

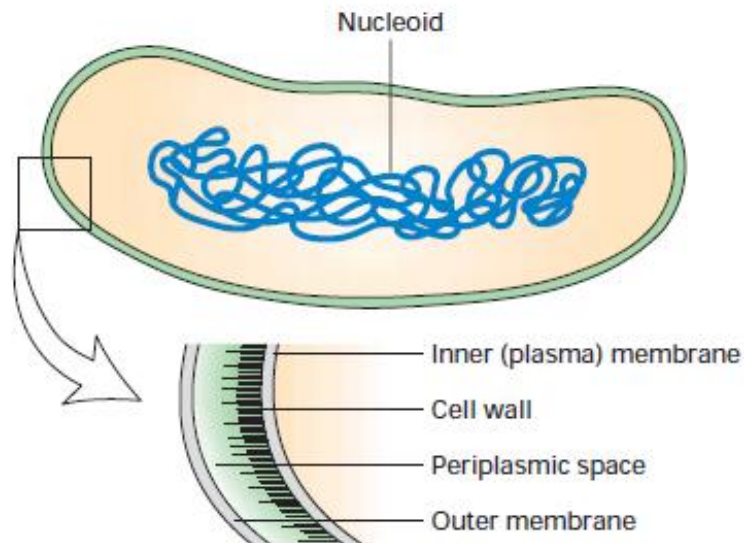
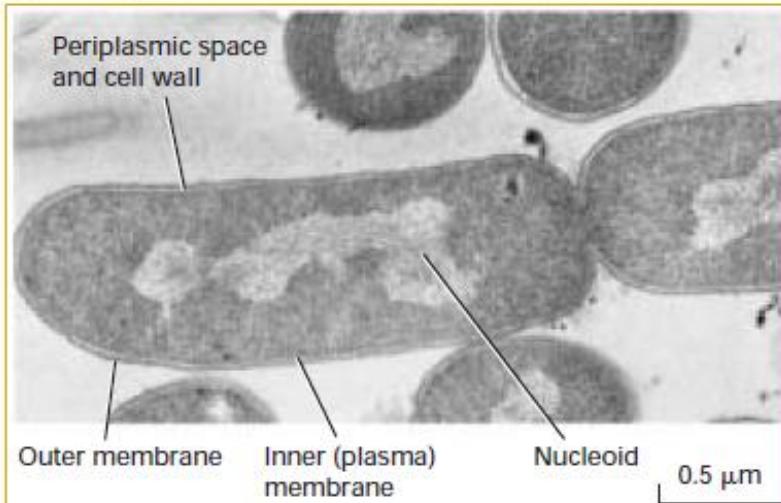


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
SETOR DE BIOLOGIA CELULAR E MOLECULAR**

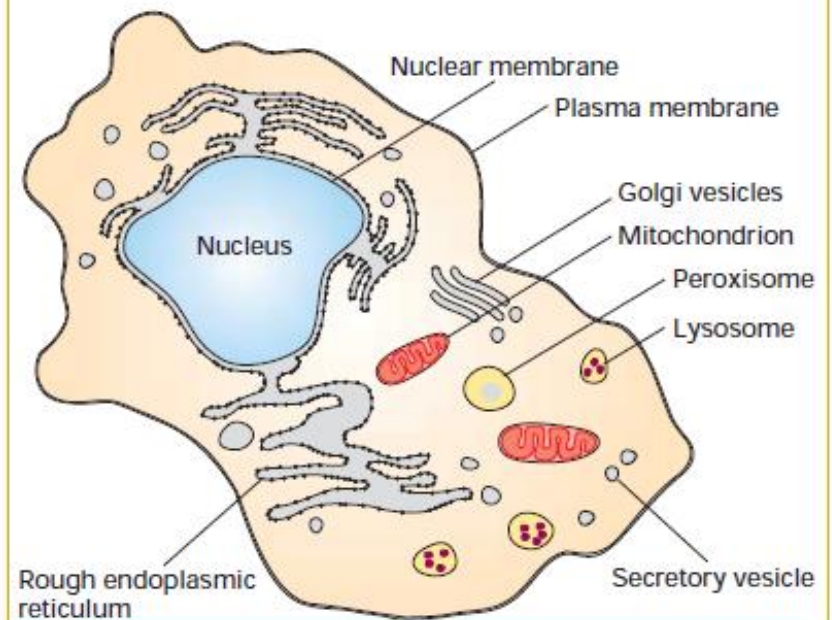
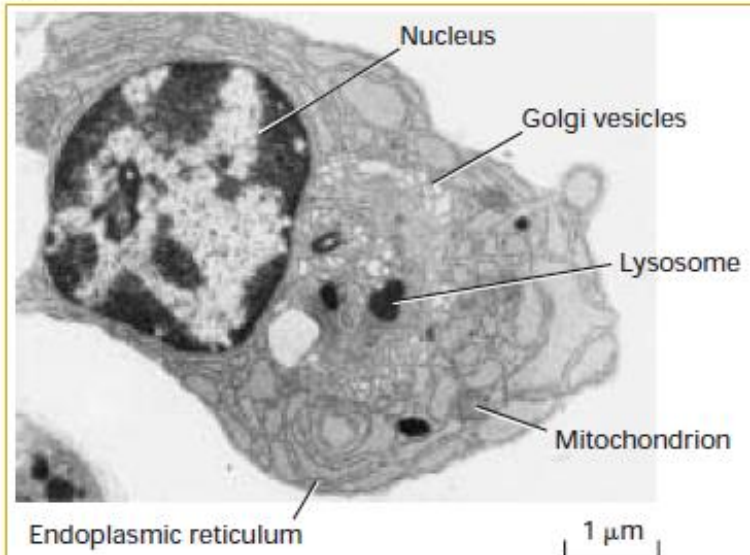
Membrana: Estrutura, Função e Transporte

