

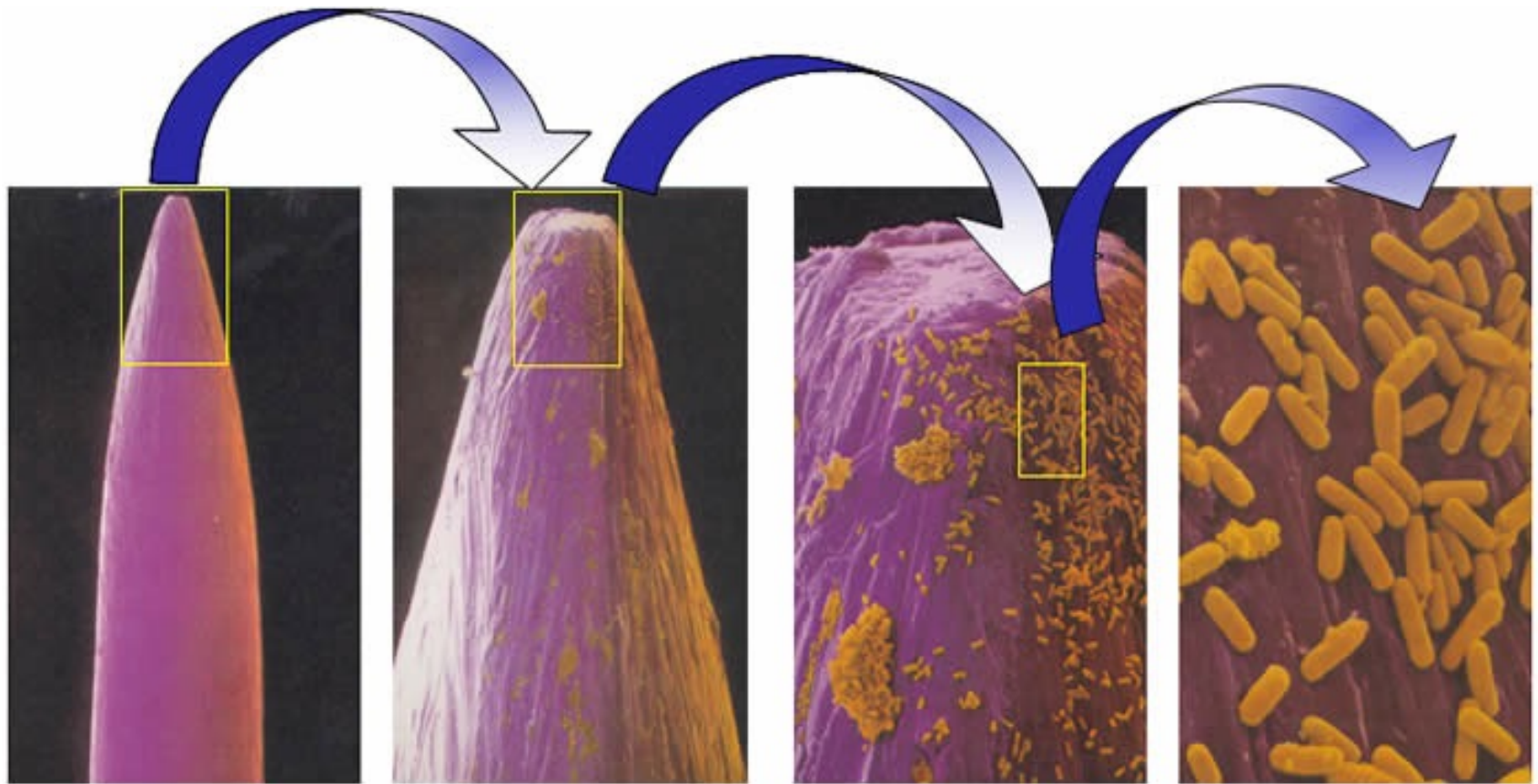
Estrutura da Célula Procariótica

BMM0602 – Bacteriologia

Robson Francisco de Souza

Tamanho da célula bacteriana?

Na ponta de uma agulha...



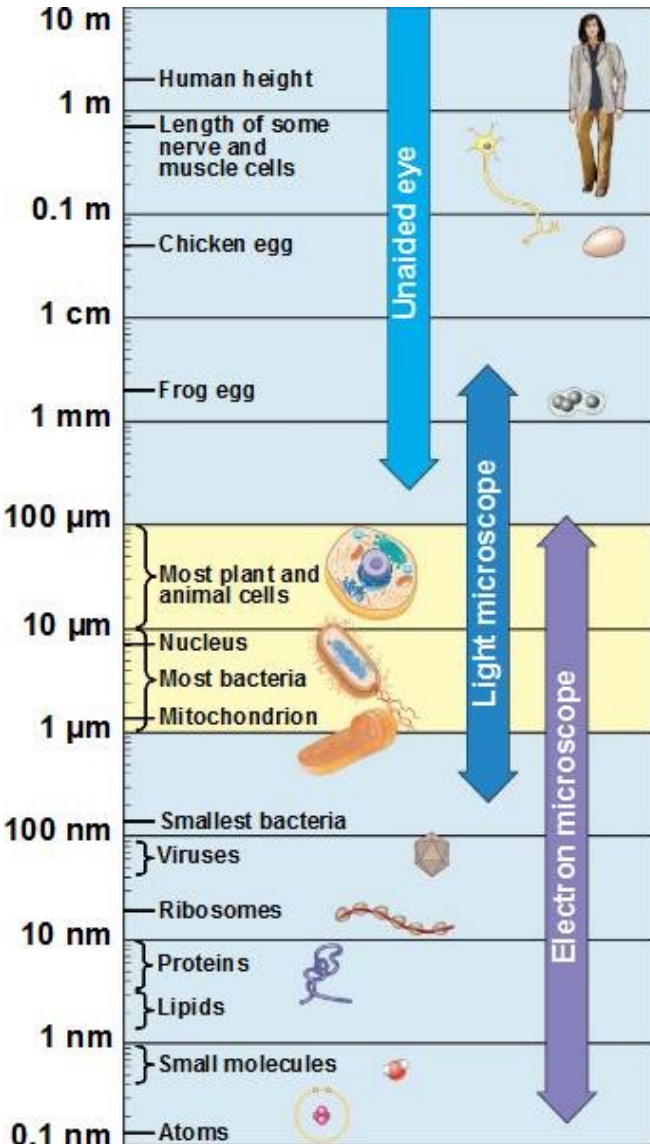
1
millimetre

1/5
millimetre

1/20
millimetre

1/100
millimetre

Tamanho da célula bacteriana?



Measurements:

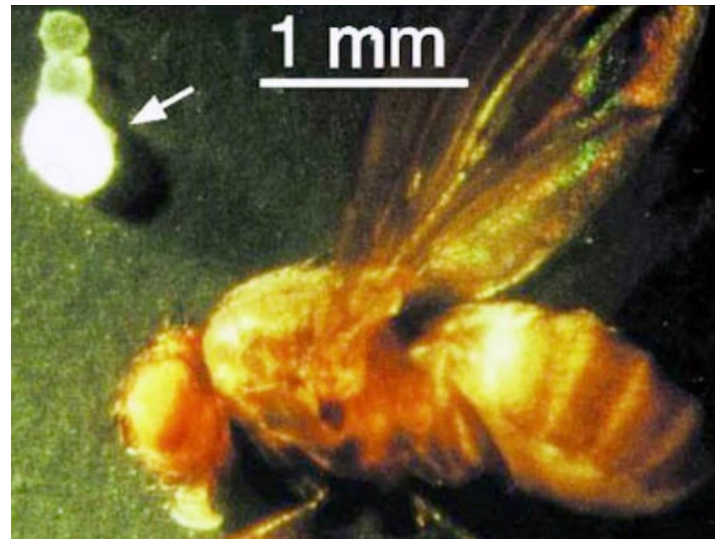
1 kilometer (km) = 1000 meter (m)

1 centimeter (cm) = 0.01 m

1 millimeter (mm) = 0.001 m

1 micrometer (μm) = 0.001 mm

1 nanometer (nm) = 0.001 μm



Thiomargarita Namibiensis is visible without supplementary magnification enhancement.

Maior bactéria conhecida

Oscillatoria (cianobactéria)
8 x 50 μm



Bacillus megaterium
1,5 x 4 μm

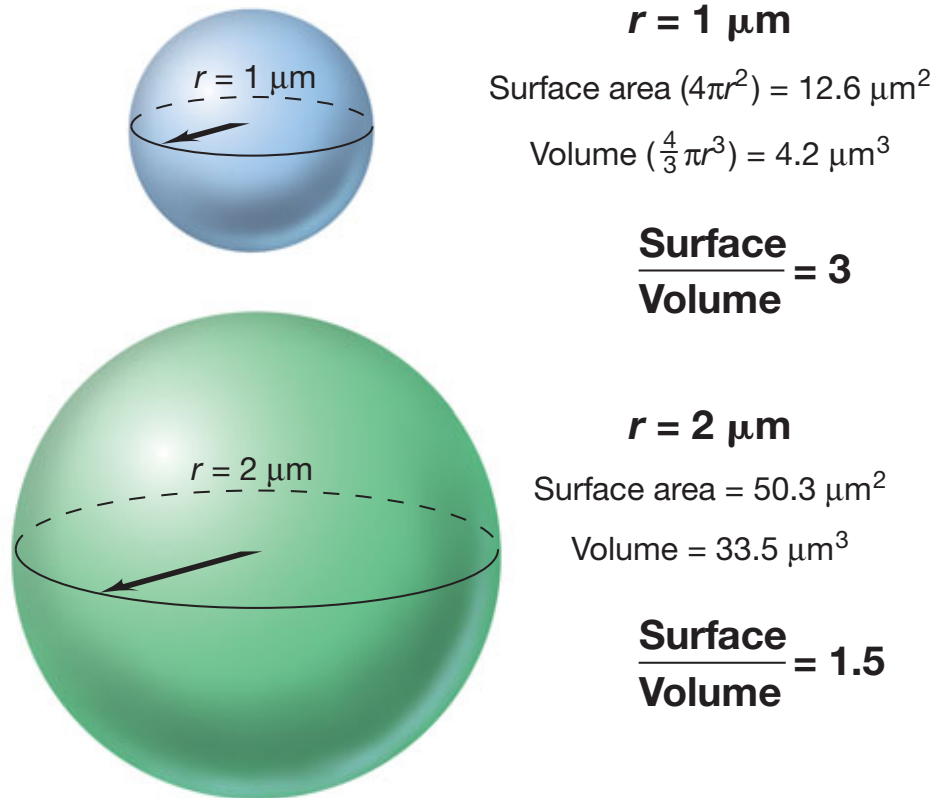
Escherichia coli
1 x 3 μm

Streptococcus pneumoniae
0,8 μm de diâmetro

Haemophilus influenzae
0,25 x 1,2 μm

Fonte: Madigan et al., 2004

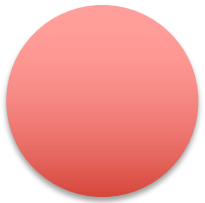
As vantagens de ser pequeno



- Pequenas podem absorver mais nutrientes
- Reproduzem mais rápido: mais gerações, mais mutações!
- Devido à maior taxa de reprodução e mutação, bactérias se adaptam mais rápido ao meio ambiente
- Bactérias e arqueas apresentam grande diversidade metabólica

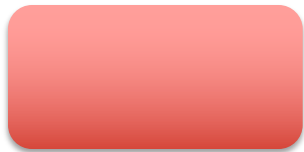
Figure 3.3 Surface area and volume relationships in cells. As a cell increases in size, its S/V ratio decreases.

FORMA BACTERIANA



Esféricas = **COCO**

- Ovais
- Alongadas
- Achatadas



Cilíndrica = **bacilo**



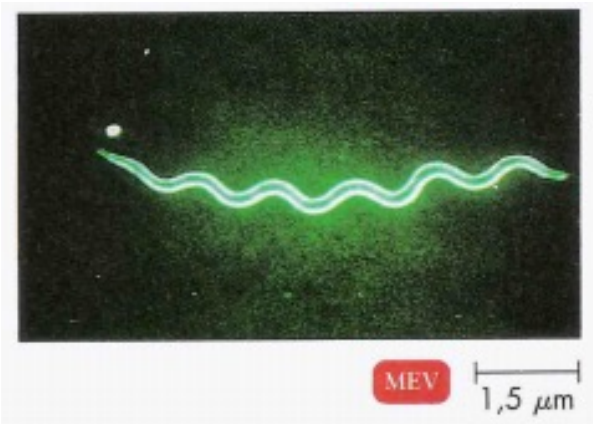
cocobacilo

FORMA BACTERIANA



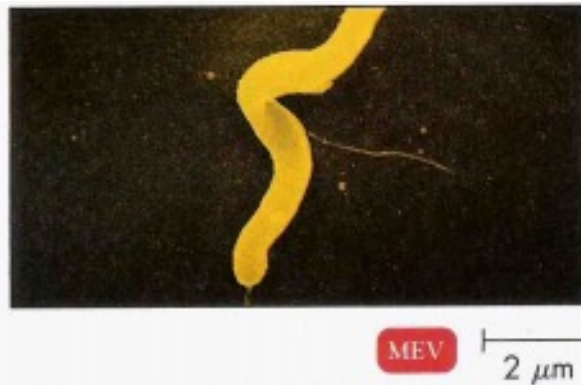
Espiral

espiroqueta



- Mais espirais
- Flexível

espirilo



- Saca-rolha
- Rígido

vibrião

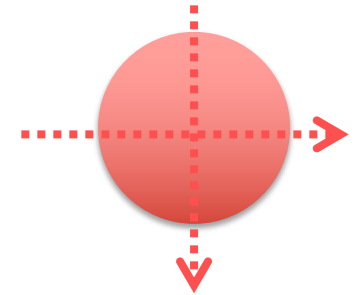
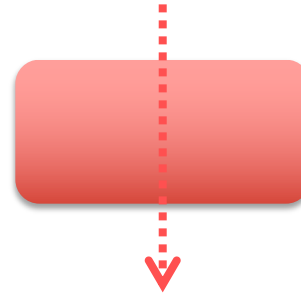
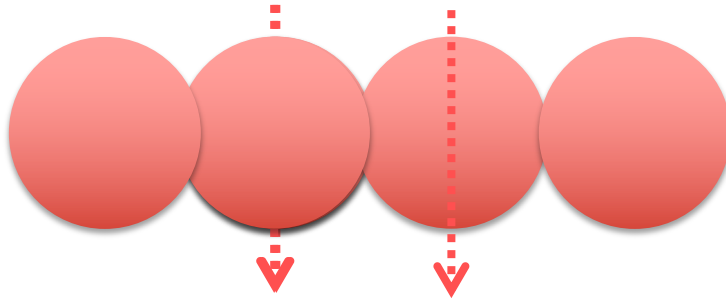


- Foice

ARRANJO BACTERIANO

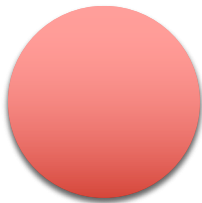
DICA: divisão só ocorre no menor eixo!!!!

COCO



Cordão = Estreptococo
"colar de pérolas"

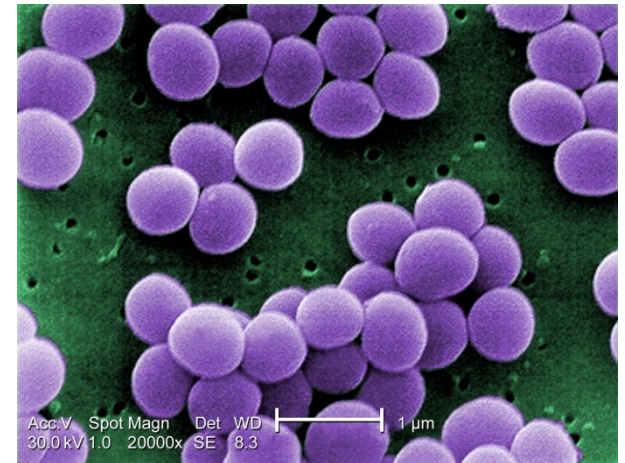
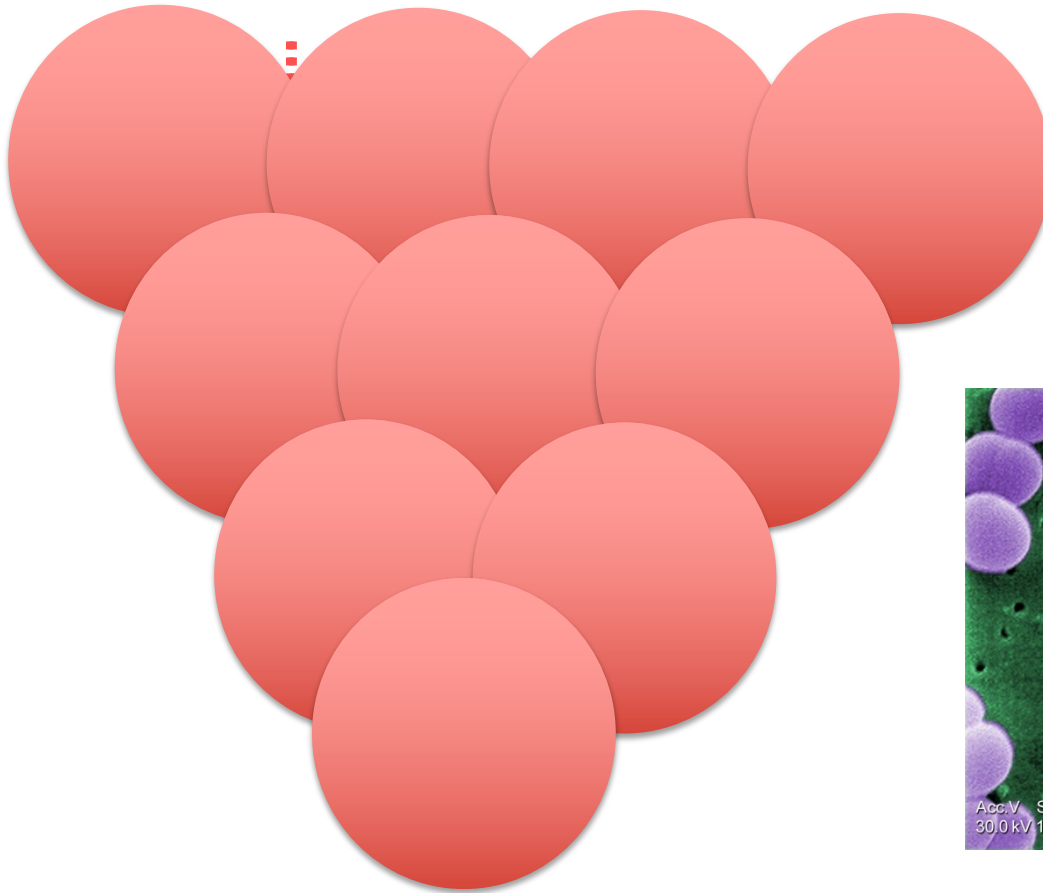
Diplococo



ARRANJO BACTERIANO

DICA: divisão só ocorre no menor eixo!!!!

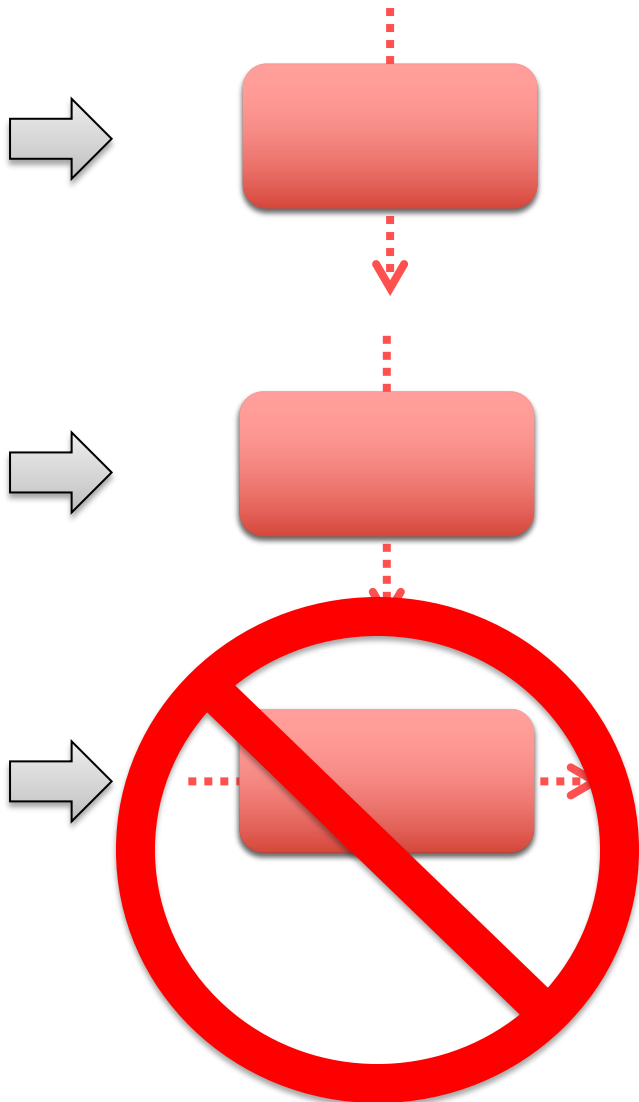
COCO



Cacho de uva = Estafilo**coco**

ARRANJO BACTERIANO

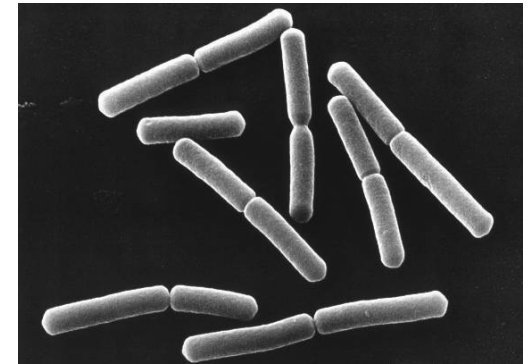
DICA: divisão só ocorre no menor eixo!!!!



