

Como os neurônios comunicam informações?

Ocorrem modificações do **potencial de membrana** ao nível das **sinapses**

ETP I
Eletrofisiologia
A comunicação feita
por neurônios



***O sistema nervoso
usa sinais de qual
natureza?***

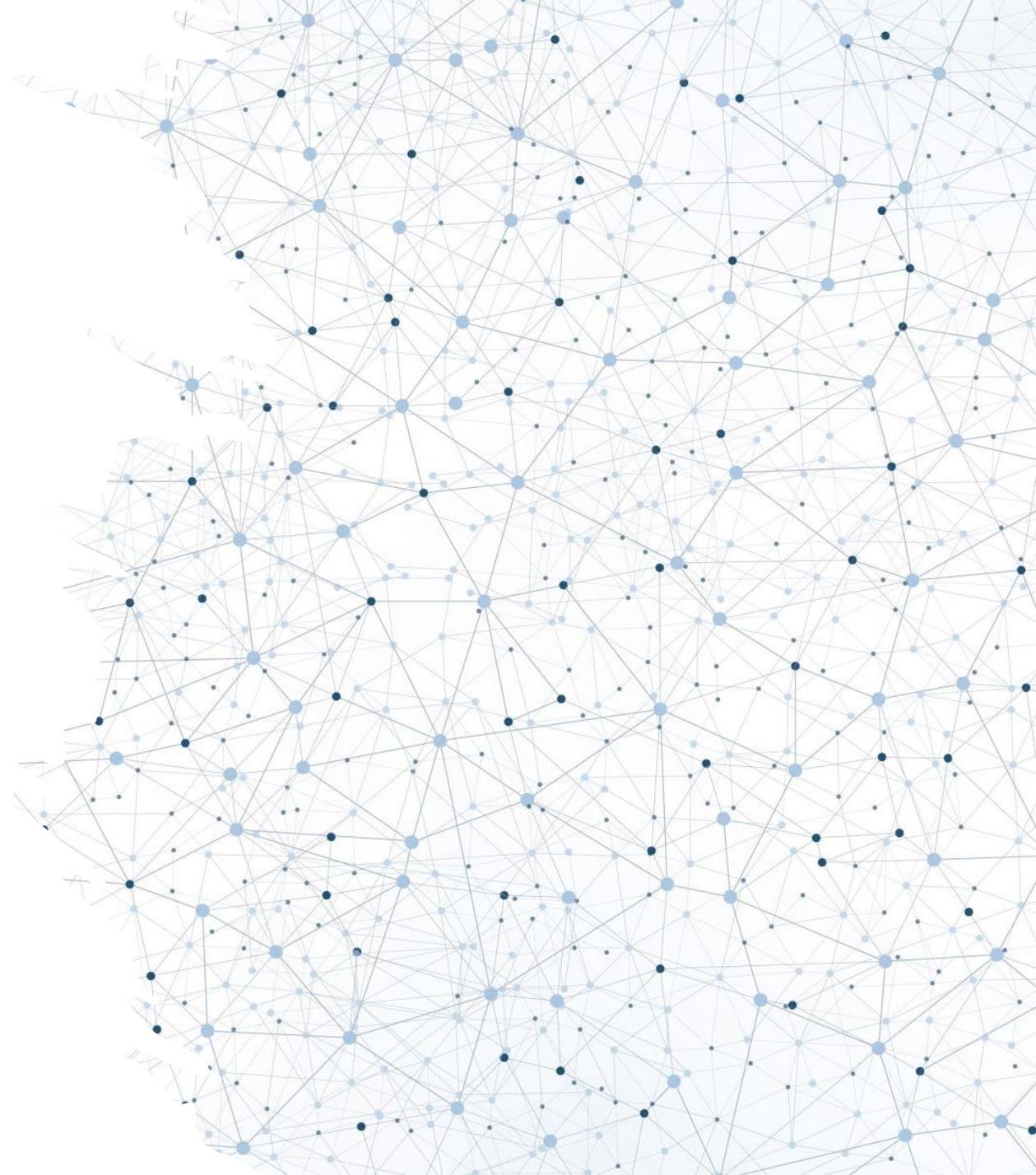
Elétrica: há (sempre) um
fenômeno elétrico

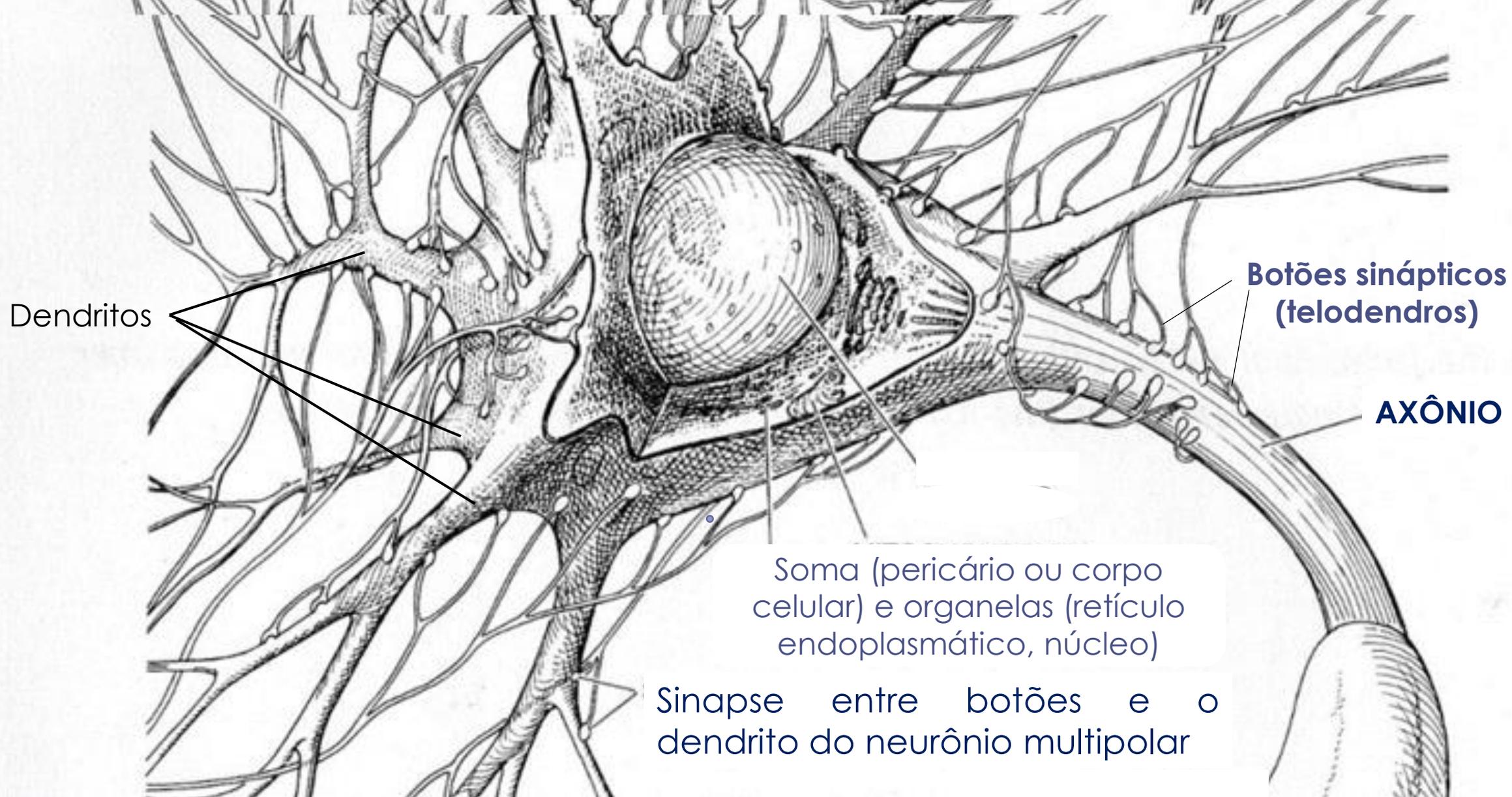
O sistema nervoso pode usar sinais de uma outra natureza?

