

Representação de Humanos Virtuais

ADEMAR WELTER JÚNIOR ¹
MARCELO DA SILVA HOUNSELL ²

¹ UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
DEE – Departamento de Engenharia Elétrica
CCT – Campus Universitário SN - CEP 89223-100 - Joinville - SC.
awj22@bol.com.br

² UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
DCC - Departamento de Ciência da Computação
CCT – Campus Universitário SN - CEP 89223-100 - Joinville - SC.
marcelo@joinville.udesc.br

Resumo: Este artigo apresenta um levantamento dos diversos tipos de modelos articulados empregados na representação de humanóides, visando relacioná-los sob a luz de seus respectivos graus de complexidade e aplicabilidade. Além do corpo humano já ser uma estrutura altamente complexa por natureza, são inúmeros os fatores que influenciam nos seus movimentos. Simular algo com tamanha complexidade no computador requer, portanto, uma estrutura de representação simples e intuitiva, que possa representar os movimentos humanos de uma forma precisa e do jeito mais simplificado possível, sem prejudicar o realismo e a precisão nos resultados da animação. As estruturas articuladas hierarquicamente se apresentam como a forma mais adequada para a representação do corpo humano, além de poderem ser animadas e manipuladas pelas mais variadas técnicas de animação. Existem na verdade estruturas humanóides simplificadas, destinadas a aplicações onde a interatividade e a simples visualização são imperativas, e estruturas mais completas, onde a precisão nos resultados é o fator mais importante. No entanto, um compromisso claro existe entre realismo, precisão e complexidade, o que leva a um processo delicado de escolha do modelo mais adequado conforme a sua aplicação.

Palavras Chaves: Animação de humanóides, estruturas articuladas, H-Anim, técnicas de animação.

1 Introdução

Animação é a produção de imagens consecutivas que transmitem ao espectador a idéia de movimento [Hodgins, 1999]. Animar uma figura humana sintética no computador (humanóide), no entanto, não consiste simplesmente na definição de sua trajetória ao longo do tempo, tendo em vista a incrível capacidade que os humanos apresentam em perceber falhas e imperfeições nas animações [Hodgins, 1995][Faloutsos, 2001]. O animador deve ser capaz de especificar até mesmo os pequenos detalhes de um movimento, o que tornará a animação convincente, transmitindo um sentimento ilusório de movimento. Os humanóides devem, portanto, ser representados corretamente no computador, de modo a fornecer uma descrição adequada e intuitiva dos parâmetros de animação, facilitando assim a sua simulação. Como o esqueleto humano é um caso particular de estrutura articulada, uma maneira prática e muito comum de se especificar os parâmetros da animação de humanóides é também através do emprego de uma estrutura articulada, organizada hierarquicamente.

Uma estrutura articulada consiste em um conjunto de segmentos conectados por articulações (juntas). Tais articulações servem para formar o vínculo geométrico entre os segmentos e, principalmente, para permitir a movimentação relativa entre eles, gerando os graus de liberdade (ou DOFs - *Degrees-Of-Freedom*) [Silva, 1998]. A organização hierárquica das articulações facilita a representação da estrutura articulada, pois à medida que a complexidade da estrutura aumenta, cresce a dificuldade de representá-la no computador.

Contudo, sabemos que o movimento humano não é guiado de forma mecânica simplesmente, mas sim através da harmonia entre diversos fatores que influenciam em seus movimentos, como líquidos presentes nas articulações, tecidos variados com diferentes graus de elasticidade, ossos com geometria detalhada e inúmeros DOFs, deformações musculares e até mesmo fatores cognitivos, como as “intenções” de cada movimento, processadas no cérebro de cada indivíduo. Tentar representar fielmente todas essas características no computador seria praticamente impossível [Badler, 1993].

É necessário, portanto, saber distinguir e escolher dentre as características apresentadas pelo modelo real, quais são essenciais, desejáveis ou desnecessárias, pois somente assim, através de uma priorização de tarefas e procedimentos, é que a animação de humanóides poderá ser executada de uma maneira otimizada. Além disso, embora seja possível modelar detalhadamente cada um dos ossos do corpo humano e então descrever a forma como deverá ocorrer os movimentos relativos entre cada um desses ossos, em grande parte das aplicações ou análises de movimento é suficiente modelar os segmentos do corpo humano apenas em termos de comprimento e espessura, e suas juntas em termos de simples rotações.

Existem casos, no entanto, em que mesmo pequenas simplificações poderiam comprometer a veracidade da animação, resultando em erros e dados distorcidos. Aplicações como implante de próteses ortopédicas e cirurgia plástica, entre outras, requerem o máximo de precisão nos resultados e portanto o nível de detalhamento e complexidade da estrutura do humanóide deve ser o maior possível.

Este artigo descreve as diversas formas de modelagem envolvidas (modelagem biomecânica antropométrica e modelagem virtual), a fim de se poder chegar a uma interpretação destes dois “mundos”. Buscou-se relacionar o grau de complexidade da estrutura articulada computacional de um humanóide com o tipo de aplicação na qual será destinada ou ao movimento que deverá ser simulado. A seção 2 faz uma breve introdução aos diferentes níveis de simulação e tipos de juntas existentes na animação de humanóides, apresentando o esquema de representação hierárquico como o melhor método computacional de organização dos parâmetros de animação. A seção 3 relata a necessidade de simplificação da estrutura de alguns humanóides, apresentando os principais métodos de simplificação utilizados. Na seção 4 é apresentado um levantamento, por ordem crescente de complexidade, dos diversos modelos computacionais de estruturas humanóides articuladas encontradas na literatura. E a seção 5 encerra com uma discussão acerca dos compromissos de representar e animar modelos de humanos no computador.

2 Os parâmetros de animação

A animação de um humanóide depende, além da definição de sua trajetória ou comportamento ao longo do tempo, da correta representação computacional dos parâmetros de animação, de modo claro, adequado e conciso, facilitando assim a sua simulação. Existem basicamente três diferentes níveis de simulação para a animação de humanóides [Silva, 1998]:

- **Cinemático** – onde os parâmetros simulados, como posição e orientação, estão estritamente relacionados com a geometria do humanóide;
- **Dinâmico** – onde a introdução de parâmetros dinâmicos ou físicos, como massa e torque, permitem a simulação física de fenômenos naturais pelo computador;
- **Comportamental** - o nível mais alto de simulação, onde os parâmetros relacionam os objetos com o meio em que estão inseridos.

Após definir quais os parâmetros que deverão ser animados, o passo seguinte é representá-los de um modo organizado, ou seja, sob a forma de uma estrutura de dados no computador.

O principal problema com a maioria dos esquemas de representação existentes é que cada articulação apresenta um conjunto de parâmetros relacionados com a sua posição no espaço, pois a necessidade de especificação da posição de cada articulação da estrutura não garante a integridade da conectividade do conjunto, uma vez que pequenas variações na posição de uma articulação podem quebrar as ligações entre os segmentos. A organização hierárquica garante, no entanto, a integridade da estrutura [Silva, 1998].

No modelo hierárquico, os segmentos são conectados entre si através de juntas, respeitando uma certa hierarquia, como a de uma estrutura de árvore, sendo que a posição de cada articulação é definida automaticamente através da composição em seqüência das matrizes de transformação das articulações anteriores. Desta forma, apenas a primeira articulação da estrutura precisa ser posicionada no espaço, enquanto que o resto da estrutura é comandado apenas pelos ângulos relativos entre as articulações. No entanto, a estrutura deve ser implementada de modo a permitir a acumulação de transformações geométricas entre os sistemas de coordenadas das articulações.

Com a organização hierárquica de estruturas articuladas, podemos dispor ainda de ferramentas mais avançadas como a cinemática direta e a cinemática inversa para a manipulação destas estruturas. Na cinemática direta, o movimento da estrutura é especificado explicitamente através da definição dos ângulos relativos entre cada uma das articulações. Assim, o movimento do último segmento livre de uma estrutura articulada, responsável pela interação da estrutura com outros objetos é determinado pela composição de todas as transformações existentes nas articulações que o precedem na hierarquia. Já na cinemática inversa, o objetivo é especificar apenas a posição final de um órgão terminal, deixando para o computador o cálculo da configuração dos ângulos necessários para tal.

