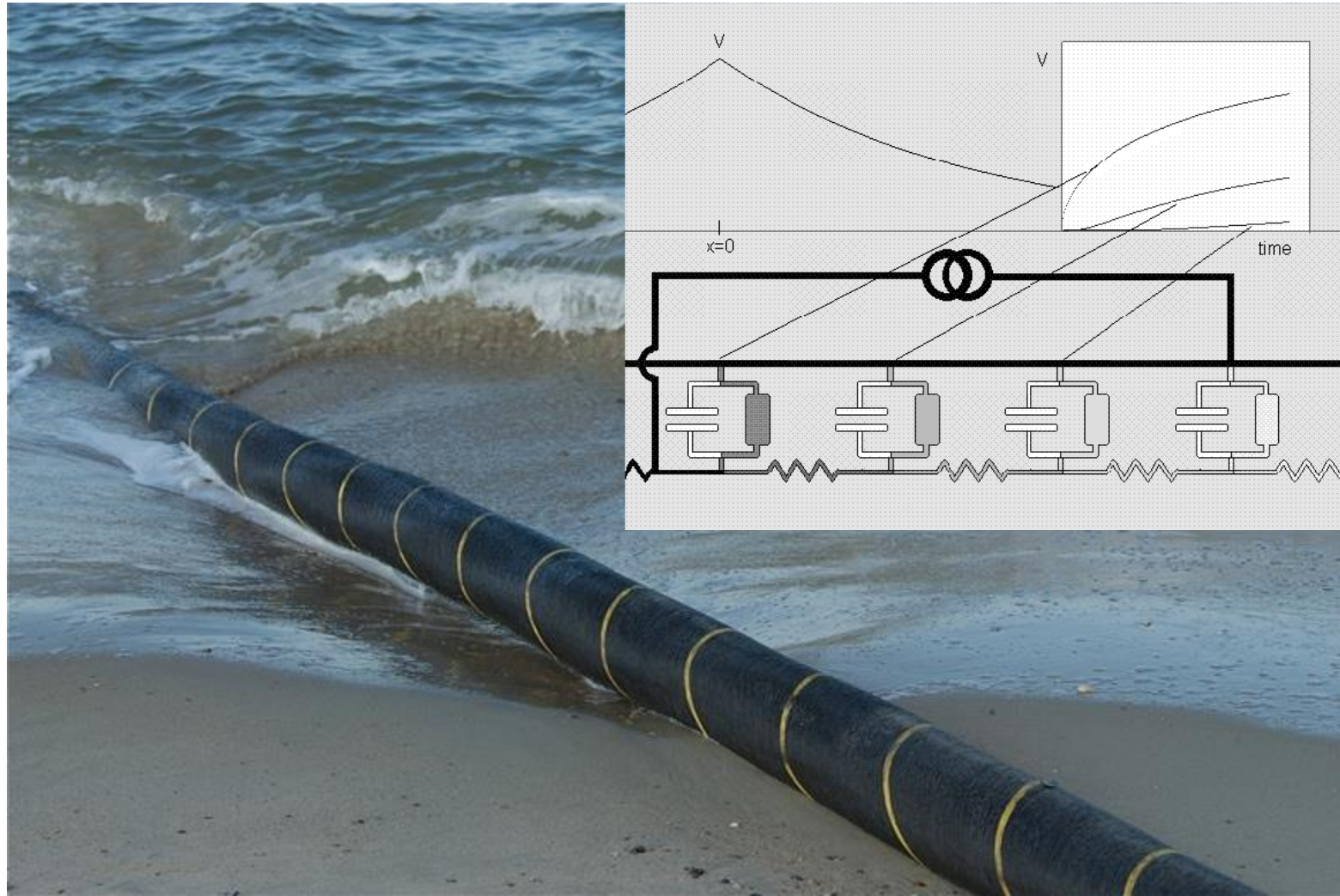


Propriedades passivas da membrana

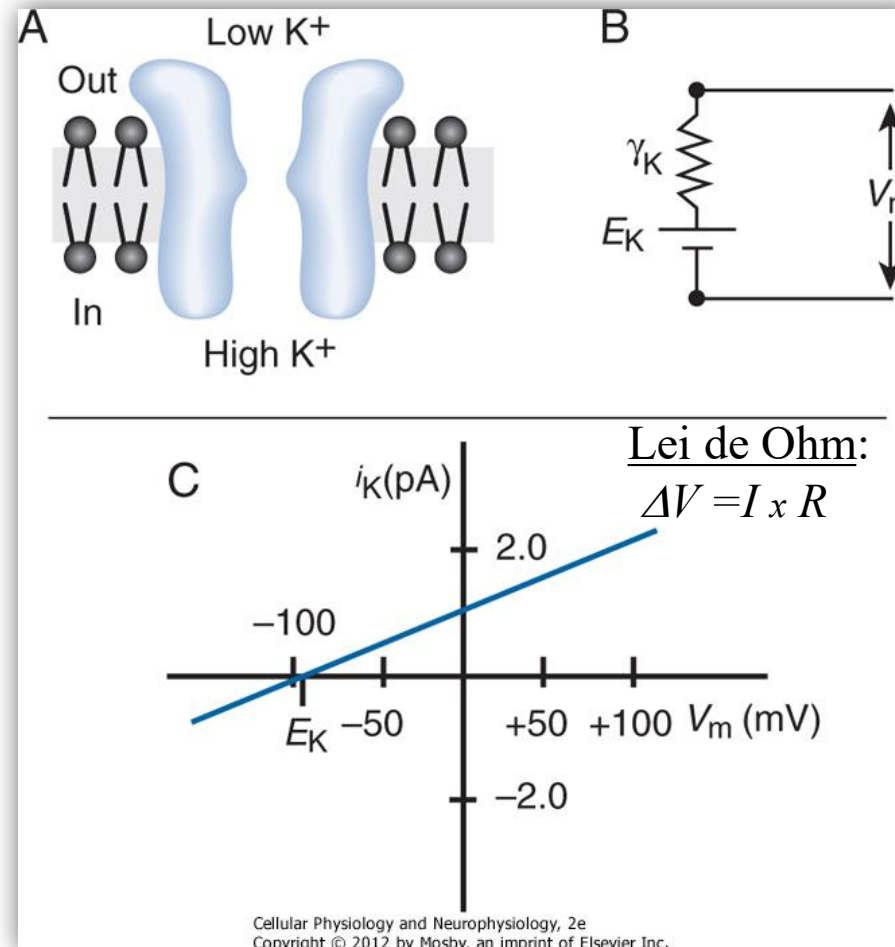
Prof. Ricardo M. Leão

Departamento de Fisiologia – FMP/USP

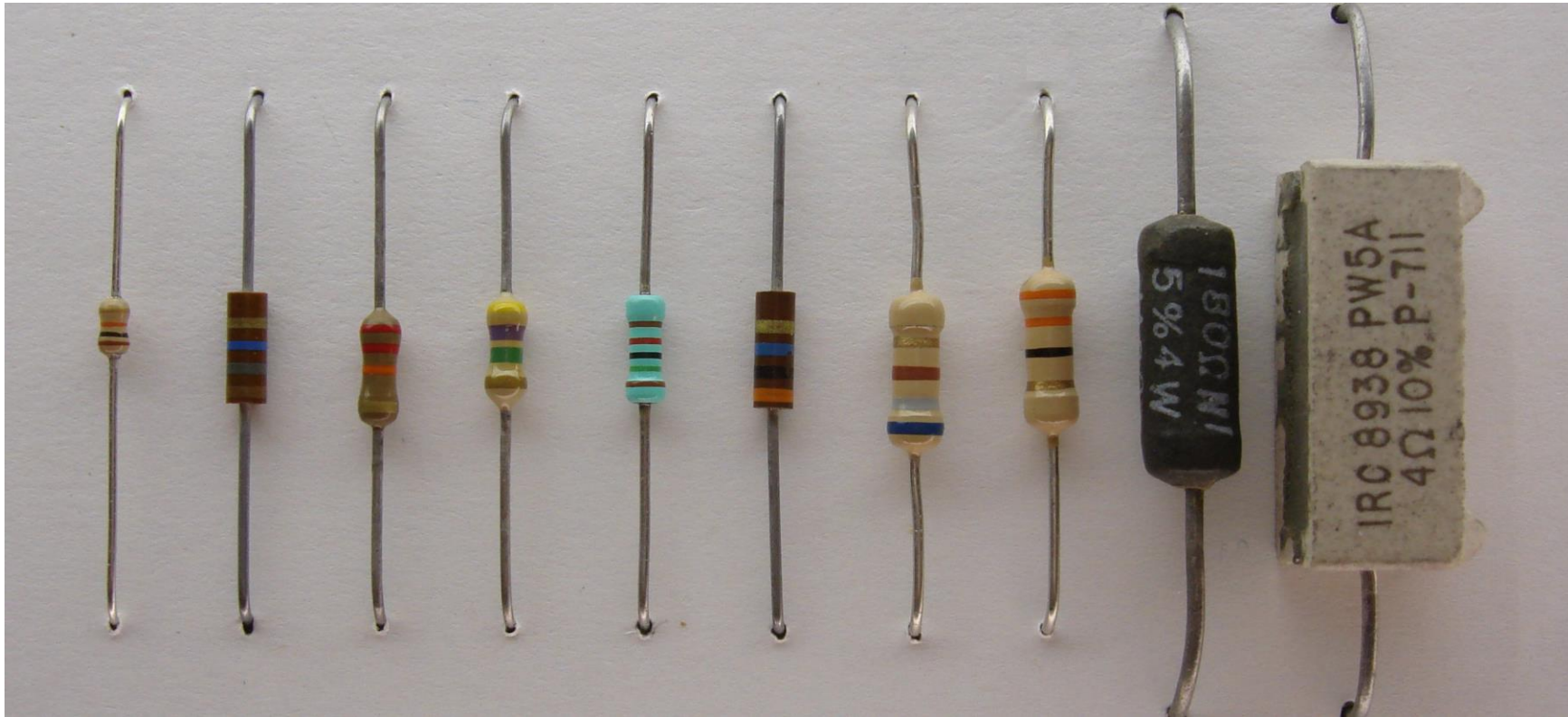
- Propiedades passivas da membrana



Os canais iônicos são os condutores celulares



A quantidade de canais iônicos abertos na membrana determina a resistência (inverso da condutância) da membrana



