

# Controle dos Movimentos

## BIBLIOGRAFIA

- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.H. Controle motor. Teoria e aplicações práticas. Ed. Manole, São Paulo.
- KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSEL, T.M. Fundamentos da neurosciência e comportamento. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

## Conteúdos

- 1. Introdução ao controle e biomecânica do movimento**
  - Tipos movimento
  - Sinergias
  - O problema dos graus de liberdade
  - Controle hierarquizado e em paralelo
- 2. Controle motor periférico**
  - Fusos neuromusculares e órgãos tendinosos de golgi
  - Contribuição dos Reflexos
- 3. Controle motor suprasegmentar**
  - Tronco, Cerebelo, núcleos das base , Córtex

## Introdução ao Controle Motor

“Para usar uma metáfora, podemos dizer que o organismo está constantemente brincando com o meio ambiente, um jogo cujas regras não são definidas e onde os movimentos planejados pelo adversário não são conhecidos.”

(BERNSTEIN,1967,p.173)

## CONCEITOS BÁSICOS

- **Movimento**
  - Partes que compõem uma habilidade
- **Habilidade**
  - Tarefa com finalidade específica a ser atingida
  - Voluntária
  - Dependente de movimentos do corpo
  - Precisam ser aprendidas
- **Categorias habilidades:** manipulação, estabilização e locomoção

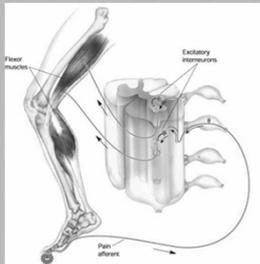
## MOVIMENTO

- Os movimentos possuem características **têmporo-espaciais**
- Os aspectos temporais e espaciais podem ser dissociados e controlados separadamente.
- Decurso do **tempo** do movimento – determinado pelo córtex temporal
- **Direção do movimento** – determinada pelo córtex motor
- **Localização espacial** – determinada pela atividade neuronal no hipocampo

(Georgopoulos , 2002)

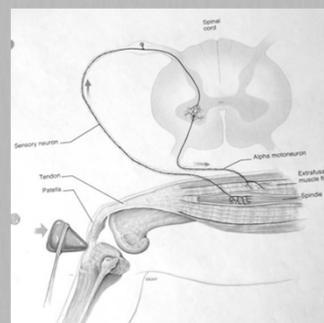
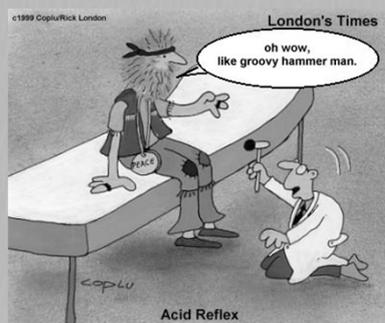
## Tipos de Movimento

- Reflexos
- Padrões motores rítmicos
- Voluntários



## Movimentos Reflexos

São respostas rápidas, mais ou menos estereotipadas e involuntárias. É a forma mais elementar de coordenação motora. São controladas de forma graduada pelo estímulo desencadeante.



## Padrões motores rítmicos

- Combinação de atos voluntários e reflexos.
- Só o início e o término da seqüência são voluntários.



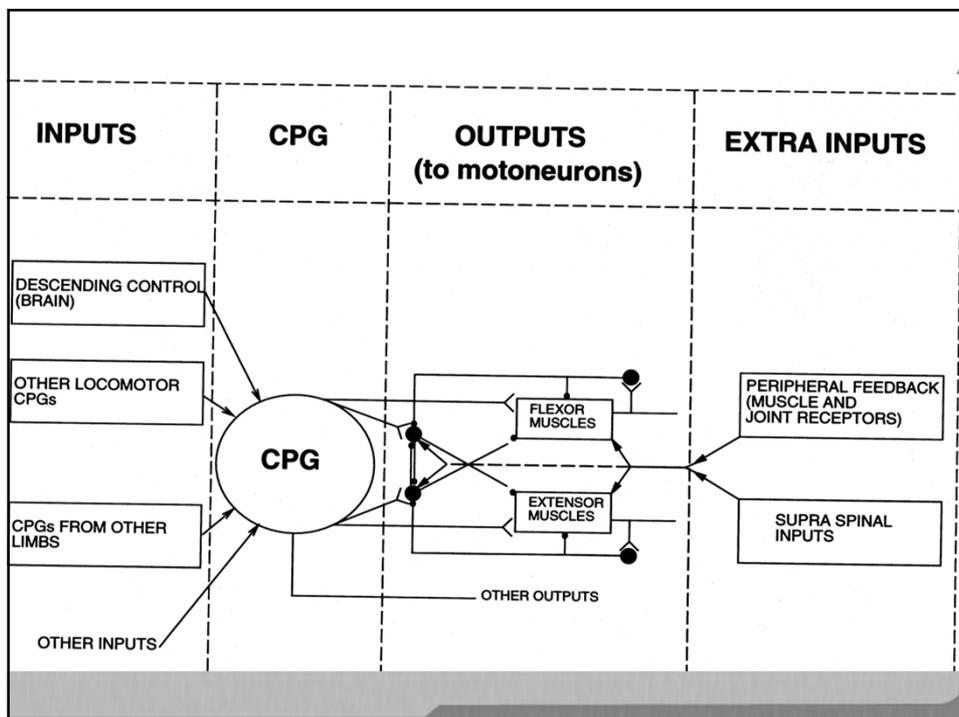
## Padrões motores rítmicos

- Em bebês, ao apoiar a planta do pé em alguma superfície, aparece flexão alternada de membros inferiores.
- Dificultado a partir do 3° mês, mas se colocar um bebê de 7 meses em meio aquático este padrão é reproduzido.



## REFLEXO RÍTMICO DA MARCHA GERADORES DE PADRÃO CENTRAL

- **GPC** = interneurônios medulares controlados por centros superiores e influenciado por informações periféricas (feedback sensorial)
- Função básica dos **GPC** – na medula, ocorre a ativação de motoneurônios que ativam reciprocamente os membros produzindo padrões alternados de flexão e extensão em vários músculos.



## Movimentos Voluntários

- São direcionados a um objetivo e são aprendidos.
- Sua execução melhora com a prática.
- Tornam-se automatizados com a **aprendizagem**.

## APRENDIZAGEM MOTORA

É um processo que culmina na alteração da capacidade da pessoa em desempenhar uma habilidade e esta deve ser inferida como uma **melhoria relativamente permanente** no desempenho devido à prática (repetição, treinamento, tratamento) ou à experiência.

# GRAUS DE LIBERDADE

Muitas formas de resolver 1 problema



Muitos graus de liberdade no corpo humano



Equivalência Motora

## COMO BATEMOS PALMAS?

- **Articulações do Membro Superior:** Graus de liberdade:

Ombro:

Cotovelo:

Punho:

Vias: matematicamente indeterminadas !!! (graus lib. do MMSS + dedos + coordenadas)

- Meios de selecionar a via mais inteligente, mais **eficiente** (menor energia, maior eficácia): COMO???

