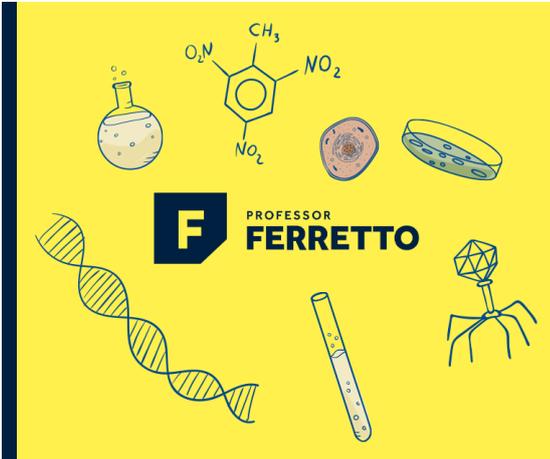


Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM

ESTRUTURA DA MEMBRANA PLASMÁTICA



ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Estrutura da Membrana Plasmática](#)
- [Funções da membrana plasmática](#)
- [Modelos moleculares da membrana plasmática](#)
- [Modelo do sanduíche](#)
- [Modelo do mosaico fluido](#)
- [Organização molecular da membrana plasmática](#)
- [Lipídios de membrana](#)
- [Proteínas de membrana](#)
- [Açúcares de membrana](#)
- [Parede celular](#)

Uma das principais características dos seres vivos diz respeito ao fato deles serem estruturas distintas e isoladas do meio externo e ao fato deste meio interno permanecer constante ao longo do tempo. A esta característica dá-se o nome de homeostase. Esta homeostase não implica, porém, no isolamento da célula em relação ao meio externo. Isto porque, como a célula é dotada de metabolismo, uma série de reações químicas está o tempo todo ocorrendo no meio intracelular. Estas reações implicam no consumo de nutrientes e gases como o oxigênio, e a eliminação de subprodutos de reações e gases como o gás carbônico. Ora, se a célula está consumindo nutrientes e oxigênio e liberando subprodutos e gás carbônico, ela obviamente está alterando seu meio interno. Para haver homeostase e a composição química da célula se manter constante, é necessário que se adquira mais nutrientes e oxigênio e se elimine os subprodutos e o gás carbônico. Isto implica em troca de substâncias com o meio.

Assim, apesar desta homeostase implicar em isolamento e constância de composição, para que ela seja mantida, temos de ter uma estrutura que ao mesmo tempo isole a célula e permita a troca de substâncias com o meio ambiente. A estrutura responsável por este isolamento e controle de entrada e saída de substâncias ao nível celular é a chamada **membrana plasmática** ou **membrana celular ou plasmalema** (do grego *lenma*, 'membrana').

Sua descoberta se deu a partir de estruturas externas à membrana plasmática presentes em alguns tipos celulares, as chamadas paredes celulares de células vegetais. Estas são mais espessas que a membrana plasmática, sendo invisíveis ao microscópio óptico e durante algum tempo se pensou que elas fossem as únicas estruturas que limitavam a célula. Só com o advento do microscópio eletrônico pôde-se evidenciar a estrutura da membrana plasmática e entender melhor seu funcionamento, uma vez que ela é extremamente delgada, fora dos limites de resolução do microscópio óptico.

FUNÇÕES DA MEMBRANA PLASMÁTICA

A membrana plasmática limita o conteúdo celular, sendo esta sua função primordial. Além disso, podemos citar:

- **A membrana plasmática regula a passagem de material para dentro e fora da célula.** Isto acontece porque a membrana plasmática é dotada de uma característica conhecida como permeabilidade seletiva. Esta capacidade de regular a passagem de material permite à célula manter um constante controle das condições do meio interno em relação ao ambiente externo.

- **A membrana plasmática recebe informações do meio ambiente que permitem a célula perceber mudança no meio ambiente e respondê-la de maneira adequada.** Proteínas receptoras da membrana recebem mensagens químicas de outras células, como hormônios, fatores de crescimento e neurotransmissores.

- **A membrana plasmática se comunica com células vizinhas e com o organismo como um todo.** Algumas proteínas na membrana plasmática permitem às células reconhecerem umas às outras, a se aderirem quando necessário e a trocarem material. Isto acontece porque alguns peptídios de membrana permitem a identificação de cada tipo celular. Caso haja a existência de células estranhas ao organismo, estas são identificadas e destruídas pelo sistema imune, atuando no reconhecimento e na defesa corporal. Dentro deste papel, é a membrana que, ligando-se a vírus, células bacterianas ou toxinas permite sua destruição.