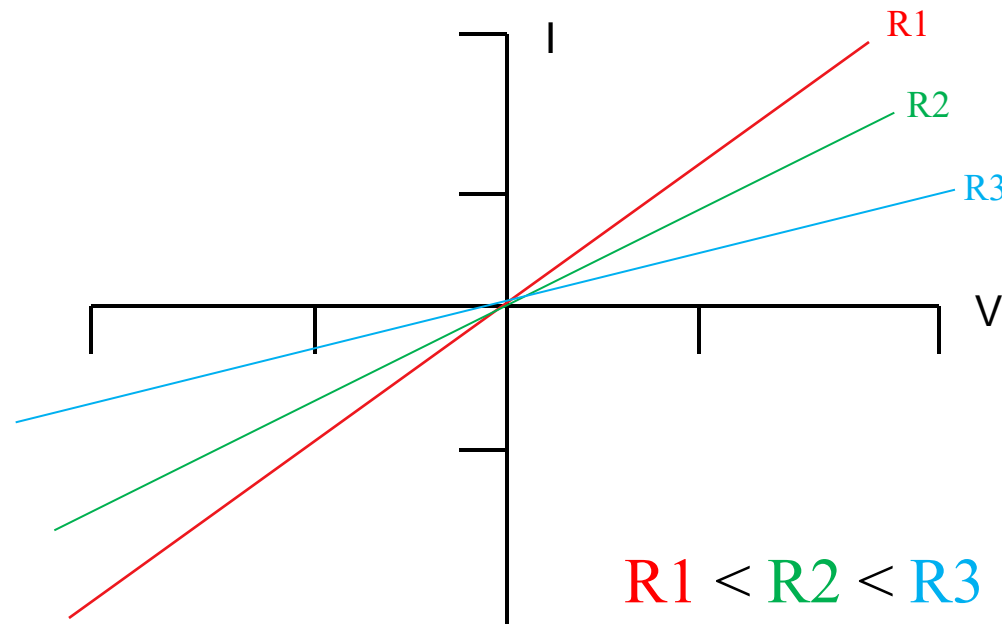
A resistência da membrana afeta a magnitude dos sinais elétricos

Lei de Ohm:

$$\Delta V = I \times R$$

$$\Delta V = I/G$$

A resistência de entrada da célula determina a magnitude da despolarização em resposta a corrente injetada

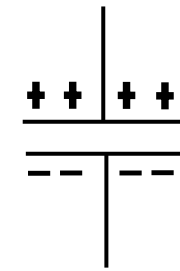
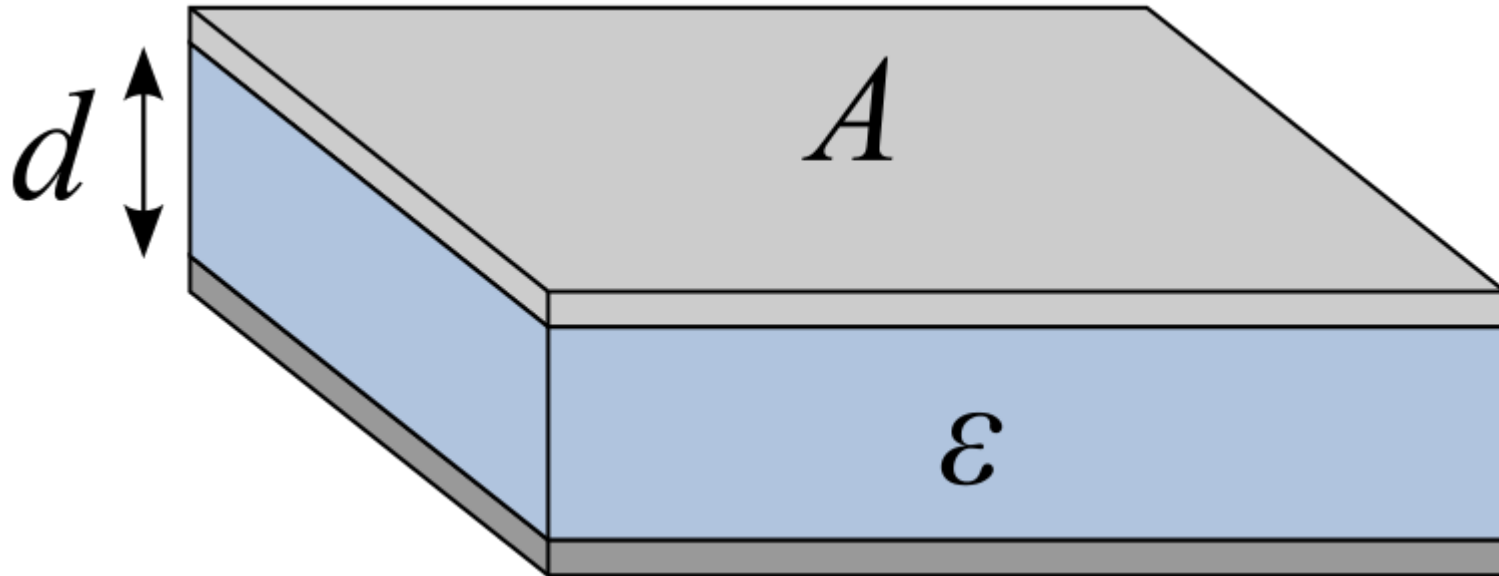


A membrana biológica pode ser considerada um capacitor.

Capacitor = meio isolante que separa dois meios condutores = separador de carga
Capacitância = capacidade de isolar cargas; Unidade: Farad (F) = Coulomb por Volt