## COORDENAÇÃO MOTORA

1. O sistema motor é complexo
2. O sistema motor é redundante
3. Há uma variabilidade imensa no nível microscópico corresponde uma alta regularidade no nível macroscópico.

Como o SNC seleciona uma solução dentre tantas possíveis, produzindo um movimento ordenado espaço-temporalmente e relativamente estável diante condições tão imprevisíveis?

## Mecanismos para o controle dos graus de liberdade

- Organização hierárquica dos níveis de controle
- Constante monitoramento sensorial do movimento – FB sensorial
- Processamento paralelo
- Formação de **sinergias** (unidades de controle)

## SINERGIAS

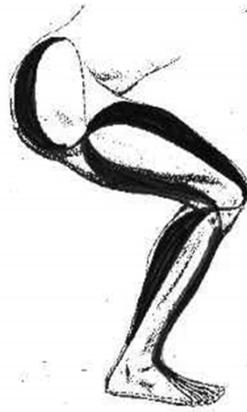


Figura 2- Representação da atividade de sinergias, as cintas musculares (ITTTEL, 1976), atuando na flexão e extensão da extremidade inferior.

## SINERGIAS

- São ligações entre estruturas neuro-musculares independentes que atuam de forma cooperativa como uma unidade a ser controlada
- É provável que o membro como um todo seja controlado como uma unidade

Bernstein (1940)



## Mecanismos para o controle dos graus de liberdade

- Organização hierárquica dos níveis de controle
- Constante monitoramento sensorial do movimento – FB sensorial
- Processamento paralelo
- Formação de **sinergias** (unidades de controle)

**SISTEMA NERVOSO:** Estabiliza funções intrínsecas e produz comportamentos (comp. motor e fenômenos vegetativos – ciclo indissociado, dependente)

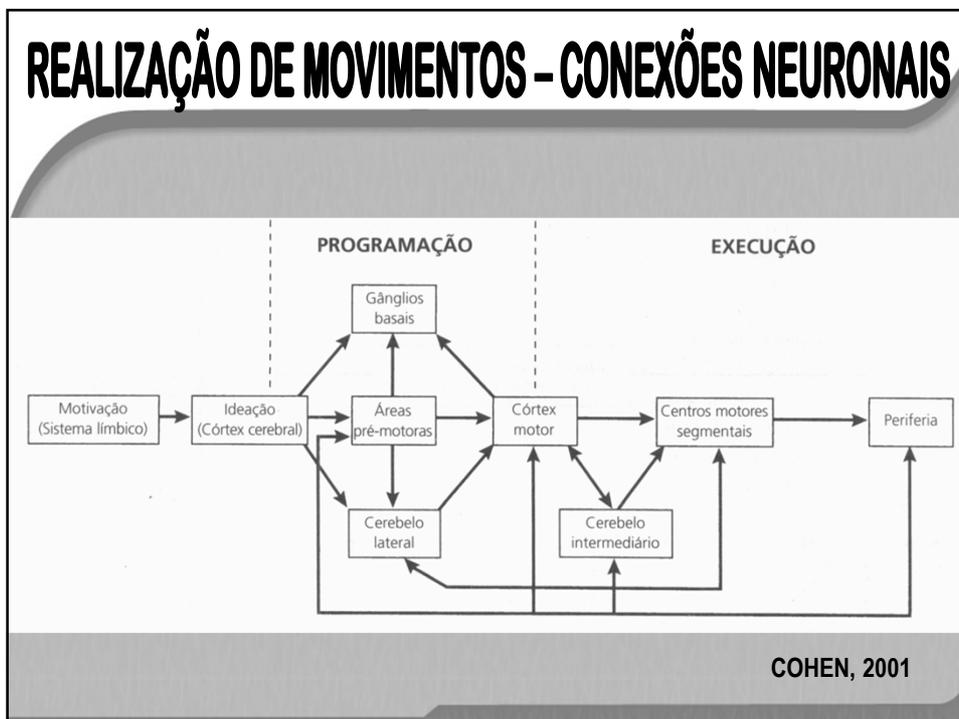
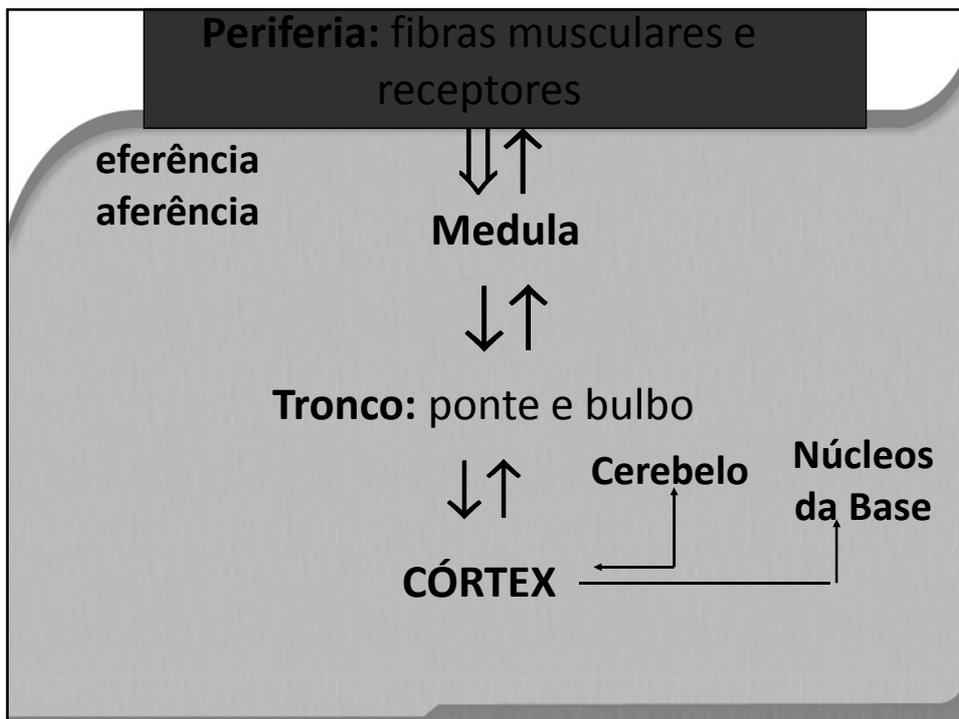
### NÍVEIS DE CONTROLE

- **Organização Hierárquica** – complexidade da info pelos níveis
- **Paralelo** – controle de outras vias motoras em paralelo

