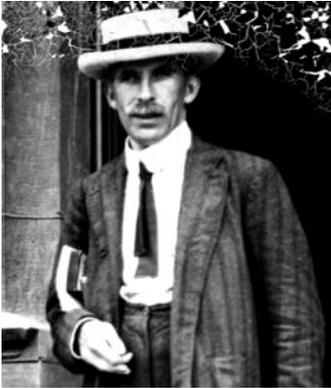


Texto Base: Aula 27

Ecosistemas

Autor: Ana Lúcia Brandimarte

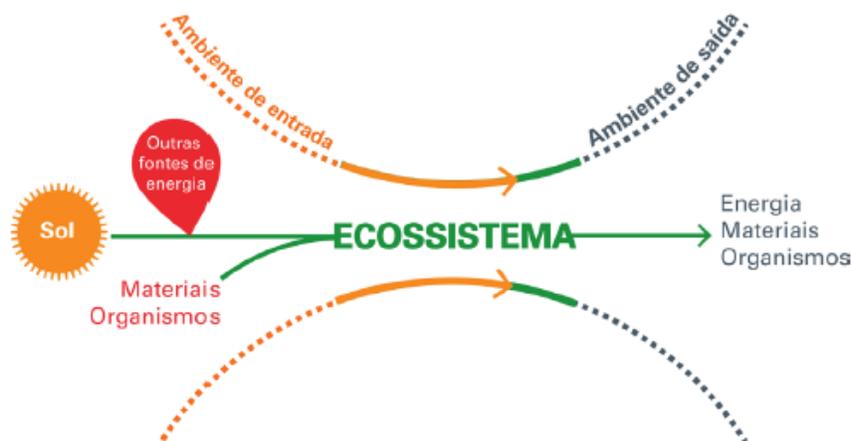
Ecosistema



Fonte: <http://people.wku.edu/>

O termo ecossistema foi cunhado por Sir Arthur George Tansley, um ecólogo vegetal inglês, em 1935. De modo geral, um sistema pode ser caracterizado pela existência de componentes que funcionam de modo interligado e que interagem entre si. Um *ecossistema* ou *sistema ecológico* é constituído por um agrupamento de componentes abióticos e bióticos, presentes em um determinado local, que estão em interação por meio do fluxo de energia e da ciclagem de materiais. O conjunto de todos os ecossistemas existentes na Terra é denominado *biosfera* (do grego *bios* = vida e *sfaira* = esfera).

O ecossistema é um sistema aberto caracterizado pela existência de entradas (importação) e saídas (exportação) de energia e material que podem variar de acordo com sua idade, em diferentes épocas do ano e de sistema para sistema. A existência de entradas e saídas pressupõe a existência de limites no ecossistema. Na maioria dos ecossistemas, a principal fonte de energia para a continuidade de sua manutenção provém da radiação solar, mas existem sistemas nos quais os detritos (matéria orgânica morta particulada ou dissolvida) constituem a principal fonte de energia como ocorre em cavernas nas quais a luz solar é ausente ou muito reduzida.



Fonte: Brandimarte e Santos, 2014a

O fluxo de energia e a ciclagem de materiais são os processos determinam o funcionamento do ecossistema, enquanto seus componentes determinam sua estrutura. Esta já foi apresentada nas aulas precedentes, principalmente no que se refere aos componentes bióticos. Nesta aula vamos

tratar principalmente do funcionamento dos ecossistemas, ou seja, da forma como a energia e o material passam pelos elementos estruturais do sistema.

Fluxo de energia

- Organismos autótrofos e heterótrofos

Os organismos que conseguem produzir matéria orgânica a partir de substâncias inorgânicas são denominados *autótrofos* (do grego *auto* = próprio e *trophe* = alimento). Na grande maioria dos ecossistemas estes organismos, direta ou indiretamente, têm um papel fundamental na manutenção dos demais organismos.

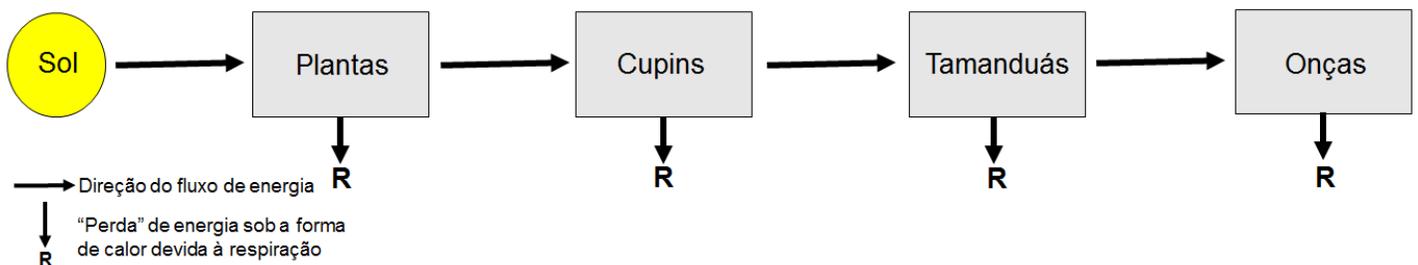
Grande parte da energia que entra em um ecossistema tem origem na radiação solar e é fixada em energia química por autótrofos denominados *produtores primários* que realizam a *fotossíntese oxigênica*, na qual ocorre síntese de glicose na presença de luz, dióxido de carbono (CO_2) e água (que doa elétrons para a ocorrência da reação) e liberação de oxigênio como subproduto das reações envolvidas no processo. No entanto, existem autótrofos que não produzem matéria orgânica por meio da fotossíntese oxigênica. Assim, a *fotossíntese anoxigênica* é realizada por *bactérias fotossintetizantes* que fixam o carbono presente no CO_2 em matéria orgânica, na presença de luz, mas sem haver produção de oxigênio. Neste processo fotossintético a energia luminosa também é a fonte de energia para a fixação do CO_2 , mas os doadores de elétrons são compostos como o H_2 (hidrogênio molecular) ou o gás sulfídrico (também denominado sulfeto de hidrogênio) (H_2S), o que explica o fato de não haver produção de oxigênio. Acredita-se que este foi o primeiro tipo de fotossíntese existente. Pode ser realizado por bactérias sulfurosas púrpuras e sulfurosas verdes que são *anaeróbias obrigatórias* (vivem obrigatoriamente na ausência de oxigênio) ou por bactérias fotossintéticas não sulfurosas que são *anaeróbias facultativas* (vivem na presença ou ausência de oxigênio). Na *quimiossíntese*, *bactérias quimiosintetizantes* obtêm a energia necessária para a fixação de carbono inorgânico na matéria orgânica a partir da oxidação de compostos inorgânicos reduzidos como o íon amônio (NH_4^+), metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S) e íon ferroso (Fe^{2+}). A maior parte destas bactérias utiliza oxigênio para a oxidação destes compostos. Existem ecossistemas em águas oceânicas profundas que são totalmente dependentes da produção das bactérias quimiosintetizantes. Em fontes sulfurosas há abundância de bactérias do gênero *Thiobacillus* que realizam quimiossíntese obtendo energia a partir da oxidação de gás sulfídrico a nitrato (NO_3^-).