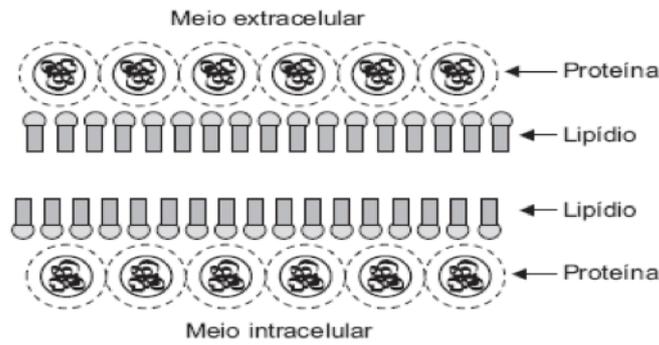
- **A membrana plasmática possui enzimas aderidas a ela, participando diretamente de processos metabólicos e síntese de substâncias.** Isso a torna ativa em alguns processos, como, por exemplo, o processo respiratório em células procarióticas.

MODELOS MOLECULARES DA MEMBRANA PLASMÁTICA

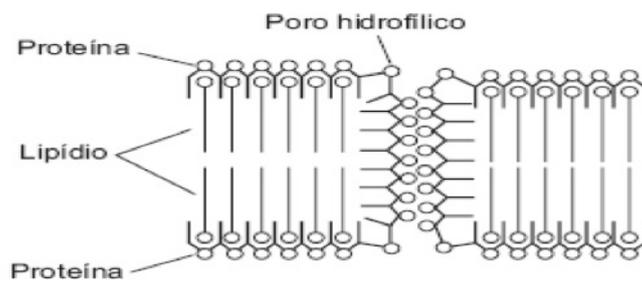
Em 1902, Overton percebeu que substâncias apolares atravessavam a membrana plasmática com maior facilidade que substâncias polares. Baseado no raciocínio que afirma que "semelhante dissolve semelhante", ele sugeriu que a membrana fosse composta por substâncias apolares, isto é, uma membrana lipídica.

MODELO DO SANDUÍCHE

Em 1935, Davson e Danielli propuseram um modelo onde a membrana seria composta por uma bicamada lipídica entre duas camadas de proteína, como um sanduíche (daí este modelo ser conhecido como modelo do sanduíche). Para explicar a passagem de moléculas hidrofílicas, Davson e Danielli idealizaram a presença de poros hidrofílicos, que correspondiam a regiões da bicamada lipídica interrompidas por canais "forrados" por proteínas, que por serem hidrofílicas permitiam a passagem de substâncias com esta natureza química.



Modelo original de Davson-Danielli da estrutura de membrana plasmática.



Revisão do modelo de Davson-Danielli mostrando os poros hidrofílicos.

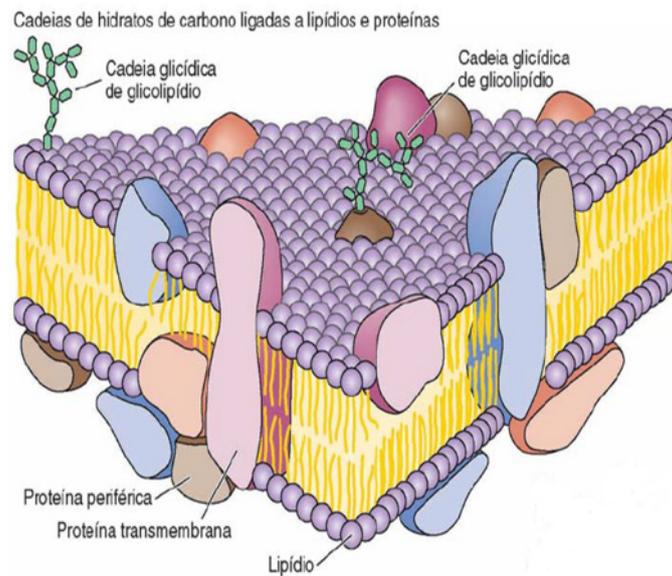
Tome nota:

MODELO DO MOSAICO FLUIDO

O modelo de sanduíche foi proposto bem antes de o microscópio eletrônico ser incluído no arsenal de métodos de pesquisa da ciência biológica. Quando o microscópio eletrônico passou a ser utilizado, a membrana plasmática pôde ser estudada com mais detalhes. Assim, o modelo mais utilizado e satisfatório para explicar a estrutura da membrana plasmática atualmente é o chamado modelo do mosaico fluido, proposto por Singer e Nicholson em 1972.

