

O resultado final da modelagem pode ser visto abaixo na Figura 6.3.

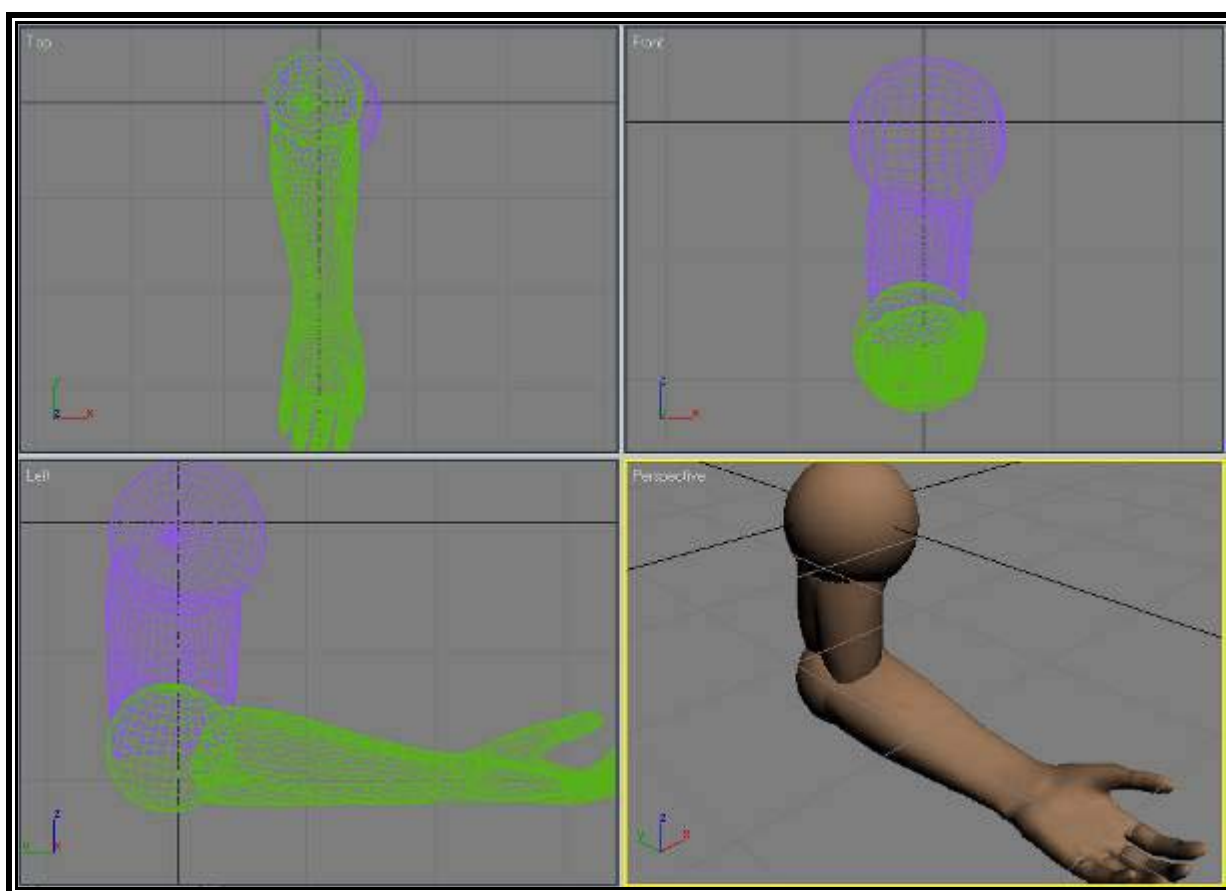


**Figura 6.3 – Braço virtual modelado.**

A Figura 6.4 a seguir detalha a modelagem de um braço virtual no ambiente *3D Studio Max*<sup>TM</sup>. Para o sistema proposto várias versões de membros e próteses foram modeladas, mas somente dois modelos são usados: um modelo prótese com luva semelhante a um braço exceto pelas articulações, e outro modelo esquelético.

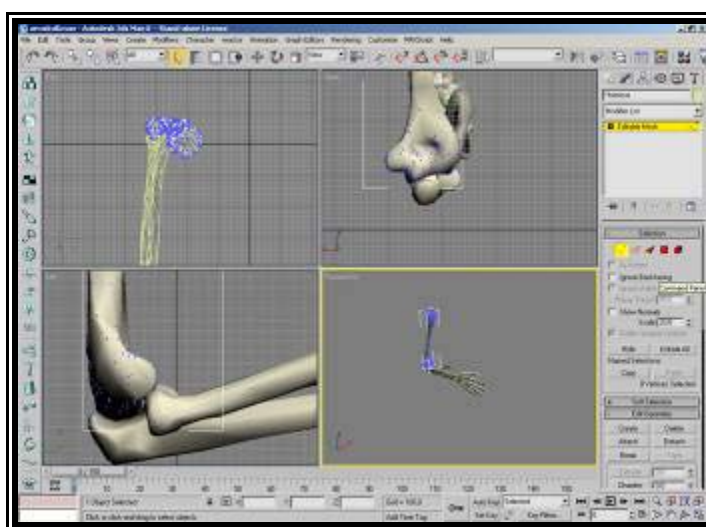


**Figura 6.4 – Modelo 3D de Braço sendo modelado no software 3D Studio Max.**

Após a modelagem estar completa os modelos são exportados para o formato VRML, para ser usado no ambiente RA e para formato *DirectX* extensão .X pois o modelo utilizado na janela RV usa o modelo em *DirectX*. O software *3D Studio Max* não faz a conversão automática, necessitando usar um conversor disponibilizado pela *Microsoft* com interface *Conv3DS Helper* (Figura 6.5).

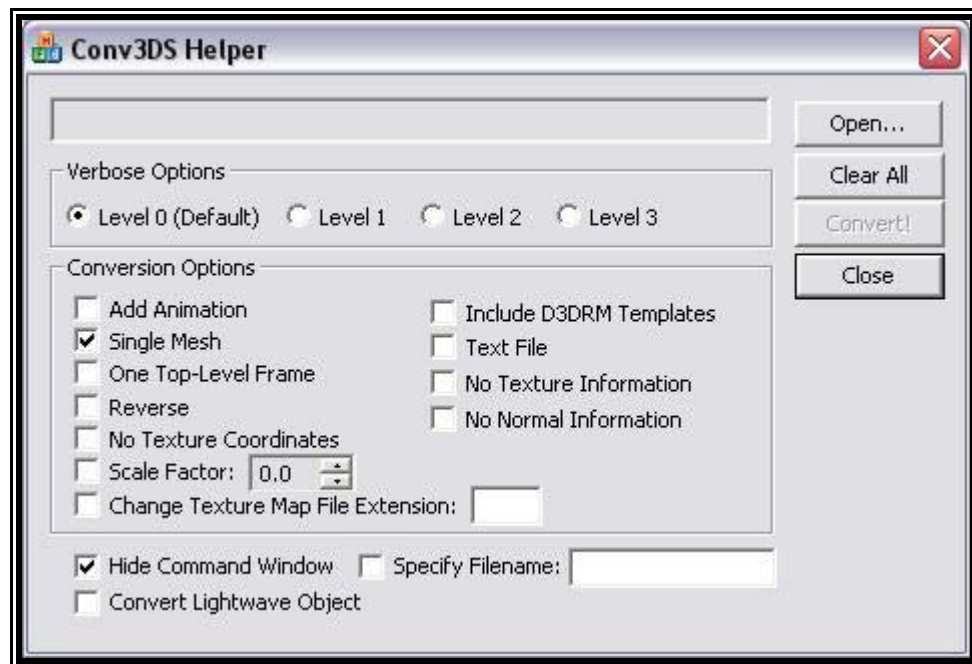


Figura 6.5 – Interface do conversor de arquivos 3DS para X.

## 6.4 Características dos Estágios Desenvolvidos

O sistema possui alguns estágios relevantes que serão expostos abaixo:

### 6.4.1 Estágio de Janelamento

Este estágio determina o tamanho da janela de análise do sinal EMG, estabelecendo o início e o fim da atividade eletromiográfica com base em limiares de 0,025V de amplitude pré-definidos segundo [ANDRADE, 2000].

O tamanho da janela adotada para a análise foi de 200 ms ou 1000 amostras a partir do início da atividade muscular (Figura 6.6), isso se dá, pois com essa quantidade de pontos é suficiente para determinação do movimento segundo [ANDRADE, 2000].

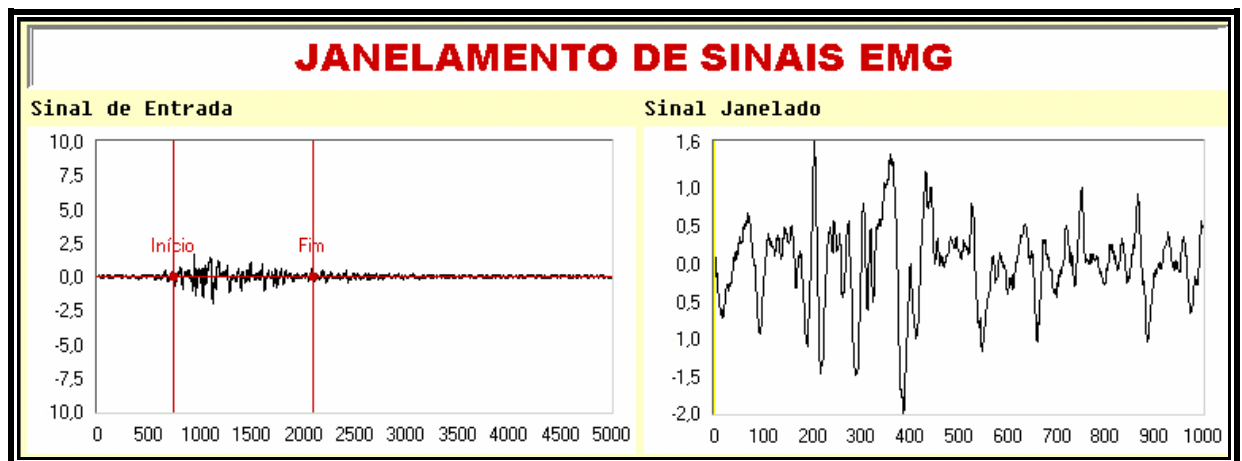


Figura 6.6 - Ilustração do Janelamento do sinal EMG Extraído de [ANDRADE, 2000].

#### 6.4.2 Estágio de Extração de Características

Este estágio é responsável pela determinação e representação das características do sinal EMG. A análise dos coeficientes AR (Capítulo 2, página 26) que alimenta uma RNA que faz a classificação do movimento.

#### 6.4.3 Estágio de Classificação e Controle dos Membros Virtuais

Este estágio de tomada de decisão é o responsável pela associação das características extraídas do sinal EMG a um conjunto de classes previamente especificadas, por um dos movimentos do cotovelo: extensão e flexão (Figura 6.7) ou do punho: supinação e pronação (Figura 6.8).

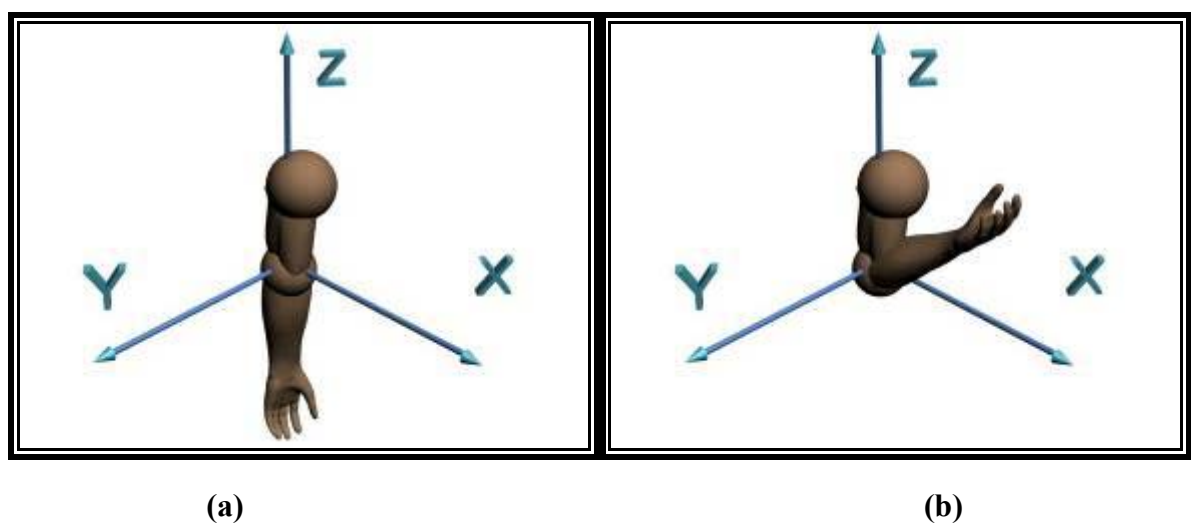


Figura 6.7 – Movimentos de: (a) Extensão e (b) Flexão de Membro Superior.

