeasurement.com](http://www.advancedmotionmeasurement.com), acedido em Fevereiro 2006.
- [Ariel, 2006] – Ariel Dynamics, [www.arielnet.com](http://www.arielnet.com), acedido em Fevereiro 2006.
- [Ascension, 2006] – Ascension Technology Corporation, [www.ascension-tech.com](http://www.ascension-tech.com), acedido em Fevereiro 2006.
- [Bertozzi, 2005] – M. Bertozzi, A. Broggi, A. Lasagni, *Stereo Vision-based Pedestrian Detection*, In Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cvpr'05), IEEE Computer Society, Washington, 2005.
- [Biogesta, 2006] – Biogesta, [www.biogesta.fr](http://www.biogesta.fr), acedido em Fevereiro 2006.
- [Bogart, 2000] – V. Bogart, *Motion Analysis Technologies*, Pediatric Gait 2000 - A new Millennium in Clinical Care and Motion Analysis Technology, pp. 166-172, 2000.
- [Bronner, 2006] – S. Bronner, *Instrumented Analysis of Human Movement*, [www.brooklyn.liu.edu/bbut04/adamcenter/Instrumented%20Analysis%20Website/#motionsystems](http://www.brooklyn.liu.edu/bbut04/adamcenter/Instrumented%20Analysis%20Website/#motionsystems), Adam Center, Brooklyn Campus Long Island University, acedido em Fevereiro 2006.
- [BTS, 2006] – BTS, Bioengineering Technology Systems, [www.bts.it](http://www.bts.it), acedido em Fevereiro 2006.
- [BYP, 2006] – Biomechanics Yellow Pages, [www.isbweb.org/~byp](http://www.isbweb.org/~byp), acedido em Fevereiro 2006.
- [CharnDyn, 2006] – Charnwood Dynamics, [www.charndyn.com](http://www.charndyn.com), acedido em Fevereiro 2006.
- [CMotion, 2006] – C-Motion, [www.c-motion.com](http://www.c-motion.com), acedido em Fevereiro 2006.
- [Contemplas, 2006] – Contemplas, [www.contemplas.com](http://www.contemplas.com), acedido em Fevereiro 2006.

- [Cucchiara, 2000] – R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, A. Prati, *Statistic and Knowledge-based Moving Object Detection in Traffic Scenes*, Proceedings of the 3rd IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2000), Dearborn, Indiana, USA, 2000.
- [DSD, 2006] – Darras Software Development, [www.dsd-online.net](http://www.dsd-online.net), acessido em Fevereiro 2006.
- [DigitalVideo, 2006] – High-speed and DV vídeo, [www.highspeed-video.com](http://www.highspeed-video.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Djeraba, 2005] – C. Djeraba, Technical Report, *State of Art in Body Tracking*, Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille, Université des Sciences et Technologie de Lille, 2005.
- [Figuroa, 2003] – P. Figuroa, N. Leite, R. Barros, *A Flexible Software for Tracking of Markers used in Human Motion Analysis*, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 72, pp. 155-165, 2003.
- [Gavrila, 1997] – D. Gavrila, *The Visual Analysis of Human Movement: A Survey*, Image Understanding Systems, Daimler-Benz Research, 1997.
- [Gleicher, 1999] – M. Gleicher, *Animation From Observation: Motion Capture and Motion Editing*, ACM SIGGRAPH Applications of Computer Vision to Computer Graphics, Vol. 33, pp. 51-54, 1999.
- [Hutchinson, 2006] – T. Hutchinson, F. Kuester, K. Doerr, D. Lim, *Optimal Hardware and Software Design of an Image-Based System for Capturing Dynamic Movements*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 55, pp. 164-175, 2006.
- [Innsport, 2006] – Innovative Sports Training, [www.innsport.com](http://www.innsport.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [InnovSystems, 2006] – Innovision Systems, [www.innovision-systems.com](http://www.innovision-systems.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Lepetit, 2005] – V. Lepetit, P. Fua, *Monocular Model-Based 3D Tracking of Rigid Objects: A Survey*, Computer Graphics and Vision, Vol. 1, pp. 1-89, 2005.
- [Lu, 2004] – C. Lu, N. Ferrier, *A Digital Video System for the Automated Measurement of Repetitive Joint Motion*, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol.8, pp. 399-404, September 2004.
- [Marrc, 2006] – Motion Analysis Research and Rehabilitation Centre, [www.marrc.co.uk](http://www.marrc.co.uk), acessido em Fevereiro 2006.
- [Mcinerney, 1996] – T. Mcinerney, D. Terzopoulos, *Deformable Models in Medical Image Analysis: A Survey*, Medical Image Analysis, Vol. 1, pp. 91-108, 1996.
- [Metronor, 2006] – Metronor, [www.metronor.com](http://www.metronor.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Moeslund, 2002] – T. Moeslund, E. Granum, *A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture*, Laboratory of Computer Vision and Media Technology, Aalborg University, 2002.
- [MotionAnalysis, 2006] – Motion Analysis Corporation, [www.motionanalysis.com](http://www.motionanalysis.com), acessido em Fevereiro 2006.