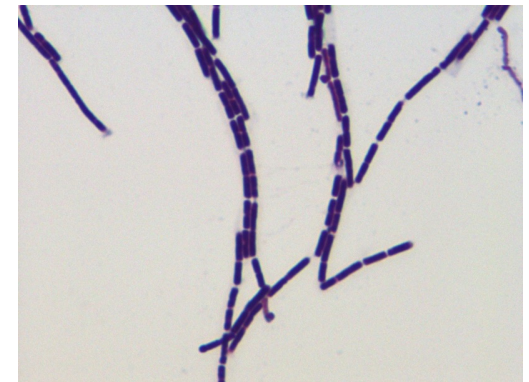
Bacilo
(isolado)



Diplobacilo



Estreptobacilo



ARRANJO BACTERIANO

DICA: divisão só ocorre no menor eixo!!!!

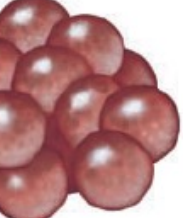
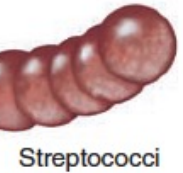
Plane of division

(a)

(b)

(c)

(d)



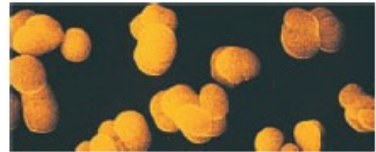
Diplococci

Streptococci

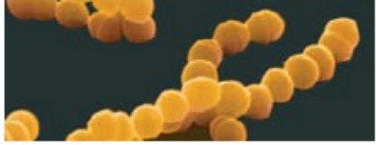
Tetrad

Sarcinae

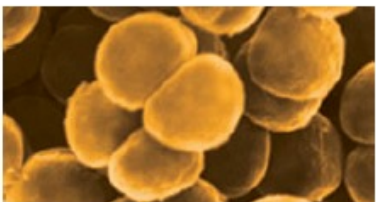
Staphylococci



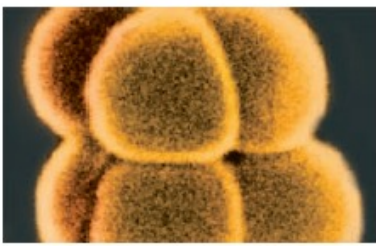
SEM 2.5 μm



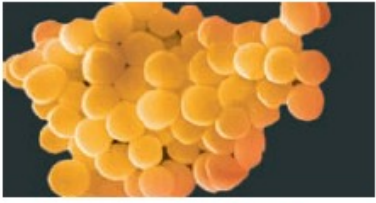
SEM 2.5 μm



SEM 2 μm



SEM 0.1 μm



SEM 2 μm

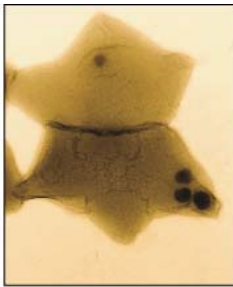
FORMA/ARRANJO



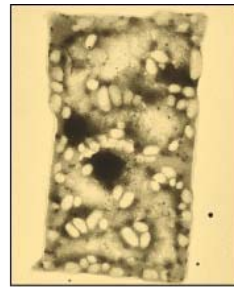
A nomenclatura não deve ser confundida:

genêro vs. forma ou arranjo

Forma / Arranjo	Gênero
Diplococo	<i>Diplococcus</i> <i>Neisseria</i>
Estreptococo	<i>Streptococcus</i>
Bacilo	<i>Bacillus</i> <i>Escherichia</i>



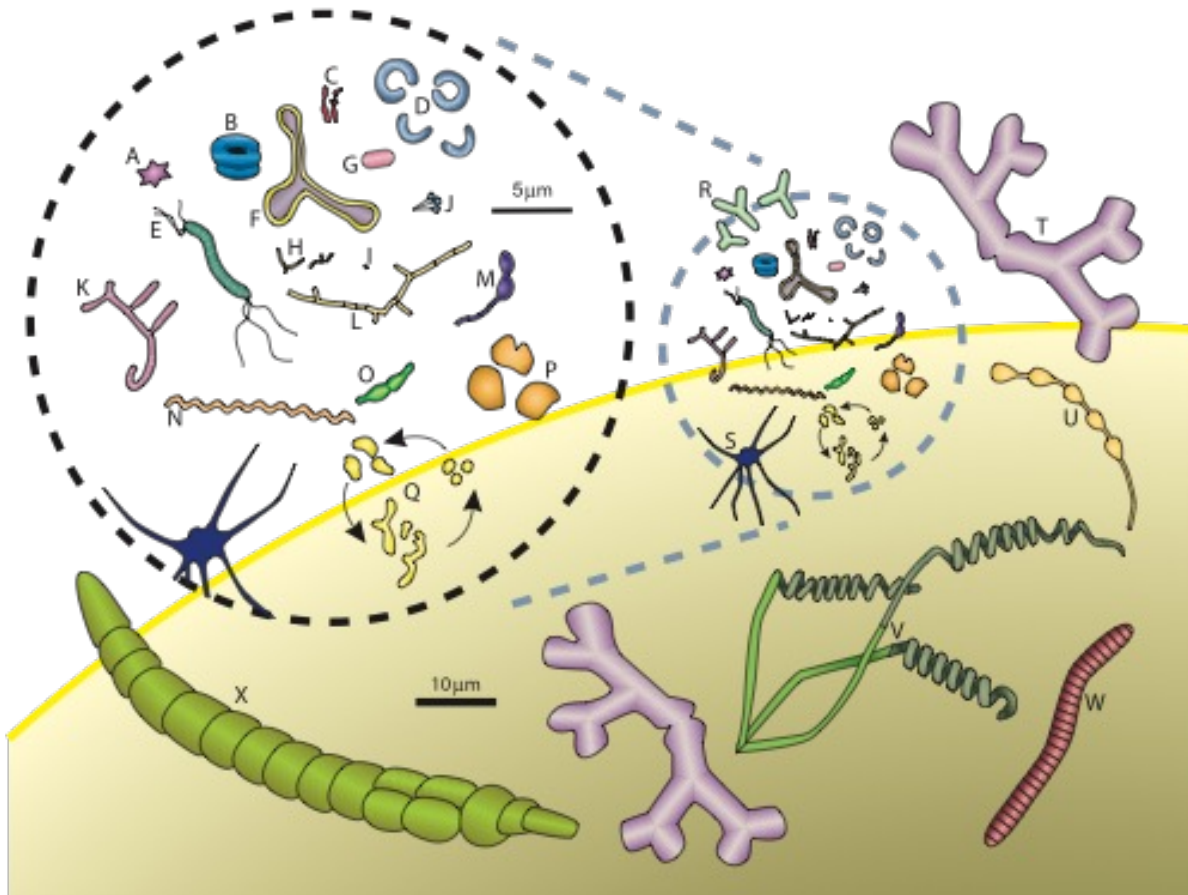
(a) Star-shaped bacteria



(b) Rectangular bacteria

Vol. 70, 2006

WHY BACTERIA HAVE SHAPE 663



FORMA e ARRANJO

- **Bacilos, cocos e espirilos** são tipos genéricos, **representativos** de um universo de variações. Exemplo: bacilos podem ser curtos, longos, finos, largos, etc.
- Esses três tipos são os **mais comuns** entre bactérias e arqueas mas existem espécies com células filamentosas, quadradas, triangulares, em forma de estrela, etc.

Young KD (2006) The Selective Value of Bacterial Shape. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 70(3):660. DOI: 10.1128/MMBR.00001-06.

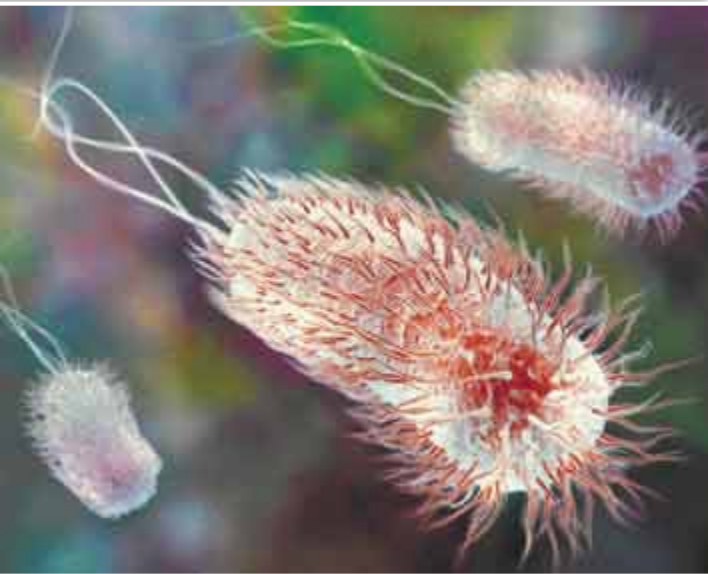
Morfologia

Notas

- A **forma**, o **arranjo** e o **tamanho** de uma bactéria, embora profundamente afetadas pelo ambiente (temperatura, nutrientes, osmolaridade, agitação, etc.) são características **hereditárias** e
 - a maioria é **monomórfica** (uma forma)
 - mas algumas são **pleiomórficas** (muitas formas)
- **A morfologia das células evoluiu para otimizar a adaptação de uma bactéria ao seu ambiente**

Como as bactérias acumulam nutrientes, água, proteínas ...?

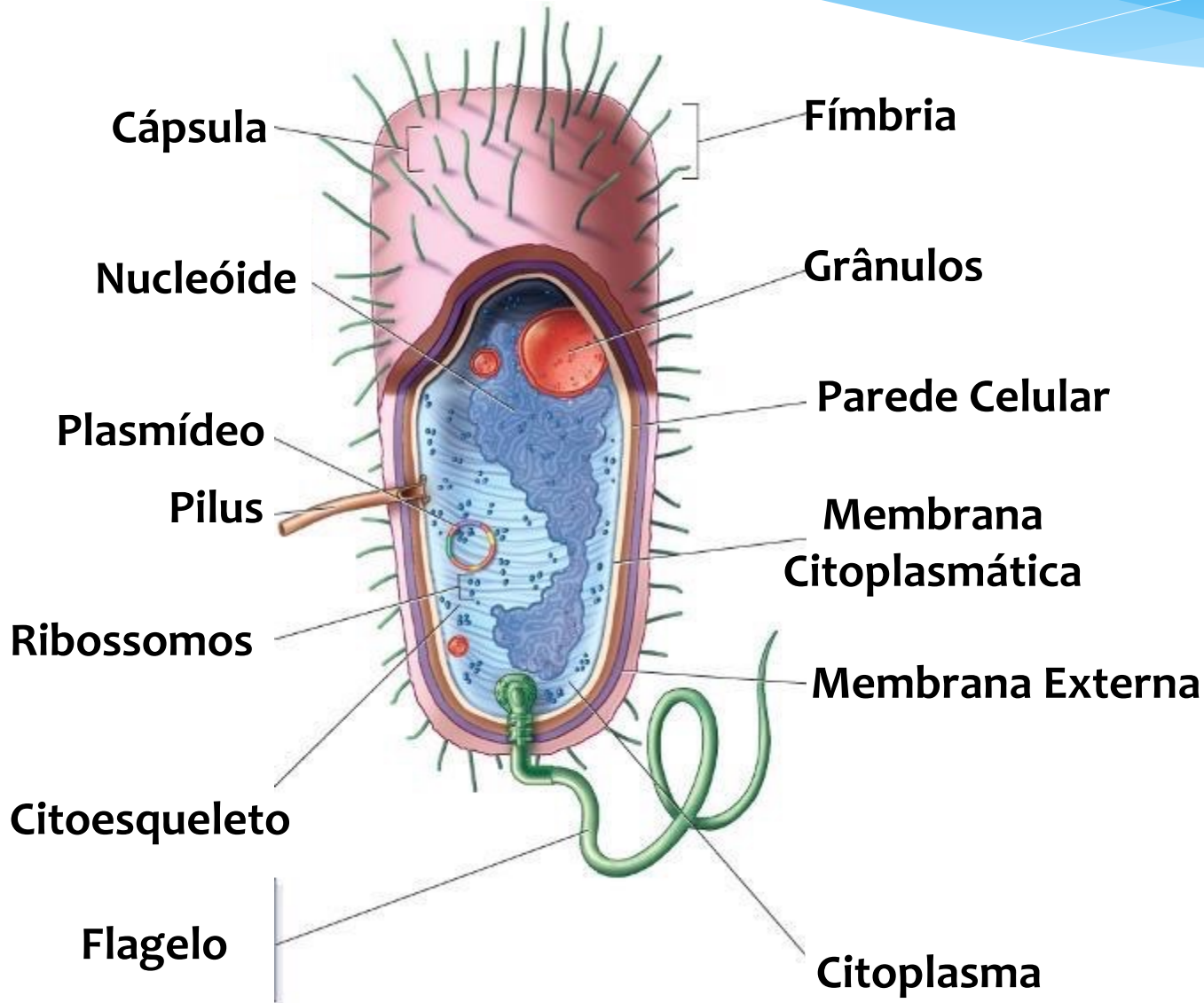
Como é seu compartimento celular??
Pois cada célula é uma fábrica.



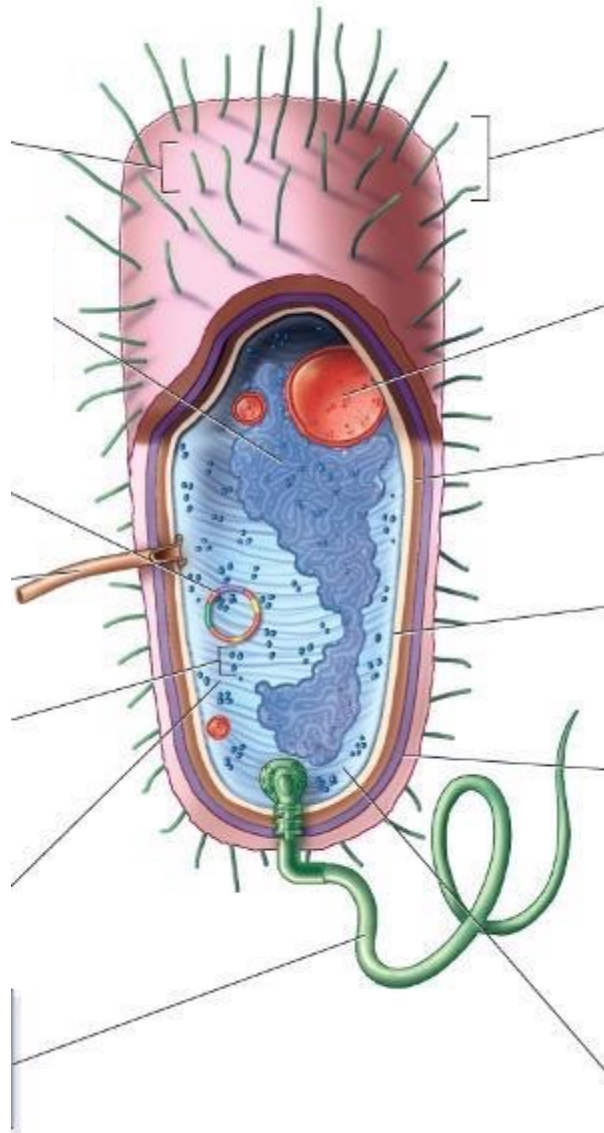
> Quais tipos de reações químicas ocorrem dentro da célula?

> Como as bactérias conseguem manter sua integridade (forma) populando diferentes ambientes, diferentes temperaturas, diferentes concentrações salinas e etc??

Componentes Celulares



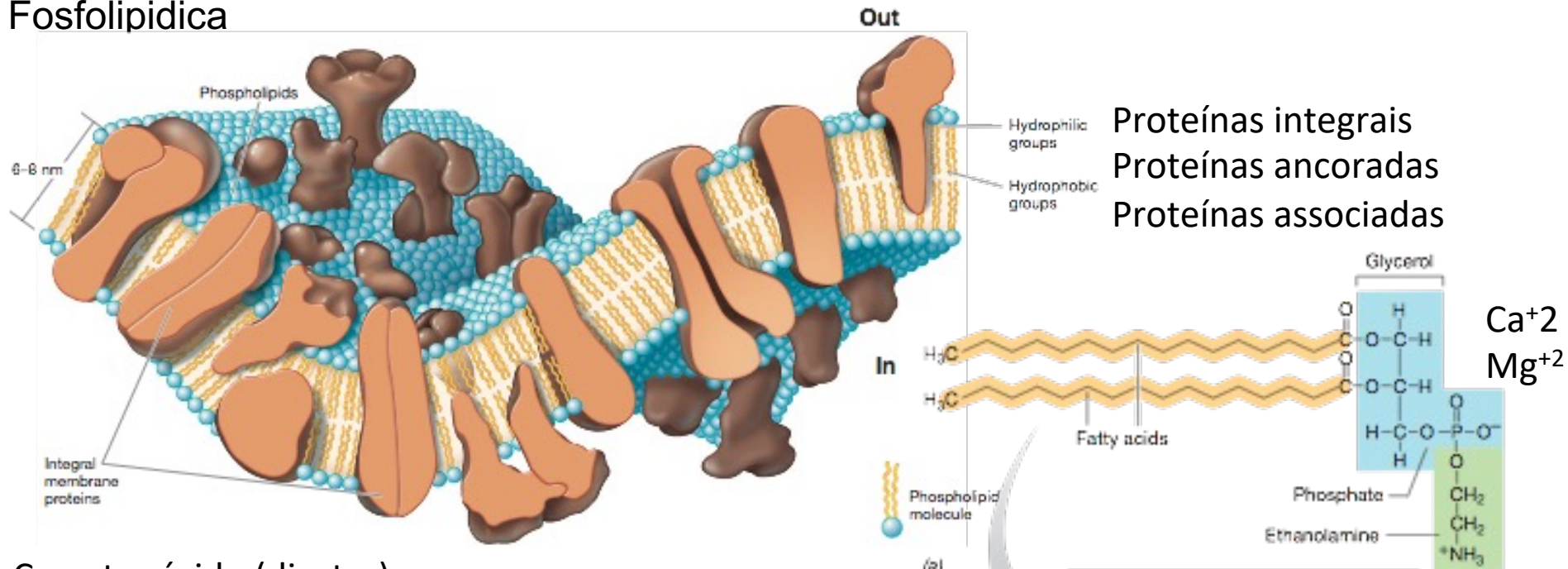
Membrana Citoplasmática ou Membrana Interna



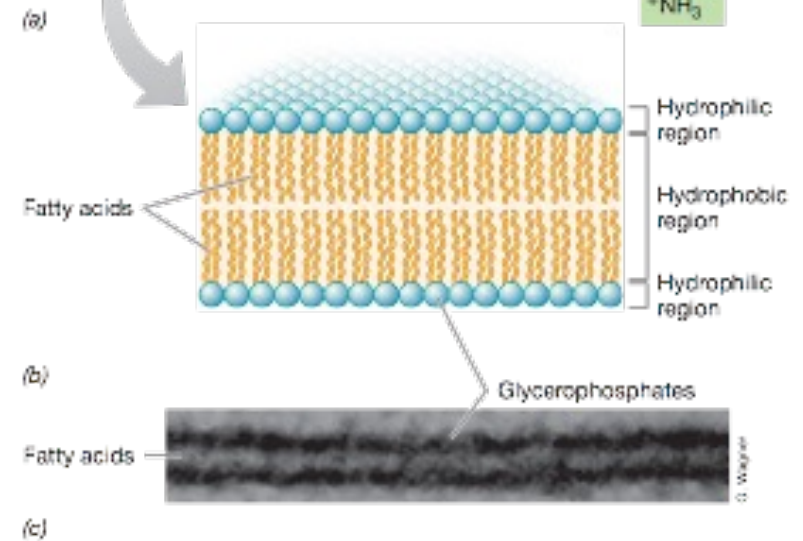
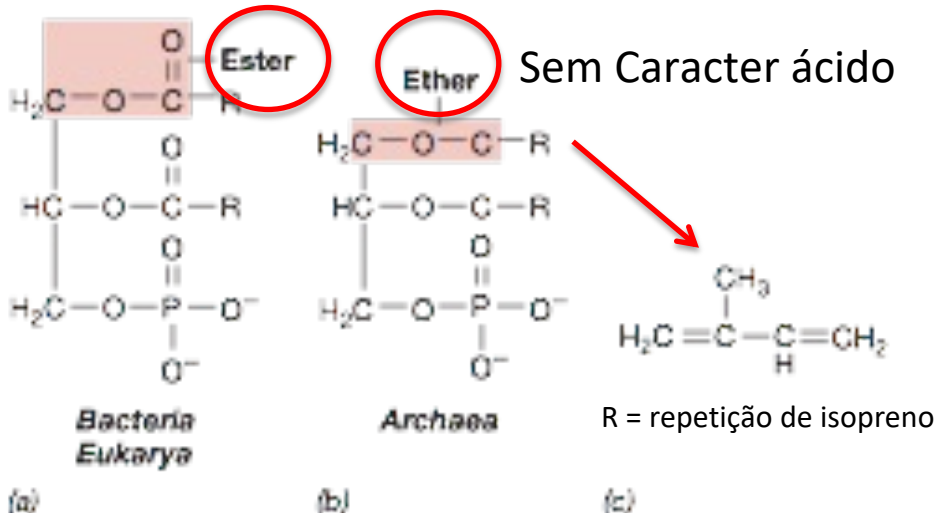
Membrana Citoplasmática

MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

Principal componente da membrana plasmática: fosfolipídeos – Bicamada Fosfolipídica



Caracter ácido (diester)