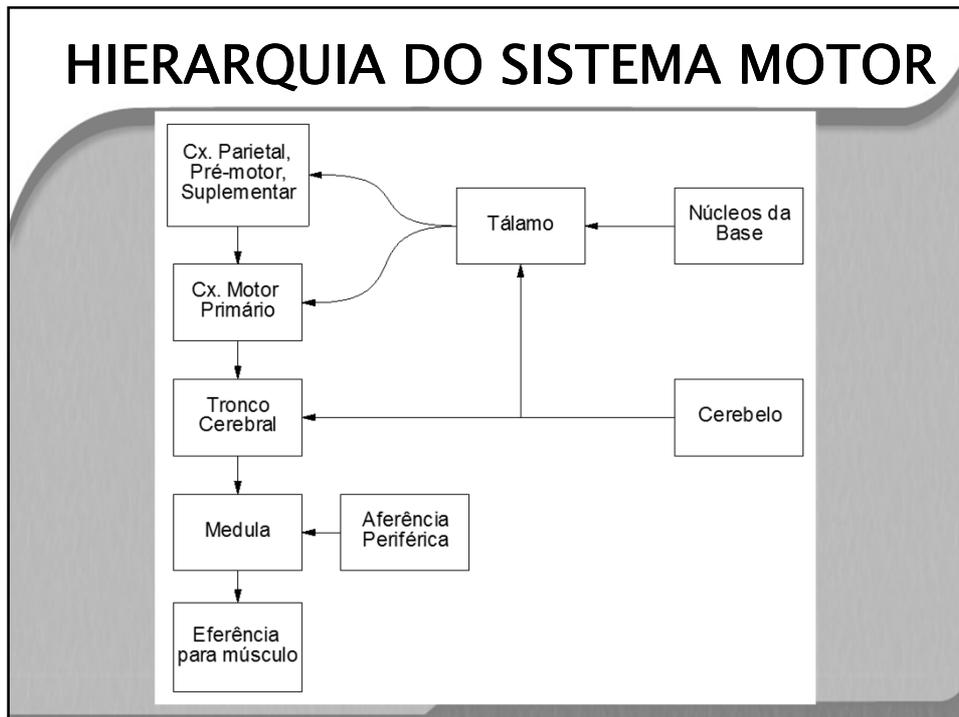
**Troca infos:** **Aferência** (grau contração, posição e orientação dos segm)

**Eferência** (comandos de ações)

**Feedback e Feedforward**



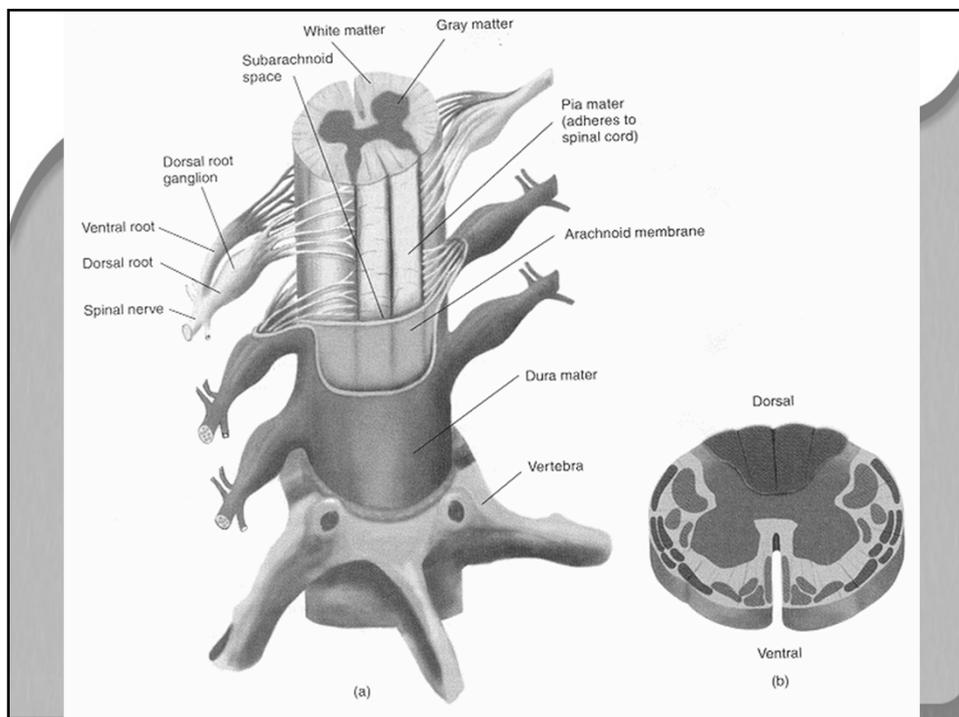
## HIERARQUIA DO SISTEMA MOTOR

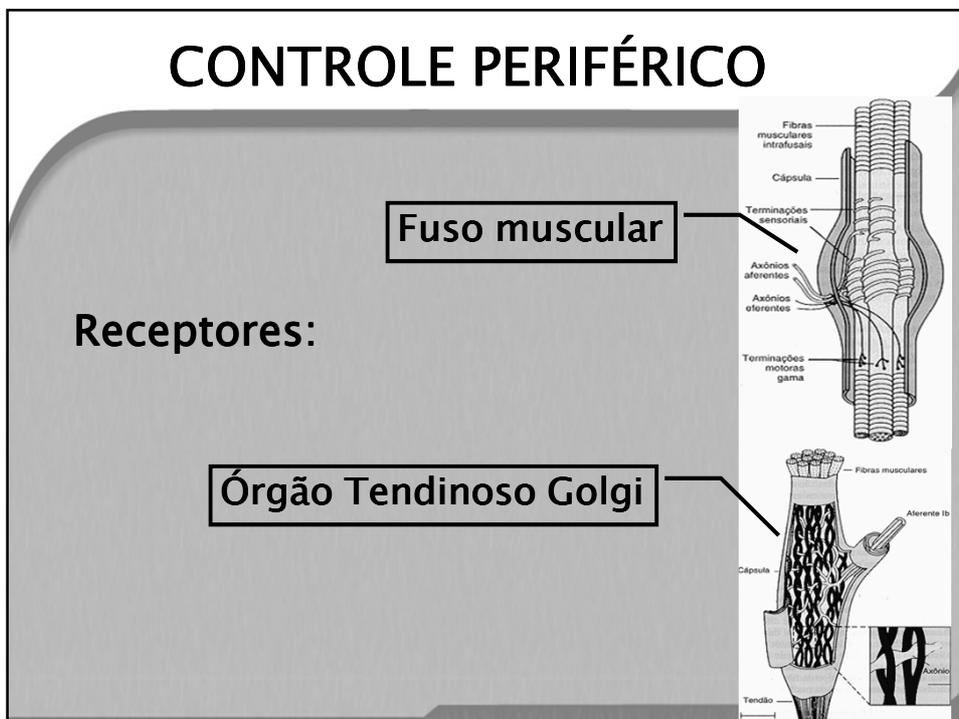
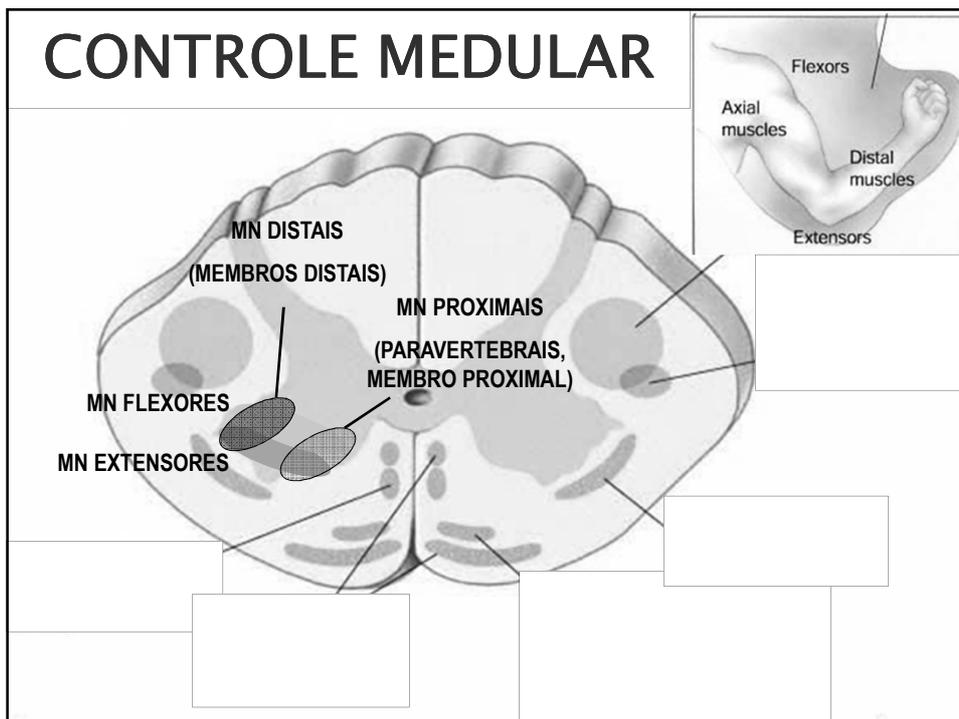