Profa. Dra. Nívea Macedo

(a) Prokaryotic cell

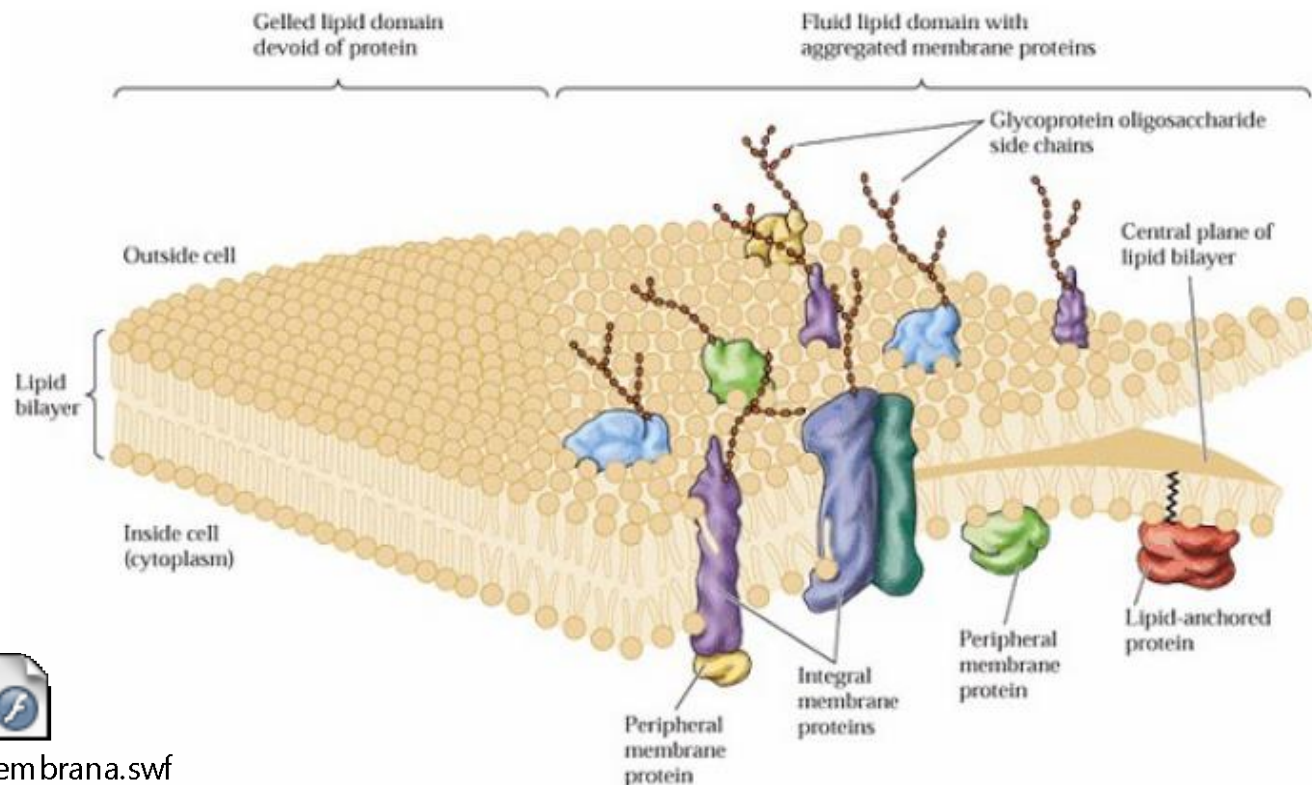


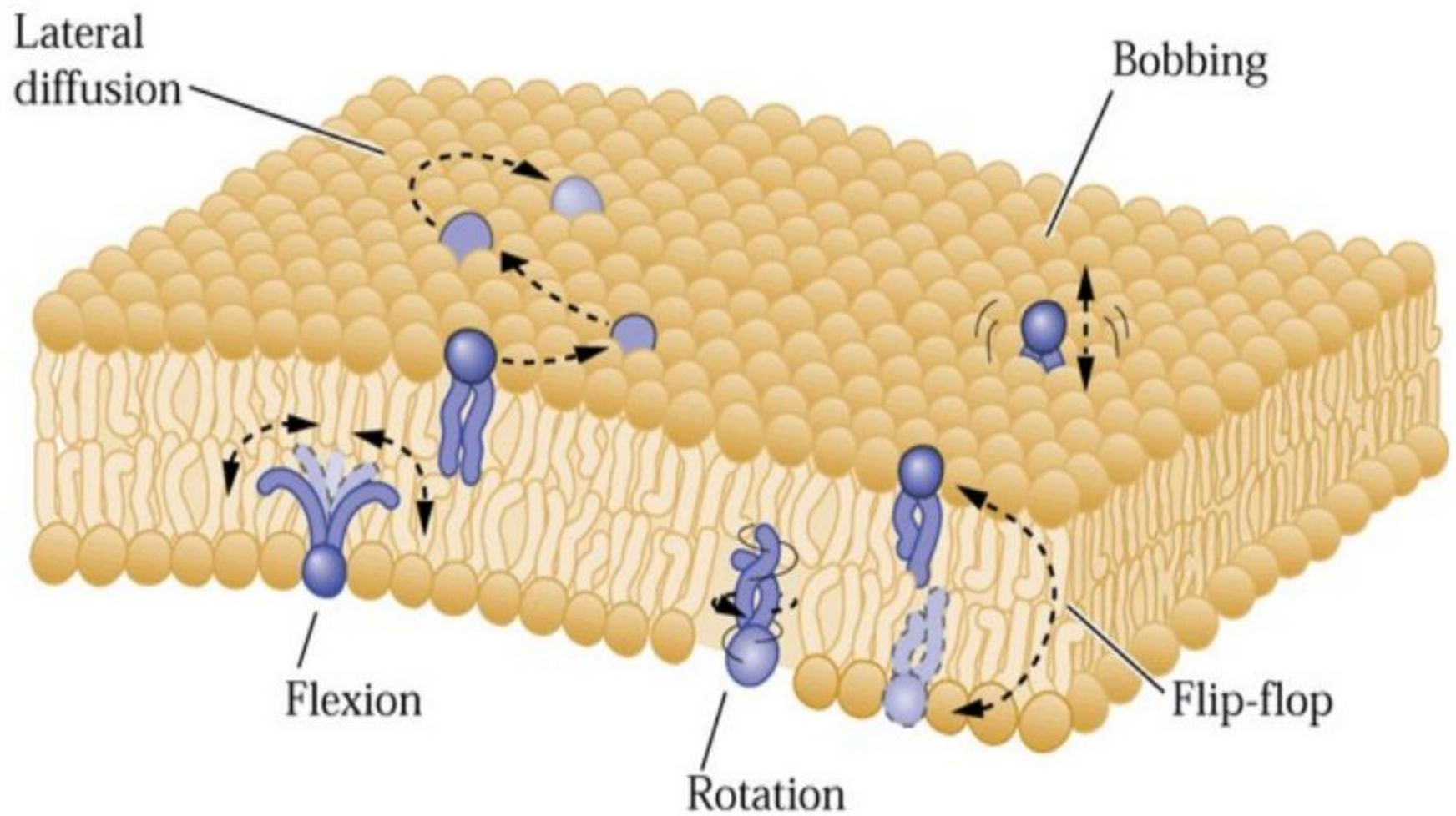
(b) Eukaryotic cell



Biomembranas: Modelo do Mosaico Fluido

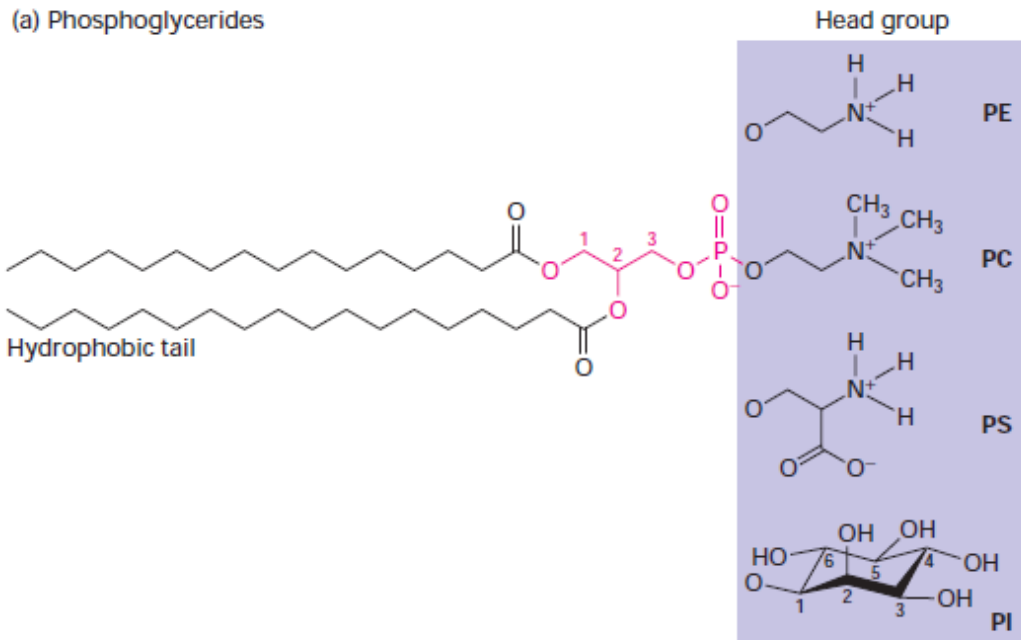
- Bicamada lipídica na qual estão inseridas moléculas protéicas;
- Lipídios: Cabeça polar ou hidrofílica e duas cauda apolares ou hidrofóbicas (ácidos graxos 14-24 átomos de C);
- Tipicamente, uma cauda possui uma ou mais ligações duplas *cis* e a outra não;
- Massa da maioria das membranas: 50% lipídeos e 50% proteínas;
- Membranas de células eucarióticas possuem 500 – 1000 espécies lipídicas diferentes;



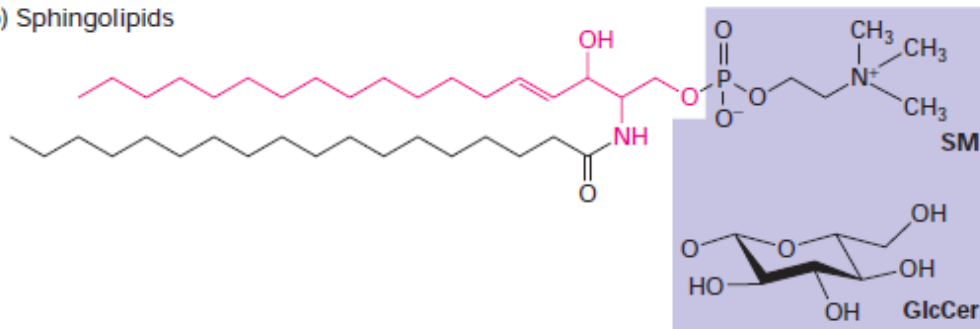


Biomembranas: Composição Lipídica

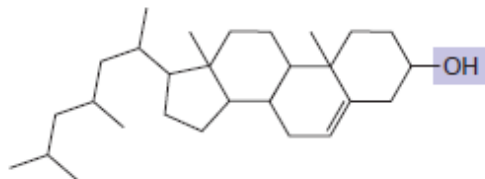
(a) Phosphoglycerides



(b) Sphingolipids



(c) Cholesterol



- Membranas são formadas por 3 classes de lipídeos **anfipáticos**: **Fosfoglicerídeos**, **Esfingolipídeos** e **Colesterol**;

- **Fosfoglicerídeos**: Classe de lipídeos mais abundante das membranas. Ex.: **Fosfatidilcolina** (0), **fosfatidiletanolamina** (0), **fosfatidilserina** (-), fosfatidilinositol (-) etc.



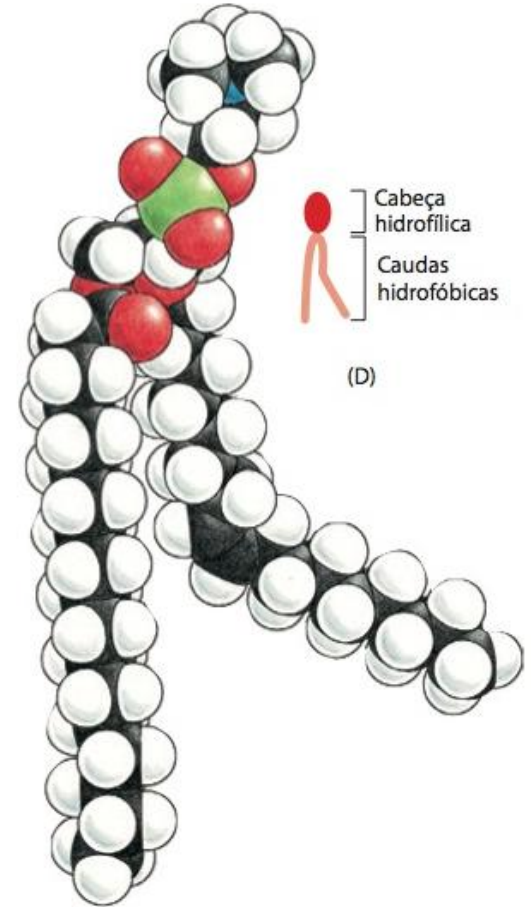
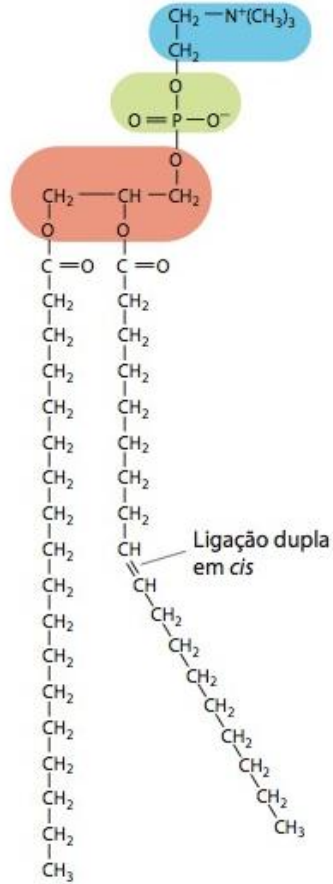
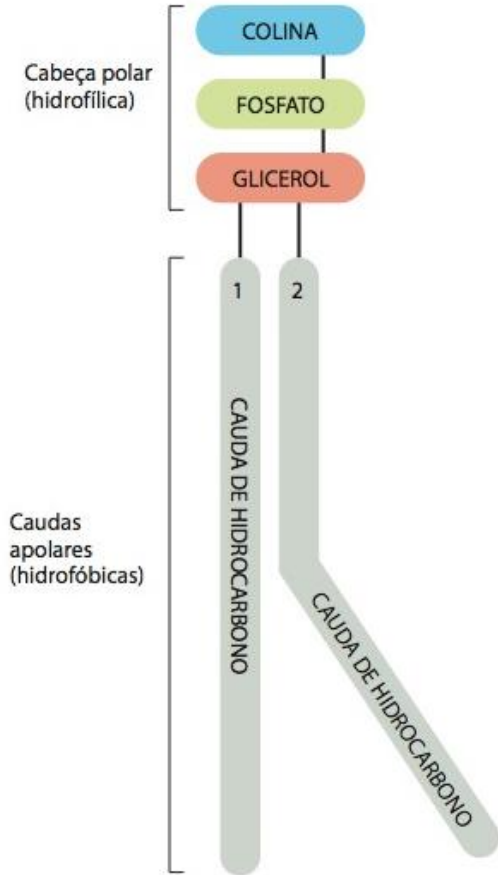
bbq1_28_glicerofosfolipideos.swf

- **Esfingolipídeos**: **Esfingomielina**, **Glicosilcerebrosídeos**, **Gangliosídeos** (glicolipídios mais complexos) etc.

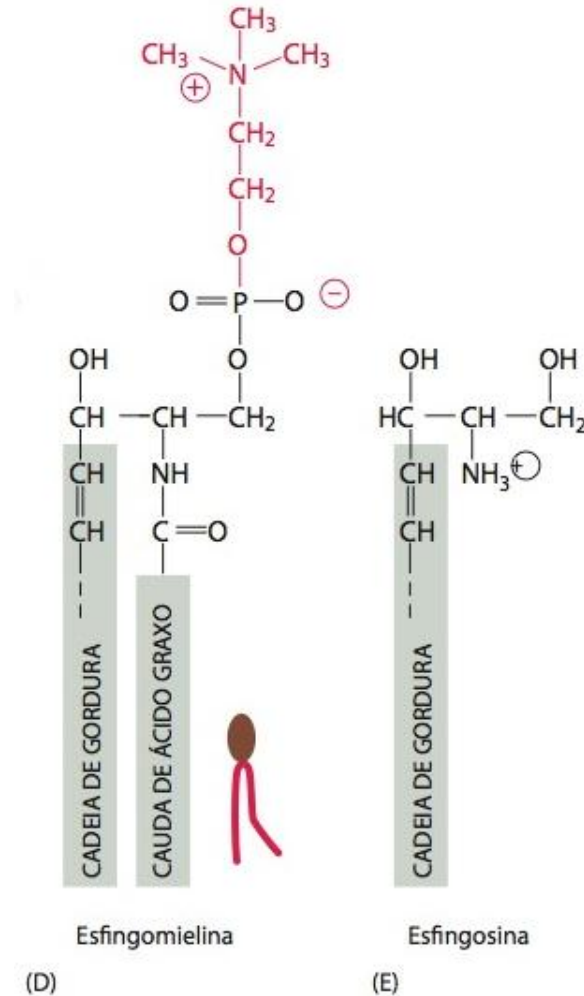


bbq1_28_esfingolipideos.swf

Fosfoglicerídeos



Esfingolipídeos



Fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, esfingomielina e fosfatidilserina constituem mais da metade da massa de lipídeos da maioria das membranas celulares de mamíferos;

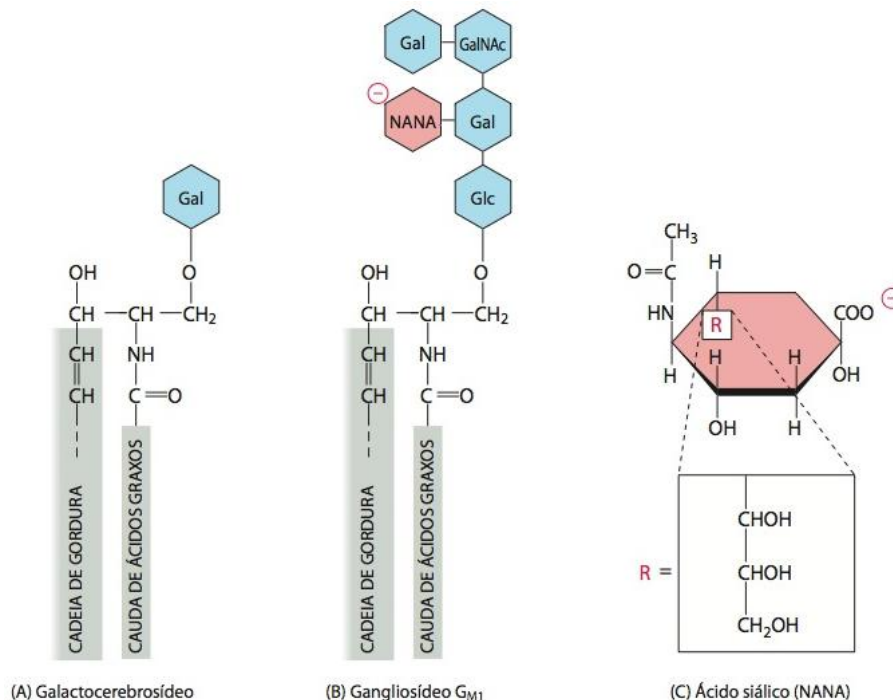
Esfingolipídeos

- **Glicolipídeos** - 5% da composição lipídica da monocamada externa;
- Tendem a se associar formando balsas lipídicas;