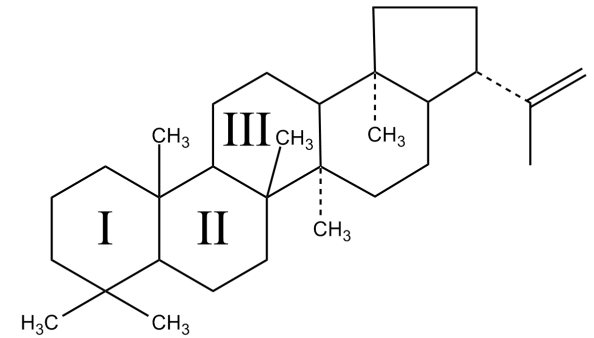
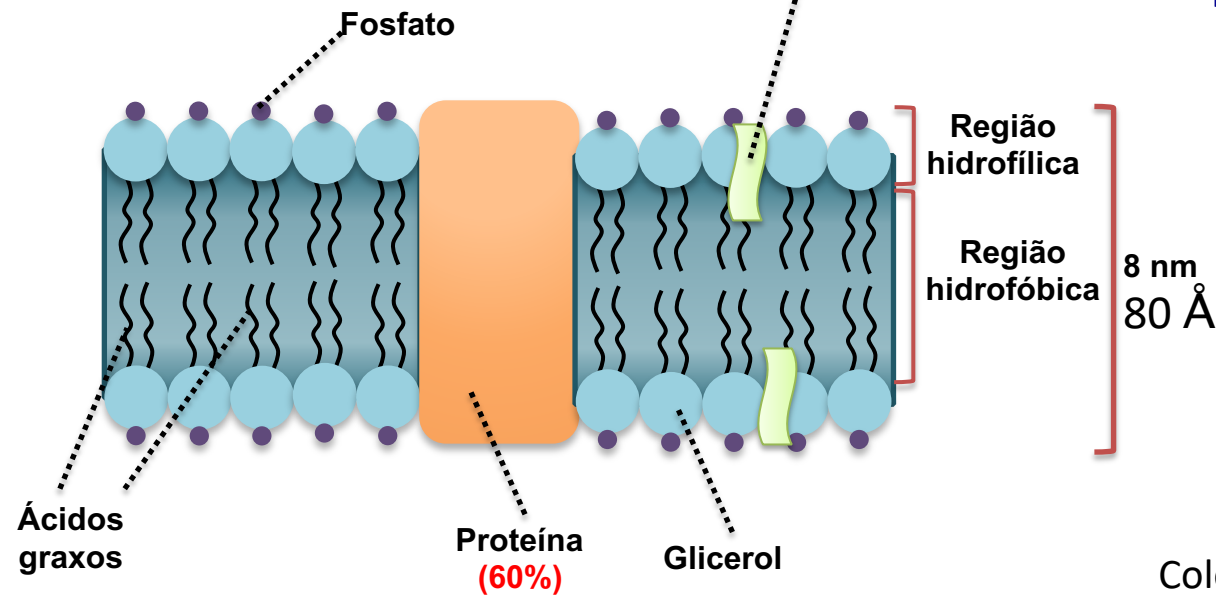


MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

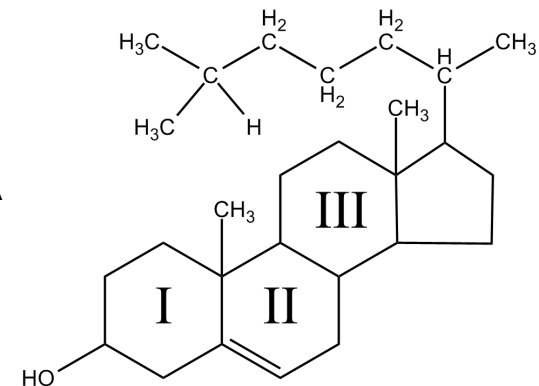
• Estrutura e Composição:

- Delgada → 8 nm;
- Vital → integridade celular;
- meio intracelular ↔ meio extracelular

Bicamada fosfolipídica (40%)



- Presentes em várias bactérias
- Regulam a permeabilidade da membrana
- **Rigidez**



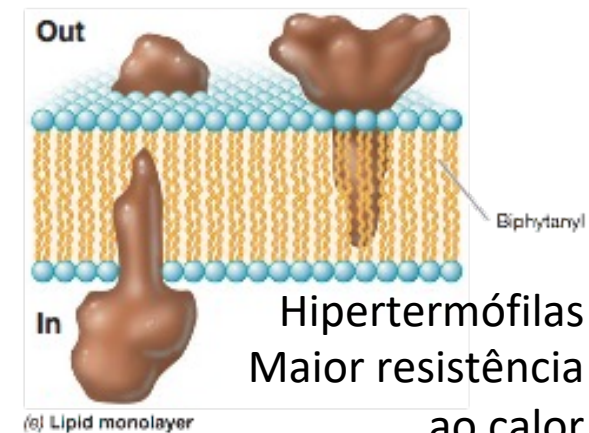
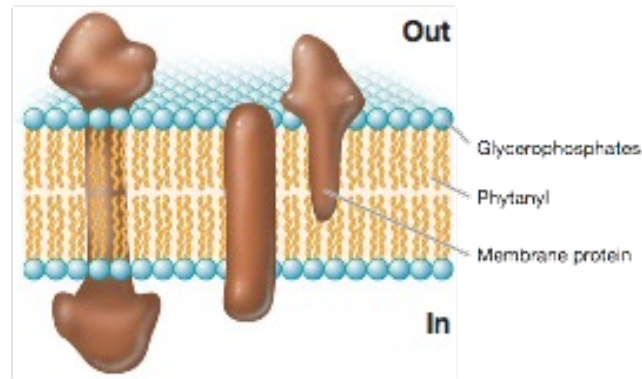
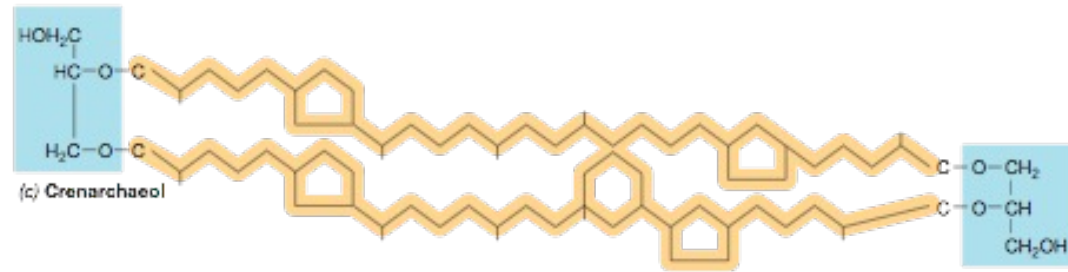
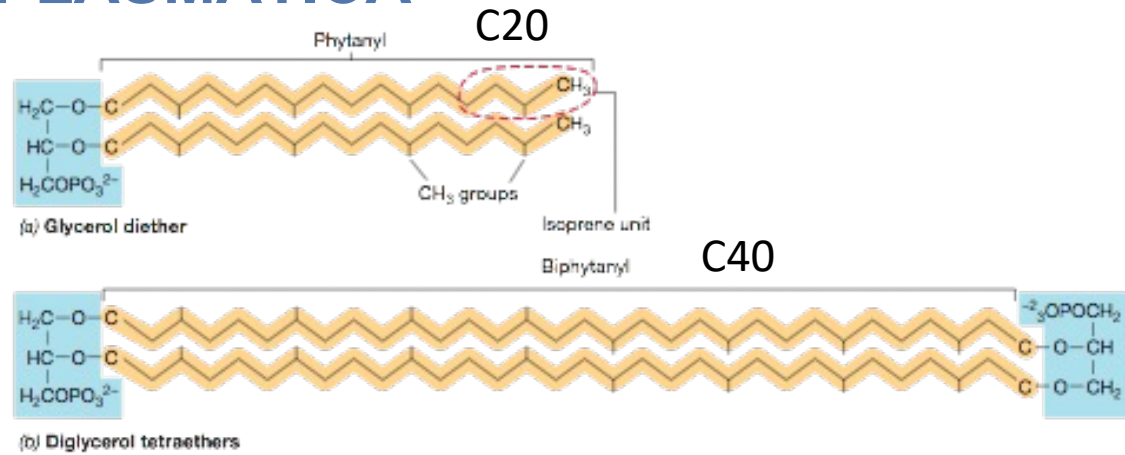
Colesterol: composto análogo presente na membrana citoplasmática de eucariotos
- Micoplasma tem colesterol

MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

Arquea

- **Composição**
 - Fitanyl
 - Bifitanyl
 - Crenarqueol

- Em alguns grupos, a membrana citoplasmática é composta de uma **monocamada!** ou uma mistura de de mono e bi.



Hipertermófilas
Maior resistência
ao calor

(d) Lipid bilayer

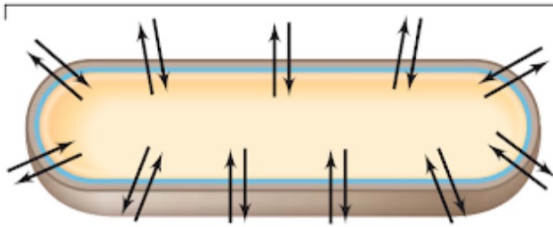
(e) Lipid monolayer

Figure 3.7 Major lipids of *Archaea* and the architecture of archaeal membranes. (a, b) Note that the hydrocarbon of the lipid is attached to the glycerol by an ether linkage in both cases. The hydrocarbon is phytanyl (C₂₀) in part a and biphytanyl (C₄₀) in part b. (c) A major lipid of *Crenarchaeota* is crenarchaeol, a lipid containing 5- and 6-carbon rings. (d, e) Membrane structure in *Archaea* may be bilayer or monolayer (or a mix of both).

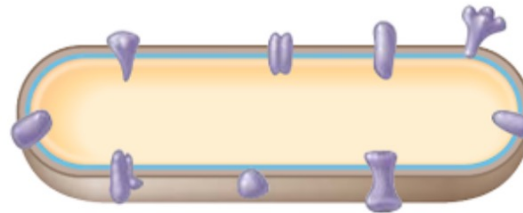
MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

Quais são suas **FUNÇÕES**:

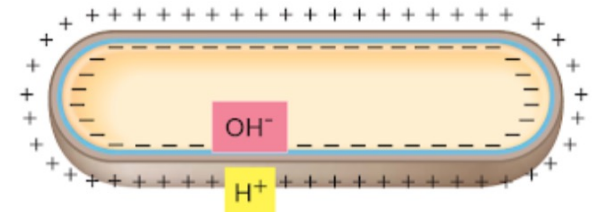
Funções da membrana citoplasmática



(a) **Barreira de permeabilidade:**
impede o extravasamento e atua como uma porta para o transporte de nutrientes para dentro e fora da célula.



(b) **Ancoragem de proteínas:**
sítio de muitas proteínas envolvidas no transporte, bioenergética e quimiotaxia.

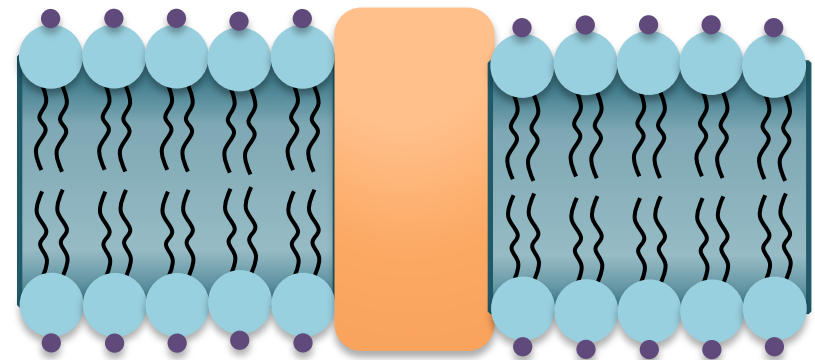


(c) **Conservação de energia:**
sítio de geração e dissipação da força próton-motiva.

1. BARREIRA DE PERMEABILIDADE:

- Hidrofobicidade → extravasamento;
 - Citoplasma: solução aquosa (sais, açúcares, aminoácidos, vitaminas e etc.);
- Moléculas hidrofóbicas → difusão simples;
- Moléculas carregadas ou hidrofílicas → **NÃO ATRAVESSAM !!!**
- Água → atravessa → acelerado (aquaporinas);

Extracelular



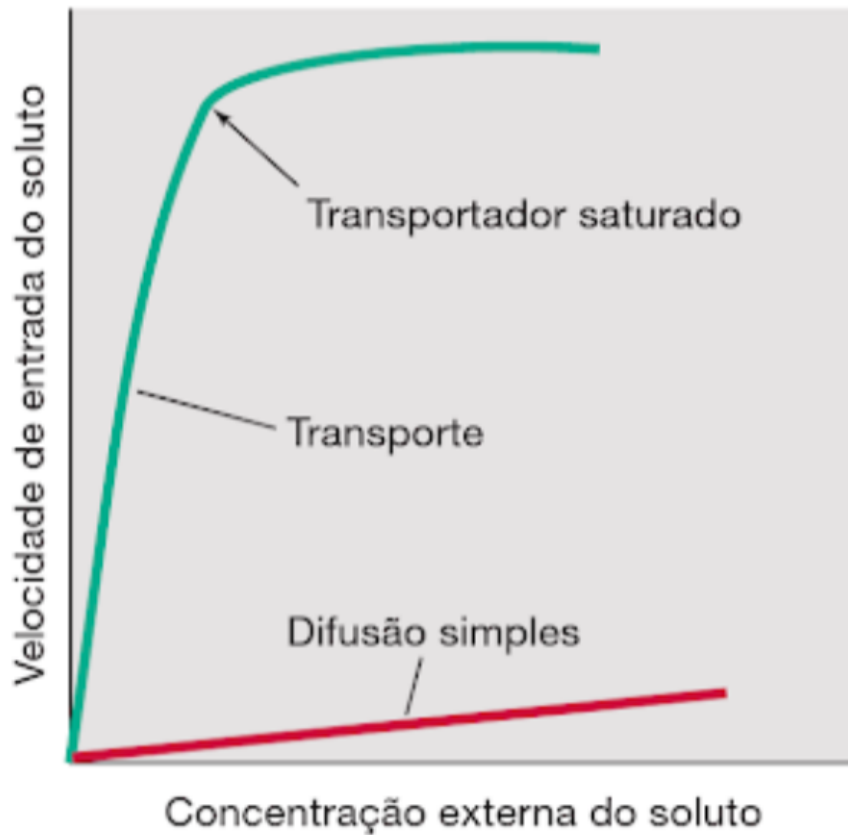
Intracelular

A célula precisa de mecanismos para acumular nutrientes contra o gradiente!

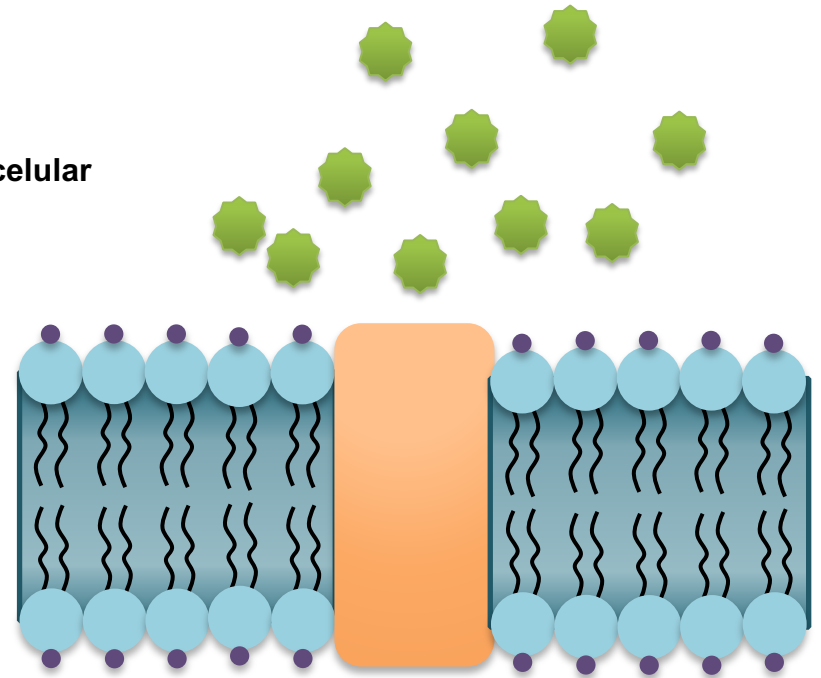
MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

3. TRANSPORTE:

Curvas de saturação



Extracelular



Intracelular

MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

Sistemas de transporte

Alta especificidade: sistemas de transporte são, em geral, específicos, ou seja, caracterizado pela alta afinidade por um único tipo ou classe de moléculas

Nomenclatura

Alvos	Denominação	Descrição
1	Uniportador	transportador especializado em um único composto
2	Simportador	Só há transporte quando dois compostos são carregados simultaneamente na mesma direção
2	Antiportador	Exige o transporte simultâneo de pelo menos dois compostos em direções opostas

Aspectos energéticos

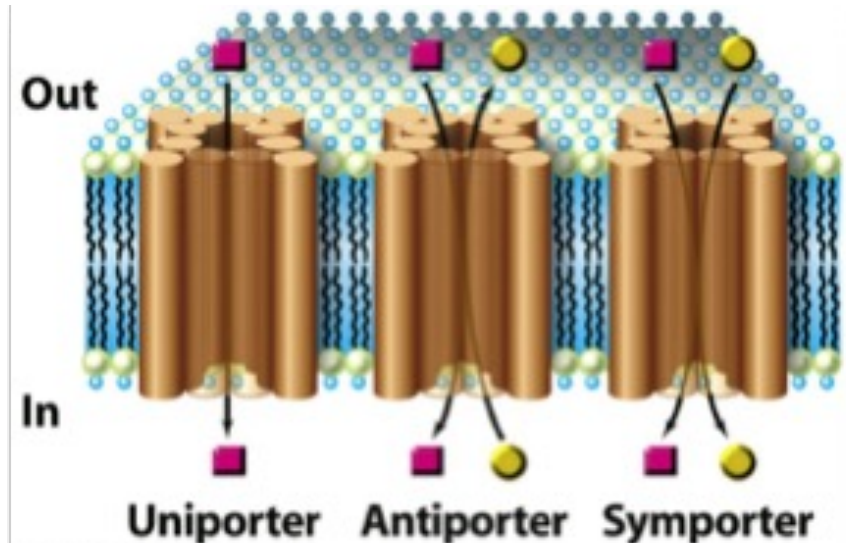
TRANSPORTE PASSIVO

Difusão simples

Sem gasto de energia
Gradiente de concentração
Exemplos: oxigênio, dióxido de carbono

TRANSPORTE ATIVO

Gasto de energia
Gradiente de concentração (contra) → 1000 vezes!!!



MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

TIPOS DE SISTEMAS TRANSPORTE

➤ Transporte simples – uma proteína TM

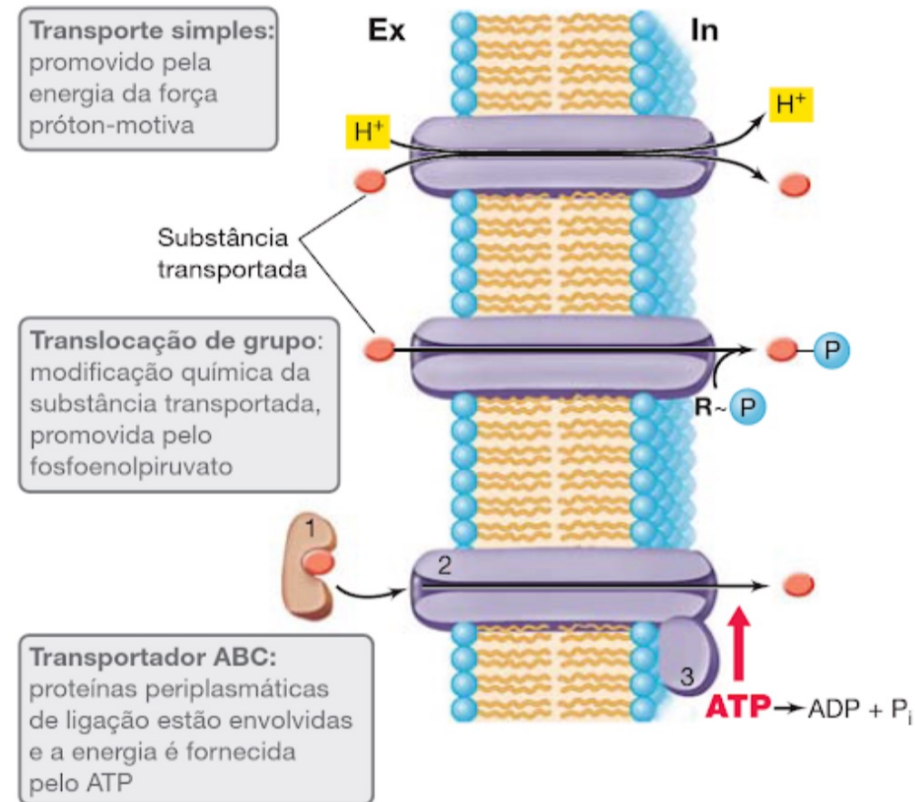
- Usa energia do gradiente de prótons
- Sem alteração química

➤ Translocação de grupo - várias proteínas TM

- Gasto de energia (fosfoenolpiruvato)
- Molécula é modificada por fosforilação
- Exemplos: Glicose, manose e frutose

➤ Sistema ABC (ATP Binding Cassete)

- ATP é a fonte de energia
- Sem alteração química (alócrito)
- Alta afinidade pelo ligante