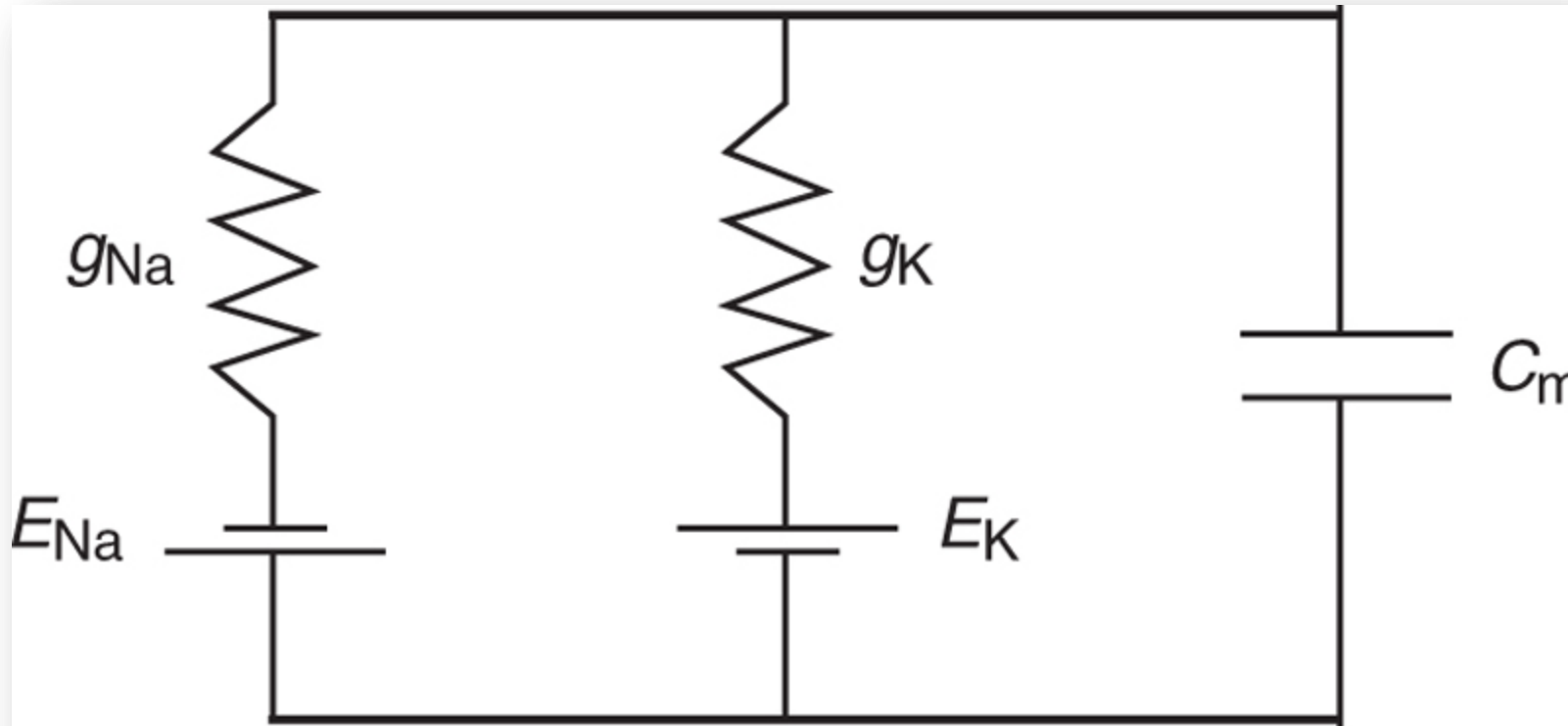


$$C = \frac{Q}{V}$$

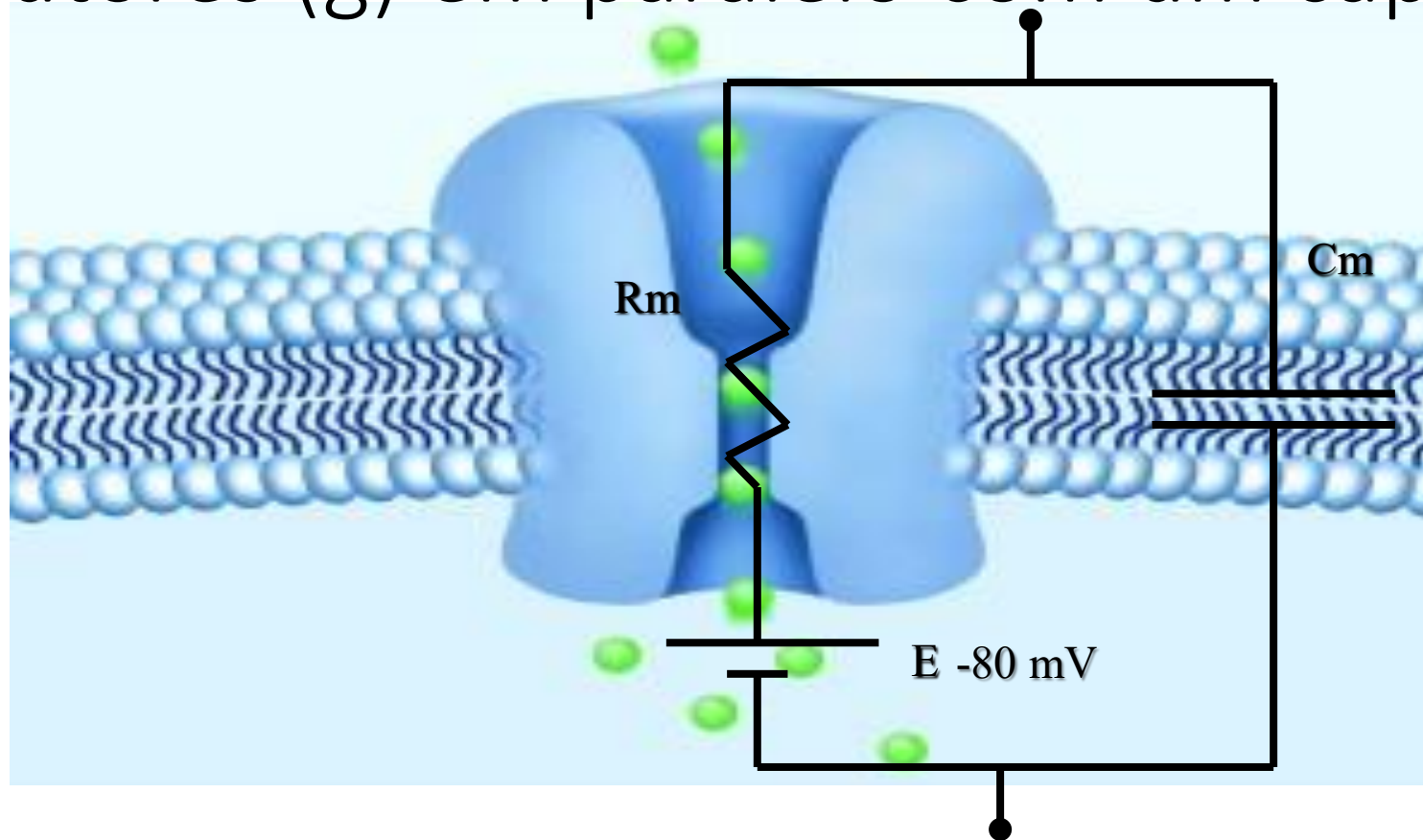


$$C_m = \left(\frac{\epsilon}{d} \right) \cdot A$$

A membrana pode ser representada como condutores (g) em paralelo com um capacitor (C_m)



A membrana pode ser representada como condutores (g) em paralelo com um capacitor (C_m)



$$C_m = \left(\frac{\epsilon}{d} \right) \cdot A$$

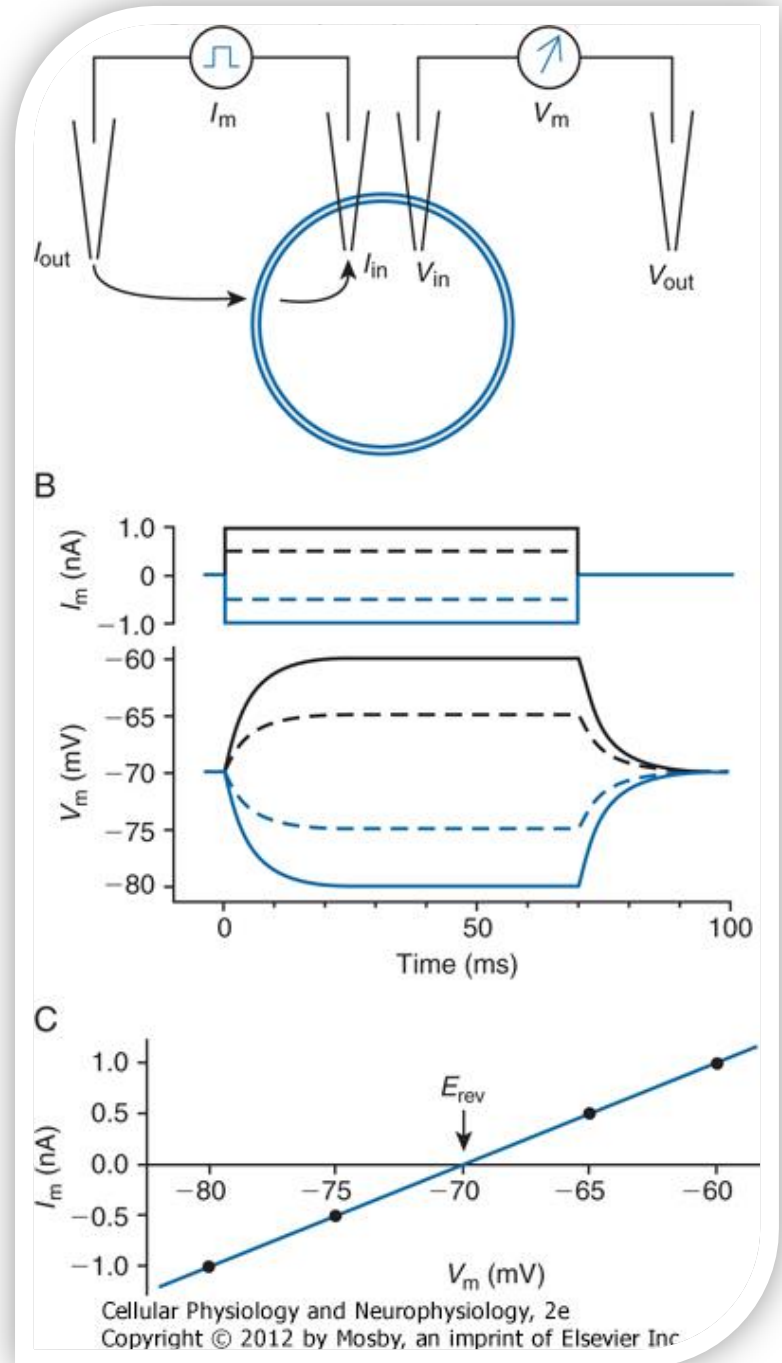
d = espessura da bicamada lipídica. Considerada constante em todas as células
 A = área da membrana biológica (célula). Variável.

O potencial de membrana não é alterado instantaneamente em resposta a injeção de corrente