2.1 Os tipos de juntas

Uma estrutura articulada consiste de um conjunto de segmentos conectados por articulações (juntas) que irão formar um vínculo geométrico entre segmentos consecutivos. Nestas estruturas, cada segmento pode girar em torno de sua respectiva articulação segundo uma direção de rotação ou translação permitida pela mesma, sendo que a estes movimentos denominamos graus de liberdade (DOFs – *Degrees of Freedom*) [Silva, 1998]. Em Robótica, costuma-se classificar os diferentes tipos de juntas em essencialmente três grandes grupos [Gonçalves, 2001]:

- **Rotacionais** – onde o movimento relativo entre os segmentos é rotacional (Figura 1a);
- **Prismáticas** – onde o movimento relativo entre os segmentos é linear (Figura 1b);
- **Esféricas** – uma combinação de três juntas rotacionais com o mesmo ponto de rotação (Figura 1c).

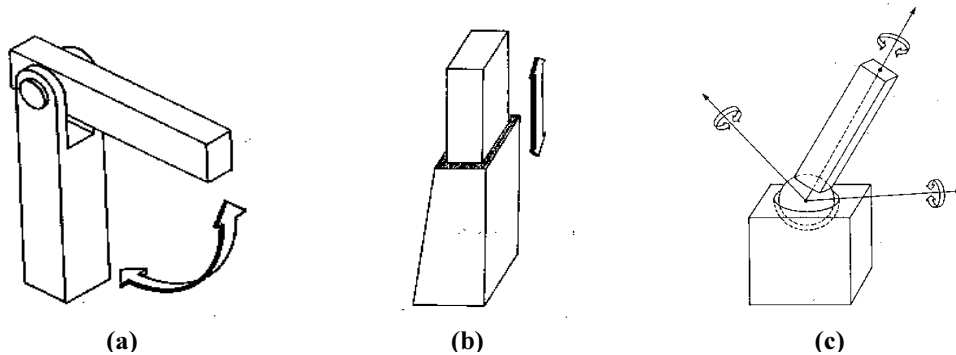


Figura 1: Tipos de juntas utilizados em Robótica: (a) Rotacional, (b) Prismática e (c) Esférica. [McKerrow, 1993].

Já do ponto de vista médico e anatômico, no qual estamos mais interessados uma vez que estamos tratando da representação de humanos virtuais, as juntas humanas são classificadas de acordo com seus movimentos conforme mostra o esquema da Figura 2 [Maciel, 2001]:

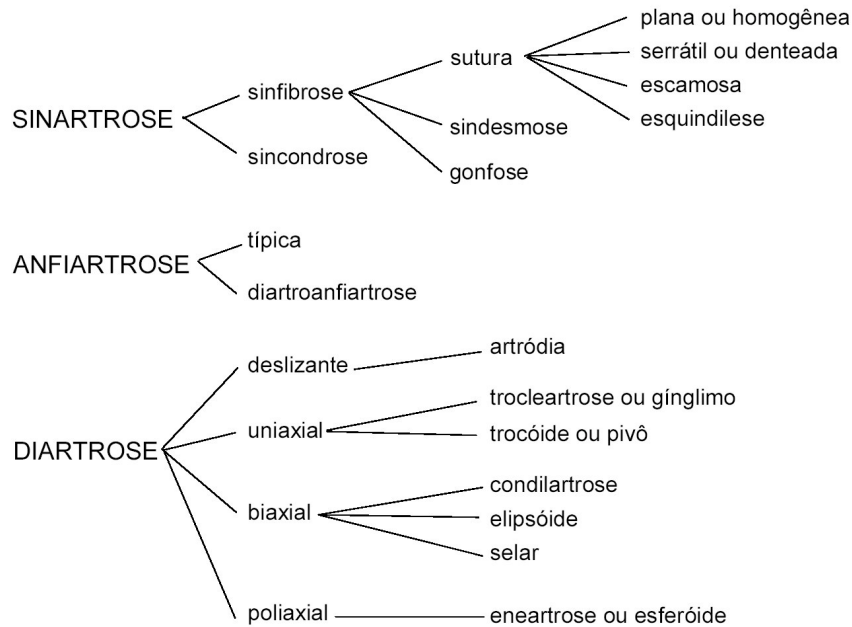


Figura 2: Tipos de juntas antropométricas.

As **Sinartroses** (suturas do crânio, por exemplo) não apresentam nenhum tipo específico de movimento, apenas cedem a pressões absorvendo choques. As **Anfiartroses** são caracterizadas pela presença de estruturas cartilaginosas (discos ou membranas de fibrocartilagem) entre os ossos, e apesar de ainda apresentarem fortes restrições ao movimento, apresentam maior amplitude de movimentação do que as Sinartroses. Já as **Diaartroses**, por sua vez, são caracterizadas pela presença do fluido sinovial que lubrifica a articulação, permitindo uma ampla capacidade de movimentação.

As Diaartroses, também chamadas de articulações sinoviais, representam o tipo de articulação mais comum encontrado no estudo do movimento humano, podendo ser classificadas de acordo com a sua forma e tipo de movimento dentro dos seguinte tipos:

- **Deslizante, Planar ou Artródia** - As juntas desse tipo (ver Figura 3a) permitem movimentos de translação e rotação bastante moderados de um osso contra o outro. As superfícies articulares são geralmente planas e pequenas, e deslizam umas sobre as outras. São permitidos seis graus de liberdade de movimento, porém, todos com muito pouca amplitude. Exemplos de articulações planares estão entre os ossos do carpo (na mão), do tarso e do metatarso (no pé).
- **Uniaxial** - As juntas deste tipo são caracterizadas pela presença de apenas um eixo de rotação no movimento (um grau de liberdade). Dois subtipos podem ser considerados: **Pivô** (ver Figura 3b), onde o eixo é paralelo aos ossos; e **Dobradiça** ou **Gínglimo** (ver Figura 3c), onde o eixo é ortogonal aos ossos.
- **Biaxial** – Permitem movimentação em torno de dois eixos, o que caracteriza a presença de dois graus de liberdade no movimento. De acordo com sua geometria de encaixe, podem ser subdivididos em três subgrupos: **Selar** (ver Figura 3d), **Elipsóide** (ver Figura 3e) e **Condilartrose**. O joelho e o pulso são bons exemplos de articulações biaxiais.
- **Poliaxial** – Este tipo de articulação permite movimento em torno de três eixos, definindo três graus de liberdade. As articulações poliaxiais humanas, também

chamadas de **Esferóides** (ver Figura 3f), consistem de uma cabeça esférica em um dos ossos e um encaixe côncavo no outro. É o tipo de junta mais versátil, e permite flexão/extensão, abdução/adução, rotação e circundação. O alcance do movimento depende muito da profundidade do encaixe côncavo..

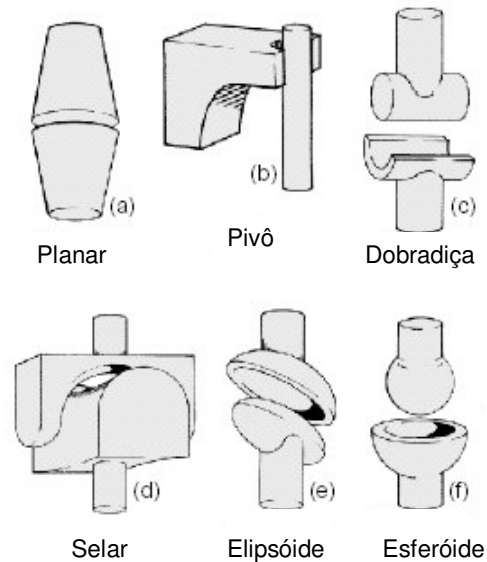


Figura 3: Geometria das juntas antropométricas. [Maciel, 2001].

3 A necessidade de simplificação da estrutura de alguns humanóides

Sabemos que existem diversos fatores que influenciam nos movimentos humanos, não somente os ossos e as articulações, mas também os líquidos presentes nas juntas, a elasticidade dos mais variados tipos de tecidos que compõem o nosso corpo, deformações musculares e uma outra série de fatores individuais difíceis de serem enumerados, como as seqüências e ações que cada indivíduo é capaz de executar e interagir aos fatores e objetos presentes no ambiente. Tudo isso leva a uma explosão de dados, testes e situações possíveis de serem representadas.

Se considerarmos as dimensões do corpo humano, perceberemos que de fato não existe algo como um humano “médio”, ou um padrão que possa ser considerado em todas as aplicações. As dimensões corpóreas não são limitadas somente pelo comprimento, estatura ou peso, mas incluem também limites articulares, momentos de inércia, deformações musculares, taxas de fadiga e assim por diante.