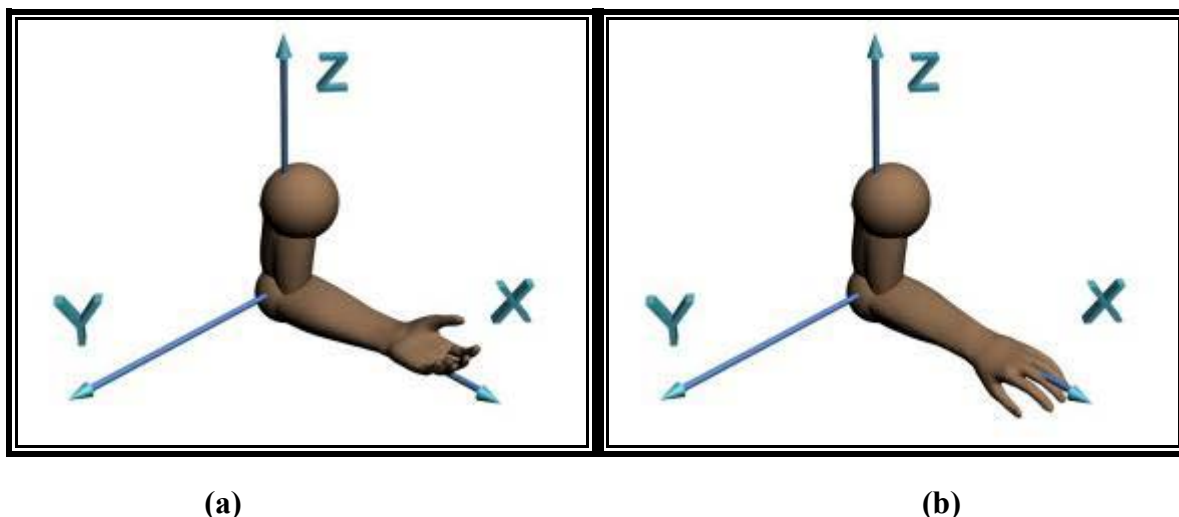


**Figura 6.8 – Movimentos de: (a) Supinação e (b) Pronação de Membro Superior.**

Seguindo como modelo o trabalho em [ANDRADE et al, 2002], adotou-se o uso de modelos virtuais com 2 graus de liberdade.

#### **6.4.4 Treinamento da RNA**

Para cada limiar:

Os 25 grupos de características foram enviados para a RNA aleatoriamente.

Depois de finalizado o treinamento, estes mesmos sinais foram enviados para reconhecimento pela RNA. Observou-se que a rede foi capaz de aprender corretamente todos os sinais de todos os grupos de movimento treinados com as respectivas variações de limiar e padrões de contração (dinâmica e estática) analisados.

Após o cálculo dos coeficientes a RNA recebe estes e classifica os movimentos. A Figura 6.9 representa a **RNA MLP**.

Um exemplo de arquitetura da **RNA MLP** é mostrada na Figura 6.9. Note que neste caso a rede possui uma camada de neurônios de entrada que recebe os coeficientes AR, uma interna (oculta ou escondida) e uma de saída que corresponde à classificação dos movimentos

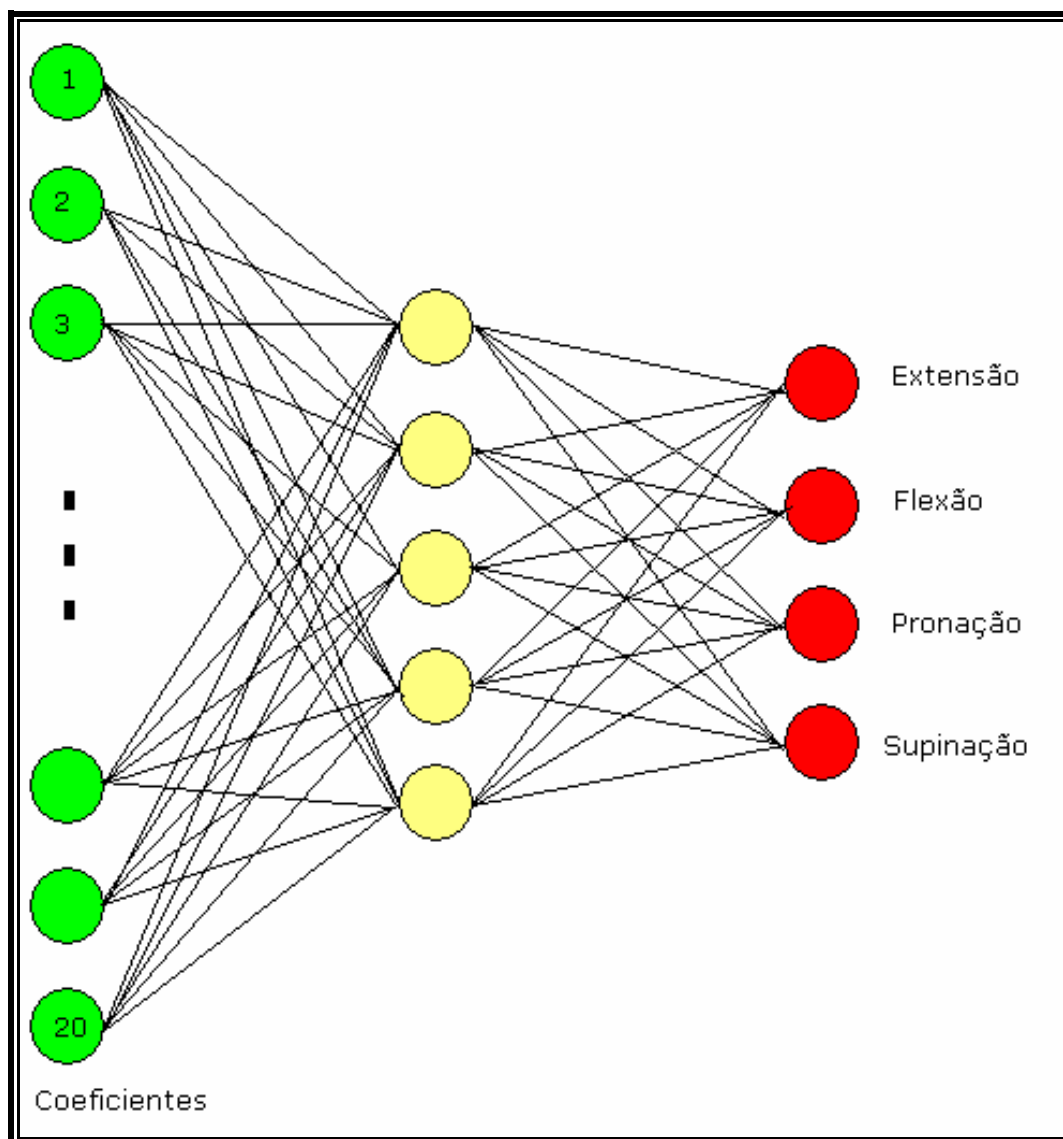


**Figura 6.9 – Rede Neural Artificial MLP.**

Após a classificação do sinal, os ambientes Virtual e Aumentado são atualizados, este processo será detalhado a posteriormente.

#### **6.4.5 Visualização dos movimentos do membro superior**

Os movimentos dos membros seguem a **Tabela 2.1 (página 25)** de amplitude dos movimentos assim como exemplo:

Se o sistema classifica que um sinal é flexão e o membro se encontra estendido ele sofre a flexão de 152 Graus como representado nas Figuras 6.10 e 6.11.

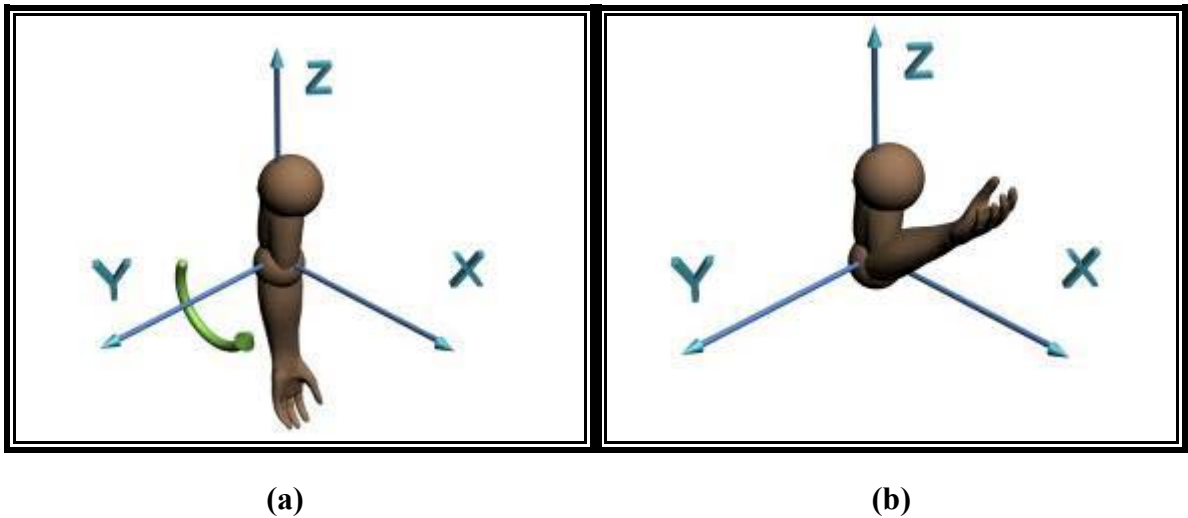


Figura 6.10 – Ilustração do movimento de: (a) Extensão para (b) Flexão

Se o membro já estiver flexionado nada ocorrerá.

Se o sistema classifica que um sinal é de Pronação e a palma da mão se encontra para cima ele efetua a Pronação (Figura 6.11).

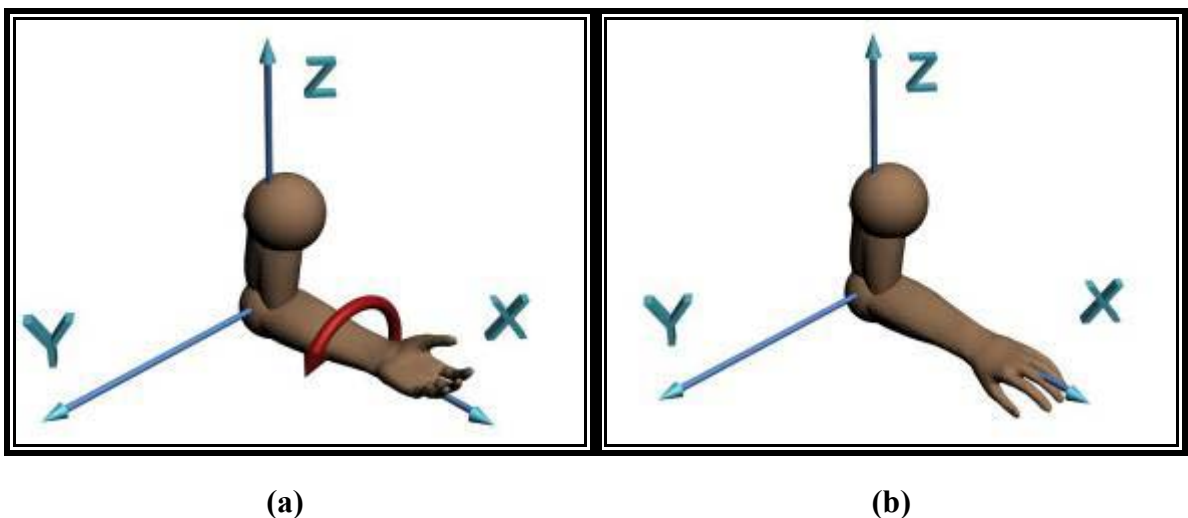


Figura 6.11 – Ilustração do movimento de: (a) Supinação para (b) Pronação

Se a segunda condição não for verdadeira nada ocorrerá.