SIM

QUAL?

QUÍMICA: NEUROTRANSMISSORES



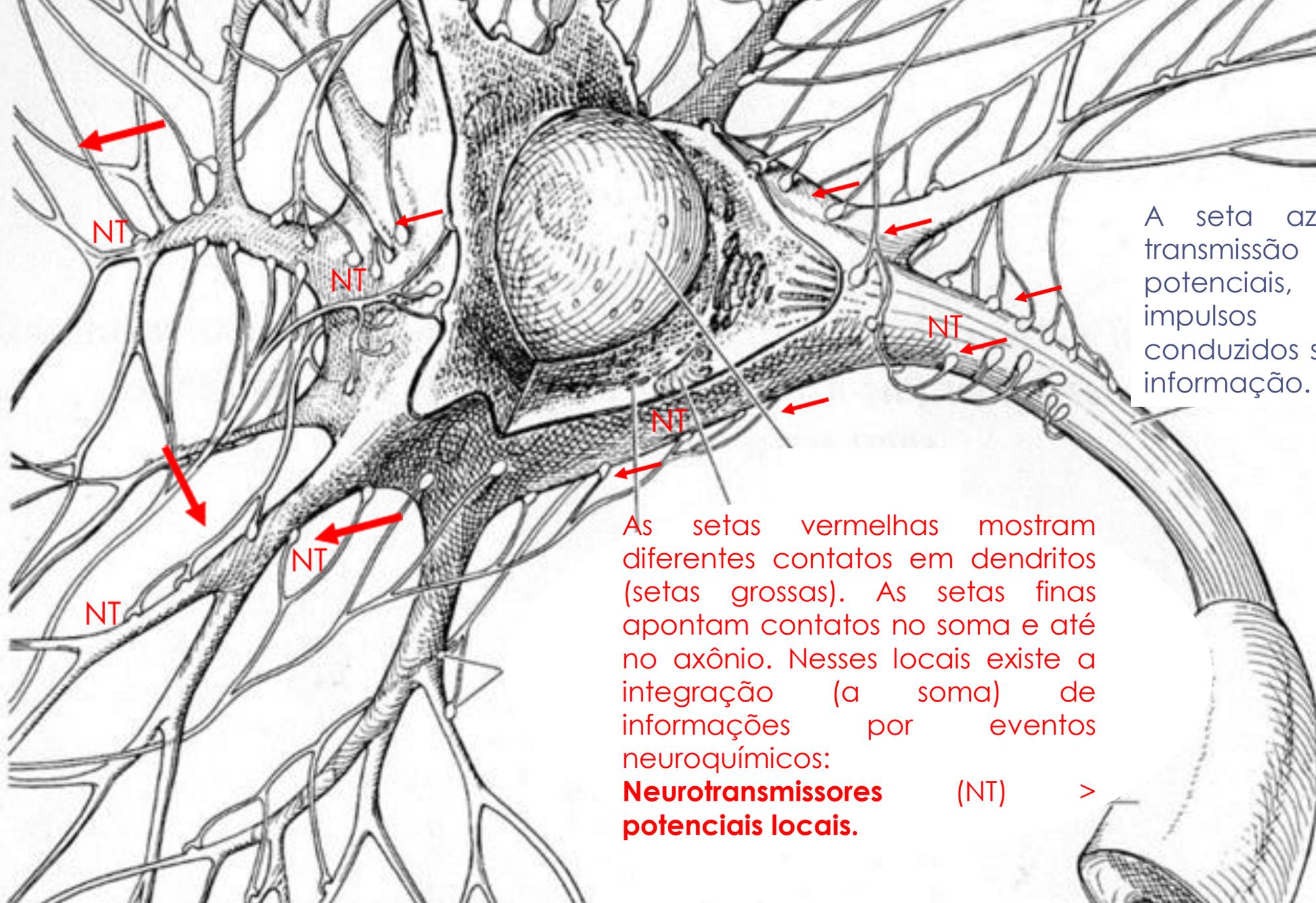


Reconheça os dendritos, os botões sinápticos e o axônio

*Regiões específicas
do neurônio (polos)
exercem funções
diferentes*

OCORRE **SOMAÇÃO** EM DENDRITOS E
CORPO CELULAR

OCORRE PREDOMINANTEMENTE
CONDUÇÃO NO AXÔNIO



A seta azul indica a transmissão por potenciais, ou seja, por impulsos nervosos conduzidos sem perda de informação.

As setas vermelhas mostram diferentes contatos em dendritos (setas grossas). As setas finas apontam contatos no soma e até no axônio. Nesses locais existe a integração (a soma) de informações por eventos neuroquímicos:

Neurotransmissores (NT) >
potenciais locais.

Os fenômenos elétricos que ocorrem no(s) sistema nervoso(s) são de dois tipos: locais e propagáveis

Os locais são **Potenciais Pós Sinápticos (PPS)** e os propagáveis são **Potenciais de ação** ou **impulsos nervosos**

Os **potenciais locais** (PPS) podem ser **somados** (são sinais analógicos) e os potenciais propagáveis (**potenciais de ação** ou **impulsos nervosos**) são fenômenos tudo ou nada (são sinais digitais) que conduzem a informação integrada no pericário (corpo ou soma do neurônio) com precisão e sem perda de magnitude.

Resumindo...



Os fenômenos elétricos que ocorrem no tecido nervoso.

1. Todas as células vivas apresentam uma diferença de voltagem na interface entre o meio interno e externo da membrana celular? É o **potencial de membrana**?

SIM!

O aparato experimental básico para se fazer o registro de potenciais de membrana em seres vivos é sofisticado e consiste basicamente de dois eletrodos, amplificador e registrador .