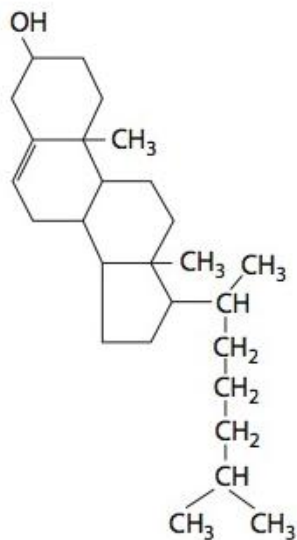
Measuring turnover of Lipid Rafts with cholera toxin - Dr Othon Gervasio - 3D Scientific Animation [SaveYouTube.com].mp4

- **Funções:** células epiteliais – proteção (condições de pH e presença de enzimas degradantes); influenciam nas concentrações de íons na superfície da membrana, principalmente Ca^{2+} ; reconhecimento celular;

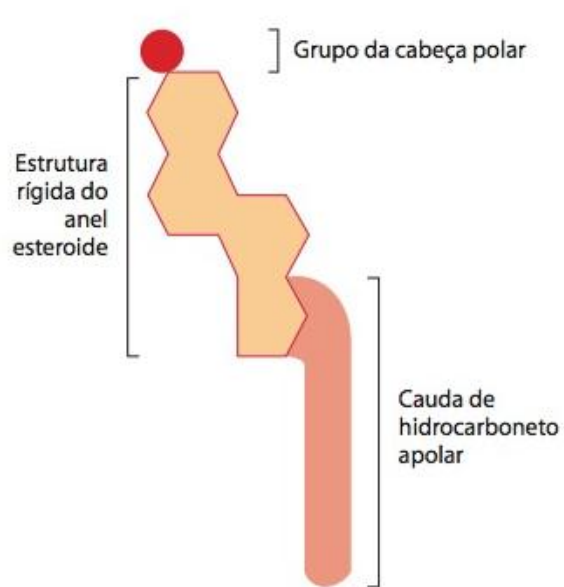


O gangliosídeo G_{M1} atua como um receptor de superfície celular para a toxina bacteriana que causa a diarreia debilitante da cólera.

Colesterol



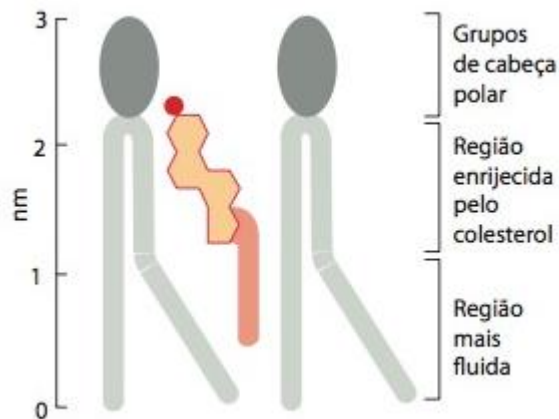
(A)



(B)

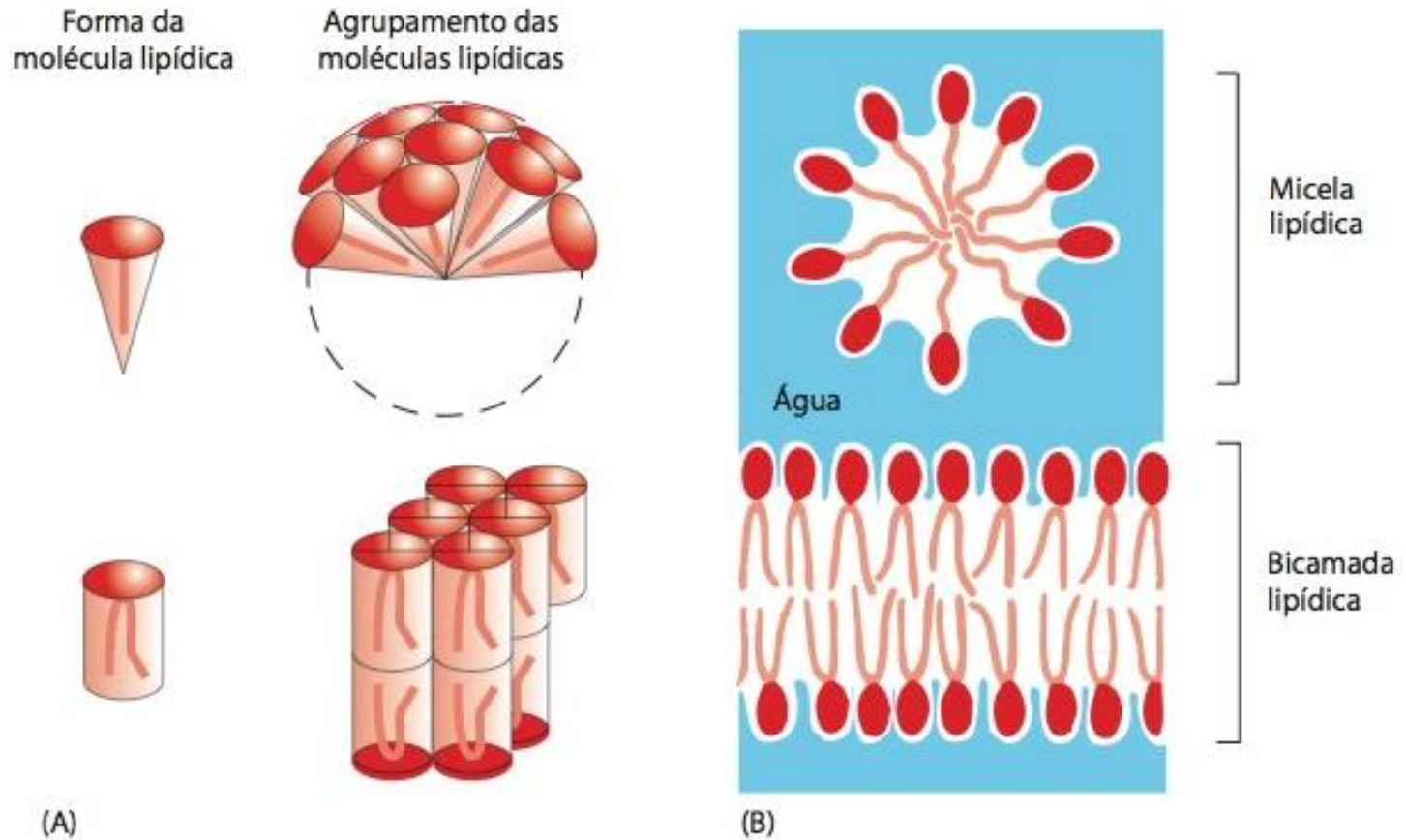


(C)



colesterol.swf

A bicamada lipídica é um fluido bidimensional



bbc1_7_fosfolipideos_agua.swf



protocolula.swf

A fluidez da bicamada depende da sua composição e da temperatura

- **Transição de fase:** temperatura em que ocorre a mudança do estado líquido para o estado cristalino rígido (ou gel) bidimensional;
- A temperatura é mais baixa, ou seja, é mais difícil congelar membranas que possuam lipídeos com caudas curtas e/ou pontes duplas *cis*;
- Bactérias, leveduras e outros organismos cujas temperaturas alteram com a do ambiente ajustam a composição de ácidos graxos de suas membranas para manter uma fluidez constante;
- O **colesterol reduz a fluidez** das membranas, a **temperaturas moderadas**, e evita a sua cristalização, a temperaturas baixas.

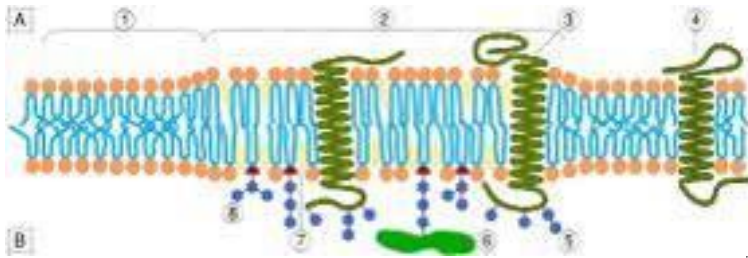


Tabela 10-1 Composição aproximada dos lipídeos de diferentes membranas celulares

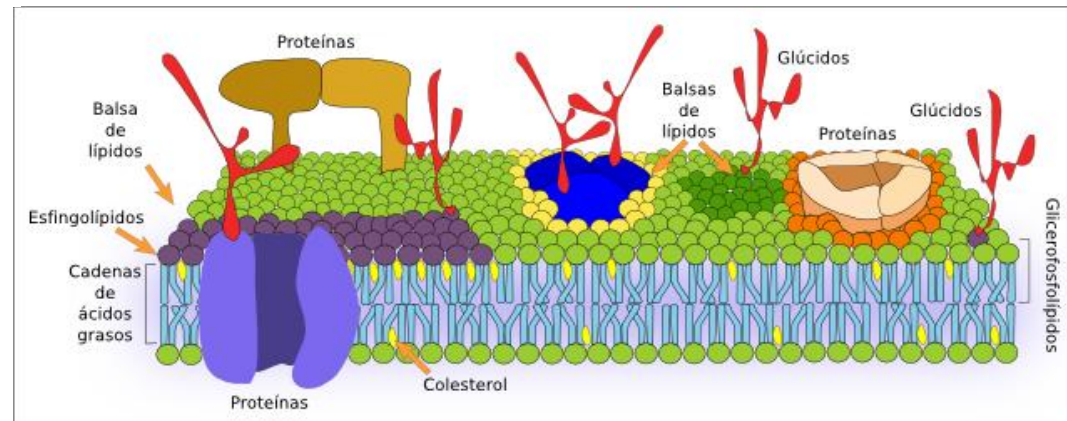
Lipídeo	Porcentagem total de lipídeos por peso					
	Membrana plasmática de um hepatócito	Membrana plasmática de um eritrócito	Mielina	Mitocôndria (Membranas interna e externa)	Retículo endoplasmático	Bactéria <i>E. Coli</i>
Colesterol	17	23	22	3	6	0
Fosfatidiletanolamina	7	18	15	28	17	70
Fosfatidilserina	4	7	9	2	5	Traços
Fosfatidilcolina	24	17	10	44	40	0
Esfingomielina	19	18	8	0	5	0
Glicolipídeos	7	3	28	Traços	Traços	0
Outros	22	14	8	23	27	30

As bicamadas podem formar domínios lipídicos transientes

- **Balsas lipídicas:** moléculas lipídicas da membrana plasmática das células animais podem se reunir de forma transiente em domínios especializados (ex. *caveola* – envolvida na endocitose);
- Balsas lipídicas são ricas em esfingolípídeos e colesterol;

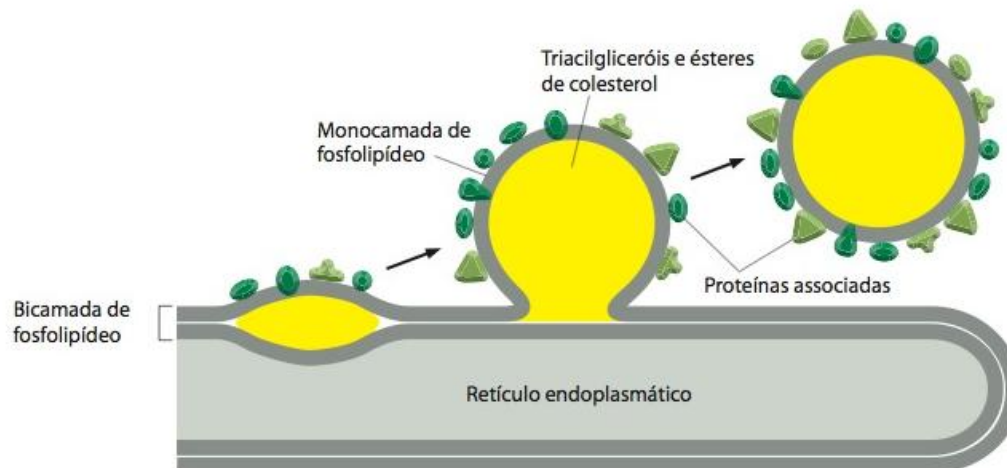


Measuring turnover of Lipid Rafts with cholera toxin - Dr Othon Gervasio - 3D Scientific Animation [SaveYouTube.com].mp4