Na Realidade Aumentada optou-se pelo uso da versão 2.52 do *ARToolKit* e a atualização se dá no arquivo VRML, contudo, o executável *simpleVRML* foi modificado para ser capaz de atualizar automaticamente na frequência 60Hz, a fim de se evitar o efeito de *flicker* (imagem piscando na atualização).

O próprio *VIULPSimulator* atualiza o VRML que será exibido no *ARToolKit*.

#### 6.4.6 Navegação no ambiente virtual

A navegação no ambiente virtual é dividida em rotação do objeto (membro virtual) 360 Graus e translação da câmera ou ponto de vista (*Zoom*) Figura 6.12.

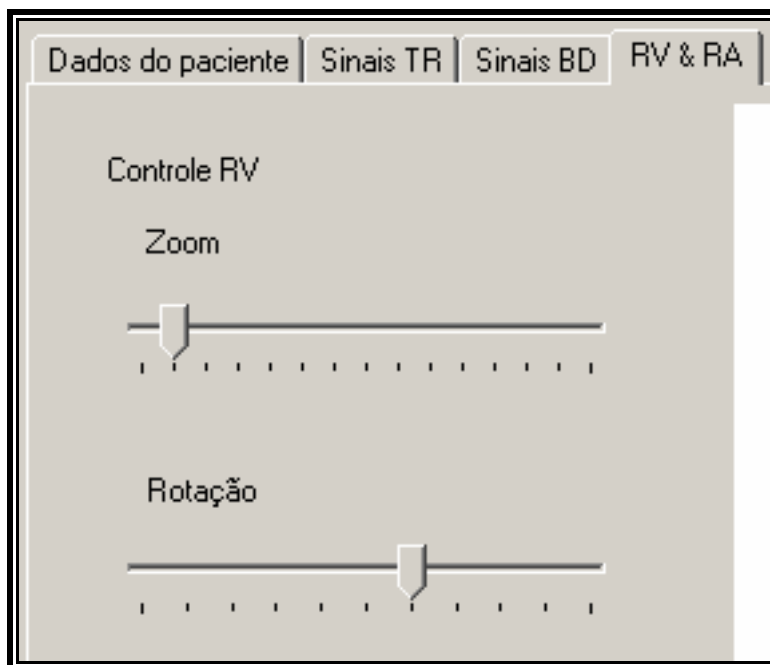


Figura 6.12 – Guia RV & RA, destacando navegação do ambiente RV.

#### 6.5 Considerações Finais

Para leitores e pesquisadores interessados em aprofundar ou continuar a pesquisa o capítulo de Implementação é de grande valia pois expõe algoritmos e técnicas que foram utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa.

A integração das bibliotecas *DirectX* ao *C#* contribuiu muito para se conseguir uma interface gráfica com o usuário integrada ao ambiente virtual que possibilitou, de forma amigável, a manipulação dos objetos na cena.

O próximo capítulo descreve os testes realizados com o sistema e compara os resultados com outros trabalhos.

## 7 Estudo de Caso

### 7.1 Introdução

Este capítulo apresenta um estudo de caso para avaliar as funcionalidades do sistema proposto. Após o início da aquisição de um sinal, ocorre o processamento do mesmo. Os resultados são apresentados usando técnicas de RV e RA, permitindo ao profissional de Bioengenharia ou usuário visualizarem os movimentos detectados com liberdade, e interação.

### 7.2 Estudo de Caso

Para testes foi usado um Banco de Dados (BD) com 200 amostras de exames EMG para cada grupo (isométricos e isotônicos).

O usuário pode selecionar um arquivo do banco de dados. Este arquivo pode ser do tipo (\*.kln) ou (\*.txt). O arquivo .kln é um arquivo criado pelo próprio *VIULPSimulator* e é resultado de uma seção de simulação, o outro arquivo .txt é um sinal EMG que é proveniente de um banco de dados de teste, sendo esses os mesmos usados na validação do sistema classificatório de sinais EMG desenvolvido por [ANDRADE, 2000].

Após a seleção do arquivo este é carregado em um buffer e em seguida os dados são retirados do buffer e passados para função de cálculo dos coeficientes AR.

Os coeficientes são 4 para cada par de sinais, então para um grupo de análise de 1 par são 4 coeficientes resultantes.

Para um grupo com 5 canais são 20 coeficientes resultantes.

O conjunto de coeficientes alimenta uma RNA que classifica o sinal, em 1 dos 4 tipos possíveis.

Uma vez classificado o movimento, a função de Realidade Virtual atualiza o modelo em RA e RV. Todo esse processo pode ser visto conforme (Figura 7.1).

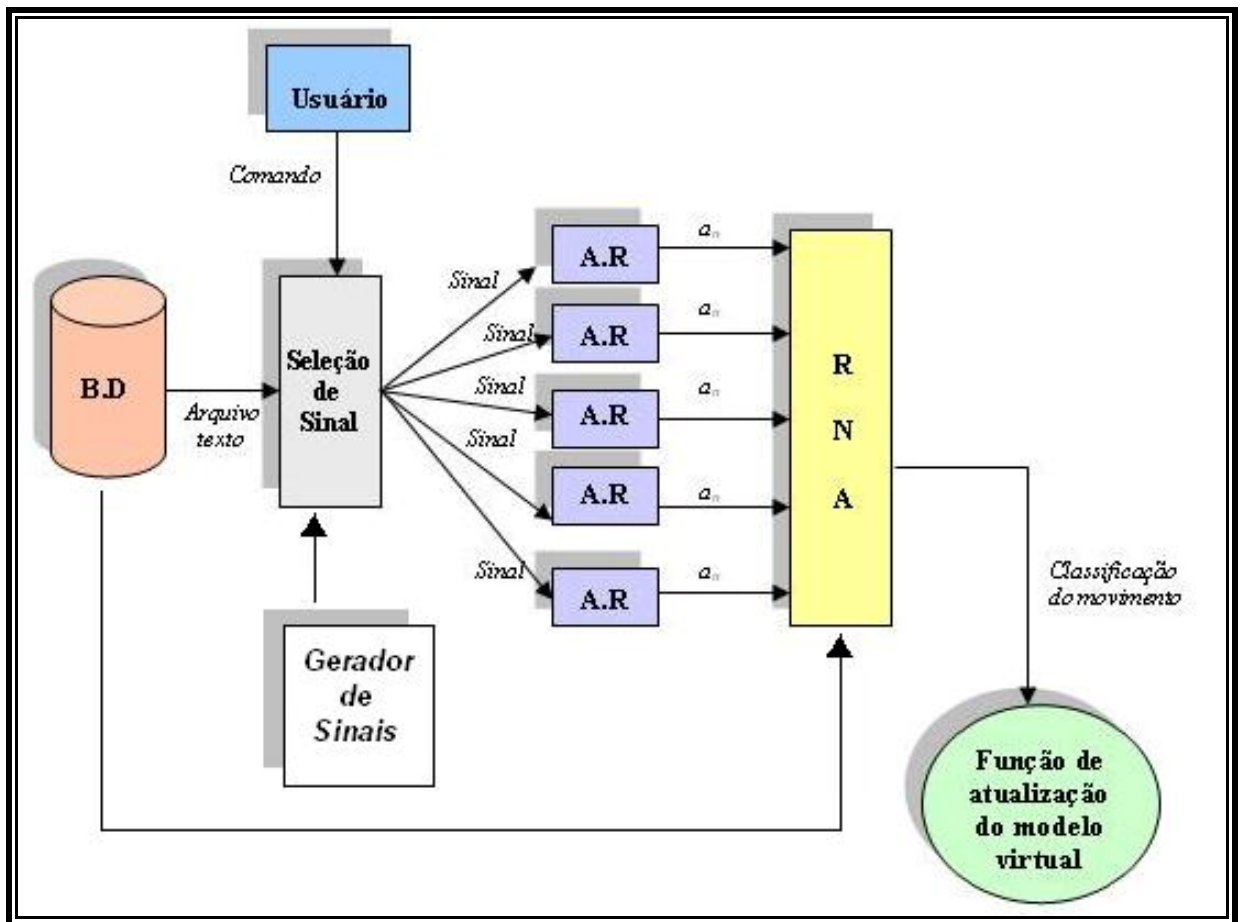


Figura 7.1 – Esquema de funcionamento do sistema *VIULPSimulator*

Visualmente os sinais coletados da aquisição são indistinguíveis como se vê na (Figura 7.2).

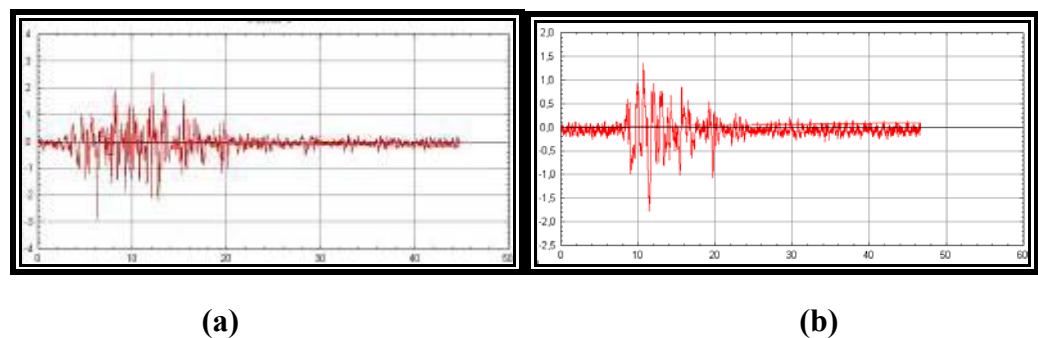
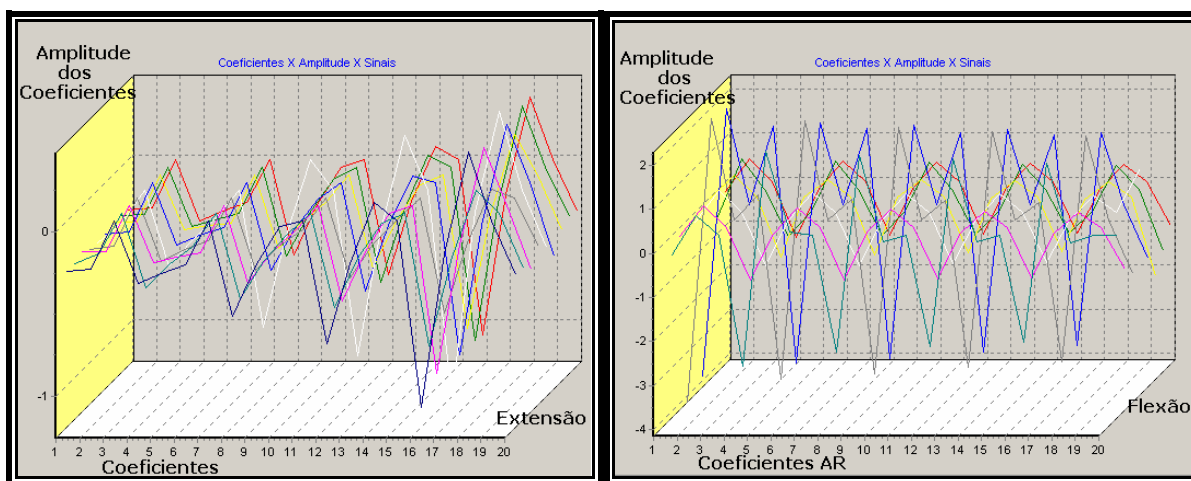


Figura 7.2 – Sinais EMG cuja análise indica: (a) flexão em (b) extensão.

Contudo, após a o cálculo dos coeficientes já é perceptível uma separação dos grupos de movimentos como mostrado nas Figuras 7.3 e 7.4.

