

### III DIVERSIDADE MICROBIANA

A evolução moldou toda a vida na Terra. A diversidade que observamos atualmente nas células microbianas é resultado de aproximadamente quatro bilhões de anos de alterações evolutivas (∞ Figura 1.6). A diversidade microbiana pode ser vista de analisada formas, incluindo o tamanho e morfologia (forma) celulares, fisiologia, motilidade, mecanismos de

divisão celular, patogenicidade, biologia do desenvolvimento, adaptação aos extremos ambientais, à filogenia e assim por diante. Nas próximas seções, desenharemos um quadro da diversidade microbiana, utilizando um pincel largo. Retornaremos ao tema da diversidade microbiana mais detalhadamente nos Capítulos 14-19.

Iniciaremos nossa discussão sobre a diversidade *microbiana* considerando, inicialmente, a diversidade *metabólica*. Essas duas são estreitamente associadas. Os micro-organismos exploraram todas as formas possíveis de “sobrevivência”, de acordo com as leis da química e da física. Essa enorme versatilidade permitiu que os micro-organismos habitassem cada hábitat concebível na superfície e no interior do planeta Terra. A diversidade metabólica será abordada em detalhes nos Capítulos 5, 6, 20 e 21.

## 2.8 Diversidade fisiológica dos micro-organismos

Todas as células necessitam de energia e uma forma de conservá-la para outros usos. Na natureza, a energia pode ser obtida a partir de três fontes: compostos químicos orgânicos, compostos químicos inorgânicos e luz (Figura 2.18).

### Quimiorganotróficos

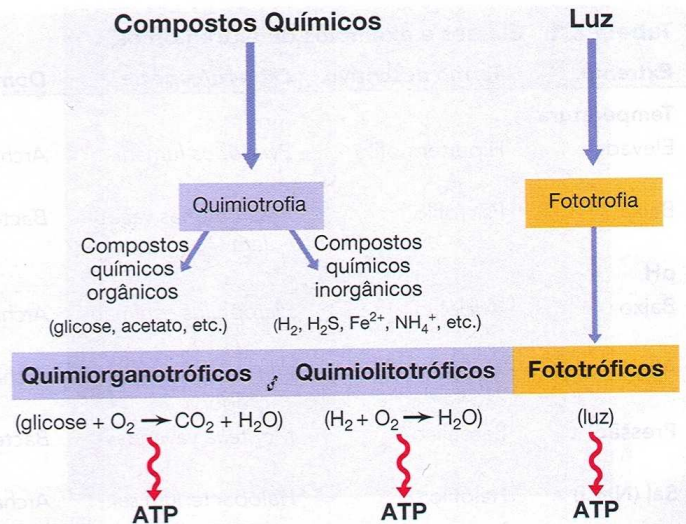
Os organismos que obtêm energia a partir de compostos químicos são denominados *quimiotróficos*, e aqueles que utilizam compostos químicos orgânicos são denominados **quimiorganotróficos** (Figura 2.18). Milhares de compostos químicos orgânicos diferentes podem ser utilizados por um ou outro micro-organismo. De fato, todos os compostos orgânicos naturais e até mesmo maioria dos sintéticos, podem ser metabolizados. A energia é obtida a partir da oxidação do composto, sendo armazenada na célula na forma do composto rico em energia adenosina trifosfato (ATP).

Alguns micro-organismos podem obter energia a partir de compostos orgânicos somente na presença de oxigênio; esses organismos são denominados *aeróbios*. Outros extraem a energia somente na ausência de oxigênio (*anaeróbios*). Há ainda outros que podem metabolizar compostos orgânicos tanto na presença quanto na ausência de oxigênio. A maioria dos micro-organismos que foram cultivados em laboratório são quimiorganotróficos.