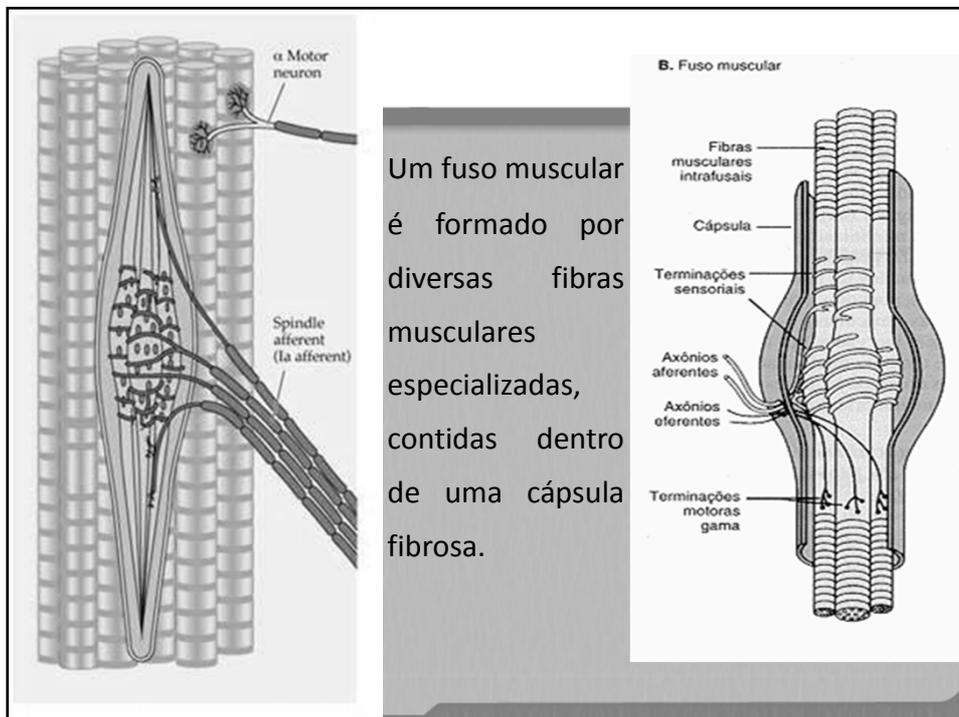
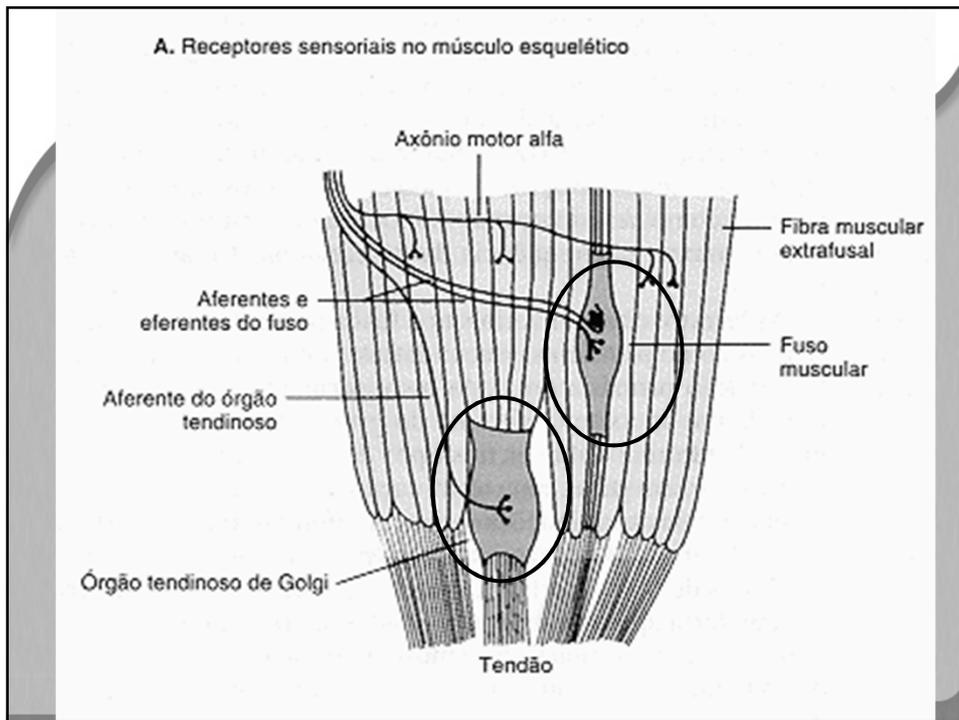
- **MEDULA:** nível mais baixo de complexidade e hierarquia.
- Circuitos neuronais que mediam padrões automáticos e estereotipados.
- Funcionamento desconectado do córtex.
- Interneurônios mediam circuitos reflexos e movimentos voluntários.