As gotas lipídicas são circundadas por uma monocamada fosfolipídica

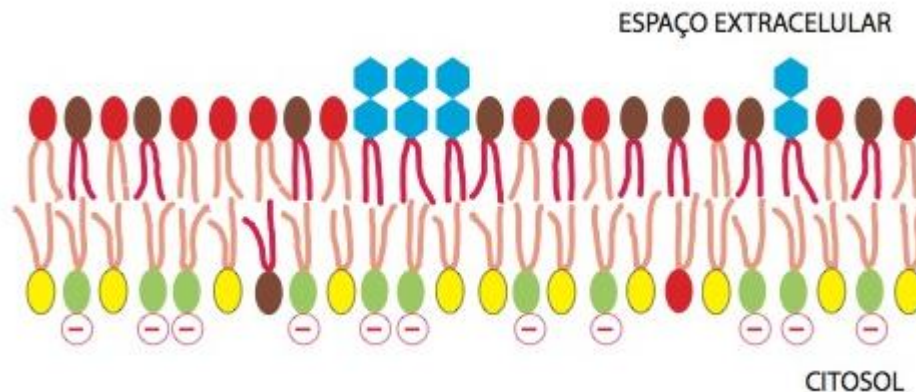
- A maioria das células armazena lipídeos como gotas lipídicas;
- Adipócitos são células especializadas no armazenamento de lipídeos;
- As gotas lipídicas contêm lipídeos neutros como triacilglicerídeos e ésteres de colesterol, os quais são sintetizados na membrana do RE;
- As gotas lipídicas são organelas únicas, pois são circundadas por uma única camada de fosfolídeos;



A assimetria da bicamada lipídica é funcionalmente importante

- As composições de lipídeos das duas monocamadas da bicamada lipídica de muitas membranas são distintas;
- A assimetria lipídica é importante para os processos de conversão de sinais extracelulares em sinais intracelulares;
- Hemácias humanas:

Esfingomielina e fosfatidilcolina



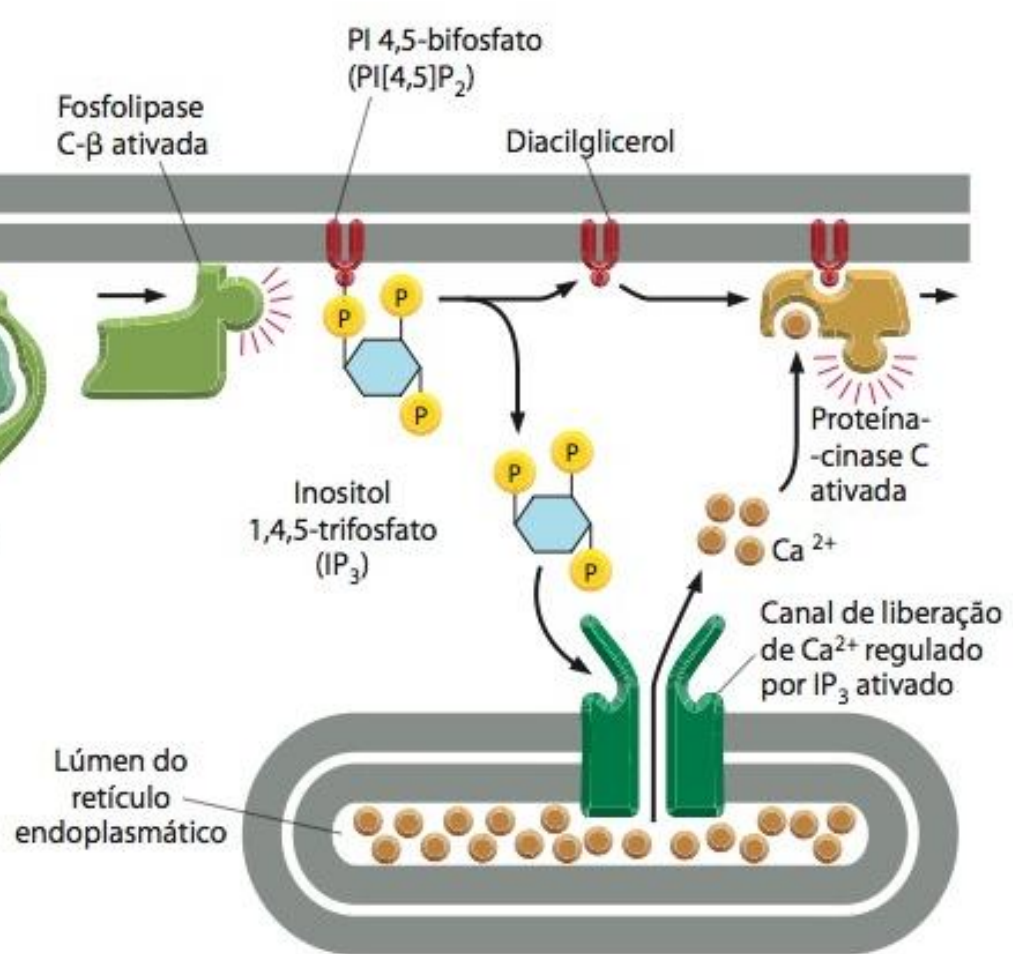
bbc1_7_lipideos_de_membrana_oa.swf

Fosfatidilserina (-) e fosfatidiletanolamina

A assimetria da bicamada lipídica é funcionalmente importante

- Quando uma célula animal sofre apoptose, a fosfatidilserina é rapidamente translocada para a monocamada extracelular. Acredita-se que esta translocação ocorra por meio de 2 mecanismos:
 1. Inativação do translocador de lipídeos, que normalmente transporta este lipídeo para a monocamada citosólica;
 2. Ativação da scramblase, que transfere os fosfolipídeos de forma inespecífica nas duas direções entre as duas monocamadas;

Algumas proteínas G ativam a via de sinalização do fosfolípido de inositol pela ativação da fosfolipase C- β



As proteínas de membrana podem se associar à bicamada de várias maneiras

- As proteínas nas bicamadas lipídicas são classificadas de acordo com a dificuldade com que são extraídas:

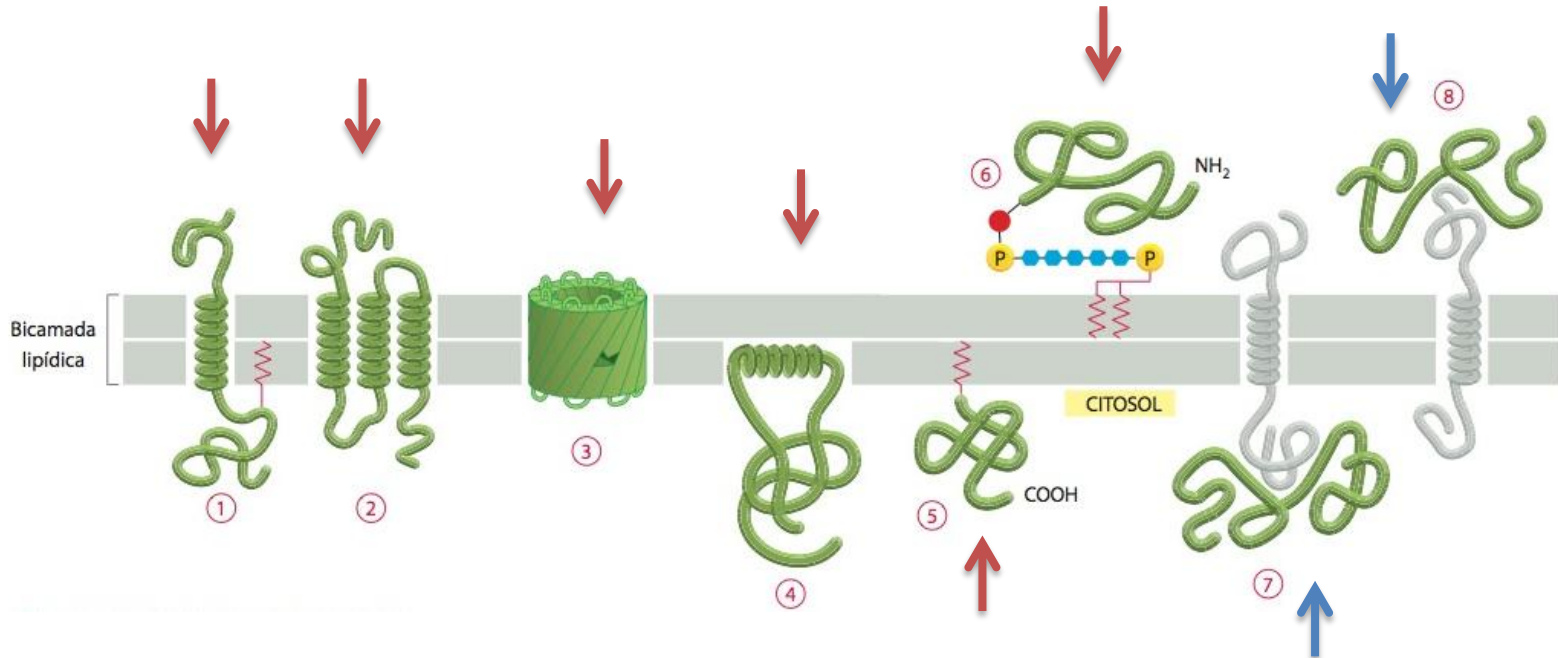
bbc1_8_9_10_11_12_oa1.sw

1. Proteínas integrais ou intrínsecas (difusão rotacional e difusão lateral);
2. Proteínas periféricas ou extrínsecas; (ligação covalente ao PI por meio de um



bbc1_8_9_10_11_12_proteina.swf

(Ligação covalente ao PI por meio de um oligossacarídeo – ancoramento GPI)



A cadeia polipeptídica cruza a bicamada lipídica em uma conformação de hélice α na maioria das proteínas transmembrana

- As ligações de hidrogênio entre as ligações peptídicas são maximizadas se a cadeia formar uma hélice α ;
- A maioria das proteínas de múltiplas passagens em células eucarióticas e em bactérias é formada por hélices α ;
- Uma maneira alternativa para a maximização das ligações de hidrogênio é a formação de folhas β torcidas em forma de um barril fechado (ex. porinas);
- As proteínas barril β são abundantes na membrana externa das mitocôndrias e cloroplastos e de muitas bactérias; e atuam como canais, receptores ou enzimas;
- Cerca de 20% das proteínas de um organismo são transmembranas;



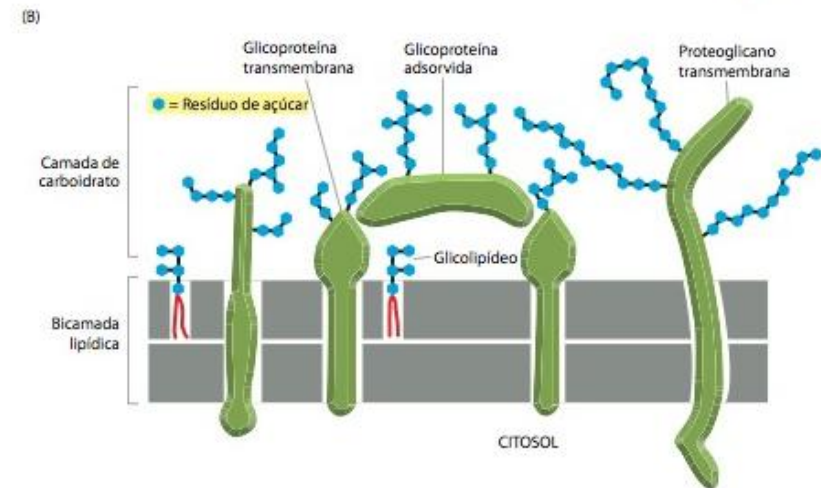
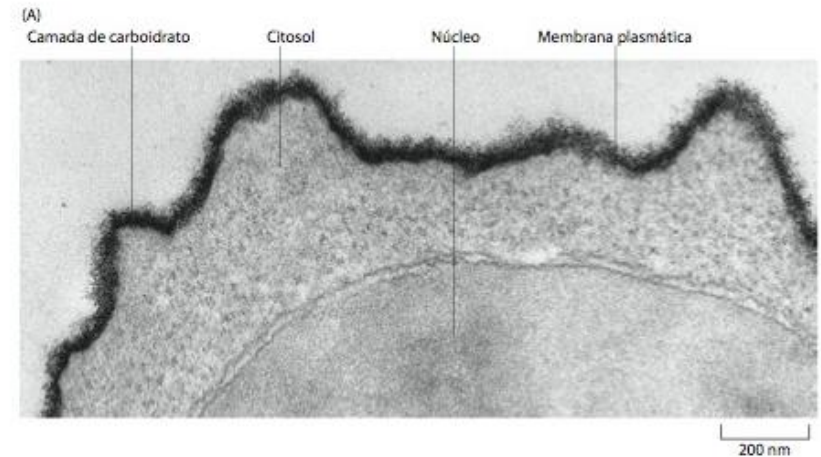
bbc1_8_9_10_11_12_oa2.swf