Transporte simples

Permeases

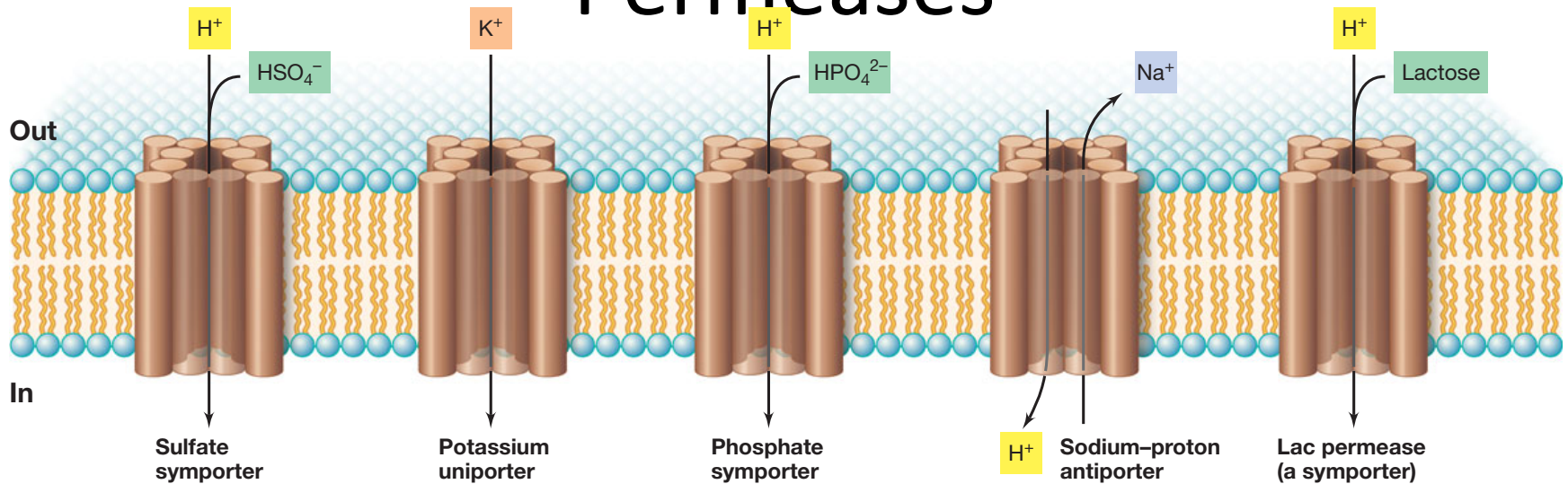
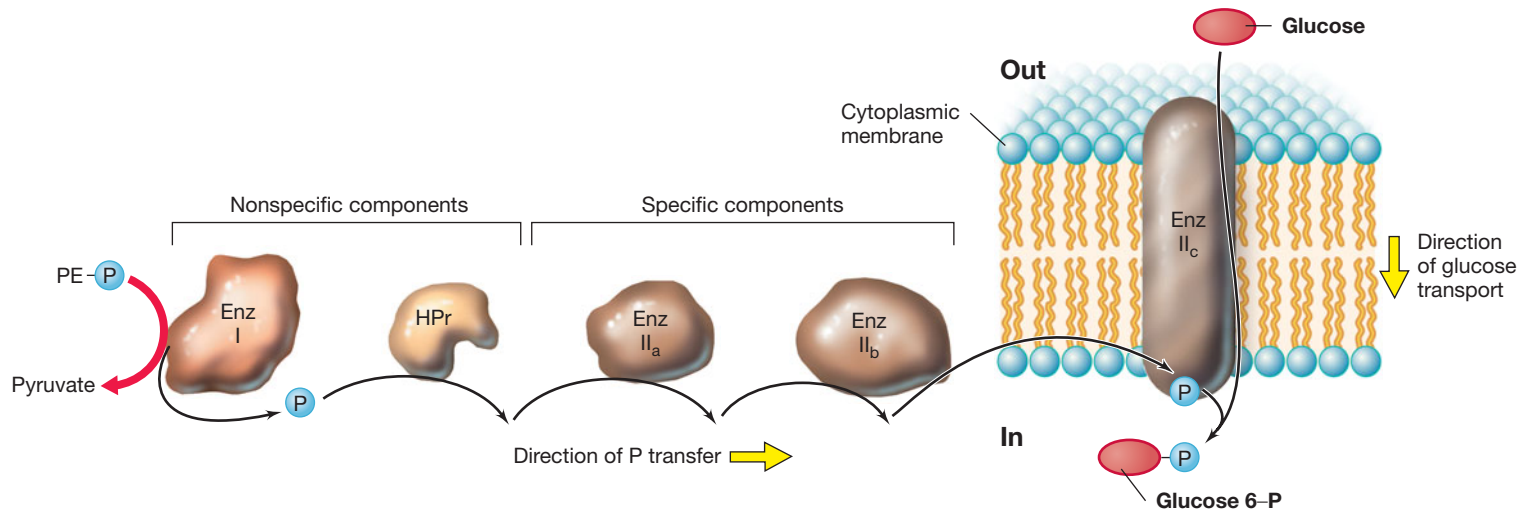


Figure 3.12 The lac permease of *Escherichia coli* and several other well-characterized simple transporters. Note the different classes of transport events depicted.

- Os primeiros três transportadores acima fazem um transporte passivo: a favor do gradiente. Porém o canal é seletivo e só deixa passar os solutos reconhecidos
- A permease de lactose opera como um symporter, pois a passagem de prótons pelo mesmo canal ocorre concomitantemente com o transporte da lactose
- A energia do transporte vem da redução do gradiente de prótons, que tem que ser restaurado por outros processos energéticos na célula

Translocação de grupo

Sistema de fosfotransferase

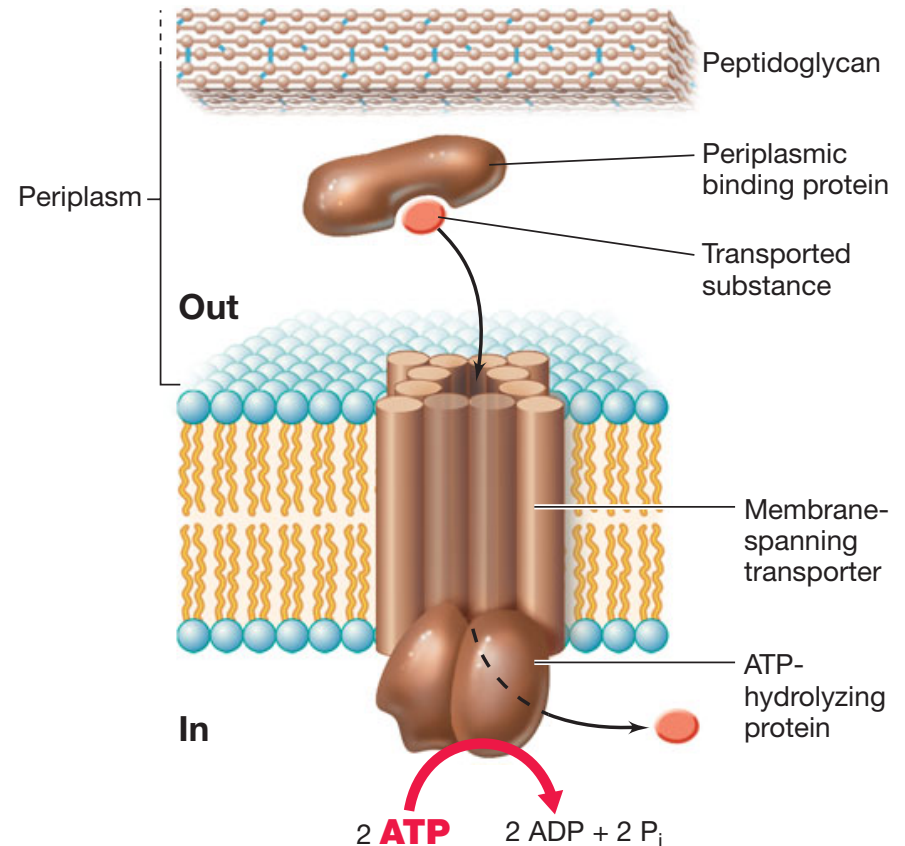


- Usa a energia do fosfoenolpiruvato no processo de transporte
- Modifica o soluto: fosforilação de monossacarídeos (açucars) no fim do transporte
- Processo ativo mas a modificação química auxilia no transporte pois o processo é irreversível

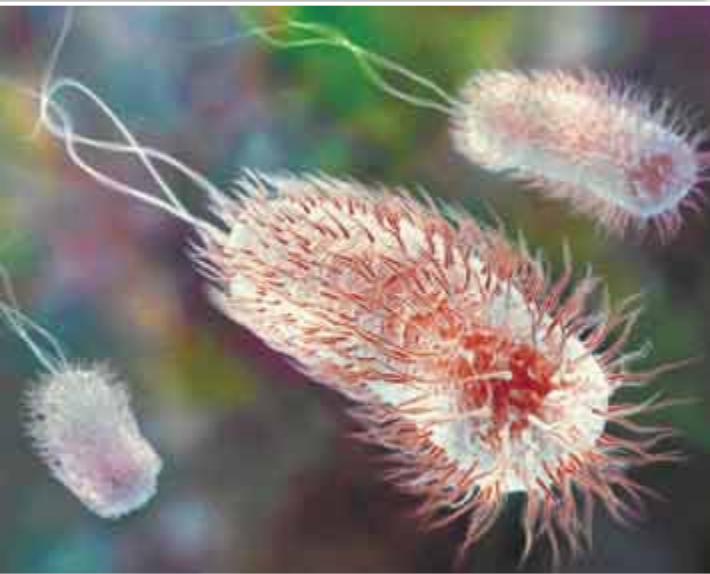
Transporte simples

Sistema ABS (ATP Binding Cassete)

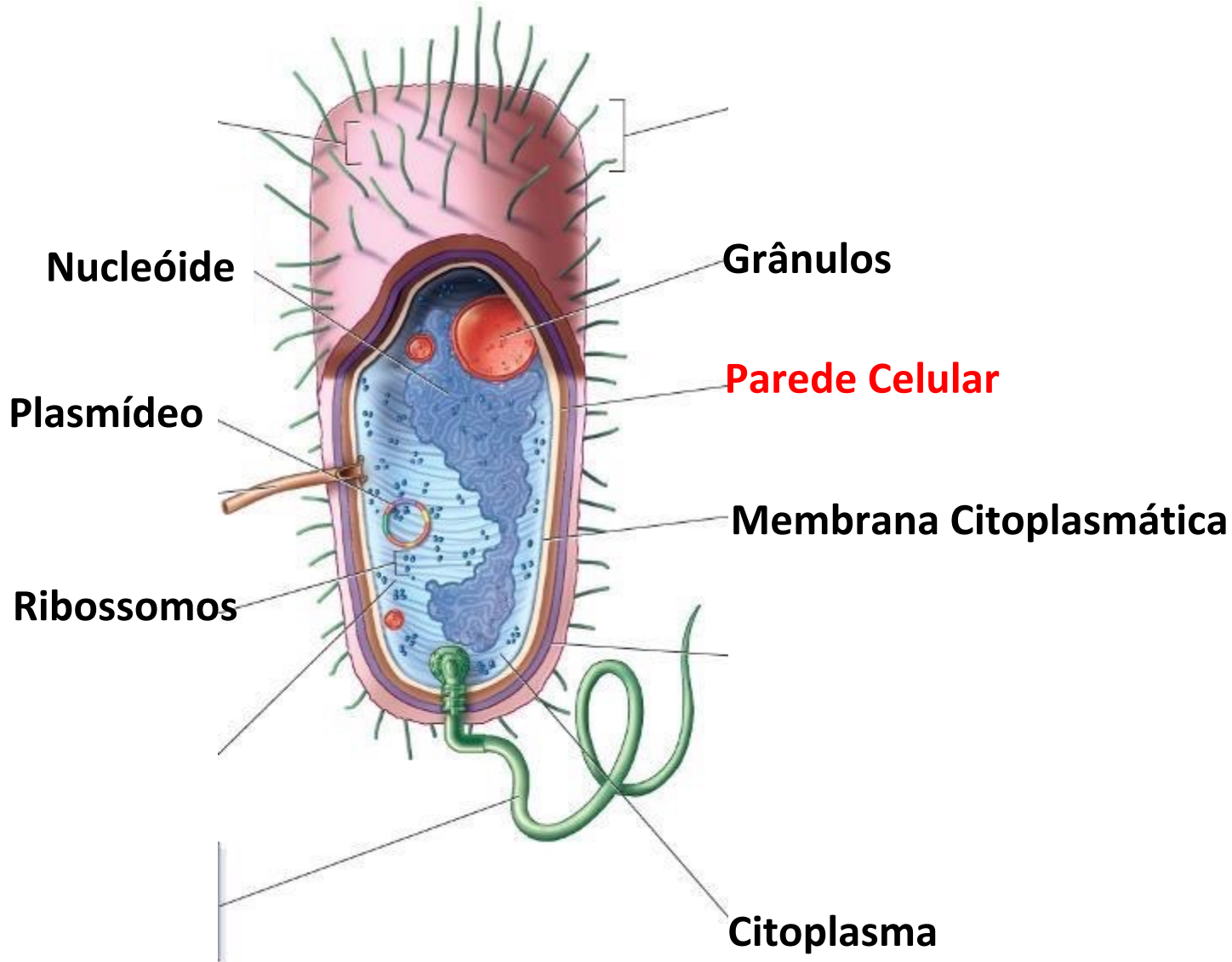
- Transportadores ABC são sistemas mais complexos que incluem:
 - Uma ATPase (fonte de energia)
 - Uma ou duas permeases (proteínas transmembranares)
 - Uma proteína extracitoplasmática (PBP: Periplasmic Binding Protein) com alta afinidade pelo soluto
- Esses sistemas **não modificam** o solute durante o transporte
- Existem várias famílias de transportadores ABC, cada qual especializada num tipo de solute
- Existem em eucariotos!



**A membrana citoplasmática
é suficiente para manter a
integridade da célula
procariótica?**



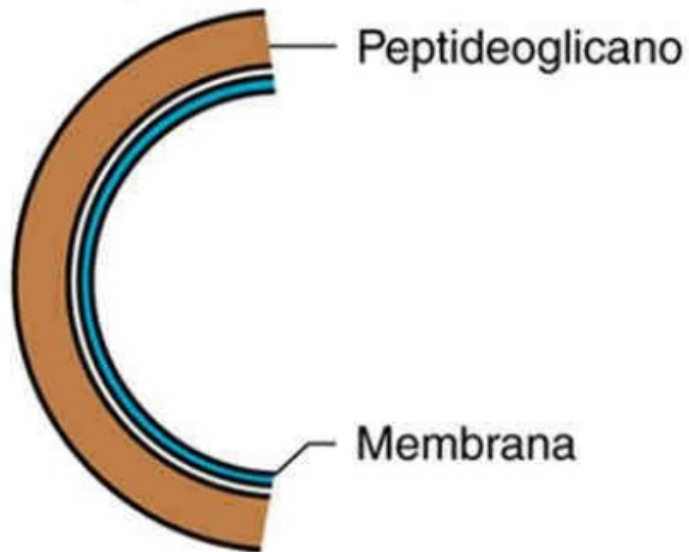
Parede Celular



PAREDE CELULAR

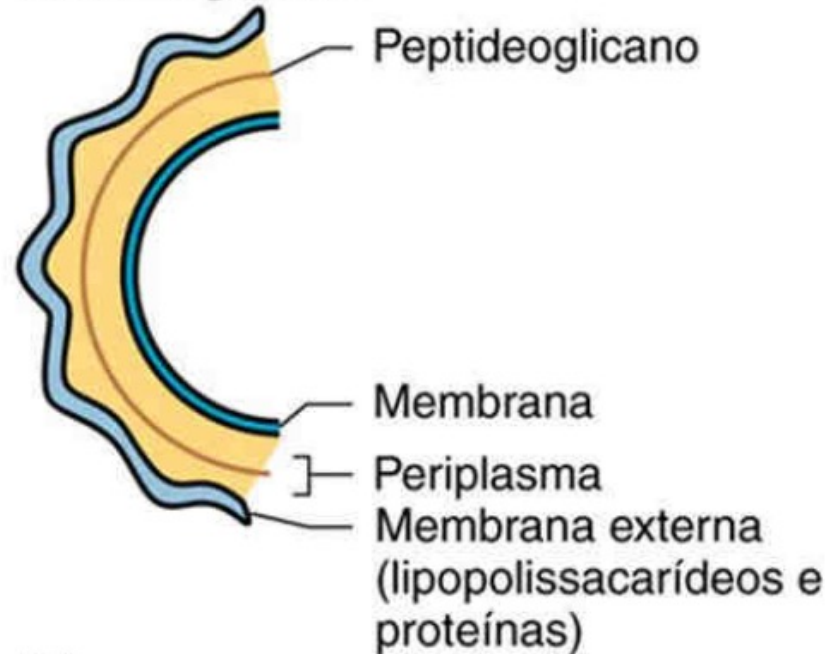
tipos principais

Gram-positivo



(a)

Gram-negativo

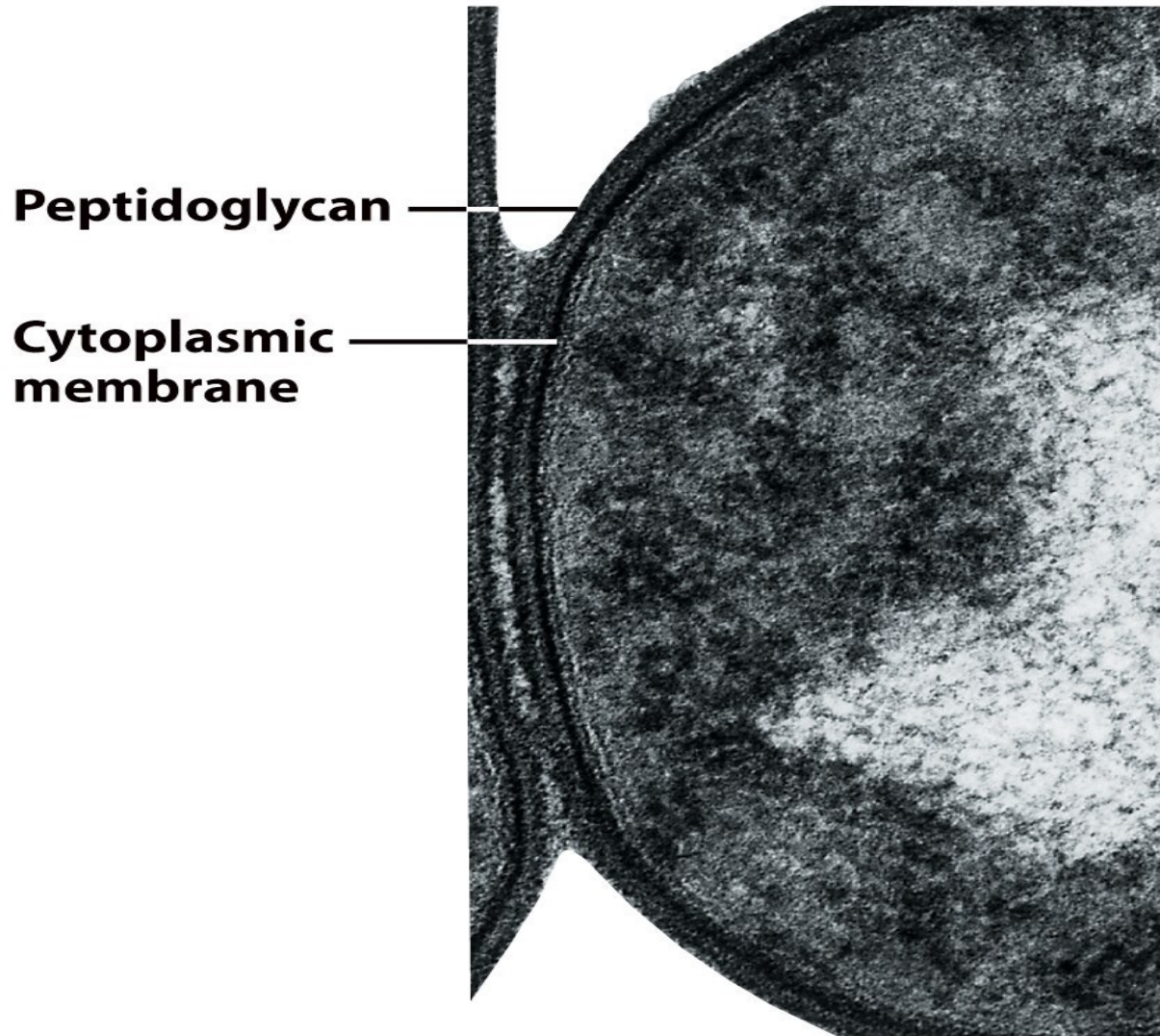


(b)

Membrana citoplasmática + Parede celular = **Envoltório bacteriano**

GRAM POSITIVAS

PAREDE CELULAR



J.L. Pate

GRAM POSITIVAS

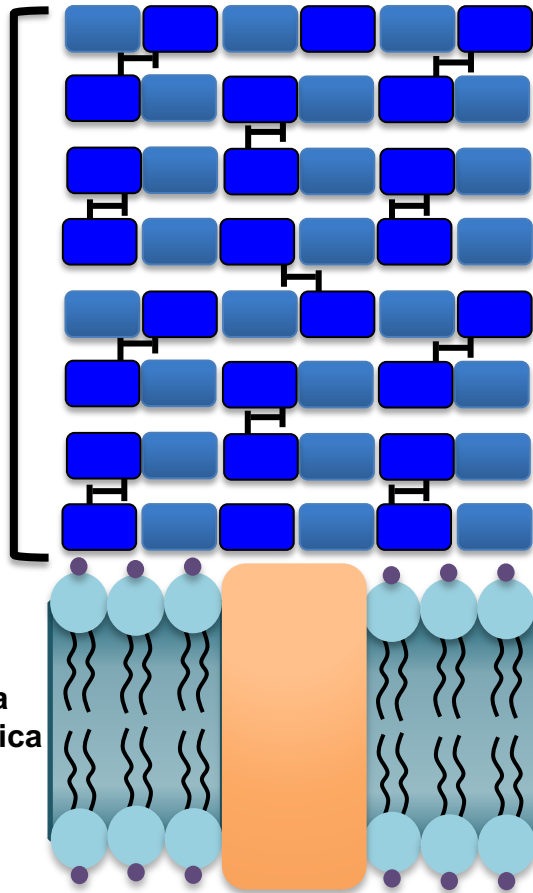
PAREDE CELULAR

Extracelular

Parede Celular

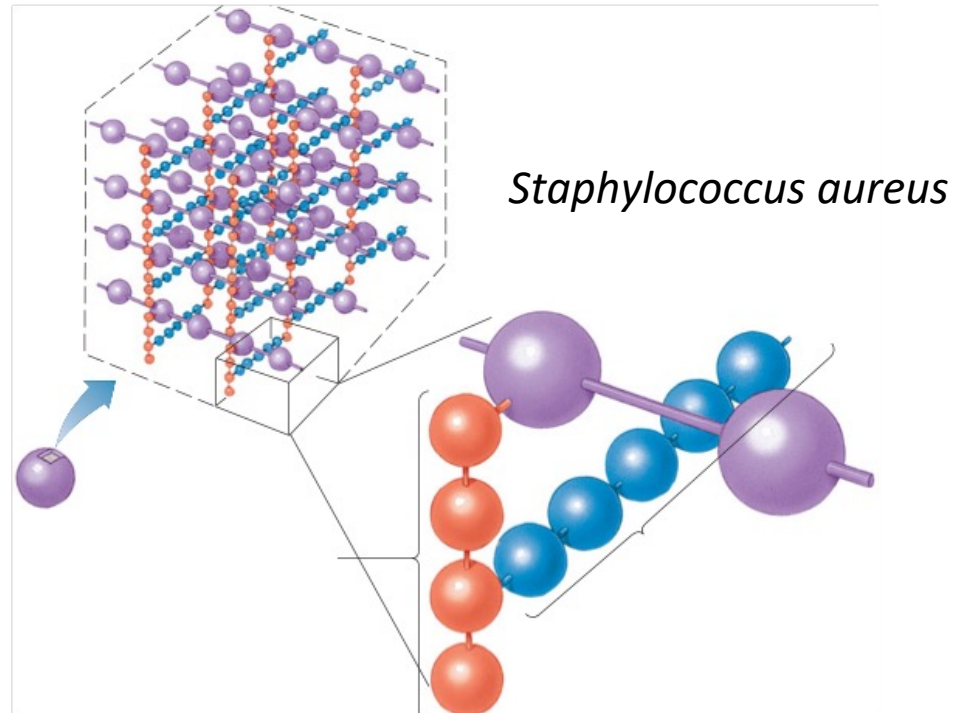
Membrana Citoplasmática

Intracelular



COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

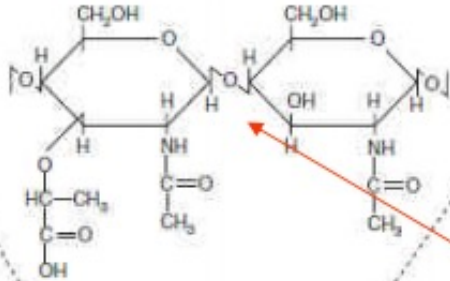
- Composição relativamente simples;
- Peptideoglicano ou mureína (70% - 90%)
- **Espessa;**