## ELEMENTOS NEURONAIS

- **Neurônios aferentes RAIZ DORSAL** (entram medula): **2 classes** - **Exteroceptores** (pele: tato, temperatura, dor, vibração); **Proprioceptores** (fusos, OTG, receptores articulares)
- **Neurônios eferentes RAIZ VENTRAL** (saem medula e vão para os órgãos efeitores): motoneurônios  $\alpha$  e  $\gamma$ .
- **Interneurônios** (terminam dentro do SNC): recebem info aferente Ia e II do fuso; aferentes cutâneos; Ib OTG; aferente de receptores articulares; vias descendentes

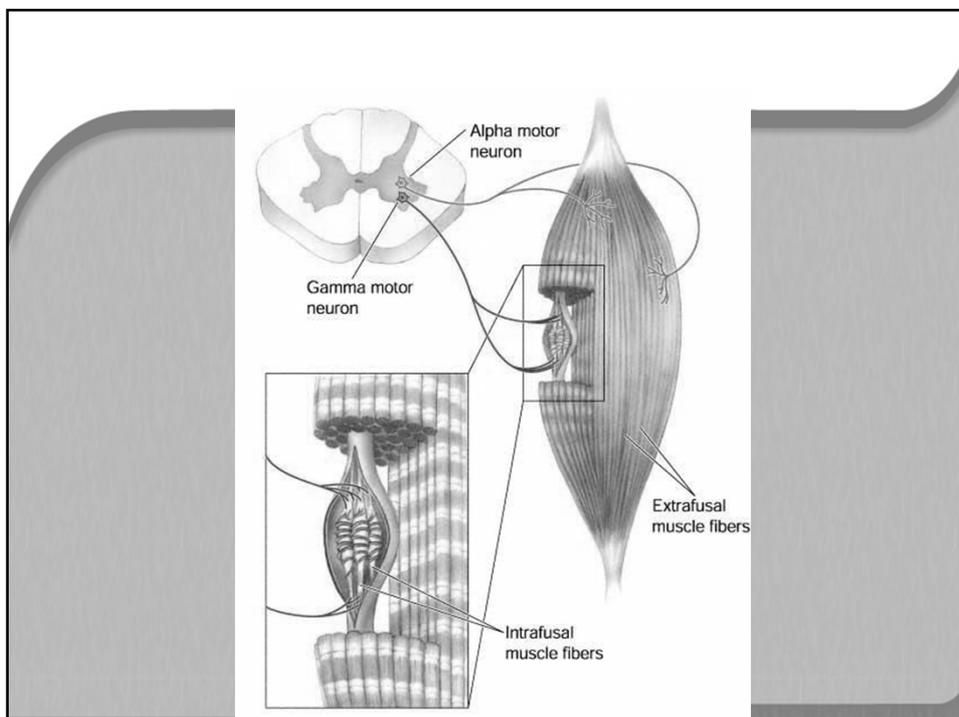




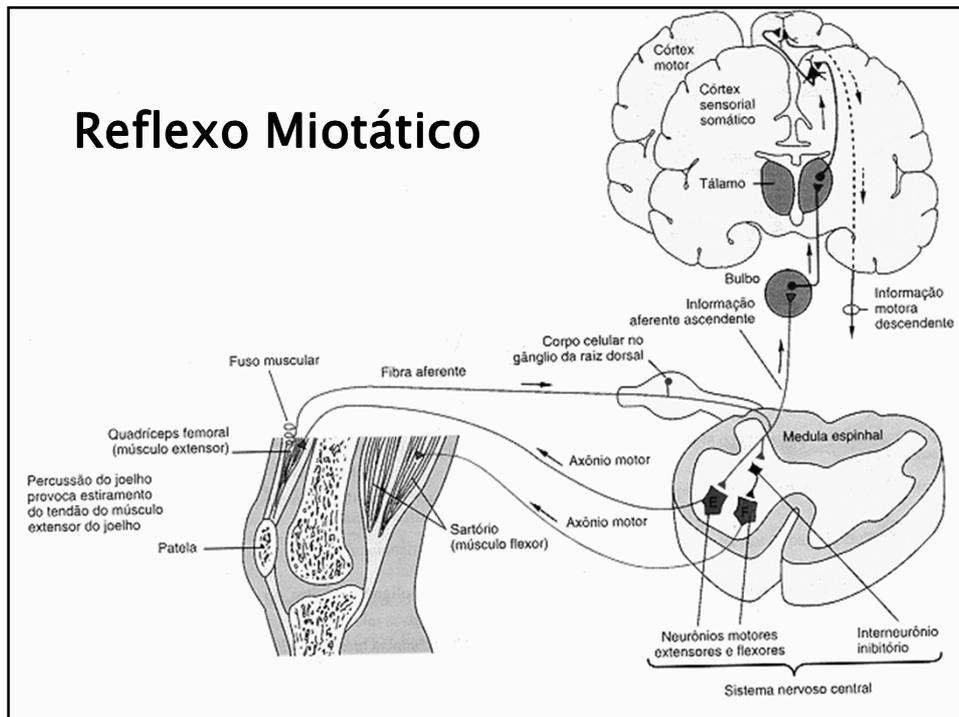


## Fusos Musculares

- Respondem ao estiramento das fibras intrafusais encapsuladas e mergulhadas num fluido gelatinoso
- **Informações ao SNC: comprimento muscular e posição relativa dos segmentos**, uma vez que o comprimento muscular varia com a taxa de variação angular das articulações

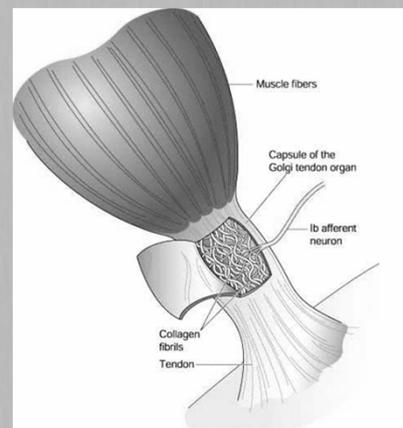


## Reflexo Miotático



## Propriocepção dos ÓRGÃOS TENDINOSOS DE GOLGI

- São localizados na junção miotendínea e são innervados por axônios sensoriais do grupo Ib (< que Ia)



## OTG

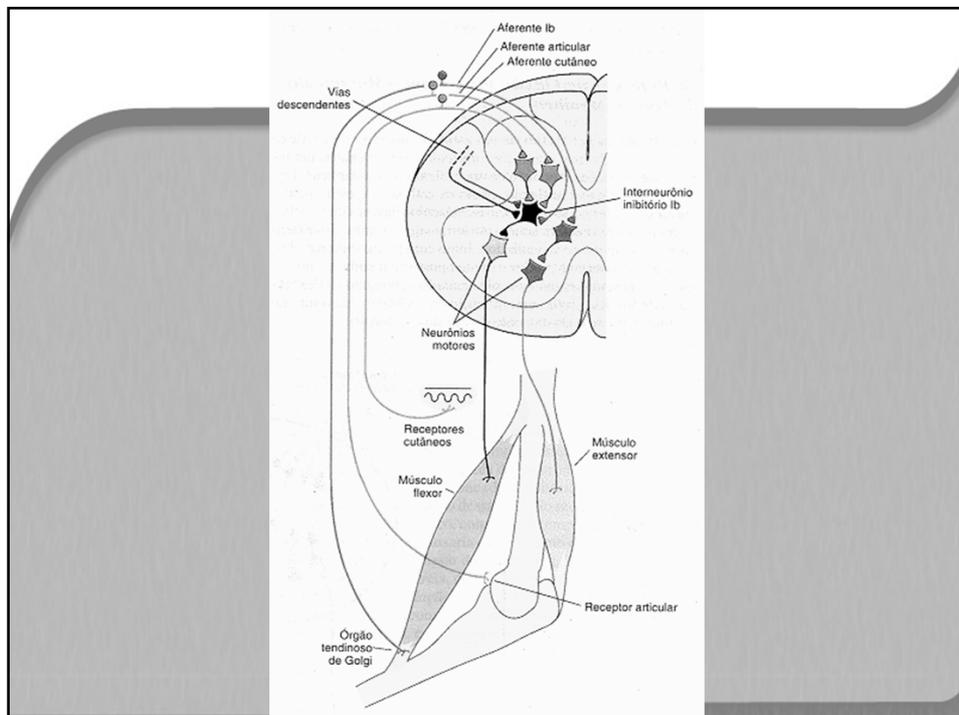
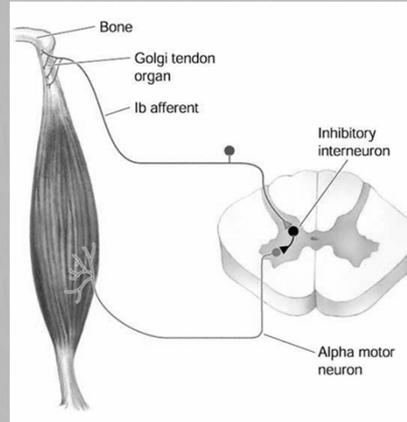
- Localizam-se numa zona inelástica dos músculos - Tendões
- **Atua como sensor de tensão, i.e., monitora a tensão muscular ou a força de contração.**
- Mais numerosos em músculos de contração lenta e menos numerosos em relação à quantidade de fusos nos mesmos músculos