### Quimiolitotróficos

Vários procariotos são capazes de utilizar a energia presente em compostos inorgânicos. Esse é um tipo de metabolismo denominado *quimiolitotrofia* (descoberto por Winogradsky, Seção 1.9), sendo realizado por organismos denominados **quimiolitotróficos** (Figura 2.18). A quimiolitotrofia é um processo encontrado apenas em procariotos, sendo amplamente distribuído entre as espécies de *Bacteria* e *Archaea*. O espectro de diferentes compostos químicos inorgânicos utilizados é bastante amplo, mas, via de regra, um grupo particular de procariotos é especializado na utilização de um grupo relacionado de compostos inorgânicos.

Poderia ser óbvio por que a capacidade de obter energia a partir da oxidação de compostos inorgânicos corresponda a uma boa estratégia metabólica – não há competição com os quimiorganotróficos. Porém, além disso, muitos dos



**Figura 2.18** Opções metabólicas para a conservação de energia. Os compostos químicos orgânicos e inorgânicos listados acima correspondem apenas a alguns poucos dentre os vários utilizados por diferentes organismos quimiotróficos. Os organismos quimiotróficos oxidam compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, gerando ATP. Os organismos fototróficos convertem a energia solar em energia química, na forma de ATP.

compostos inorgânicos oxidados por quimiolitotróficos, por exemplo  $H_2$  e  $H_2S$ , correspondem, na realidade, a produtos de excreção de organismos quimiorganotróficos. Assim, os quimiolitotróficos desenvolveram estratégias para a exploração de recursos que os quimiorganotróficos não são capazes de utilizar.

### Fototróficos

Os micro-organismos fototróficos contêm pigmentos que os permitem utilizar a luz como uma fonte de energia e, portanto, suas células são coloridas (Figura 2.2). Contrariamente aos organismos quimiotróficos, os **fototróficos** não necessitam de compostos químicos como uma fonte de energia; estes sintetizam ATP às custas da energia solar. Tal propriedade é uma significativa vantagem metabólica, uma vez que não há qualquer tipo de competição pelas fontes de energia com os organismos quimiotróficos, estando a luz disponível em uma ampla variedade de hábitats microbianos.

Duas formas principais de fototrofia são conhecidas em procariotos. Em uma forma, denominada fotossíntese *oxigênica*, há a produção de oxigênio ( $O_2$ ). Dentre os micro-organismos, a fotossíntese oxigênica é característica de cianobactérias, algas e seus parentes filogenéticos. A outra forma, fotossíntese *anoxigênica*, é realizada por bactérias púrpuras e verdes e não resulta na produção de  $O_2$ . No entanto, ambos os grupos de fototróficos utilizam a luz para produzir ATP, e, posteriormente, veremos as grandes semelhanças em seus mecanismos de síntese de ATP. Abordaremos a fotossíntese em maiores detalhes no Capítulo 20.

### Heterotróficos e autotróficos

Todas as células necessitam de carbono como um dos principais nutrientes. As células microbianas podem ser **heterotróficas**, quando requerem um ou mais compostos orgânicos como sua fonte de carbono, ou **autotróficas**, as quais utilizam

**Tabela 2.1** Classes e exemplos de extremófilos<sup>a</sup>

Extremo	Termo descritivo	Gênero/espécie	Domínio	Hábitat	Mínimo	Ótimo	Máximo
<b>Temperatura</b>							
Elevada	Hipertermófilo	<i>Pyrolobus fumarii</i>	Archaea	Quente, fendas hidrotermais marinhas	90°C	106°C	113°C <sup>b</sup>
Baixa	Psicrófilo	<i>Polaromonas vacuolata</i>	Bacteria	Mares gelados	0°C	48°C	128°C
<b>pH</b>							
Baixo	Acidófilo	<i>Picrophilus oshimae</i>	Archaea	Fontes termais ácidas	-0,06	0,7 <sup>c</sup>	4
Alto	Alcalifílico	<i>Natronobacterium gregoryi</i>	Archaea	Lagos ricos em carbonato de sódio	8,5	10 <sup>d</sup>	12
<b>Pressão</b>	Barofílico	<i>Moritella yayanosii</i> <sup>e</sup>	Bacteria	Sedimentos de profundezas oceânicas	500 atm	700 atm	>1.000 atm
<b>Sal (NaCl)</b>	Halófilo	<i>Halobacterium salinarum</i>	Archaea	Salinas	15%	25%	32% (saturação)

<sup>a</sup>Os organismos listados correspondem aos atuais "recordistas" em relação ao crescimento em uma determinada condição extrema.

