

Ciclos biogeoquímicos

Na natureza, existe uma constante troca de substâncias contendo diversos elementos químicos, como carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre. Esses elementos são retirados do ambiente, utilizados pelos organismos e novamente devolvidos ao ambiente. Os principais responsáveis pelo processo de ciclagem dos nutrientes são as bactérias e os fungos decompositores, os quais possibilitam a degradação das moléculas orgânicas em compostos mais simples, que ficam disponíveis no ambiente para serem utilizados por outros seres vivos.

Todo esse trânsito de elementos químicos entre os seres vivos e o ambiente ocorre nos **ciclos biogeoquímicos**, que são essenciais para que os elementos químicos retornem ao ambiente e sejam utilizados por novos seres. Existem diversos desses ciclos na natureza, porém aqui serão abordados os principais: da água, do carbono, do oxigênio, do nitrogênio e do fósforo.

Ciclo da água

A água é o composto inorgânico mais abundante nos seres vivos e em toda a biosfera. É encontrada na forma líquida nos oceanos, rios, lagos e subsolo; na forma sólida, constituindo o gelo dos círculos polares e geleiras; e na forma de vapor, formando a atmosfera. Além disso, é encontrada na umidade dos solos e nos seres vivos. Por isso, o ciclo da água é estudado sob dois aspectos: sem a participação dos seres vivos (ciclo curto ou pequeno) e com a participação dos seres vivos (ciclo longo ou grande).

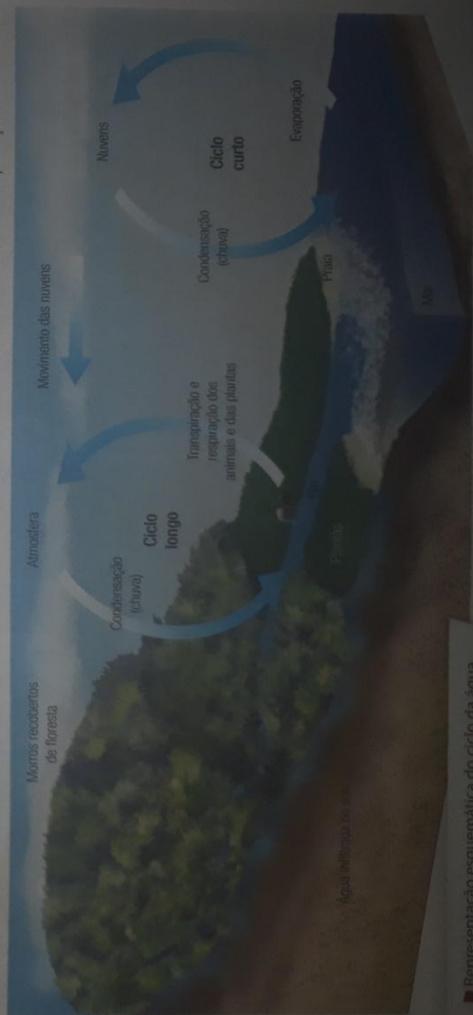
Ciclo curto

A água dos oceanos, mares, rios, lagos e da umidade do solo evapora-se com o aumento da temperatura nesses ambientes. Depois de passar para a forma gasosa, o vapor-d'água encontra camadas atmosféricas mais frias e sofre condensação. Seu retorno aos ambientes aquáticos ou terrestres acontece por meio da **precipitação**, sob a forma de chuva ou neve.

Ciclo longo

A água é absorvida pelos seres vivos e utilizada em suas atividades metabólicas para posterior devolução ao ambiente. As plantas absorvem a água por meio das raízes e a utilizam no transporte de nutrientes, nas reações hidrolíticas e na realização da fotossíntese. É importante lembrar que as plantas perdem água continuamente pela transpiração. Por realizarem a absorção e a liberação de água sob a forma de vapor na atmosfera, as plantas mantêm o estado higrométrico do ar (umidade) favorável ao desenvolvimento da vida.