COMO MEDIR
O POTENCIAL
DE MEMBRANA

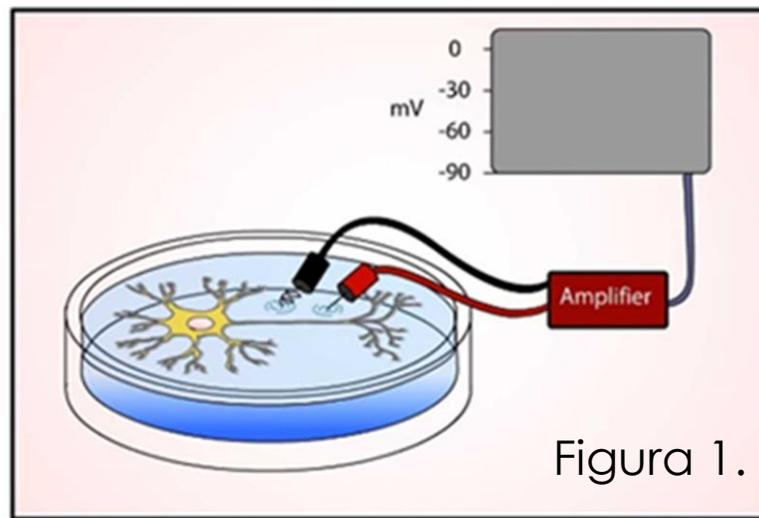


Figura 1.

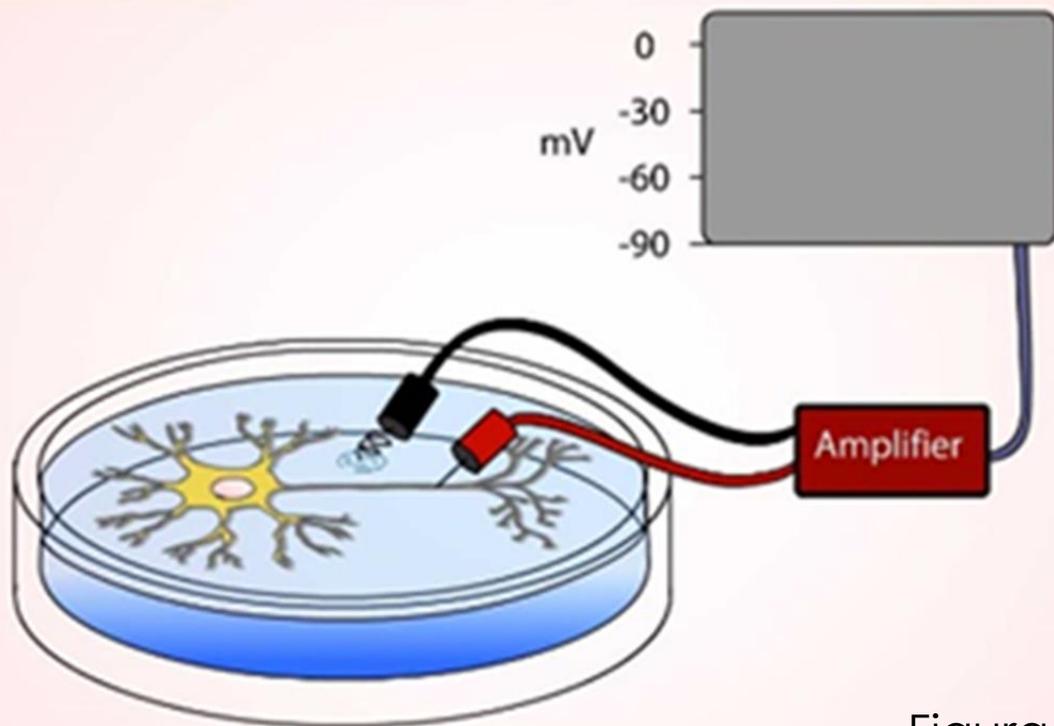


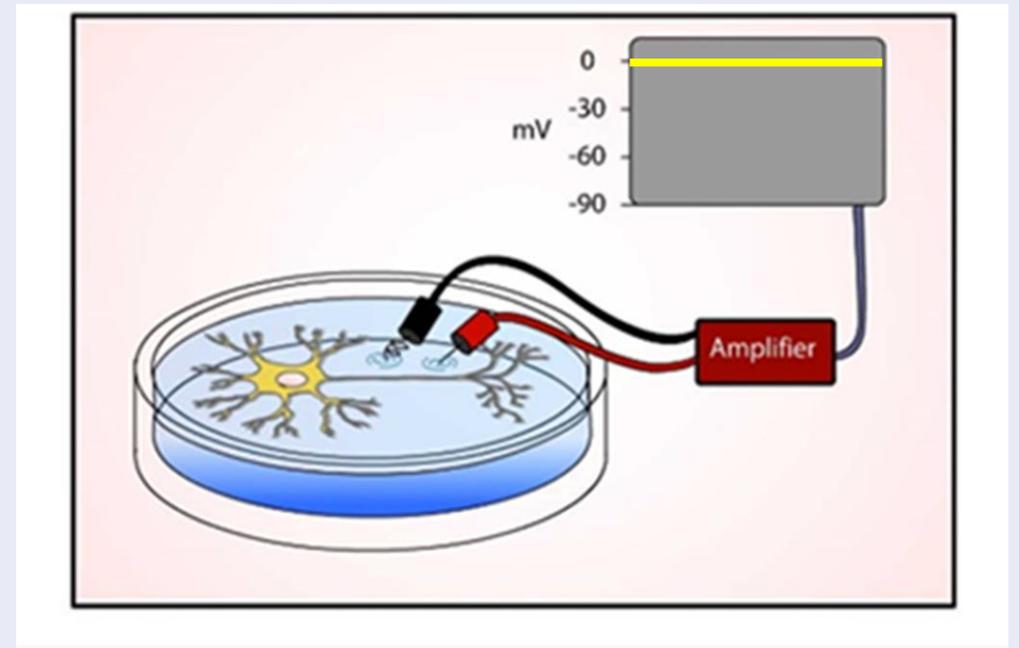
Figura 2.

Observe a posição dos eletrodos. O retângulo cinza no canto superior direito das figuras representa o registrador que evidencia o valor da voltagem aferida nas duas situações. **Qual é o valor em 1 e em 2?**

Respostas:

Na figura 1 o valor é zero. Não há diferença de potencial.

Como os dois eletrodos estão colocados no meio extracelular, não há registro de nenhum sinal elétrico na figura 1 (traço amarelo).