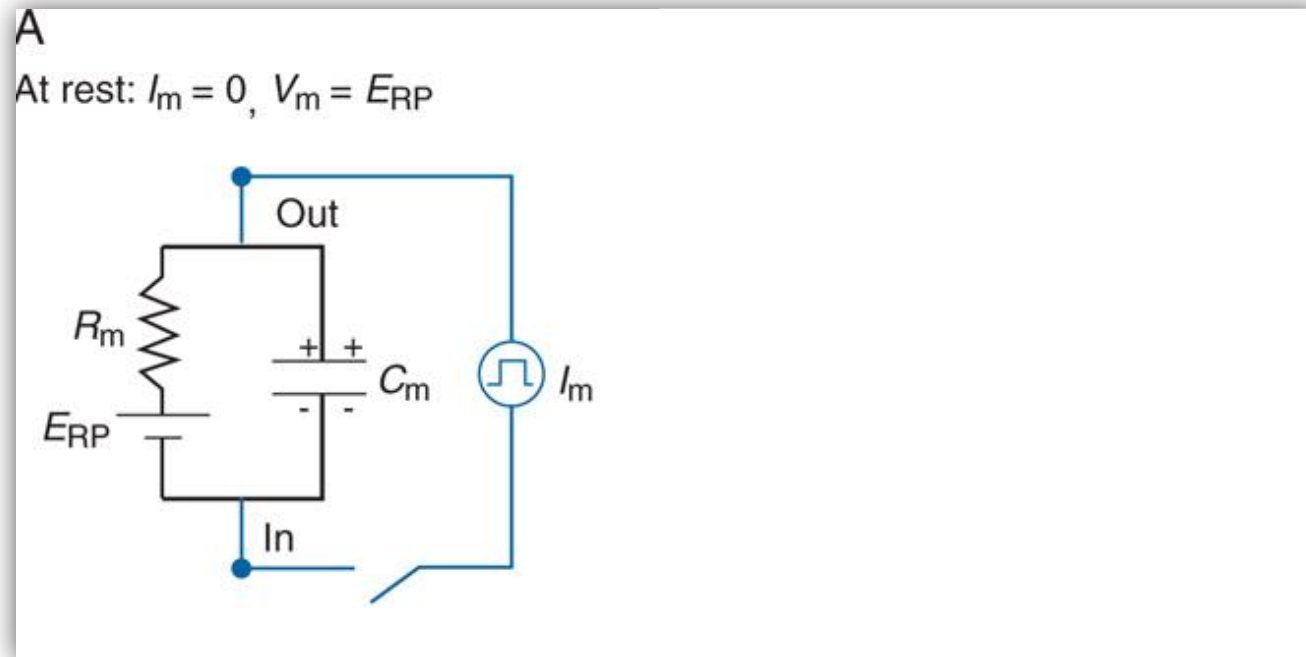
$$V = Q/C$$

$$\Delta V = \Delta Q/C$$

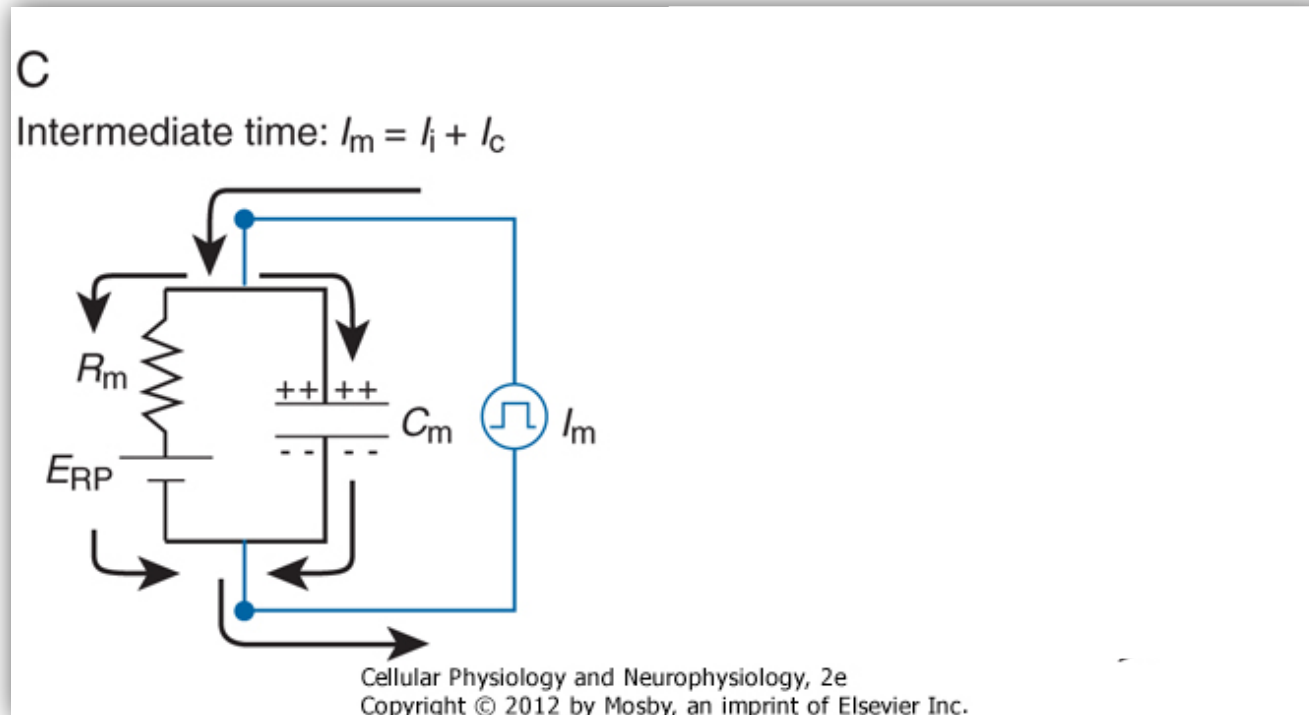
$$\Delta V = (I_C \times \Delta t)/C$$



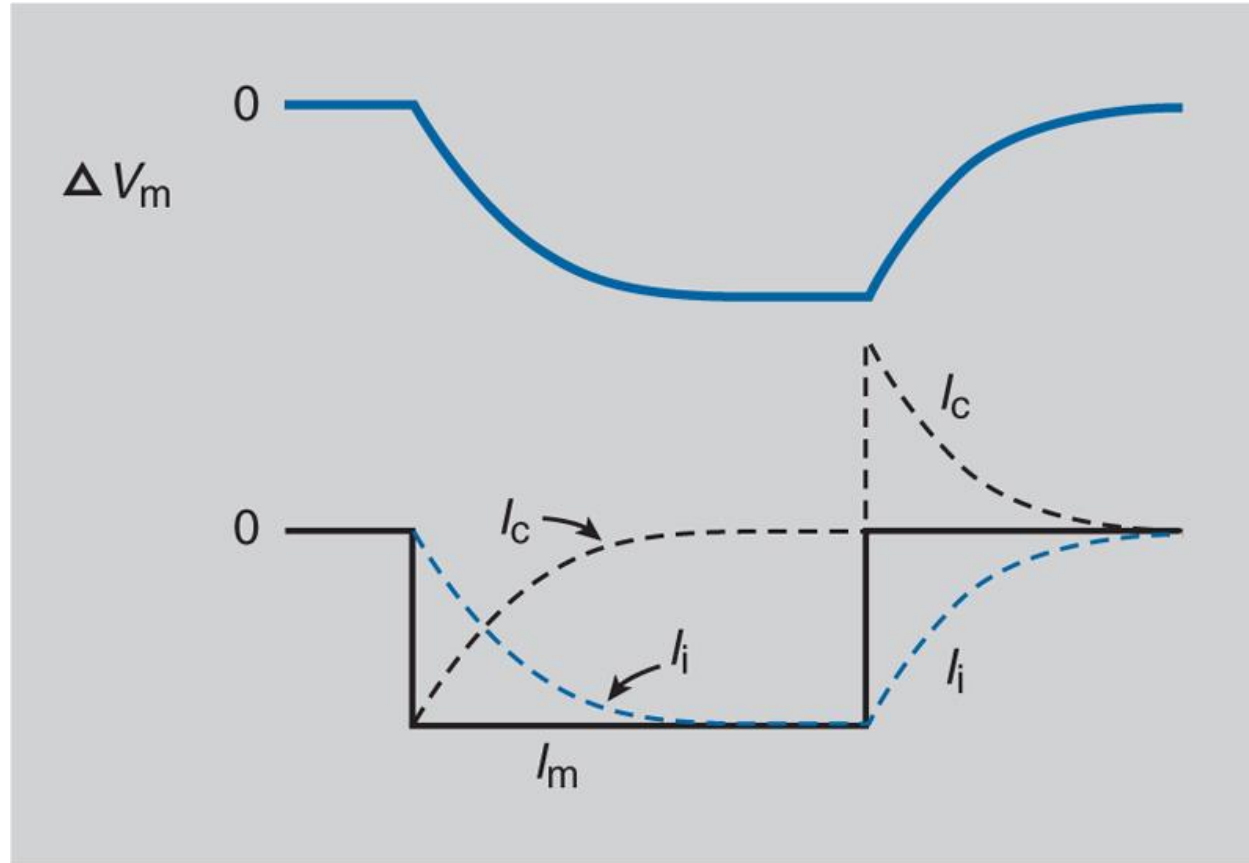
Primeiro a corrente “carrega” o capacitor (a membrana)



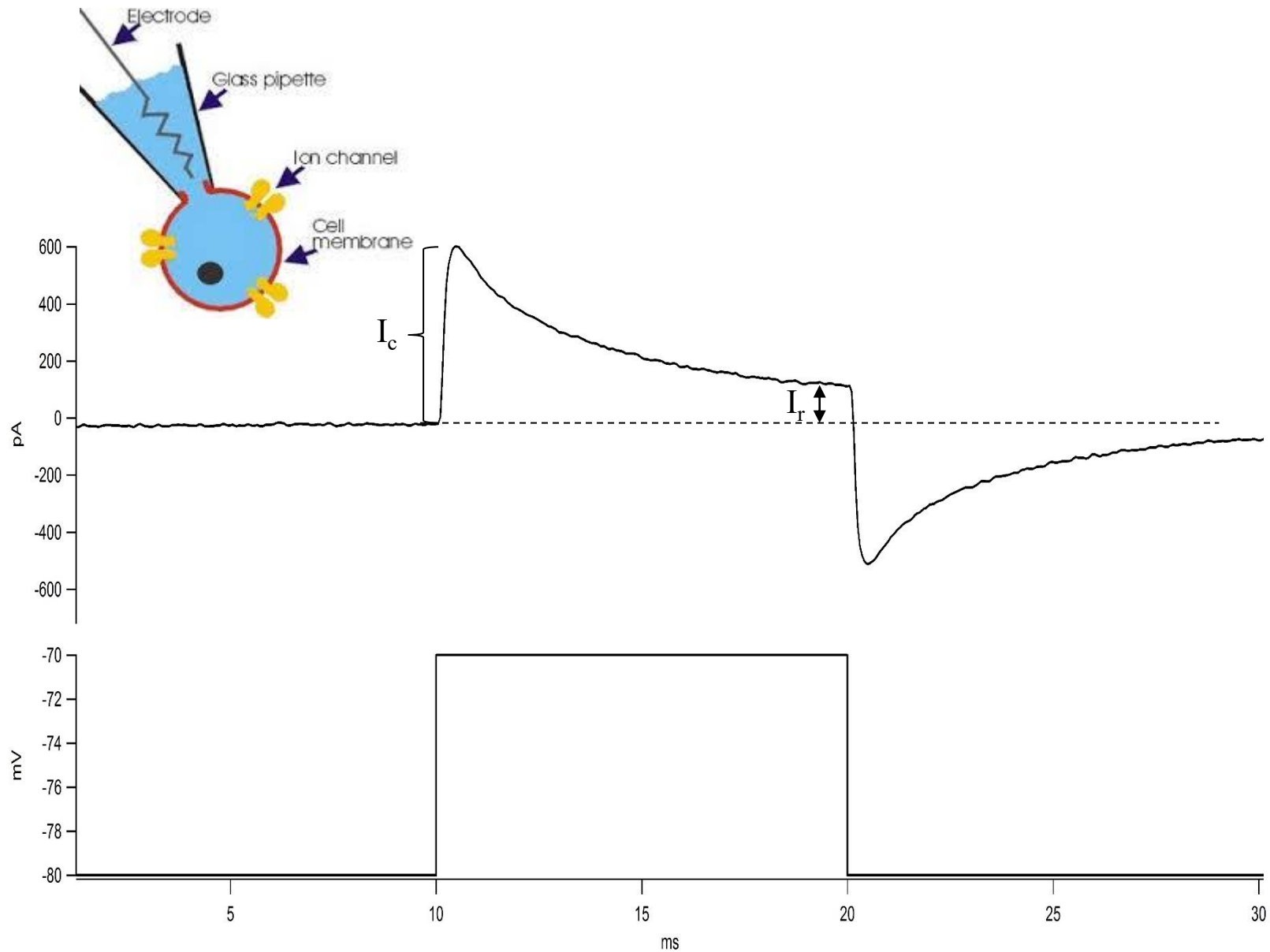
Após o “carregamento” do capacitor ela flui pelos condutores (canais)