Os animais podem ingerir água diretamente de rios, lagos, entre outros meios, ou indiretamente dos tecidos orgânicos utilizados na alimentação. A água ingerida retorna ao ambiente por meio da excreção (urina), da transpiração, da respiração e das fezes. No entanto, parte da água absorvida por plantas e animais fica incorporada a seus tecidos, sendo devolvida ao ambiente quando esses organismos morrem e sofrem decomposição.



...principalmente, em locais onde há rochas porosas que possibilitam a passagem e o armazenamento da água. Como podem ser usados como fonte de água para consumo humano, os aquíferos precisam ser monitorados a fim de evitar contaminações por esgotos ou agrotóxicos, que também podem se infiltrar no solo.

Sugere-se a leitura da obra *Águas doces no Brasil*, de Alípio da C. Rebouças, Benedito Braga e José Galizia Tundisi (ver Sugestão para o professor).

CONEXÕES

O planeta das águas

[...]

O ciclo hidrológico, o permanente movimento da água líquida e vapor-d'água da atmosfera e da água sob estado sólido nas geleiras, é impulsionado pela energia solar, pelo transporte de nuvens, por ventos. Esse ciclo, por sua vez tem papel fundamental nas rotas e ciclos de distribuição de elementos, substâncias e organismos. De fundamental importância nesse ciclo é o papel da vegetação. A evapotranspiração repõe água para a atmosfera a uma taxa apreciável (cerca de 30% da água na atmosfera é proveniente da evapotranspiração da vegetação) [...]. As florestas contribuem para a recarga dos aquíferos subterrâneos, diminuem a erosão e removem contaminantes das águas superficiais. [...] É por esta razão que florestas ripárias ou "florestas beiradeiras" (segundo Ab'Sáber) têm um papel fundamental na regulação e manutenção de qualidade de água de rios e riachos. E também é por essa razão que os custos do tratamento de água de regiões protegidas por florestas é muito mais baixo (100 vezes menor) que o tratamento de água proveniente de mananciais degradados.

[...]

TUNDISI, José Galizia. O planeta das águas. *Scientific American Brasil*, São Paulo, n. 63, p. 14-19, fev/mar. 2015. Edição especial.

Ciclo do carbono

O carbono é um elemento químico fundamental à formação dos organismos, pois está presente em todos os compostos orgânicos, como proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos. Também existe em abundância em compostos minerais, como os carbonatos, e nos depósitos orgânicos formadores de petróleo (carvão e turfa).

Na constituição atmosférica, o carbono é encontrado principalmente na forma de dióxido de carbono (CO_2). Organismos autótrofos fotossintetizantes, como plantas, algas e cianobactérias, utilizam o dióxido de carbono presente no ar ou na água para a produção de carboidratos (açúcares). Esses organismos, assim como os consumidores, utilizam os compostos orgânicos durante o metabolismo energético (respiração celular). Com isso, ocorre a liberação de energia para a realização das atividades metabólicas e de CO_2 como resíduo respiratório, o qual é devolvido ao ar atmosférico ou à água e novamente incorporado pelas plantas na fotossíntese, fechando o ciclo.



Esquema representativo do ciclo do carbono

Além do CO_2 , existem outros compostos ricos em carbono que entram na constituição atmosférica, porém em quantidades bem pequenas. Um deles é o monóxido de carbono (CO), encontrado em quantidade aproximada de 0,1 ppm (parte por milhão); e o outro é o metano (CH_4), resultante da **degradação anaeróbica** de compostos orgânicos. Esses dois gases são oxidados na atmosfera, produzindo novamente o CO_2 .

O retorno do carbono ao ar atmosférico pode demorar milhares de anos. Isso ocorre porque a matéria orgânica pode permanecer armazenada no subsolo na forma de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e turfa. Quando o ser humano utiliza esses combustíveis, possibilita o retorno de toneladas de átomos de carbono ao ar atmosférico.

PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DE CARBONO DA TERRA

Reservatório	Carbono (gigatons)	Porcentagem do total de carbono da Terra
Oceanos	$38 \cdot 10^3$ (> 95% correspondem ao C inorgânico)	0,05
Rochas e sedimentos	$75 \cdot 10^6$ (> 80% correspondem ao C inorgânico)	> 99,5
Biosfera terrestre	$2 \cdot 10^3$	0,003
Combustíveis fósseis	$4,2 \cdot 10^3$	0,006
Biosfera aquática	1-2	0,000002
Hidratos de metano	10^4	0,014

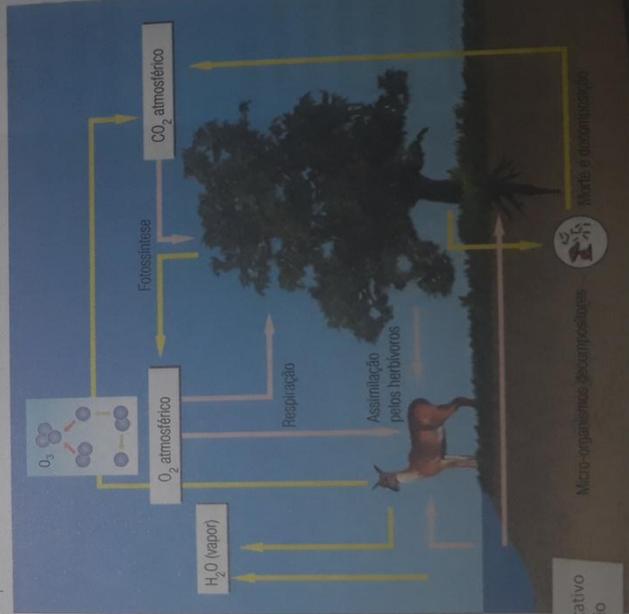
Fonte: INSTITUTO DE BIOLÓGIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *O ciclo do carbono*. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/~delim/projeto/thiavena/index.htm>>. Acesso em: 23 set. 2015.
 Indica-se a leitura dos livros *2015: diário do carbono*, de S. Lloyd, e *A longa marcha dos grãos cambiais*, de Fernando Reinach (ver Sugestões para os alunos e o professor).

Ciclo do oxigênio

O gás oxigênio (O_2) é vital para a sobrevivência dos seres vivos, pois participa dos processos oxidativos que possibilitam a **respiração celular**. O ciclo do oxigênio envolve reações que ocorrem no metabolismo energético dos seres vivos. Isso significa que esse elemento circula, fundamentalmente, nos processos de fotossíntese e respiração celular.

As três principais fontes de átomos de oxigênio para os seres vivos são o gás oxigênio (O_2), o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O). A água constitui um dos produtos formados na respiração celular e parte dela é eliminada por meio da transpiração, da excreção (urina) e das fezes, fazendo com que o oxigênio retorne ao ambiente. A outra parte é utilizada em diversos processos metabólicos, incorporando-se à estrutura dos seres vivos. Assim, os átomos de oxigênio podem voltar à atmosfera ou aos oceanos, rios e lagos pela decomposição dos organismos.

A água que retorna aos ecossistemas participa da fotossíntese. Na fase clara desse processo, ela sofre a **fotólise** (quebra em presença de luz), resultando em íons hidrogênio (H^+) e oxigênio molecular (O_2), o qual é liberado na atmosfera, fechando o ciclo.



Esquema representativo do ciclo do oxigênio

Micro-organismos decompositores

Água e hidratos

Além disso, parte do oxigênio atmosférico combina-se com metais presentes no solo (ferro, silício, manganês, entre outros), formando diversos óxidos, e outra parte localiza-se na **estratosfera** (entre 10 e 45 km), na forma de **ozônio** (O_3).

A camada de ozônio funciona como um filtro protetor das radiações ultravioleta. Ela se forma quando essas radiações dissociam o oxigênio molecular (O_2), liberando os átomos de oxigênio, que se combinam com outras moléculas de O_2 , formando o ozônio (O_3).

Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um elemento químico fundamental para a biodiversidade, pois está presente na constituição dos aminoácidos, que formam as proteínas, e das bases nitrogenadas, formadoras dos ácidos nucleicos (DNA e RNA). Apesar de ser muito abundante na atmosfera (aproximadamente 78%), o nitrogênio não se encontra disponível para o uso direto pela maioria dos seres vivos, pois sua estrutura molecular (N_2) apresenta grande estabilidade, tornando-o pouco reativo com outros elementos.