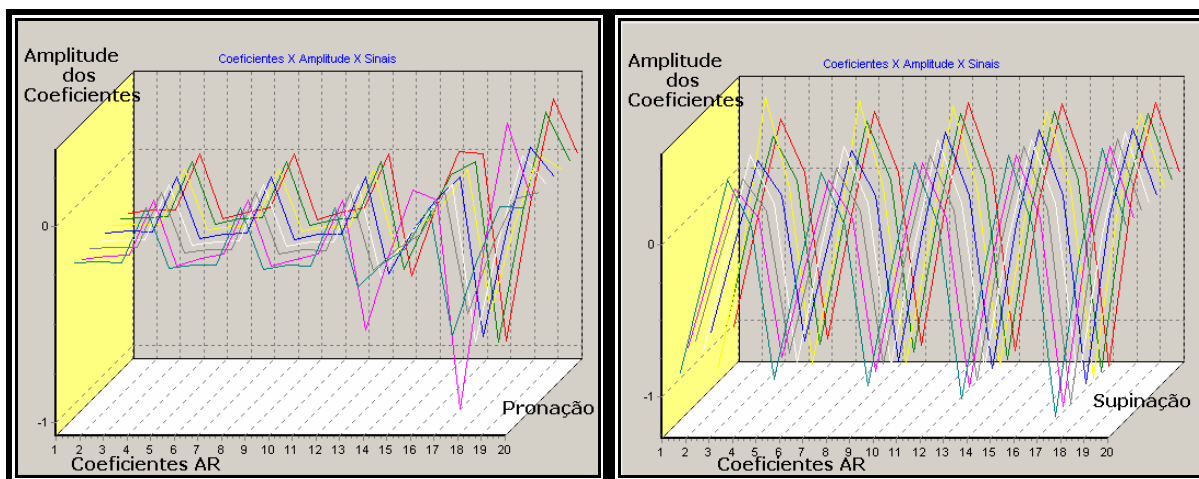


(a)

(b)

**Figura 7.3 – Coeficientes AR para o grupo isométrico com 5 X 4 coeficientes AR**

**Cuja análise indica: (a) Grupo extensão, (b) Grupo flexão.**



(a)

(b)

**Figura 7.4 – Coeficientes AR para o grupo isométrico com 5 X 4 coeficientes AR**

**Cuja análise indica: (a) Grupo pronação, (b) Grupo supinação.**

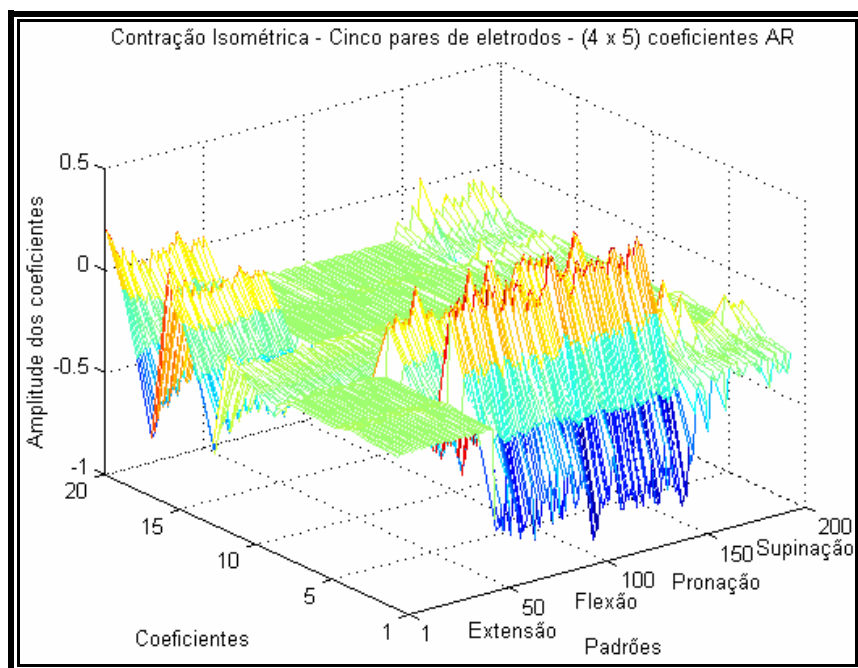


**Figura 7.5 – Coeficientes AR dos quatro movimentos estudados Extraído de [ANDRADE, 2000].**

A classificação efetiva é resultado da RNA MLP. O resultado é passado para a função de atualização RV e RA na forma de um *flag* de controle, que indica qual movimento foi detectado. O processo será mais detalhado abaixo.

Para a melhor exibição do ambiente RA é recomendado o seguinte posicionamento.

- Distância do usuário a câmera de até 1,5 metros.
- Iluminação ambiente com lâmpada fluorescente de 100W, situada até 3 metros do chão.

A Figura 7.6 ilustra o posicionamento recomendado.

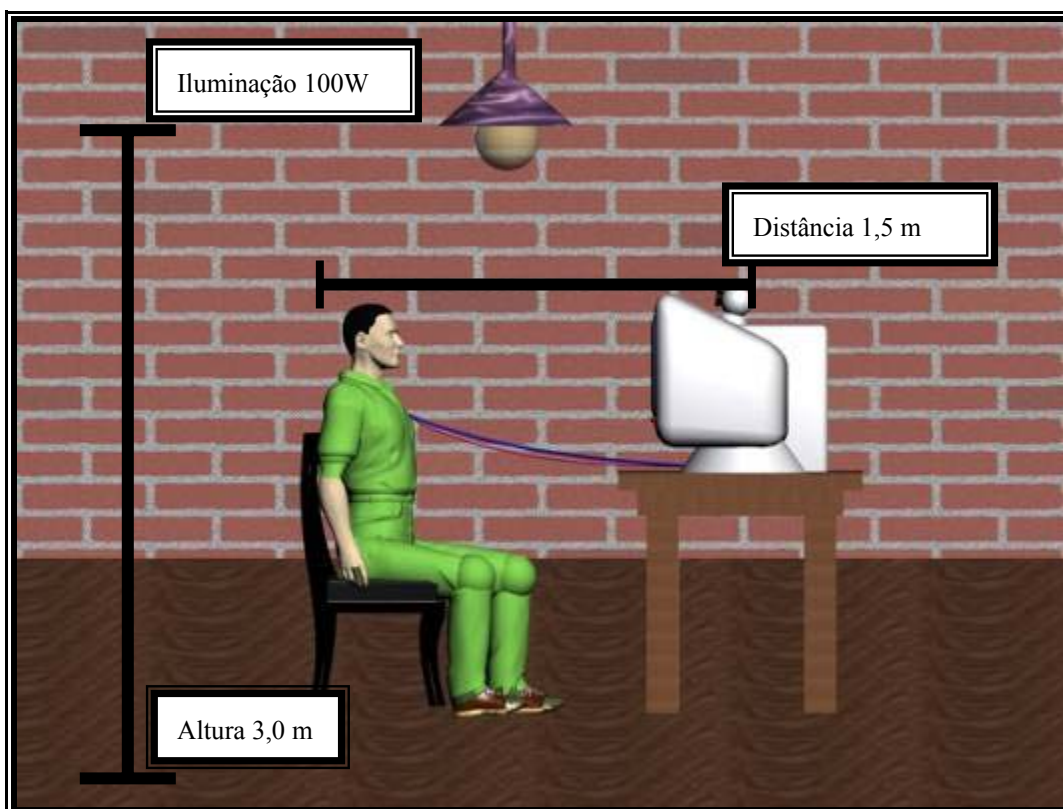


**Figura 7.6 – Posicionamento do paciente para efetuar simulação.**

A Figura 7.7 ilustra o posicionamento do marcador no paciente. Essa posição é recomendada buscando o melhor alinhamento do membro virtual ao corpo do paciente.

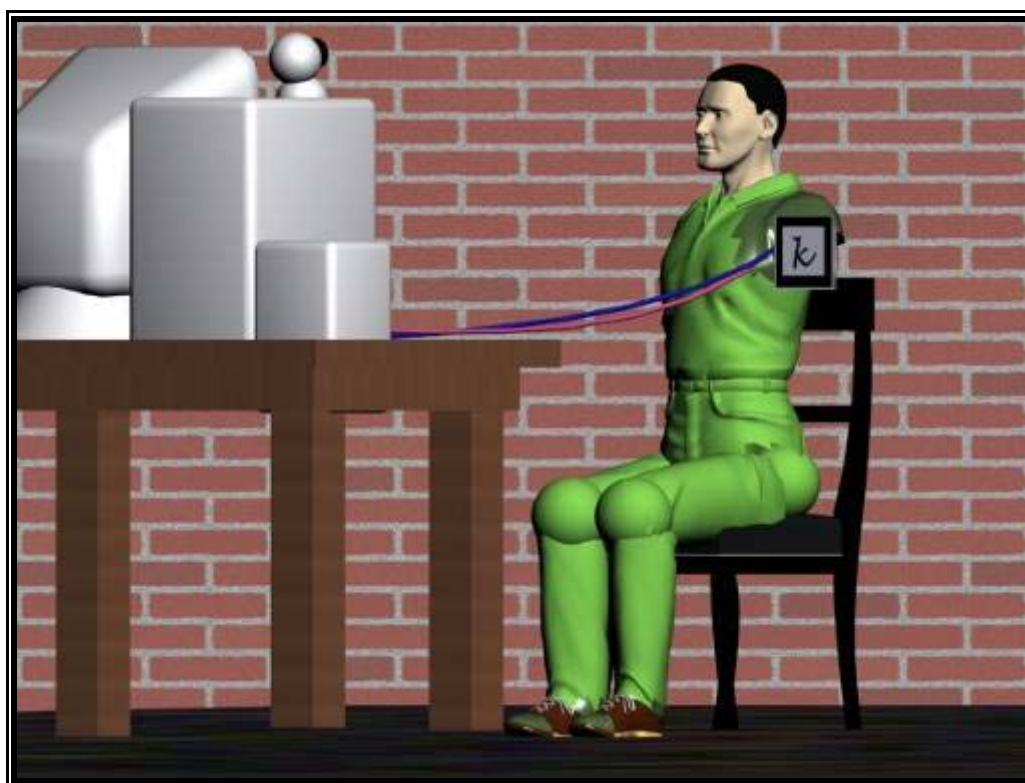


**Figura 7.7 – Visão lateral do paciente posicionado para simulação.**

O usuário posicionado frente à câmera está pronto para começar a simulação, conforme mostra a (Figura 7.8).

Não é necessária a presença dos eletrodos de aquisição como é mostrado na Figura 7.8 para a análise de sinais a partir do Banco de Dados.



**Figura 7.8 – Visão frontal do paciente posicionado para simulação, destacando a posição do marcador.**

#### **a) Análise de um sinal de Extensão**

Um sinal do banco de dados é aberto, ele representa um movimento de Extensão (Figura 7.9). O caminho desse sinal da seleção até o movimento do modelo virtual será detalhado a seguir.

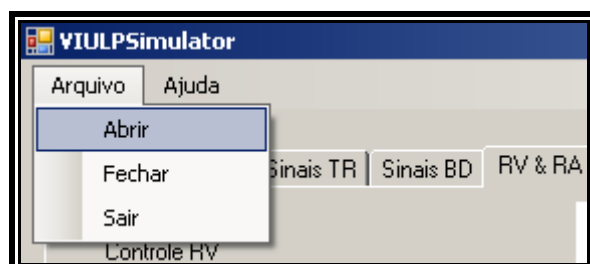


**Figura 7.9 – Abertura de um sinal do Banco de Dados.**

Após abrir o arquivo que contém sinal este é carregado no buffer e inicia-se o cálculo dos coeficientes AR. O sinal aberto é plotado na interface usando-se 5000 pontos por canal (Figura 7.10).

