

# PROCARIOTES 5 TÓPICO

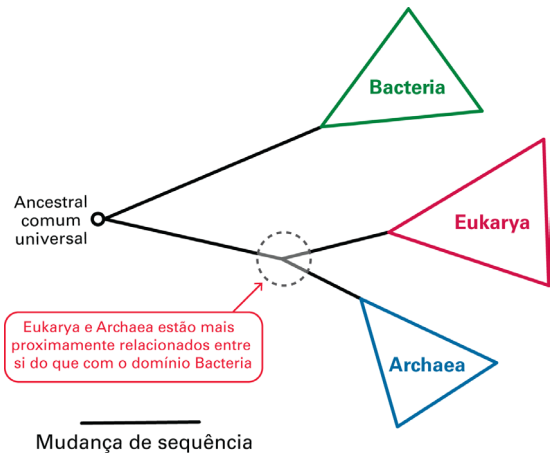
Sônia Godoy Bueno Carvalho Lopes  
Fanly Fungyi Chow Ho

- 5.1** Introdução
- 5.2** Morfologia das Bactérias
- 5.3** Estrutura celular das bactérias
  - 5.3.1** Parede Celular
  - 5.3.2** Membrana Plasmática
  - 5.3.3** Citoplasma
  - 5.3.4** Glicocálix
  - 5.3.5** Flagelo
  - 5.3.6** Fimbriae e Pilus
- 5.4** Reprodução assexuada e mecanismos de transferência de genes em bactérias
- 5.5** Diversidade metabólica e crescimento bacteriano
- 5.6** Comportamento social das bactérias
- 5.7** Bactérias Comensais e Patogênicas
- 5.8** Filogenia das Bactérias
  - 5.8.1** *Aquificae*
  - 5.8.2** *Nitrospira*
  - 5.8.3** *Chloroflexi*
  - 5.8.4** Fibrobactérias
  - 5.8.5** Proteobacteria
  - 5.8.6** Espiroquetas
  - 5.8.7** Cianobactérias
  - 5.8.8** Firmicutes
  - 5.8.9** Actinobacteria
- 5.9** Arqueas

## 5.1 Introdução

No final da década de 1970, a partir de uso de informações do RNA ribossômico para estabelecer a relação de parentesco entre micro-organismos, descobriu-se que dentro do grupo dos procariontes encontravam-se dois grandes grupos distintos: as bactérias verdadeiras (eubactérias ou simplesmente bactérias) e as arqueobactérias (do grego *archaea* = antigo, ancestral), consideradas inicialmente como grupo mais basal em relação às bactérias. Hoje se sabe, no entanto, que as arqueobactérias são mais próximas evolutivamente dos eucariontes do que dos demais procariontes do grupo das bactérias. Por serem distintas em várias características das demais bactérias, prefere-se empregar o termo *Archaea* e não mais arqueobactéria (elas não são bactérias), já que esse termo poderia transmitir a ideia de que são bactérias primitivas ou ancestrais.

Devido às diferenças genéticas entre os procariontes e à semelhança entre todos os eucariontes, o cientista **Carl Woese** dividiu os organismos vivos em três grandes domínios: *Eukarya*, *Bacteria* e *Archaea*.



**Figura 5.1:** Representação de cladograma mostrando as prováveis relações evolutivas entre os domínios *Bacteria*, *Eukarya* e *Archaea* / Fonte: Cepa

### Objetivos

Espera-se que o aluno compreenda:

- o que são organismos procariontes e sua organização;
- o que define Archea;
- os critérios de divisão destes organismos vivos em três grandes domínios: *Eukarya*, *Bacteria* e *Archaea*.



Agora é com você:  
Realizar a **atividade 1**

## 5.2 Morfologia das Bactérias

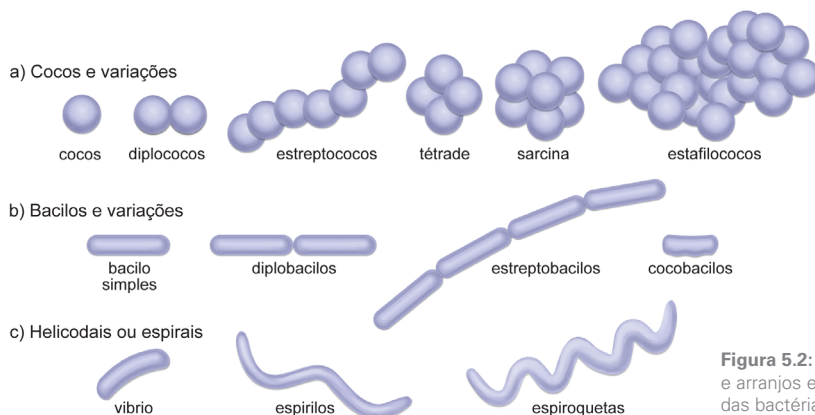
As células bacterianas podem ocorrer individualmente ou em colônias e medem cerca de 0,2 a 2  $\mu\text{m}$  de diâmetro e de 2 a 8  $\mu\text{m}$  de comprimento. Há exceções que incluem bactérias gigantes com células de até 600  $\mu\text{m}$  de comprimento, como as bactérias *Epulopiscium fishelsoni* (de 200 a 700  $\mu\text{m}$ ) encontradas no tubo digestório do peixe *Thiomargarita namibiensis* (750  $\mu\text{m}$ ), presente em sedimentos oceânicos.

A forma das células nas diferentes espécies é constante, mas entre as espécies essa forma é variável. Existem três formatos básicos dos quais surgem inúmeras variações: cocos, bacilos e helicoidais (**Figura 5.2**).

O formato mais comum é o cocos ou esférico. Podem ser encontrados individualmente, agrupados em pares (*Diplococcus*), em cadeias (*Streptococcus*), em 4 (tétrades), em 8, formando um cubo (*Sarcina*) ou ainda agrupados irregularmente lembrando cachos de uva (*Staphylococcus*) (**Figura 5.2**).

Outra forma bastante recorrente é de *Bacilos* (bastonete ou bastões), célula cilíndrica que se divide ao longo do menor eixo. Os bastonetes podem variar em tamanho e espessura (longos e delgados, pequenos e grossos, extremidade reta, convexa ou arredondada), e podem ser individuais, agrupados aos pares (diplobacilos) ou em cadeias (estreptobacilos). Podem ainda assumir formas mais curtas, parecidas com cocos (cocobacilos) (**Figura 5.2**).

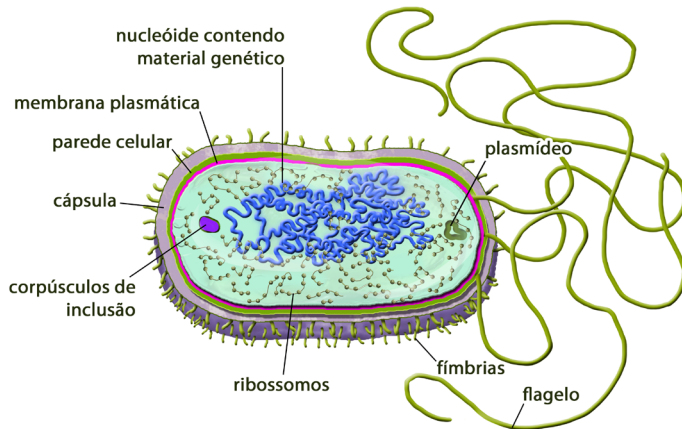
O terceiro grupo morfológico é constituído por bactérias com formas helicoidais ou espiraladas. Dentre elas, há os espirilos, as espiroquetas e os vibrões. Os espirilos possuem corpo rígido e se movem por meio de flagelos externos. As espiroquetas são flexíveis e locomovem-se em função de filamentos internos, presentes em volta do eixo maior da célula, promovendo o giro dessas bactérias em torno do maior eixo. Quando as formas espiraladas são muito curtas, assumindo a forma de vírgula, são chamadas de vibrões (**Figura 5.2**).



**Figura 5.2:** Formatos celulares e arranjos encontrados no grupo das bactérias / Fonte: Cepa

## 5.3 Estrutura celular das bactérias

A estrutura celular das bactérias será aqui apresentada a partir da parede celular, analisando-se em seguida as estruturas internas (membrana plasmática e citoplasma, destacando-se nucleóide, plasmídeos, ribossomos e corpúsculos de inclusão) e externas à parede celular (glicocálix, flagelo, fimbria e *pili*) (Figura 5.3).

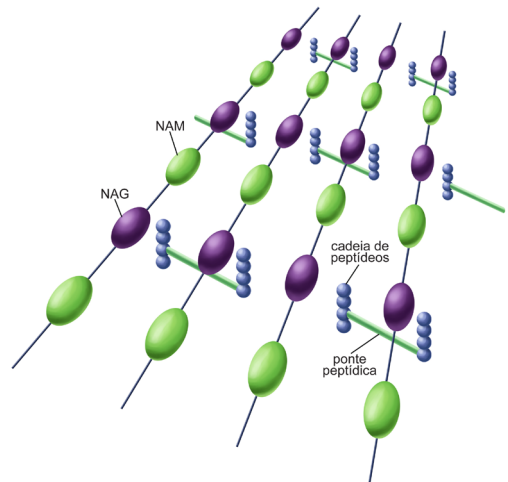


**Figura 5.3:** Representação esquemática das estruturas celulares que compõem a célula bacteriana / Fonte: Cepa

### 5.3.1 Parede Celular

A **parede celular** é uma estrutura semirrígida que protege a célula e impede seu rompimento quando a pressão osmótica interna é maior do que a externa. Ela molda o formato celular, serve de âncora para o flagelo e pode ainda contribuir para a patogenicidade de muitas espécies bacterianas. Devido à sua importância para a bactéria, é uma estrutura alvo de muitos antibióticos.