Por esse motivo, o nitrogênio não pode ser diretamente absorvido pelas plantas. Ele é absorvido pelas raízes na forma de amônia (NH_3) ou ion nitrato (NO_3^-) presentes no solo e na água. Já os animais podem aproveitá-lo na forma de aminoácidos retirados dos alimentos.

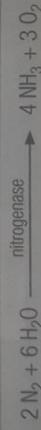
Para que os seres vivos possam utilizar o nitrogênio e que seja possível seu retorno ao ar atmosférico, é fundamental a participação de micro-organismos, que realizam as quatro etapas do ciclo: **fixação, decomposição, nitrificação e desnitrificação**.

Fixação do nitrogênio

Processo que possibilita a incorporação do nitrogênio molecular (N_2), convertendo-o em compostos biodisponíveis, ou seja, substâncias que podem ser usadas pelas células.

A **fixação atmosférica** ou **não biológica** ocorre por meio da energia calorífica gerada pelos raios na atmosfera, a qual provoca a reação de oxidação do nitrogênio, formando os íons nitrato (NO_3^-). Estes, ao serem carregados ao solo pela ação das chuvas, ficam disponíveis para a absorção vegetal.

Na **fixação biológica** ou **biofixação**, o nitrogênio é incorporado às células dos micro-organismos fixadores de nitrogênio que vivem no solo, reagindo com os hidrogênios (da água) e produzindo amônia (NH_3). Esse processo ocorre na presença da enzima **nitrogenase**.



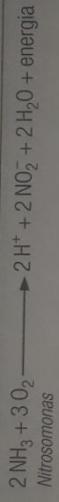
Quando os compostos nitrogenados presentes em moléculas orgânicas de resíduos da excreção (urina) ou de organismos mortos sofrem decomposição, ocorre a formação de amônia (NH_3) ou **amoniização**. Esse processo é uma forma de obtenção de energia, pois a decomposição nada mais é que uma consequência da respiração celular de fungos e bactérias.

Os principais micro-organismos fixadores de nitrogênio são as cianobactérias (*Nostoc* e *Anabaena*) e as bactérias (*Azotobacter* e *Clostridium*) que vivem no solo. Existe, ainda, um grupo especial de bactérias, do gênero *Rhizobium*, que vive no interior de nódulos das raízes de plantas leguminosas (feijão, amendoim, ervilha, alfafa, entre outras), estabelecendo uma relação harmônica de mutualismo. Desse modo, os micro-organismos fornecem o nitrogênio fixado às leguminosas, e estas fornecem glicose (resultante da fotossíntese) aos fixadores. O excedente de material nitrogenado é liberado no solo na forma de amônia.

Nitrificação

Poucas plantas conseguem absorver o nitrogênio presente na amônia. Assim, a absorção geralmente é feita na forma de nitrato (NO_3^-). A nitrificação corresponde aos processos que possibilitam a formação de **nitrato** no solo ou na água e ocorre em duas etapas: nitrificação e nitratação.

A **nitroação** é realizada por bactérias do gênero *Nitrosomonas*, as quais utilizam amônia em seu processo de quimiossíntese e liberam o íon nitrato (NO_3^-).