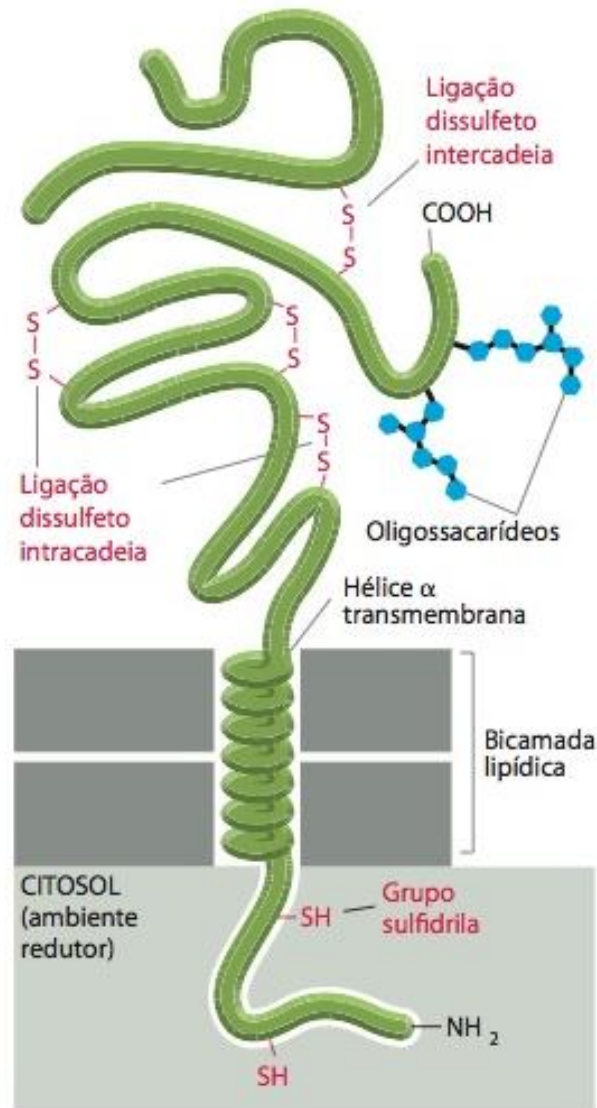
bbc1_8_9_10_11_12_proteina_membrana.swf

Muitas proteínas de membrana são glicosiladas

- A maioria das proteínas de membrana de células animais é glicosilada;
- Glicoproteínas e proteoglicanos + glicolípídeos = glicocálice;
- A maior parte dos glicídeos do glicocálice está ligada covalentemente à membrana, no entanto algumas glicoproteínas e proteoglicanos são secretados na ECM e adsorvidos na superfície celular;
- O glicocálice tem como função proteger a célula contra danos químicos ou mecânicos e manter outras células à distância;

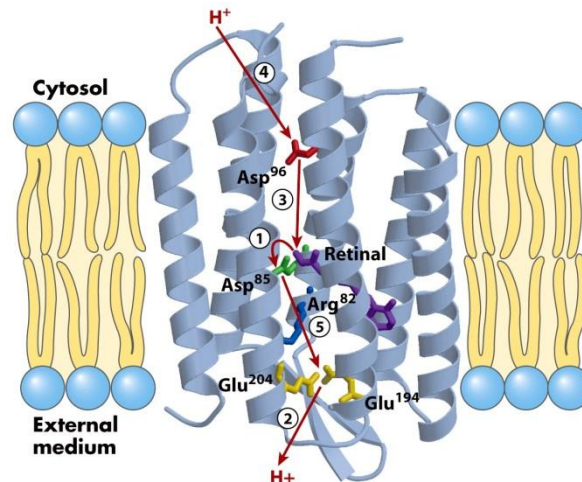


- O ambiente citosólico é redutor e diminui as chances de formação de ligações dissulfeto (S-S);

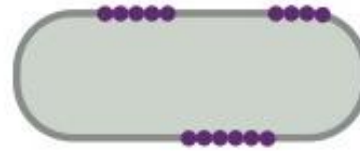


A bacteriorrodopsina é uma bomba de prótons que atravessa a bicamada lipídica como sete hélices α

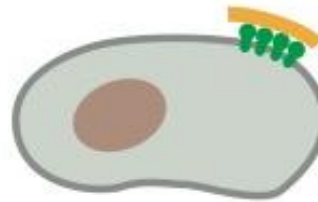
- A membrana púrpura da arqueobactéria *Halobacterium salinarum* é uma região especializada da membrana plasmática que contém uma única espécie de molécula protéica, a **bacteriorrodopsina**;
- Cada molécula de bacteriorrodopsina possui um cromóforo (retinal ou vitamina A na forma de aldeído) que quando excitado por um fóton de luz, leva a uma série de mudanças conformacionais na proteína, resultando na transferência de H^+ para o exterior da célula;
- A energia armazenada no gradiente de H^+ é utilizada para a produção de ATP;



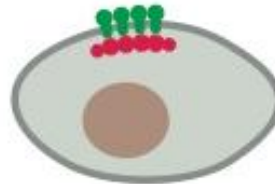
Quatro maneiras de restringir a mobilidade lateral de proteínas da membrana plasmática



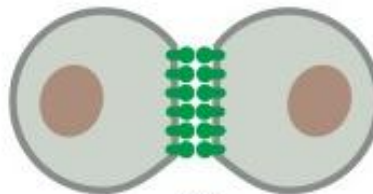
(A)



(B)



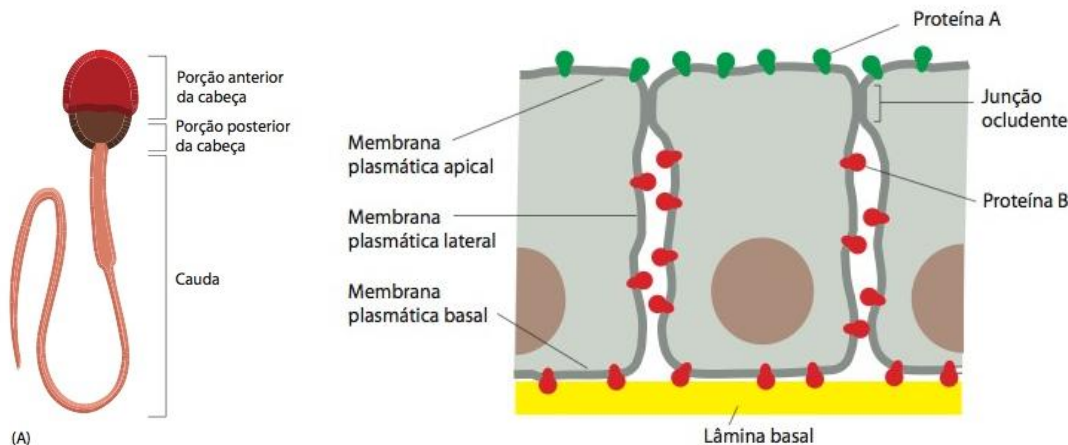
(C)



(D)

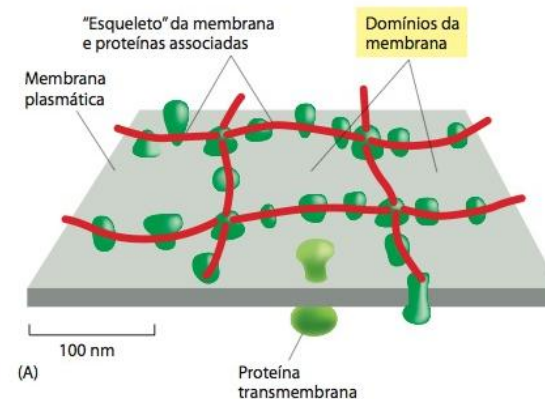
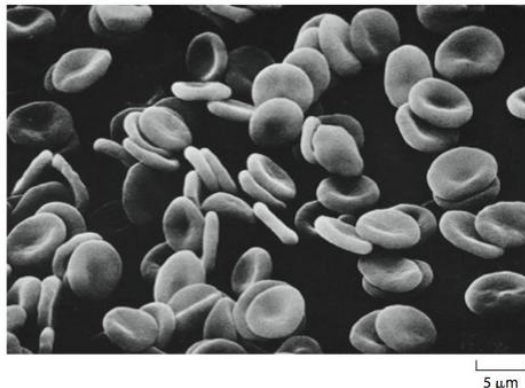
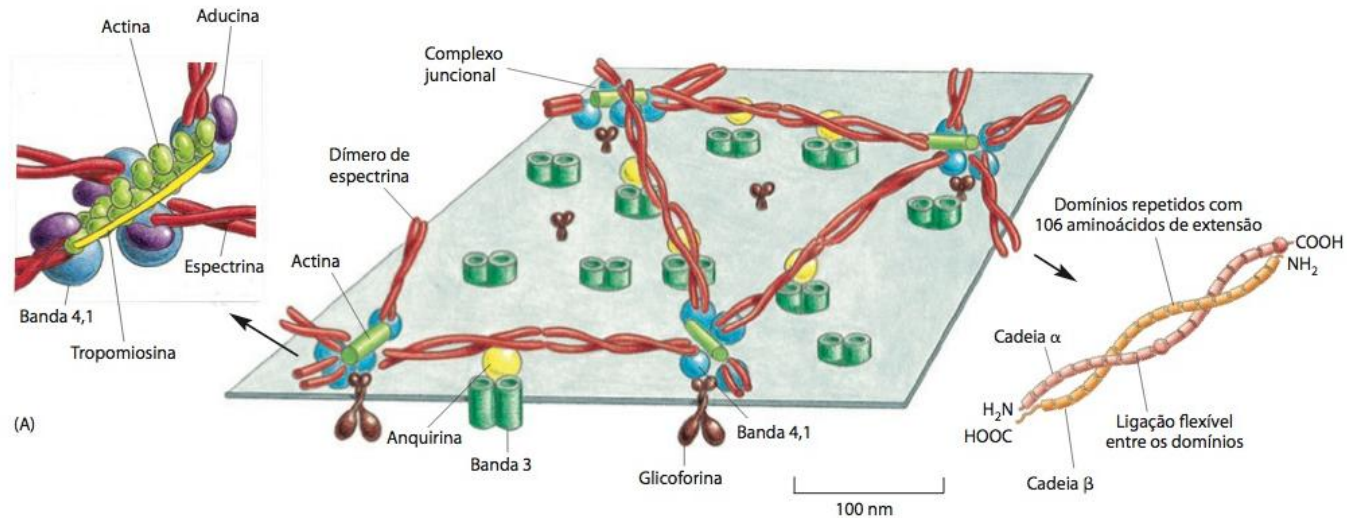
As células podem confinar proteínas e lipídeos em domínios específicos de uma membrana

- Em células epiteliais (ex. aquelas revestem o intestino e os túbulos renais) determinadas enzimas e proteínas transportadoras estão confinadas na superfície apical ou nas superfícies basal e lateral;
- Distribuição assimétrica da proteínas e lipídeos da monocamada externa da membrana;
- A membrana plasmática de espermatozóides de mamíferos pode criar domínios sem usar junções moleculares. A natureza molecular da “barreira” que impede que as moléculas deixem seus domínios não é conhecida;



O citoesqueleto cortical proporciona força mecânica e restringe a difusão das proteínas de membrana

- A forma bicôncava dos eritrócitos é resultado de interações entre proteínas da membrana plasmática e o citoesqueleto adjacente (principal componente é a **espectrina**);



Princípios do transporte de membrana

- O interior hidrofóbico da bicamada lipídica serve como barreira à maioria das moléculas polares;
- Proteínas de transporte: 15 – 30% das proteínas de membranas em todas as células;
- O transporte através das membranas cria grandes diferenças na composição do citosol em relação ao fluido extracelular;