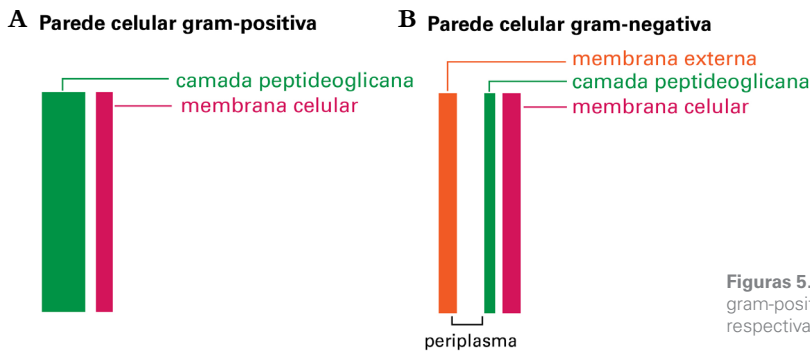
A parede celular é complexa e primordialmente composta por uma rede entremeadada de **peptideoglicano** (também conhecido como mureína), um polímero composto por muitas subunidades idênticas. Uma subunidade de peptideoglicano é formada por NAG (N-acetilglicosamina), NAM (ácido N-acilmurâmico) e uma cadeia de polipeptídeos geralmente de 4 aminoácidos (Figura 5.4).



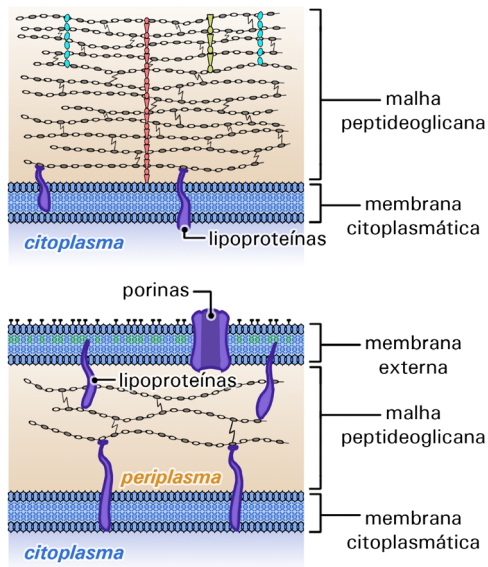
**Figura 5.4:** Configuração da malha peptideoglicana formada pelas moléculas de NAG, NAM e a cadeia polipeptídica / Fonte: Cepa

A parede celular das bactérias pode ser composta por uma ou mais camadas de peptidoglicanos. Christian Gram desenvolveu um método de coloração em 1884, chamado de Coloração Gram (box 1), que acabou por dividir as bactérias em dois grandes grupos: gram-positivas e gram-negativas.

Bactérias gram-positivas apresentam parede celular composta por diversas camadas de peptidoglicanos que formam uma estrutura espessa (**Figura 5.5A**). A parede celular das bactérias gram-negativas é composta por uma ou poucas camadas de peptidoglicanos e outro componente, a membrana externa, semelhante à membrana plasmática (**Figura 5.5B**). A camada de peptidoglicano, por ser mais fina, torna as células mais susceptíveis à quebra mecânica. A membrana externa é composta por lipopolissacarídeos, lipoproteínas e fosfolipídios, e é uma barreira contra antibióticos e enzimas digestivas. Proteínas transmembranas chamadas porinas facilitam a passagem de nutrientes para a célula.



**Figuras 5.5A e 5.5B:** Bactérias gram-positiva e gram-negativa, respectivamente / Fonte: Cepa



**Figura 5.5:** Diferenças entre as camadas de peptidoglicanos em bactérias gram-positivas e gram-negativas (figura com foco na espessura da camada peptidoglicana) / Fonte: Cepa

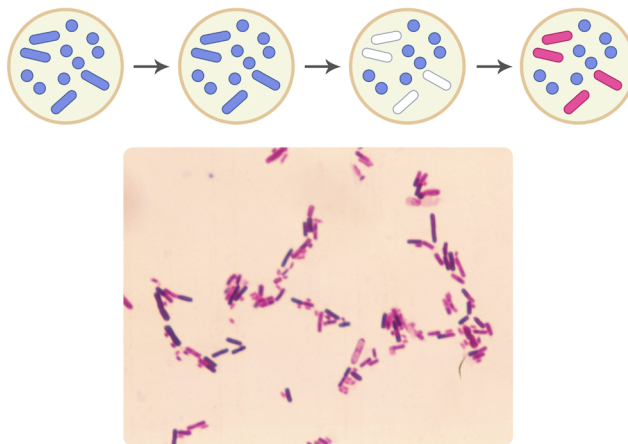


## Mecanismo de coloração Gram

Utilizam-se quatro substâncias para a realização da coloração Gram em bactérias: cristal de violeta, iodina, álcool e safranina (**Figura 5.6**). O cristal de violeta entra no citoplasma e cora em tom de roxo tanto bactérias gram-positivas como bactérias gram-negativas. A iodina, quando em contato com o cristal de violeta, promove a formação de grandes fragmentos de cristais que são incapazes de atravessar a parede celular. A aplicação do álcool resulta em dois tipos de reações:

- desidratação da parede celular de bactérias gram-positivas, tornando-a ainda mais impermeável aos cristais de violeta-iodina. O resultado são células com cor violeta ou roxo;
- dissolução da membrana externa das bactérias gram-negativas, o que deixa pequenas aberturas na delgada camada de peptidoglicanos, permitindo a saída dos cristais de violeta-iodina. As células tornam-se descoloridas.

Depois desse processo, aplica-se o contracorante safranina, que torna as bactérias gram-negativas rosadas.



**Figura 5.6:** Esquema mostrando as etapas do Método Gram e fotomicrografia de bactérias gram-positivas (mais escuras) e gram-negativas (mais claras) / Fonte: Cepa (ilustração; [Latinstock](#) (fotografia))



O grupo dos **micoplasmas**, as menores bactérias conhecidas, é caracterizado pela ausência de parede celular e presença de membrana plasmática mais rígida que nas demais bactérias, o que auxilia na proteção contra a ruptura celular. É também pela falta de parede celular que os micoplasmas não possuem um formato celular definido.

### 5.3.2 Membrana Plasmática

Assim como todas as membranas plasmáticas de todas as células, a membrana das bactérias é composta por uma bicamada de fosfolípidios, onde estão imersos total ou parcialmente diferentes tipos de proteínas. É na membrana plasmática que ocorrem diversos processos metabólicos cruciais para a sobrevivência da célula bacteriana, além de atuar como meio seletivo para entrada e saída de substâncias da célula. Na face interna dessa membrana, ou seja, na face em contato com o citoplasma, existem inúmeras enzimas associadas e que participam de diversas etapas do metabolismo bacteriano.

### 5.3.3 Citoplasma

Delimitado pela membrana plasmática, o citoplasma é uma matriz aquosa semitransparente, rica em água, em que estão dissolvidas proteínas, carboidratos, íons e compostos de baixo peso molecular. Uma região especial do citoplasma é o nucleóide, onde se encontra o material genético da bactéria. Lembre que as bactérias são organismos procariontes, portanto, não possuem núcleo. No citoplasma estão presentes os ribossomos e depósitos de reserva chamados corpos de inclusão.

**Nucleóide:** nessa região da célula está o cromossomo bacteriano, uma molécula circular de DNA. Recentemente, no entanto, foi registrada a presença de DNA linear em certas bactérias, uma condição conhecida apenas para eucariontes. Seja circular ou linear, o DNA bacteriano encontra-se bastante condensado na célula. Se esticássemos o DNA circular condensado da bactéria *Escherichia coli*, por exemplo, ele mediria aproximadamente 1.440  $\mu\text{m}$  de comprimento. Graças a essa condensação e **alto grau de empacotamento** do DNA, é possível que essa longa molécula caiba dentro da célula, que mede de 1 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

**Plasmídeos:** além do DNA do cromossomo, bactérias também possuem no citoplasma os plasmídeos, pequenas moléculas circulares de DNA que podem se replicar independentemente do DNA do cromossomo. Plasmídeos contêm genes que, apesar de não serem cruciais para a célula, conferem grande vantagem a ela. Neles podem estar genes de resistência a antibióticos e de tolerância a substâncias tóxicas. Os plasmídeos podem ser transferidos para outras células sem prejuízo algum. A manipulação genética desse elemento é vastamente utilizada em pesquisas biotecnológicas.

**Ribossomos:** são estruturas diminutas responsáveis pela síntese de proteínas. Cada ribossomo é composto por duas subunidades denominadas 30S e 50S, que são menores do que as

subunidades que formam os ribossomos dos eucariontes. Cada uma das subunidades possui uma parte de proteínas e outra de RNA (chamadas RNA ribossômico ou ribossomal).