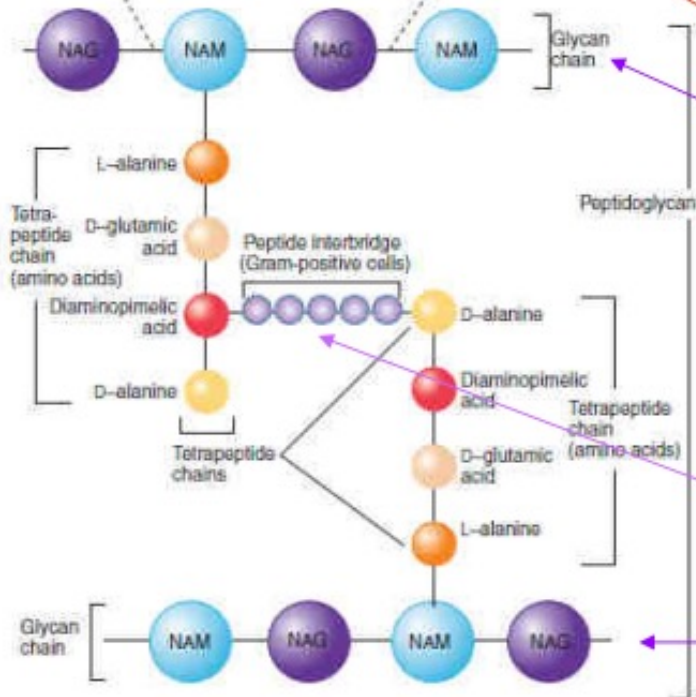
PAREDE CELULAR

N-acetilmurâmico (NAM)

N-acetilglicosamina (NAG)



- **Peptideoglicano (ou mureína) – principal componente da camada rígida da parede (só encontrado em *Bacteria*).**
- **Unidades repetidas de um dissacarídeo unido por polipeptídeos.**



Ligação β 1,4 \rightarrow sensível à lisozima!!

Cadeia de glicano (ligações covalentes)

Interligadas através da ligação cruzada de suas cadeias de tetrapeptídeos para formar peptideoglicano

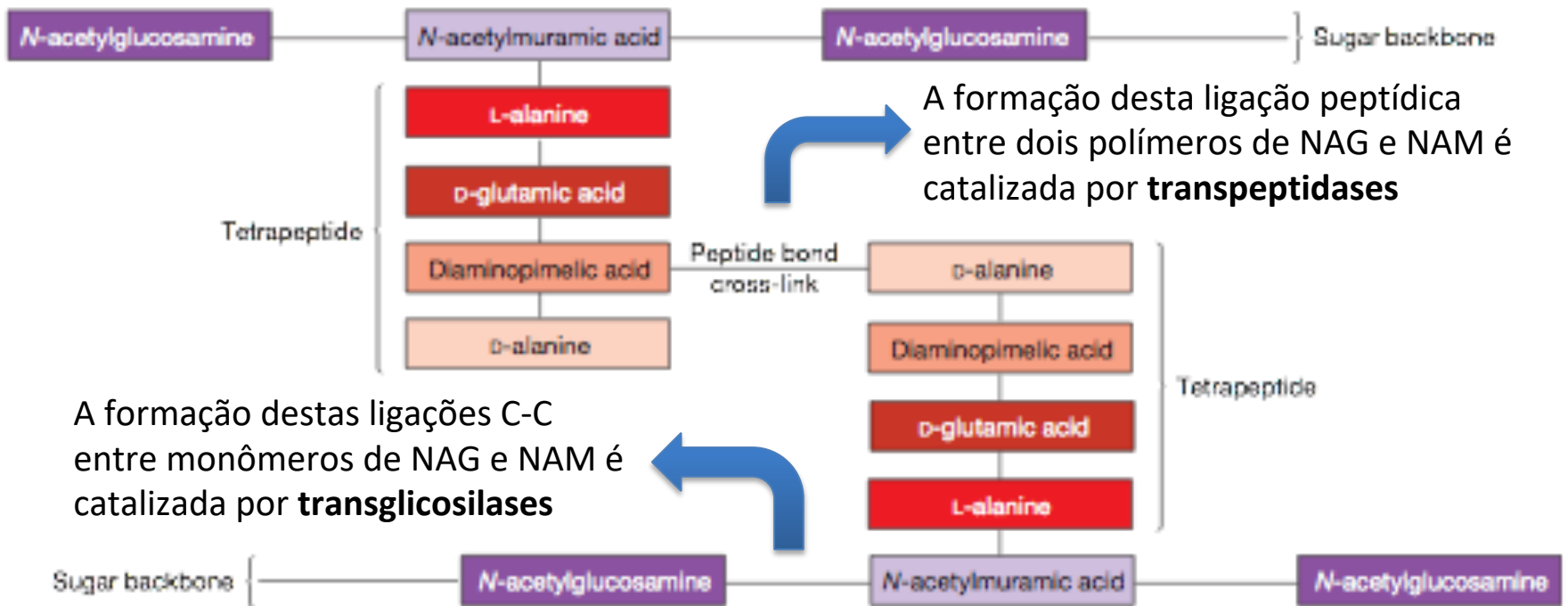
Ponte cruzada de peptídeos

Cadeia adjacente de glicano

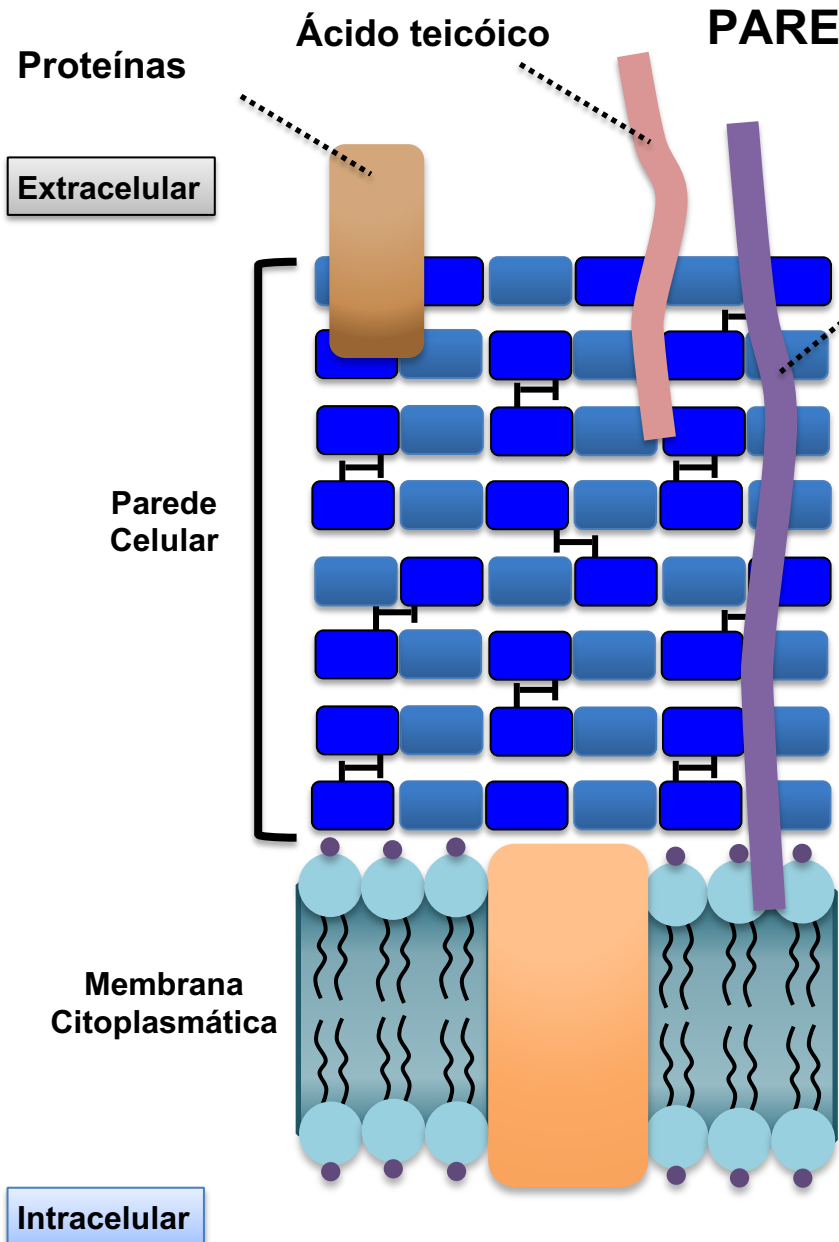
Existe diversidade

GRAM NEGATIVAS

PAREDE CELULAR



GRAM POSITIVAS



Atributos exclusivos de Gram positivas:
Glicerol fosfato ou ribitol fosfato

Membrana citoplasmática → Ác. Lipoteicóicos;

Parede celular → Ácidos teicóicos;

Função:

1. Facilitar e regular entrada e saída de cátions;
2. Receptor para bacteriófagos;
3. Ligação à receptores no hospedeiro;

Útil na identificação sorológica!!!!

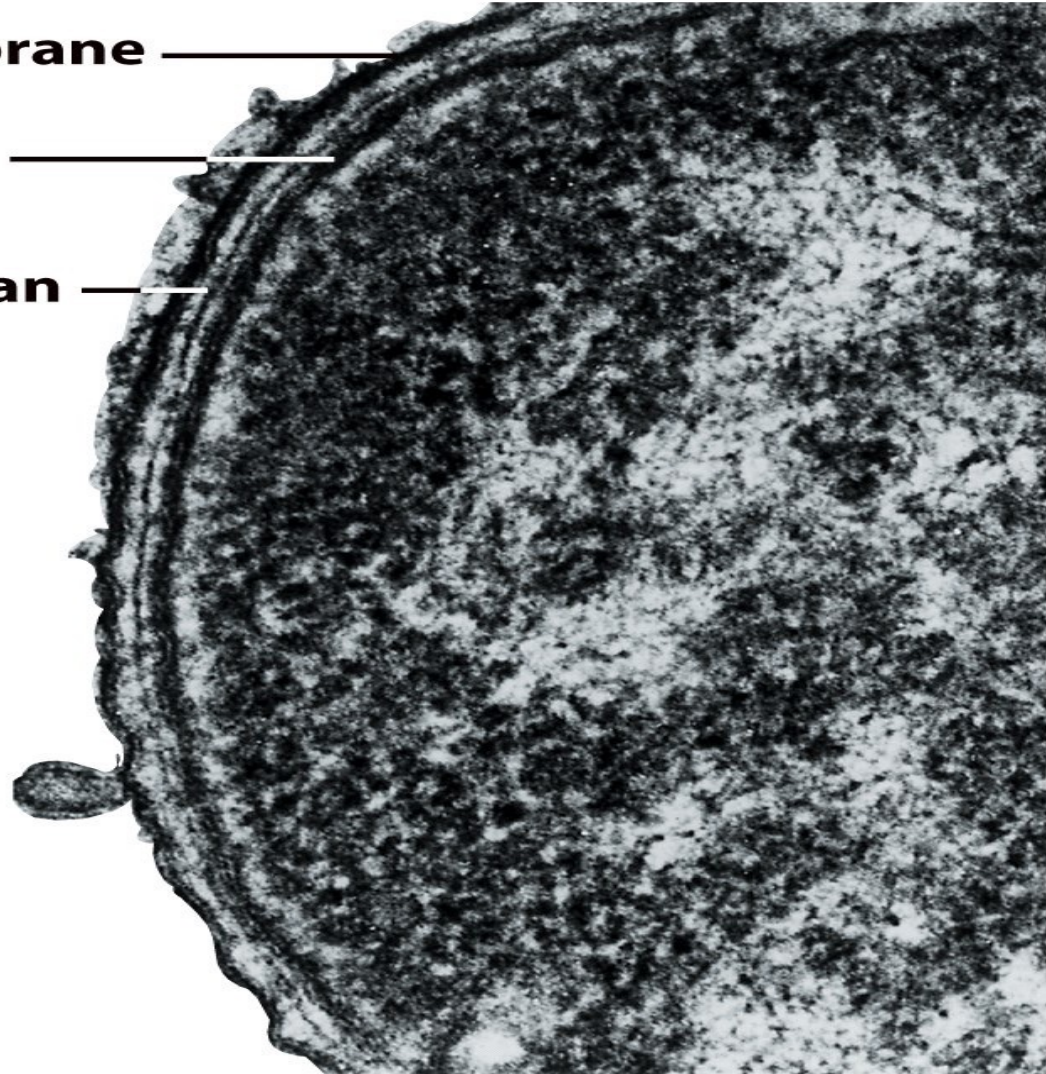
GRAM NEGATIVES

PAREDE CELULAR

Outer membrane —

Cytoplasmic membrane —

Peptidoglycan —



T. D. Brock and S. F. Conti

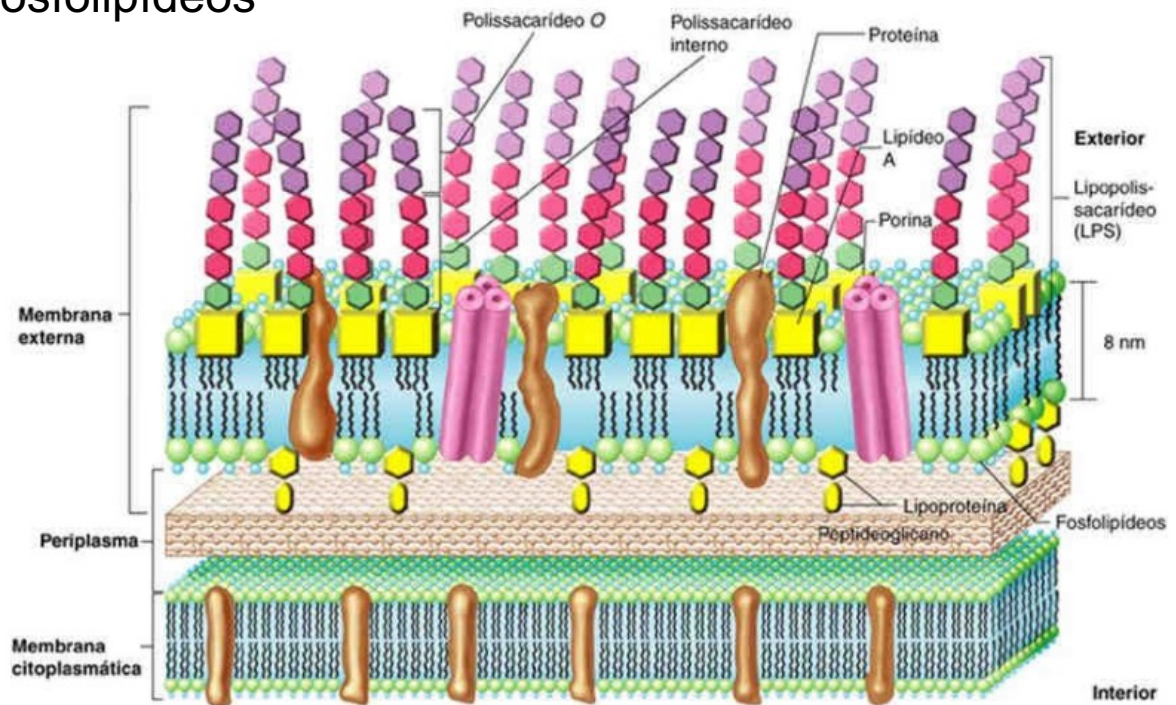
Figure 4-27d Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

GRAM NEGATIVAS

Envoltório CELULAR

Mais **complexa**: composta por **três** camadas

- **Membrana externa**: contém lipopolissacarídeo (LPS)
- **Periplasma**: peptidoglicano
- **Membrana interna**: fosfolipídeos

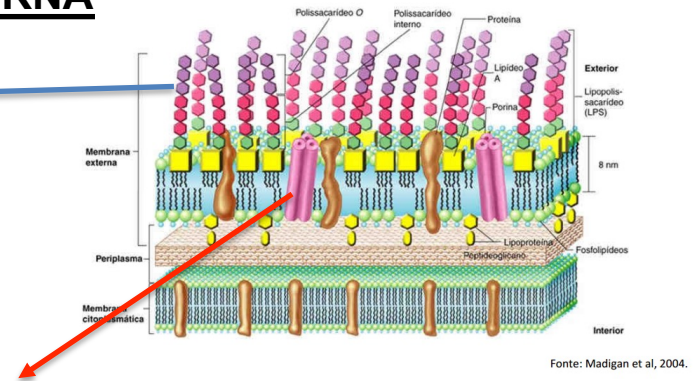


GRAM NEGATIVAS

MEMBRANA EXTERNA

LPS ou ENDOTOXINA

- **Composição**
 - Lipídeo A
 - Polissacarídeo interno
 - Polissacarídeo O
- **Relevância clínica**
 - O lipídeo A é **tóxico!!!**
 - Pirogênica
 - **Ativação do sistema imune**
 - Usada na sorotipagem



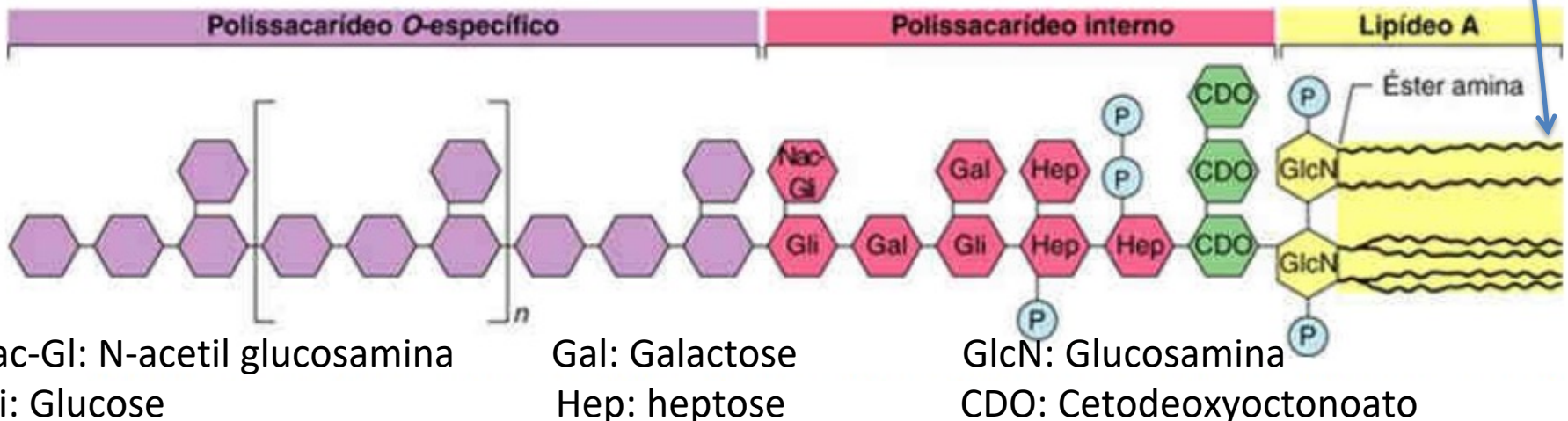
Proteínas envolvidas em transporte

Porinas específicas e não específicas

Proteínas de membrana externa (OMPs)

Ácido Graxo

Com diferentes quantidade de C



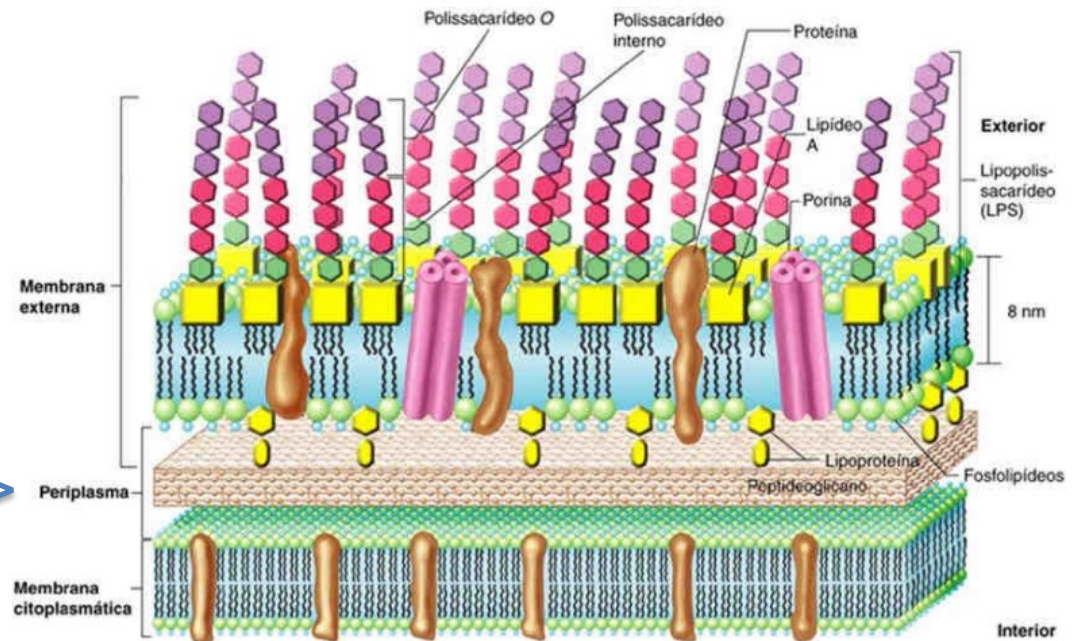
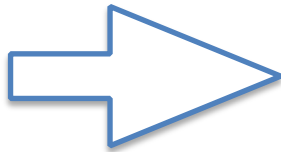
GRAM NEGATIVAS