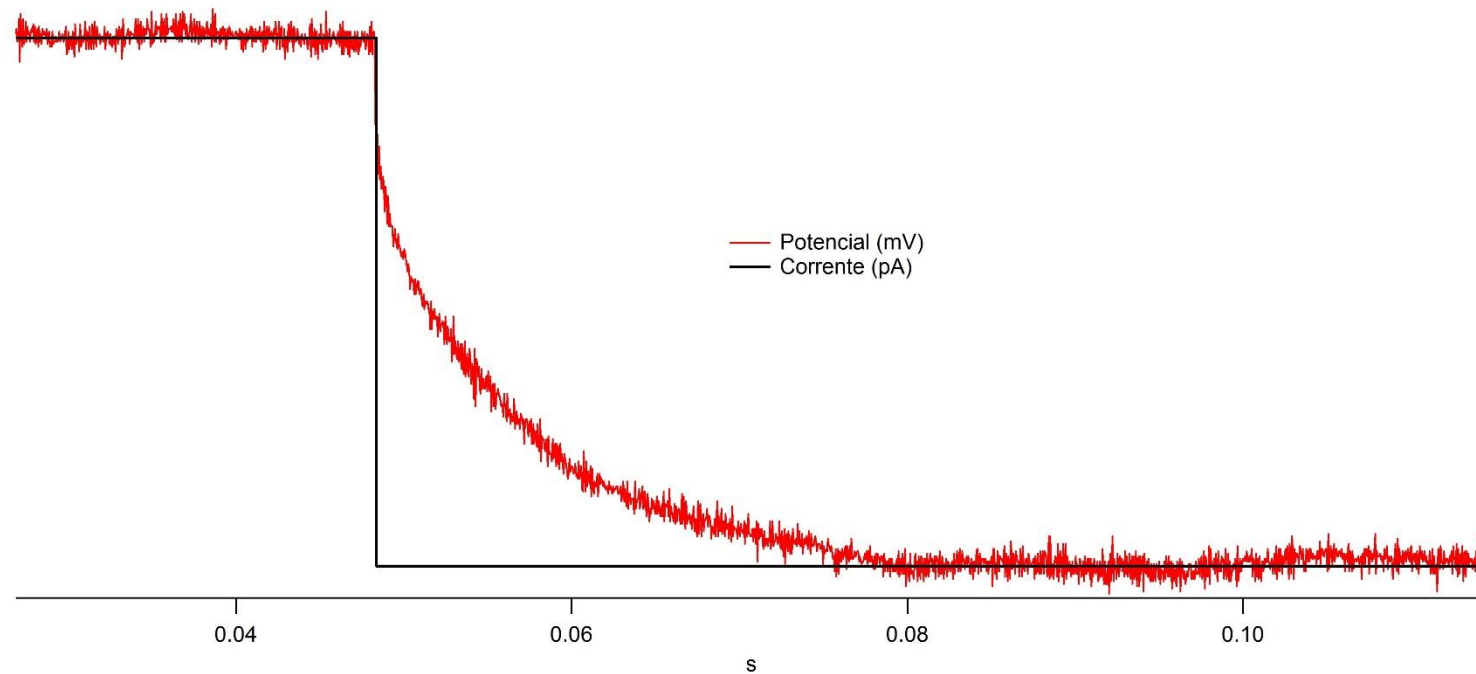
A corrente capacitiva torna a resposta da membrana mais lenta



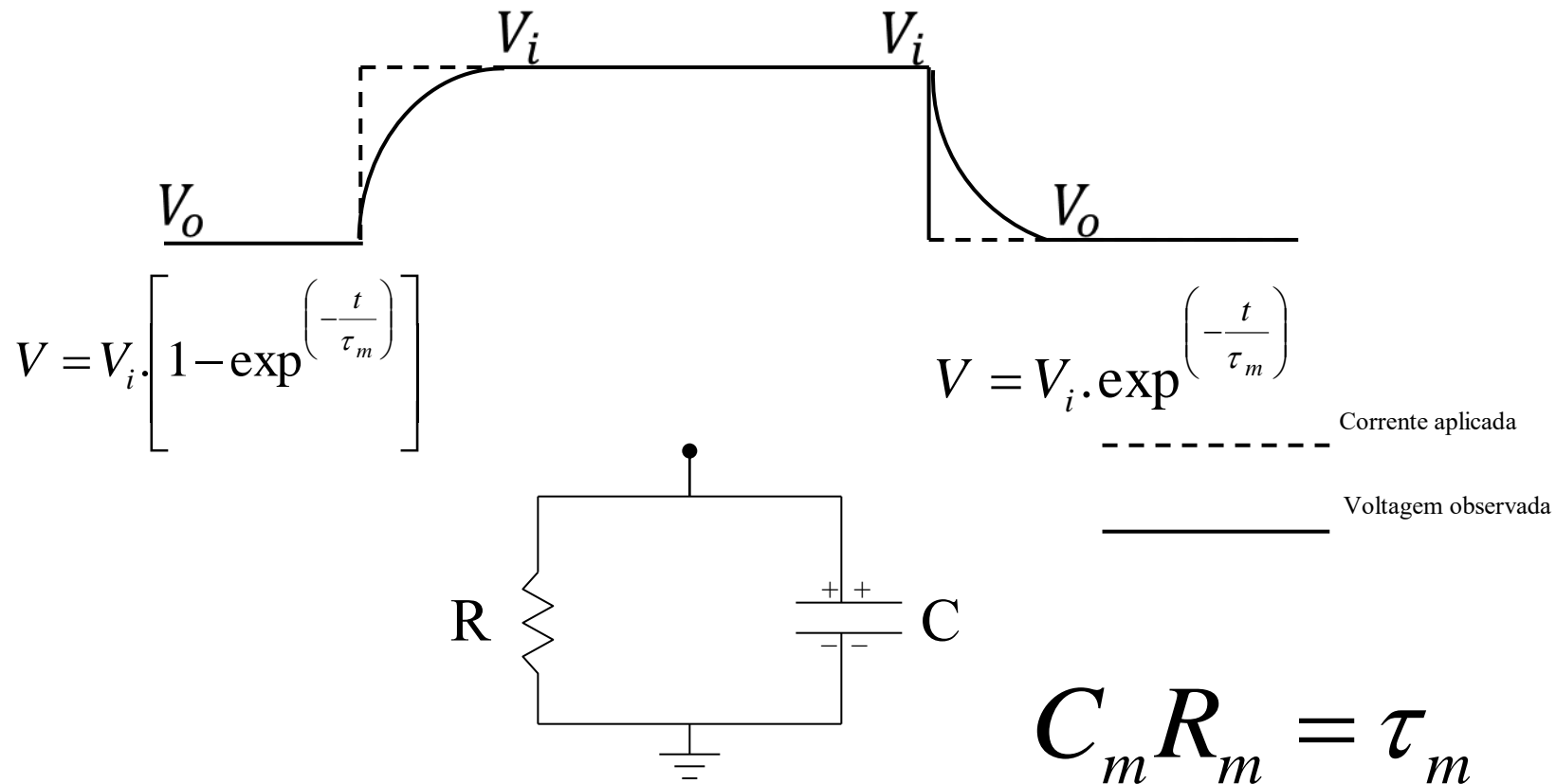
Corrente capacitiva (I_c) e resistiva (I_r)



Resposta da membrana a injeção de corrente



A constante de tempo da membrana (τ_m) reflete o tempo de carregamento da membrana

