

# CONTROLE MOTOR E COORDENAÇÃO DE MOVIMENTO HUMANO

**Marcos Duarte**

*[marcos.duarte@ufabc.edu.br](mailto:marcos.duarte@ufabc.edu.br)*

**Renato Watanabe**

*[renato.Watanabe@ufabc.edu.br](mailto:renato.Watanabe@ufabc.edu.br)*

*<http://pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab>*

*<https://github.com/BMClab/bmc>*

# Sobre o Laboratório



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab". The browser's tab is labeled "Biomechanics and Motor". The website's header features a large banner image of a laboratory with the text "BMClab Laboratório de Biomecânica e Controle Motor" in yellow. Below the banner is a navigation menu with links: "BMClab", "Pessoal", "Ensino", "Pesquisa", "Serviços", "Recursos", "Publicações", and "BLOG".

The main content area on the left contains the following text:

Bemvindo ao site do **BMClab**, o Laboratório de Biomecânica e Controle Motor do programa de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do ABC.

O **BMClab** é um laboratório de pesquisa interessado em Biomecânica e Controle Motor do movimento humano, em particular na locomoção e postura humana. Basicamente, Biomecânica estuda a estrutura e função dos sistemas biológicos utilizando o conhecimento e métodos da Mecânica e Controle Motor estuda como os sistemas biológicos controlam seus movimentos. Em um sentido amplo, estamos interessados em saber como seres vivos controlam e executam seus movimentos.

Nós trabalhamos para melhorar a qualidade de vida na sociedade, oferecendo serviços de avaliação em nosso laboratório e na difusão do conhecimento científico.

Próximas disciplinas de graduação ou pós sobre Biomecânica e Controle Motor @ UFABC

- Introdução à Estatística (início em junho de 2019)
- Introdução a modelagem e simulação do movimento humano (início em junho de 2019)




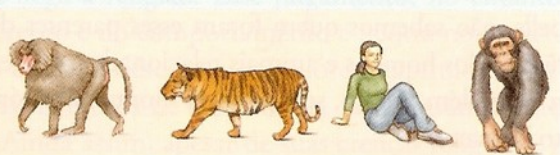




**Bolsas de estudos disponível no BMClab:** Estamos procurando aluna(o) de graduação para trabalhar com a gente em pesquisa sobre modelagem e simulação do movimento humano. Entre em contato com a gente!

On the right side of the page, there is a search bar with the text "Busca" and a "Busca" button. Below it are links for "BMClab sitemap" and "Links úteis". A section titled "Eventos @ UFABC" lists "BMClab agenda", "Seminários em Engenharia Biomédica", "Seminários em Neurociência", and "Todos os eventos". At the bottom right, a section titled "BMClab postagens recentes" lists several recent posts, including "Defesa de doutorado da Claudiane Fukuchi @ 25/2 7 de fevereiro de 2019", "Defesa de mestrado da Desiree Miraldo 17 de janeiro de 2019", "Palestra Projeto Andar de Novo, dia 6 de julho 3 de julho de 2018", "Novo serviço do BMClab: Avaliação de parâmetros espaço-temporais e pressão plantar da marcha 13 de junho de 2018", and "Projetos de tecnologias assistivas de baixo custo".

At the bottom of the page, there are two promotional boxes. The left one is titled "OPEN DATA" and "BMClab datasets" with a "Leia mais" button. The right one is titled "YES WE CODE" and "Computação científica @ BMClab" with a "Leia mais" button.

# Movimento nos seres vivos

[https://www.ted.com/talks/daniel\\_wolpert\\_the\\_real\\_reason\\_for\\_brains](https://www.ted.com/talks/daniel_wolpert_the_real_reason_for_brains)

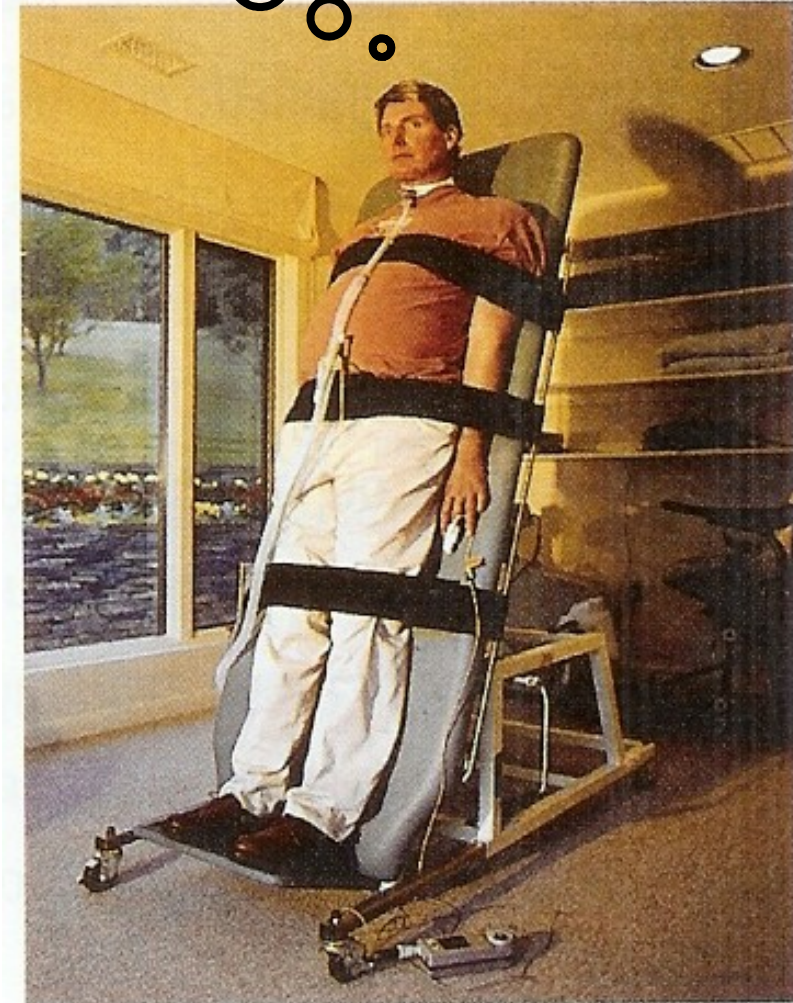
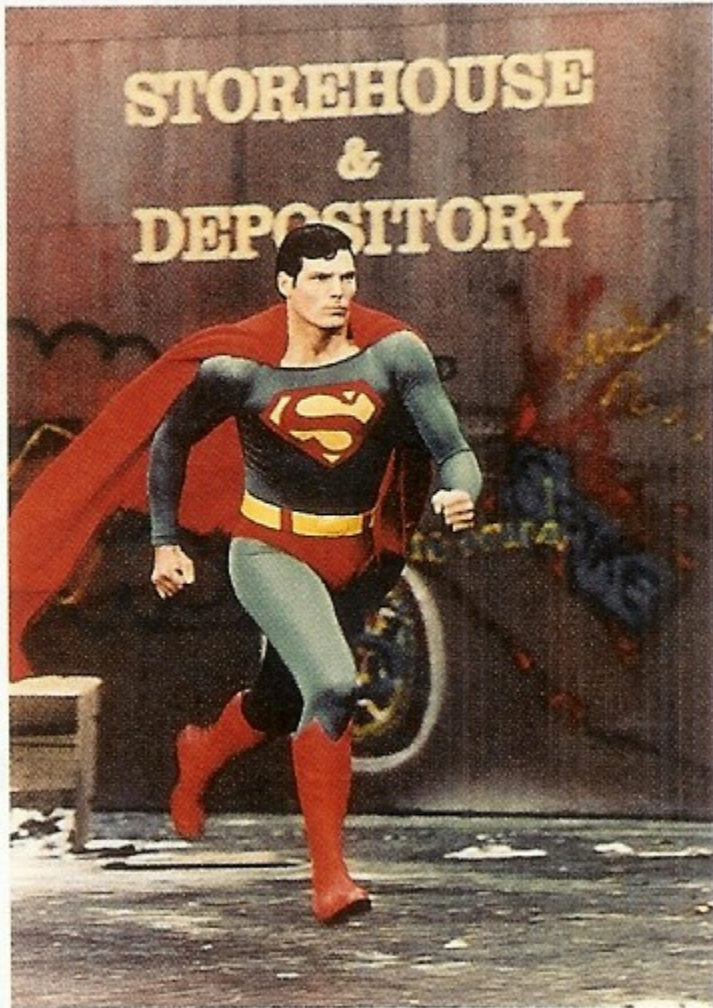
<b>Organismos vivos</b>	
<b>Reino:</b> <i>Animalia</i> Características: Neurônios e músculos usados para locomoção.	
<b>Filo:</b> <i>Chordata</i> Características: Cérebro e medula espinal	
<b>Classe:</b> Mamíferos Características: Cérebros grandes e comportamento social	
<b>Ordem:</b> Primatas Características: Controle visual das mãos	
<b>Família:</b> <i>Hominidae</i> Características: Uso de ferramentas	
<b>Gênero:</b> Humano Características: Linguagem	
<b>Espécie:</b> Humano moderno Características: Cultura complexa	