O movimento do úmero (braço superior), por exemplo, não é o caso de uma simples articulação. Tal movimento é causado pelas articulações de várias juntas – junta glenoumeral, junta claviscapular e junta esternoclaviscapular. Coletivamente, estas juntas são denominadas de o complexo do ombro. A coluna vertebral, por sua vez, é uma coleção de vértebras conectadas por ligamentos, pequenos músculos, juntas e discos vertebrais que consistem de 33 vértebras organizadas em 5 regiões: cervical, torácica, lombar, sacra e cóccix [Badler, 1993]. Já o pé é formado de pequenos ossos, chegando a 26 no total, compondo uma estrutura complexa responsável pela nossa sustentação. Além disso, as articulações que conectam tais ossos possuem uma geometria extremamente complexa, com diversos pontos de contato e inúmeros graus de liberdade para rotação e até mesmo translação [Nedel, 1998].

Com relação às articulações, cada junta do corpo humano apresenta uma faixa diferente de movimentação, sobre a qual permite que os movimentos ocorram. A faixa de movimentação de uma junta é determinada por um número variado de fatores, incluindo tipo de junta, tamanho do músculo na junta, tensão muscular dos músculos da junta, alongamento do ligamento, quantidade de fadiga e adaptações de treinamento para cada junta.

“Qualquer desejo ou tentativa de se construir um modelo fielmente completo do comportamento humano significaria portanto um esforço fútil, pois o campo é grande demais, a literatura imensa e a teoria em sua maior parte empírica” [Badler, 1993]. Modelar biomecanicamente a estrutura de um humanóide significa, portanto, baseá-la na estrutura do corpo humano, porém não necessariamente copiá-la. Para isso, é necessário distinguir e decidir entre as características apresentadas pelo modelo real, quais são essenciais, desejáveis, opcionais ou desnecessárias, e a partir daí iniciar uma busca por simplificações possíveis de serem aplicadas à estrutura do humanóide, otimizando assim o processo de animação.

Não devemos nos esquecer, no entanto, que embora pudéssemos utilizar sempre dados empíricos, simplificações e algoritmos encontrados na literatura e já implementados por outros autores, existem ainda várias outras características fundamentais que talvez tenhamos que inventar ou evoluir para um determinado modelo, devido a grande especificidade da estrutura do corpo humano tais como características comportamentais ou até mesmo limitações do próprio hardware disponível.

3.1 Os métodos de simplificação

Assim como nossos ossos sobrepostos por músculos e pele definem as partes móveis do corpo humano, é natural de se pensar que debaixo da pele sintética de um humanóide exista uma representação virtual do esqueleto humano, também com a finalidade de definir as partes móveis do humanóide [Badler, 1993]. Uma maneira muito prática e comum de representar virtualmente o esqueleto humano em um humanóide, facilitando assim a especificação dos parâmetros de animação, é através da utilização de uma estrutura de segmentos de linha (membros) articulados por juntas, semelhantemente a um esqueleto humano.

A principal vantagem na utilização de modelos de segmentos de linha é que a especificação dos parâmetros de animação se torna bem mais fácil, pois é necessário fornecer a cada junta apenas uma matriz de transformação tridimensional, correspondente a seus graus de liberdade. Por outro lado, este tipo de representação pode gerar resultados indesejáveis, pois a falta de volume nos segmentos torna difícil a percepção de profundidade, podendo gerar ambigüidades entre as figuras. Alguns movimentos, como giros e torções, podem ainda se tornar impossíveis de ser representados [Nedel, 1998].

Além disso, as estruturas articuladas podem ser mais ou menos complexas, dependendo do número de membros e juntas envolvidas, e conseqüentemente dos graus de liberdade (DOFs) da estrutura. O número de DOFs de uma estrutura articulada está intimamente associado ao poder de movimentação da mesma no espaço, quanto mais DOFs um humanóide possuir, maior o número de movimentos que ele poderá executar no espaço [Silva, 1998]. Diante disso, vemos que é possível e necessário utilizar modelos simplificados para representar o corpo humano em determinadas simulações, criando no computador uma estrutura articulada que ainda possa simular, com um grau de fidelidade razoável, os movimentos do corpo humano. Dentre as simplificações mais aplicadas nas estruturas articuladas, destacam-se:

- **Simplificação da geometria dos ossos** - A geometria detalhada dos ossos é aproximada por uma geometria qualquer bem comportada, de preferência plana e fácil de ser modelada (ver Figura 4).

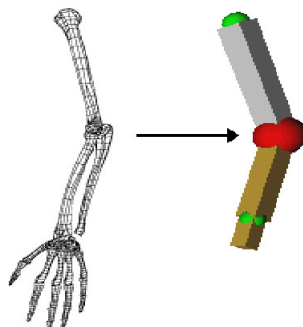


Figura 4: Simplificação da geometria dos membros.

- **Simplificação da forma da junta** - Embora seja possível modelar detalhadamente cada um dos ossos do corpo humano e depois codificar no modelo a forma como deverá ocorrer os movimentos relativos entre cada um desses ossos, conforme indica a Figura 5, em grande parte das análises de movimento é suficiente modelar os segmentos do corpo humano somente em termos de comprimento e suas juntas em termos de simples rotações [Badler, 1993].

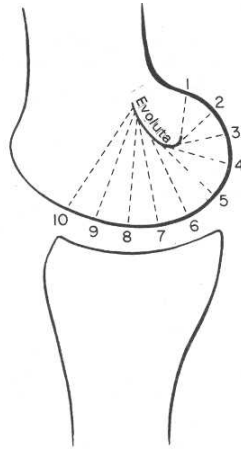


Figura 5: Deslizamento de eixo da junta do joelho.

- **Simplificação do número de DOFs** - Nem sempre é interessante lidar com estruturas que apresentam um número elevado de articulações e conseqüentemente muitos DOFs, pois como se pode perceber, a complexidade da manipulação computacional de uma estrutura é diretamente proporcional a este número. No caso de estruturas articuladas que representam o esqueleto humano, logicamente existe um limite no que diz respeito ao número mínimo de articulações necessárias para representar os movimentos humanos, dependendo da aplicação desejada. Apesar de não existir um número mínimo fixo estabelecido na literatura, acredita-se que este número esteja entre 15 e 20 articulações [Silva, 1998].
- **Desconsideração de algumas estruturas** - Os ossos e as articulações são considerados os únicos fatores de influência nos movimentos do corpo humano levando a simplificação de simplesmente “desconsiderar” os músculos, ligamentos, etc. (ver Figura 6).

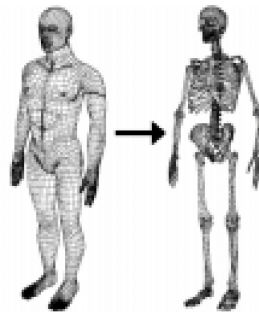


Figura 6: Simplificação por redução de fatores que influenciam nos movimentos.

- **Aglutinação de ossos** - Determinados conjuntos de ossos, como os da coluna, dos ombros e dos pés, são “aglutinados”, ou seja, representados no computador por meio de um único segmento rígido (ver Figura 7).

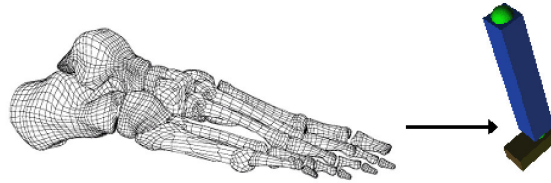


Figura 7: Simplificação por “aglutinação” de ossos.

4. Modelos de representação de humanóides

4.1 Biomecânica – base para a construção de modelos matemáticos de humanos

Para que possamos analisar os diversos modelos de humanóides encontrados na literatura, é necessário que estejamos familiarizados com a disciplina que rege e fundamenta as bases para a construção de estruturas utilizadas na representação dos movimentos humanos. A Biomecânica é uma disciplina, entre as derivadas das ciências naturais, que se ocupa com as análises físicas dos sistemas biológicos, conseqüentemente, análises físicas dos movimentos do corpo humano. Estes movimentos são estudados através de leis e padrões mecânicos em função das características específicas do sistema biológico humano, incluindo conhecimentos anatômicos e fisiológicos.

Por se tratar de uma disciplina com alta dependência empírica, preemente que a Biomecânica apresente grande preocupação com seus métodos de medição. Somente desta forma é possível buscar métodos e medidas mais precisas para a modelagem do movimento humano. Os métodos utilizados pela Biomecânica para abordar as diversas formas de movimento são [Amadio, 1996]:

- **Antropometria** – se preocupa em determinar as características e propriedades do aparelho locomotor, como as dimensões das formas geométricas de segmentos corporais, distribuição de massa, braços de alavanca, posições articulares, etc., definindo então um modelo antropométrico contendo os parâmetros necessários para a construção de um modelo biomecânico da estrutura analisada;
- **Cinematria** – consiste em um conjunto de métodos que busca medir os parâmetros cinemáticos dos movimentos como posição, orientação, velocidade e aceleração do corpo ou de seus segmentos;
- **Dinamometria** – engloba todos os tipos de força e ainda distribuição da pressão, com a função de interpretar as respostas de comportamentos dinâmicos dos movimentos humanos;
- **Eletromiografia** – expressa o método de registro das atividades elétricas dos músculos quando estes realizam contração.