PAREDE CELULAR

PERIPLASMA OU ESPAÇO PERIPLASMÁTICO

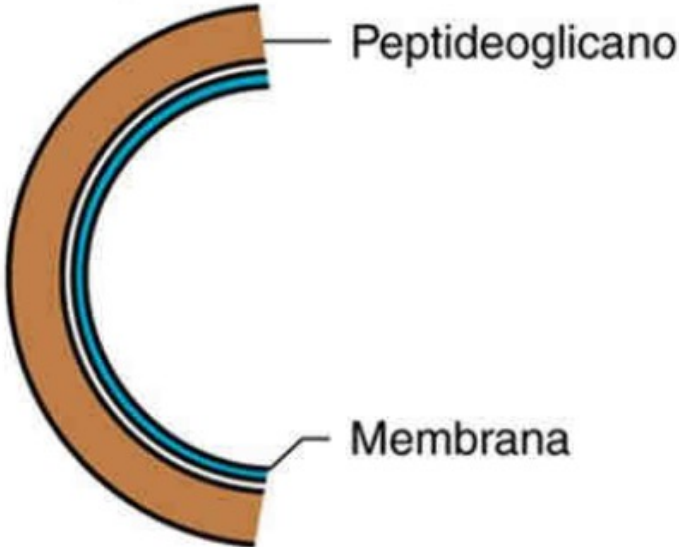
- Corresponde ao espaço entre a membrana citoplasmática e a membrana externa
- “Gel”, análogo ao citoplasma
- **Composição:**
 - **Peptideoglicano** → delgado (5%)
 - Enzimas:
 - Hidrolíticas (proteases, lipases, nucleases)
 - Inativadoras de drogas
 - Proteínas transportadoras

PERIPLASMA



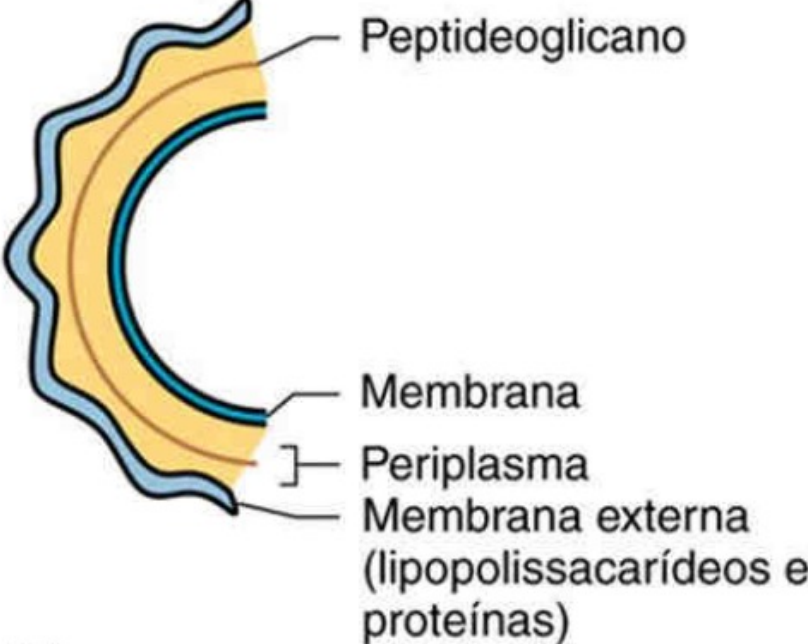
Como poderíamos diferenciar G+ de G- ?

Gram-positivo



(a)

Gram-negativo



(b)

- O LPS de bactérias Gram negativas não patogênicas tem o lipídio A tóxico?
- Quais são as principais diferenças entre as membranas citoplasmáticas de bactérias e as de arqueas?
- Quais são as principais diferenças entre a parede celular de Gram+ e Gram-?

Comparação

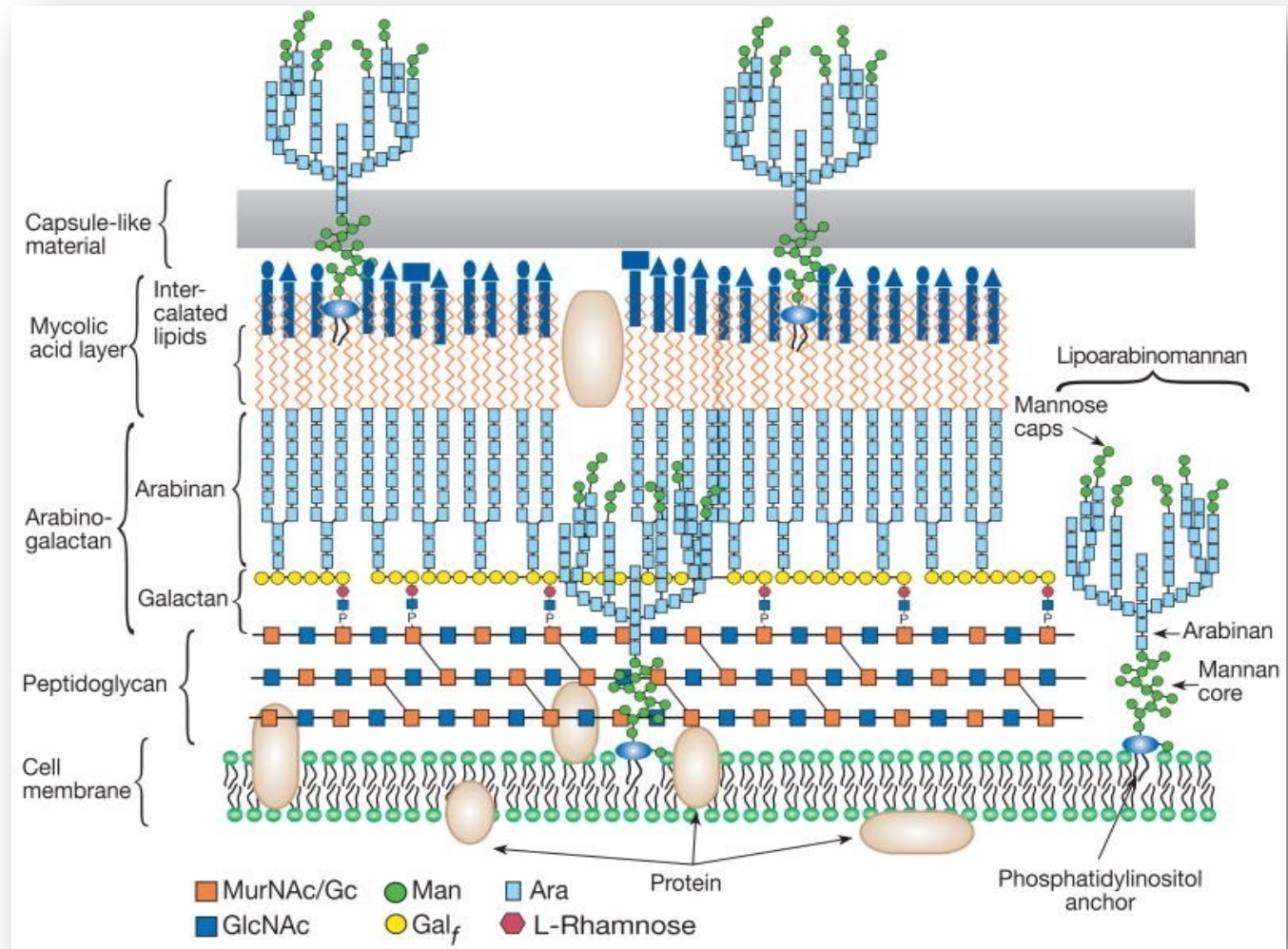
Gram positiva X Gram negativa

Característica	Gram-positivo	Gram-negativo
Reação de Gram.	Retém o corante violeta	Aceita o contracorante (safranina)
Camada de peptidoglicano.	Espessa – múltiplas	Camada única – fina
Ácidos teicóicos.	Presentes em muitas	Ausentes
Espaço periplasmático.	Ausente	Presente
Membrana externa.	Ausente	Presente
Conteúdo de LPS.	Nenhum	Alto
Conteúdo de lipídeos e lipoproteínas.	Baixo	Alto (devido à ME)
Toxinas produzidas.	Exotoxinas	Endotoxinas
Resistência à ruptura física.	Alta	Baixa
Ruptura da parede por lisozima.	Alta	Baixa

OUTROS PADRÕES DE ENVOLTÓRIO CELULAR

Micobactérias

Ziehl-Neelsen (bactérias álcool-ácido resistentes)



Bactéria sem parede celular

Mycoplasma

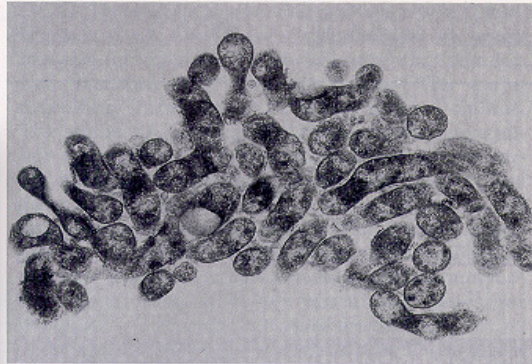


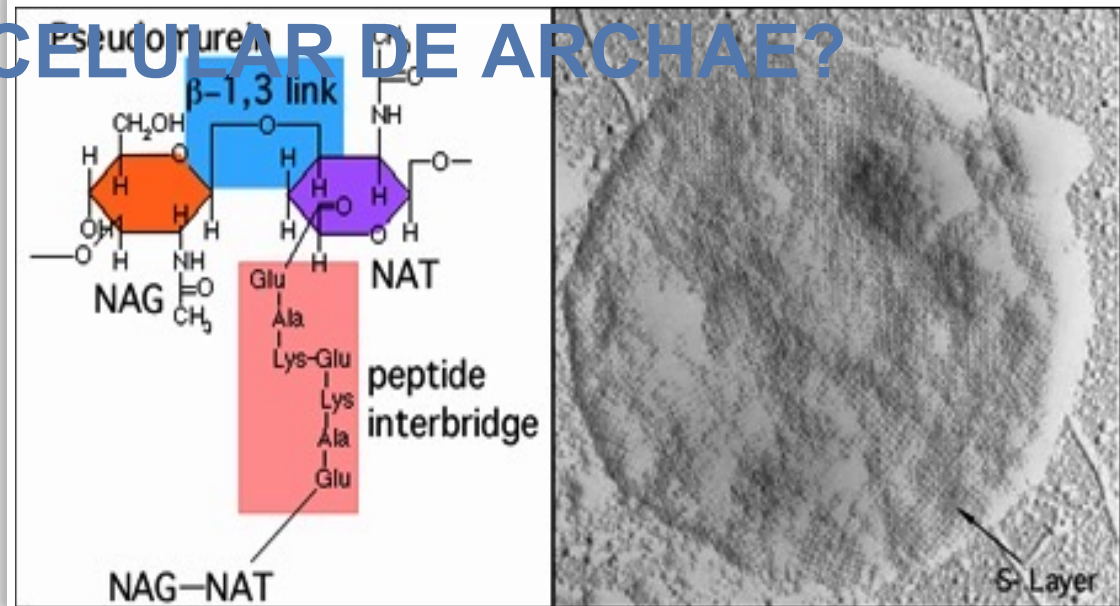
Fig. 17-83 *Mycoplasma*. Electron micrograph of *Mycoplasma pneumoniae*. The cell lacks a cell wall and is bounded by a cytoplasmic membrane that has a trilaminar structure.



Como os eucariotos, contêm **esterol** na membrana (aumenta resistência)

Archaea É A PAREDE CELULAR DE ARCHAE?

- Muita variedade na composição da parede celular
- Pseudopeptideoglicano
 - N-acetilglicosamina e ácido N-acetilatosaminurônico
 - Ligações glicosídicas (β -1,3) - PQ essa ligação é importante???
 - Sem D-aminoácidos (todos estereoisômeros L)



Outros componentes da parede celular de arqueas:

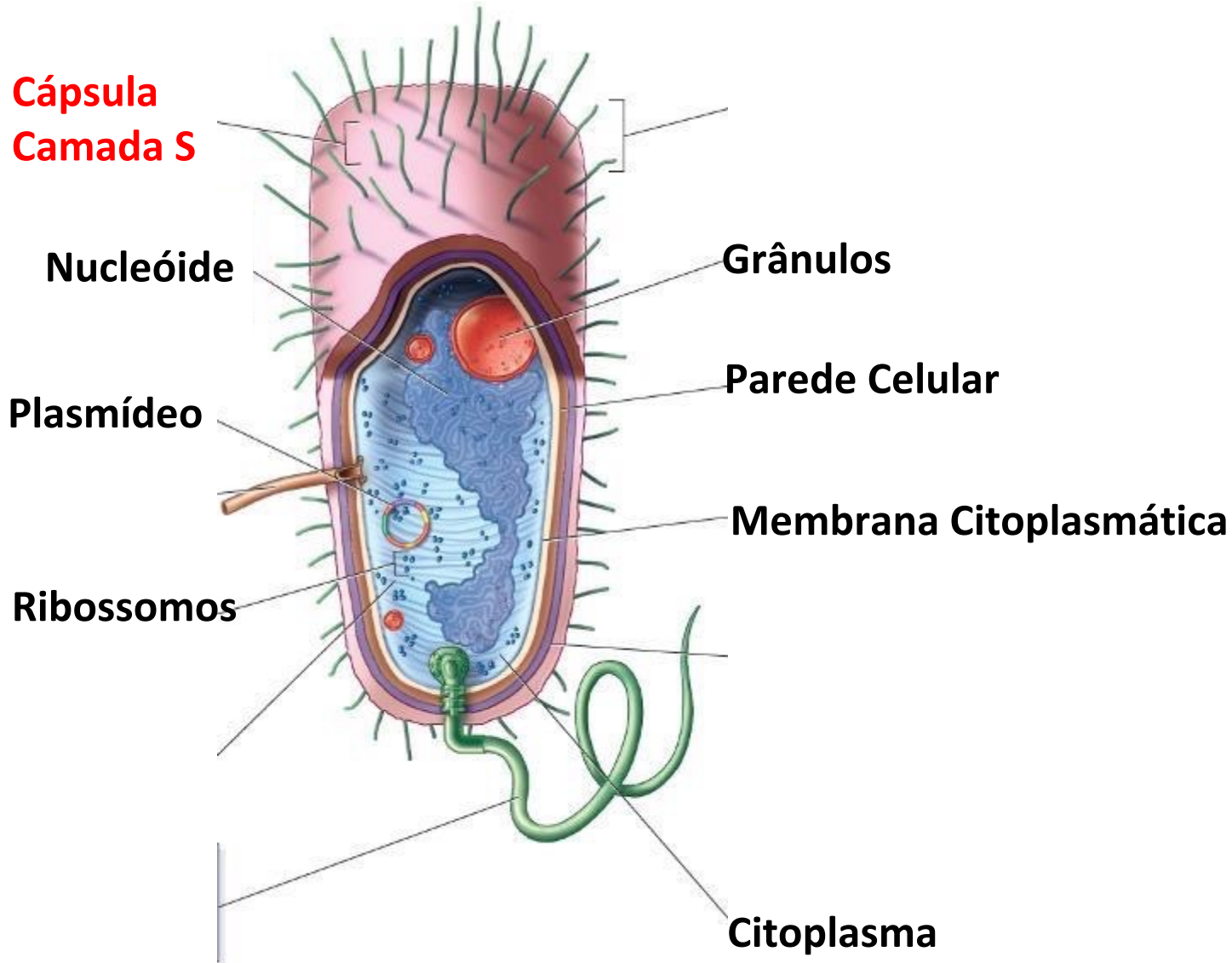
- Camada paracristalina (camada-S), constituída de proteína ou glicoproteína
- Algumas archaea apenas possui camada-S
- Polissacarídeos;
- Glicoproteínas;
- Proteínas.

OUTRAS ESTRUTURAS

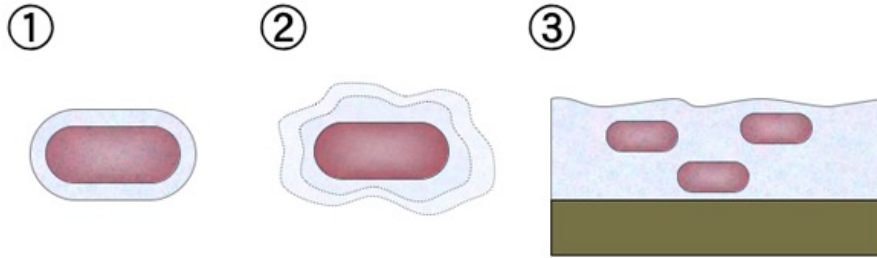
NÃO ESTÃO PRESENTES EM TODAS AS BACTÉRIAS

MUITAS VEZES NÃO ESSENCIAIS PARA SOBREVIVÊNCIA

Estruturas



Cápsula



Glicocálice: substâncias secretadas que envolvem a célula

(1) Cápsula

1. de fácil visualização
2. exclui partículas
3. adere à parede celular

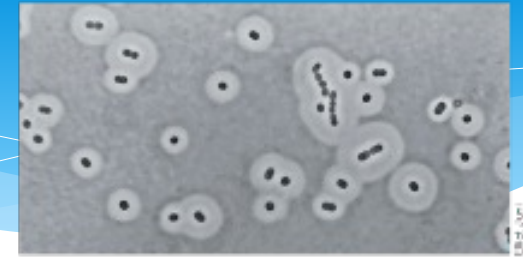
(2) Camada limosa ou mucosa

1. Frouxa
2. Permeável
3. Menor rigidez

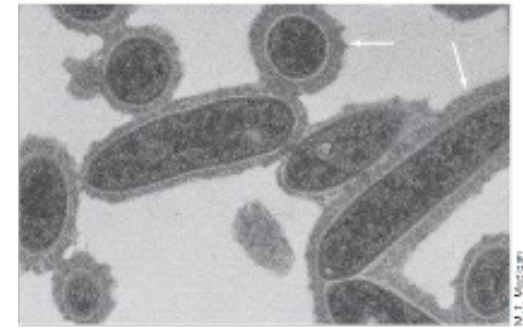
(3) A fusão das camadas limosas leva à formação de **biofilmes**

Cápsula polissacarídica Função:

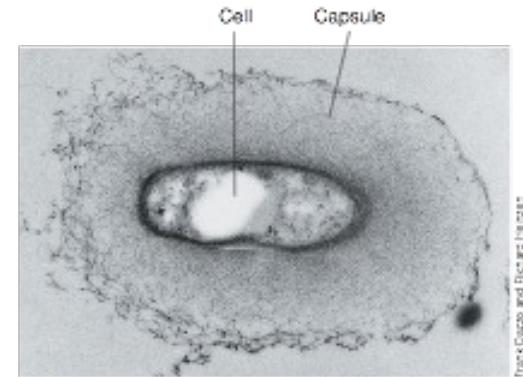
- Compacta
- Espessura variável
- Rigidez
- Resistência à dessecação
- Anti-fagocítica
- Adesão;



(a)



(b)



(c)

Figure 3.23 Bacterial capsules. (a) Capsules of *Acinetobacter* species observed by phase-contrast microscopy after negative staining of cells with India ink. India ink does not penetrate the capsule and so the capsule appears as a light area surrounding the cell, which appears black. (b) Transmission electron micrograph of a thin section of cells of *Rhodobacter capsulatus* with capsules (arrows) clearly evident; the capsules are about 0.9 μm wide. (c) Transmission electron micrograph of *Rhizobium trifolii* stained with ruthenium red to reveal the capsule. The cell is about 0.7 μm wide.