**Como me  
movimentar?**





# Como me movimentar?

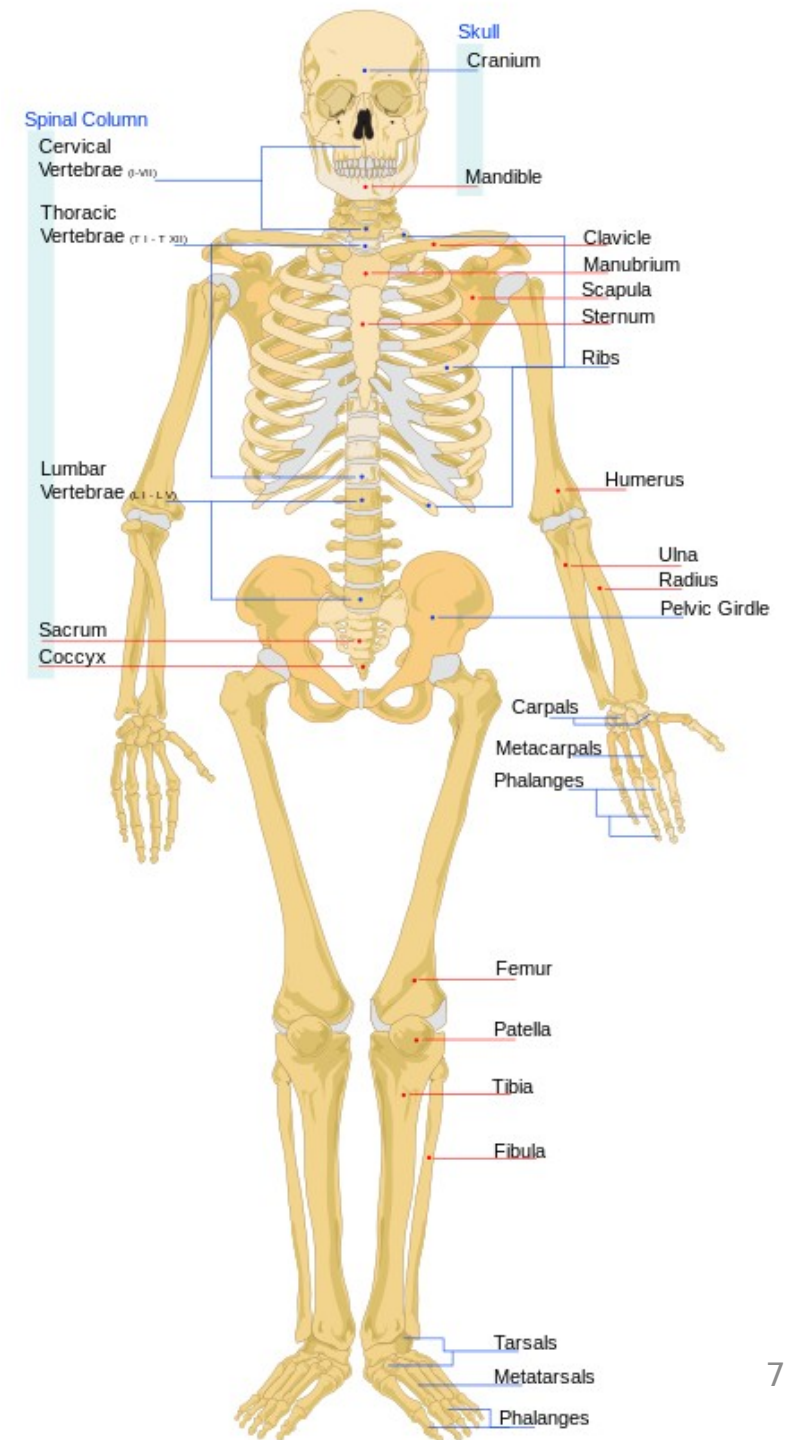


# Como os seres humanos controlam o movimento do corpo?

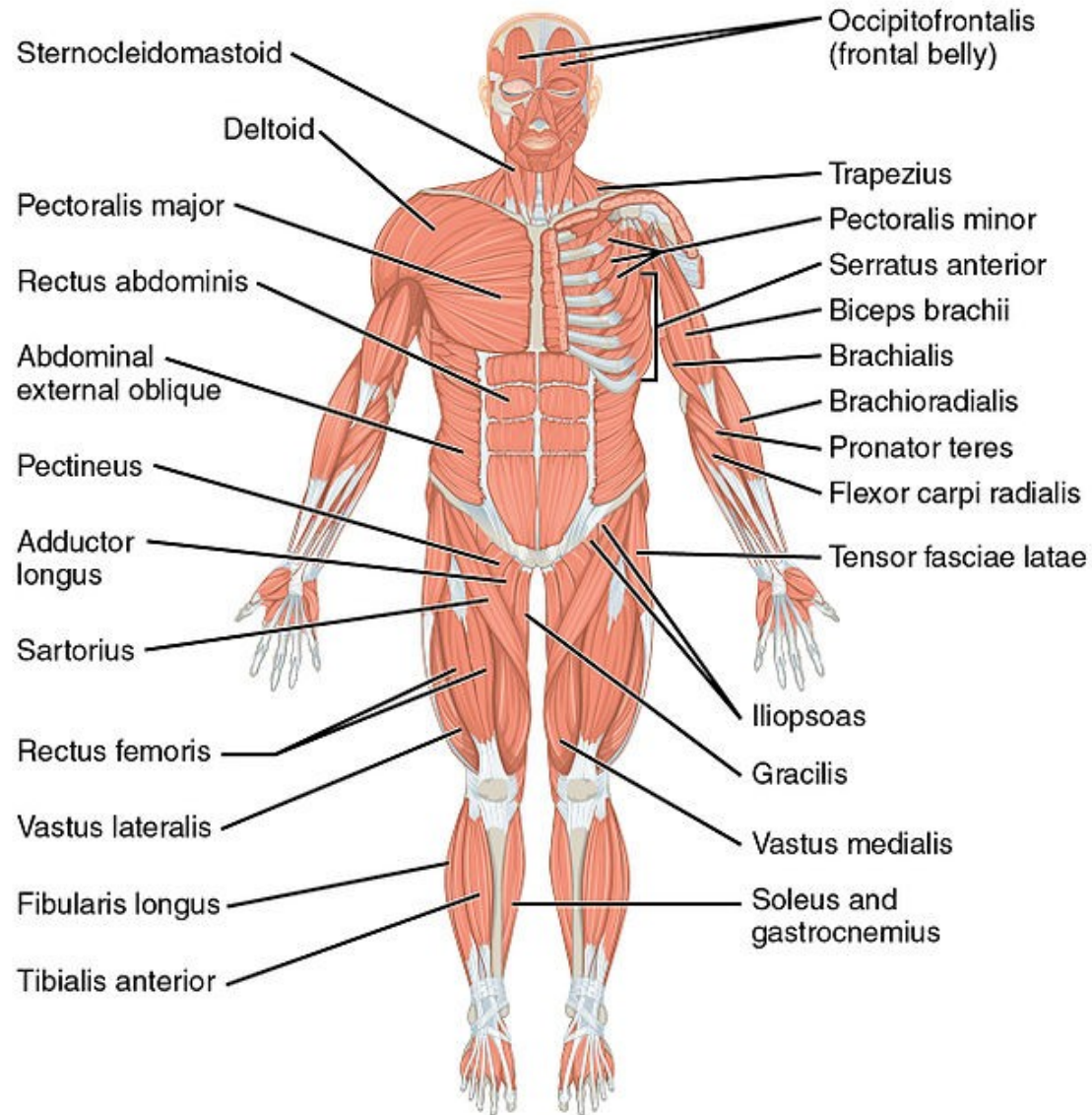
## **Corpo humano (sistema musculoesquelético):**

- Cerca de 206 ossos, dos quais 148 móveis, e 147 articulações (Zatsiorsky, 1998).