Tabela 11-1 Uma comparação de concentrações de íons no interior e no exterior de uma célula típica de mamífero

Componente	Concentração intracelular (mM)	Concentração extracelular (mM)
Cátions		
Na ⁺	5–15	<u>145</u>
K ⁺	<u>140</u>	5
Mg ²⁺	0,5	1–2
Ca ²⁺	10 ⁻⁴	<u>1–2</u>
H ⁺	<u>7 × 10⁻⁵</u> (10 ^{-7,2} M ou pH 7,2)	4 × 10 ⁻⁵ (10 ^{-7,4} M ou pH 7,4)
Ânions*		
Cl ⁻	5–15	<u>110</u>

Transporte de membrana



bbc1_19_20_introducao.swf



bbc1_8_9_10_11_12_permeabilidade_membrana2.swf



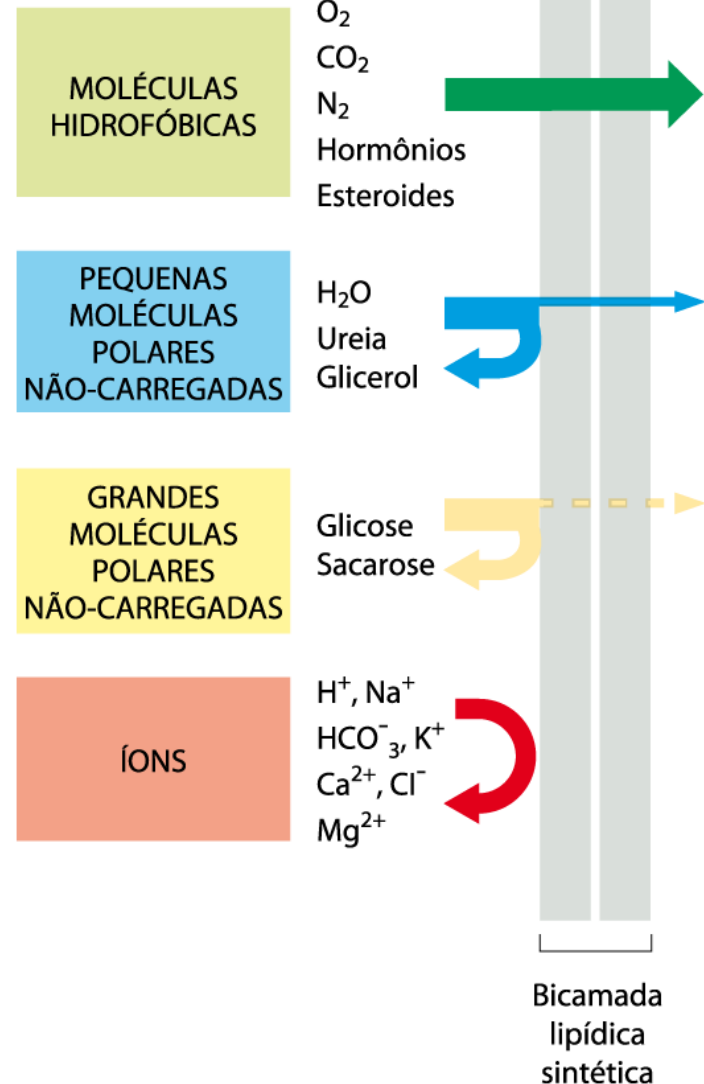
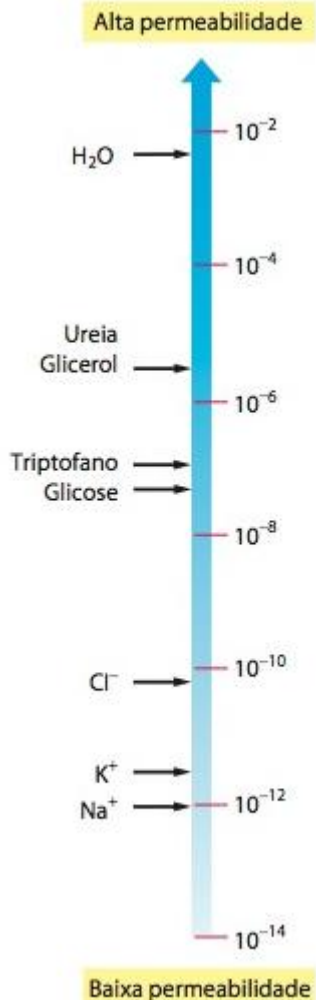
bds_v07_oa_herois_transmembrana.swf

- Difusão simples (ou difusão passiva)**

Difusão facilitada (ou transporte passivo)

Transporte ativo primário

Transporte ativo secundário



Existem duas classes de proteínas de transporte de membrana

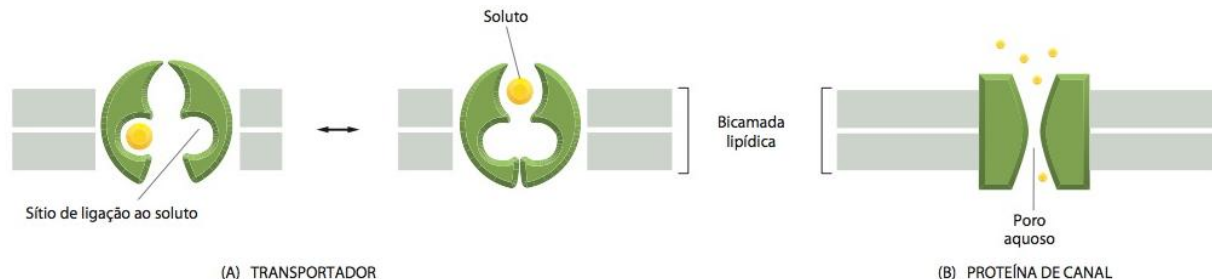
- Proteínas de transporte de membrana permitem a transferência de certos solutos (ex. íons, açúcares, aminoácidos etc) através das membranas celulares;
- Proteínas de transporte de membrana são proteínas de membrana de múltiplas passagens;

1. **Proteínas transportadoras (permeases ou carreadoras):** possuem regiões móveis, ligam-se ao soluto e sofrem mudanças conformacionais para transferi-lo através da membrana;



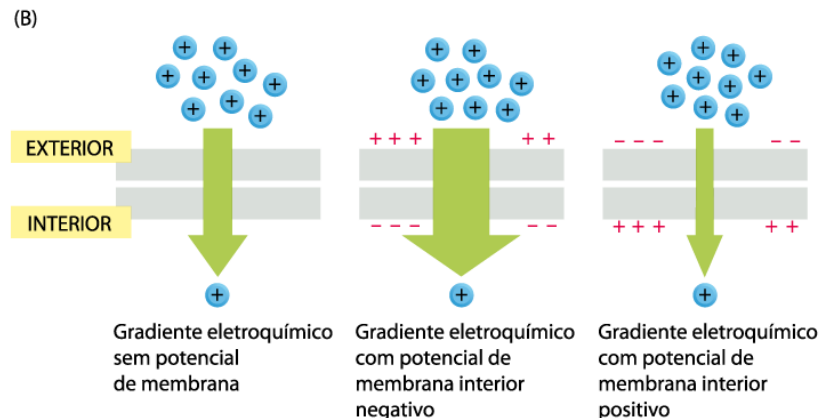
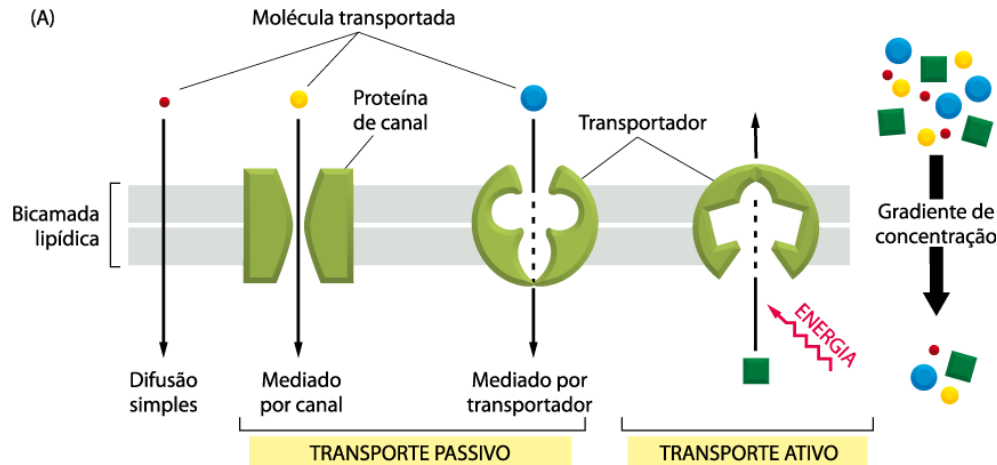
bbc1_13_14_receptor_tipo_canal.swf

2. **Proteínas de canal:** formam poros aquosos nas membranas e interagem fracamente com o soluto a ser transportado. *Ex.: Aquaporinas* Obs.: Realizam transporte mais rápido do que as proteínas de transporte;



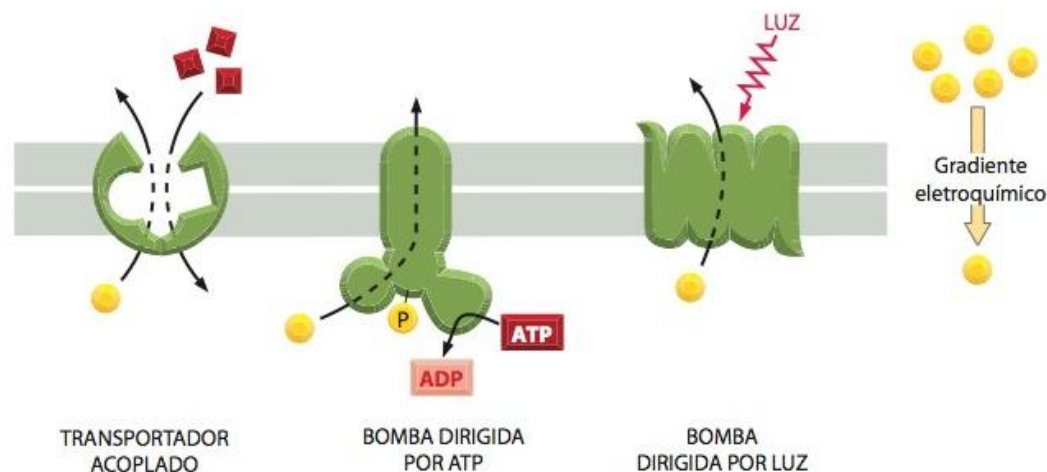
Proteínas de transporte de membrana (Difusão facilitada)

- TODAS AS PROTEÍNAS DE CANAL e MUITAS PROTEÍNAS TRANSPORTADORAS** somente permitem a passagem de solutos através das membranas por **DIFUSÃO FACILITADA**;



Proteínas transportadoras e o transporte ativo de membrana

- O transporte ativo é mediado por **proteínas transportadoras acopladas** a uma fonte de energia;
- As células realizam transporte ativo de 3 maneiras principais:
 1. **Transportadores acoplados** (transporte ativo secundário): carreadores dirigidos por íons;
 2. **Bombas acionadas por ATP ou ATPases** (transporte ativo primário): carreadores dirigidos por ATP;
 3. **Bombas acionadas por luz**;