Uma análise de movimentos apropriada necessita de referências e modelos físicos que se baseiam na geometria e propriedades inerciais da massa corporal. São muitos os modelos físico-geométricos utilizados pela Biomecânica na representação do corpo humano, sendo aprimorados cada vez mais à medida que novos estudos e técnicas vêm sendo desenvolvidas para a aquisição das medidas corporais. Estes modelos diferem biomecanicamente quanto ao número de segmentos, formas geométricas dos segmentos e procedimentos matemáticos utilizados na obtenção das medidas antropométricas.

Dentre os diversos modelos utilizados em biomecânica pode-se mencionar, pela simplicidade relativa de suas formas e equações, o modelo de [Hanavam, 1964], formado de 15 segmentos cujas formas geométricas consistem em cilindros, cones truncados e elipsóides, todos de densidade uniforme segundo um estudo em cadáveres feito por [Dempster, 1955]. Outro modelo, cujas formas são muito próximas das humanas, é o de [Hatze,1980], que se baseou em 243 medidas antropométricas para definir as formas combinadas de 17 segmentos constituintes. Existem ainda modelos mais sofisticados quanto à obtenção dos mesmos. [Zatsiorsky, 1984], por exemplo, construiu um modelo matemático do corpo humano baseado

num escaneamento do corpo por radiação de raios gama, medindo então a absorção desses raios pelos tecidos e determinando a distribuição da massa e densidade dos segmentos. Seu modelo era constituído de 16 segmentos, cujas formas eram combinações de sólidos geométricos, muitas delas para que o modelo ficasse o mais próximo possível das características físicas do corpo humano.

4.2 Modelos computacionais gráficos de humanóides

Como vimos, quando se deseja modelar uma estrutura de representação do corpo humano para a análise e simulação dos movimentos humanos, com o máximo de fidelidade possível, deve-se modelar tal estrutura de acordo com dados e medidas extraídas da Biomecânica. A literatura de animação contém diversos exemplos de estruturas articuladas utilizadas na representação de humanóides. Os modelos variam desde os mais simplificados até os mais completos, no entanto em todos os casos o objetivo é o mesmo: “obter uma representação da forma mais simples possível, capaz de ser manipulada e visualizada interativamente no computador, e que consiga reproduzir de maneira realista os movimentos do corpo humano.” Mas para que possamos relacionar a simplicidade de representação do modelo com a eficiência e confiabilidade do mesmo, é necessário que estejamos atentos a alguns aspectos inerentes a cada modelo e identificar as seguintes características:

- se o modelo é 2D ou 3D;
- quais os tipos e o número total de juntas utilizadas;
- qual o número de DOFs que o modelo apresenta bem como os limites de cada DOF;
- identificar a geometria de cada junta (planar, pivô, dobradiça, sela, etc., ou pontos, prismas e esferas) bem como a geometria de cada membro (ossos, linhas, caixas, cilindros, etc.).

A comparação destas características com o tipo de aplicação na qual os modelos serão destinados e aos resultados obtidos no final de cada simulação, repercutirão a respeito da eficiência, fidelidade e custo computacional de cada modelo.

4.2.1 Humanóide Rotoscopiado

Um modelo humanóide muito simples pode ser encontrado em [Liu, 1999]. Em sua técnica de animação baseada em vídeo utilizou-se o modelo articulado 2D ilustrado na Figura 8 para a representação de seu personagem. Cada segmento do corpo humano é representado por um retângulo, sendo que as linhas que dividem cada membro em duas partes iguais representam os ossos que formam o esqueleto do humanóide. As articulações, por sua vez, são representadas através de pontos, totalizando 16 juntas rotacionais. Pelo fato da estrutura ser totalmente planar (2D), cada junta permite apenas 1DOF, resultando num humanóide com 16 DOFs.

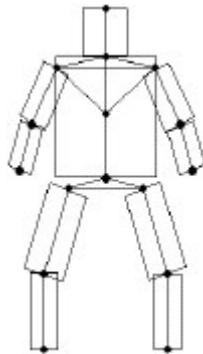


Figura 8: Modelo articulado utilizado em [Liu, 1999].

4.2.2 Modelo Biomecânico Antropométrico

[Amadio, 1999], em seus estudos sobre a contribuição da energia mecânica dos segmentos do corpo para a análise biomecânica da locomoção humana, utilizou um modelo humanóide 3D

composto de 17 juntas, representadas por pontos digitalizados em um ator através de um sistema de captura de movimento (Ver Figura 9).

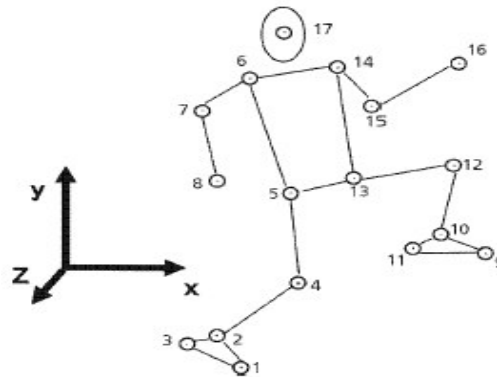


Figura 9: Posição das juntas digitalizadas na captura de movimento, [Amadio, 1999].

Amadio baseou seu humanóide no modelo antropométrico proposto por [Dempster, 1955], formado de 13 segmentos de linha considerando os segmentos pé, perna, coxa, mão, antebraço e braço para os dois lados, e o tronco como um único segmento acoplado à cabeça.

4.2.3 Humanóide Atleta

[Hodgins, 1995] descreveu algoritmos para a simulação dinâmica de três modalidades olímpicas: fundismo, ciclismo e ginástica olímpica. Os modelos 3D articulados utilizados são realistas em suas propriedades de massa e inércia e foram extraídos da Biomecânica. Os segmentos (membros) do corpo constituem uma única malha poligonal obtida a partir do cálculo do momento de inércia de um objeto (cadáver) de densidade uniforme.

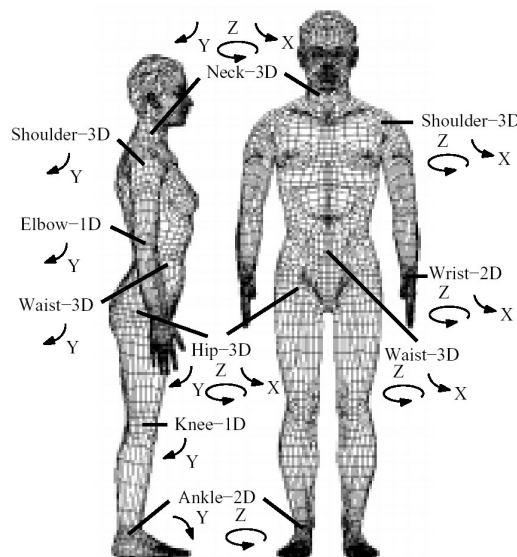


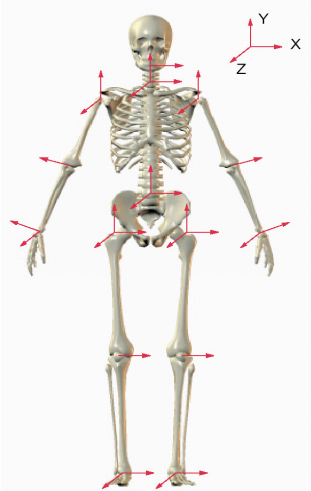
Figura 10: Modelo articulado utilizado na criação de uma ginasta [Hodgins, 1995].