**Corpúsculos de inclusão:** são grânulos de material orgânico ou inorgânico não envoltos por membranas. Servem geralmente como reservas de compostos para posterior uso pela célula:

- grânulos de polissacarídeos: podem conter glicogênio ou amido como reservatórios de fontes de carbono;
- grânulos metacromáticos: são reservas de fosfato, composto integrante do DNA. São assim denominados porque podem apresentar diferentes cores em processos de coloração;
- grânulos de enxofre: podem servir como reservas de energia para bactérias do gênero *Thiobacillus*, por exemplo, que são capazes de produzir energia pela oxidação de enxofre ou compostos que os contêm;
- magnetossomos: são inclusões com acúmulo de cristais de magnetita de ferro. Essas estruturas se comportam como ímãs que respondem ao campo magnético da Terra e atuam na orientação no meio dessas bactérias que os contêm;
- carboxissomos: reservas de enzimas necessárias para fixação de  $\text{CO}_2$ ;
- vesículas de gás: utilizadas no controle da flutuabilidade em espécies que vivem em ambiente aquático. Essas vesículas não são delimitadas por membrana, mas por moléculas de proteínas.

### 5.3.4 Glicocálix

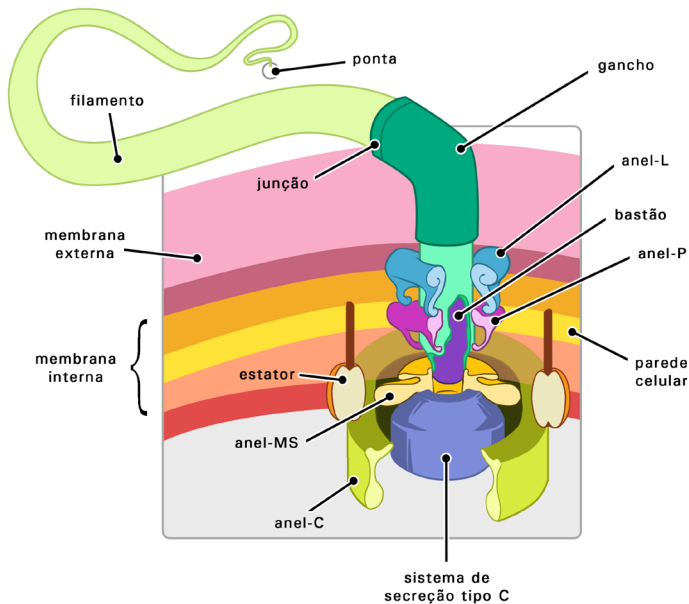
O glicocálix é uma camada viscosa externa à parede celular. É produzida pela célula e secretada para a superfície celular. Se tal substância, que pode ser composta por uma mistura de polissacarídeos e polipeptídeos, for altamente organizada e intimamente ligada à parede celular, é denominada **cápsula**. As cápsulas geralmente protegem as células bacterianas de serem fagocitadas por células eucarióticas. Por exemplo, a bactéria *Streptococcus pneumoniae* possui cepas com e sem cápsula e somente as que possuem cápsula são capazes de causar pneumonia, pois a cápsula impede que a bactéria seja destruída pelas células de defesa do nosso corpo.

O glicocálix também pode auxiliar a célula na aderência a superfícies, permitindo o crescimento bacteriano em diversos substratos, que vão desde rochas, raízes de plantas, dentes (causando cáries), tubulações etc. Além disso, pode servir como fonte de nutrientes, auxiliar na proteção contra desidratação e no bloqueio da saída de nutrientes da célula.



### 5.3.5 Flagelo

Os flagelos das bactérias diferem em composição e funcionamento dos flagelos presentes em células eucarióticas, mas em ambos os casos os flagelos atuam na locomoção das células flageladas. Nas bactérias, os flagelos empurram as células e são formados por vários tipos de proteínas em arranjos muito complexos, como mostra a **Figura 5.7**.



**Figura 5.7:** Esquema do flagelo bacteriano / Fonte: Cepa



Para visualizar um pouco melhor como funciona o flagelo bacteriano, assista aos vídeos sugeridos a seguir:

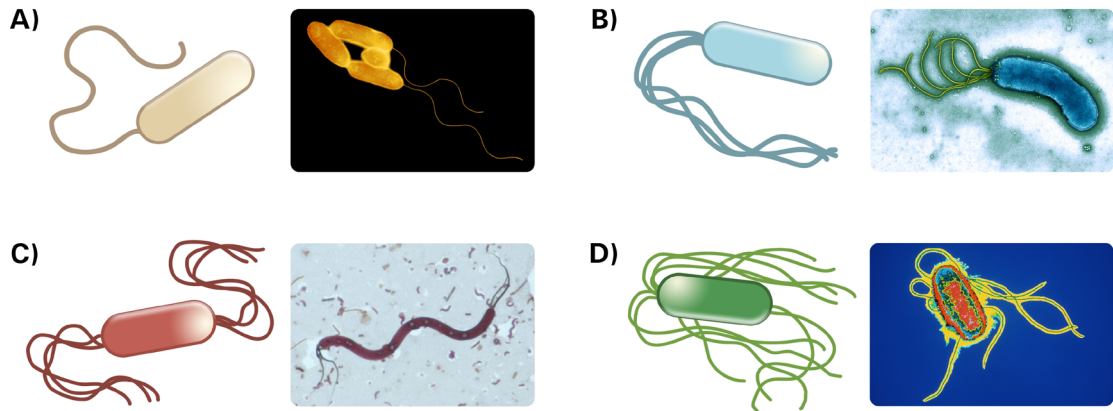
Vídeo 1: <http://www.youtube.com/watch?v=hq4qrCNE1sA>

Vídeo 2: <http://www.youtube.com/watch?v=WMiBavaPmaM>

O número e a distribuição dos flagelos variam nas diferentes espécies (**Figura 5.8**) e, em função disso, as células podem ser classificadas em:

- **monotricas:** quando possuem um só flagelo. Exemplo: *Vibrio cholerae*;
- **lofotricas:** quando possuem múltiplos flagelos localizados em somente um polo da célula;

- **anfitricas:** quando possuem um ou mais flagelos em cada extremidade da célula; nesse caso, quando o(s) flagelo(s) de um polo está(ão) ativo(s), o(s) do polo oposto fica(m) inativo(s) e vice-versa;
- **peritricas:** quando possuem flagelos em toda a superfície da célula. Exemplo: *Escherichia coli*.



**Figura 5.8:** Tipos de flagelos encontrados nas bactérias e um organismo. **(A)** monotricas (*Pseudomonas aeruginosa*); **(B)** lofotricas (*Helicobacter pylori*); **(C)** anfitricas (*Spirillum volutans*) e **(D)** peritricas (*Escherichia coli*) / Fonte: [Latinstock](#) (fotografia); Cepa (ilustração)

### 5.3.6 Fimbriae e Pilus

São estruturas externas à parede celular, compostas por proteínas denominadas pilinas. Apesar de serem semelhantes aos flagelos, essas estruturas não auxiliam na motilidade das células.

**Fimbrias** são estruturas capilares que auxiliam no processo de colonização de ambientes pelas células bacterianas – uma célula pode conter centenas de fimbrias. Assim como o glicocálix, as fimbrias auxiliam a aderência da célula às diversas superfícies, permitindo a colonização em superfícies rochosa e tecidos vivos.

**Pili** (singular: *pilus*) são estruturas geralmente mais longas que as fimbrias e estão em menor número na célula bacteriana (de 1 a 10 por célula). Além de auxiliar na aderência de superfícies, os *pili* também estão envolvidos no processo de transferência de material genético entre 2 células bacterianas (conjugação). Por esse motivo, podem ser chamadas de pelo sexual.



Agora é com você:  
Realizar a **atividade 2, questão 1**.

## 5.4 Reprodução assexuada e mecanismos de transferência de genes em bactérias

Bactérias reproduzem-se de forma assexuada basicamente por 3 mecanismos: fissão binária, fissão múltipla e brotamento.

A fissão binária é o tipo mais comum. Nesse caso, num primeiro estágio, a célula bacteriana cresce em volume e seu material genético é duplicado. Durante o aumento do volume celular, há uma coordenação da síntese de todos os componentes essenciais para a manutenção da célula – peptidoglicanos, lipídios, proteínas, enzimas, ribossomos. Após a replicação do material genético, um septo se forma através da invaginação da membrana celular acompanhada pela síntese de uma nova parede celular de peptidoglicano. A formação do septo promove a distribuição do citoplasma em dois compartimentos distintos, aproximadamente de mesmo tamanho, cada um contendo uma cópia do material genético. As células finalmente se separam completamente, formando duas células-filhas idênticas.



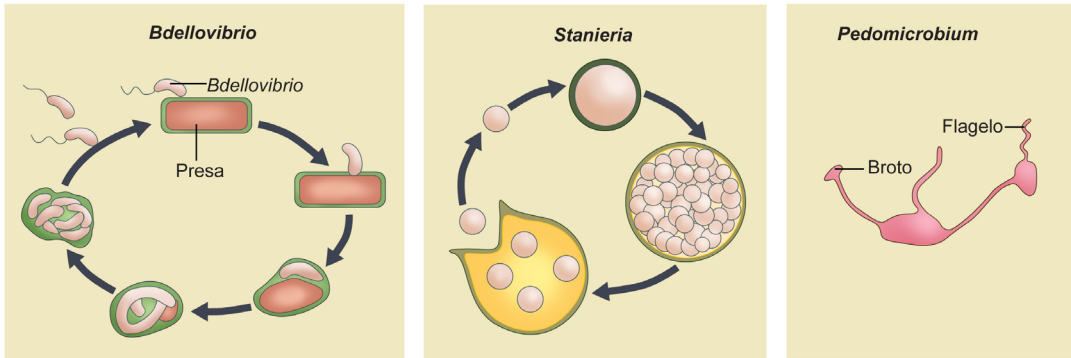
Para entender melhor, assista aos seguintes vídeos:

Vídeo 1: <http://www.youtube.com/watch?v=eqrtNef7w38&NR=1>

Vídeo 2: <http://www.youtube.com/watch?v=SLpFJ1JeRYs&feature=related>

A fissão múltipla resulta da rápida sucessão de múltiplas divisões do material genético ou divisão simultânea em diversos locais da célula-mãe, dando origem, de uma vez só, a múltiplas células-filhas. Como exemplo, podemos citar cianobactérias do gênero *Staniera* e o parasita intracelular obrigatório de outras bactérias, o gênero *Bdellovibrio*, comum em água doce e solos úmidos.