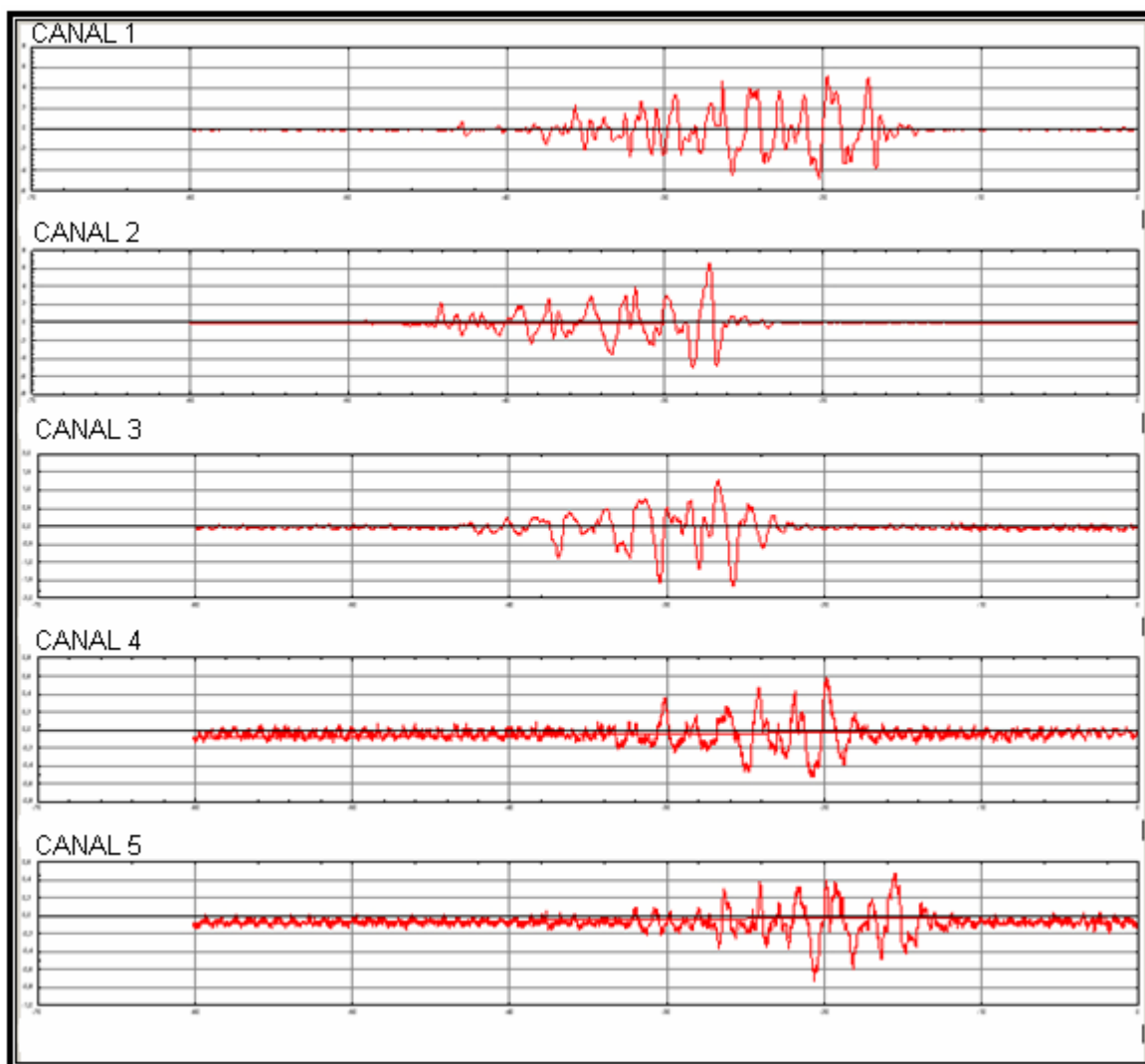


**Figura 7.10 – Sinal EMG que representa o movimento de Extensão (5 canais).**

Após o cálculo dos coeficientes AR estes são plotados na interface. Cada canal possui 4 coeficientes. Como são 5 canais serão 20 coeficientes no total (Figura 7.11).

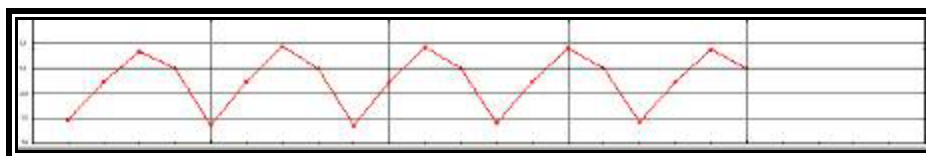


**Figura 7.11 – Coeficientes AR calculados a partir dos sinais da Figura 7.9.**

Com a classificação terminada, o sistema de atualização RV e RA, atualiza a posição da prótese em ambos os ambientes (Figuras 7.12 e 7.13).

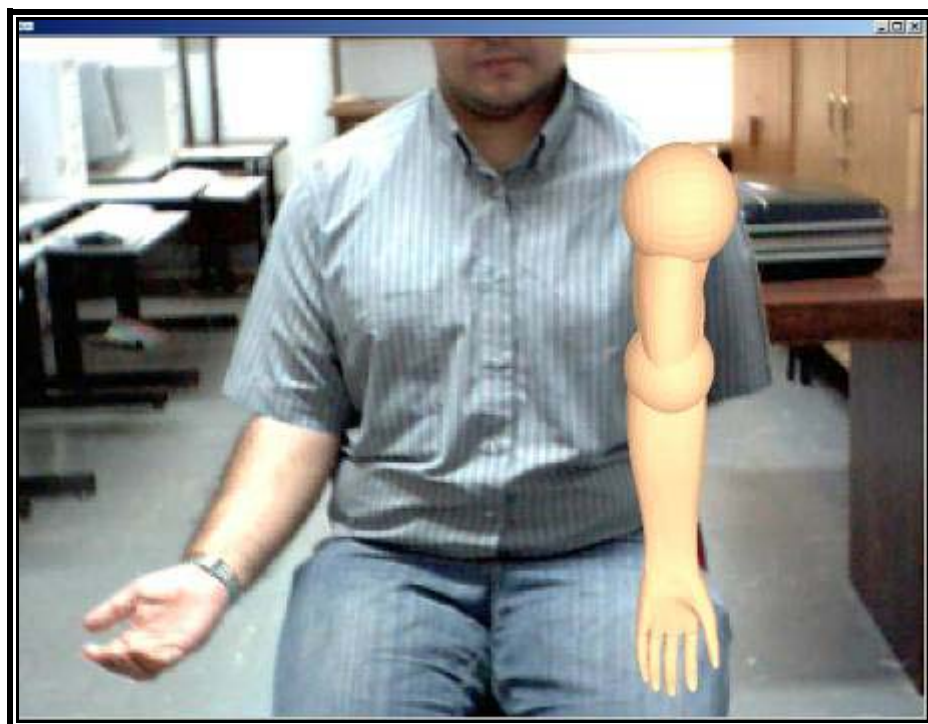


**Figura 7.12 – Ambiente de Realidade Aumentada, exibindo Extensão.**

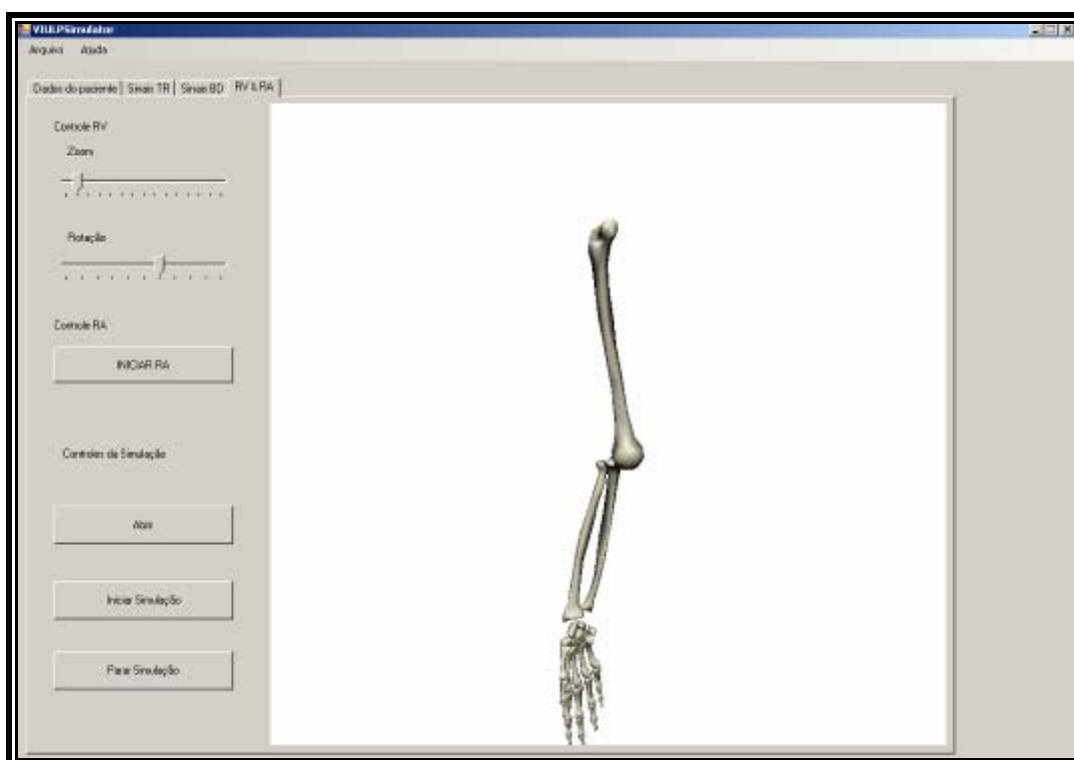


**Figura 7.13 - Ambiente de Realidade Virtual, exibindo Extensão.**

O mesmo ocorre para os sinais de Flexão, Pronação e Supinação, como o citado anteriormente, os sinais são indistinguíveis visualmente. A seguir serão apresentados somente os resultados de cada classificação.

**b) Análise de um sinal de Flexão**

Para um sinal de flexão teremos o movimento de flexão como mostra (Figuras 7.14 e 7.15)



**Figura 7.14 - Ambiente de Realidade Aumentada, exibindo Flexão.**

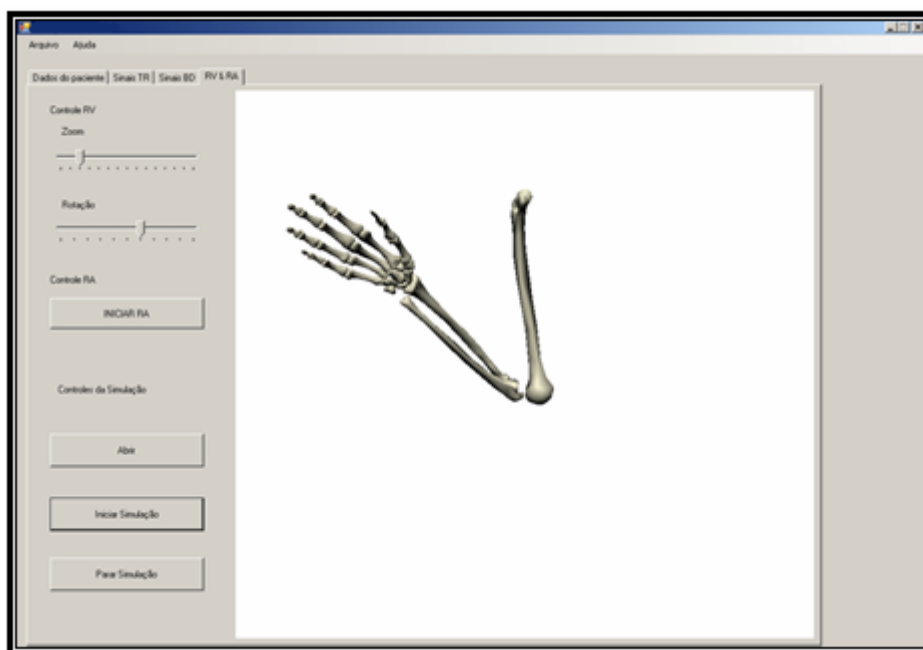


**Figura 7.15 - Ambiente de Realidade Virtual, exibindo Flexão.**

c) Análise de um sinal de Pronação

Para um sinal de pronação teremos o movimento de pronação como mostra (Figura 7.16 e 7.17)



**Figura 7.16 - Ambiente de Realidade Aumentada, exibindo Pronação.**

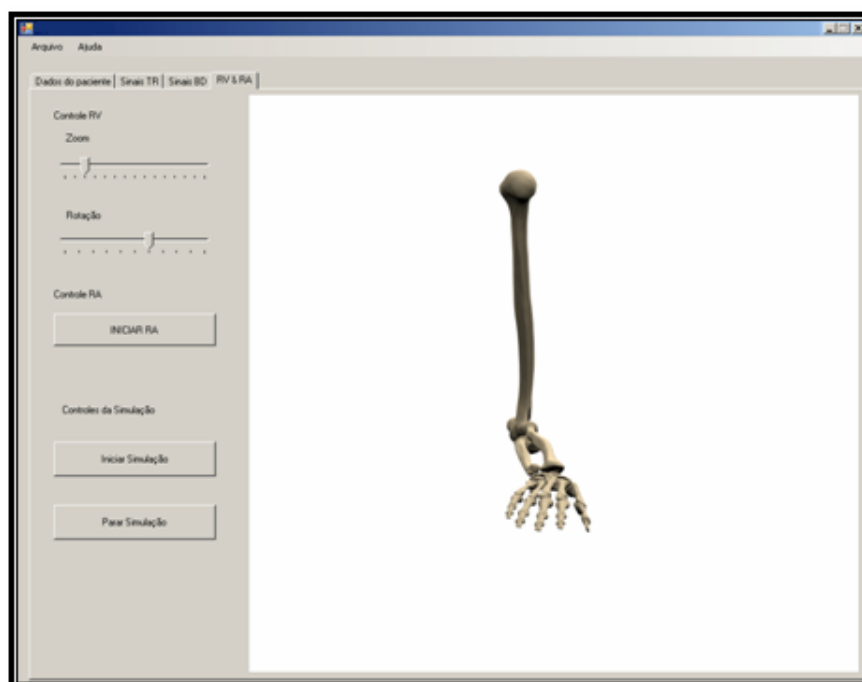


**Figura 7.17 - Ambiente de Realidade Virtual, exibindo Pronação.**

**d) Análise de um sinal de Supinação**

Para um sinal de supinação teremos o movimento de supinação como mostra (Figura 7.18 e 7.19)