- Número de graus de liberdade (DoF) no espaço 3D considerando estes ossos formando corpo rígidos: 244 (Zatsiorsky, 1998).
- Cerca de 650 músculos (atuadores) que operam em par na articulação (agonista/antagonista).

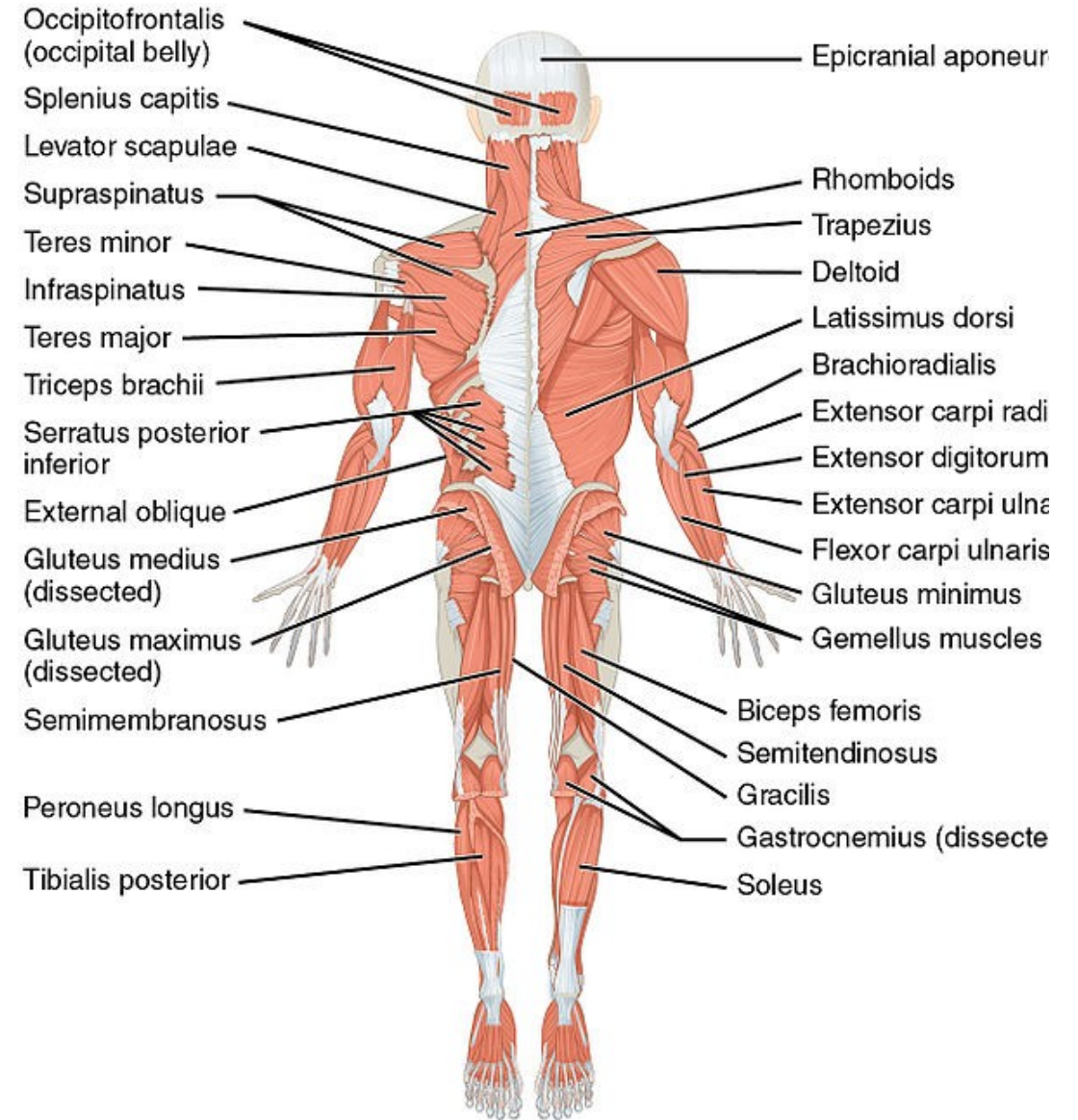
[http://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_musculoskeletal\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Human_musculoskeletal_system)