O transporte ativo pode ser dirigido por gradientes de íons

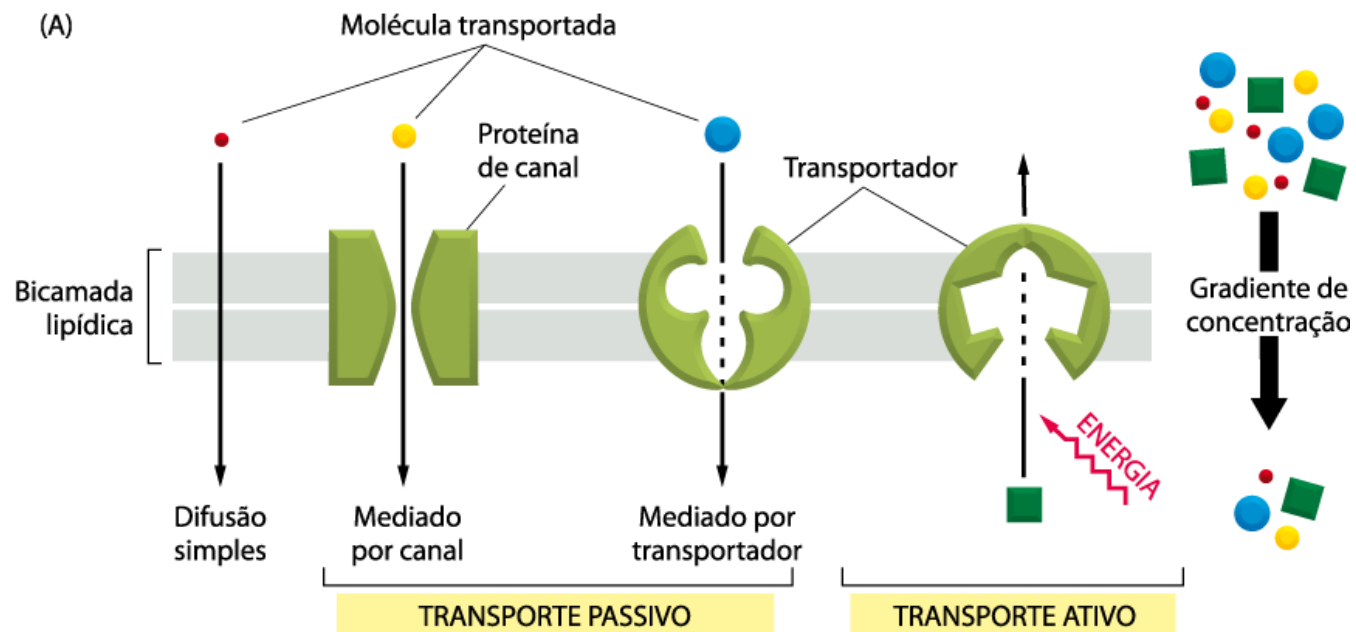
- Proteínas transportadoras:



bbc1_8_9_10_11_12_proteína_transportada.swf

1. **Uniportes;**
2. **Simportes** (cotransportadores);
3. **Antiportes** (permutadores);

- Nas células animais o Na^+ é o principal íon cotransportado cujo gradiente eletroquímico fornece energia para o transporte ativo de um segundo soluto;
- Em bactérias, leveduras e na maioria das organelas membranosas de células animais H^+ é o principal íon cotransportado cujo gradiente eletroquímico fornece energia para o transporte ativo de um segundo soluto (ex. **simporte lactose permease em *E.coli***);
- O Na^+ que entra na célula é bombeado para fora por uma bomba de Na^+ ;
- Células epiteliais intestinais e renais possuem uma variedade de sistemas simportes dirigidos por Na^+ que atuam na importação de açúcares e aminoácidos para dentro da célula;

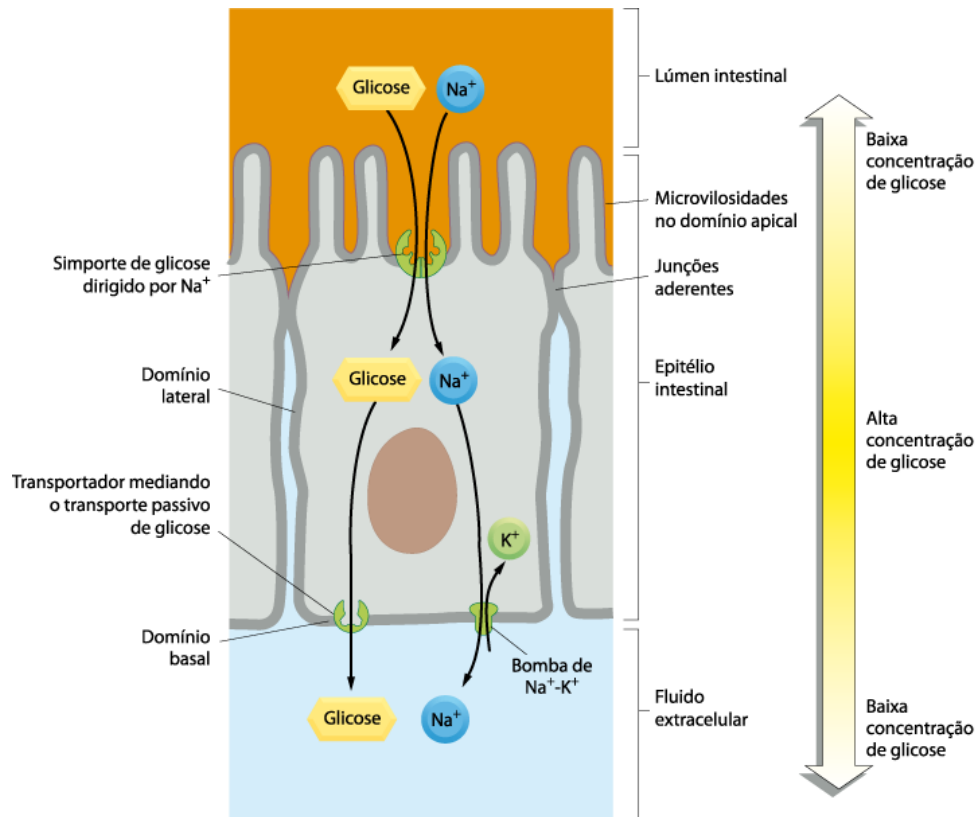


As proteínas transportadoras na membrana plasmática regulam o pH citosólico

- A maioria das células animais possui um ou mais antiportes dirigidos por Na^+ na sua membrana plasmática que auxiliam na manutenção do pH citosólico. A atividade desses transportadores é regulada pelo pH celular:
1. **Permutador $\text{Na}^+\text{-H}^+$** = **Influxo de Na^+ / Efluxo de H^+**
 2. **Permutador $\text{Cl}^-\text{-HCO}_3^-$ Na^+ -dirigido** (proteína mais importante na regulação do pH citosólico) = **Influxo de Na^+ e HCO_3^- / Efluxo Cl^- e H^+** (2X mais eficiente)
 3. **Permutador $\text{Cl}^-\text{-HCO}_3^-$ Na^+ -independente** = **Influxo de Cl^- / Efluxo HCO_3^-**
 4. **Bombas de H^+ ATP-dirigidas** (controlam o pH de muitos compartimentos intracelulares – lisossomos, endossomos e vesículas secretoras);
- Eritrócitos possuem um *permutador $\text{Cl}^-\text{-HCO}_3^-$ Na^+ -independente* (**proteína banda 3**) que facilita a rápida descarga de CO_2 (e de HCO_3^-) quando estes passam pelos capilares no pulmão;

Distribuição assimétrica de proteínas transportadoras nas células epiteliais e transporte transcelular de solutos

- **Simportes Na^+ -ligados** no domínio apical: transporte ativo de nutrientes para as células (absorção);
- **Proteínas de transporte Na^+ -independentes** no domínio basolateral (saída passiva de nutrientes das células);



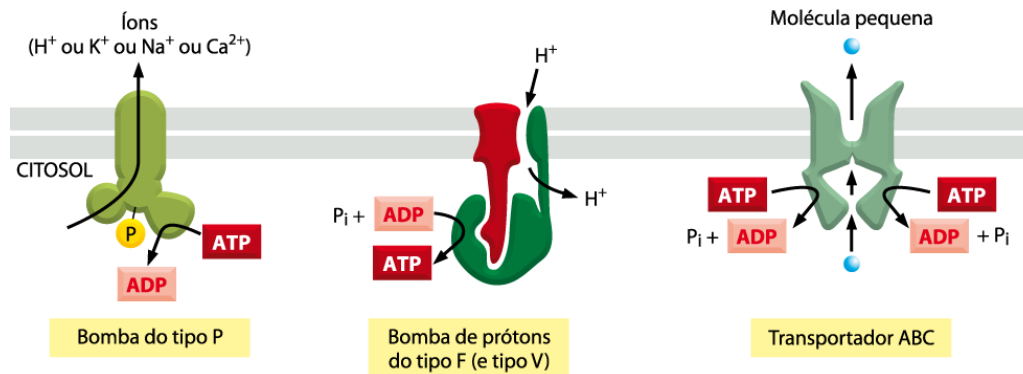
bbc2_05_dominiosebarreiras2.swf



bbq2_25_27_transporte_glicose.swf

Existem 3 classes de bombas acionadas por ATP

- **Bombas do tipo P:** Proteínas transmembranas de múltiplas passagens e se auto-fosforilam durante o ciclo de bombeamento. São responsáveis pela manutenção de gradientes de Na^+ , K^+ , H^+ e Ca^{2+} (ex. ATPase de Ca^{2+} e bomba de Na^+ - K^+);
- **Bombas do tipo F e V**– Semelhantes a turbinas e construídas a partir de múltiplas subunidades diferentes. São encontradas nas membranas de bactérias, na membrana interna de mitocôndrias e nos tilacóides de cloroplastos; São ATP-sintases – usam o gradiente de H^+ através da membrana para direcionar a síntese de ATP.
- **Transportadores ABC** (ATP-Binding Cassetes) – Bombeiam predominantemente pequenas moléculas (em menores quantidades bombeiam íons e macromoléculas) em vez das bombas tipo P, F e V, que bombeiam íons (ex. proteínas de resistências a múltiplas drogas).



bbc1_8_9_10_11_12_transporte_ativo.swf

A bomba de Ca^{2+} é a ATPase do tipo P melhor compreendida

- As células eucarióticas mantêm **concentrações muito baixas de Ca^{2+}** livre no seu citosol ($\sim 10^{-7}$ M) em comparação ao fluido extracelular ($\sim 10^{-3}$ M);
- Um pequeno influxo de Ca^{2+} a favor do seu gradiente de concentração em resposta sinais extracelulares é a maneira de transmitir rapidamente esses sinais através da membrana plasmática;
- O gradiente de Ca^{2+} é mantido por transportadores de Ca^{2+} na membrana plasmática que bombeiam Ca^{2+} ativamente para fora da célula:
 1. **ATPase de Ca^{2+} do tipo P;**
 2. **Permutador Na^{+} - Ca^{2+} ;**
- A ATPase de Ca^{2+} corresponde a 90% das proteínas do retículo sarcoplasmático (RS) de células musculares e é responsável pela movimentação de Ca^{2+} que escapou para o citosol por meio de *canais de liberação de Ca^{2+}* de volta ao RS;

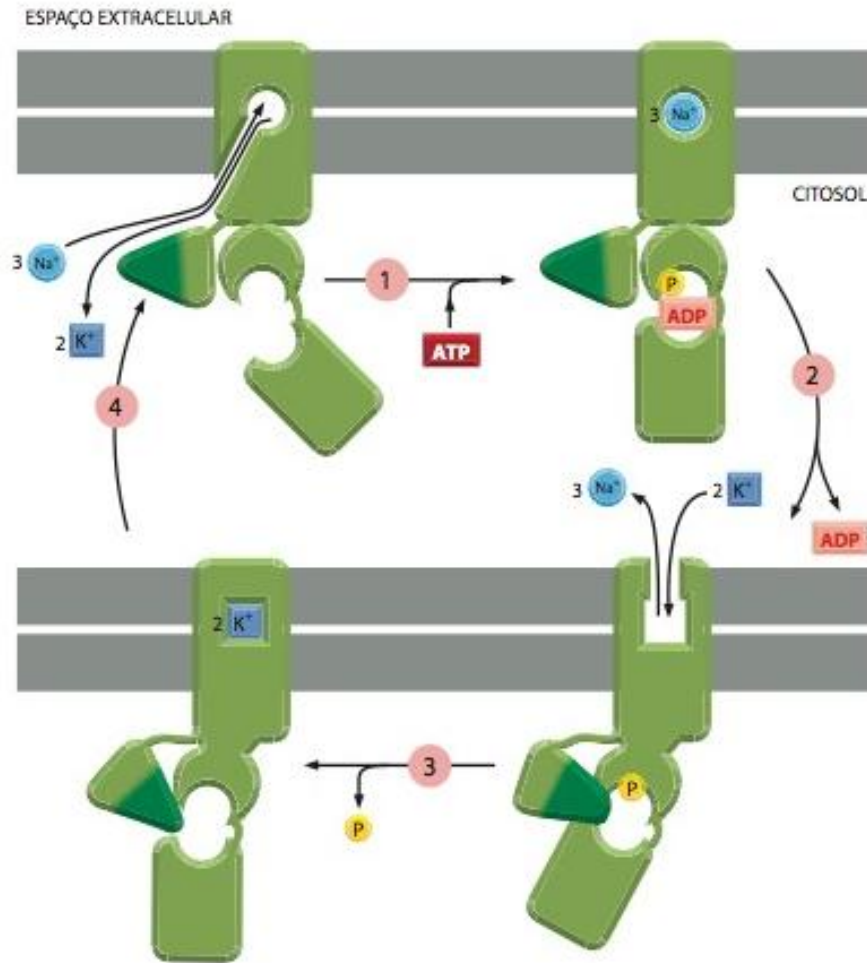
A bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+$ da membrana plasmática estabelece o gradiente de Na^+ através da membrana plasmática