**Figura 7.18 - Ambiente de Realidade Aumentada, exibindo Supinação.**

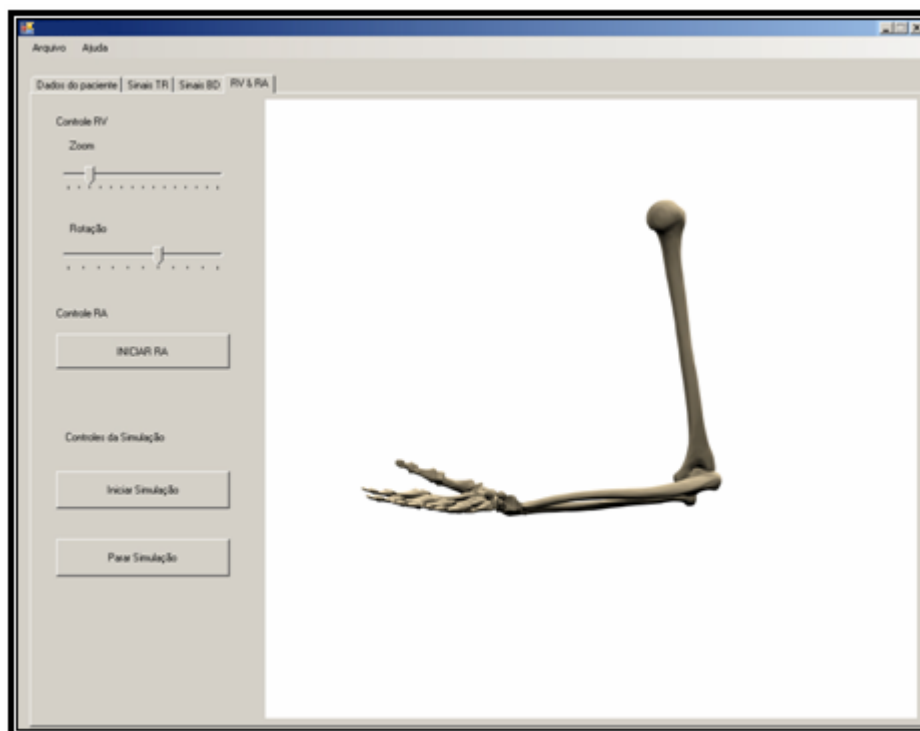


**Figura 7.19 - Ambiente de Realidade Virtual, exibindo Supinação.**

### **7.3 Limitações do VIULPSimulator**

O sistema *VIULPSimulator* não permite o controle total do membro superior porque possui somente 4 graus de liberdade, outra limitação é o controle do membro ele se limita a demonstrar o movimento detectado sem permitir modificar os parâmetros do movimento velocidade, força, é reação (*feedback*). Essas limitações são sugeridas como melhorias para trabalhos futuros no próximo capítulo.

### **7.4 Discussão**

O sistema é útil para pessoas amputadas ou com falta de membro superior de nascença como ferramenta de estímulo ao uso de próteses, e também ao técnico ou engenheiro no estudo dos movimentos das mesmas.

No estagio atual de desenvolvimento o sistema não pode ser considerado uma ferramenta de treino para próteses, devido a limitação do número de movimentos controlados.

Os pontos mais relevantes são o uso de RV e RA para o treinamento de próteses de membros superiores.

O trabalho contribui ainda com a integração de sistemas já existentes em uma única ferramenta.

As técnicas de RA são um diferencial ao criar uma interface de estímulo ao uso de próteses devido ao efeito visual que provoca aos usuários.

### **7.5 Considerações Finais**

Este capítulo apresentou o funcionamento do sistema proposto por meio de um estudo de caso onde o processo de classificação do movimento e sua apresentação no ambiente RA e RV.

O próximo capítulo conclui este trabalho e apresenta os trabalhos futuros.

# Capítulo 8

---

## 8 Conclusões e Trabalhos Futuros

Esta dissertação teve como objetivo a criação de um sistema que auxiliasse usuários de próteses de membros superiores a adaptação as mesmas e técnicos , reproduzindo de forma virtual os movimentos de uma prótese real.

As sugestões para trabalhos futuros serão expostas.

### 8.1 Conclusões

Foi possível, conforme esperado construir-se o sistema para controle e simulação de movimentos dos membros superiores, bem como a sua respectiva estrutura, com a utilização das técnicas de RV e RA aplicadas na visualização e o uso de sinais Eletromiográficos para controle motriz, o que contemplou ao proposto.

Ressaltando ainda que o uso de Realidade Virtual mostrou-se eficiente para visualizar o movimento da prótese, contudo a Realidade Aumentada constituiu-se no diferencial entre os sistemas investigados, por acrescentar contribuições na visualização de movimentos de próteses que os demais sistemas ainda encontram-se desprovidos.

Ao analisar a Tabela 8.1 nas suas diversas características, constata-se o que os sistemas [ANDRADE et al. 2002] e *VIULPSimulator* são os únicos que contemplam o controle de próteses através de sinais EMG e visualização em ambiente interativo. No entanto, o segundo sistema apresenta duas características de aperfeiçoamento sobre o anterior:

- 1) O uso de Realidade Aumentada;
- 2) O sistema integra todas as etapas necessárias à análise e controle de uma prótese (classificação do movimento, interface com usuário) facilitando sua distribuição, e usabilidade por técnicos e profissionais na área de saúde.

**Tabela 8-1 - Comparativa das características relevantes a esta pesquisa.**

| <div> <div>CARACTERÍSTICAS</div> <div>SISTEMAS</div> </div> | Vinculado          | Uso de Sinais de controle (EMG) | Coleta de Dados e processamento em tempo de execução | Visualização de exames previamente salvos | Visualização Gráfica em 3D Interativa (RV) | Realidade Aumentada |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| SMMS                                                        | Não                | Não                             | Não                                                  | Não                                       | Sim                                        | Não                 |
| (ANDRADE, et al,2002)                                       | MatLab<br>Lab View | Sim                             | Sim                                                  | Sim                                       | Sim                                        | Não                 |
| SIMM                                                        | Não                | Não                             | Não                                                  | Sim                                       | Sim                                        | Não                 |
| VIA                                                         | Lab View           | Não                             | Sim                                                  | Sim                                       | Sim                                        | Não                 |
| VIULPSimulator                                              | Não                | Sim                             | Sim                                                  | Sim                                       | Sim                                        | Sim                 |

Contudo, a maior contribuição que este trabalho conduz é o auxílio real a uma pessoa que sofreu amputação. Assim, acredita-se que esse trabalho sirva como referência para novas pesquisas, e que muito em breve aprimoramentos no sistema contribuam para facilitar o treinamento de próteses, estimulando o uso das mesmas e aumentando a qualidade de vidas dessas pessoas.

## 8.2 Trabalhos Futuros

Apesar de ter atingido os objetivos propostos a esta pesquisa, é importante ressaltar a necessidade de sua continuidade pelas múltiplas possibilidades de apontadas a novos pesquisadores em âmbitos variados, bem como para o aperfeiçoamento dos resultados já alcançados. De modo especial ressalta-se seu potencial mercadológico e, sobre tudo, sua natureza eminentemente humanitária por consequência propiciadora de melhores condições humanas aos portadores de necessidades especiais, como um instrumento de inclusão social e afirmação de cidadania.

Contudo, diversas melhorias podem ser contempladas, como por exemplo:

- O uso dos sinais EMG não só para classificar os movimentos, mas também para mensurar as forças de cada músculo;
- A expansão para mais graus de liberdade e fazer um controle real e efetivo de uma prótese semelhante a uma comercial;
- Melhora do projeto na visualização em RA, podendo expandir o projeto para imersiva;

- Expandir o ambiente virtual para um laboratório de treino onde o usuário poderá manipular objetos virtuais com a prótese para auxiliar ao processo de recuperação;
- Reabilitação: o usuário repetir exercícios sugeridos pelo sistema e obter *feedback* do sistema.

### **8.3 Considerações Finais**

Este projeto apresenta tem um impacto no desenvolvimento de aplicações, com uso de Realidade Virtual e Aumentada em simulação de modelos de membros superiores, pela possibilidade de exploração com mais profundidade à visualização movimentos.

Finalmente, é esperado que as técnicas computacionais aqui propostas contribuam profundamente para a melhoria da qualidade de vida de seres humanos portadores de necessidades especiais.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ACTIVE, 2007] ACTIVE Living Magazine (2007). **The Great Arms Debate**. Acesso em 04 Junho 2007. Disponível em [http://www.activelivingmagazine.com/artman/publish/article\\_47.shtml](http://www.activelivingmagazine.com/artman/publish/article_47.shtml)

[ANDRADE et al, 2002] ANDRADE A., LAMOUNIER E., SOARES A., and CARRIJO R..(2002). **A Virtual Prosthesis Control based on Neural Networks for EMG Pattern Classification**. Artificial Intelligence and Soft Computing – 2002.

[ANDRADE, 2000] ANDRADE, Adriano de Oliveira.(2002). **Metodologia para classificação de sinais EMG no controle de membros artificiais**. Dissertação, Uberlândia, 2000.

[ARTECH, 2007] ARTECH Laboratory.(2007).**Passive or myo-electric prosthesis**. Disponível em [www.artechlab-prosthetics.com/arms.html](http://www.artechlab-prosthetics.com/arms.html). Acesso em 04 Junho 2007.

[BARROS, 2005] BARROS, Kety Rosa de (2005). **Metodologia para classificação de sinais EMG para controle de próteses com baixo esforço computacional**. Uberlândia, MG, Brasil, 2005.

[http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=150](http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=150) e

[http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=151](http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=151)

[BOTELHO, 2002] BOTELHO, Fábio Pereira (2002). **Realidade Virtual Aplicada a Aquisição de Informações do Subsolo**. Centro de Informática – CIN Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2002. [www.cin.ufpe.br/~grvm/apresentacoes/2002\\_08\\_08\\_fpb/VirtualRealityAppliedToAquiringSubsoilInformation.ppt](http://www.cin.ufpe.br/~grvm/apresentacoes/2002_08_08_fpb/VirtualRealityAppliedToAquiringSubsoilInformation.ppt) .Acesso em 10 Junho 2007.

[BURDEA, 2003] BURDEA, Grigore (2003). KUTTUVA, Manjuladevi; FLINT, James A.; PHILLIPS, Sam L.; CRAELIUS, William, **VIA: A Virtual Interface for the Arm of Upper-limb Amputees**. Department of Electrical and Computer Engineering, Rutgers, The State University of New Jersey, IWVR 2003.

[CARDOSO, 2007] CARDOSO, Alexandre (2007). **Computação Gráfica**. Disponível em: <http://www.alexandre.eletrica.ufu.br/vr.htm> Acesso em 28 maio 2007.

[CARRILHO, 2007] CARRILHO, Daniel (2007). **Análise de Sinal Biológico**. [http://www.estsp.pt/~djic/ASB\\_1.htm](http://www.estsp.pt/~djic/ASB_1.htm), <http://www.estsp.pt/~djic/index1.htm>. Acesso em 24 maio de 2007.

[CHAGAS et al, 2006] CHAGAS, K. F; CARDOSO, A.(2006). **Educação No Trânsito Usando ARToolkit**. In: WRA 2006 III Workshop de Realidade Aumentada, 2006, Rio de Janeiro - RJ - LAMCE – COPPE, 2006. V. 01. p. 47-50.