O brotamento é uma forma de reprodução assexuada predominante em certas bactérias, como as do gênero *Pedomicrobium*. Ocorre em água doce e solos úmidos. Nesse processo, a célula-mãe não cresce significativamente em volume e células-filhas brotam, crescem até atingirem o tamanho da célula adulta e se separam da célula-mãe.



**Figura 5.9:** Exemplos de propagação celular alternativa à fissão binária. **(A)** fissão múltipla em *Bdellovibrio*: um indivíduo penetra na célula de outra bactéria e dentro dela aumenta em tamanho e multiplica o material genético formando vários nucleoides. Quando os nutrientes da célula parasitada esgotam, ocorre a delimitação das células, dando origem a diversos indivíduos que poderão infectar outras células hospedeiras; **(B)** fissão múltipla em *Staniera*: há replicação do material genético acompanhado da formação de diversos nucleoides; depois, ocorrem sucessivas fissões do citoplasma levando à formação de diversas células-filhas, que são liberadas com o rompimento da célula-mãe; **(C)** brotamento em *Pedomicrobium*, mostrando três células-filhas se formando em diferentes estágios do processo, antes de se separarem da célula-mãe / Fonte: Cepa



Para ver a reprodução de *Bdellovibrio*, assista ao vídeo  
<http://www.youtube.com/bbsrcmedia#p/u/14/-uZjo0ohjFw>

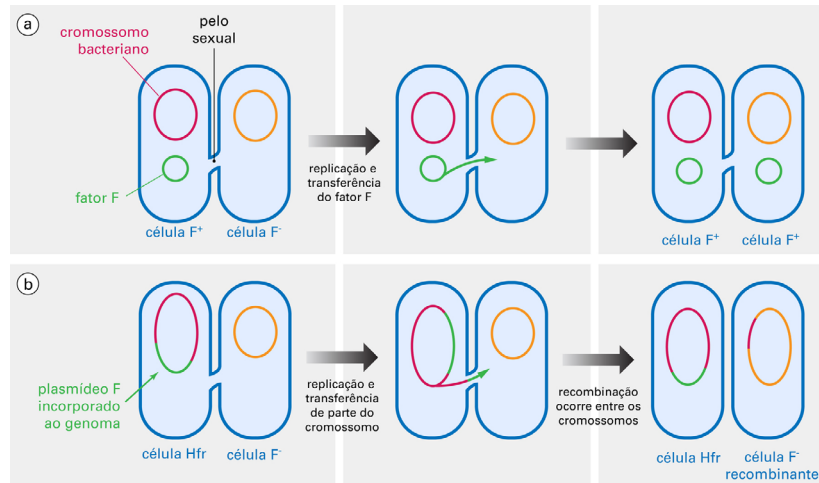
As bactérias, por se reproduzirem apenas de forma assexuada, são consideradas organismos clonais. Isso porque cada descendente de uma bactéria inicial possui a mesma informação genética, formando um clone.

A variabilidade genética, mecanismo importante para a evolução e origem da diversidade (tópico sobre os processos evolutivos), surge no caso das bactérias em função de mutações e de processos de transferência de material genético provindo do ambiente ou de outros organismos.

O processo de mutação é o resultado de erros durante a cópia do material genético, que pode ocorrer naturalmente ou pela presença de substâncias que promovem erros (substâncias mutagênicas). É o mesmo processo verificado nos eucariontes.

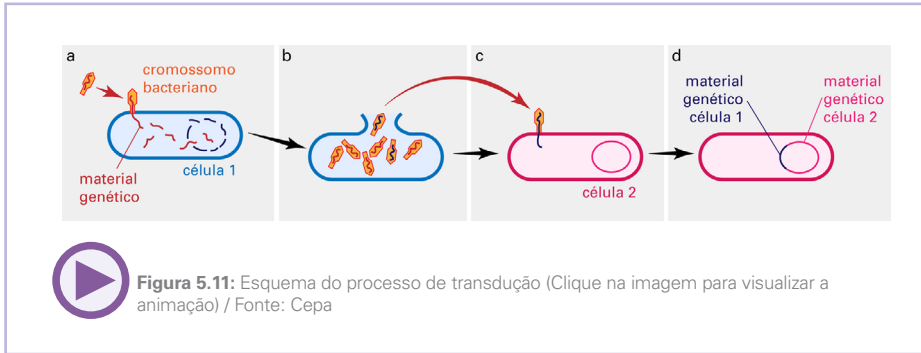
A transferência de material genético pode ser realizada, pelo menos, de 3 maneiras: conjugação, transformação e transdução.

- **Conjugação:** a transferência de material genético por conjugação requer o contato célula-célula. Há 2 tipos básicos de conjugação, como ilustrado e explicado na **Figura 5.10**.



**Figura 5.10** – Esquema de conjugação bacteriana. **A)** Ocorre a transferência do plasmídeo F (ou fator F, contendo informações genéticas) através de um pelo sexual. A célula que contém o plasmídeo F é chamada F+ e a célula que o recebe, é chamada F-. Após a transferência, essa célula receptora transforma-se em F. **B)** O plasmídeo F+ incorpora-se ao cromossomo da bactéria, que passa a ser chamada Hfr. A célula Hfr pode, então, passar cópia do cromossomo inteiro para uma célula F-, transformando-a numa célula Hfr recombinante (Clique na imagem para visualizar a animação) / Fonte: Cepa

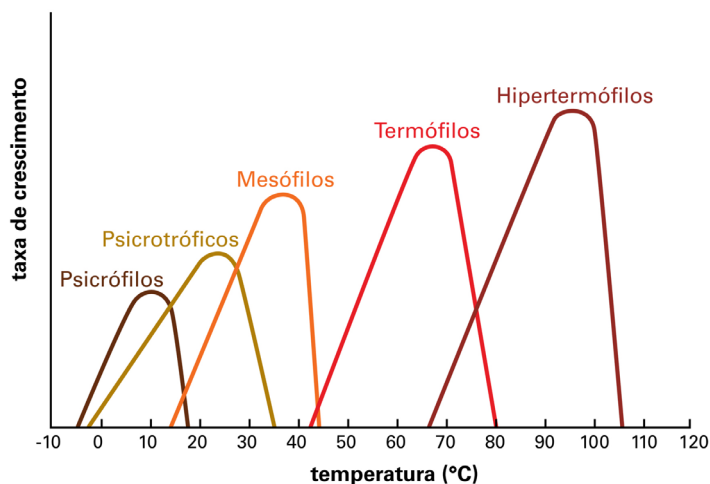
- **Transformação:** muitas bactérias podem assimilar pedaços de materiais genéticos de outras bactérias encontrados livres no ambiente. Na natureza, por exemplo, quando as bactérias morrem, podem liberar seu conteúdo genético no ambiente. Bactérias vivas, dependendo da espécie e de condições metabólicas celulares, podem incorporar esse material ao seu próprio cromossomo.
- **Transdução:** esse processo de transferência genética depende de vírus bacteriófagos que invadem as bactérias, replicam seu material genético e promovem a quebra do cromossomo bacteriano. Durante a produção de novos vírus, trechos do DNA bacteriano também podem ser encapsulados. A célula bacteriana rompe-se e libera os novos vírus que podem conter trechos do DNA bacteriano. Quando esses vírus infectam uma nova bactéria, introduzem nela esse novo material genético, que pode ser incorporado ao seu cromossomo, alterando sua composição genética (**Figura 5.11**).



## 5.5 Diversidade metabólica e crescimento bacteriano

O crescimento bacteriano é vastamente afetado pelas condições físicas e químicas do ambiente em que esses organismos vivem. Embora a maioria dos organismos que conhecemos hoje cresça em condições ambientais moderadas, as bactérias são capazes de habitar ambientes inóspitos a muitos outros organismos. Bactérias são capazes de crescer em todas as amplitudes de pH, temperatura, oxigênio, pressão osmótica e atmosférica.

- Quanto ao pH, podem ser acidófilas, por reproduzirem-se em pH ótimo entre pH 0 e 5,5, neutrófilas (pH de 5,5 a 8) e alcalófilas (pH de 8,5 a 11,5).
- Quanto à temperatura, podem ser psicrófilas, psicrotófas ou psicrófilas facultativas, mesófilas, termófilas ou hipertermófilas, como mostra a **Gráfico 5.1**.