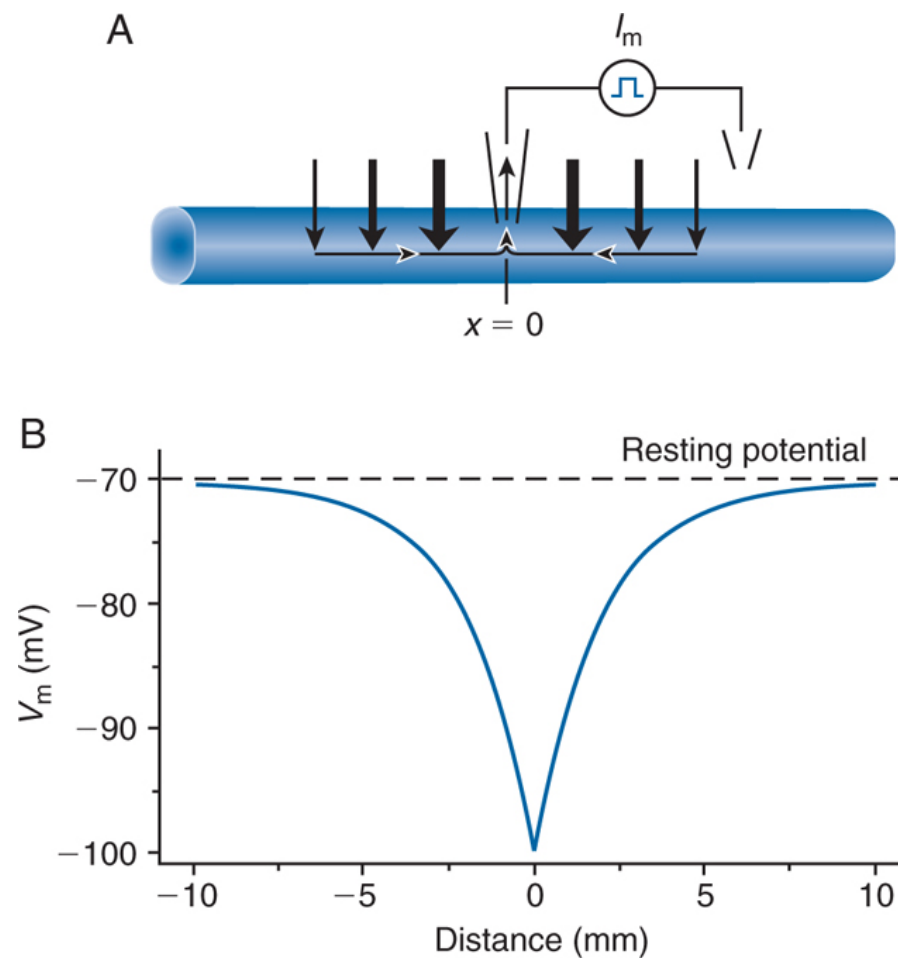


τ_m = constante de tempo da membrana

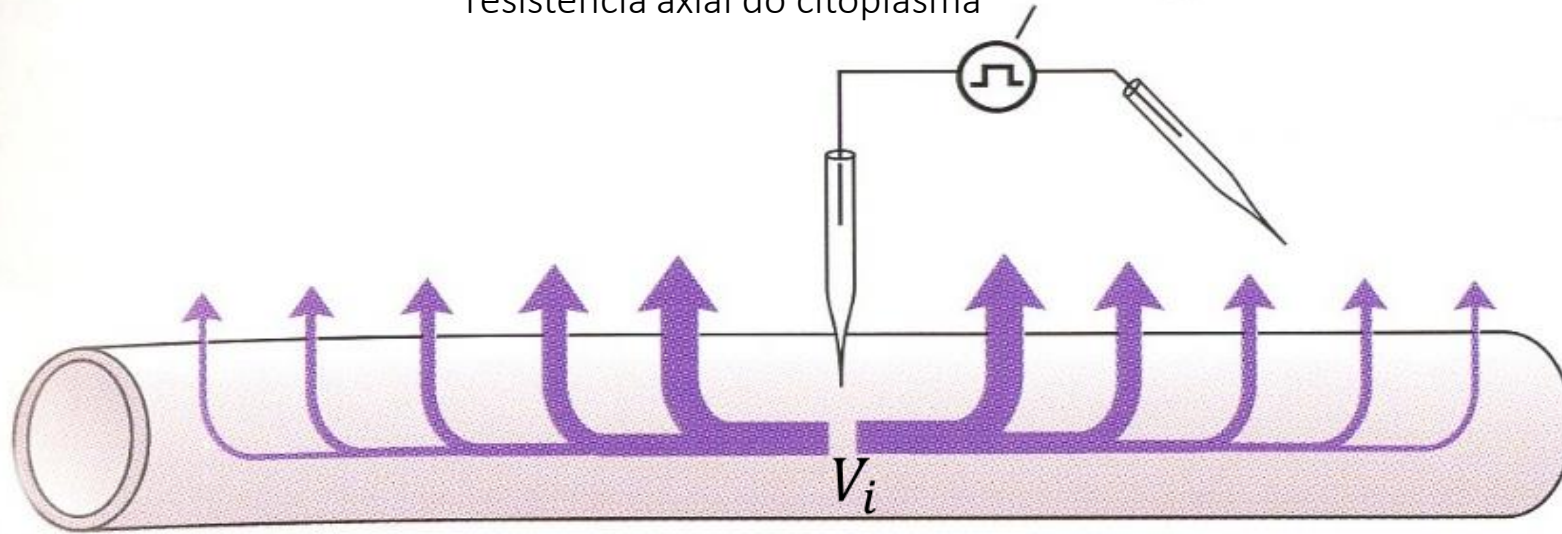
R_m = Resistência específica da membrana ($\text{ohm} \cdot \text{cm}^2$)

C_m = Capacitância específica da membrana ($1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$)

A transmissão passiva das diferenças de voltagem ao longo da membrana é chamada de condução eletrotônica. Na condução eletrotônica o sinal decai exponencialmente com a distância

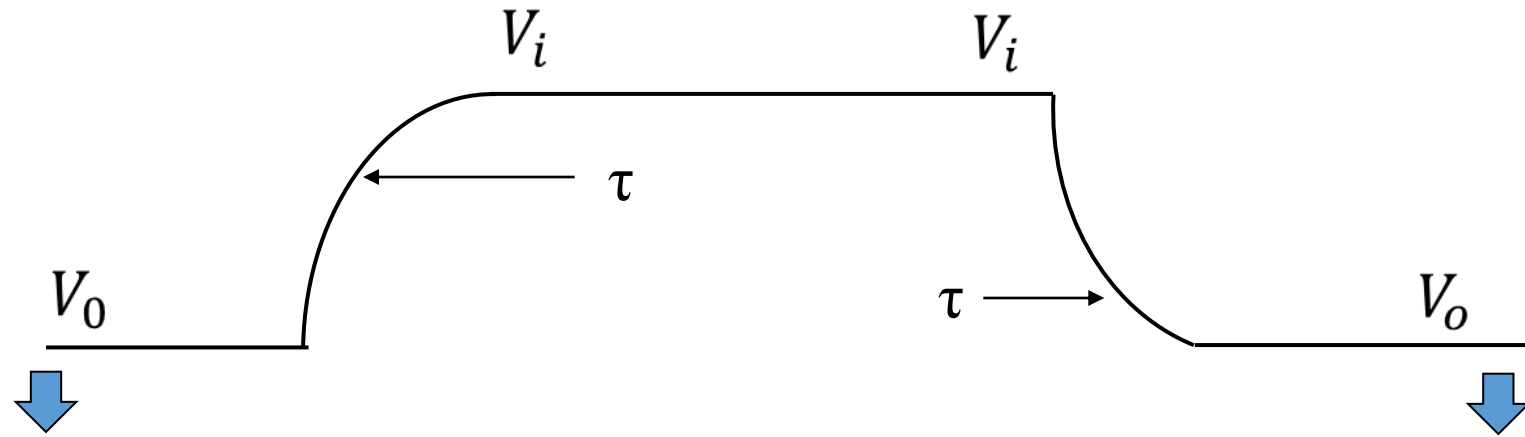


A constante de espaço da membrana (λ) reflete a razão da resistência da membrana e da resistência axial do citoplasma