[CINTRA, 2007] CINTRA R.(2007) **Processos Estocásticos** Depto. de Estatística, UFPE, [http://www.de.ufpe.br/~rjdsc/teaching/2005.2/et301/handouts/processos\\_estocasticos.pdf](http://www.de.ufpe.br/~rjdsc/teaching/2005.2/et301/handouts/processos_estocasticos.pdf) Acesso em 26 maio 2007.

[CRAELIUS, 2002] CRAELIUS, W (2002). **The Bionic Man: Restoring Mobility**. Science Magazine, Vol 295, Fev. 2002.

[DÂNGELO et al, 2000] DÂNGELO e FATTINI (2000). **Anatomia Humana Sistêmica e Segmentar**. 2º Edição, 2000.

[DATAQ, 2007] DATAQ Instruments (2007). **Data Acquisition Products for ANY Application and Budget**. disponível em: [http://www.dataq.com/images/article\\_images/emg.jpg](http://www.dataq.com/images/article_images/emg.jpg) Acesso em 26 maio 2007.

[DELP et al, 1995 ] DELP, S. L.; LOAN, J. P. (1995) .**A graphics-based software system to develop and analyze models of musculoskeletal structures**. Comput. Bid. Med., v. 25, n. 1, p. 21-34, 1995.

[DELP et al, 2000] DELP, S. L.; LOAN, J. P. (2000). **A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement**. Computing in Science & Engineering, v. 2, n. 5, p. 46,55, Setembro/Outubro 2000.

[DORINGER, 1995] DORINGER, J.A. e HOGAN, N.(1995). **Performance of above elbow body powered prostheses in visually guided unconstrained motion tasks**. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1995.

[DSC, 2007] DSC- Disability Services Commission (2007). **Prosthetics and orthotics**. <http://www.dsc.wa.gov.au/images/PhotoGalleries/prostheticsAndOrthotics/pages/arm.html>  
Acesso em 4 Junho 2007.

[DUARTE, 2007] DUARTE, Marcos (2007). **Eletromiografia**. <http://lob.iv.fapesp.br>  
Acesso em 27 maio 2007.

[ENOKA, 2000] ENOKA (2000). **Bases neuromecânicas do movimento humano**. Ed. Manole, 2000.

[ESTSP, 2007] ESTSP (2007). Escola Superior de Tecnologia da Saúde do porto. **Análise Digital**. [www.estsp.pt/~djcdigital1.ppt](http://www.estsp.pt/~djcdigital1.ppt) . Acesso em 01 junho 2007.

[FCNAUP, 2007] FCNAUP (2007) - Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto- Articulações dos Membros, **Articulações do membro superior**, <http://users.med.up.pt/jandrade/artmembros.html>  
Acesso em 08 Junho 2007.

[FISIOCULTURISMO, 2007] FISIOCULTURISMO (2007). **Anatomia Muscular** .

[http:// www. fisiculturismo.hpg.ig.com.br/16.htm](http://www.fisiculturismo.hpg.ig.com.br/16.htm) Acesso em 26 maio 2007.

[FREITAS et al, 2007] FREITAS, Marlene Roque de; SILVA, Luciano F; LAMOUNIER, Edgard; CARDOSO, Alexandre; GOULART, Reane F. **Proposta de Integração de Jogos e Realidade Virtual no Ensino Aprendizagem de Matemática**. Projeto Ludostop. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO, 2007, Mongagua. 2007.

[GUYTONT, 2000] GUYTONT, Arthur C. e HALL, John E.(2000). **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**. 6ª Edição, Editora Guanabara, 2000.

[HERMINE, 2004] HERMINE, A. H.(2004). **Sistemas Biocibernéticos para a Reabilitação Humana: Um Estado da Arte**. Anais do 3º Congresso Temático de Dinâmica e controle de SBMAC, 31 de maio de 2004 UNESP.

[ISO, 2007] ISO, 9241-11:1998 (2007). **Guidance on usability**. <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=16883&ICS1=13&ICS2=180&ICS3=> Acesso em 06 Junho 2007.

[BRAZ, 2000] BRAZ, J.(2000). **"Realidade Aumentada na Engenharia Biomédica: um Estado da Arte**. 5ª Workshop em Engenharia Biomédica, Instituto Superior Técnico/UTL, Lisboa, Portugal, 2000 e no site, <http://ltodi.est.ips.pt/jbraz/ficheiros/AppRAnaEB.ppt>

[KIRNER, 2004] KIRNER, C. ; TORI, R.(2004). **Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade**. In: Cláudio Kirner; Romero Tori. (Ed.). Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. 1ed. São Paulo, 2004, v. 1, p. 3-20.

[KNOPLICH, 2002] KNOPLICH, José (2007). **Quando a incapacidade é valorizada**. São Paulo, 26/9/2002 <http://www.digestivocultural.com/colunistas/imprimir.asp?codigo=744> Acesso em 06 Junho 2007.

[KRUIT, 1989] KRUIT, J. e COOL, J.C.(1989). **Advances in processing of surface myoelectric signals: Part 2**. Medical. Journal of Med. Eng. E Tech, 1989.

[KULLEY, 2007] KULLEY, M. (2007). **Hand Prosthetics Future**. Disponível em: [http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108\\_2003\\_Groups/Hand\\_Prosthetics/future.html](http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2003_Groups/Hand_Prosthetics/future.html) \_Acesso em 05 Junho 2007.

[LAMB, 2007] LAMB, Philip (2007). **ARToolKit Home Page, Documentation, Tutorials** <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/tutorialhistory.htm>. Acesso em 06 Junho 2007.

[LEIGHTON, 1987] LEIGHTON, Jack (1987). **Musculação**. Rio de Janeiro: Sprint, 1987.

[LOPES, 1998] LOPES, Sônia (1998). **Bio-Introdução à Biologia e Origem da Vida**. p.372.3ª Edição-1998.

[LUCA, 1996] LUCA. C. J. D. (1996). **Surface electromyography: Detection and recording**. Neuromuscular Research Center and Biomedical Engineering Dept. and Neurology Dept., Boston University, Delsys Inc., 1996. [www.delsys.com/emg.shtml](http://www.delsys.com/emg.shtml).

[MACHADO, 2003] MACHADO, L. S. (2003). **A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica**. Tese de Doutorado. Março de 2003. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[MARQUES, 2005] MARQUES, Marlene Ferreira (2005). **Simulação de movimentos para o membro superior humano baseado nas forças aplicadas pelos músculos**. Uberlândia, 2005. [http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=148](http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=148)

[MELO, 2007] MELO, J. S. S.; Brasil, L. M.; Balaniuk, R. (2007). **Ambiente de Simulação Médica para WEB**. IX Symposium on Virtual And Augmented Reality, May, 28-31, 2007 Petrópolis – RJ – Brasil

[MICROSOFT, 2007] MICROSOFT- Requisitos de hardware do Visual Studio (2007). **Microsoft Developer Network**. [http://msdn2.microsoft.com/pt-br/library/4c26cc39\(VS.80\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/pt-br/library/4c26cc39(VS.80).aspx) - Acesso em 10 Janeiro 2007.

[MIGON, 2007] MIGON H. (2007). **Análise de Séries Temporais**, Departamento de Métodos Estatísticos, Instituto de Matemática, UFRJ, Disponível em: <http://acd.ufrj.br/~dani/pdf/slidespartefrequentista.pdf> Acesso em 4 Junho 2007.

[MILGRAM et al, 1994] MILGRAM, P. et al.(1994). **Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. Telemanipulator and Telepresence Technologies**. SPIE, V.2351, 1994.

[MINSKY, 1999] MINSKY, Marvin (1999). **Entrevista à revista americana Discover**, 1999.

[MONTERO et al, 2003] MONTERO, Edna Frasson de Souza; ZANCHET, Dinamar José. (2003). **Realidade Virtual na medicina**". Acta Cir. Bras., São Paulo, v. 18, n. 5, 2003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-86502003000500017&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-86502003000500017&lng=es&nrm=iso). Acesso em: 15 Fevereiro 2007.

[NOGUEIRA et al, 2005] NOGUEIRA, Kenedy L.; LAMOUNIER, Edgard Jr.; Cardoso, Alexandre. (2005). **Uma aplicação de Realidade Aumentada no Auxílio da Adaptação de Próteses em Membros Superiores**. WARV 2005 Workshop de Aplicações de Realidade Virtual. Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, Brasil.

[NOGUEIRA et al, 2006] NOGUEIRA, Kenedy L.; LAMOUNIER, Edgard Jr.; Cardoso, Alexandre. (2006). **Simulador de Próteses em Membros Superiores usando RA**. III Workshop de Realidade Aumentada 2006. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[NOGUEIRA et al, 2005] NOGUEIRA, Kenedy L.; LAMOUNIER, Edgard Jr.; Cardoso, Alexandre. (2007). **UPPER LIMB PROSTHESES TRAINING USING**

**AUGMENTED REALITY.** Aipr - International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition Orlando, FL, USA.

[ORTOPEDIA, 2007] ORTOPEDIA Gonzalez (2007). Ortopedia Gonzalez PGM & PGP, **Próteses passivas.** [http://www.ortopediagonzalez.com.br/prod\\_pd.php](http://www.ortopediagonzalez.com.br/prod_pd.php) . Acesso em 4 Junho 2007.

[PARE, 1579] PARÈ, Ambroise (1579). **Um suplemento aos defeitos no corpo do homem.** em trabalhos coletados, Paris, 1579  
<http://www.christianhubert.com/hypertext/Prosthesis.html>  
Acesso em 05 Dezembro 2006.

[PDJ, 2007] PDJ-Programadores e Desenvolvedores de Jogos (2007). **Glossário de termos usados na indústria de jogos.** <http://www.pdj.com.br/glossario.php> . Acesso em 10 Janeiro 2007.

[RESENDE, 2007] RESENDE, Joffre M - CAMINHOS DA MEDICINA, **A medicina na passagem do milênio.** <http://usuarios.cultura.com.br/jmrezende/Milenio.htm>  
Acesso em 06 Junho 2007.

[SABBATINI, 2007] SABBATINI, Renato M.E.(2007). **Realidade Virtual e Medicina.** Núcleo de Informática Biomédica da Universidade Estadual de Campinas, <http://www.informaticamedica.org.br/informed/virtual.htm>  
Acesso em 06 Junho 2007.

[SAGE, 1990] SAGE, A. P.(1990). **Concise Encyclopedia of Information Processing in Systems and Organizations.** 1990.

[SANTOS, 1998] SANTOS, I. S.(1998). **Neurofisiologia.** Niterói: SPOB, 1998. pg.13.

[SIQUEIRA, 2007] SIQUEIRA, J. A. L. D. (2007). **Framework para interface e gerenciamento computacional de sistemas de aquisição de dados**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

[TECNOLOGIA, 2004] TECNOLOGIA, M. d. C. e. (2004). **Patentes e pesquisa básica em saúde**. Retrieved 03/05/2007, 2007. <http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/20855.html>. Acesso em 06 Junho 2007.

[TELEGRAPH, 2007 ] TELEGRAPH- Nic Fleming, Science Correspondent of Telegraph Media Group Limited (2007). **Woman with bionic arm regains sense of touch**. Last Updated: <http://www.telegraph.co.uk/news/main.jhtml?xml=/news/2007/02/02/warm02.xml> Acesso em 04 de fevereiro 2007.

[VIRTUAL, 2007] VIRTUAL, Sinais Biológicos (2007). **Processamento dos Sinais Biológicos**. [http://www.virtual.epm.br/material/tis/curr-med/temas/med5/med5t12000/tele/sinais\\_digitais.html](http://www.virtual.epm.br/material/tis/curr-med/temas/med5/med5t12000/tele/sinais_digitais.html) Acesso em 06 Junho 2007.

[ZORZAL, 2007] ZORZAL, E. R.(2007). **Realidade Aumentada**. Disponível em: <http://www.realidadeaumentada.com.br> Acesso em 26 maio 2007.

[Yeo et al, 2001] Yeo, S.J., et al, (2001). **Augmented Reality with X-ray Localisation for Total Hip Replacement**. SGH Proceedings, 2001, vol. 9, no. 4, pp. 2001 e no site, <http://www.ntu.edu.sg/home/asckkwoh/publications.htm>.