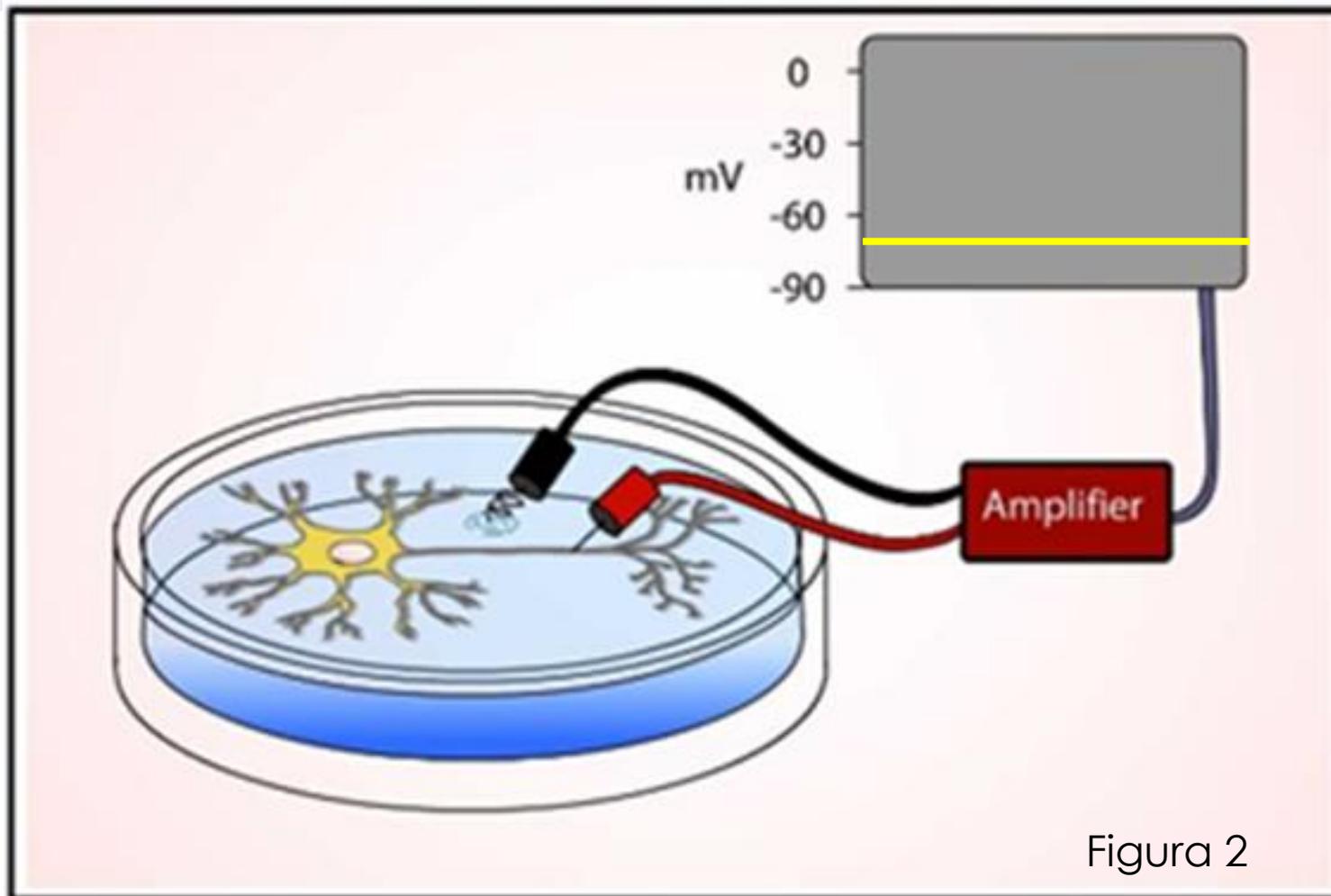


Figura 2

A figura 2 mostra um eletrodo inserido no meio extracelular e outro no meio intracelular (no axônio de um neurônio multipolar). O retângulo registra o valor da diferença de potencial, que é o valor do potencial de membrana do neurônio. Caso o neurônio seja da lula o valor é de -77 mvolts, sendo a interface interior da membrana relativamente mais negativa em relação ao meio externo (traço amarelo).

O QUE É?

Uma diferença de potencial na **interface** entre o meio interno (eletro negativo) e o externo (eletro positivo) da **membrana** de amplitude na faixa entre (-)**40** a (-)**80 mvolts**.

POTENCIAL DE MEMBRANA

Valores de potencial de membrana em células de eucariotos

| Tipo de célula | Potencial de Membrana |
|---|-----------------------|
| | |
| Astróglia | -80 a -90 mv |
| Neurônios | -60 a -70 mv * |
| Músculo liso | -60mv |
| Músculo esquelético | -95mv |
| * A faixa amplia-se quando se considera clados de invertebrados | |

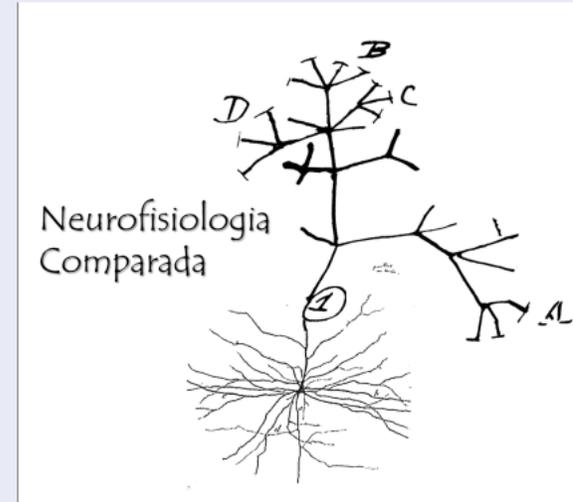
Potencial de membrana

POTENCIAL DE REPOUSO

JÁ SABEMOS ONDE OS POTENCIAIS DE MEMBRANA OCORREM E COMO SÃO.

A PERGUNTA QUE RESTA É: COMO SÃO PRODUZIDOS E SE MANTÊM?

QUAIS OS PRINCIPAIS CONCEITOS E PRINCÍPIOS EXPLICATIVOS?



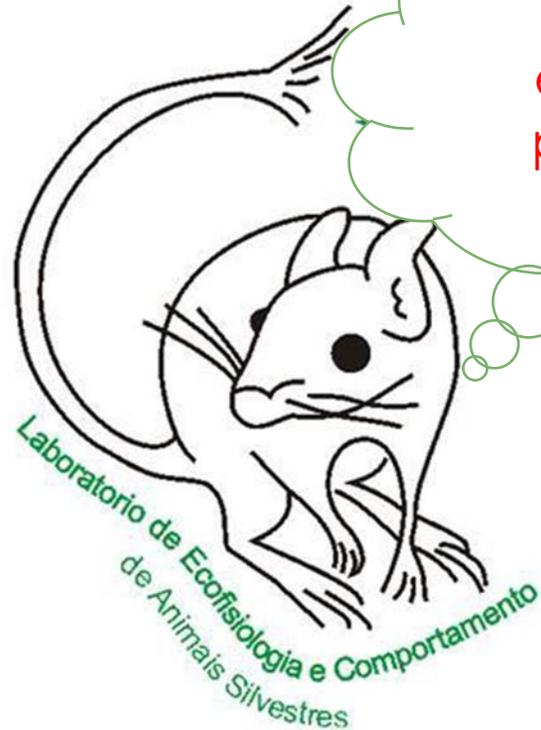
O tecido nervoso é um tecido **excitável** e produz sinais a partir de modificações no potencial de membrana

O conceito de potencial de membrana

COMPREENDER O CONCEITO DE POTENCIAL DE MEMBRANA É FUNDAMENTAL PARA ENTENDER A EXCITABILIDADE DO TECIDO NERVOSO E COMO O SISTEMA(S) NERVOSO(S) FUNCIONA.