Camada S

Bacteria e Archaea (parede celular);

Subunidades : proteínas ou glicoproteínas;

Função:

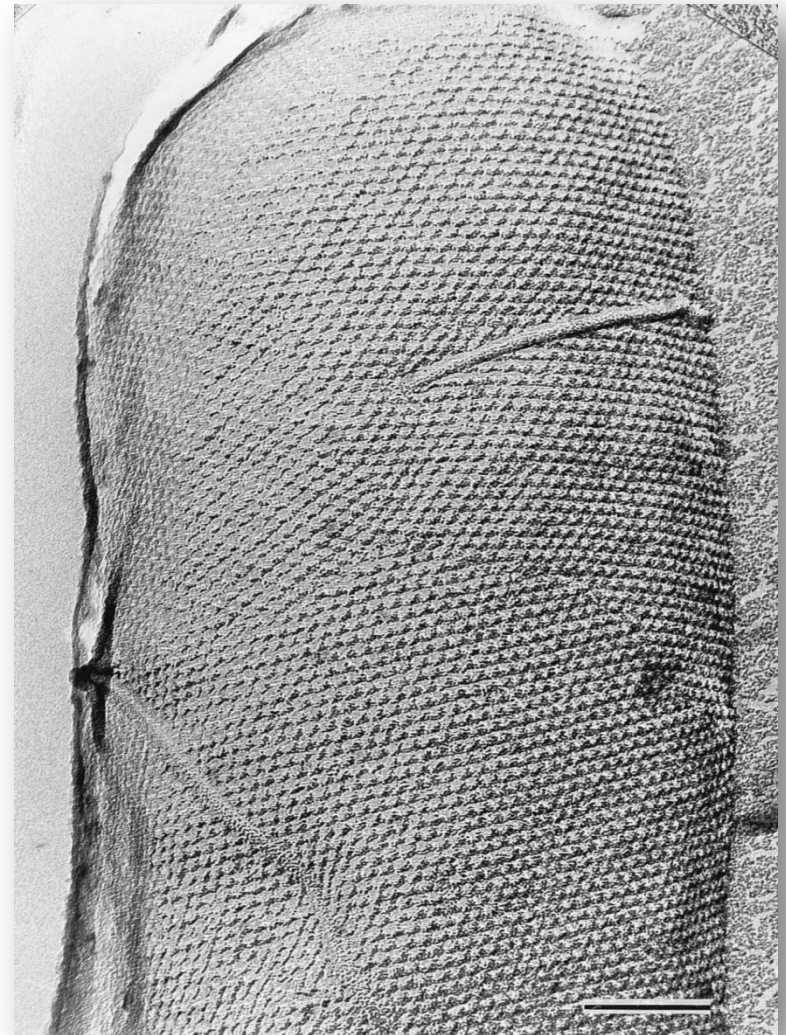
Desconhecida;

Permeabilidade;

Proteção;

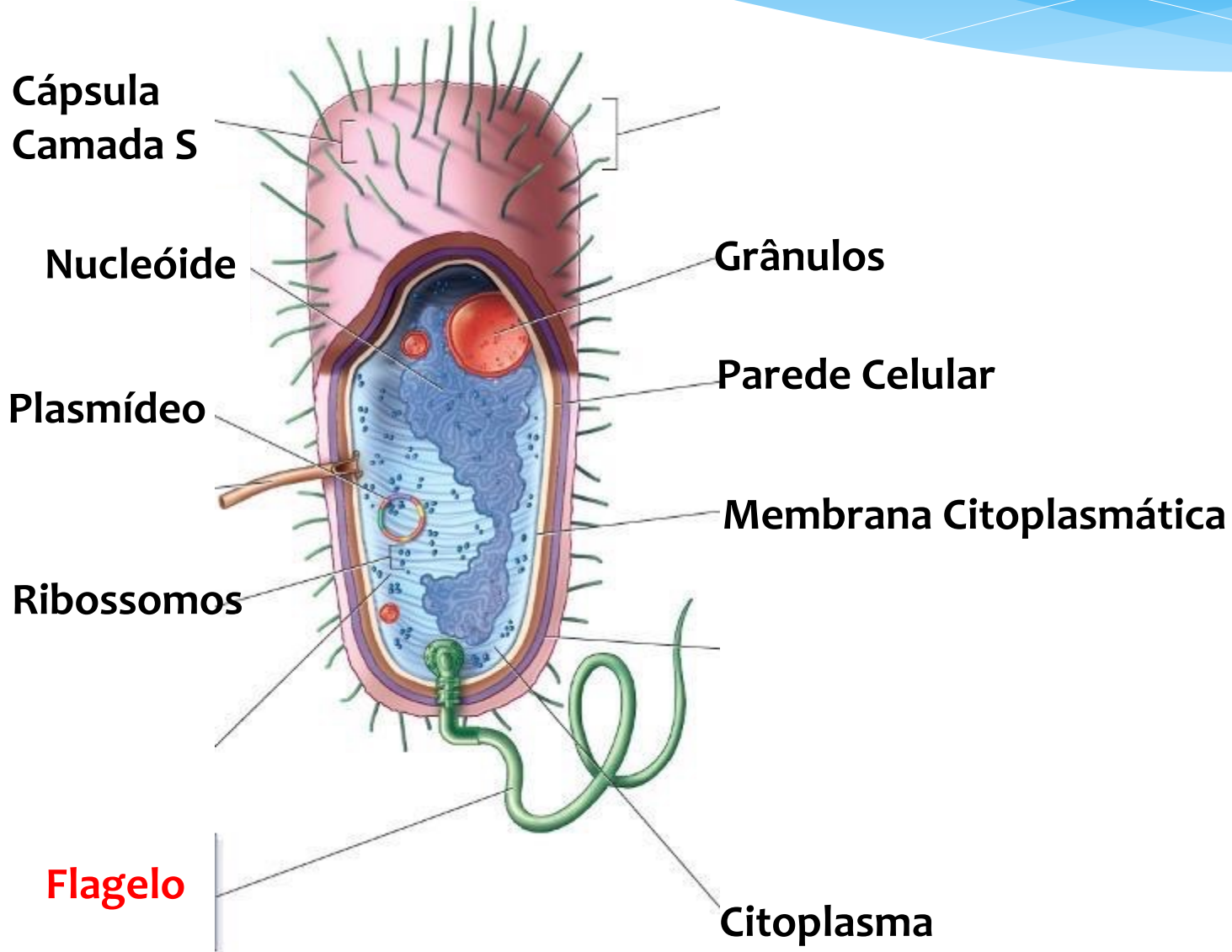
Adesão;

Biotecnológica;



Como as Bactérias se locomovem?

Estruturas



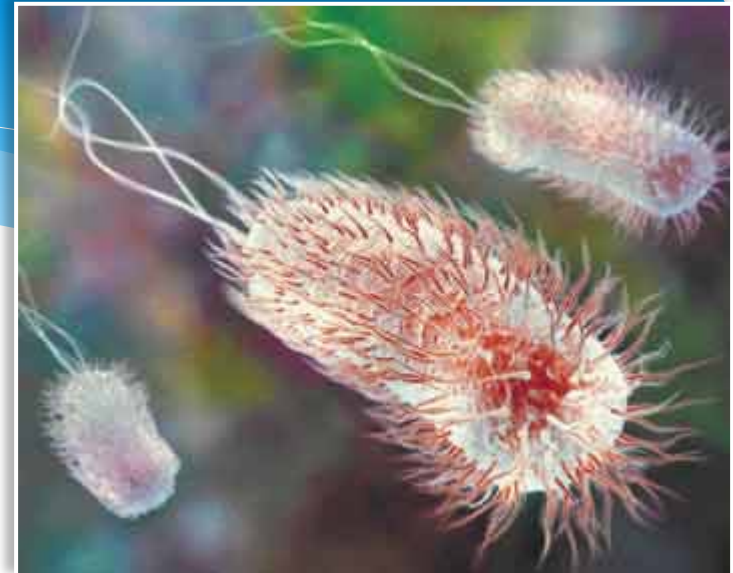
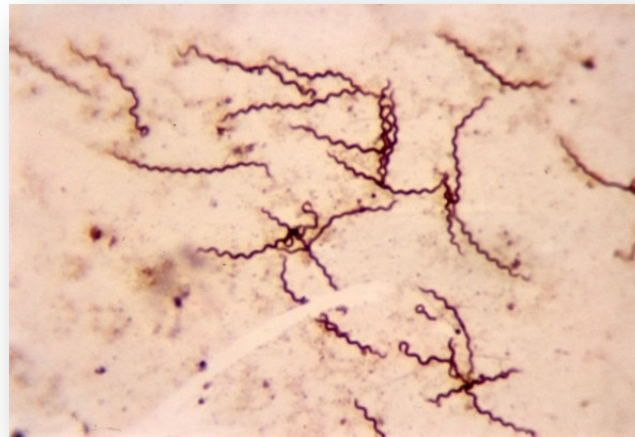
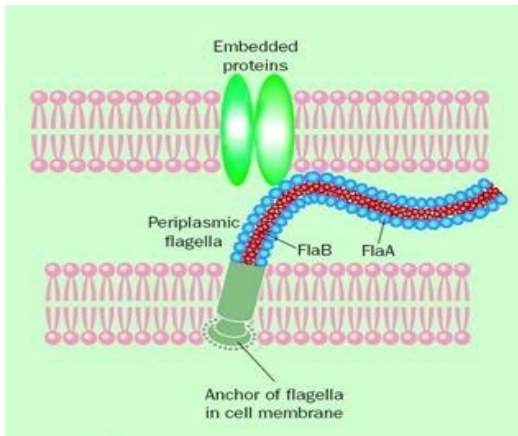
Flagelo

- Motilidade;
- Tipagem bacteriana
- Maior que a célula bacteriana

Comum: bacilo

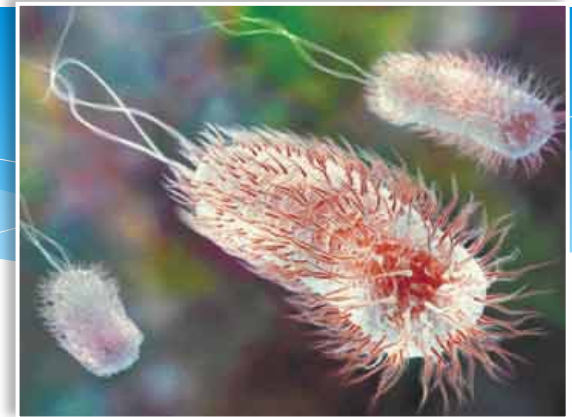
Raro: coco

- Filamento axial → espiroquetas



Flagelo

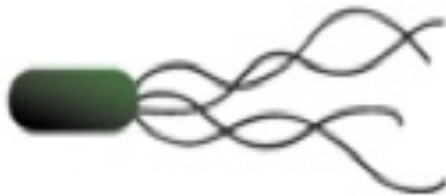
- ARRANJOS:



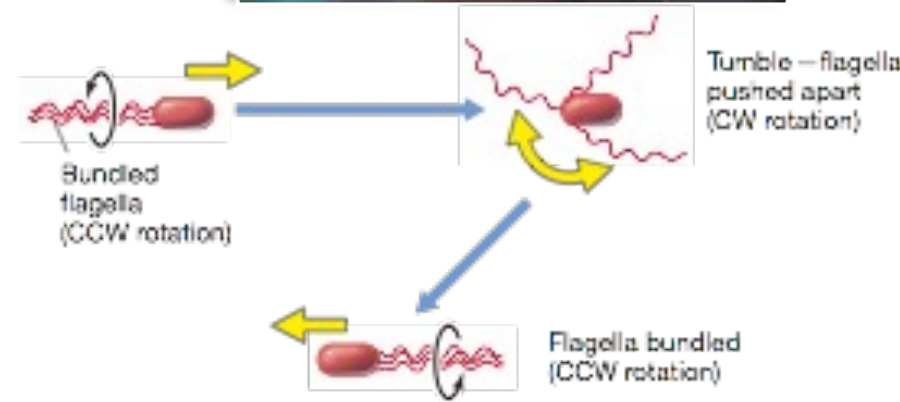
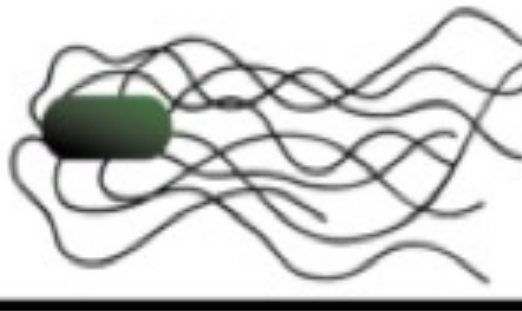
POLAR



LOFOTRÍQUIO



PERITRÍQUIO

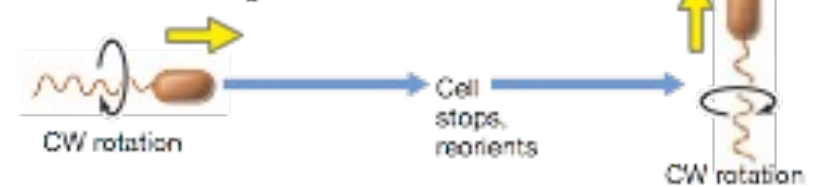


(a) Peritrichous

Reversible flagella



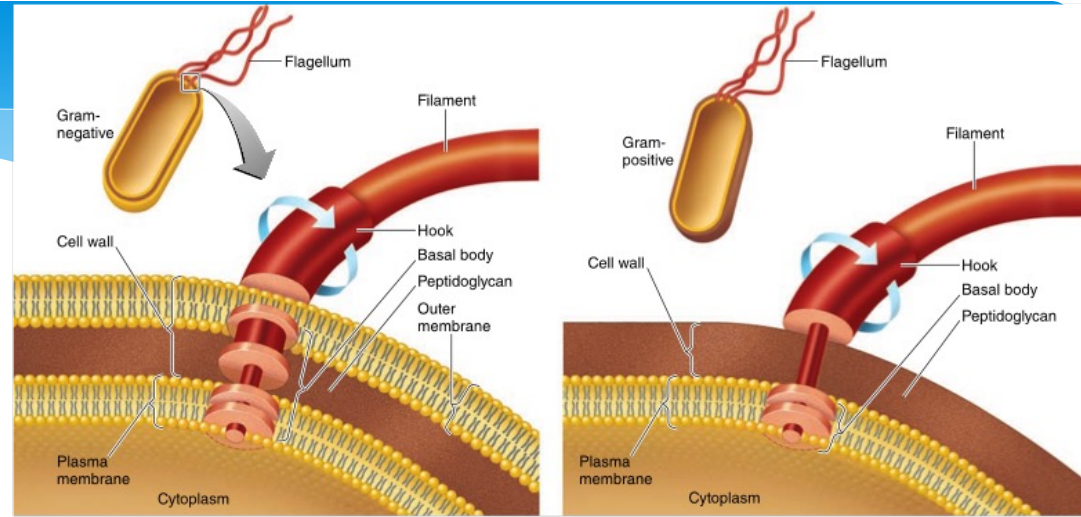
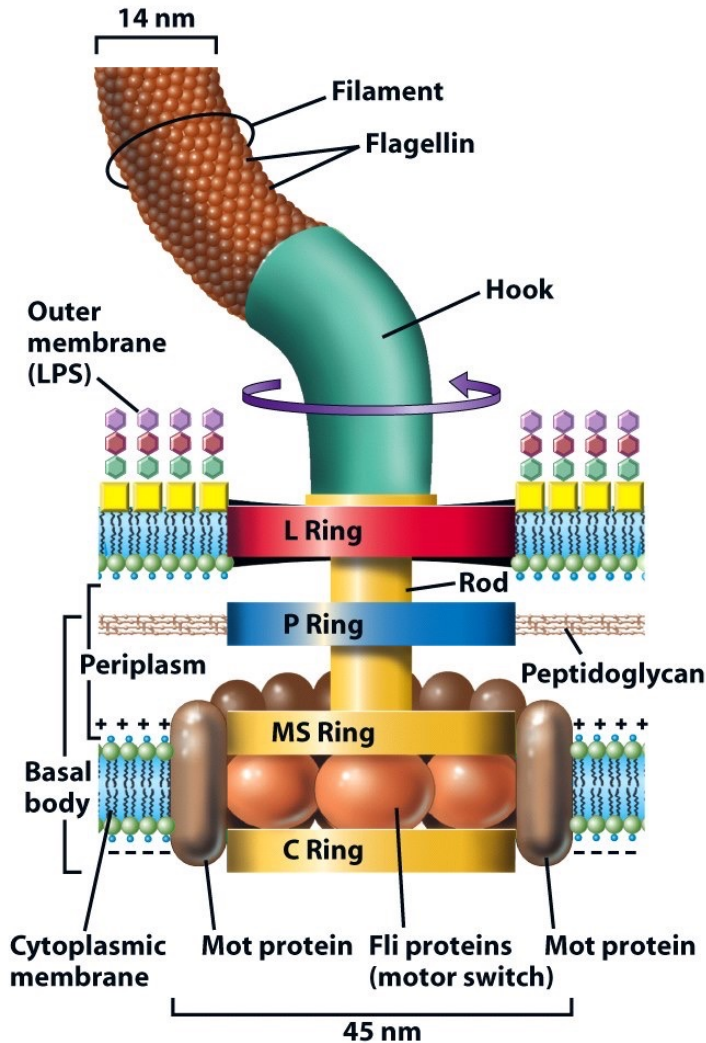
Unidirectional flagella



(b) Polar

Flagelo

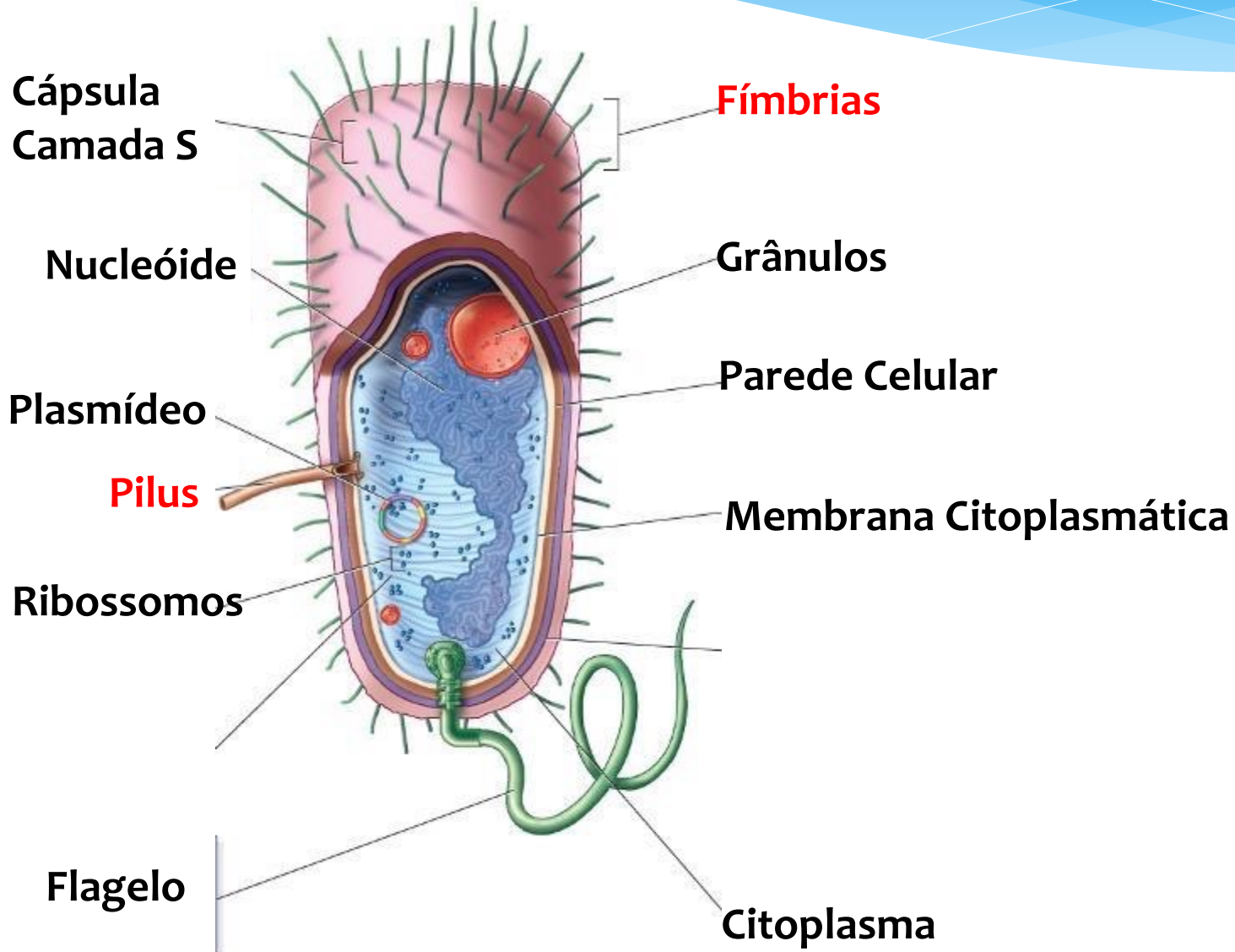
ESTRUTURA



- Único rotor natural conhecido
- Proteína Mot ativada por gradiente de prótons

Como Quimiotaxia está relacionada com o Flagelo??