## **Anexo I**

Função de Simulação e controle do membro virtual

```

#region Simulacao
private void exitToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Close();
}
float[] a = new float[5];
float[] w = new float[5];
// Function for filtering and adaptation for LMS adaptive Wiener filtering
// AR Model
public Sinal[] ARModel(Sinal[] yk, float mu, string path)
{
    //ExamFile ex = new ExamFile(path);

    Sinal[] yhat = new Sinal[yk.Length];

    int j;
    float e;
    int m = 4;

    // LMS
    for (int i = 0; i < yk.Length; i++)
    {
        a[0] = 1.0f;
        w[0] = yk[i].Valor;
        e = 0.0f;
        yhat[i].Valor = 0.0f;
        yhat[i].Tempo = yk[i].Tempo;

        for (j = 0; j < m; j++) e += (a[j] * w[j]);
        for (j = 1; j < m; j++)
        {
            a[j] -= (2.0f * mu * e * w[j]);
            yhat[i].Valor = (yhat[i].Valor - a[j] * w[j]);
            yhat[i].Tempo = yk[i].Tempo;
        } //for j
        for (j = m; j > 0; j--) w[j] = w[j - 1];
    }

    return yhat;
} //lms

public void Simulacao(object sinais)
{
    List<double> exameSinal = (List<double>)sinais;
    Sinal[] valoresAnterior = new Sinal[100];
    bool limit = false;
    float indiceTempo = 0f;

    float freqAquis = 1.0f/(float)exameSinal[0];

    string pathh;

    if (radExame.Checked)
    {
        string datt = dtaExame2.Text;
        pathh = Application.StartupPath + "\\\" + txtNome.Text.Substring(0, 5) +
            dtaExame2.Text.Replace('/', '-') +
            "_armodel.txt";
    }
    else
    {
        pathh = Application.StartupPath + "\\tempFile.txt";
    }

    if (File.Exists(pathh))
        File.Delete(pathh);

    ExamFile armodel = new ExamFile(pathh);
    armodel.WriteData((float)exameSinal[0]);
    armodel.Close();
    armodel.Dispose();
    armodel = null;
}

```

```

exameSinal.RemoveAt(0);
float gain = (float)Convert.ToDouble(txtGain.Text);

DelegateAquisicao del = delegate
{
    RenderLoop();
};
DelegateAquisicao del2 = delegate
{
    this.zedGraphControl1.AxisChange();
    this.zedGraphControl1.Invalidate();
};
int waitTime = Convert.ToInt32(this.txtWaitThread.Text);
int nCanais = Convert.ToInt32(txtQtCan.Text);

// Array de graficos para plotagem dos canais
GraphPane[] grafico = new GraphPane[Convert.ToInt32(txtQtCan.Text)];
GraphPane arlist = null;

//GraphPane fft = null;
a = null;
w = null;

a = new float[5];
w = new float[5];

// inicializa os vetores para o calculo dos coeficientes AR
for (int j = 1; j == 4; j++)
{
    w[j] = 0;
    a[j] = 0;
} //for j

IPointList arpoints = null;

if (chkAR.Checked)
{
    this.zedGraphControl1.MasterPane.PaneList.Clear();

    for (int ix = 0; ix < nCanais; ix++)
    {
        grafico[ix] = new GraphPane();
        this.zedGraphControl1.MasterPane.Add(grafico[ix]);
    }
    arlist = new GraphPane();
    this.zedGraphControl1.MasterPane.Add(arlist);

    using (Graphics g = this.zedGraphControl1.CreateGraphics())
    {
        this.zedGraphControl1.MasterPane.SetLayout(g, PaneLayout.SingleColumn);
        this.zedGraphControl1.PerformAutoScale();
        this.zedGraphControl1.AxisChange();
        this.zedGraphControl1.Invalidate();

        FormatChart();

        for (int ix = 0; ix < nCanais; ix++)
        {
            grafico[ix].Title.IsVisible = true;
            grafico[ix].Title.FontSpec.Size = 20f;
            grafico[ix].Title.Text = "Canal " + ix.ToString();
        }

        arlist.Title.IsVisible = true;
        arlist.Title.FontSpec.Size = 20f;
        arlist.Title.Text = "Coeficientes AR";

        LineItem lpp = arlist.AddCurve("", null, null,
            Color.Red, SymbolType.Circle);
        arpoints = lpp.Points;

        this.zedGraphControl1.AxisChange();
        this.Invalidate();
    }
}

```

```

else
{
    this.zedGraphControl1.MasterPane.PaneList.Clear();

    for (int ix = 0; ix < nCanais; ix++)
    {
        grafico[ix] = new GraphPane();
        this.zedGraphControl1.MasterPane.Add(grafico[ix]);
    }
    using (Graphics g = this.zedGraphControl1.CreateGraphics())
    {
        FormatChart();
        FormatChart();

        for (int ix = 0; ix < nCanais; ix++)
        {
            grafico[ix].Title.IsVisible = true;
            grafico[ix].Title.FontSpec.Size = 20f;
            grafico[ix].Title.Text = "Canal " + ix.ToString();
        }
        this.zedGraphControl1.AxisChange();
        this.Invalidate();
    }
}

int nPoints = Convert.ToInt32(exameSinal.Count / nCanais);
int iiii = 1;
//Abre arquivos de coeficientes
StreamWriter sw = new StreamWriter("C:\\AR.txt");

Thread.CurrentThread.Abort();
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //Limpa os valores
    ClearGraphics();
    ReajustaCoordenadas();

    //Prepara o consumidor
    CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;

    //_estaSimulando = true;
    System.Threading.ParameterizedThreadStart pt = new ParameterizedThreadStart(this.Simulacao);
    _simulador = new Thread(pt);

    List<double> temp;

    // Abre o sinal da origem escolhida : arquivo de exame ou de simulação
    if (radExame.Checked)
    {
        List<int> location = ex.ExamsLocation();
        int correctIndex = dtaExame2.SelectedIndex;
        string t;
        if (correctIndex == (location.Count - 1))
            temp = ex.ReadExamData(location[correctIndex], out t);
        else
        {
            temp = ex.ReadExamData(
                location[correctIndex],
                location[correctIndex + 1] - location[correctIndex] - 11,
                out t);
        }
    }
    else
    {
        // No caso do arquivo de dados, basta ler : não há cabeçalho
        temp = ex.ReadData(0);
    }

    // Calcula valores mínimo e máximo para o sinal em questão
    double[] auxil = temp.ToArray();
    auxil[0] = 0;
    sinalMax = (float)MergeSort.MaxValue(auxil);
    sinalMin = (float)MergeSort.MinValue(auxil);
}

```

```

    auxil = null;

    this.zedGraphControl1.GraphPane.YAxis.Scale.Min = sinalMin;
    this.zedGraphControl1.GraphPane.YAxis.Scale.Min = sinalMax;
    this.zedGraphControl1.AxisChange();

    // Elimina todos os pontos menores em módulo que o limiar,
    // fazendo-os igual a zero
    limiar = sinalMax * (float)trkBarLimiar.Value / 100f;

    for (int i = 1; i < temp.Count; i++)
    {
        if (Math.Abs(temp[i]) < limiar)
        {
            temp.RemoveAt(i);
        }
    }

    _simulador.Start(temp);
}

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (_simulador != null)
        if (_simulador.IsAlive)
            _simulador.Abort();
    _simulador = null;
}

#endregion

```

## **Anexo II**

Função que gera o Modelo Virtual em VRML

A partir da classe AR

A classe RA armazena os vetores com o modelo da prótese as coordenadas de cada movimento.

```
class RA
{
    private RA() { }

    //-----
    Flexão
    //-----
    Extensão
    //-----
    pronação
    //-----
    supinação
}
```

```
//-----
for (int ix = 0; ix < nCanais; ix++)
{
    if (grafico[ix] != null)
    {
        //Lê o canal 0
        try
        {
            valoresAnterior = new Sinal[exameSinal.Count];

            int n = 0;

            for (int m = 0; m < nPoints; m++)
            {
                indiceTempo += (freqAquis);

                if ((float)exameSinal[m] != 0)
                {
                    valoresAnterior[n].Valor = (float)exameSinal[m];
                    valoresAnterior[n].Tempo = indiceTempo;
                }
                else n--;

                n++;
            }
            exameSinal.RemoveRange(0, nPoints);
            indiceTempo = 0;
            rx = 100f;

            if (chkAR.Checked)
            {
                w[0] = valoresAnterior[0].Valor;
                a[0] = 1;
                ARModel(valoresAnterior, (float)Convert.ToDouble(txtMu.Text), pathh);

                PointPairList arrr = (PointPairList)arpoints;
                for (int d = 1; d < 5; d++)
                {
                    arrr.Add(iiii, a[d]);
                    iiii++;
                }

                for (int coef = 1; coef < 5; coef++)
                {
                    listBox1.Items.Add(a[coef].ToString());

                    sw.Write(a[coef].ToString()+" ");

                }
            }
            if (txtQtCan.Text == "1")
            {
                if (radioButton1.Checked == true)
```

```

        {
            if (a[4] - a[3] >= 0.1 && a[4] - a[3] <= 0.12) label24.Text = "Pronação";
            else
                if (a[4] - a[3] > 0 && a[2] >= -0.30 || a[2] <= -0.29) label24.Text = "Extensão";
            else
                if (a[4] - a[3] < 0) label24.Text = "Flexão";
                else label24.Text = "Supinação";
        }
    }
    if (radioButton2.Checked == true)
    {
        if (a[4] - a[3] < 0) label24.Text = "Extensão";
        else
            if (a[4] - a[3] > 0 && a[4] - a[3] <= 0.2) label24.Text = "Flexão";
            else
                if (a[4] - a[3] > 0.2 && a[4] - a[3] <= 0.26) label24.Text = "Pronação";
                else label24.Text = "Supinação";
    }
}
else
{
    if (radioButton1.Checked == true)
    {
        if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Extensão";
        else
            if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Flexão";
            else
                if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Pronação";
                else
                    if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Supinação";
    }
}
if (radioButton2.Checked == true)
{
    if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Extensão";
    else
        if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Flexão";
        else
            if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Pronação";
            else
                if (a[3] - a[1] > 0.25) label24.Text = "Supinação";
}
}

StreamWriter vrml = new StreamWriter("C:\\Temp\\RA\\bin\\Wrl\\arm.wrl");
if (label24.Text == "Extensão") { vrml.Write(RA.RACommandE()); vrml.Close(); }
else
if (label24.Text == "Flexão") { vrml.Write(RA.RACommandF()); vrml.Close(); }
else
if (label24.Text == "Pronação") { vrml.Write(RA.RACommandP()); vrml.Close(); }
else
if (label24.Text == "Supinação") { vrml.Write(RA.RACommandS()); vrml.Close(); }
}
List<double> sX = new List<double>();
List<double> sY = new List<double>();
for (int pp = 0; pp < valoresAnterior.Length; pp++)
{
    sX.Add(valoresAnterior[pp].Tempo);
    sY.Add(valoresAnterior[pp].Valor);
}
grafico[ix].AddCurve("", sX.ToArray(), sY.ToArray(), Color.Red, SymbolType.None);
this.Invoke(del2);
}
catch (Exception generic)
{
    Thread.CurrentThread.Abort();
}
}
//}
}
}
sw.Close();

```

## **Anexo III**

### **Função Gera Sinal EMG Randômico**

```

//Thread de aquisição
private void GeraValores()
{
    int nAmostras = 100;

    //Gera 10 valores e adiciona no buffer dos canais e incrementa o tempo
    Sinal[] valores = new Sinal[nAmostras];

    for (int i = 0; i < valores.Length; i++)
    {
        valores[i] = new Sinal(0, 0);
    }

    //float[] tempos = new float[nAmostras];
    float[] ganhos = new float[_canais.Length];

    for (int i = 0; i < ganhos.Length; i++)
    {
        ganhos[i] = ((CanalGeradorSeno)_canais[i]).Ganho;
    }

    Random rand = new Random();
    //Enquanto a aquisição estiver iniciada
    while(!_estaAquisicionando)
    {
        DateTime inicio = DateTime.Now;

        //Gera os 1000 valores
        for (int i = 0; i < nAmostras; i++)
        {
            float val = (float)((1) * Math.Sin(2 * (float)Math.PI * _freqSenoide * _tempo));
            float val2 = (float)(4.5 * Math.Sin(100 * 2 * (float)Math.PI * _freqSenoide * _tempo));
            float val3 = (float)(rand.NextDouble() * Math.Sin(1000 * 2 * (float)Math.PI * _freqSenoide * _tempo));

            valores[i].Valor = val + val2 + val3;
            valores[i].Tempo = _tempo;

            //Incrementa o tempo
            _tempo += 1 / _freqAquisicao;
        }
    }
}

```