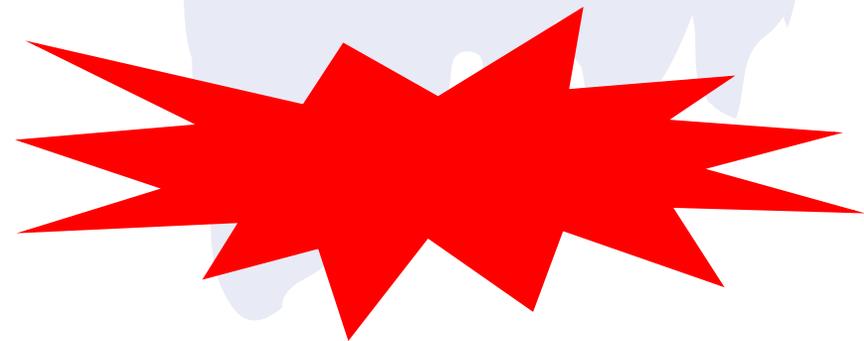
Lembrar que se trata da **interface** da membrana e não de todo o meio. Existe neutralidade do meio intra e extracelular



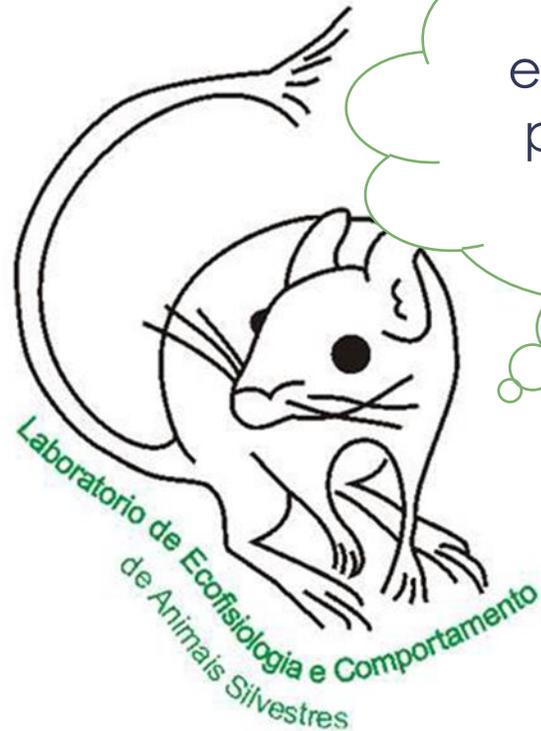
Como a eletropositividade pode ser gerada?

ADICIONANDO/ RETENDO CÁTIONS

PERDENDO/RETIRANDO ÂNIONS



Lembrar que se trata da **interface** da membrana e não de todo o meio



Como a eletronegatividade pode ser gerada?

EXERCÍCIOS!

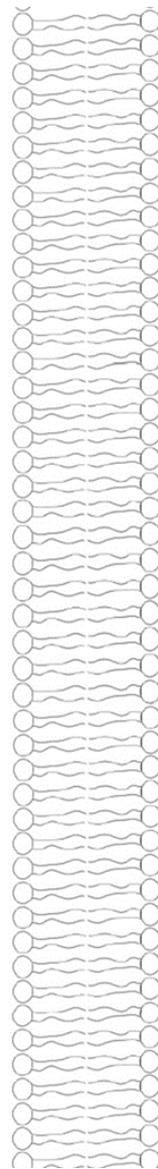
ADICIONANDO/ RETENDO ÂNIONS

PERDENDO/ RETIRANDO CÁTIONS

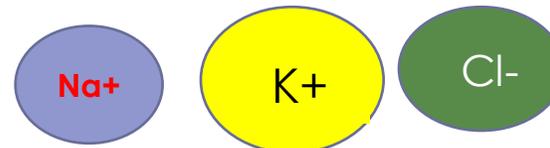
Exercícios baseados em atividade idealizada pelos Drs Cleiton L. Aguiar, Lesio Soares Bueno Jr., Dr. Rafael Ruggiero

Etapa A

Meio externo



Meio interno



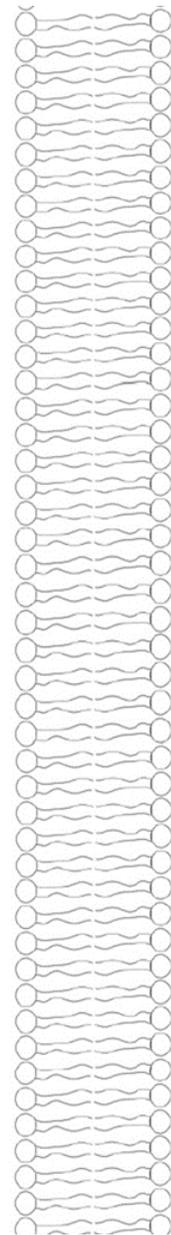
O meio interno e o externo contém água.

1. Coloque oito moléculas de Cloreto de Sódio (NaCl) em cada lado desta membrana. O que ocorre com este sal ao ser colocado na água?
2. Coloque eletrodos e meça a DP entre os meios interno e externo. Há diferença de potencial?
3. E se colocasse oito moléculas de Cloreto de Potássio ao invés do NaCl?
4. O resultado com KCl seria o mesmo ou seria diferente?

Represente os íons por esferas respeitando as massas atômicas e os respectivos diâmetros (*).

(*) Massas atômicas/Diâmetros
Sódio: 23/1,02 A, Potássio: 39/ 1,38A, Cloro: 35/1,81^a
A (angstrom)= 0,0001 micrômetro

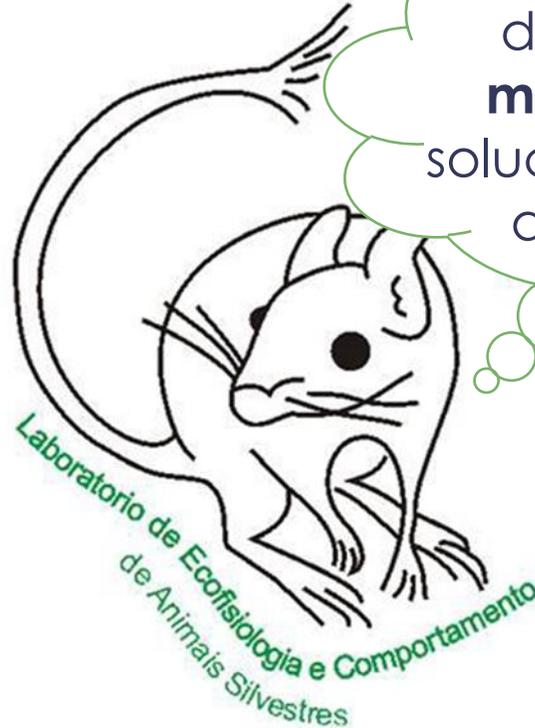
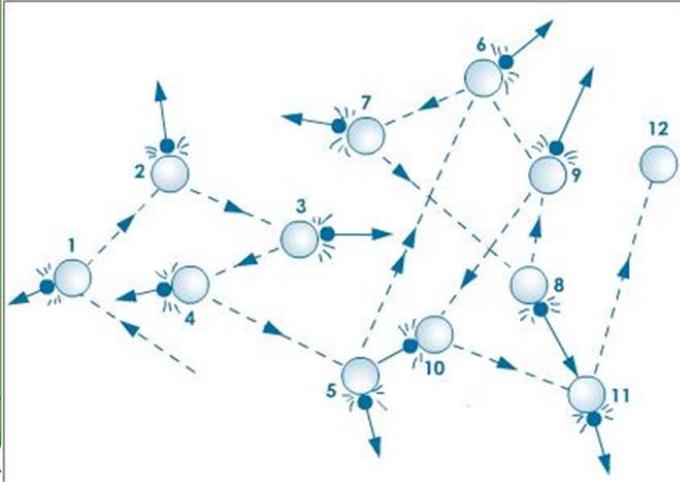
Etapa A **RESPOSTA**



Meio externo

Meio interno

1. O sal ao ser colocado na água **dissocia-se em cátions e ânions** em cada meio.
2. Os íons **não** passam pela **membrana** que é **lipofílica**.
3. Os eletrodos não detectam **nenhuma diferença de potencial** entre os meios interno e externo porque as quantidades de cátions e de ânions são iguais nos dois lados.
4. O resultado seria **o mesmo se fosse cloreto de potássio**.