Major muscles of the body.  
Right side: superficial; left side:  
deep (anterior view)



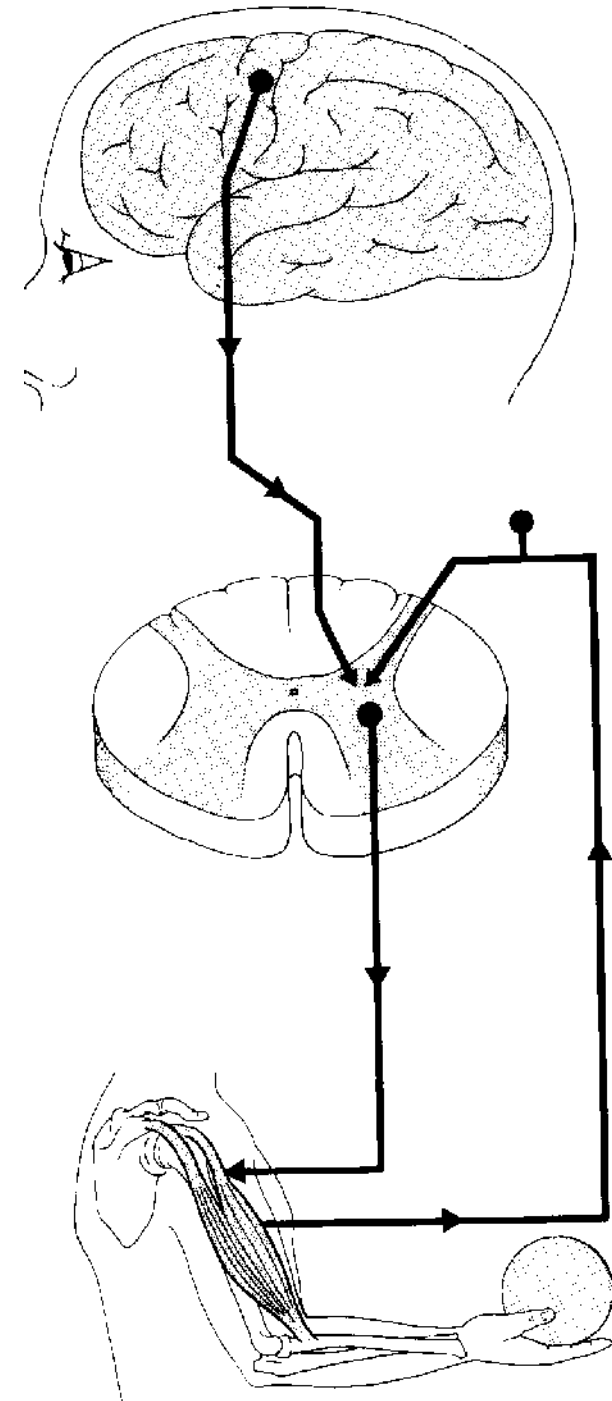
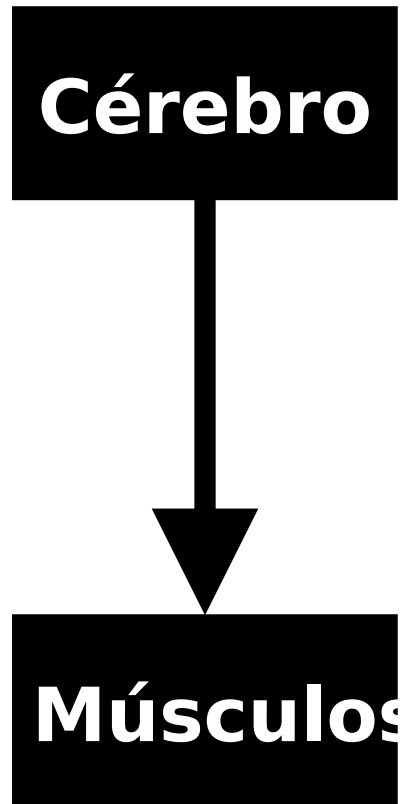
Major muscles of the body.  
Right side: superficial; left side:  
deep (posterior view)



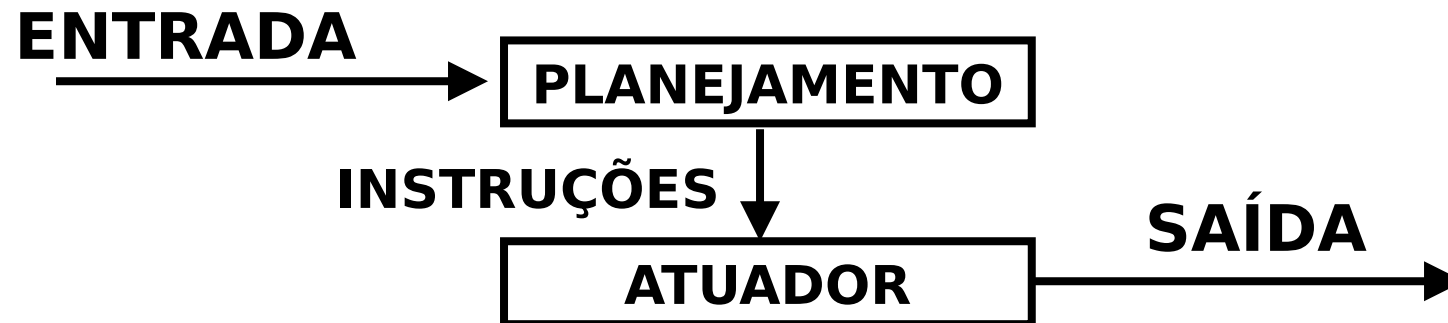
# Controle do movimento

- Como o movimento (posição, velocidade, força, etc.) dos segmentos do corpo são controlados?
- O problema é complexo (muitas variáveis) e há uma grande redundância (ou abundância), isto é, mais atuadores (músculos) do que necessário em princípio para realizar (controlar) o movimento.
- **Controle (coordenação) como um “Problema de Graus de Liberdade”**