Estruturas



Fimbria e pili

Filamentos proteináceos mais finos e retos que os flagelos

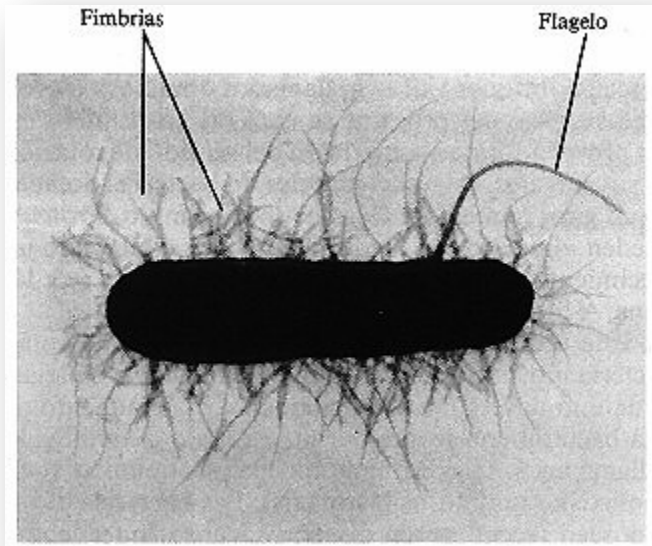
Fimbrias

Muito mais curtos que os flagelos

De poucos a centenas por célula

Função:

- Adesão



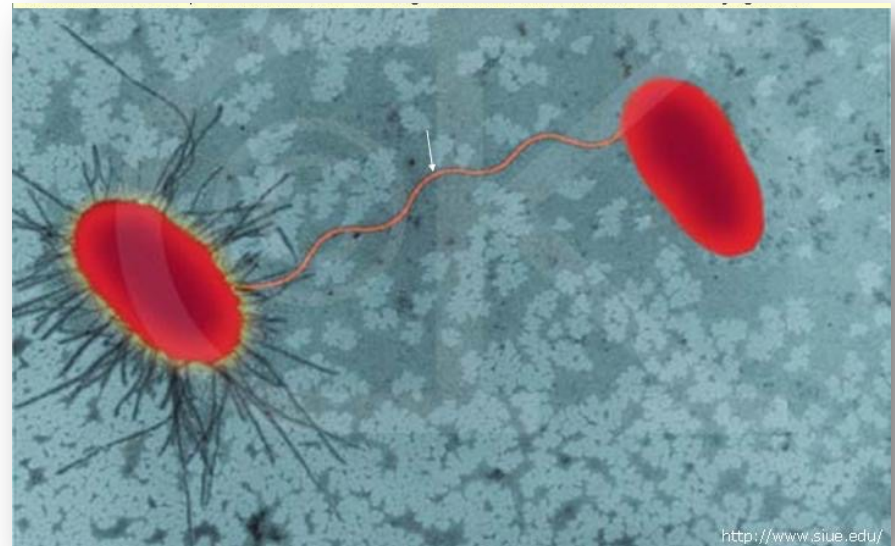
Pili

Mais longo que as fimbrias

Uma ou poucas cópias por célula

Função:

- Transferência de DNA (conjugação)
- Mobilidade – Twitching Motility



Movimento Bacteriano

Tipos

Swimming – Flagelo

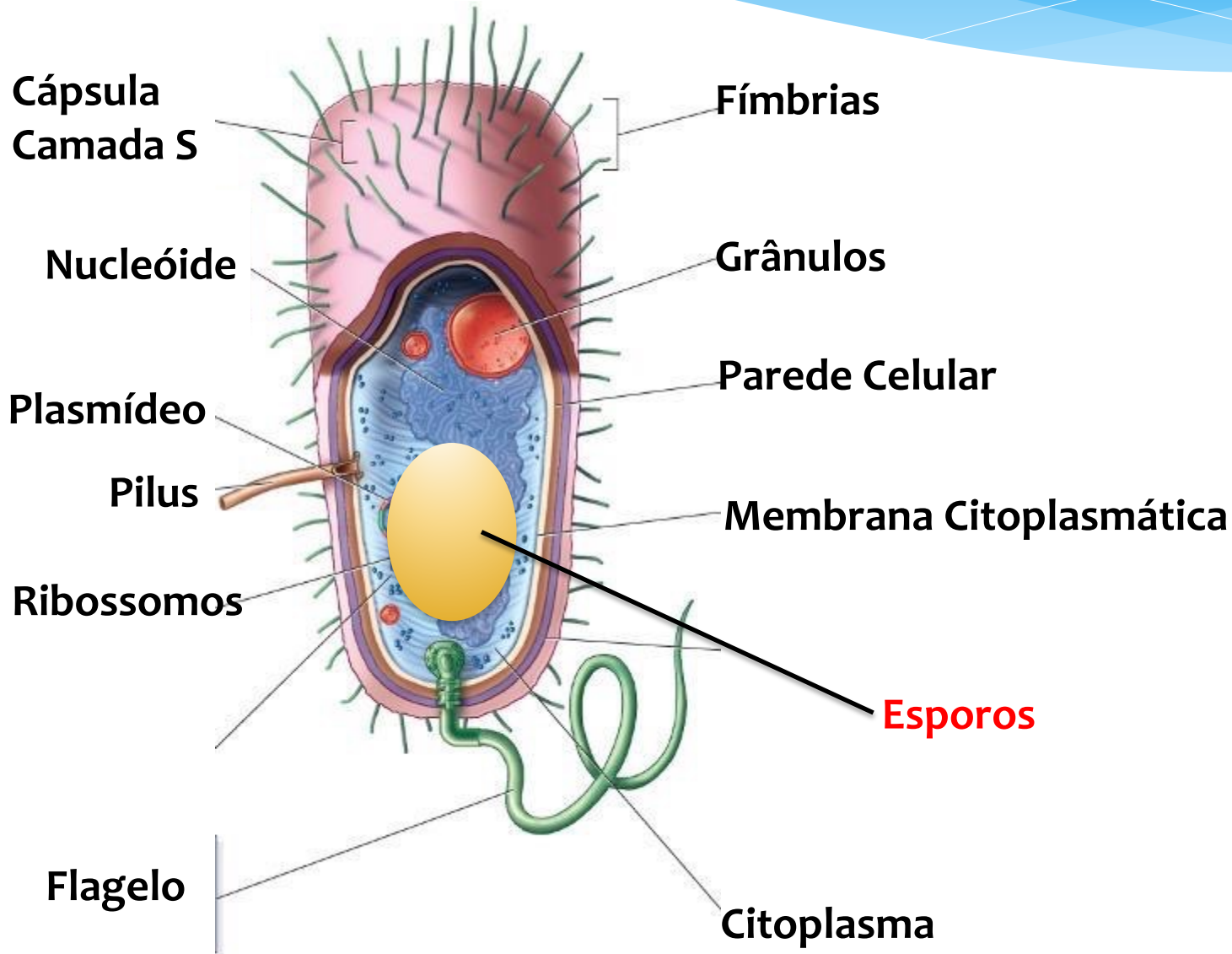
Twitching – Pilus Tipo IV

Gliding

Swarming Motility

Qual a importância destes movimentos para a célula?

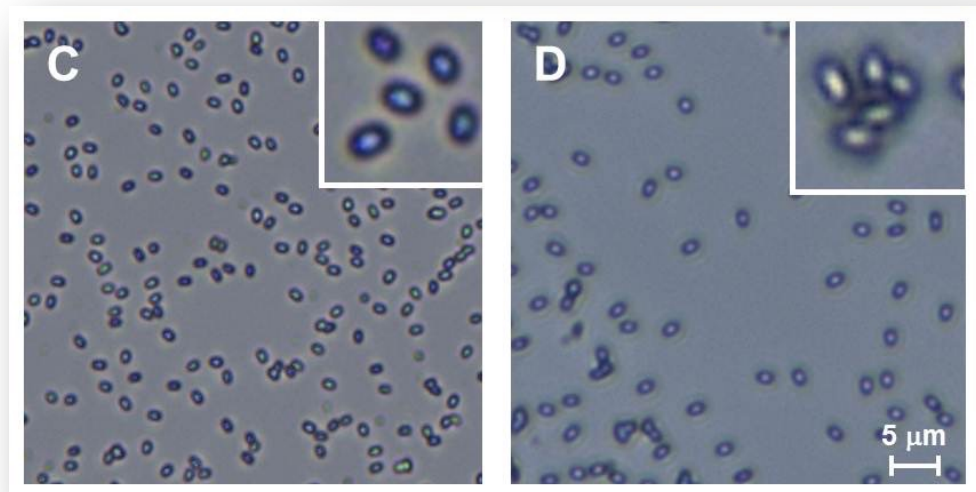
Estruturas



Esporos ou endósporos

O esporo é capaz de se manter viável mesmo depois de exposto a agressões como:

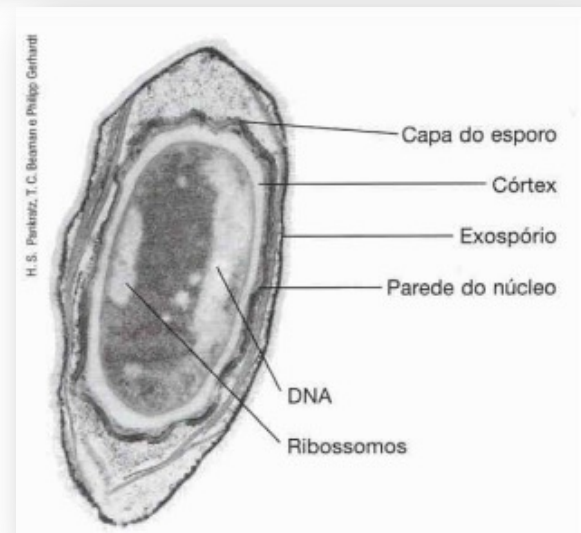
- Radiação
- Dessecação
- Químicos



Esporos ou endósporos

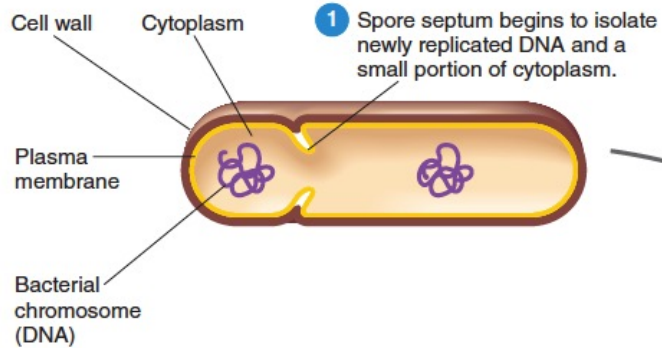
= Forma dormente da célula

- Ocorre em bactérias Gram positivas dos gêneros: *Bacillus* e *Clostridium*
- Bactérias de solo
- **Carência nutricional**
- **Coloração Schaeffer-Fulton**



IMPORTÂNCIA → esterilização!!

Esporogênese ou esporulação

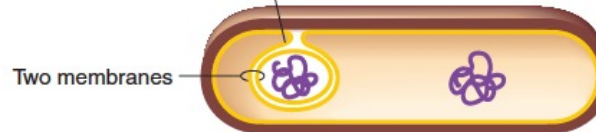


(a) Sporulation, the process of endospore formation

2 Plasma membrane starts to surround DNA, cytoplasm, and membrane isolated in step 1.



3 Spore septum surrounds isolated portion, forming forespore.

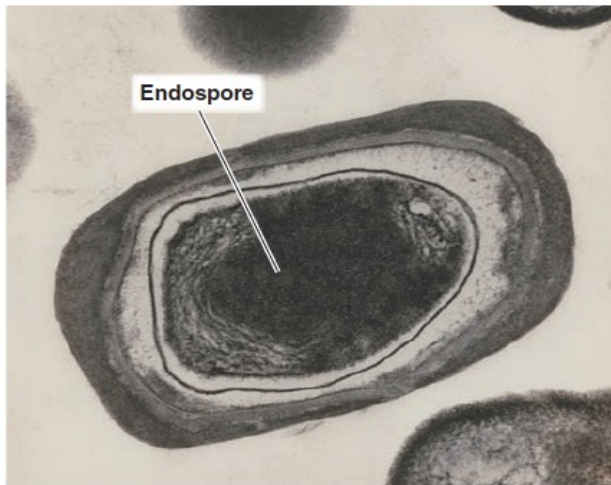
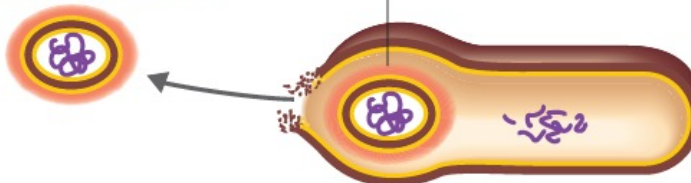


4 Peptidoglycan layer forms between membranes.



5 Spore coat forms.

6 Endospore is freed from cell.

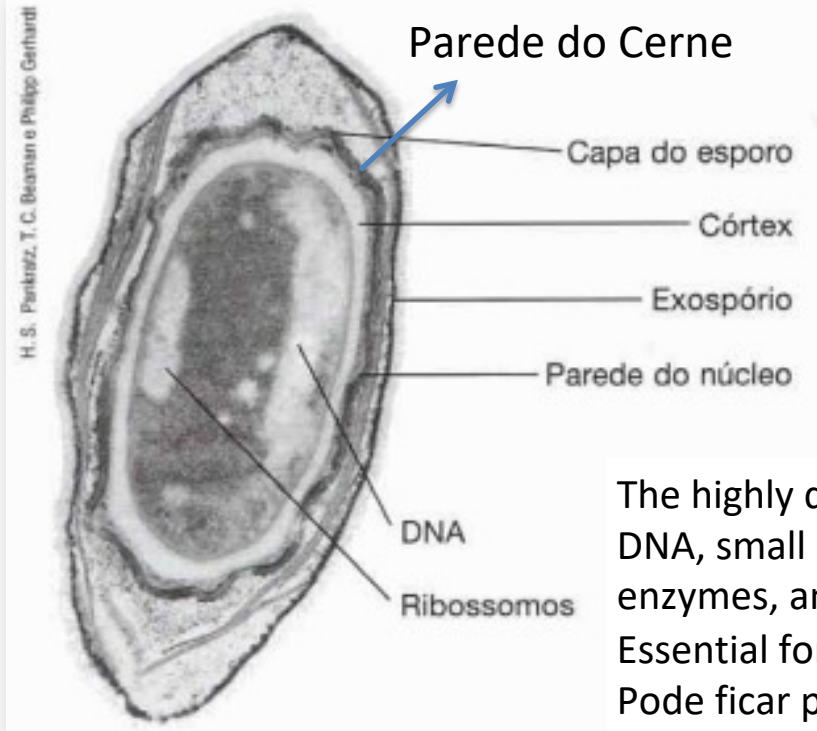


(b) An endospore of *Bacillus subtilis*

- 8 horas;
- ~ 200 genes;
- Diferenciação celular;

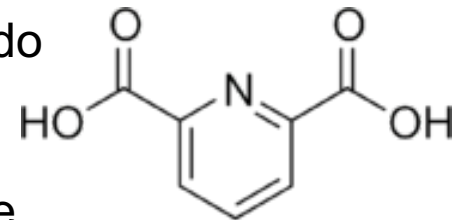
Esporos

ESTRUTURA:



The highly dehydrated endospore core has: DNA, small amounts of RNA, ribosomes, enzymes, and a few important small molecules. Essential for resuming metabolism later. Pode ficar por milhares de anos.

- Desidratação;
- Todos os endosporos tem ácido dipicolínico ligado ao cálcio (localiza principalmente no cerne) - auxilia na desidratação do esporo e estabilidade do DNA.
- Pequenas proteínas ácido solúveis (PPAS) também no cerne protegem o DNA de danos de radiação.



COLORAÇÃO GRAM

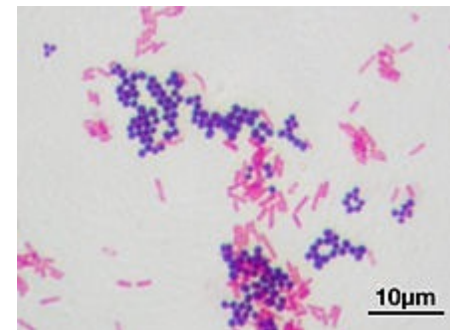
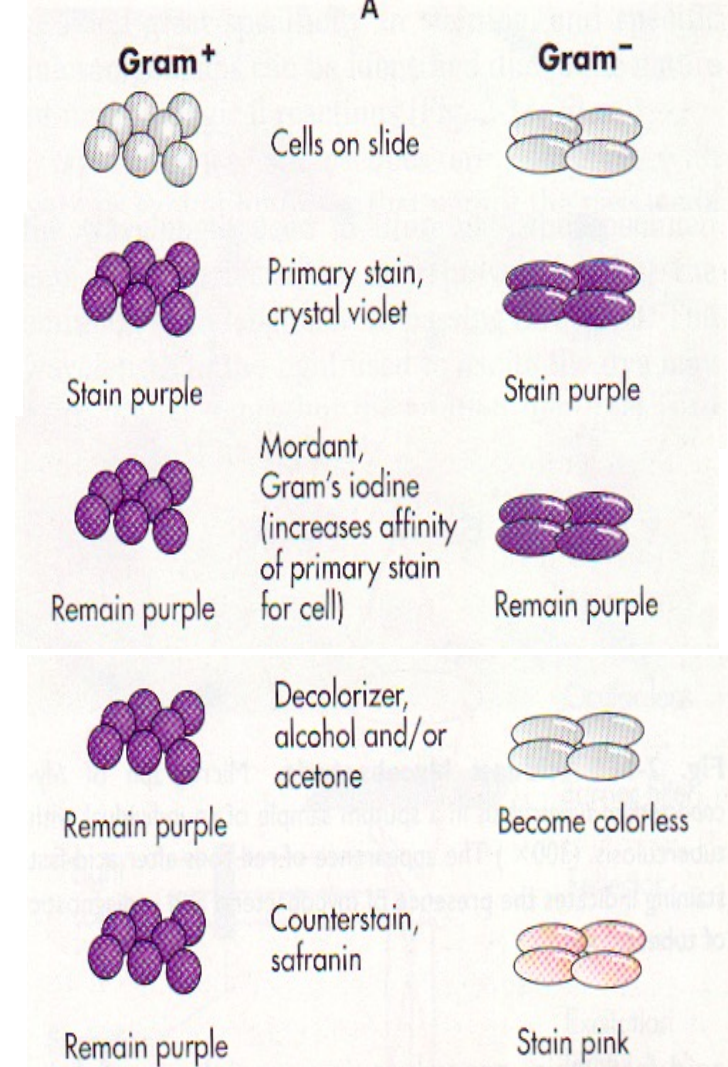
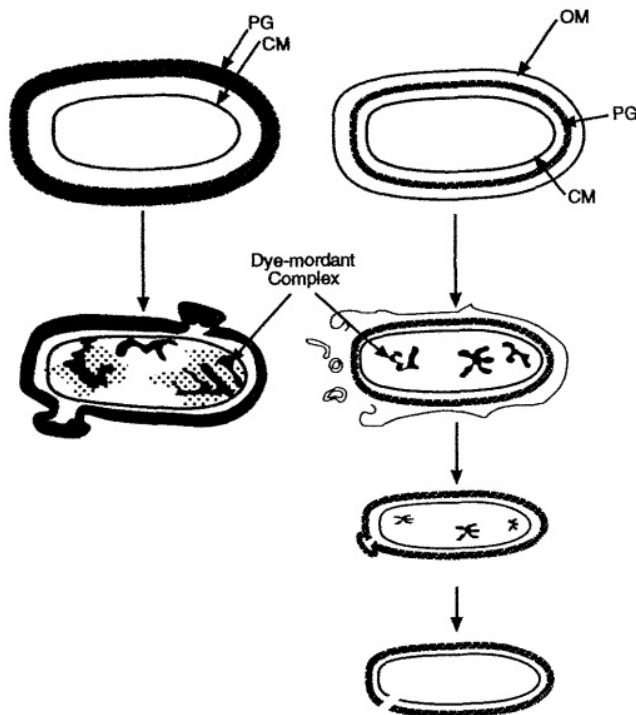
Hans Christian Gram (1853–1938)

1884 → Método empírico ;

Dois grupos:

GRAM POSITIVOS
GRAM NEGATIVOS

Porque funciona???

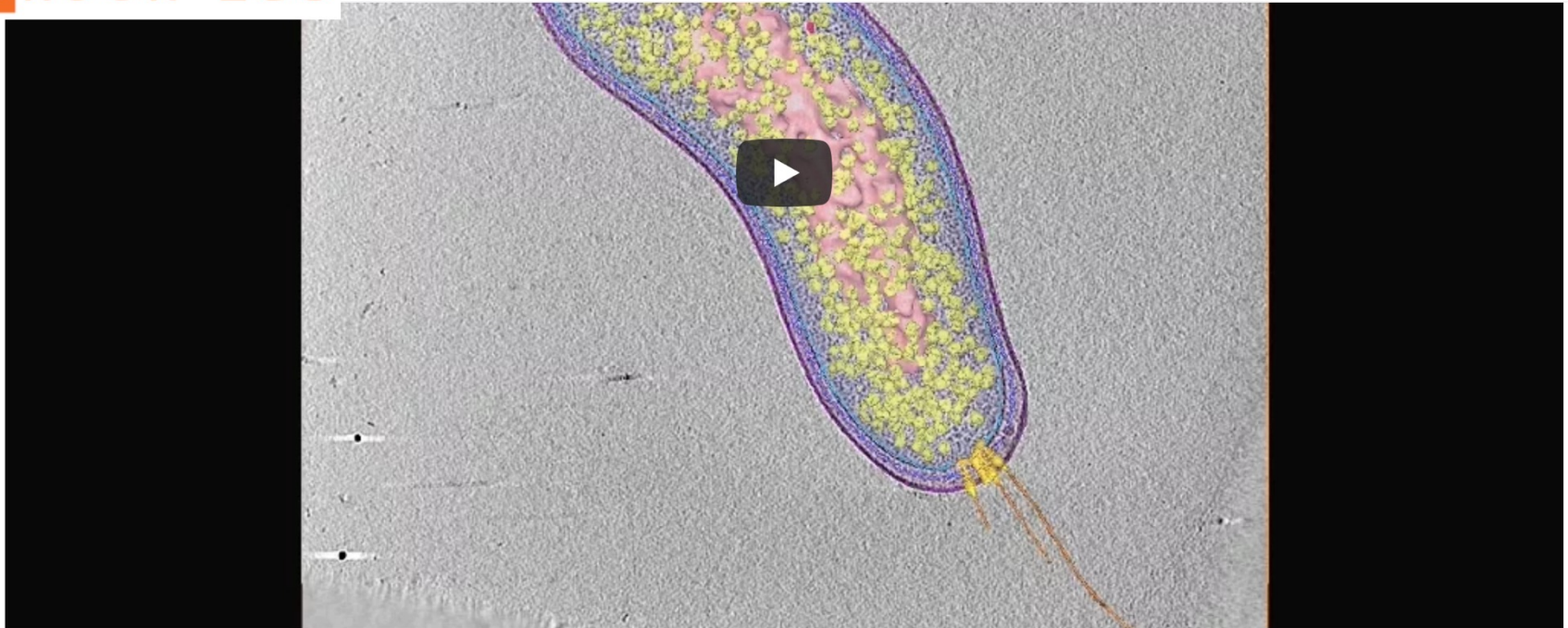


Referências

- Tortora et al. Microbiologia 10^a Ed. (2012).
 - Capítulo 4: Anatomia funcional da célula eucariótica e procariótica
- Madigan et al. Microbiologia de Brock. 13^a Ed. (2012).
 - Capítulo 3: Estrutura e Função Celular em Bactérias e Arqueas
- Black J.G. & Black L. Microbiologia – Princípios e Explorações, 8^a Ed. (2012).
 - Capítulo 4: Características das células eucarióticas e procarióticas
- Trabulsi et al. Microbiologia 5^a Ed. (2009).
 - Capítulos 1 e 2

<https://jensenlab.caltech.edu/movies/>

<https://youtu.be/YNxjWvTFzOc>



ECT of *Bdellovibrio bacteriovorus*

Electron cryotomography, 3D reconstruction, and segmentation of an intact bacterial cell highlighting cellular features and showing how, in a growing number of cases, atomic models can now be fit into their context within the cell

From the Publication:

Oikonomou, C.M., and Jensen, G.J. (2016). A new view into prokaryotic cell biology from electron cryotomography. *Nature Reviews Microbiology*.

<http://www.nature.com/nrmicro/journal/vaop/ncurrent/full/nrmicro.2016.7.html>