O modelo articulado utilizado por Hodgins na criação de uma ginasta apresenta 15 segmentos conectados através de 14 juntas rotacionais totalizando 30 DOFs (ver Figura 10). Ocorre na verdade uma redução do número de juntas em relação ao modelo articulado utilizado por [Liu, 1999], no entanto verifica-se um aumento significativo em relação ao

número de DOFs totais, que praticamente dobrou. As únicas juntas que permaneceram restritas a 1 DOF foram as juntas do joelho. Os DOFs das juntas dos ombros, dos cotovelos, das mãos e dos pés passaram para 2 DOFs cada e as demais juntas passaram para 3 DOFs cada. No modelo empregado para a representação de um ciclista, Hodgins manteve o mesmo número de juntas e segmentos de sua ginasta, no entanto reduziu o número total de DOFs, que passou para 22. Neste caso restringiu-se o número de DOFs do pescoço, dos quadris e dos tornozelos, que passaram para 1 DOF cada. Já em seu modelo utilizado na representação de um fundista, Hodgins manteve o número total de 30 DOFs como em sua ginasta, no entanto aumentou o número de segmentos, que passou de 15 para 17, e o número de juntas, que passou de 14 para 16. Neste caso o pé foi dividido em dois segmentos, calcanhar e dedos, onde cada um ficou restrito a apenas 1 DOF.

4.2.4 Dublê Virtual

[Faloutsos, 2001] utilizou o modelo 3D articulado ilustrado na Figura 11 no desenvolvimento de uma estrutura humanóide para a representação de um dublê virtual. Os 16 segmentos presentes na estrutura estão representados por ossos dimensionados anatomicamente e conectados estrategicamente através de 15 juntas rotacionais (uma junta e um segmento a mais do que a da ginasta de [Hodgins, 1995] pela adição de 1 DOF à cabeça do humanóide).



Articulação	DOFs
Cabeça	1
Pescoço	3
Ombro	2
Cotovelo	2
Punho	2
Cintura	3
Anca	3
Joelho	1
Tornozelo	2

Figura 11: A estrutura articulada utilizada no projeto de um dublê virtual e seus DOFs [Faloutsos, 2001].

Articulação	Eixo	Limite Inferior (° graus)	Limite Superior (° graus)
Cabeça	X	-45	45
Pescoço	X	-50	90
	Z	-60	60
	Y	-80	80
Ombro	Z	-90	90
	Y	-80	160
Cotovelo	Y	0	120
	X	-90	40
Punho	Z	-90	90
	Y	-45	45
	X	-90	90
Cintura	X	-45	90
	Z	-55	55
	Y	-50	50
Anca	X	-165	45
	Y	-120	20
	Z	-20	20
Joelho	X	0	165
Tornozelo	X	-45	50
	Z	-2	35

Tabela 1: Os limites e a direção de propagação de cada DOF utilizado em [Faloutsos, 2001].

A Figura 11 também lista os principais DOFs de cada articulação do modelo de Faloutsos, totalizando 37 DOFs. Além do mais, os DOFs de cada articulação estão sujeitos aos limites físicos impostos pelo próprio corpo humano, extraídos da Biomecânica. A Tabela 1 lista estes limites bem como a direção de propagação de cada DOF.

4.2.5 Humanóide Capturado

[Silva, 1998] utiliza em seu sistema de animação um modelo 3D articulado muito semelhante, em relação ao número de DOFs por articulação, à estrutura de [Faloutsos, 2001]. Em sua estrutura de representação de humanóides, Silva também utiliza 16 segmentos rígidos, acrescentando apenas 2 DOFs a mais à cabeça, resultando num humanóide com 33 DOFs.

A representação geométrica dos segmentos articulados, no entanto, é feita através da utilização de caixas, e não mais através de ossos, como a de [Faloutsos, 2001]. Já as juntas de revolução utilizadas por Silva são representadas através de 15 esferas, conforme mostra a Figura 12.

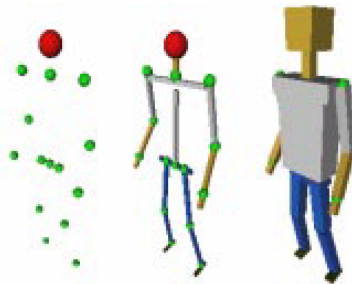


Figura 12: Modelo articulado utilizado em [Silva, 1998].

4.2.6 Humano Virtual

Já o modelo articulado utilizado por [Nedel, 1999] apresenta um grau de complexidade um pouco mais elevado que todos os modelos apresentados até agora. Em seu modelo, Nedel propõe a “humanização” da estrutura do humanóide através da inclusão de modificações na aparência física do esqueleto e do uso de músculos deformáveis dispostos em suas posições originais no que se refere à anatomia, conforme ilustrado na Figura 13.

Percebe-se ainda que não ocorre uma descrição simplificada da geometria dos membros do esqueleto, nem tão pouco a “aglutinação” de conjuntos de ossos (tíbia e perônio são representados individualmente ao invés de um único cilindro, por exemplo, e os dedos das mãos são descritos com todas suas articulações interfalangeanas características). Sua estrutura articulada contém 31 juntas de rotação posicionadas estrategicamente entre os ossos através de análises e estudos anatômicos, totalizando 62 DOFs. As juntas estão representadas através de pontos posicionados no esqueleto da Figura 14. Os limites de cada junta são tratados pelas diferentes constantes de elasticidade empregadas nas equações que regem o comportamento dinâmico de cada músculo, permitindo uma maior ou menor faixa de deslocamento.

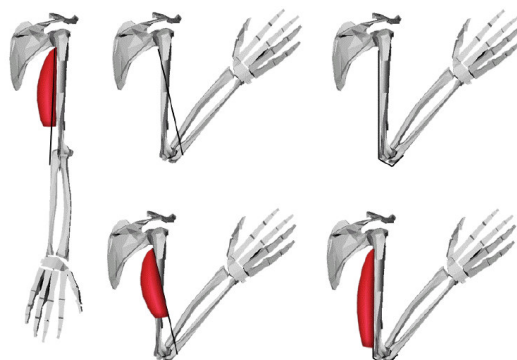


Figura 13: A utilização de músculos deformáveis dispostos em suas posições originais

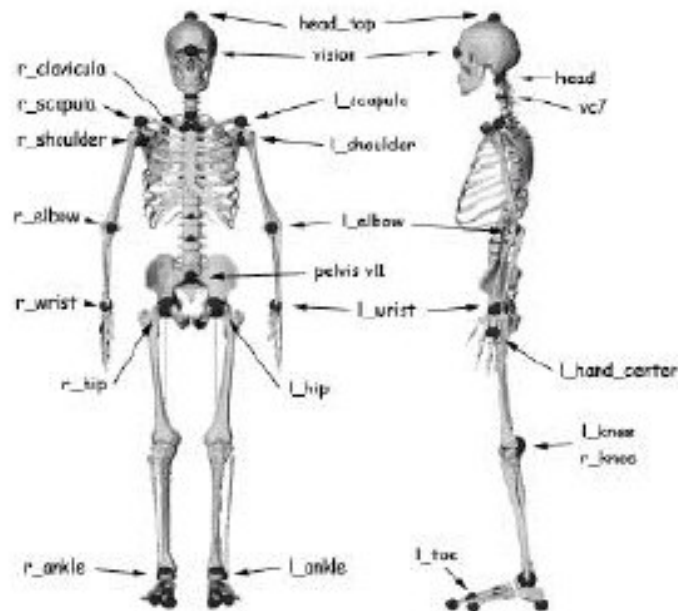


Figura 14: A posição das juntas no modelo articulado utilizado em [Nedel *et al.*, 1999].

4.2.7 Jack

A estrutura articulada mais completa encontrada, empregada na representação de humanóides, foi a representada por Jack, um sistema de simulação desenvolvido na Universidade da Pensilvânia por [Badler, 1993]. A geometria que compõe o corpo de Jack é formada por uma malha poligonal de 1183 polígonos, incluindo o boné e os óculos (ver Figura 15). Para o dimensionamento de cada segmento do modelo criou-se um programa tabulador denominado SASS (*Spreadsheet Anthropometry Scalling System*), capaz de fornecer as medidas antropométricas de um determinado indivíduo a partir da tabulação de dados fornecidos pelo usuário. A base de dados interna do programa, como medidas populacionais de comprimento, largura e espessura das partes do corpo, consiste de aproximadamente 6000 pontos organizados por segmentos do corpo e em pedaços paralelos, obtidos a partir do escaneamento superficial de 76 pessoas. Já para a determinação da posição espacial de cada junta no corpo de Jack, foi necessária a criação de algoritmos que calculassem tais pontos, uma vez que somente os dados obtidos a partir do escaneamento superficial não forneciam tais informações, pois a posição de cada junta se localiza dentro do próprio corpo humano. Por exemplo, para o cálculo das coordenadas (X,Y,Z) da posição das juntas do tornozelo direito e esquerdo, foram utilizados os seguintes procedimentos [Badler, 1987]:

- Tornozelo Direito – X e Y foram obtidos através da média das coordenadas (x,y) dos pontos 69 e 71 do escaneamento superficial, maléolo direito e lateral, respectivamente. Z foi determinado a partir da coordenada z do ponto 36 do escaneamento superficial, *sphyrion* direito;
- Tornozelo Esquerdo – X e Y foram obtidos através da média das coordenadas (x,y) dos pontos 68 e 70 do escaneamento superficial, medial esquerdo e maléolo lateral, respectivamente. Z foi determinado a partir da coordenada z do ponto 35, *sphyrion* esquerdo.