# Como controlamos o movimento?



# Controle do movimento: um processo por malha aberta?



**Mas e se o movimento for complexo ou o ambiente mudar?**

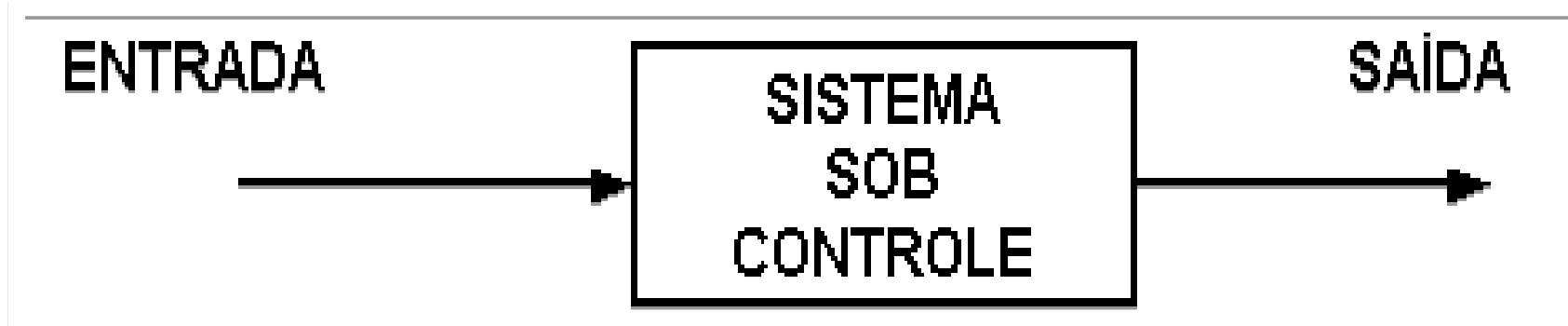


# Controle do movimento

- O corpo humano pode realizar muitos movimentos de diversas formas (muitos graus de liberdade).
- Na natureza e na engenharia, o controle de algo complexo requer não só o comando de ação (sinal eferente) mas também requer informações de seu estado para o sistema de controle (sinal aferente).

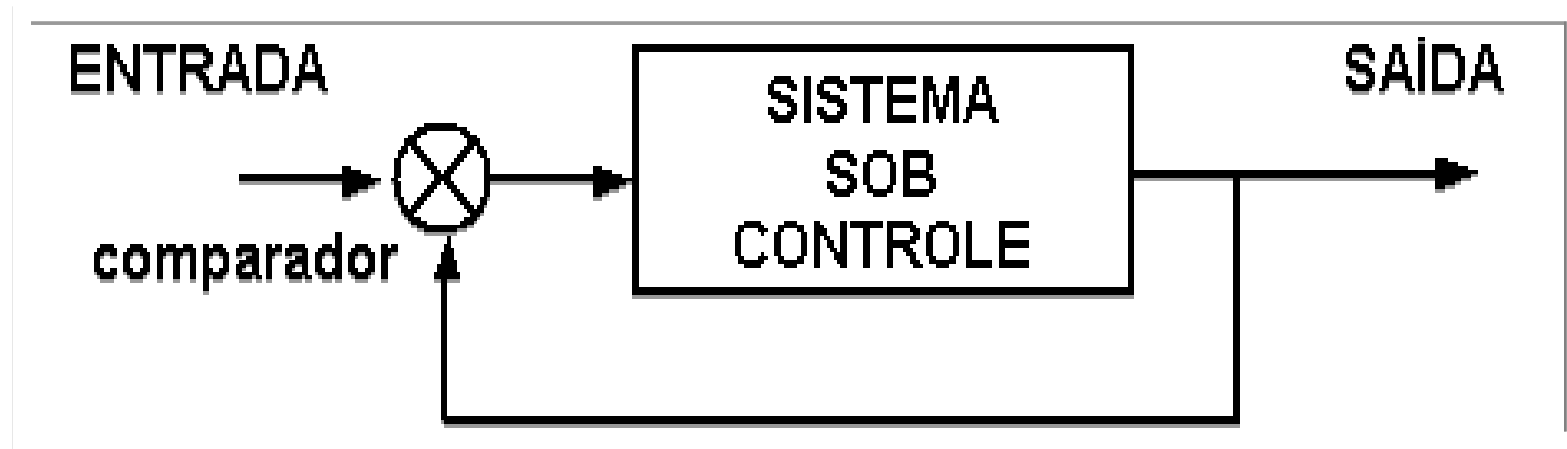
# Mecanismo de controle por FEEDFORWARD

- Um mecanismo de controle que opera sem feedback é chamado de feedforward:



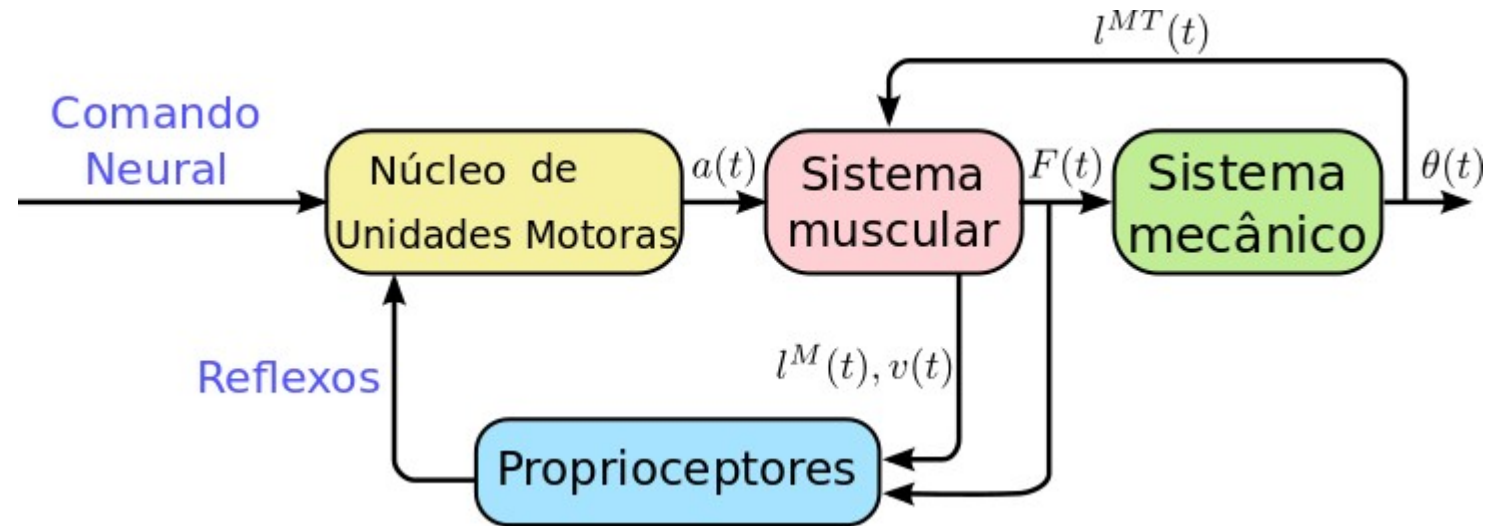
# Mecanismo de controle por **FEEDBACK**

- O mecanismo de controle que envolve vias eferentes e aferentes é chamado de feedback (realimentação):