Este modelo também se baseia na bicamada lipídica e em proteína. A diferença é que as proteínas não estão dispostas como o "sanduíche" proposto anteriormente, e sim encaixadas na membrana numa disposição em mosaico. Além disto, as membranas biológicas são estruturas quase líquidas, devido ao predomínio de fosfolipídios insaturados na bicamada, de modo que as proteínas podem "flutuar" nesta membrana fluida, desde que seja no mesmo plano da bicamada.

Uma hipótese levantada para a importância da fluidez da bicamada foi a hipótese da mobilização dos receptores, elaborada por Cuatrecasas. Esta afirma que a fluidez permite o acoplamento de vários receptores a uma mesma proteína reguladora. Assim, várias moléculas de hormônio se ligam a várias proteínas receptoras. Estas se deslocam e se ligam a uma mesma proteína reguladora que irá promover a resposta da célula à mensagem do hormônio, por exemplo, à adenil-ciclase produtora de AMP cíclico. Isto permite à célula economizar na produção de proteínas reguladoras. Um raciocínio semelhante pode ser descrito para proteínas-canais que podem se deslocar em direção a uma fonte de nutrientes, aproveitando a fluidez da bicamada lipídica.



O modelo de estrutura da membrana plasmática segundo a hipótese do mosaico fluido, de Singer e Nicholson. Repare que as proteínas intrínsecas ou integrais (70% das proteínas membranas) ficam solidamente aderidas na membrana e dela só podem ser extraídas com tratamentos drásticos, como detergentes, sais biliares e solventes orgânicos. Elas se situam em toda a espessura da membrana. As proteínas extrínsecas ou periféricas (30% das proteínas membranas) estão fracamente ligadas à superfície por forças eletrostáticas. A distribuição dos aminoácidos polares e não polares caracteriza essas proteínas e permite seus movimentos na camada lipídica.

POR QUE A BICAMADA É FLUIDA

Enquanto nos fosfolipídios saturados só há ligações simples entre os carbonos, cujas ligações apresentam ângulos de $109^{\circ}28'$ com disposição tetraédrica, a cadeia longa hidrocarbonada de ácido graxo no fosfolipídio tem carbonos em ziguezague e assume uma posição de certa maneira perpendicular em relação ao eixo do glicerol nas moléculas. Isso facilita a aproximação das moléculas de fosfolipídios e então a passagem para o estado sólido.

A presença da ligação dupla nos fosfolipídios insaturados modifica a geometria da molécula de fosfolipídios, já que ela é plana, com um ângulo de 120° , o que faz com que a cadeia longa hidrocarbonada de ácido graxo, que estava perpendicular ao eixo de glicerol, sofra uma dobra no local da ligação dupla. Esta dobra impede a aproximação maior de duas moléculas de fosfolipídios, o que impede uma maior compactação das moléculas que caracteriza o estado sólido de um composto. Assim, o ponto de fusão dessas substâncias é bem menor, uma vez que há esta resistência maior à solidificação, aparecendo a fluidez.

ORGANIZAÇÃO MOLECULAR DA MEMBRANA PLASMÁTICA

O conhecimento que se possui atualmente a respeito da membrana plasmática segue o modelo do **mosaico fluido** de Singer e Nicholson.

A membrana plasmática é uma estrutura bem delgada, com cerca de 6 a 10 nm de espessura (por isso não visível ao microscópio óptico, apenas ao microscópio eletrônico) e basicamente lipoprotéica, havendo também a presença de oli-

gossacarídeos em pequena quantidade em algumas células, particularmente as animais. Normalmente, o conteúdo protéico da membrana celular é ligeiramente superior ao conteúdo lipídico (em hemácias, por exemplo, a membrana plasmática é cerca de 52% de proteína, 40% de lipídio e 8% de carboidrato na forma de oligossacarídeo).

LIPÍDIOS DE MEMBRANA

Os lipídios de membrana são basicamente os **fosfolipídios**. Fosfolipídios são lipídios complexos derivados dos glicerídeos e contendo ácido fosfórico em sua estrutura. No caso, os glicerídeos são ésteres de um triálcool, o glicerol (possui três grupos álcool, ou seja, três hidroxilas), com três moléculas de ácidos graxos. Nos fosfolipídios, o éster é do glicerol com dois ácidos graxos, e o terceiro grupo álcool faz éster com o ácido fosfórico, originando o ácido fosfatídico, fosfolipídio que é base para formação dos demais fosfolipídios.

Estes fosfolipídios têm a propriedade de serem anfipáticos, ou seja, eles possuem uma região polar e uma apolar em sua molécula. A região polar é representada pelo grupo fosfato e o álcool adicional, que formam a chamada cabeça hidrofílica (por serem polares, apresentam afinidade com a água, daí o termo hidrofílico) da molécula de fosfolipídio. Já a região apolar é representada pelos dois resíduos de ácidos graxos que formam a chamada cauda hidrofóbica (por serem apolares, não interagem com a água, daí o termo hidrofóbico).