- [MotionLabSystems, 2006] – Motion Lab Systems, [www.emgsrus.com](http://www.emgsrus.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [MotionAnalysis3D, 2006] – 3D Motion Analysis, [www.motion-analysis-3d.com](http://www.motion-analysis-3d.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Motus, 2006] – Motus Bioengineering, [www.motusbioengineering.com](http://www.motusbioengineering.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Mulder, 1994a] – A. Mulder, Technical Report, *Human Movement Tracking Technology*, School of Kinesiology, Simon Fraser University, 1994, [www.xspasm.com/x/sfu/vmi/HMTT.pub.html#specs](http://www.xspasm.com/x/sfu/vmi/HMTT.pub.html#specs), acessido em Fevereiro 2006.
- [Mulder, 1994b] – A. Mulder, Technical Report, *Human Movement Tracking Technology: Resources*, School of Kinesiology, Simon Fraser University, 1994, [www.hfg-  
karlsruhe.de/digital/1999\\_00ws/kurs/xtratrax/local/HMTT.html](http://www.hfg-karlsruhe.de/digital/1999_00ws/kurs/xtratrax/local/HMTT.html), acessido em Fevereiro 2006.
- [Ndigital, 2006] – Northern Digital, [www.ndigital.com](http://www.ndigital.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Pavlovic, 1997] – V.I. Pavlovic, R. Sharma, T.S. Huang, *Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol. 19, pp. 677-695, 1997
- [Perales, 2000] – F. Perales, *Human Motion Analysis & Synthesis using Computer Vision and Graphics Techniques - State of Art and Applications*, Computer Graphics and Vision Group, Universitat de les Illes Balears, 2000.
- [Pinho, 2004] – R. Pinho, J. Tavares, M. Correia, Relatório Interno, *Introdução à Análise de Movimento usando Visão Computacional*, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2004, [www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/relatorios/Introducao\\_RPinho\\_PhD.pdf](http://www.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/relatorios/Introducao_RPinho_PhD.pdf), acessido em Fevereiro 2006.
- [Photron, 2006] – Photron, [www.photron.com](http://www.photron.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Polhemus, 2006] – Polhemus, [www.polhemus.com](http://www.polhemus.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Prophysics, 2006] – Prophysics, [www.prophysics.ch](http://www.prophysics.ch), acessido em Fevereiro 2006.
- [Ptiphoenix, 2006] – Phoenix Technologies, [www.ptiphoenix.com](http://www.ptiphoenix.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Qualisys, 2006] – Qualisys, [www.qualisys.com](http://www.qualisys.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [R Gonzalez, 2003] – R. Gonzalez, R. Woods, *Digital Image Processing*, 2003.
- [Redlake, 2006] – Redlake, [www.redlake.com](http://www.redlake.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Richards, 1999] – J. Richards, *The Measurement of Human Motion: A Comparison of Commercially Available Systems*, Human Movement Science, Vol. 18, pp. 589-602, 1999.
- [Robert, 2005] – T. Robert, L. Cheze, J. Verriest, *Difficulties Encountered with Inverse Dynamics Applied to Rapid Movements*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, pp. 239-240, 2005.

- [Rosenhahn, 2005] – B. Rosenhahn, U. Kersting, L. He, A. Smith, T. Brox, R. Klette, H. Seidel, *A Silhouette Based Human Motion Tracking System*, Centre for Imaging Technology and Robotics, University of Auckland, 2005.
- [Silva, 2006] – F.Silva, *Motion Capture – Introdução à Tecnologia*, Laboratório de Computação Gráfica, Brasil, [www.visgraf.impa.br/Projects/mcapture/publ/mc-tech/](http://www.visgraf.impa.br/Projects/mcapture/publ/mc-tech/), acessido em Fevereiro 2006.
- [Simi, 2006a] – Simi Reality Motion Systems, *Simi Motion Manual*, 2006.
- [Simi, 2006b] – Simi Reality Motion Systems, [www.simi.com](http://www.simi.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Simsik, 2005] – D. Simsik, J. Majernik, A. Galajdova, L. Zelinsky, *Study of Spondylolisthesis using Videomotion Analysis*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, pp. 293-294, 2005.
- [Sousa, 2006] – D. Sousa, J. Tavares, Relatório Interno, *Breve Apresentação dos Softwares Simi Motion e do Simi Twinner Pro*, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2006.
- [Tau, 2004] – Y. Tao, H. Hu, *Colour Based Human Motion Tracking for Home-based Rehabilitation*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, The Hague, The Netherlands, 2004.
- [Vaquita, 2006] – Vaquita, [www.vaquita.co.uk](http://www.vaquita.co.uk), acessido em Fevereiro 2006.
- [Vicon, 2006] – Vicon Peak, [www.vicon.com](http://www.vicon.com), acessido em Fevereiro 2006.
- [Wang, 2003] – L. Wang, W. Hu, T. Tan, *Recent Developments in Human Motion Analysis*, Pattern Recognition, Vol. 36, pp. 585-601, 2003.
- [Welch, 2002] – G. Welch, E. Foxlin, Motion Tracking Survey, *Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 22, pp. 24-38, Dezembro 2002.
- [Zanchi, 2000] – V. Zanchi, V. Papic, A. Despalatovic, *Accuracy Improvement in 3D Measurement with Commercial Cameras*, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split, 2000.
- [Zebris, 2006] – Zebris, [www.zebris.de](http://www.zebris.de), acessido em Fevereiro 2006.