**Gráfico 5.1:** Taxa de crescimento de diferentes tipos de bactérias de acordo com a temperatura. O crescimento dos organismos é possível dentro de um intervalo grande de temperatura, porém são classificados de acordo com a temperatura ótima de crescimento. Por exemplo, os termófilos podem crescer a temperaturas entre pouco mais de 40 a 80°C, porém a temperatura ótima de crescimento desses organismos é em torno dos 65°C. Quanto à necessidade da presença de oxigênio, podem ser aeróbias obrigatórias (quando o crescimento necessita da presença de oxigênio); anaeróbias facultativas (quando o crescimento ocorre tanto na presença quanto na ausência de oxigênio); anaeróbias restritas (quando o crescimento ocorre somente na ausência de oxigênio); anaeróbias aerotolerantes (a presença de oxigênio não cessa o crescimento anaeróbio, como ocorre com as anaeróbias obrigatórias); e microaerófilas (quando há crescimento aeróbio em ambiente onde a concentração de oxigênio é baixa) / Fonte: Cepa

- Quanto à pressão osmótica, podem ser osmotolerantes, quando toleram concentrações variáveis de solutos no meio em que vivem, ou halófilas, quando são capazes de viver em ambiente de alta pressão osmótica, como os ambientes marinhos.

Os micro-organismos também podem ser classificados metabolicamente de acordo com as fontes de energia e de carbono utilizadas para a manutenção celular.

Em relação à fonte de energia, são classificados como fototróficos, quando utilizam luz como fonte primária de energia, ou quimiotróficos, quando dependem de compostos orgânicos ou inorgânicos (como  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , íons  $\text{NO}^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , gás  $\text{H}_2$ ) para obtenção de energia.

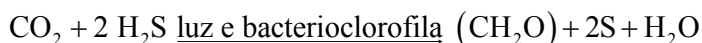
Quanto à fonte de carbono, organismos autotrofos utilizam diretamente  $\text{CO}_2$ , enquanto heterotrofos necessitam de uma fonte orgânica de carbono (carboidratos, ácidos graxos etc.).

Ao combinar esses dois tipos de informações, podemos classificar, por exemplo, as cianobactérias como organismos fotoautotrófos, pois são capazes de utilizar luz como fonte de energia e  $\text{CO}_2$  como fonte de carbono através da fotossíntese.

Nas bactérias há dois tipos básicos de fotossíntese: com liberação de oxigênio, e por isso chamada oxigena ou oxigênica, e a que ocorre sem liberação de oxigênio, mas com liberação de enxofre, chamada de anoxigena ou anoxigênica.

A fotossíntese oxigena ocorre apenas nas cianobactérias e, conseqüentemente, está presente em todos os eucariontes fotossintetizantes, por serem estes produtos de endossimbiose com cianobactérias.

A fotossíntese não oxigena ou anoxigena ocorre em certos grupos de bactérias que, ao invés de água e gás carbônico, utilizam sulfeto de hidrogênio e gás carbônico. Essas bactérias possuem um tipo especial de clorofila chamada bacterioclorofila e a fórmula geral da fotossíntese anoxigena é:



Agora é com você:

Realizar **atividade online 2, questão 2**

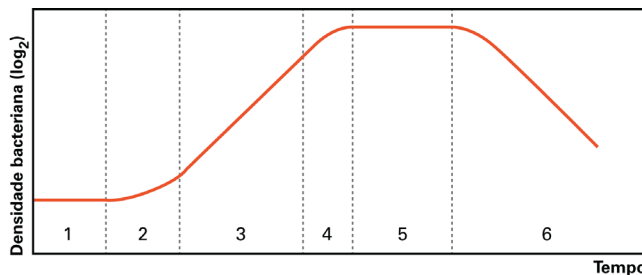
## Crescimento Bacteriano em Culturas

O crescimento bacteriano refere-se ao aumento do número de células e não ao crescimento em tamanho das células individuais.

Há quatro principais fases que generalizam o crescimento de bactérias em cultura líquida: fase lag, fase log ou exponencial, fase estacionária e fase de declínio ou morte (**Gráfico 5.2**).

- **Fase lag:** as células não estão dormentes, mas passam por um período de adaptação ao novo meio, e apresentam intensa atividade metabólica. O número de células na população não muda significativamente.
- **Fase log ou exponencial:** período em que as células começam a se dividir em alta taxa de crescimento e o número de células na população aumenta exponencialmente.
- **Fase estacionária:** é um período de equilíbrio, no qual a taxa metabólica e de crescimento diminui. Há uma taxa semelhante de divisão e morte celular, portanto, o número de células na população tende a se manter constante.
- **Fase de declínio ou morte:** refere-se à fase na qual o número de mortes excede o de novas células. Acredita-se que essa fase inicie devido à redução de nutrientes juntamente com um grande acúmulo de metabólitos tóxicos para as células no meio de cultura.

Há ainda fases de transição conhecidas como fase de aceleração (entre a fase lag e a fase log) e a fase de desaceleração (entre a fase estacionária e a fase de declínio). Esses períodos são bastante sutis e podem ser imperceptíveis ou inexistentes na curva de crescimento bacteriano.

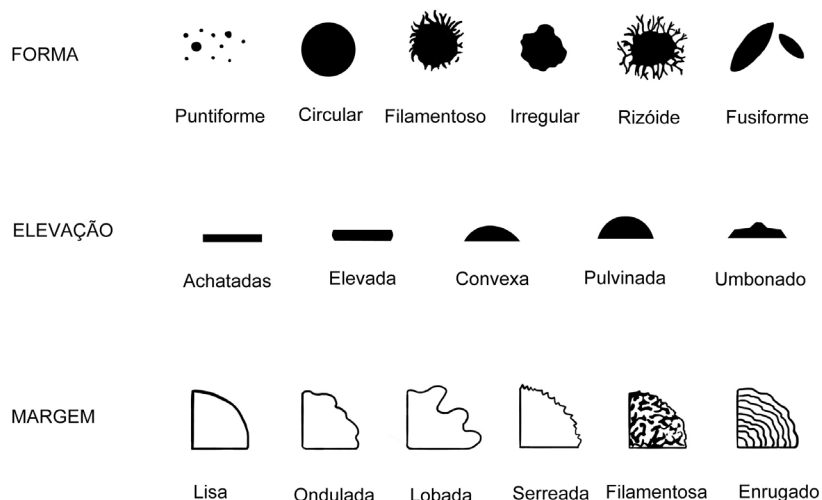


**Gráfico 5.2:** Fases do crescimento bacteriano. (1) fase lag; (2) fase de aceleração; (3) fase exponencial; (4) fase de desaceleração; (5) fase estacionária e (6) fase de declínio / Fonte: Cepa

Quando suplementadas com nutrientes em abundância, as bactérias crescem rapidamente. Em meio sólido, como placas de ágar enriquecidas com nutrientes, por exemplo, cada célula individual dá origem a uma colônia (aglomeração de centenas de milhares de células idênticas). Esse aglomerado pode ser visto a olho nu e as características morfológicas das colônias



bacterianas são muitas vezes inerentes à espécie, ajudando na identificação dos organismos. Características como forma, elevação, tipo de margem, superfície, opacidade e pigmentação são muito informativas para a identificação bacteriana (**Figura 5.12**). Consistência e odor também podem ser examinados no laboratório.



**Figura 5.12:** Diagrama ilustrando os vários formatos, elevações e margens de colônias bacterianas / Fonte: Cepa



Agora é com você:

Realizar [atividade online 2, questão 3](#)

## 5.6 Comportamento social das bactérias

Historicamente, assume-se que micro-organismos, assim como as bactérias, vivam solitariamente, sem interações sociais. No entanto, todos os procariontes vivem em densas populações e as células de cada população interagem com as demais e com o meio ambiente em que estão inseridas. Apresentam, por exemplo, sistemas complexos de cooperação e de comunicação celular. Dois tipos de comportamento social bacteriano são a formação de biofilmes e mecanismo de *quorum sensing* (processo de comunicação célula a célula que controla a densidade populacional).

**Biofilmes:** são comunidades de micro-organismos compostas por um grande número de células densamente concentradas e compactadas. Crescem, geralmente, em uma interface

sólida-líquida ou aérea-líquida e permanecem unidas por uma matriz extracelular composta por polissacarídeos, proteínas e DNA. São comunidades com arquiteturas complexas e podem formar matrizes com aspecto achatado e liso ou irregular, assumindo formas parecidas com coágulos. A formação de **biofilmes** é de extrema relevância clínica/médica. Doenças causadas por bactérias capazes de formar biofilmes são mais difíceis de curar, pois os micro-organismos da porção mais interna da matriz são mais resistentes a antibióticos, tornando-se alvos mais difíceis de serem atingidos pelos mecanismos naturais de defesa do corpo.

**Quorum sensing:** é um processo de comunicação célula a célula, no qual bactérias utilizam a produção e detecção de substâncias extracelulares (chamadas autoindutoras) para monitorar a densidade populacional do grupo de que fazem parte. Quando uma população de bactérias cresce, há também um aumento proporcional do número de moléculas sinalizadoras eliminadas pelas células no meio em que vivem e, a partir de uma determinada concentração dessas moléculas no meio, bactérias são capazes de detectá-las (como mensagens) e toda a população sincronizadamente responde à nova situação.

## 5.7 Bactérias Comensais e Patogênicas

O termo **patógeno** é empregado para designar um organismo capaz de produzir doenças. Historicamente, bactérias foram responsáveis por algumas das doenças com maiores taxas de mortalidade, causando epidemias devastadoras da civilização: tuberculose, febre tifoide, peste bubônica, difteria, cólera, disenteria e pneumonia foram algumas delas. Construção de sistemas de tratamento de água, imunização e utilização de antibióticos reduziram as taxas de mortalidade causadas por doenças bacterianas.