Já foi dito anteriormente que os lipídios de membrana formam uma bicamada lipídica. Esta bicamada se forma espontaneamente em caso de imersão de lipídios anfipáticos em água, como resultado de uma busca por uma estrutura mais estável.

Quando se imerge em água lipídios em grandes quantidades, estes tenderão a formar as bicamadas. A bicamada é a busca de uma posição mais estável que "esconda" os grupos hidrofóbicos e os tire de contato com a água. Assim, as caudas hidrofóbicas das moléculas de fosfolipídio das duas camadas ficam voltadas para dentro da bicamada, permanecendo em contato apenas umas com as outras e não com o meio intra e extracelular, que são formados basicamente por água. Já as cabeças hidrofílicas ficarão voltadas para fora da bicamada nas duas camadas, estando diretamente em contato com o meio intra e extracelular e, conseqüentemente, com água. Observe que, desta maneira, há interação apenas entre estruturas hidrofóbicas dentro da bicamada (caudas hidrofóbicas com caudas hidrofóbicas) e apenas entre estruturas hidrofílicas na superfície da mesma (cabeças hidrofílicas com a água do meio).

A bicamada lipídica é o meio onde serão encaixadas as proteínas na disposição em mosaico. Além disso, é ela que determina a fluidez da membrana. A membrana plasmática é fluida devido ao fato de que os fosfolipídios que a compõem são em sua maioria líquidos à temperatura corporal de 37°C.

Além dos fosfolipídios, um lipídio de grande importância que aparece em membranas plasmáticas de células animais (não está presente em células vegetais) é o colesterol, desempenhando um papel estrutural e estabilizador. Ele se posiciona na estrutura da membrana da mesma maneira que os fosfolipídios.

PROTEÍNAS DE MEMBRANA

As proteínas na membrana plasmática desempenham vários papéis. Assim temos:

- **proteínas estruturais;**
- **proteínas canais e permeases;**
- **proteínas receptoras;**
- **proteínas reguladoras.**

As proteínas estão dispostas na membrana com aquela organização em mosaico já citada, isto é, com as proteínas encaixadas na bicamada. Quanto à disposição na bicamada, as proteínas podem ser intrínsecas ou extrínsecas.

As **proteínas intrínsecas ou integrais** são proteínas que atravessam a bicamada de ponta a ponta, estando em contato simultaneamente com o meio intra e o extracelular. São estas proteínas que podem agir como canais, caso elas permitam a passagem de substâncias por seu interior. As proteínas intrínsecas possuem uma organização em aminoácidos que permitem que elas interajam com a bicamada, fixando-se ao longo da mesma. Assim, os seus aminoácidos externos (que ficam em contato com a bicamada) são polares na região as cabeças hidrofílicas dos fosfolipídios, apolares na região das caudas hidrofóbicas e novamente polares na outra região de cabeças hidrofílicas. Já os seus aminoácidos internos variam em tipo de acordo com a proteína, sendo que nas proteínas canais estes aminoácidos normalmente são polares, para permitir a passagem de substâncias hidrofílicas. Proteínas intrínsecas estão fortemente aderidas à membrana, devido à sua grande área em contato com a mesma. Correspondem a cerca de 70% das proteínas de membrana.

As **proteínas extrínsecas ou periféricas** são proteínas que se encontram em apenas um dos lados da bicamada (interno ou externo), estando, pois, em contato ou com o meio intra ou com o extracelular. Sua distribuição de aminoácidos pode variar, uma vez que a interação pode acontecer apenas com as cabeças hidrofílicas ou com as cabeças hidrofílicas e parte das caudas hidrofóbicas (de uma camada apenas). Assim, de acordo com esta interação, os aminoácidos em contato com a membrana podem ser polares ou polares e apolares, respectivamente, para cada um dos casos citados logo anteriormente. Os aminoácidos que não estão em contato estão em meio aquoso e são polares.

Proteínas extrínsecas estão apenas levemente aderidas à membrana por forças eletrostáticas. Correspondem a cerca de 30% das proteínas de membrana.

Tome nota:

AÇÚCARES DE MEMBRANA

Em algumas membranas plasmáticas, existem na face externa prolongamentos oligossacarídicos que formam uma camada chamada glicocálix. Esta encontra-se covalentemente ligada às estruturas da bicamada. Assim, os oligossacarídeos da face externa correspondem a porções oligossacarídicas de glicolipídios e glicoproteínas de membrana.