Mãos totalmente articuladas e pés articulados o suficiente para prover flexão dos dedos e dos calcanhares, foram anexados ao corpo de Jack. O tronco, por sua vez, apresenta 17 segmentos flexíveis limitados por juntas vertebrais com 1, 2 ou 3 DOFs cada. Num total de 68 juntas e 69 segmentos totalmente conectados entre si, o sistema Jack é composto de 136 DOFs. Cada DOF apresenta limites inferiores e superiores minuciosamente analisados e extraídos da Biomecânica, fazendo com que as rotações não se propaguem enquanto os limites das juntas estiverem para ser excedidos.

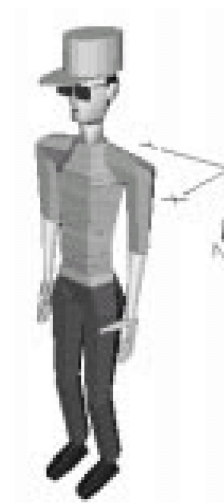


Figura 15: A geometria que compõe o corpo de Jack [Badler, 1993].

4.2.8 H-anim

Com o objetivo de resolver o problema da ausência de padrão para avatares (humanóides virtuais controlados pelo participante de um ambiente virtual), criou-se a especificação H-Anim [H-Anim, 2001]. Trata-se de um padrão que permite a modelagem de humanóides através dos mecanismos do VRML (*Virtual Reality Modeling Language* – uma linguagem para a modelagem e descrição de mundos e objetos 3D, permitindo a criação de simulações interativas em tempo real com a participação de múltiplos usuários), possibilitando assim a criação de bibliotecas de avatares totalmente compatíveis entre si. Simples e flexível, o padrão H-Anim está totalmente focado na criação de humanóides, ao invés de figuras articuladas arbitrárias, permitindo o acesso direto a todas as juntas do corpo do humanóide bem como aos vértices de cada segmento, além de possibilitar que os humanóides possam ser animados através de qualquer técnica de animação.

De um modo geral, o padrão H-Anim define e organiza hierarquicamente alguns nós (*nodes*) do VRML, classificando-os em nós *Humanoid*, *Joint*, *Segment*, *Site* e *Displacer*. Cada nó desse irá então desempenhar uma função diferente na representação da estrutura de um humanóide, como a adição de vistas e informações autorais, a localização de cada junta, a descrição geométrica de cada segmento e assim por diante.

A estrutura hierárquica de cada humanóide H-Anim é definida dentro de um campo denominado *skeleton*, que pertence ao nó *Humanoid*, caracterizando este nó então como o topo de toda a hierarquia. O nó *Humanoid* apresenta ainda outros campos que permitem a adição de informações adicionais, como os direitos autorais, vistas para visualização de pontos estratégicos, versão, etc.

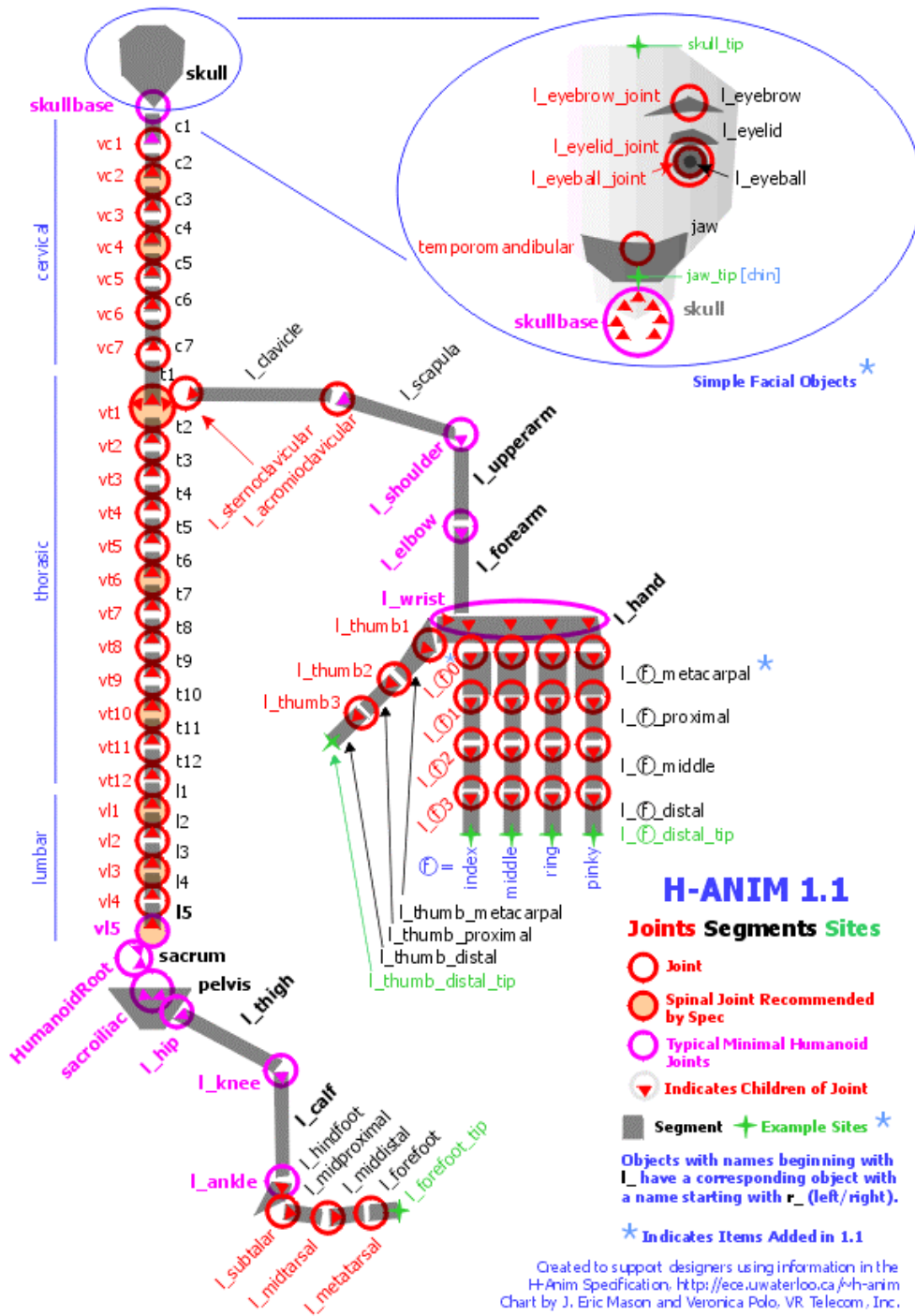


Figura 16: Hierarquia de articulações da especificação H-Anim [H-Anim, 2001].

Com a finalidade de concentrar e expandir as transformações que serão aplicadas ao esqueleto como um todo, a junta *HumanoidRoot* faz com que uma transformação geométrica aplicada a si mesma afete todos os demais segmentos que fazem parte da estrutura. Segundo a especificação H-Anim, o nó *Joint HumanoidRoot* deve estar localizado na região do quadril, dividindo o humanoíde em parte superior e parte inferior (ver Figura 16). A especificação H-Anim permite ainda ao usuário escolher o número de articulações necessárias para sua animação, sugerindo também uma lista com as posições e coordenadas espaciais (dados retirados de [Badler, 1993]) para o posicionamento das articulações mais utilizadas, determinando porém apenas um número mínimo estipulado em 10 juntas e 8 segmentos, conforme indicado em rosa na Figura 16.

5 Discussão

Este capítulo visa discutir a seguinte pergunta: até que ponto é possível simplificar a estrutura de um humanóide sem comprometer a veracidade da animação e os resultados da análise de um determinado movimento, ou seja, sem prejudicar o realismo e a precisão de uma simulação?

5.1 O custo computacional, o realismo e a precisão

Considerando-se apenas o custo computacional, com certeza a estrutura do humanóide utilizado por [Liu, 1999] seria a mais indicada para fins de simples visualização e de baixo custo computacional (aplicações na Internet, por exemplo, onde a rápida transferência de dados é primordial), tanto que a geometria de seus membros é formada apenas de segmentos de linha, além do número de DOFs por junta ser o menor possível. Da mesma forma, a estrutura do humanóide utilizado por [Badler, 1993] seria a menos indicada para fins como esses, já que apresenta uma geometria bastante detalhada e complexa com um total de 136 DOFs e, como já foi dito nas seções anteriores, geometria detalhada e muitos DOFs são sinônimo de alto custo computacional.