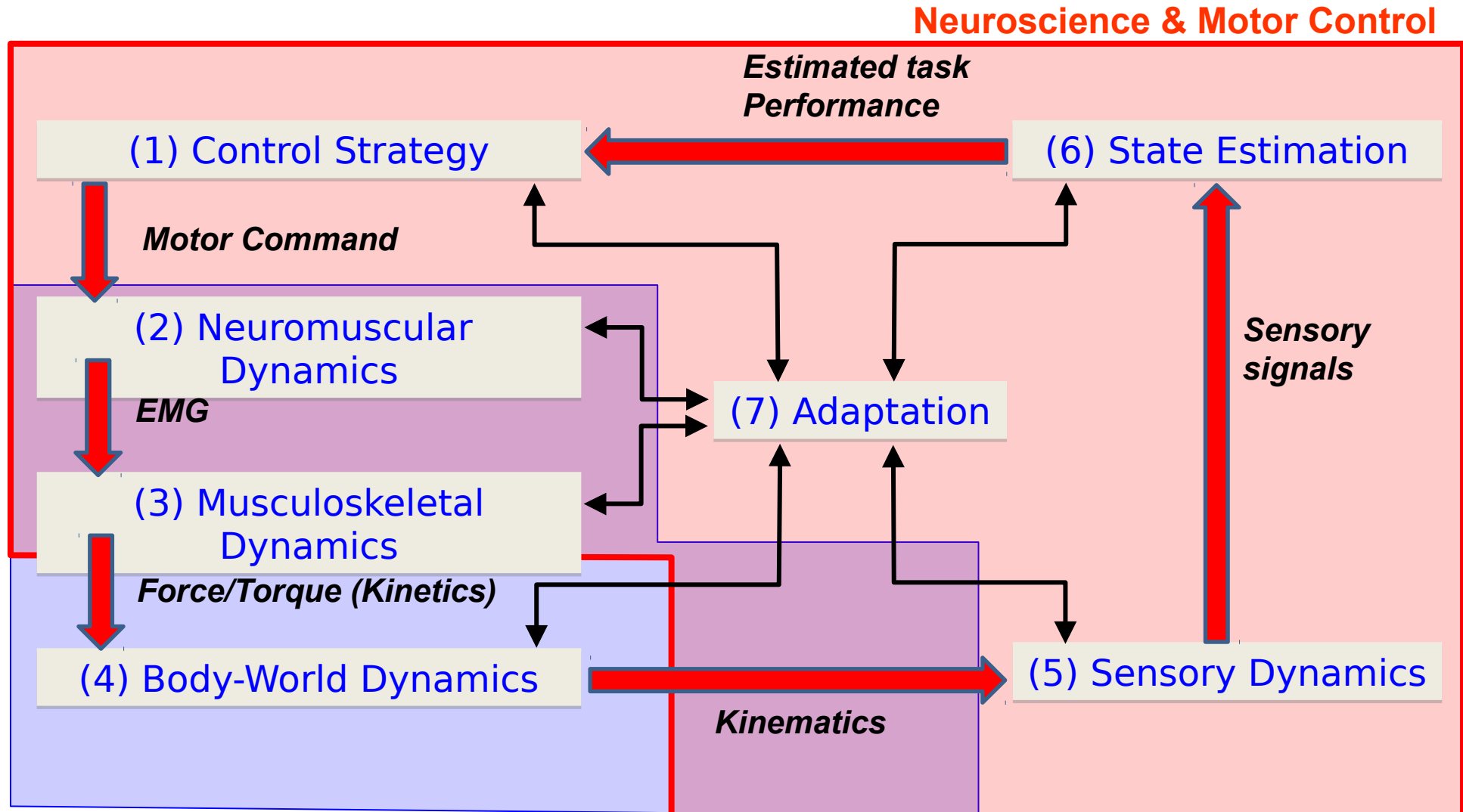
# Mecanismo de controle do movimento



# Biomechanics & Motor Control

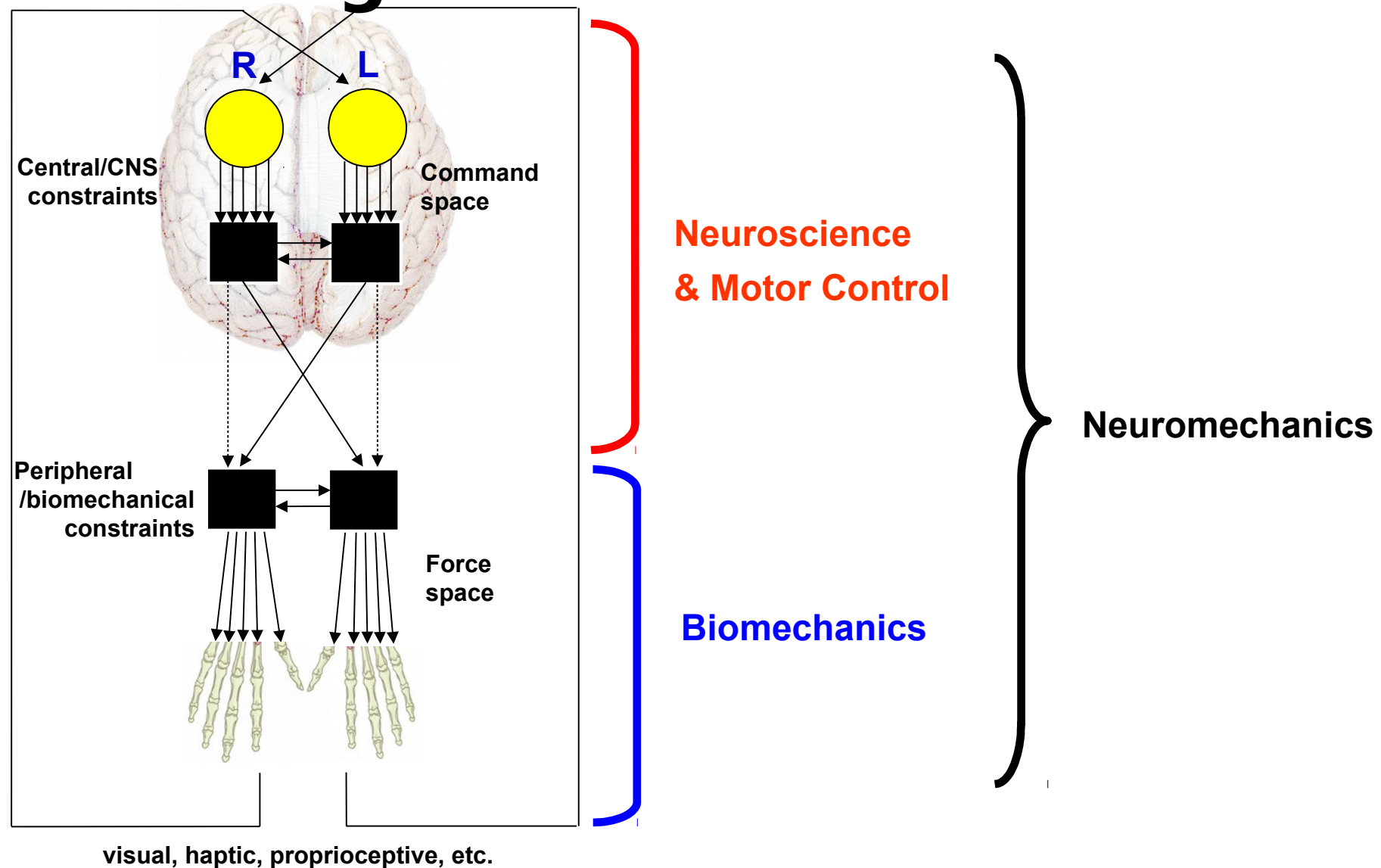
- **Biomechanics** is the study of the structure and function of biological systems by means of the methods of mechanics (Hatze, 1974).  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biomechanics>
- **Motor control** is the process by which humans and animals use their neuromuscular system to activate and coordinate the muscles and limbs involved in the performance of a motor skill.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Motor\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_control)