- A **bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$** mantém a concentração de Na^+ é maior no fluido extracelular, e de K^+ é maior no citosol;
- A **bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$** é um *antiporte acionado por ATP* encontrado na membrana plasmática de praticamente todas as células animais;
- O **gradiente de Na^+** produzido por essa bomba é **responsável pelo transporte da maioria dos nutrientes** das células animais e contribui para a **manutenção do pH citosólico**;
- A **bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$** pode ser acionada em reverso: Quando os gradientes de Na^+ e K^+ são aumentados de maneira que a energia armazenada em seus gradientes eletroquímicos é maior que a energia da hidrólise do ATP. Esses íons se moverão a favor do gradiente de concentração e o ATP é sintetizado;
- A **bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$** é eletrogênica (3Na^+ para fora e 2K^+ para dentro);

A bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+$ da membrana plasmática estabelece o gradiente de Na^+ através da membrana plasmática

- A **bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$** auxilia na regulação da osmolaridade do citosol;
- O **citosol tem uma alta concentração** de moléculas orgânicas carregadas negativamente (**ânions fixos**) e seus cátions acompanhantes e isso cria um gradiente osmótico;
- Nas **células animais** isso é **contrabalançado** por um gradiente osmótico oposto devido à **alta concentração extracelular de Na^+ e Cl^-** ;
- **Ouabaína** é inibidor da bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$;

A bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+$ da membrana plasmática estabelece o gradiente de Na^+ através da membrana plasmática



Cotransport [SaveYouTube.com].mp4

Os transportadores ABC constituem a maior família de proteínas de transporte de membrana

- Estão relacionados à **resistência do *Plasmodium falciparum***, causador da malária, à droga cloroquina;
- A **maioria das células de vertebrados tem um transportador ABC na membrana do RE** que transporta uma ampla variedade de peptídeos (de vírus, por exemplo) do citosol para o RE, os quais serão expostos na superfície das células, que serão reconhecidas por linfócitos T citotóxicos;
- ***Proteína reguladora da condutividade transmembrana de fibrose cística* (CFTR) – regulador de um canal de Cl^-** na membrana plasmática de células epiteliais, responsável pela regulação das concentrações iônicas em fluidos extracelulares, especialmente nos pulmões;
- A ligação e hidrólise do ATP é responsável pela abertura e fechamento do canal de Cl^- ;

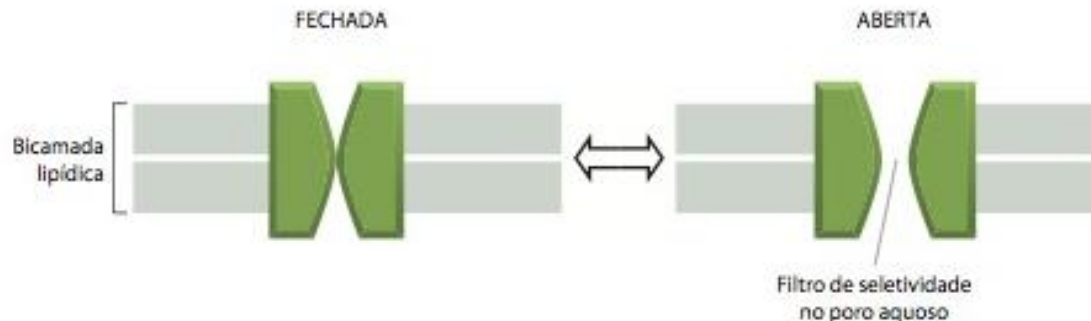


CFTR.mpg [SaveYouTube.com].mp4

A partir de 5 min

Canais iônicos e as propriedades elétricas das membranas

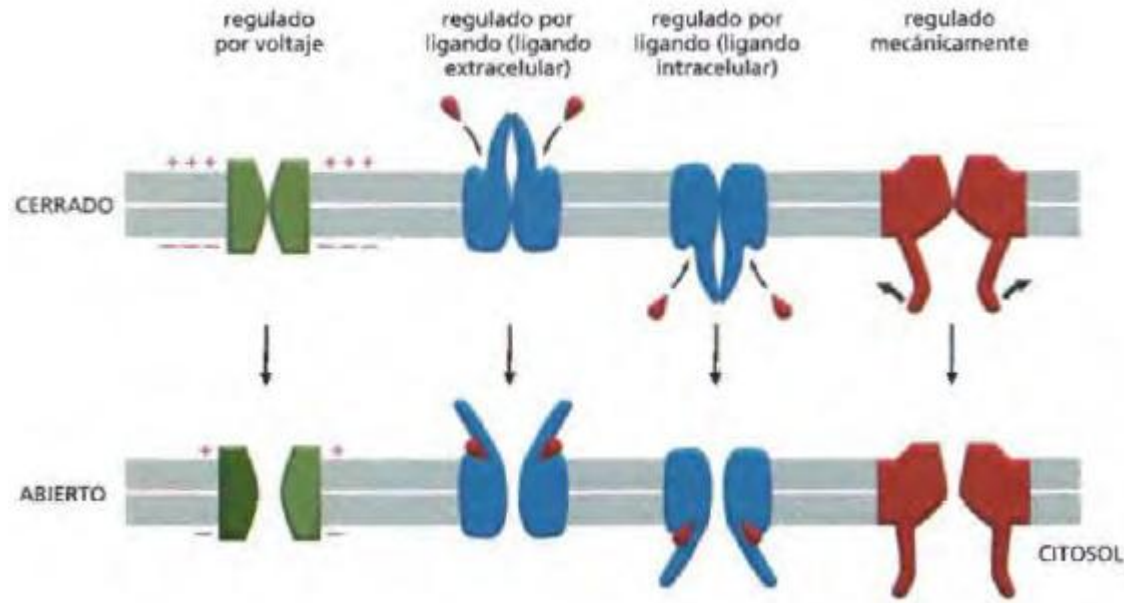
- **Junções comunicantes** e **porinas** (proteínas formadoras de poros na membrana externa das bactérias, mitocôndrias e cloroplastos);
- A maioria das proteínas de canais da MP de células animais e vegetais possuem poros estreitos fortemente seletivos que podem abrir e fechar;
- **Canais iônicos** diferem de poros aquosos por: apresentarem **seletividade a íons** e por **não ficarem abertos continuamente (controlados)**;
- Sob estímulo prolongado, a maioria dos canais passa para um estado fechado “dessensibilizado” ou “inativado”.



Canais iônicos e as propriedades elétricas das membranas

- Estímulos que podem levar a abertura dos canais iônicos:
 1. **Mudança na voltagem através da membrana** (*canais controlados por voltagem*);
 2. **Estresse mecânico** (*canais controlados mecanicamente*);
 3. **Ligação de um ligante** (*canais controlados por ligante*):
 - 3.1. **Neurotransmissor** (*canais controlados por neurotransmissor*);
 - 3.2. **Mediador intracelular – íons** (*canais controlados por íons*);
 - 3.3. **Mediador intracelular – nucleotídeo** (*canais controlados por nucleotídeos*)
- Obs.: Canais iônicos também podem ser controlados por fosforilação e desfosforilação protéica;
- **Canais iônicos** propagam a resposta de **fechamento de folha da planta mimosa sensitiva** e permitem que o *Paramecium* reverta sua direção após colisão;

Canais iônicos e as propriedades elétricas das membranas



- **Canais de K^+** estão presentes na MP de praticamente todas as células animais e parecem ser os **canais iônicos mais comuns**;
- Em **células** não-estimuladas ou “**em repouso**” estão **abertos Canais de escape de K^+** , tornando a MP muito mais permeável ao K^+ ;

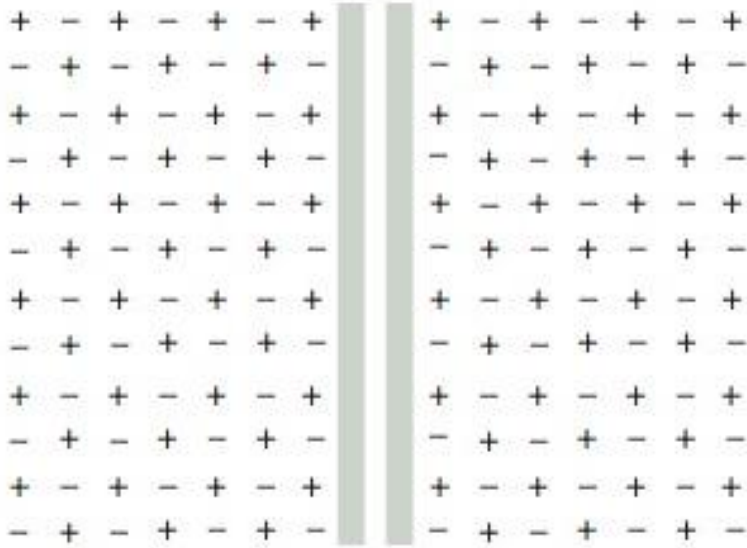
O potencial de membrana em células animais depende principalmente dos canais de escape de K^+ e do gradiente de K^+ através da MP

- Um **potencial de membrana** origina-se quando existe uma **diferença de carga elétrica entre os dois lados de uma membrana** devido a um **leve excesso de íons positivos em um lado e déficit no outro**;
- Em células animais:
 1. Canais de escape de K^+ (o equilíbrio de K^+ é o principal componente do potencial de membrana);
 2. Bomba Na^+-K^+ ;
 3. Ânions fixos;
- O potencial de repouso de uma célula animal varia entre -20 mV e -120 mV, dependendo do organismo e/ou do tipo celular;
- O bombeamento eletrogênico ativo é responsável pelo potencial de membrana das mitocôndrias, plantas e fungos;

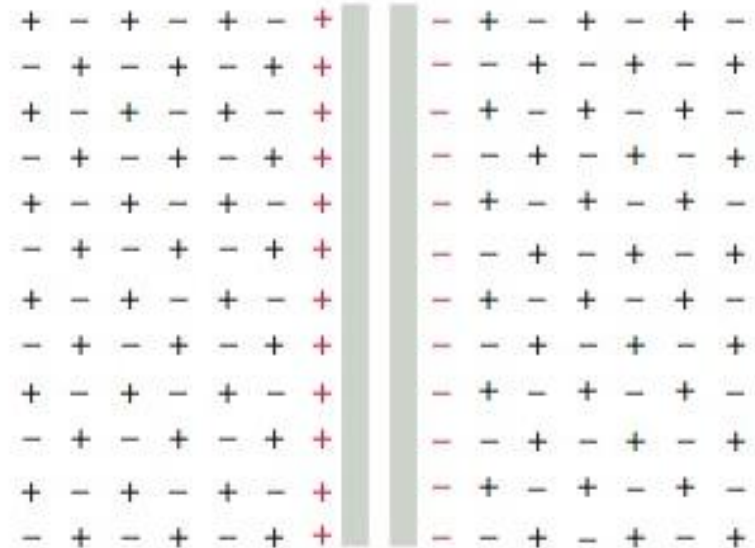


Potencial en reposo 1G[SaveYouTube.com].mp4

O potencial de membrana em células animais depende principalmente dos canais de escape de K^+ e do gradiente de K^+ através da MP



Balanço exato de cargas em cada lado da membrana; potencial de membrana = 0



Uma pequena porção dos íons positivos (em *vermelho*) cruza a membrana da direita para a esquerda, deixando seus contra-íons (em *vermelho*) para trás; isso gera um potencial de membrana diferente de zero.

- **Ex.:** Em uma célula esférica de $10\ \mu\text{m}$ de diâmetro, o número de **íons K^+ que deve fluir para o exterior** para alterar o potencial de membrana em **100 mV** é somente de **1/100.000** do número total de **íons K^+ no citosol**;

Aquaporinas são permeáveis à água, mas impermeáveis a íons

- São abundantes nas MP das células epiteliais dos rins, que devem transportar água sob taxas altas;
- Canal demasiadamente estreito que permite a passagem de moléculas de água em fila única, porém não permite a passagem de íons hidratados (o custo de desidratação de um íons para sua passagem é alta, pois este não pode interagir com a parede hidrofóbica do poro para compensa a perda de água);
- Aquaporinas são impermeáveis aos íons K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- e, **inclusive H^+** ;
- Canais de água bacterianos similares às aquaporinas também conduzem glicerol e pequenos açúcares;