Devido à importância médica, bactérias patogênicas são geralmente alvos de maior interesse e investimentos em pesquisas. No entanto, elas representam uma pequena porcentagem da diversidade bacteriana, que são, em sua maioria, inofensivas e até necessárias para a saúde humana. Estima-se que o número de micro-organismos vivendo dentro e sobre a superfície do corpo humano seja 10 vezes maior que o número total de células que o compõem. Aproximadamente 100 trilhões de micro-organismos se encontram em nossa pele, boca, nariz, genitália e sistema digestório.

Bactérias constituintes da flora normal do corpo podem ocasionalmente causar doenças no hospedeiro. Dentre elas, pode-se citar *Escherichia coli*, bactéria intestinal que é inofensiva, mas em

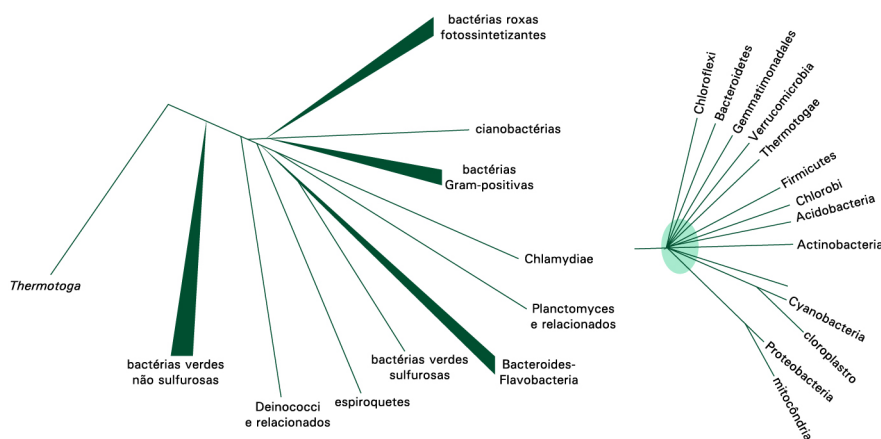
determinadas situações pode se tornar patogênica, rompendo barreiras anatômicas entre órgãos e comprometendo a imunidade da pessoa.

A bactéria *Pseudomonas aeruginosa* é um exemplo de **patógeno oportunista**. Apesar de fazer parte da flora normal, é capaz de causar infecções do trato urinário e do sistema respiratório, dermatites e uma variedade de infecções sistêmicas em pacientes com imunidade comprometida, como pacientes com câncer ou AIDS.

## 5.8 Filogenia das Bactérias

A questão central em filogenia das bactérias é entender como diferentes grupos estão relacionados uns aos outros e todos em relação a um ancestral comum. Enquanto animais e plantas são ricos em características morfológicas que auxiliam a classificação filogenética, bactérias possuem uma morfologia mais simples e características fisiológicas e bioquímicas limitadas que geram conflitos no agrupamento dos organismos.

Assim, é evidente a importância do uso de informações genéticas para uma análise aprofundada sobre a evolução das bactérias, que considere suas histórias evolutivas para o estabelecimento das relações de parentesco. Dessa forma, há diversas árvores filogenéticas baseadas em genes ou proteínas que tentam esclarecer a relação filogenética do grupo. Porém, a relação de parentesco entre os diversos grupos de bactérias também pode ser representada na forma de “arbusto” (indefinida) (Figura 5.13), enfatizando a incerteza dessas relações e a necessidade de mais estudos nessa área da microbiologia.



**Figura 5.13:** Duas representações das relações filogenéticas do grupo das bactérias. À esquerda, árvore filogenética proposta por Woese, cujas relações de parentesco foram analisadas utilizando informações genéticas providas do gene ribossomal 16S. À direita, o arbusto evidenciando a incerteza das estimativas no estabelecimento das relações de parentesco do grupo Bactéria / Fonte: Cepa

Descreveremos nesta seção características dos filos de maior relevância médica e ecológica dentro do domínio *Eubacteria*.

### 5.8.1 *Aquificae*

Os organismos pertencentes a este grupo são estritamente hipertermofílicos, encontrados em fontes termais, hidrotermais oceânicas e reservas de enxofre. Sugere-se que esse grupo seja o ramo mais basal do domínio das *Eubacteria*.

### 5.8.2 *Nitrospira*

Podem viver em ambiente marinho ou de água doce e são importantes para o ciclo do nitrogênio (processo de nitrificação), diminuindo a concentração de amônia – substância tóxica para peixes – em ambientes aquáticos. Após a redução da amônia a nitrito por bactérias autotróficas, *Nitrospira* é então capaz de oxidar nitrito a nitrato, que pode ser assimilado pelos seres fotossintetizantes.

### 5.8.3 *Chloroflexi*

Também chamadas de bactérias verdes não sulfuradas, organismos deste grupo são metabolicamente diversos: podem ser aeróbios termófilos, fotossintetizantes anoxígenos (apesar do nome “não sulfurada”, essas bactérias usam  $H_2S$  na fotossíntese), ou ainda crescer anaerobicamente utilizando compostos halógenos como fonte de energia. Um dos principais representantes, *Chloroflexus*, é filamentosos, termofílico e cresce em associação com cianobactérias, dando origem à cor laranja-avermelhada de fontes termais.

### 5.8.4 Fibrobactérias

Incluem muitas das principais bactérias do rúmen, realizando a digestão de alimentos ricos em celulose.

### 5.8.5 Proteobacteria

Também conhecidas como bactérias púrpuras, este filo abrange enorme variedade dentro do grupo das *Eubacteria*. Foi vastamente estudada principalmente por incluir os patógenos mais comuns aos seres humanos. Apresentaremos os grupos mais conhecidos:

- a. *Gamaproteobacteria*: grupo muito diversificado que inclui várias espécies de importância médica e ecológica. Dentre esses representantes, vamos destacar os seguintes:
  - *Enterobacteriaceae*, popularmente conhecidas como bactérias entéricas. São bactérias gram-negativas, anaeróbias facultativas, capazes de fermentar açúcares, característica que as distingue de outros grupos dentro deste filo. São membros da flora intestinal normal, mas podem ocasionalmente se tornar patógenos. A espécie mais conhecida e estudada é *Escherichia coli*, que tem servido como organismo modelo em pesquisas na área de microbiologia. Pode se tornar patogênica se atingir, por exemplo, o sistema urinário. Algumas linhagens de *E. coli* são altamente virulentas como a *E. coli* 0157:H7 enterohemorrágica, que causa colite hemorrágica e é encontrada em carnes cruas, leites não pasteurizados e água não tratada. O grupo das bactérias entéricas inclui também outros patógenos intestinais. A *Shigella dysenteriae*, que causa disenteria, e a *Salmonella entérica*, que pode causar envenenamento alimentar e gastroenterite. A *Salmonella typhi* pode causar, via contaminação intestinal, a febre tifoide.
  - *Pseudomonas aeruginosa*, principal causa de infecções hospitalares, pode infectar qualquer tecido em pacientes imunocomprometidos.
  - *Yersinia pestis*, causadora da histórica epidemia da peste bubônica, que matou um terço da população europeia no período de 1347 a 1353.
  - Várias espécies do grupo dos vibrios, bactérias gram-negativas, anaeróbias facultativas que possuem forma de bastonete simples ou curvo. A maioria é aquática, especialmente de ambientes marinhos. *Vibrio fischeri*, *Photobacterium phosphoreum* e *P. leiognathi* são **bioluminescentes** e vivem simbioticamente em órgãos luminosos de peixes. Entre os patógenos de relevância clínica, estão *Vibrio cholerae*, que **é o agente causador** da cólera, e *V. parahaemolyticus*, que causa gastroenterite devido à ingestão de frutos do mar contaminados.
  - *Xylella fastidiosa*, causadora do amarelinho em plantas.
- b. *Alfaproteobacteria*: neste grupo estão as *Rickettsias*, bactérias parasitas intracelulares obrigatórias de células eucarióticas (incapazes de crescer externamente à célula hospedeira).

Ocorrem na flora intestinal de artrópodes, como carrapatos, pulgas e piolhos. São transmitidos a animais vertebrados pela mordida do artrópode trazendo doenças como tifo e febre maculosa. Outros exemplos importantes de *alfaproteobacteria* são: *Agrobacterium tumefaciens*, bactéria patogênica de plantas, formando tumores nas raízes; espécies do gênero *Rhizobium*, endossimbiontes fixadoras de nitrogênio, formando nódulos nas raízes de plantas leguminosas, como a soja, e servindo de fertilizante natural para o solo e a planta hospedeira.