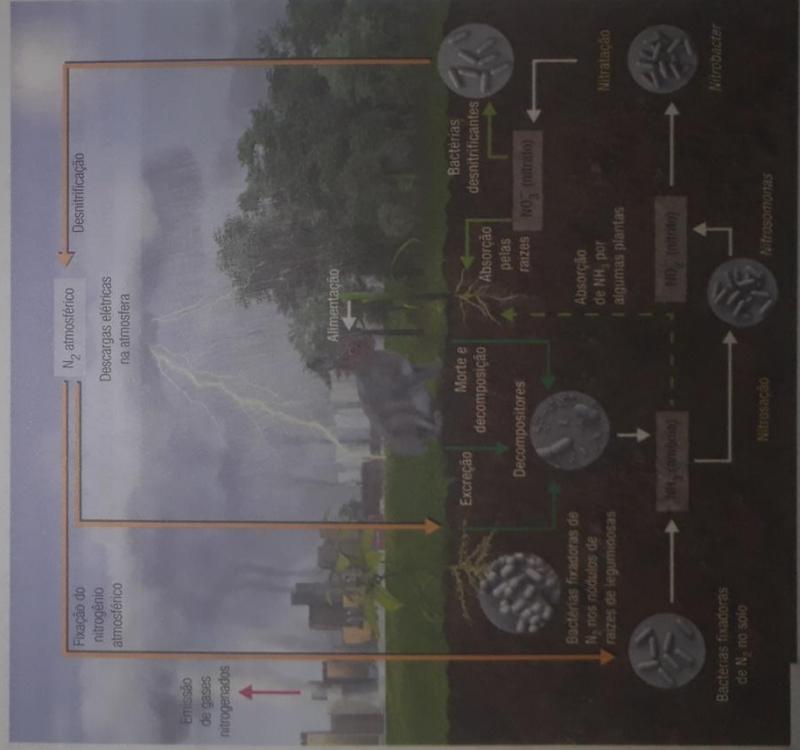
Contudo, o nitrato é tóxico para as plantas e não é absorvido por elas. Esse íon é oxidado por outro grupo de bactérias quimiossintetizantes presentes no solo, as quais realizam a **nitratificação**. Nesse processo, as bactérias do gênero *Nitrobacter* usam os nitratos em seu metabolismo, transformando-os em **nitritos**, que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas e incorporados na constituição, principalmente, de suas proteínas e ácidos nucleicos.

Assim, quando os vegetais são consumidos nas cadeias alimentares pelos herbívoros, o nitrogênio também passa a fazer parte de suas estruturas moleculares.



Desnitrificação

Uma parte dos compostos nitrogenados presentes no solo segue a via da nitrificação e outra parte é convertida em nitrogênio molecular (N_2), o qual reinicia o ciclo. Essa conversão é realizada pelas bactérias desnitrificantes do gênero *Pseudomonas*. Quando a disponibilidade do oxigênio atmosférico é menor, essas bactérias utilizam o oxigênio existente no nitrato para produzir energia. Assim, o gás nitrogênio (N_2) é liberado e retorna à atmosfera.



Esquema representativo do ciclo do nitrogênio

Os nitratos são nutrientes minerais escassos em muitos solos agrícolas e sua adição por adubação artificial (fertilizantes químicos industrializados), além de prejudicar o solo e reservatórios de água doce, requer alto gasto financeiro. Contudo, existem técnicas naturais e baratas de fertilização do solo que não agridem o meio ambiente, como a rotação de culturas e a adubação verde.

A **rotação de culturas** consiste em alternar plantações de arroz, milho ou trigo com leguminosas, como feijão e soja. Esse recurso é muito utilizado na agricultura, pois tem como grande benefício o mutualismo existente entre as leguminosas e as bactérias fixadoras, que repõem o nitrogênio retirado do solo por outras plantas.

Na **adubação verde**, algumas leguminosas são inseridas entre as plantações e, quando cortadas, podem ser deixadas recobrir o solo. Esses restos vegetais sofrem decomposição, enriquecendo o solo com compostos nitrogenados.

Entre as vantagens da rotação de culturas e da adubação verde, estão melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo; controle de plantas daninhas, bem como de doenças e pragas (fungos, lagartas e vermes); reposição de restos orgânicos; proteção do solo contra a ação de agentes climáticos; e economia no uso de fertilizantes nitrogenados.

Ciclo do fósforo

O fósforo (P) é um importante elemento químico para a formação dos seres vivos, pois faz parte da constituição dos ácidos nucleicos e, principalmente, das moléculas energéticas, como a adenosina trifosfato (ATP). O ciclo do fósforo concentra-se no solo, nas rochas e nos seres vivos, pois esse elemento não apresenta compostos gasosos. As plantas utilizam os **ions fosfato** (PO_4^{3-}) encontrados na água que absorvem do solo, e os animais obtêm esse íon pela ingestão de água e alimentos. O retorno do fósforo ao ambiente ocorre pela decomposição da matéria orgânica.