A presença de açúcares exclusivamente na face externa da bicamada confere uma assimetria à membrana plasmática (isto é, a face externa da bicamada, com oligossacarídeos, é diferente da face interna da mesma, sem oligossacarídeos).

O glicocálix ou cobertura da célula tem em geral de 10 a 20 nm de espessura (a membrana celular tem cerca de 10 nm de espessura, portanto, o glicocálix também não é visível ao microscópio óptico) e apresenta várias funções como:

- proteger a membrana celular;
- atuar como **filtro** em certos capilares sanguíneos e no tecido conjuntivo, ajudando a controlar a entrada de substâncias na célula, através do controle do processo de pinocitose;
- promover **adesão** entre células de um mesmo tecido, o que é bem evidente em tecidos epiteliais e, principalmente, o reconhecimento celular.
- atuar no **reconhecimento celular**. Uma das principais funções da cobertura celular é atuar no reconhecimento molecular e celular. O número e a posição dos diversos oligossacarídeos de membrana funcionam como uma espécie de "impressão digital" da célula, permitindo que o sistema imune reconheça as células do indivíduo e as células estranhas. Um exemplo de como o glicocálix está relacionado ao reconhecimento diz respeito aos grupos sanguíneos do sistema ABO. A substância (ou antígeno ou aglutinogênio) A corresponde a um oligossacarídeo particular da membrana da hemácia que termina em galactose, e a substância (ou antígeno ou aglutinogênio) B difere desta por possuir galactosamina no lugar da galactose. Através da análise destas substâncias, o organismo analisa quais hemácias pertencem a ele.

Em células saudáveis, o reconhecimento das células vizinhas através do glicocálix é um fator que inibe a divisão celular, num fenômeno denominado inibição por contato. Isso evita que uma célula se multiplique e com isso invada o espaço de células próximas. Células cancerosas perdem essa capacidade de reconhecimento, de modo que a **inibição por contato** cessa, e a divisão se dá de modo indefinido, sem que se respeite o espaço das células vizinhas.

PAREDE CELULAR

Em células vegetais, existe externamente à membrana celular uma estrutura denominada **parede celular**, que constitui uma espécie de exoesqueleto para tais células. Esta parede celular apresenta-se totalmente permeável, com uma alta resistência, e ao mesmo tempo uma certa **flexibilidade** e tem funções de **suporte mecânico da célula, proteção mecânica e proteção osmótica**.

A parede celular é formada por microfibrilas compostas principalmente do polissacarídeo celulose (formado por repetidas unidades de glicose), e por outros açúcares em menores concentrações, como **amilopectina, hemicelulose, celobiose e lignina** (este último é o principal componente da madeira e confere a ela sua resistência e rigidez).

A maioria das células vegetais apresenta pontes de citoplasma que atravessam as paredes celulares e estabelecem comunicações entre células adjacentes. Estas pontes são chamadas **plasmodesmos** e muitas vezes possuem túbulos que permitem a livre circulação de líquido e outras substâncias, mantendo a isotonicidade entre as células vizinhas.

A formação da parede celular após a divisão celular envolve primeiramente a formação de uma placa celular a partir de vesículas liberadas pelo complexo de Golgi, denominadas fragmoplastos e que se alinham no plano equatorial da célula depois de dividido o núcleo celular. Esta placa celular vai constituir a camada intercelular ou lamela média da parede celular madura, sendo formada por amilopectina. Em cima desta lamela média vão sendo depositadas as demais microfibrilas para formação da parede (dentro da lamela média já existem espaços que futuramente corresponderão aos plasmodesmos). Cada célula filha vai fornecendo material para sua parede de maneira a formar a sua parede celular primária, delgada e pouco resistente.

Esta **parede celular primária** é formada principalmente por amilopectina (presente na lamela média, agora interna à parede), hemicelulose e microfibrilas frouxas de celulose. Ela é fina e elástica, de modo a possibilitar que a célula jovem possa se dividir e crescer mais facilmente. Quando a parede aumenta de volume e chega à sua espessura definitiva, sendo agora bem mais resistente, temos a **parede celular secundária**, que contém principalmente celulose, hemicelulose, lignina e suberina.

Células fúngicas também possuem parede celular, sendo esta formada por polímeros de glicosamina (que forma um polissacarídeo chamado quitina). Já a parede celular bacteriana é formada por açúcares, peptídios e lipídios, numa estrutura altamente complexa (os chamados peptidoglicanos e lipopolissacarídeos formam a maior parte desta estrutura), que já foi descrita em situações anteriores.

Tome nota: