

### Quadro 1-1 O sistema nervoso central

#### O sistema nervoso central tem sete partes principais.

A **medula espinal**, a parte mais caudal do sistema nervoso central, recebe e processa informação sensorial da pele, das articulações e dos músculos dos membros e do tronco e controla os movimentos dos membros e do tronco. É subdividida nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral (Figura 1-2A).

A medula espinal continua rostralmente como o **tronco encefálico**, que consiste em bulbo, ponte e mesencéfalo. O tronco encefálico recebe informação sensorial da pele e dos músculos da cabeça e fornece o controle motor para a musculatura da cabeça. Ele também transmite informação da medula espinal para o encéfalo e do encéfalo para a medula espinal, regulando os níveis de alerta via formação reticular.

O tronco encefálico contém diversas coleções de corpos celulares, os núcleos dos nervos cranianos. Alguns desses núcleos recebem informação da pele e dos músculos da cabeça; outros controlam eferências motoras para músculos da face, do pescoço e dos olhos. Outros ainda são especializados no processamento de informação de três dos sentidos especiais: audição, equilíbrio e paladar.

O **bulbo**, diretamente rostral à medula espinal, inclui diversos centros responsáveis por funções autônomas (neurovegetativas) vitais, como a digestão, a respiração e o controle dos batimentos cardíacos.

A **ponte**, rostral ao bulbo, retransmite informações acerca do movimento dos hemisférios cerebrais para o cerebelo.

O **cerebelo** situa-se atrás da ponte e está conectado ao tronco encefálico por diversos tratos importantes de fibras, denominados *pedúnculos*. O cerebelo modula a força e a amplitude do movimento e está envolvido no aprendizado de habilidades motoras.

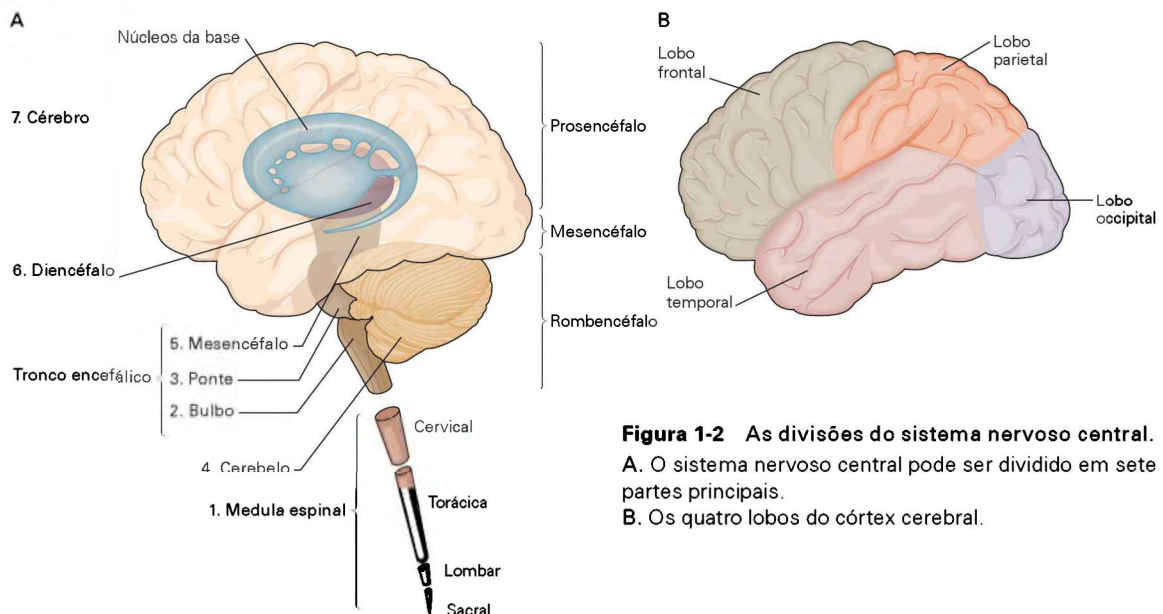
O **mesencéfalo**, rostral à ponte, controla muitas funções sensoriais e motoras, incluindo o movimento dos olhos e a coordenação dos reflexos visuais e auditivos.

O **diencefalo** situa-se rostralmente ao mesencéfalo e contém duas estruturas. O **tálamo** processa a maior parte da informação que chega ao córtex cerebral a partir do resto do sistema nervoso central. O **hipotálamo** regula funções autônomas, endócrinas e viscerais.

O **cérebro** compreende os dois hemisférios cerebrais, cada um deles consistindo em uma camada mais externa muito enrugada (o **córtex cerebral**) e três estruturas situadas mais profundamente (os **núcleos da base**, o **hipocampo** e os **núcleos da amígdala**). O córtex cerebral é dividido em quatro lobos distintos: frontal, parietal, occipital e temporal (Figura 1-2B).

Os núcleos da base participam na regulação do desempenho motor; o hipocampo está envolvido com aspectos do armazenamento da memória, e os núcleos da amígdala coordenam as respostas autonômicas e endócrinas dos estados emocionais.

O encéfalo também costuma ser dividido em três regiões mais amplas: **rombencéfalo** (bulbo, ponte e cerebelo), **mesencéfalo** e **prosencefalo** (diencefalo e cérebro). O rombencéfalo (excluído o cerebelo) e o mesencéfalo juntos incluem as estruturas conhecidas como tronco encefálico.



**Figura 1-2** As divisões do sistema nervoso central.

A. O sistema nervoso central pode ser dividido em sete partes principais.

B. Os quatro lobos do córtex cerebral.

O trabalho de Broca estimulou uma busca por regiões corticais associadas a outros comportamentos específicos – uma busca logo recompensada. Em 1870, Gustav Fritsch e Eduard Hitzig causaram grande excitação na comunidade científica quando mostraram que movimentos caracterís-

ticos das patas de cães, como estender uma pata, podem ser produzidos pela estimulação elétrica de determinadas regiões do giro pré-central. Essas regiões estão invariavelmente localizadas no córtex motor contralateral. Desse modo, a mão direita humana, usada para escrever e para

# As células nervosas, os circuitos neurais e o comportamento

## O sistema nervoso possui dois tipos de células

As células nervosas são as unidades sinalizadoras do sistema nervoso

Células gliais dão suporte às células nervosas

## Cada célula nervosa é parte de um circuito que tem uma ou mais funções comportamentais específicas

## A sinalização é organizada da mesma forma em todas as células nervosas

O componente aferente produz sinais locais graduados

A zona de gatilho é decisiva na geração do potencial de ação

O componente condutivo propaga um potencial de ação tudo-ou-nada

O componente eferente libera neurotransmissores

A transformação do sinal neuronal de sensorial para motor é ilustrada pela via do reflexo patelar

## Células nervosas diferem principalmente em nível molecular

## Modelos de redes neurais simulam o processamento em paralelo da informação no encéfalo

## Conexões neurais podem ser modificadas pela experiência

**A** IMPRESSIONANTE VARIEDADE DO COMPORTAMENTO HUMANO depende de uma gama sofisticada de receptores sensoriais conectados a um órgão neural altamente flexível – o encéfalo – que seleciona, dentre o fluxo de sinais sensoriais, aqueles eventos ambientais que são importantes para o indivíduo. Em outras palavras, o encéfalo organiza ativamente a percepção, parte da qual é armazenada na memória para referência futura, e outra parte é transformada em respostas comportamentais imediatas. Tudo isso é realizado por células nervosas interconectadas.

Células nervosas individuais, ou neurônios, são as unidades básicas do encéfalo. O encéfalo humano possui um

enorme número dessas células, da ordem de  $10^{11}$  neurônios, que podem ser classificadas em, no mínimo, mil diferentes tipos. Mesmo assim, a complexidade do comportamento humano depende mais da organização dos neurônios em circuitos anatômicos com funções precisas do que de sua variedade. Um princípio organizacional fundamental do encéfalo, portanto, é que as células nervosas com propriedades similares podem produzir ações diferentes de acordo com a maneira como se interconectam.

Uma vez que relativamente poucos princípios de organização podem gerar uma complexidade considerável, é possível entender muito sobre como o sistema nervoso gera um comportamento com foco em cinco características básicas do sistema nervoso:

1. os componentes estruturais das células nervosas individuais;
2. os mecanismos pelos quais os neurônios produzem sinais dentro e entre eles;
3. os padrões de conexões das células nervosas entre si e com seus alvos, como músculos e glândulas;
4. a relação de diferentes padrões de interconexão com diferentes tipos de comportamento;
5. as formas de modificação, pela experiência, de neurônios e suas conexões.

As várias partes deste livro são organizadas de acordo com os cinco tópicos principais, acima referidos. Neste capítulo, oferecemos uma visão geral do controle neural do comportamento, introduzindo tais tópicos em conjunto. Primeiramente, consideraremos a estrutura e a função dos neurônios e das células gliais que os cercam e sustentam. Depois, examinaremos como as células individuais organizam e transmitem sinais e como a sinalização entre algumas células nervosas interconectadas produz um comportamento simples, o reflexo patelar. Finalmente, consideraremos como as mudanças na sinalização por células específicas podem modificar o comportamento.

## O sistema nervoso possui dois tipos de células

Há duas classes principais de células no sistema nervoso: células nervosas, ou neurônios, e células gliais, ou glia.

### As células nervosas são as unidades sinalizadoras do sistema nervoso

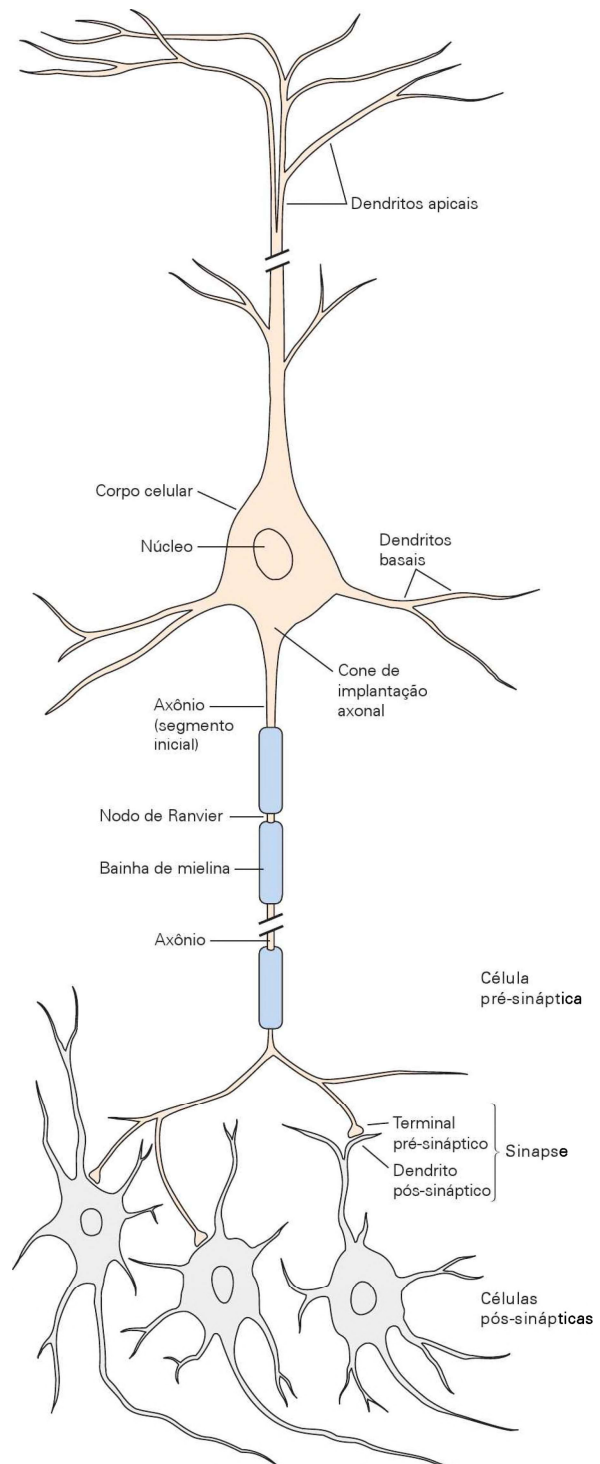
Um neurônio típico tem quatro regiões morfológicas definidas: (1) o corpo celular, (2) os dendritos, (3) o axônio e (4) os terminais pré-sinápticos (Figura 2-1). Como veremos adiante, cada região tem um papel distinto na geração de sinais e na comunicação com outras células nervosas.

O corpo celular, ou *soma*, é o centro metabólico da célula. Contém o núcleo, que possui os genes da célula, e o retículo endoplasmático, uma extensão do núcleo onde proteínas celulares são sintetizadas. O corpo celular geralmente origina dois tipos de processos: vários *dendritos* curtos e um *axônio* longo e tubular. Os dendritos ramificam-se de forma semelhante a uma árvore e são o principal aparato para recepção de sinais aferentes de outras células nervosas. O axônio tipicamente estende-se até certa distância do corpo celular e carrega sinais a outros neurônios. Um axônio pode transportar sinais elétricos por longas distâncias, de 0,1 mm a 2 m. Esses sinais elétricos, chamados *potenciais de ação*, são iniciados em uma zona especializada de disparo (zona de gatilho) próxima à origem do axônio, chamada *segmento inicial*, a partir da qual esses potenciais se propagam através do axônio sem falhas ou distorções, a velocidades de 1 a 100 m/s. A amplitude de um potencial de ação viajando pelo axônio se mantém constante a 100 mV porque o potencial de ação é um impulso tudo-ou-nada que se regenera a intervalos regulares ao longo do axônio (Figura 2-2).

Potenciais de ação são os sinais pelos quais o encéfalo recebe, analisa e transmite a informação. Esses sinais são altamente estereotipados em todo o sistema nervoso, mesmo que iniciados por uma grande variedade de eventos ambientais que nos atingem – da luz ao contato mecânico, de odores a ondas de pressão. Os sinais que transmitem informação sobre visão são idênticos aos que carregam informação sobre odores. Eis um princípio básico da função

cerebral: a informação transmitida por um potencial de ação é determinada não pela forma do sinal, mas pela via trafegada pelo sinal no encéfalo. O encéfalo analisa e interpreta os padrões de sinais elétricos aferentes e suas vias, criando nossas sensações de visão, tato, olfato e audição.

Para aumentar a velocidade de condução dos potenciais de ação, grandes axônios são enrolados em uma substância lipídica isolante, a *mielina*. A bainha de mielina é interrompida a intervalos regulares pelos nodos de Ranvier,



**Figura 2-1 A estrutura do neurônio.** A maioria dos neurônios no sistema nervoso dos vertebrados tem várias características principais em comum. O corpo celular contém o núcleo, o depósito da informação genética, e origina dois tipos de processos celulares: axônios e dendritos. Os axônios são o elemento transmissor dos neurônios; variam bastante em comprimento, e alguns se estendem por mais de 2 metros dentro do corpo. A maioria dos axônios no sistema nervoso central é muito fina (entre 0,2  $\mu\text{m}$  e 20  $\mu\text{m}$  de diâmetro) em comparação com o diâmetro do corpo celular (50  $\mu\text{m}$  ou mais). Muitos axônios são isolados por uma bainha gordurosa de mielina, que é interrompida regularmente em alguns pontos chamados nodos de Ranvier. O potencial de ação, sinal condutor da célula, é iniciado no segmento inicial do axônio e propaga-se para a sinapse, local no qual os sinais se transmitem de um neurônio a outro. As ramificações do axônio do neurônio pré-sináptico transmitem sinais para a célula pós-sináptica. As ramificações de um único axônio podem formar sinapses com até mil neurônios pós-sinápticos. Os dendritos apicais e basais junto com o corpo celular são os elementos aferentes (de entrada) do neurônio, recebendo sinais de outros neurônios.