# “Boxology” of Neuromechanical Model





# Example: Biomechanics & Motor Control of Hand and Fingers



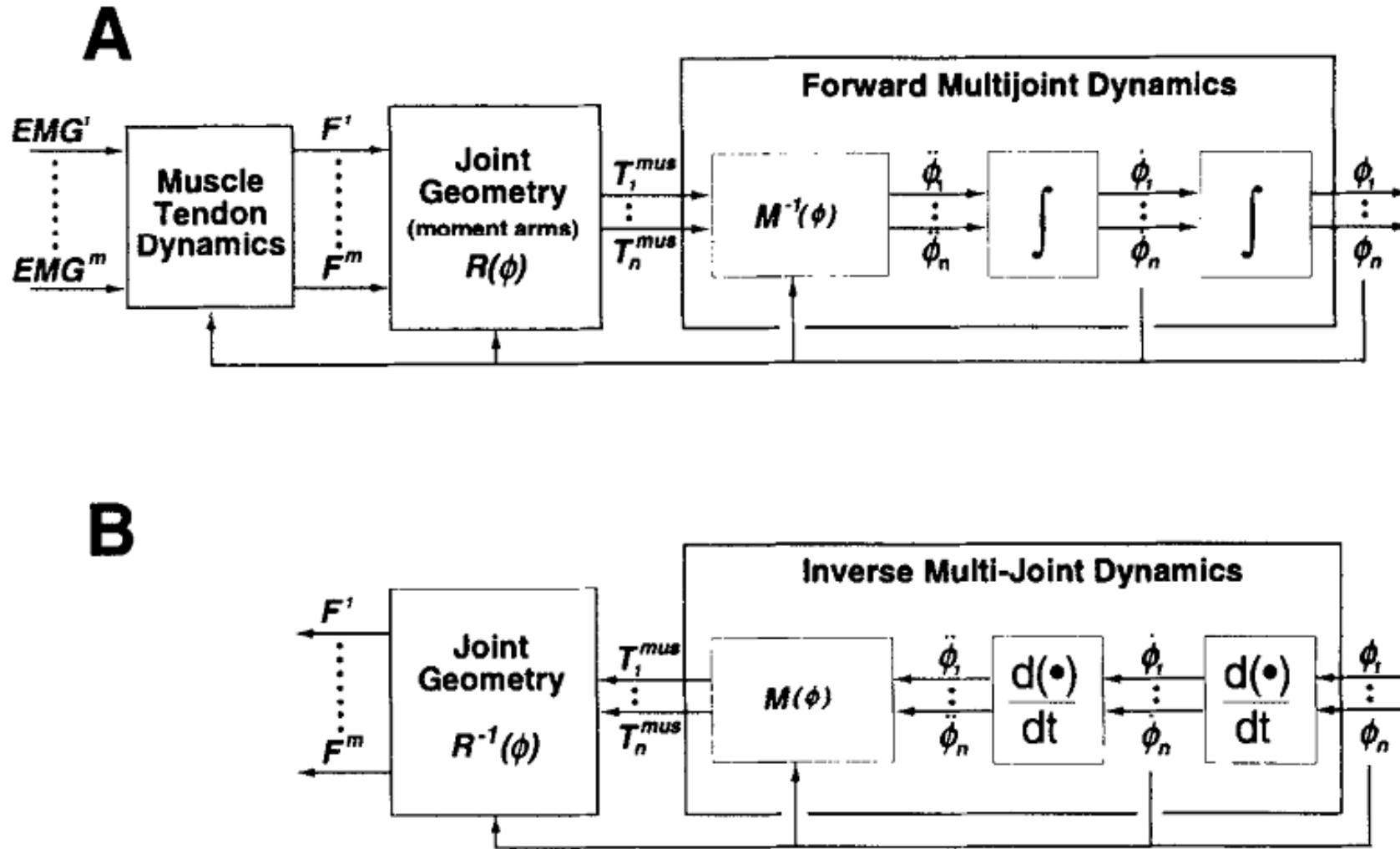
Adaptado de Shim et al. *Motor Control* (2007)

# Como estudar o controle do movimento?

- Zajac (1993) argumenta que para compreender a “coordenação muscular” de muitos movimentos nós não devemos apenas observar (medir) o movimento. É essencial desenvolver um modelo biomecânico.
- Ainda segundo Zajac (1993), este modelo biomecânico deve ser um modelo de dinâmica direta, isto é, modelar e simular o controle do movimento tendo como entrada comandos neurais e como saída o movimento em si.

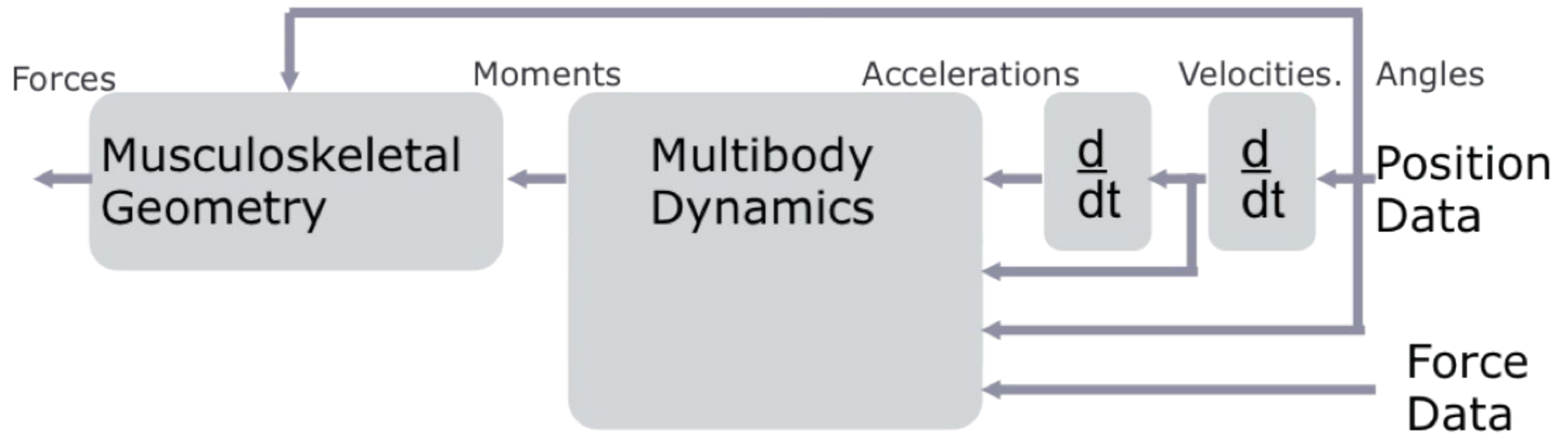
**Zajac FE (1993) Muscle coordination of movement: a perspective. J Biomech . 1993;26 Suppl 1:109-24.**