Porém, levando-se em conta apenas o realismo de uma animação, a estrutura humanóide mais adequada para a representação dos movimentos humanos seria aquela que, ao executar um determinado movimento no espaço, desse ao espectador a mais ilusória e convincente idéia de que um movimento humano estaria sendo realmente reproduzido. É natural de se pensar, portanto, que a geometria do corpo de tais modelos deva apresentar o máximo de fidelidade em relação ao corpo humano real, para que à medida que a animação decorra não haja aberrações ou dúvidas quanto ao ser que ali está sendo animado. Assim, tomar por base o conhecimento de anatomia humana nessa modelagem parece ser um caminho atraente. Neste caso, os esforços de [Nedel, 1999], propondo a “humanização” da estrutura do humanóide através da inclusão de modificações na aparência física do esqueleto e do uso de músculos deformáveis, se apresentam como uma boa alternativa.

Segundo [Nedel, 1999], uma das razões que a levou à modelagem do formato ósseo na estrutura é que a visualização do esqueleto durante a animação evita posturas proibidas, uma tarefa tediosa e abstrata quando a estrutura do humanóide é baseada somente em segmentos de linha. Outra razão é que na representação por ossos a inclusão de músculos deformáveis se torna mais fácil, pois são geralmente fixados pelos pontos extremos dos ossos. Além destas vantagens, a definição dos ângulos limites para cada junta se torna bem mais precisa quando se utilizam ossos para a representação dos segmentos, conforme pode ser visto na estrutura do dublê virtual utilizado por [Faloutsos, 2001].

Agora, considerando-se apenas o aspecto precisão, a estrutura humanóide mais adequada e capaz de fornecer os resultados mais precisos e confiáveis numa simulação seria aquela que oferecesse o melhor, maior e mais fino controle sobre os parâmetros de animação. Em outras palavras, tal estrutura deve ser completamente articulada, possibilitando o controle de um grande número de segmentos através da manipulação do maior número possível de parâmetros de animação. Deste modo, o modelo humanóide proposto por [Badler, 1999], antes considerado inadequado para aplicações onde o custo computacional deveria ser o menor possível, agora representa o modelo mais completo e mais indicado para simulações precisas dos movimentos humanos, pois permite um controle refinado de uma enorme variedade de parâmetros de animação.

5.2 As simplificações

Como vimos, em grande parte das análises de movimento, faz-se necessária a utilização de algumas simplificações na estrutura do humanóide. No entanto, em várias aplicações, considerar somente os ossos e as articulações como o único fator de influência nos movimentos do corpo humano, poderia trazer conseqüências bastante desastrosas, levando a falhas na animação e a resultados imprecisos. Na simulação de atividades esportivas [Hodgins, 1995] e aplicações biomédicas [Nedel, 1998], por exemplo, fatores como os efeitos da deformação da pele e fatores biomecânicos musculares são muito importantes e, portanto, precisam ser considerados no processo de animação. Num indivíduo adulto, idade na qual se considera terminado o desenvolvimento orgânico, o número de ossos é de 206. Este número,

todavia, pode variar, se levarmos em consideração fatores etários, individuais ou critérios de contagem [Fattini, 1987]. Portanto, mesmo que fossem considerados apenas os ossos e as articulações como único fator determinante aos movimentos do corpo humano, em algumas simulações seria preciso ainda uma avaliação até mesmo do número mínimo de segmentos da estrutura que representariam o número de ossos necessários para a correta representação de um determinado movimento em uma determinada aplicação.

Já a “aglutinação” de ossos, como é feita em muitas estruturas, ou seja, a representação de determinados conjuntos de ossos por meio de um único segmento rígido, é outra simplificação na qual se deve ter muito cuidado ao utilizar, dependendo da aplicação. Existem alguns grupos de juntas mais complexas, como as dos ombros, da coluna e dos pés, onde dependências inerentes a várias juntas requerem mais cuidado e sofisticação na modelagem. Além disso, embora as articulações humanas tenham sido comparadas a formas geométricas tais como a esfera, seus movimentos requintados e sua capacidade funcional de longa duração ultrapassam qualquer junção jamais fabricada pelo homem.

5.3 A localização do centro de junta

Um ponto muito interessante é a determinação da localização do centro de cada junta, isto é, onde cada junta deverá ser posicionada na estrutura do humanóide. Embora num modelo antropométrico não existam maiores questões a esse respeito, pois a região de contato entre dois segmentos define o centro de junta, definir a posição do centro das juntas na estrutura computacional de um humanóide é um problema um tanto desafiador. Como o centro de cada junta está claramente localizado dentro do próprio corpo humano, na região onde dois segmentos se encontram, e os dados antropométricos tomados como referência são informações superficiais do corpo humano como comprimento e espessura, obtidas normalmente a partir do escaneamento superficial do corpo ou através de captura de movimento, a posição de cada centro de junta bem como suas respectivas faixas de deslocamento são normalmente deduzidas. Por exemplo, ao analisarmos alguns dados obtidos através de um escaneamento superficial humano ou através de uma sessão de captura de movimento [Badler, 1987][Silva, 1998], da área em volta da junta do cotovelo, saberemos a posição dos quatro pontos onde o braço superior e inferior se unem, assim como seus respectivos comprimentos. Alguém poderia então presumir, sem maiores cuidados, que o centro de tal junta estaria localizado equidistantemente entre os quatro pontos capturados, sobre a linha imaginária que une os extremos de cada segmento. Embora tal consideração seja boa como um ponto de partida ou até mesmo adequada para algumas juntas, para outras poderia comprometer a precisão da simulação, dado seus elevados graus de complexidade.

5.4 A contribuição de cada segmento

Existe ainda uma outra questão, relacionada à importância e à contribuição de cada segmento para um determinado tipo de simulação. Ao simularmos o movimento de andar, por exemplo, qual a contribuição dos membros superiores para tal movimento, ou ainda, será que não poderíamos simplificar um pouco mais a parte relativa aos membros superiores desta estrutura? Segundo [Amadio, 1999], a contribuição da energia mecânica dos segmentos para a análise biomecânica da locomoção humana, é quatro vezes maior nos membros inferiores que nos superiores, o que só tende a confirmar tal hipótese. Podemos ainda observar as modificações estruturais priorizando certos segmentos do corpo, principalmente a nível de DOFs, realizadas por [Hodgins, 1995] em seus humanóides de acordo com cada tipo de simulação. Como vimos, na modelagem do ciclista a autora manteve o mesmo número de juntas e segmentos da ginasta, no entanto reduziu o número de DOFs do pescoço, dos quadris e dos tornozelos, simplificando a estrutura do humanóide para a simulação do movimento na bicicleta. Já no modelo utilizado para a representação do fundista a autora aumentou o número de segmentos do humanóide de 15 para 17 e o número de juntas de 14 para 16, dividindo o pé em calcanhar e dedos, ou seja, adaptando mais uma vez a estrutura do humanóide de acordo com o tipo de simulação na qual será destinado.

5.5 A padronização H-Anim

Como vemos, a comparação entre os diversos modelos humanóides encontrados na literatura demonstra a clara existência de um forte compromisso entre custo computacional, realismo e precisão, o que aparentemente nos leva a um delicado processo de escolha da estrutura mais adequada conforme o tipo de aplicação ou simulação na qual será destinada. Nesse sentido, seria interessante, pois, um humanóide que permitisse ao animador manipular e personalizar facilmente sua estrutura, conforme cada tipo de simulação. É neste aspecto, portanto, que a tentativa de padronização e criação de uma estrutura mais maleável, capaz de ser facilmente adaptada e modificada pelo animador conforme o tipo de animação, representada no padrão H-Anim, se mostra tão importante. Conforme visto anteriormente, o padrão H-Anim permite ao animador definir o número de juntas necessárias para sua animação, bem como modelar, conforme sua vontade, a geometria de cada segmento pertencente ao corpo do humanóide. No entanto, o padrão H-Anim ainda tem muito que melhorar, principalmente em termos de precisão, pois como vimos sua estrutura ainda não abrange o controle de todos os 206 ossos presentes no corpo humano, na verdade não abrange nem mesmo a metade disso. Além do mais, na forma como estão especificadas as localizações dos centros de junta, ou seja, sugerindo a modelagem do humanóide na posição vertical de acordo com as coordenadas dos centros de junta do modelo humanóide de [Badler, 1993], deixa margens para imprecisões nos resultados de determinados tipos de simulações, conforme discutido anteriormente.