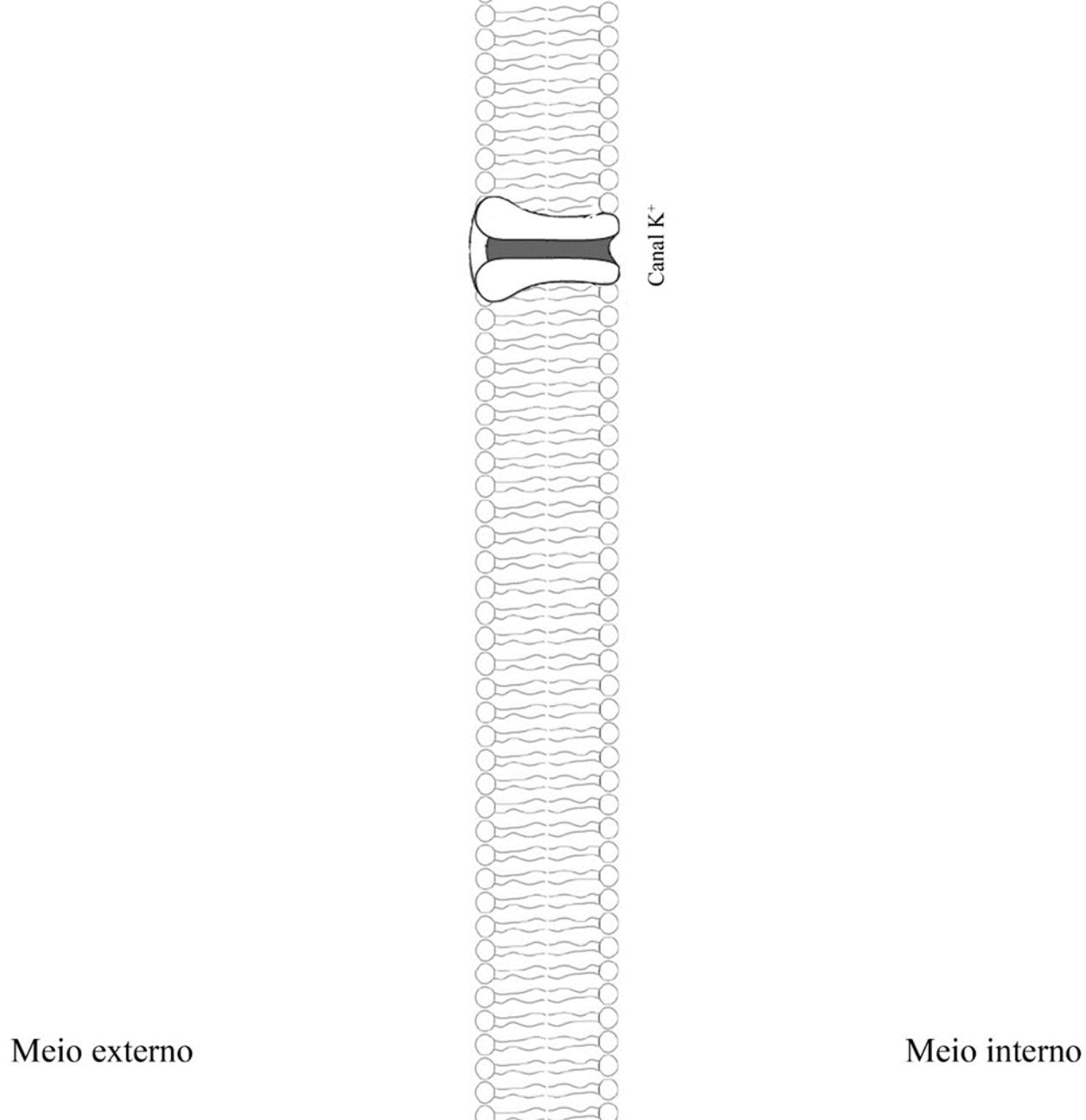
Quais fatores são determinantes para o **movimento de íons** em solução, separados através de uma membrana?

Difusão: um fenômeno estatístico de afastamento de espécies (partículas, moléculas, íons) devido ao movimento Browniano, e resultante da colisão das partículas, que ocorre ao acaso. Foi descrito no século XIX.

GRADIENTE DE CONCENTRAÇÃO > MOVIMENTO BROWNIANO > **DIFUSÃO** > SEM GASTO DE ENERGIA (IMPORTÂNCIA DA > LEI DE FICK)

PROPRIEDADES DA MEMBRANA CELULAR > **LIPOFÍLICA** > NÃO PERMITE PASSAGEM ÍON > IMPORTÂNCIA DE **CANAIS** QUE CONFEREM **PERMEABILIDADE SELETIVA À MEMBRANA**