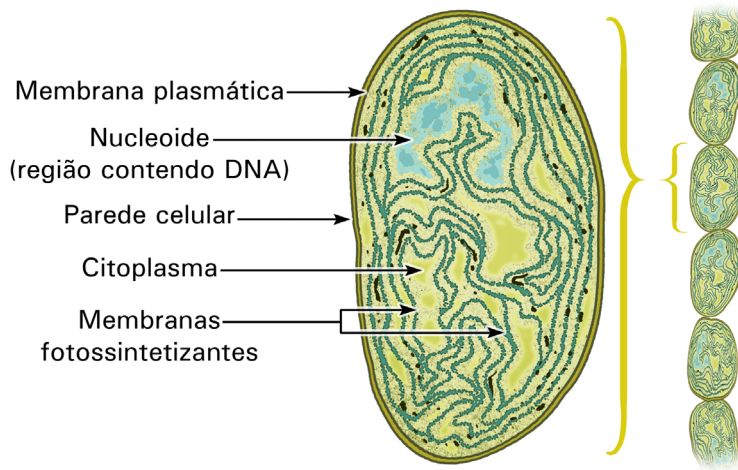
- c. *Beta-proteobacteria*: muitos patógenos de grande importância médica são encontrados neste grupo. Dois patógenos se destacam: *Neisseria gonorrhoeae*, que causa a gonorreia, doença sexualmente transmitida (estima-se que 62 milhões de pessoas são infectadas anualmente), e *Neisseria meningitidis*, um dos agentes da meningite meningocócica.
- d. *Epsilon-proteobacteria*: são gram-negativas, em forma de bastonetes delgados, helicoidais ou vibriões. Dois gêneros representam este grupo, ambos apresentam flagelos e são microaerófilos. *Campylobacter jejuni* causa diarreia bacteriana, especialmente em crianças, transmitida principalmente através de frango e frutos do mar malcozidos ou ingestão de água não tratada. *Helicobacter pylori* é capaz de colonizar a mucosa do estômago e é causadora de úlceras. Há evidência do envolvimento deste patógeno no adenocarcinoma.

### 5.8.6 Espiroquetas

Espiroquetas são bactérias gram-negativas, finas, alongadas e flexíveis, em forma helicoidal ou espiral. Este grupo recebe esse nome em função do formato celular. Podem ser anaeróbios, aeróbios e aeróbios facultativos. A maioria das espiroquetas é de vida livre (como o gênero *Spirochaeta*), mas há espécies patogênicas, como *Treponema denticola* e *T. oralis*, encontradas na cavidade oral de animais, *Treponema pallidum*, causador da sífilis, *Borrelia burgdorferi*, responsável pela doença de Lyme, e bactérias do gênero *Leptospirai*, causadora da leptospirose.

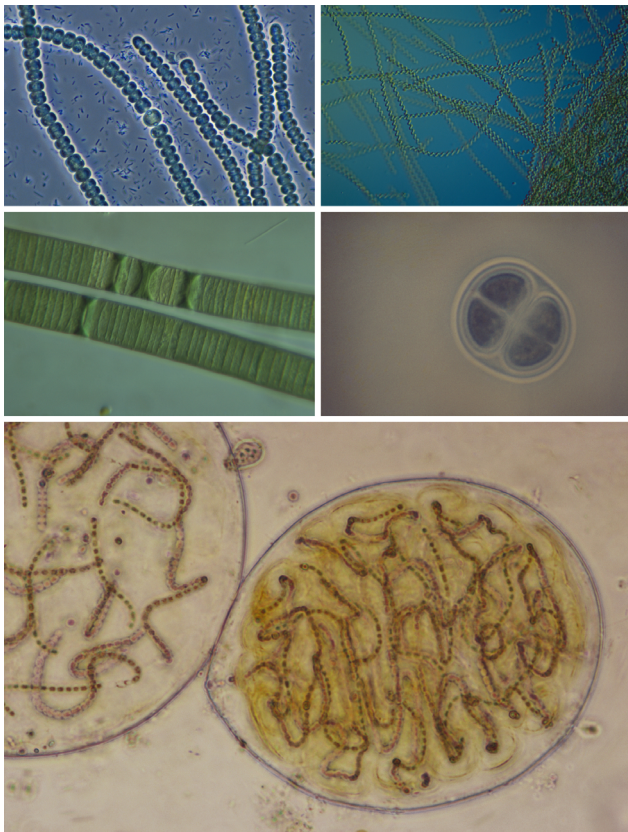
### 5.8.7 Cianobactérias

Assim como as plantas, as **cianobactérias** são bactérias capazes de realizar fotossíntese com produção de oxigênio. As moléculas de clorofila ficam em lamelas soltas no citoplasma (**Figura 5.14**), mas essas lamelas não formam organelas e não são cloroplastos. Aliás, os cloroplastos das células eucarióticas surgiram pelo evento de endossimbiose com cianobactérias.



**Figura 5.16:** Cianobactérias. Desenho de um filamento de cianobactéria com destaque de algumas estruturas / Fonte: Cepa

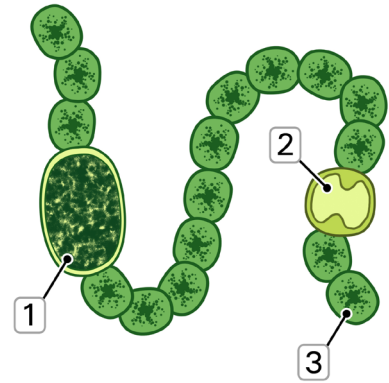
As cianobactérias exibem vasta diversidade morfológica, como pode ser visto nas fotografias a seguir (**Figura 5.15**).



**Figura 5.15** – Exemplos da diversidade encontrada no grupo das cianobactérias. **(A)** *Anabaena* sp.: são filamentosas e apresentam células diferenciadas chamadas heterocitos ao longo do filamento. Heterocitos são células especializadas na fixação de nitrogênio. Nesses filamentos podem existir também acinetos, que são células de resistência que permitem às cianobactérias sobreviverem a condições inóspitas ou desfavoráveis; **(B)** *Spirulina* sp.: é filamentosa, espiralada e sem heterocitos; **(C)** *Oscillatoria* sp.: é formada por um filamento longo e linear, e movimenta-se no meio por deslizamento; **(d)** *Chroococcus* sp.: colônias de 2 a 4 células envolvidas por camada gelatinosa; **(E)** colônia de filamentos de *Nostoc* sp. embebidos dentro de uma matriz mucilaginosa comum / Fonte: [Latinstock](#)

Ao lado vemos o esquema de *Anabaena*, evidenciando acineto (1), heterocito (2) e células fotossintetizantes (3). Muitas cianobactérias secretam uma espessa mucilagem que forma um envolvente chamado bainha. No caso de cianobactérias como formas filamentosas, a sequência de células envolta pela bainha é conhecida como filamento, enquanto que uma sequência de células sem bainha é chamada tricoma.

Muitas espécies são também fixadoras de nitrogênio e estabelecem relações simbióticas com plantas. Cianobactérias também formam relações simbióticas mutualísticas com fungos, formando os líquens.



/ Fonte: Cepa

### 5.8.8 Firmicutes

São bactérias gram-positivas, com teor baixo de guanina e citosina no material genético (baixo G+C). Vamos comentar alguns dos representantes deste grupo.

- *Staphylococcus*: bactérias esféricas, gram-positivas anaeróbias facultativas, que se dividem irregularmente formando agrupamentos (como cachos de uva). *Staphylococcus* estão normalmente associados a pele e membranas mucosas. *Staphylococcus epidermidis* é raramente patogênica e beneficia o hospedeiro produzindo ácidos que impedem o crescimento de fungos dermatológicos. O patógeno mais importante deste grupo é *Staphylococcus aureus*, que se desenvolve principalmente em locais onde ocorrem cortes ou aberturas na pele. Em função disso, é uma das bactérias que mais preocupa em ambientes hospitalares, pois pode infectar, por exemplo, cortes cirúrgicos, locais de inserção e remoção de cateteres. Recentemente, descobriu-se uma linhagem de *S. aureus* resistente a praticamente todos os tipos de antibióticos atualmente administrados, motivo de grande preocupação e debate quanto ao uso exacerbado de antibióticos no tratamento de doenças infecciosas.
- *Streptococcus mutans*: a mais conhecida das bactérias que causam a cárie.
- *Bacillus*: geralmente em forma de bastonetes, as espécies desse gênero vivem no solo e são capazes de produzir esporos. Há várias espécies patogênicas, como *Bacillus anthracis*, que causa a doença conhecida por carbúnculo, que acomete animais domésticos (ovelha, gado, cavalos) e que pode ser transmitida a humanos. Os esporos formados sob condições adversas podem sobreviver por décadas no ambiente e a produção de poderosas toxinas pode ser



letal. Outro exemplo é a espécie *Bacillus cereus*, um contaminante de alimentos ricos em amido, como o arroz.

- *Lactobacillus*: muitas espécies desse gênero são utilizadas industrialmente na produção de iogurtes, queijos, cervejas e vinhos, pois realizam fermentação.
- *Clostridium tetani*: causador do tétano, transmitida pela penetração dos esporos deste micro-organismo em feridas abertas.
- *Clostridium botulinum*: causa botulismo, transmitida geralmente pela ingestão de toxina botulínica produzida pelo processamento impróprio de alimentos.
- *Eapuliscium fishelsoni*: vive simbioticamente no trato intestinal de peixes-cirurgião e é a maior bactéria já descrita. Enquanto o tamanho típico das bactérias varia de 0,5 a 4  $\mu\text{m}$ , este organismo tem em média 600  $\mu\text{m}$  e pode ser visto até mesmo a olho nu.
- Micoplasmas: não possuem parede celular e podem ser de vida livre no solo ou redes de esgoto; podem ser parasitas da boca ou do sistema urinário em humanos. *Mycoplasma pneumoniae* pode causar pneumonias atípicas e doenças do trato respiratório.