6 Conclusão

Durante as últimas décadas, a modelagem virtual do corpo humano através de humanóides veio atraindo cada vez mais a atenção de pesquisadores do mundo inteiro. Hoje já não é mais fantasia imaginarmos que alguém possa ver a si mesmo em um ambiente virtual, caminhando e interagindo com o ambiente. Técnicas de inteligência artificial e agentes autônomos deram aos personagens vida própria e permitiram que interagissem uns com os outros. As técnicas de animação por computador atingiram níveis tão elevados de realismo que os movimentos dos personagens virtuais chegaram muito perto da realidade física. O aumento de potencial computacional e a melhora em métodos de controle permitiram a criação de modelos anatômicos tridimensionais para utilização na medicina, simulações cirúrgicas, ensino de anatomia, planejamento de tratamentos radioterápicos, processos médicos de diagnóstico e na simulação de atividades esportivas, entre várias outras aplicações.

No entanto, simular virtualmente os movimentos do corpo humano no computador não é uma tarefa muito fácil, pois como sabemos nosso corpo é um sistema extremamente complexo e seus movimentos dependem coletivamente da ação de músculos, ossos, ligamentos, tendões e uma série de outros fatores que o torna uma obra única de Deus, impossível de ser fielmente copiada ou detalhada. Modelar uma estrutura com uma complexidade biológica dessa escala requer, portanto, simplificações e aproximações a serem assumidas, além de uma boa estratégia de controle para que os movimentos dos humanóides fiquem similares aos humanos. Por este motivo, representar os ossos e as articulações humanas por meio de uma estrutura hierárquica articulada parece ser a melhor estratégia de controle dos parâmetros da animação. Além disso, no modelo hierárquico a posição de cada articulação é definida automaticamente, sendo que apenas a primeira articulação precisa ser posicionada no espaço, enquanto que o resto da estrutura é comandado apenas pelos ângulos relativos entre as articulações.

Com relação a simplificações e aproximações, existem diversos tipos e métodos que podem ser utilizados e que na verdade são freqüentemente empregados nos mais variados tipos de estruturas articuladas encontradas na literatura de animação. É também neste contexto, levando-se em conta as simplificações feitas numa estrutura, que surgem as maiores indagações a respeito do custo computacional, realismo e precisão de um humanóide em relação a um determinado tipo de simulação. Busca-se sempre, na representação computacional dos movimentos humanos, um modelo ideal, adequado para todos os tipos de simulações, em que o custo computacional imposto por sua estrutura seja mínimo, seu realismo inquestionável e seu grau de precisão o mais elevado possível. No entanto, um modelo com todos estes predicados não pôde ser identificado, até o momento.

A comparação entre as diversas estruturas encontradas na literatura nos mostra que o que existe sim é uma forte relação entre o custo computacional, o realismo e a precisão de uma estrutura, e que é preciso uma análise minuciosa do modelo mais adequado conforme o tipo de aplicação na qual será destinado. O que se percebe, no entanto, é que não existe essa preocupação com o limite de simplificações permitido para um determinado tipo de simulação, nem tão pouco tentativas de padronização ou criação de tabelas, classificando e relacionando cada tipo de simulação ou movimento com seu respectivo limite tolerável de simplificação da estrutura do humanóide. É interessante perceber ainda que, mesmo para análises biomecânicas, onde se supõe uma maior preocupação com a precisão e a correta representação dos movimentos humanos, utiliza-se das várias técnicas de simplificação apresentadas aqui, inclusive a simplificação da forma da junta.

Conclui-se, que o limite máximo de simplificações permitidas para uma estrutura é variável e depende do tipo de simulação na qual o modelo será utilizado. Deste modo, é fundamental uma análise rigorosa da estrutura do humanóide que se pretende utilizar para a simulação de um determinado movimento, pois embora tal estrutura possa ser adequada para alguns movimentos não necessariamente será para outros, comprometendo a precisão dos resultados.

7 Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ, pelo importante apoio financeiro através da bolsa de Iniciação Científica concedida, e ao professor Mario Cesar de Andrade do CEFID/UEDESC, por seus preciosos comentários sobre Captura de Movimento e Biomecânica.

8 Bibliografia

- [Amadio, 1996] Amadio, A. Carlos. “Fundamentos Biomecânicos para a Análise do Movimento Humano”. Laboratório de Biomecânica – EEFUSP. 162p. São Paulo, 1996.
- [Amadio, 1999] Amadio, A. Carlos. “Contribuição da Energia Mecânica dos Segmentos para a Análise Biomecânica da Locomoção Humana”. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 15, n. 1-2, pp. 69-78, jan/ago, 1999.
- [Badler, 1987] Badler, N. I.; Grosso, R. Marc & Quach, D. Richard. “Anthropometry for Computer Graphics Humans Figures”. Technical Report MS-CIS-87-71, University of Pennsylvania, Dept. of Computer and Information Science, Philadelphia, PA, 1987.
- [Badler, 1993] Badler, N. I.; Phillips, C. B. & Webber, B. L. “Simulating Humans: Computer Graphics, Animation and Control”. Oxford University Press, 1993.
- [Dempster, 1955] Dempster, W. T. “The Anthropometry of the Body in Action”. Ann. NY Acad. Sci. 63:559-85, 1955.
- [Faloutsos, 2001] Faloutsos, Petros; Panne, M. & Terzopoulos, D. “The Virtual Stuntman: dynamic characters with a repertoire of autonomous motor skills”. Elsevier Science Ltda, Computer & Graphics 25, pp. 933-953, 2001.
- [Fattini, 1987] Fattini, Carlos A. & Dangelo, José C. “Anatomia Básica dos Sistemas Orgânicos”. Série Biomédica. Livraria Atheneu, Edições Atheneu. Rio de Janeiro - São Paulo, 1987.
- [Gonçalves, 2001] Gonçalves, Luiz M. G. & Silva, Fernando W. V. “Control Mechanisms and Local Perception to Support Autonomous Behavior in Virtual Animated Agentes”. Pergamon, Computer & Graphics 25, pp. 965-982, 2001.
- [H-Anim, 2001] H-Anim. “The Humanoid Animation Specification”. Humanoid Animation Working Group. www.h-anim.org, 2001.

- [Hanavam, 1964] Hanavam, E. P. "A Mathematical Model of the Human Body". AMRL-Technical Report, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 64-102, 1964.
- [Hatze, 1980] Hatze, H. A. "Mathematical Model for the Computational Determination of Parameter Values for Anthropomorphic Segments". J. Biomech 13:833-43, 1980.
- [Hodgins, 1995] Hodgins, Jessica K.; Wooten, W. L.; Brogan, D. C. & O'Brien, J. F. "Animating Human Athletics". Proceedings of Computer Graphics (SIGGRAPH'95), pp. 71-78, 1995.
- [Hodgins, 1999] Hodgins, Jessica K.; O'Brien, J. F. & Bodenheimer, R. E. "Computer Animation". Wiley Encyclopedia of Electrical and Eletronics Engineering, (03) pp. 686-690, 1999.
- [Liu, 1999] Liu, Xiaoming; Zhuang, Y. & Pan, Y. "Video Based Human Animation Technique". Institute of Artificial Intelligence, ZheJiang University, Inproceedings'99, pp. 353-362. China, 1999.
- [Maciel, 2001] Maciel, Anderson. "Modelagem de Articulações para Humanos Virtuais Baseada em Anatomia". Dissertação de Mestrado, PPGC da UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- [McKerrow, 1993] McKerrow, P. "Introduction to Robotics". Addison-Wesley, 1993.
- [Nedel, 1998] Nedel, Luciana P. "Simulating Virtual Humans". Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens (SIBGRAPI'98). Rio de Janeiro, 1998.
- [Nedel, 1999] Nedel, Luciana P., Molet, T. & Thalmann, D. "Animation of Virtual Human Bodies Using Motion Capture Devices". Proceedings of 2nd Brazilian Workshop on Virtual Reality (WRV'99), pp. 139-150. Marília, SP, Brasil, Novembro, 1999.
- [Silva, 1998] Silva, Fernando "Um Sistema de Animação Baseado em Movimento Capturado". Tese de M. Sc., UFRJ. COPPE/Sistemas, Rio de Janeiro, 1998.
- [Zatziorsky, 1984] Zatziorsky, V. M.; Aruin, A. S.; Selujanow, W. N. "Biomechanik des Menschlichen Bewegungsapparates". Berlin, Sportverlag. 1984.