$$V = V_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$$

Calculando τ graficamente



$$V = V_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \right]$$

Se $t = \tau$

$$V = V_i \cdot [1 - \exp^{(-1)}]$$

$$V = V_i \cdot [1 - 0.37]$$

$$V = 0.63 \cdot V_i$$

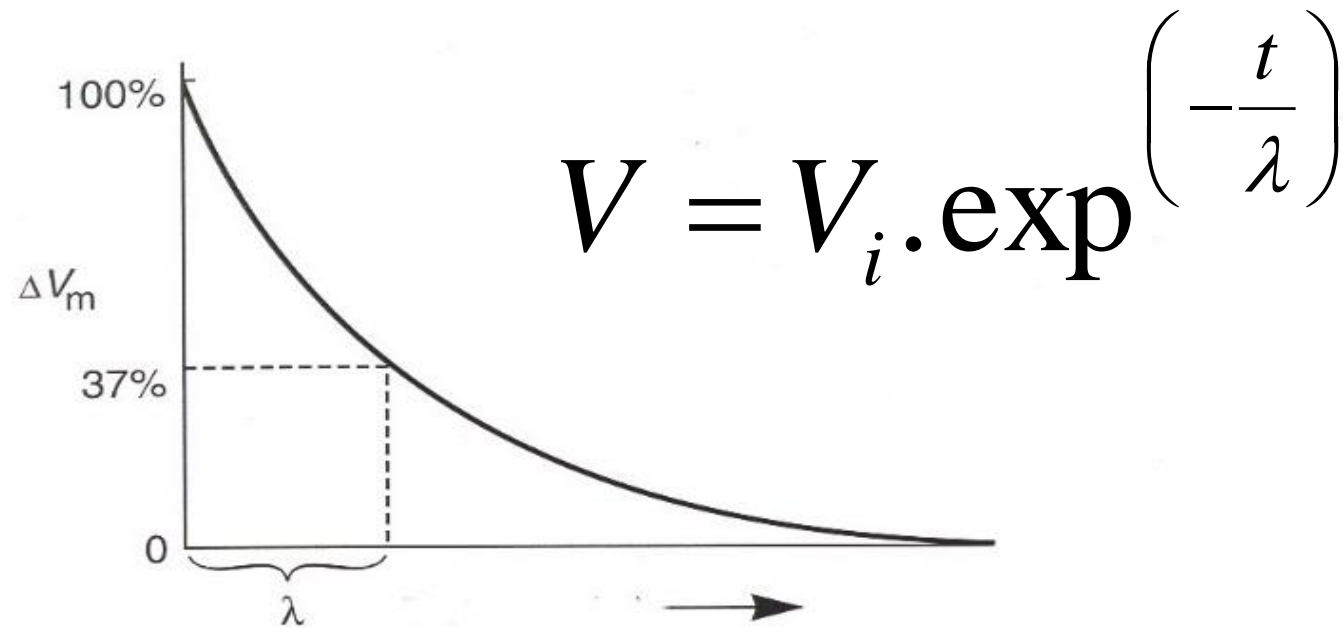
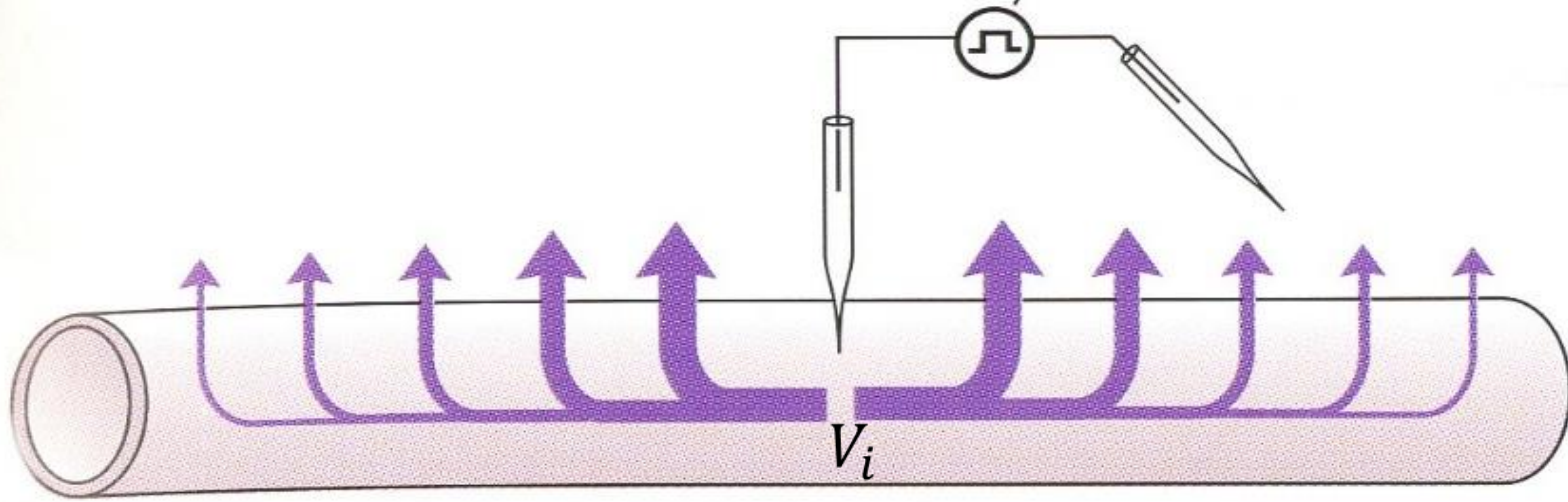
$$V = V_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right)$$

Se $t = \tau$

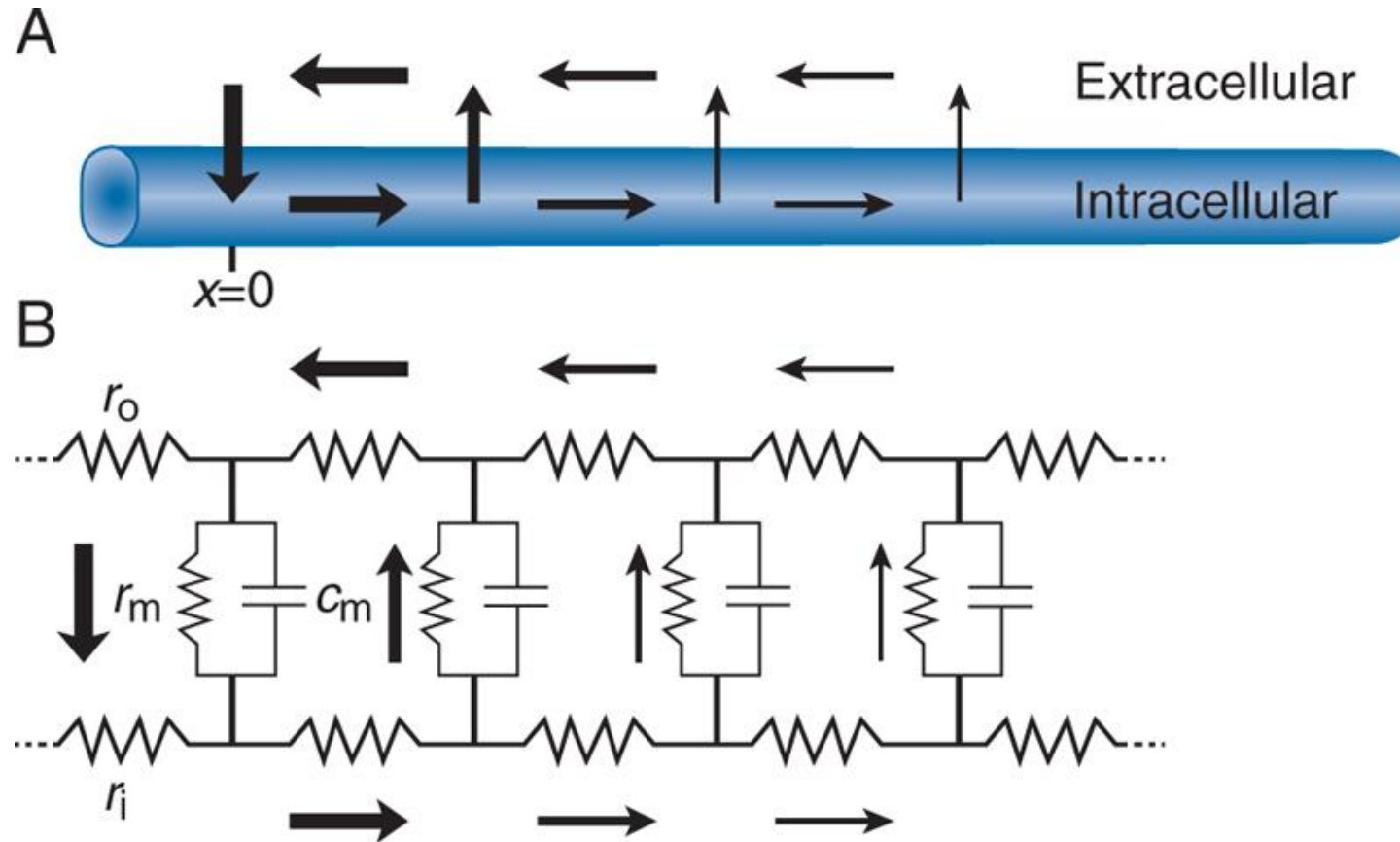
$$V = V_i \cdot \exp^{(-1)}$$

$$V = 0.37 \cdot V_i$$

Calculando λ graficamente



A corrente se dissipa pelas condutâncias da membrana



A constante de espaço da membrana (λ) reflete a razão da resistência da membrana e da resistência axial do citoplasma'

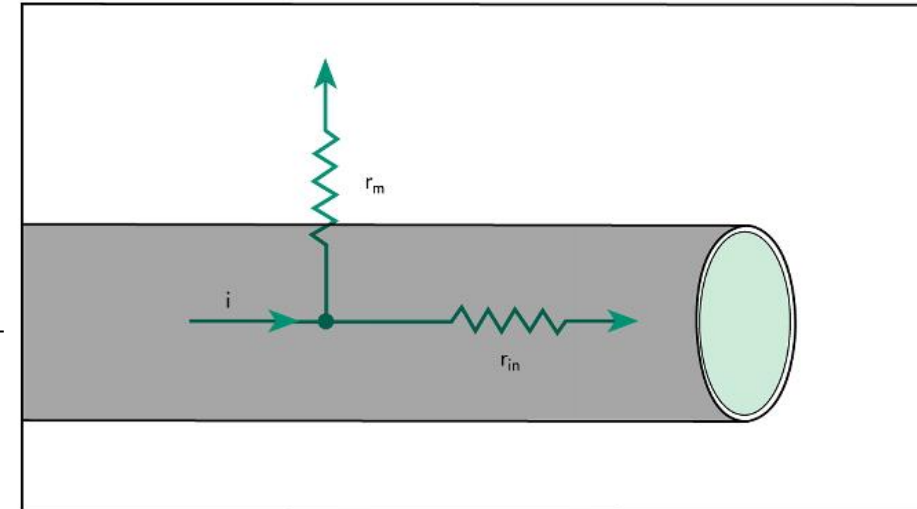
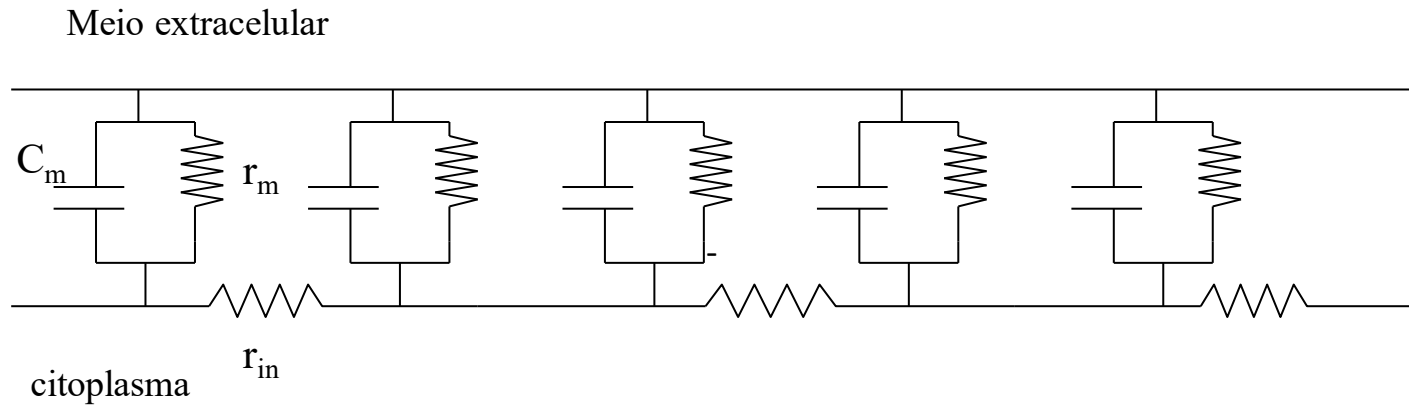
$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_i}}$$