## OTG

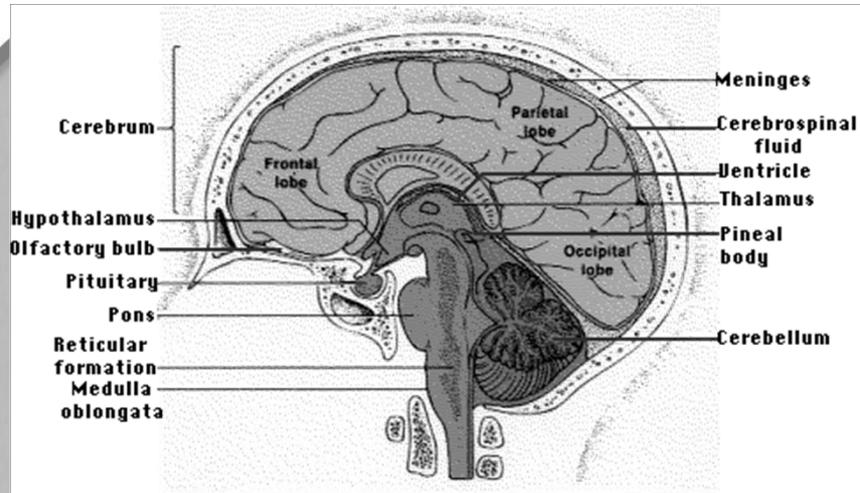
- Quando há contração (tensão) > no músculo, o OTG fica estirado e as fibras internas de colágeno comprimem o axônio aferente e aumenta o disparo de potenciais de ação.
- **Info ao SNC:** força muscular (tensão produzida pela contração muscular). Útil para várias ações motoras, tais como manutenção da preensão a um objeto ou compensar efeitos da fadiga (aumenta tensão quando ela diminui por fadiga)

## Reflexo Miotático Inverso – Reflexo OTG

- Quando músculo em tensão de contração, OTG inibe motoneurônio do próprio músculo.
- Sua função é regular a tensão muscular dentro de uma faixa ótima.
- Em situações extremas, esse reflexo protege o músculo de uma carga excessiva.



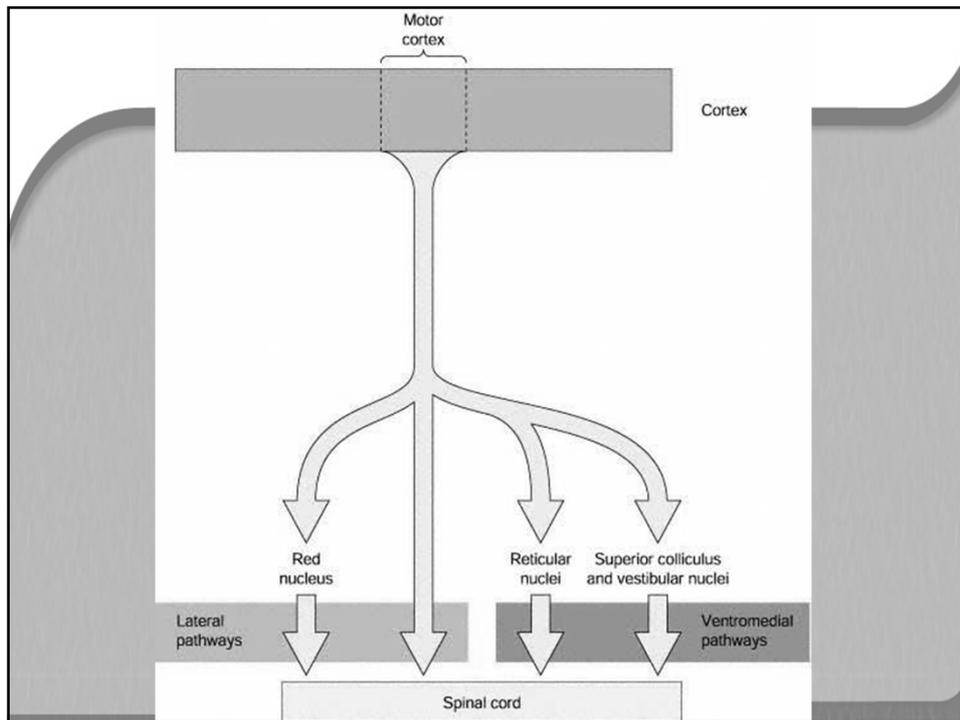
## TRONCO CEREBRAL



- Contém fibras motoras e sensoriais, além dos núcleos dos nervos cranianos.