O ciclo do fósforo acontece em duas escalas de tempo: o ecológico e o geológico. O **ciclo de tempo ecológico** ocorre localmente e de maneira mais rápida, pois o fósforo circula apenas entre o solo, as plantas, os consumidores e os decompositores. Já o **ciclo de tempo geológico** leva muito mais tempo para se completar, pois o fósforo presente no ambiente é incorporado às rochas, tornando-se lentamente disponível para os seres vivos.



Esquema representativo do ciclo do fósforo

lixiviação: caracteriza-se pela ação da água da chuva, que, ao se infiltrar nas camadas mais profundas do solo, leva consigo minerais do solo, reduzindo sua fertilidade.

Ao estudar a hereditariedade de diferentes características entre as plantas de ervilha, Mendel descreveu suas observações e encontrou padrões nas transferências de atributos. Entre os anos de 1856 e 1863, concluiu estatisticamente que algumas características eram mais numerosas que outras durante os cruzamentos das ervilhas.

Mais tarde, em 1865, apresentou seu trabalho, *Experiências em híbridos de plantas (Versuche über Pflazen – Hybriden)*, na Sociedade dos Naturalistas de Brünn. Seus estudos foram impressos e distribuídos entre vários países, como Alemanha, Austrália, Estados Unidos e Inglaterra, mas seu valor científico não foi reconhecido na época.

Os cientistas não estavam acostumados com análises estatísticas das descendências, portanto não valorizaram o trabalho de Mendel. Posteriormente, ele teve uma função burocrática no mosteiro e não pôde mais desenvolver estudos científicos. Mendel faleceu em 1884, nesse mesmo mosteiro, aos 61 anos. Somente em 1900, 16 anos após sua morte, seu mérito foi reconhecido. Três cientistas – Hugo de Vries (Holanda), Carl Correns (Alemanha) e Erich von Tschermak (Áustria) –, trabalhando separada e simultaneamente, chegaram às mesmas conclusões de Mendel, razão pela qual ele passou a ser considerado o fundador da Genética.

Teoria cromossômica da herança

No final do século XIX e início do século XX, a observação e a descrição dos cromossomos, a compreensão dos processos de mitose e meiose e o entendimento de que os genes se encontravam nos cromossomos permitiram que os resultados dos experimentos de Mendel fossem explicados em termos de estrutura e processo.

Estabelecida a relação entre os cromossomos e a herança dos genes, desenvolveu-se a **teoria cromossômica da herança**. Proposta independentemente por Walter Sutton e Theodor Boveri, essa teoria cita o fato de os cromossomos serem a base física dos fatores mendelianos.

Assim, a meiose, a duplicação e a divisão dos cromossomos pelas células-filhas foram relacionadas aos fatores de hereditariedade e à manutenção do número de cromossomos nas espécies. O material genético encontra-se, frequentemente, na forma de cromatina e, quando se inicia a divisão celular, ela se organiza na estrutura que forma os cromossomos.

Os estudos de Mendel, então, criaram possibilidades para a compreensão dos mecanismos evolutivos e auxiliaram no desenvolvimento da ciência atualmente conhecida como Engenharia Genética. Por meio de novas pesquisas nessa área científica, a Genética tem provocado transformações econômicas e sociais, como a descoberta de novos medicamentos, a utilização de células-tronco, o mapeamento genético e a terapia gênica.

Essas informações mostram a importância da Genética, a qual estuda não apenas as leis e os princípios que regem a transmissão das características hereditárias, mas abrange diversas áreas, especialmente a Química, a Medicina, a Evolução e a Ecologia.

Podem ser relacionadas as etapas da meiose para que os alunos relembrem a forma como os cromossomos são separados entre as células-filhas na meiose.



Mundo do trabalho

Geneticista

A Genética teve um grande avanço nas últimas décadas. Com isso, o profissional que atua nessa área, o **geneticista**, passou a ser mais requisitado por sua atuação na pesquisa e manipulação genética.

Os trabalhos do geneticista podem estar associados ao ramo da pesquisa científica relacionada a doenças genéticas, exames de paternidade, células-tronco, desenvolvimento de medicamentos e organismos geneticamente modificados. Outra possibilidade é a pesquisa referente ao aconselhamento genético, voltado ao diagnóstico de famílias com problemas genéticos a determinadas doenças e verificação da probabilidade de repetição nos descendentes.