r_m = Resistência da membrana (ohm.cm) = $R_m/2\pi r$
 R_m = resistência específica da membrana (ohm.cm²)
 $2\pi r$ = circunferência

r_i = Resistência citoplasmática (ohm/cm) = $R_i/\pi r^2$
 R_i = resistividade específica do citoplasma (ohm.cm)
 πr^2 = area crossseccional

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m/2\pi r}{R_i/\pi r^2}}$$

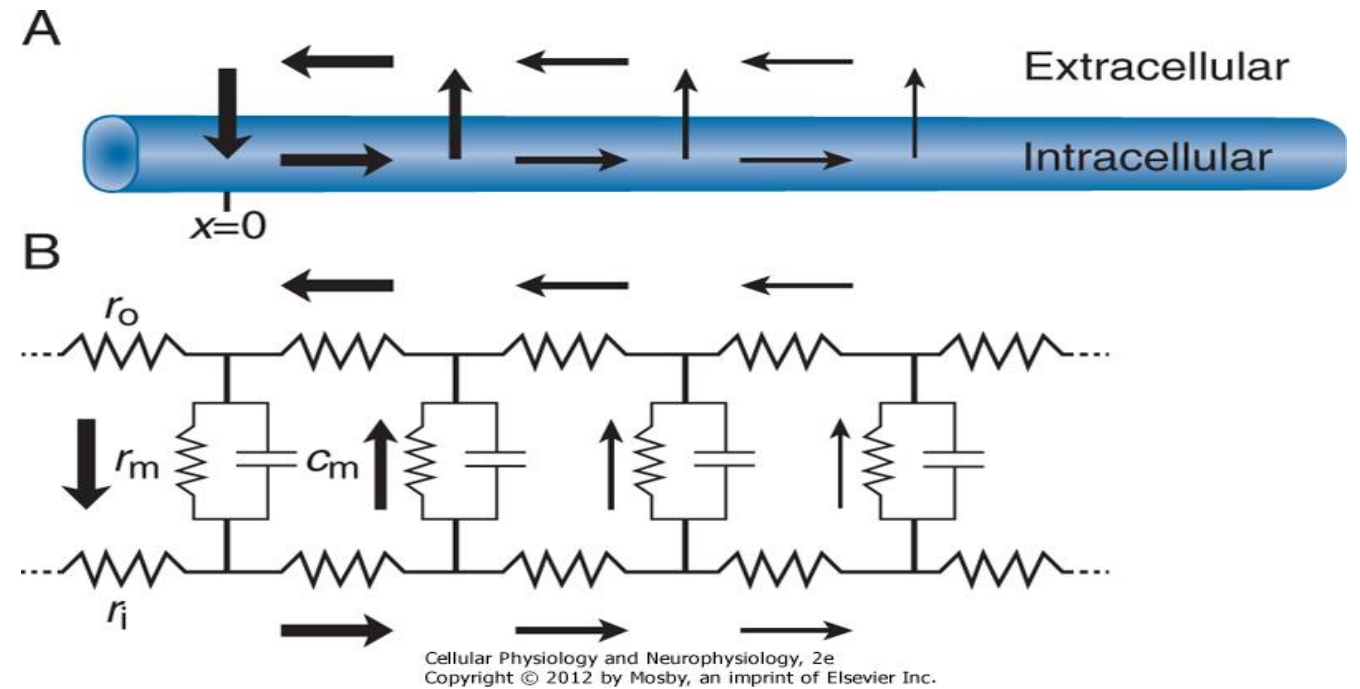
$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m \cdot r}{2 \cdot R_i}}$$



A velocidade de propagação do sinal (θ) reflete a razão λ/τ

- $\lambda > \tau \Rightarrow \theta < v$
- $\lambda < \tau \Rightarrow \theta > v$

$$\theta = \frac{\sqrt{R_m/R_i}}{R_m \cdot C_m}$$

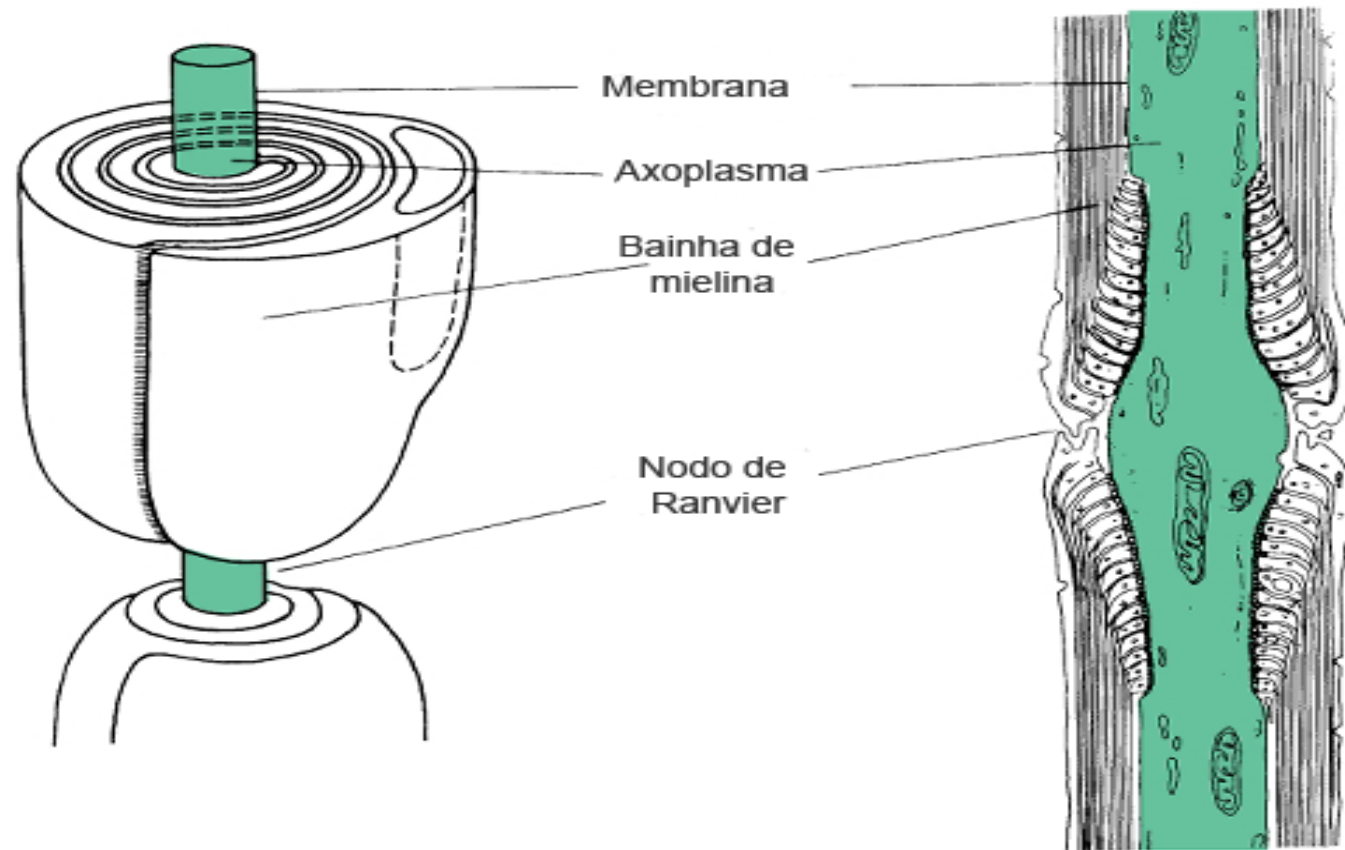


A velocidade de propagação do potencial de ação (θ) reflete a razão λ/τ

- A velocidade de transmissão eletrotônica varia inversamente com a resistência citoplasmática = r_m/r_i
 - r_i diminui em proporção ao quadrado do diâmetro (d) do axônio
 - O aumento do diâmetro do axônio aumenta a velocidade de condução
 - Axônios não mielinizados gigantes de invertebrados
- OU
- A capacitância é **inversamente** proporcional a espessura do material isolante
 - Diminuição da C_m pelo aumento da espessura do isolamento da membrana
 - **mielinização**

$$\theta = \frac{1}{Cm} \cdot \sqrt{\frac{1}{Rm \cdot Ri}}$$

A bainha de mielina aumenta a velocidade de propagação do potencial de ação



A bainha de mielina aumenta a velocidade de propagação do potencial de ação