## TRONCO CEREBRAL

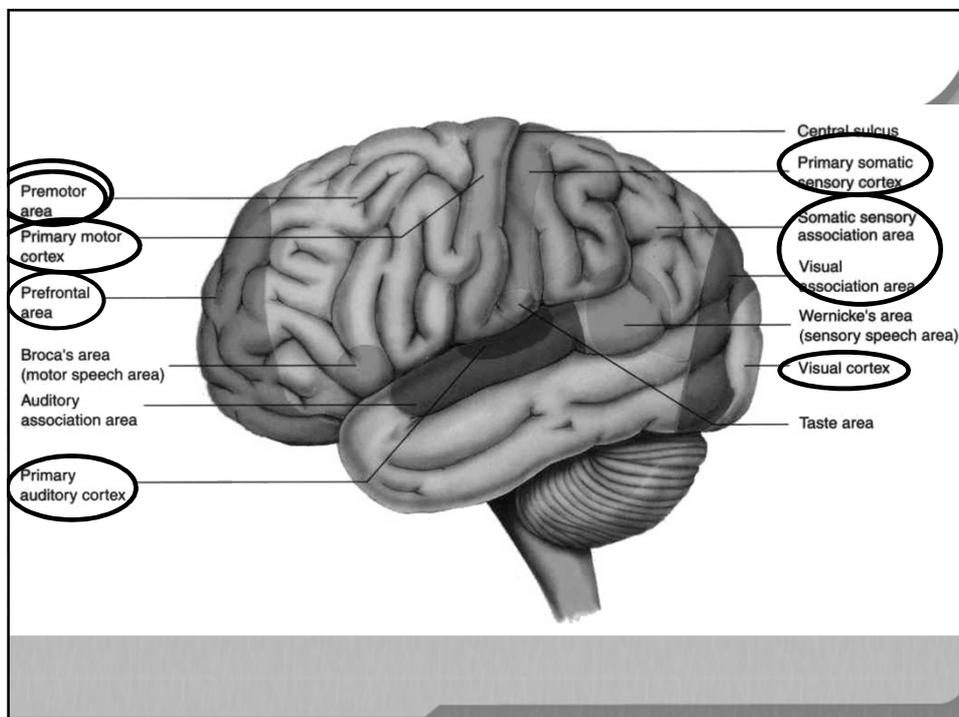
- Sistema neuronal que controla a rede de interneurônios da medula e motoneurônios para ações motoras.
- Associa informações aferentes vindas do cerebelo, córtex, periferia e sist. vestibular
- lateral (músculos distais membros)
- medial (postura)



# Córtex Cerebral

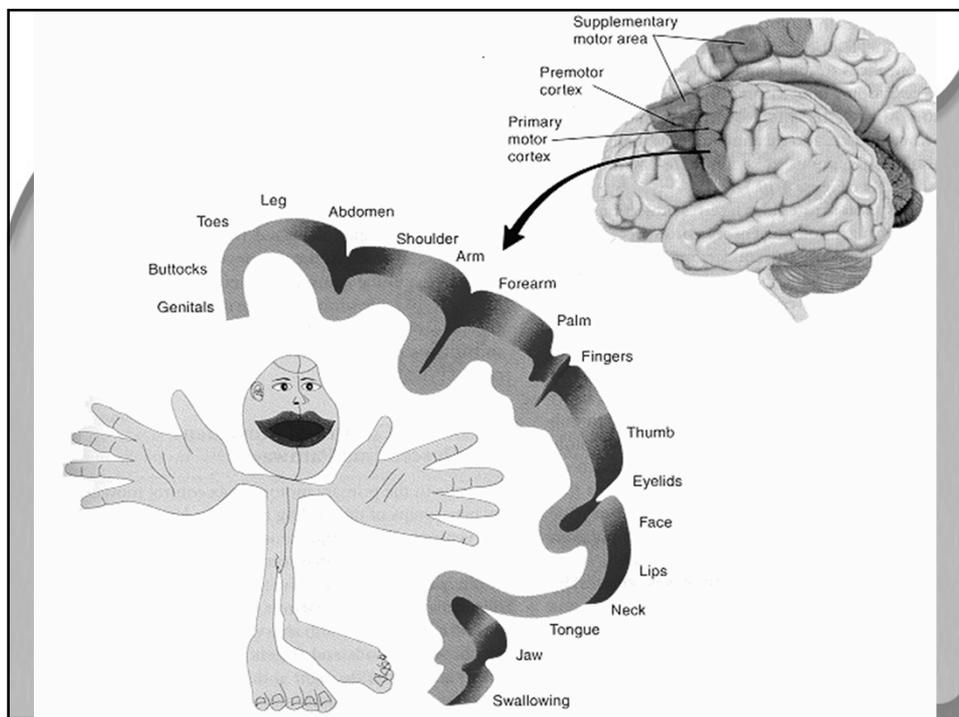
- **CÓRTEX:** Projeções para níveis mais baixos pelo trato corticoespinal (comandos motores).
- Áreas distintas no cx: funcionalmente diferentes.

- Movimentos voluntários são planejados por **centros superiores** e modulados conforme as características do ambiente.
- Uma das principais áreas de controle é o **Córtex Cerebral**:
  - **Área motora primária;**
  - **Áreas de associação motora e sensorial (pré-motora, área motora suplementar, somatossensorial);**
  - **Área sensorial primária**



## ÁREAS CORTICAIS ENVOLVIDAS NO CONTROLE DO MOVIMENTO

- Áreas motoras
- Áreas sensoriais
- Áreas de associação motora
- Áreas de associação sensorial
- Córtex Motor Primário (4)
- Córtex Sensorial Primário (1,2,3, 17, 41, 42)
- Córtex Pré-motor (6)
- Córtex Suplementar (6)
- Córtex Somatossensorial (5,7)
- Córtex Pré-frontal (8)



## CÓRTEX PRÉ-MOTOR E SUPLEMENTAR

### LOBO FRONTAL - ÁREA 6

#### Área de associação motora

- Mapa somatotópico completo mas menos preciso.
- Responsável pela preparação e organização da postura para o movimento (preparação para se mover).
- Responsável por sincronizar movimentos com eventos externos
- Usa informações visuais para planejar o movimento

## CÓRTEX PRÉ-MOTOR E SUPLEMENTAR

- Se estimulado, evoca movimentos em grupos de músculos (não contração de um músculo específico) e orienta o corpo e membros no espaço;
- **Processo de otimização** = seleciona um caminho dentre muitos possíveis (sistema redundante)
- **Automatismo (treinamento / aprendido)** – controle sai do suplementar e vai para o motor

## CÓRTEX MOTOR PRIMÁRIO

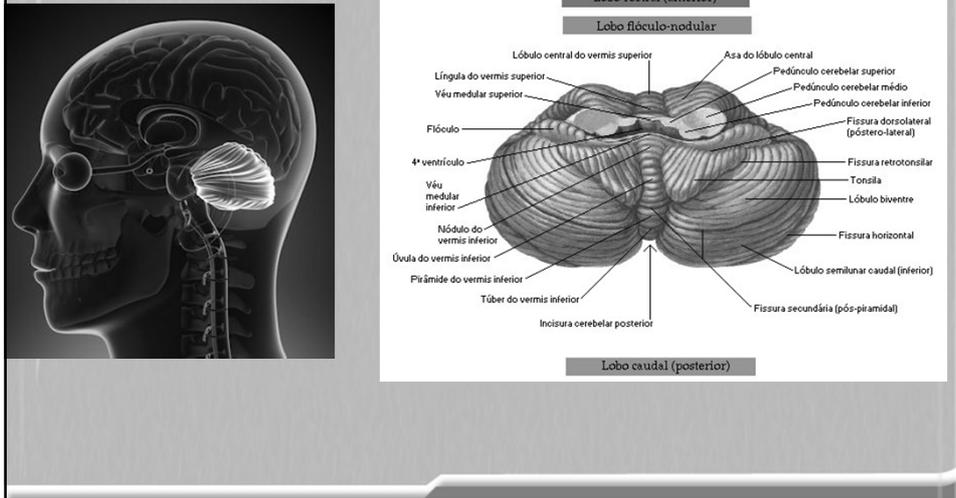
### LOBO FRONTAL - ÁREA 4

- ✓ Mapa somatotópico preciso – **Homúnculo**
- ✓ Responsável pela execução dos movimentos.
- ✓ Diziam ser a mais importante, mas processamento paralelo de outras áreas.
- ✓ Motoneurônios desta área cortical codificam quais músculos devem ser recrutados, quantidade de força e direção do movimento.