### 5.8.9 Actinobacteria

Este grupo é também chamado de gram-positivos com alto teor de guanina e citosina (G e C) em seu material genético. Apesar de não ser um grupo clássico de patógenos, abriga espécies de grande impacto para a saúde humana. Vamos citar alguns representantes:

- *Mycobacterium leprae*, que causa a lepra;
- *Mycobacterium tuberculosis*, que causa a tuberculose, doença transmitida pelo ar e prevalente em países em desenvolvimento, onde chega a infectar 8,8 milhões de pessoas por ano (responsável por 1,4 milhões de morte ao ano);
- *Corynebacterium diphtheriae*, agente etiológico da difteria, doença do trato respiratório superior;
- *Streptomyces*, presentes no solo do mundo inteiro, são de grande importância para a decomposição da matéria orgânica. Interessantemente, produzem um composto gasoso, a geosmina, que resulta no odor típico de terra molhada. Mais de 50 diferentes antibióticos já foram isolados de espécies deste gênero, como a neomicina (*S. fradiae*), vancomicina (*S. orientalis*) e a tetraciclina (*S. rimosus*).



Agora é com você:

Realizar **atividade online 2, questão 4**

## 5.9 Arqueas

Antes confundidas com bactérias, as arqueas são igualmente diversas em morfologia e fisiologia. Nem sempre apresentam parede celular e, quando a apresentam, a composição é distinta da parede celular das bactérias. Elas podem ser unicelulares ou formar filamentos ou agregações. Fisiologicamente, podem ser aeróbias, anaeróbias facultativas ou estritamente anaeróbias. Há espécies quimiossintetizantes e fotossintetizantes anoxígenas, além de outros tipos diversos de obtenção de energia. As principais diferenças entre *Bacteria* e *Archaea* estão resumidas na tabela a seguir:

Característica	Bacteria	Archaea	Eukarya
Parede celular	Peptidoglicano	Diversos componentes, sem peptidoglicano	(Se presente) celulose, outros
Lipídios	Ácidos graxos ligações éster	Isoprenos presentes, ligações éster	Ácidos graxos, ligações éster
RNA polimerase	Uma enzima pequena; 4 subunidades	Uma enzima grande; várias subunidades	Três enzimas grandes; diversas subunidades
Síntese proteica	1º aminoácido = formilmetionina	1º aminoácido = metionina	1º aminoácido = metionina

Tabela 5.1: Principais diferenças entre Bacteria, Archaea e Eukarya

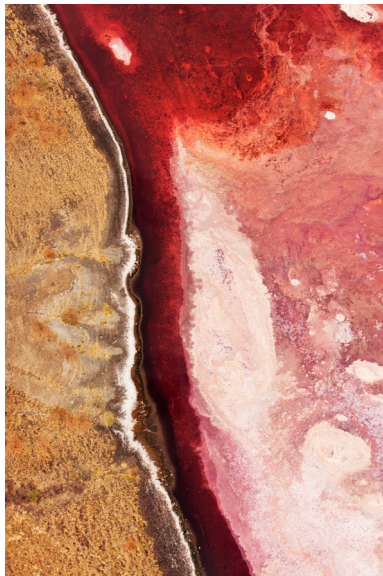
Antes consideradas como bactérias restritas a ambientes extremos e, por isso, chamadas extremófilas, hoje se sabe que há bactérias extremófilas e arqueas em condições ambientais não extremas. Há muito a ser descoberto sobre esses micro-organismos, mas claramente a arquea é um grupo notoriamente diverso e de grande sucesso evolutivo.

Recentes análises filogenéticas do material genético de diversas espécies dividiram as arqueas em dois grupos: *Crenarqueota* e *Euriarqueota*. Apresentamos abaixo as principais características destes:

**Crenarqueota:** A maioria dos organismos identificados dentro deste grupo foi encontrada em ambientes extremos de temperatura, e muitos são acidófilos e enxofre-dependentes. Eles crescem em águas geotermais e solos que contêm enxofre. Tais ambientes existem em diversas partes do mundo. Um exemplo são as **fontes termais** ricas em enxofre localizadas no Parque Nacional de Yellowstone (Wyoming, EUA). Por exemplo, *Thermoproteus* são anaeróbios obrigatórios, crescem em temperaturas entre 70 e 97°C e pH entre 2,5 e 6,5. Organismos do gênero *Sulfolobus*, são chamados termoacidófilos por crescerem a temperatura ótima entre 70 a 80°C e pH ótimo entre 2 e 3.

**Euriarqueota:** É o grupo mais diversificado de arquea, composto por 4 grandes grupos que serão brevemente apresentados:

- **Metanogênicos:** grupo com o maior número de espécies identificadas, que obtêm energia convertendo uma variedade de compostos em metano e, por isso, prosperam em ambientes anaeróbios ricos em matéria orgânica: sistemas intestinais e rúmen de animais, camada sedimentar oceânica, pântanos e marismas, águas termais, e até mesmo dentro de protistas anaeróbios. O impacto ecológico da produção metabólica de metano desses organismos é de grande debate. O metano é um combustível “limpo” e pode ser utilizado como uma excelente fonte alternativa de energia (energia sem poluição). No entanto, o composto metano absorve radiação infravermelha e contribui para o efeito estufa e aquecimento global.
- **Halobactérias:** a característica determinante deste grupo é a dependência absoluta de altas concentrações de sal (NaCl). Sob baixas concentrações de sal, a membrana celular se desintegra e, portanto, é somente encontrado em ambientes de alta salinidade, como o **Mar Morto**. São capazes de crescer em alimentos conservados em sal e em salinas. O organismo mais estudado desse grupo é a *Halobacterium salinarum* (**Figura 5.16**), que é capaz de capturar luz por meio de um pigmento chamado bacteriorodopsina (semelhante ao pigmento rodopsina da retina do olho) e produzir energia para a realização das atividades celulares. É um tipo especial de fotossíntese, que difere em muitos aspectos da fotossíntese oxigênica das plantas e cianobactérias e da anoxigênica das demais bactérias fotossintetizantes.



**Figura 5.16:** Salinas ricas em *Halobacterium salinarum*. A cor avermelhada se deve à presença do pigmento bacteriorodopsina associado a carotenoides / Fonte: [Latinstock](#)

- *Termoplasmas*: organismos sem parede celular, mas com membrana plasmática enriquecida com diversos outros compostos. Vivem em ambientes quentes e ácidos. O habitat ideal desses organismos é temperatura entre 55 e 59°C e pH entre 1 e 2.
- *Thermococcus*: grupo de cocos termofílicos. Dentro deste grupo estão os gêneros *Thermococcus* e *Pyrococcus*, cujas enzimas são termoestáveis vastamente utilizadas em biologia molecular. O gênero *Archaeoglobus* encontrado em jazidas de petróleo a altas temperaturas contribui para a decomposição do petróleo. O crescimento ótimo desses organismos dá-se a aproximadamente a 83°C. *Methanopyrus* pode crescer a temperaturas maiores, entre 84 a 110°C, e foi descoberto a 2.000 metros de profundidade no Golfo da Califórnia em **fumarolas negras** (em inglês, *black smokers*), que ascendem do assoalho oceânico, próximo às cadeias oceânicas.

### Fechamento o assunto

Neste tópico, discutimos amplamente o grupo dos procariontes, que inclui o domínio das bactérias e das arqueas. Estudamos a morfologia e estrutura celular bacteriana, os requerimentos nutricionais para manutenção celular e o padrão de crescimento encontrado nesses organismos unicelulares.

Vimos que as bactérias possuem um comportamento social em benefício da população. Discutimos ainda sobre a filogenia das bactérias, utilizando exemplos de importância médica e ecológica para ilustrar a vasta diversidade encontrada nesse grupo. Finalmente, exploramos o grupo das arqueas, que possui características fundamentalmente distintas das bactérias, validando a existência de um domínio à parte.

## Referências Bibliográficas

- ALBERS, S.V.; MEYER, B. H. The archaeal cell envelope. **Nature Reviews Microbiology**, 2009. v. 9. pp. 414-426.
- ANGERT, E. R. Alternatives to Binary fission. **Nature Reviews**. 2005. v. 3. pp 214-224.
- HARLEY, J. P.; PRESCOTT, L. M.; KLEIN, D. A. **Microbiology**. 4<sup>th</sup> ed. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill, 1999.

- LOPES, S.; ROSSO, S. **Bio**. 1° ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010. v. 2. 480 pp.
- MONOD, J. The growth of Bacterial Cultures. **Annual Review of Microbiology**, 1949. v. 3. pp. 371-394.
- NADELL, C. D.; BONNIE, L. B.; LEVIN, S. A. Observing bacteria through the lens of social evolution. **Journal of Biology**, 2008.
- PACE, N. R. **Time for a change**: Nature. 2006. v. 441. p. 289.
- \_\_\_\_\_. Mapping the Tree of Life: Progress and Prospects. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, 2009. v. 73, n°4. pp. 565-576.
- PELCZAR, JR., M. J. **Manual of microbiological methods**. New York, NY: McGraw-Hill Book Co., 1957.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiology: An Introduction media update**. 7th ed. São Francisco, Califórnia: Benjamin Cummings, 2002. 887 pp.
- WOESE, C. R. **Bacterial Evolution**. *Microbiological Reviews*, 1987. v. 51. n. 2. pp. 221-271.

## Websites

- The Microbial World**. (Disponível em: <<http://microbiologytext.com>>. Acesso em: xx xxx. xxxx.)
- The Virtual Museum of Bacteria**. (Disponível em: <<http://www.bacteriamuseum.org/cms/>>. Acesso em: xx xxx. xxxx.)
- World Health Organization**. (Disponível em: <<http://www.who.int/tb/publications/factsheets/en/index.html>>. Acesso em: xx xxx. xxxx.)