<sup>b</sup>*Geogemma barossii*, uma nova espécie de Archaea hipertermófila, foi registrada como crescendo a 121°C. Porém, *Pyrolobus* permanece como o procarionto melhor caracterizado que cresce acima de 110°C.

<sup>c</sup>*P. oshimae* é também um termófilo, com ótimo de crescimento a 60°C.

<sup>d</sup>*N. gregoryi* é também um halófilo extremo, com ótimo de crescimento em 20% de NaCl.

<sup>e</sup>*Moritella yayanosii* é também um psicrófilo, com ótimo de crescimento a cerca de 4°C.

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como sua fonte de carbono. Por definição, os organismos quimiorganotróficos são heterotróficos. Ao contrário, a maioria dos quimiolitotróficos e, virtualmente, todos os fototróficos são autotróficos. Os organismos autotróficos são algumas vezes denominados *produtores primários*, uma vez que sintetizam matéria orgânica a partir de CO<sub>2</sub> para seu próprio benefício e dos quimiorganotróficos. Esses últimos alimentam-se diretamente dos produtores primários ou de seus produtos de excreção. De uma forma ou de outra, toda a matéria orgânica presente na Terra foi sintetizada por produtores primários, particularmente, por fototróficos.

### Habitats e ambientes extremos

Os micro-organismos estão presentes em qualquer local da Terra capaz de sustentar a vida. Isso inclui habitats com os quais estamos familiarizados – solo, água, animais e vegetais – assim como quaisquer estruturas produzidas pelo homem. De fato, a esterilidade (a ausência de formas de vida) em qualquer tipo de amostra natural é muito rara.

Alguns ambientes microbianos correspondem àqueles que nós, humanos, consideraríamos muito extremos para a vida. Embora esses ambientes também possam representar desafios para os micro-organismos, os ambientes extremos frequentemente mostram-se repletos de vida microbiana. Os organismos que habitam ambientes extremos são denominados **extremófilos**, um extraordinário grupo de micro-organismos que, coletivamente, definem os limites físico-químicos da vida.

Os extremófilos são abundantes em ambientes inóspitos, como fontes hidrotermais ferventes, sobre ou no interior de lagos congelados, geleiras ou mares polares, em corpos d'água extremamente salgados, e em solos e águas exibindo pH tão baixo quanto 0, ou tão alto quanto 12. Esses procariontos não somente *toleram* esses extremos como, na realidade, *requerem* a condição extrema para seu crescimento. Esse é o motivo de serem denominados extremófilos (o sufixo *filo* significa "amante"). A **Tabela 2.1** resume os atuais "recordistas" dentre os extremófilos, listando os tipos de habitats onde

são encontrados. Abordaremos vários desses organismos em capítulos posteriores (Capítulos 6 e 15-17).

### Minirrevisão de 2.8

Todas as células necessitam de fontes de carbono e de energia. Os termos quimiorganotrófico, quimiolitotrófico e fototrófico referem-se a organismos que utilizam compostos químicos orgânicos, compostos químicos inorgânicos ou energia luminosa, respectivamente, como sua fonte de energia. Organismos autotróficos utilizam CO<sub>2</sub> como sua fonte de carbono, e os heterotróficos utilizam o carbono orgânico. Os extremófilos vivem em condições ambientais que outros organismos não toleram.

- Como você poderia diferenciar um micro-organismo fototrófico de um quimiotrófico, apenas pela simples observação ao microscópio?
- O que são extremófilos?