# Forward dynamics (A) and inverse dynamics (B) representation of the musculoskeletal system

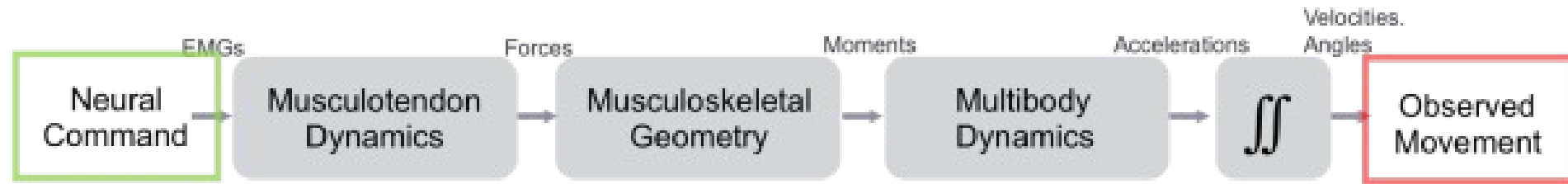


Zajac FE (1993) Muscle coordination of movement: a perspective. J Biomech. 1993;26 Suppl 1:109-24.

# Abordagem por dinâmica inversa



# Abordagem por dinâmica direta



# Modelagem e simulação do movimento humano

- Estes tipos de abordagens (seja por dinâmica inversa ou direta) ignoram os detalhes do sistema nervoso central e focam na modelagem do sistema nervoso periférico (o sistema musculoesquelético).
- Os comandos neurais são simplesmente modelados por uma simples função matemática, o que costuma irritar um neurocientista...



# OpenSim:

<https://simtk.org/home/opensim>

“

OpenSim is a software platform for modeling humans, animals, robots, and the environment, and simulating their interaction and movement.

OpenSim has a graphical user interface (GUI) for visualizing models and generating and analyzing simulations.

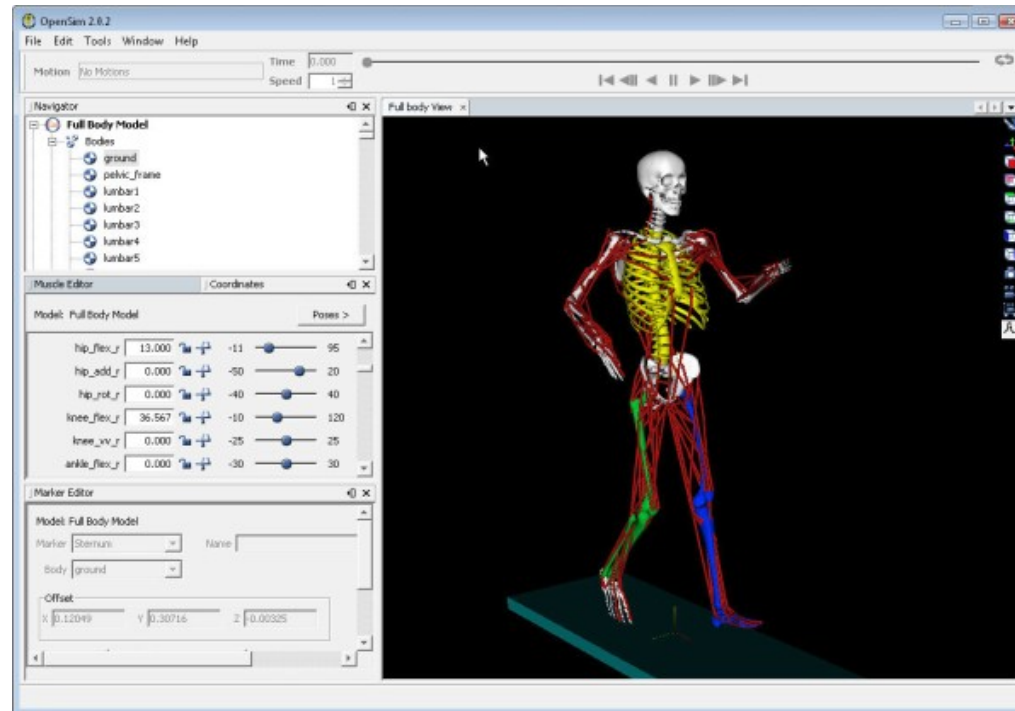
The open source and extensible software also includes an application programming interface (API) that developers can use to extend the software.

”

# OpenSim:

<https://simtk.org/home/opensim>

<https://www.youtube.com/watch?v=ME0VHfCtIM0>



# Simulação por dinâmica direta

- Simulação do sistema musculoesquelético do corpo humano por dinâmica direta é computacionalmente muito custoso por causa do grande número de variáveis e redundância.
- OpenSim oferece ferramentas para simplificar a solução por dinâmica direta utilizando a cinemática (conhecida) da movimento a ser simulado, controladores para controlar o corpo para gerar esta cinemática e otimização estática ([Computed Muscle Control](#), CMC).

# **Sobre o curso (2019)**

# Formato das aulas

- Discussão de artigos e outros textos.
- Resolução de problemas (maior parte deles com programação computacional)
- Realização dos tutoriais do OpenSim
- A maior parte do curso não será de aulas expositivas pelo professor

# Pré-requisitos do curso

- Domínio de biomecânica (matemática e física)
- Domínio de alguma linguagem de programação científica, por exemplo, Matlab ou Python.
- Domínio do inglês (leitura de textos)
- Computador com OpenSim e Python.
- Tempo



# Conteúdo do curso

Cerca de 12 aulas:

1. Apresentação do curso (1)
2. Computação científica (1)
3. Conceitos de modelagem e simulação (1)
4. Controle, equações diferenciais e integração numérica (2)
5. Modelagem e simulação muscular (3)
6. Modelagem e simulação do sistema músculoesquelético (2)
7. OpenSim (2)

# Avaliação do curso

- M = Média das 17 melhores notas de exercícios computacionais e perguntas sobre os textos indicados.
- A conversão para a escala de notas será:
  - A –  $M \geq 8.5$
  - B –  $8.5 > M \geq 7.0$
  - C –  $7.0 > M \geq 6.0$
  - F –  $M < 6.0$

# Aula 1

- Introdução
  - Controle do movimento humano, modelagem e simulação
  - Informações sobre o curso
- [OpenSim software](#)
- [Github](#)

Tarefas (para quarta-feira):

1. Instalar o OpenSim e fazer os três primeiros tutoriais (menu Help).