Etapa B

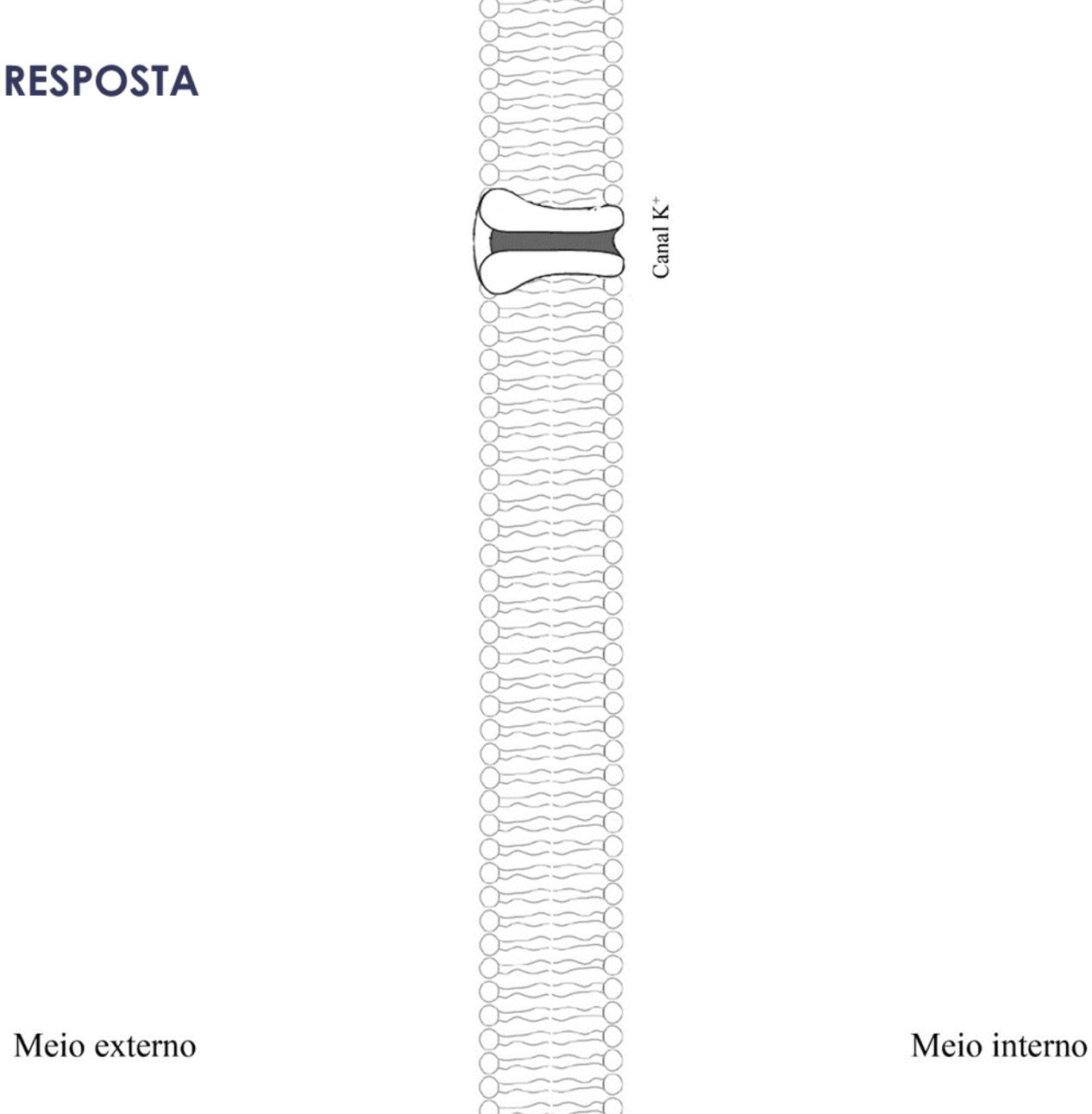


Em B, ponha 8 moléculas de NaCl no meio externo e 8 moléculas de Cloreto de Potássio (KCl) no interno.

1. O NaCl é o sal preponderante no meio externo e o KCl no interno, em animais?
2. Coloque eletrodos e meça a DP entre os meios interno e externo estando o canal de potássio fechado. Há diferença de potencial?
3. O que acontece com os íons de potássio se o canal de potássio abrisse? Qual seria o resultado?
4. Faça uma representação gráfica do que aconteceu com o valor do potencial de membrana, sem se preocupar com o valor exato da DF, mas representando a situação 2 versus 3.

A MEMBRANA COM CANAL PARA O K⁺: FECHADO (2), ABERTO (3)

Etapa B RESPOSTA



A MEMBRANA COM CANAL PARA O K⁺: FECHADO (2), ABERTO (3)

1. O **NaCl** é o sal preponderante no **meio externo** e o **KCl no meio interno**, nos fluídos corporais de diferentes clados de animais.
2. **Não há difusão e nem DP** entre os meios interno e externo estando o canal de potássio fechado, ou seja, **inativo**.
3. Se o canal de potássio abrir há tendência de difusão de K⁺ pelos canais devido ao **gradiente de concentração (força química)**. No entanto, o movimento de cátions torna o meio externo mais positivo, o que cria uma força elétrica que se opõe ao movimento de K⁺. Os íons potássio ficarão sujeitos a duas forças contrárias. Quando forem de mesmo valor estarão em equilíbrio. Ficarão em situação de **potencial de equilíbrio (E_{K+})**.

Potencial de Equilíbrio

(E) refere-se ao equilíbrio entre **duas forças** opostas e de mesmo valor, uma **força química** (gradiente de concentração) e uma **força elétrica** (decorrente do movimento de íons).

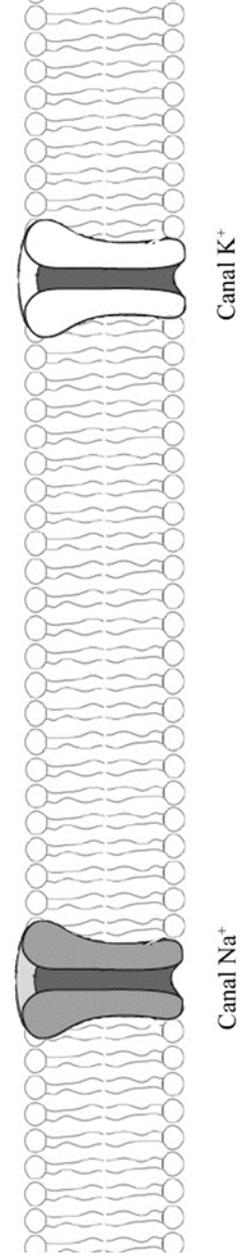
E_{K^+} e E_{Na^+}



Potencial de equilíbrio: um conceito fundamental

Etapa C

Meio externo



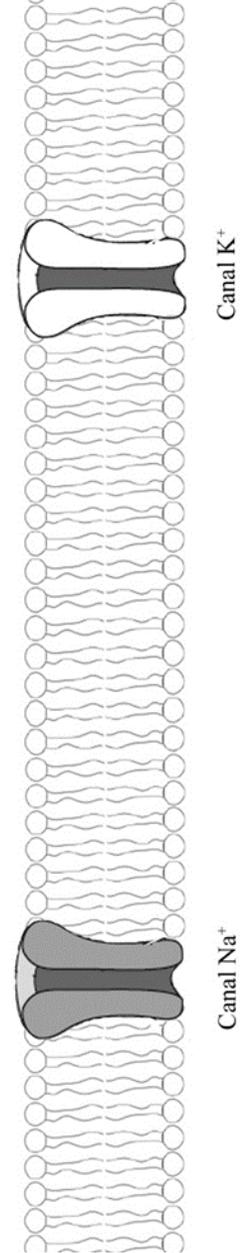
Meio interno

Na etapa C, enquanto o canal de potássio permanece aberto adiciona-se um canal de sódio.

1. Se esse canal permanecer fechado o que acontece?
2. O que ocorre quando o canal de sódio é aberto?
3. Meça a diferença de potencial da membrana após a abertura do canal de sódio.