## CÓRTEX MOTOR PRIMÁRIO

- ✓ **Cada músculo** tem representação cortical definida, precisa, distinta. Porém, um mesmo músculo pode ser estimulado por diferentes áreas representadas no córtex, mas com uma latência de ativação maior (3 a 7 s) do que o ponto onde há uma representação definida para cada músculo. (dependente de conexões intracorticais)

# Cerebelo



## Considerações Gerais

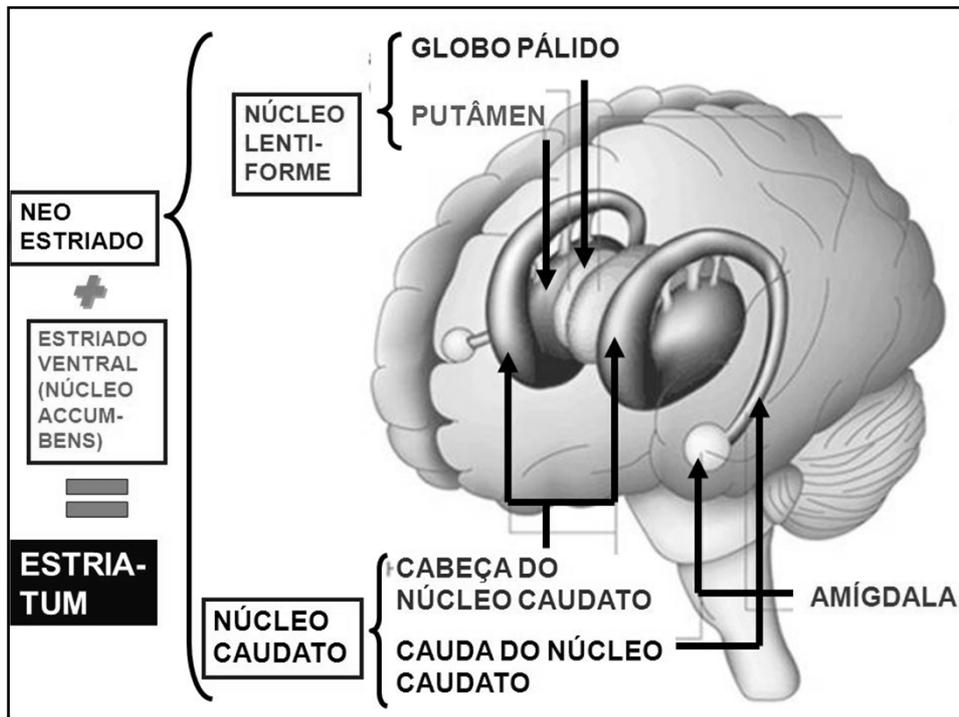
- 10% do volume total do encéfalo
- Contém 2/3 de todos os neurônios
- Seus neurônios estão arranjados de uma maneira extremamente regular como unidades repetidas, sendo cada unidade um módulo básico de circuito
- Coordena ações motoras, cognitivas e neurovegetativas (?) do SNC

## FUNÇÕES

- Reforça e ressintetiza impulsos motores;
- Gradua e harmoniza a contração muscular, tanto no movimento voluntário como na manutenção da postura;
- Refinamento dos movimentos: respostas são mais fortes e mais precisas, e os movimentos voluntários são mais uniformes e mais sincronizados;
- Atua na aprendizagem do movimento, corrigindo planos motores.

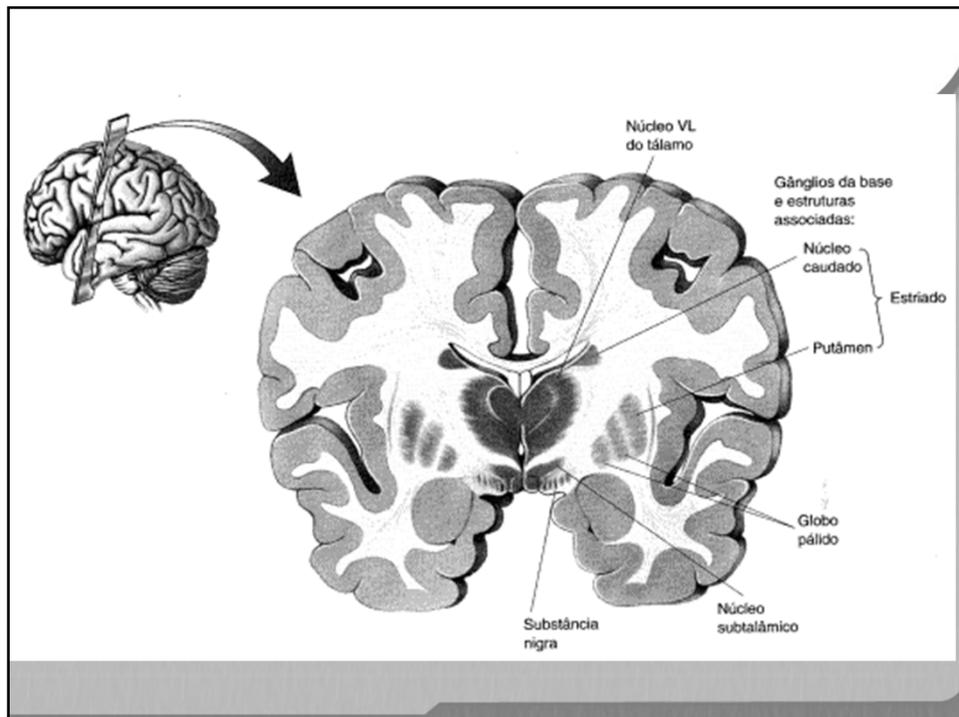
## NÚCLEOS DA BASE





## NÚCLEOS DA BASE

- **Núcleos** – refere-se a grupos de corpos de células nervosas
- **Funções:**
  - Planejamento e orientação do movimento
  - Organização do plano motor
  - Organização da seqüência motora
  - Coordenação e organização do início de movimentos seriais
  - Ativação para iniciar movimento (área 6 para área 4).
- Envolvidos na atividade cognitiva do movimento e na função límbica.



## NÚCLEOS DA BASE

- Componentes em uma série de circuitos paralelos que vão do córtex cerebral ao tálamo (através dos NB) e então voltam ao córtex
- Integram e modulam a informação cortical através de canais paralelos múltiplos

## VIAS DIRETA E INDIRETA

- O circuito básico dos NB é dividido em vias **direta** e **indireta** que têm ações opostas nos núcleos-alvo
- **VIA DIRETA** = facilita o fluxo de informações do tálamo para cx.
- **VIA INDIRETA** = inibe o fluxo de informações do tálamo para cx.

## VIAS DIRETA E INDIRETA