Etapa C

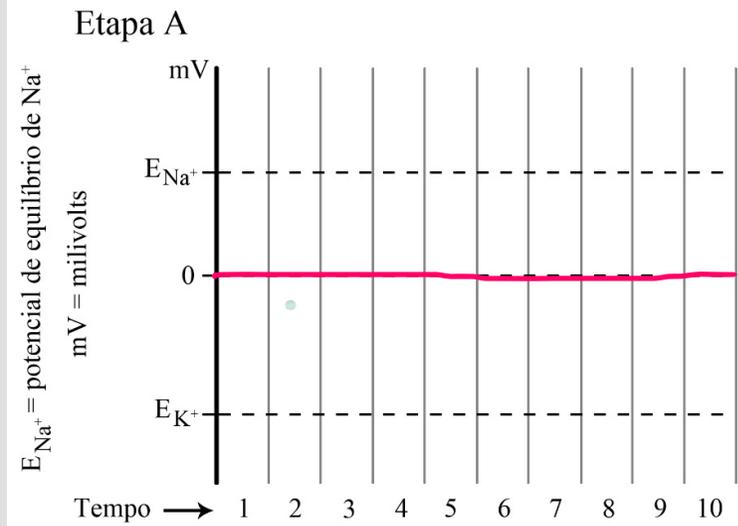
Meio externo



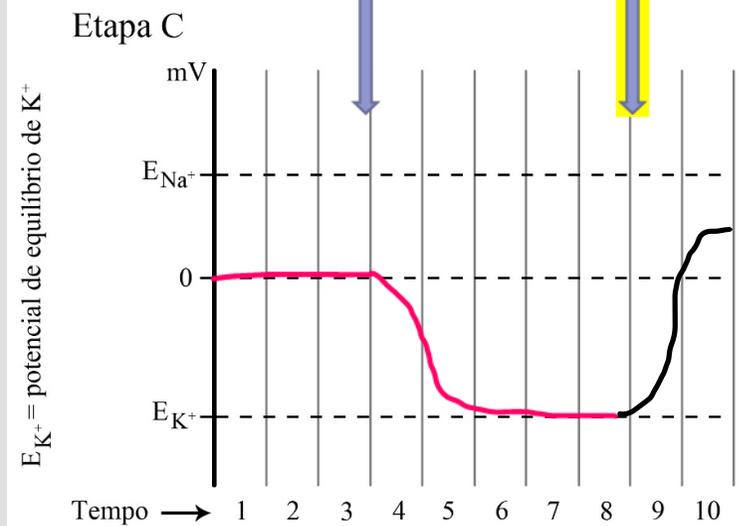
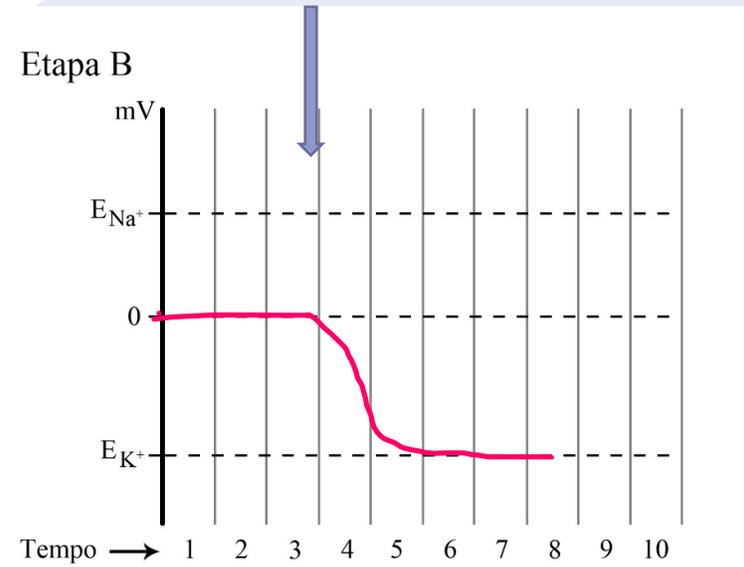
Na etapa C,

1. Se o canal de Na⁺ permanecer fechado a situação anterior não muda.
2. Quando o canal de sódio é aberto os íons **Na⁺** entram na célula devido ao **gradiente de concentração**.
3. **A interface interna fica mais positiva, ocorre uma despolarização** com uma tendência para que o **potencial de equilíbrio para o sódio** seja atingida.
4. Haverá uma mudança na diferença de potencial, ficando a face interna da membrana relativamente mais positiva do que a interna.

8 moléculas de NaCl ou KCl (sem canal)



8 moléculas de NaCl no meio externo e 8 moléculas de Cloreto de Potássio (KCl) no interno, com canal fechado e aberto (seta)



Etapa C
Mantidas as condições de B, com canal de potássio aberto, a adição de um canal de sódio primeiramente fechado e depois aberto (seta contorno amarelo)

O exercício iniciou-se com o meio interno e o externo contendo água. Oito moléculas de NaCl foram colocadas no meio externo, oito molécula de KCl foram colocadas no meio interno. Em seguida foi colocado um canal de K^+ aberto, na membrana, e os íons K^+ se difundiram para o meio externo, a tendência ao potencial de equilíbrio foi atingido e a face interna da membrana ficou relativamente negativa pela saída de K^+ . Um canal de sódio foi colocados, aberto, e íons Na^+ entraram na célula, devido ao gradiente de concentração. Houve despolarização pela entrada desses cátions em direção ao potencial de equilíbrio para o Na^+ . O que acontece com o movimento dos íons potássio com a despolarização?

Como os íons de potássio são cátions eles passam a ser repelidos pela entrada de sódio. Passa a existir duas forças para a saída de potássio, o gradiente químico, tem mais potássio no meio interno do que no meio externo, e um campo elétrico, o interior está relativamente mais positivo. Isso faz com que o DP volte a zero.

O movimento de entrada e de saída de íons têm nome?



Chama-se **condutância iônica** e o sentido é do meio de **maior concentração para o de menor concentração**.



SIM

Como existe uma concentração maior de potássio no meio interno o **aumento da condutância** para o potássio significa o **aumento da saída de íons potássio** da célula. Para o sódio é o inverso, o **aumento da condutância para o sódio** significa o **aumento da entrada** de íons potássio da célula .

Condutância (definida de acordo com o gradiente)

O aumento da condutância do potássio significa que aumenta a **saída** de potássio nas células, o que causa **hiperpolarização**, ou seja, o potencial de membrana fica **mais negativo**.

- O aumento da condutância do sódio significa que aumenta a **entrada** de sódio nas células, o que **despolarização**.
- A condutância do cloro: aumento significa que aumenta a **entrada** de cloro nas células o que causa **hiperpolarização**.



Veja as animações em:

<https://www.slideshare.net/drnaveent/nerve-physiology>

Uma demonstração simples de ...



A. Tempo zero



B. Após 20 min.

Em dois copos iguais com o mesmo volume de água colocamos óleo para formar uma camada.

Em seguida a mesma quantidade de café solúvel é colocada em cada copo.

Observe o que ocorreu no tempo zero imediatamente após a adição do café solúvel e 20 min em seguida à adição.

Enumere os eventos físicos químicos que podemos observar e que são importantes para entendermos o potencial de membrana que ocorre nos neurônios.

Uma demonstração simples de permeabilidade e difusão



A. Tempo zero



B. Após 20 min.

1. A camada de óleo (A) não permite que a maioria dos grânulos de café se dissolva na água, o que pode ser visto imediatamente no copo à direita, ou seja, o café granulado é solúvel em água (B) e não é solúvel na camada de óleo que funciona como uma camada lipofílica com **permeabilidade seletiva**. Após 20 min em seguida à adição é possível ver em A que alguns grânulos se dissolvem e passam pela camada de óleo.

Os eventos físicos químicos que podemos observar são: a) **permeabilidade seletiva** da camada de óleo em A, b) **difusão** dos grânulos de café na água em B. **difusão** de elementos parcialmente lipofílicos do café que com o tempo se difundem pela camada de óleo e pela água. Podemos concluir que os grânulos de café variam com relação ao grau de solubilidade em óleo/ água.