A energia fixada pelos autótrofos como energia química na matéria orgânica é utilizada em vias metabólicas envolvidas nos processos relacionados ao desempenho biológico destes indivíduos (sobrevivência, atividade, crescimento e reprodução). Parte desta energia é transformada em calor, devido ao processo de respiração celular e é liberada para o meio. A energia que não é eliminada como calor e que não é gasta nos processos relacionados ao desempenho biológico fica estocada nos autótrofos, levando ao aumento de sua *biomassa*. Esta é definida como a massa total de organismos por unidade de área ou de volume (caso de organismos planctônicos, por exemplo), podendo ser calculada para apenas uma espécie ou para um conjunto de espécies, dependendo do objetivo que levou ao cálculo. A biomassa, geralmente, é convertida e expressa em termos de

energia (ex.: kcal/km²), peso seco (massa restante nos organismos após a secagem para eliminação de água) (ex.: gramas de peso seco por m²) ou conteúdo de carbono (ex.: grama de C por m²).

Todos os organismos que não conseguem sintetizar matéria orgânica a partir de matéria inorgânica obtêm seu alimento e, portanto, energia por meio do consumo de outros organismos, sendo denominados *heterótrofos* (do grego *hetero* = outro e *trophe* = alimento) ou, ainda, *consumidores*. Estes também liberam parte da energia obtida sob a forma de calor devido à respiração celular e, assim como os autótrofos, estocam energia na biomassa.

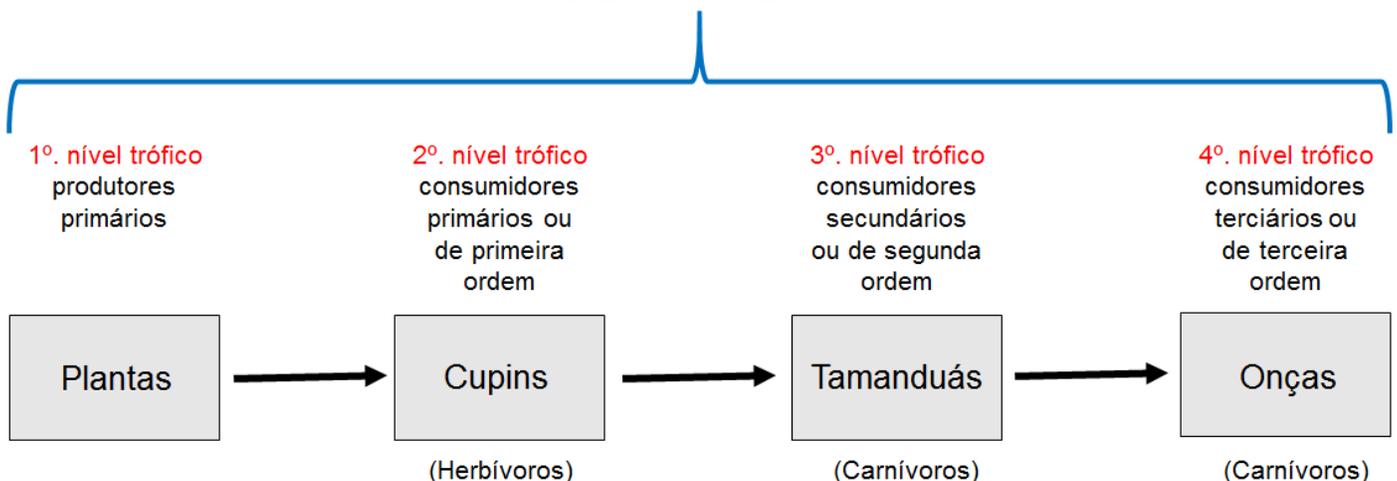
Como resultado das interações tróficas entre as espécies que vivem em um ecossistema estabelece-se um *fluxo de energia* entre os componentes da biota que é expresso como quantidade de energia que flui entre os organismos em uma área em um determinado tempo (ex.: kcal por km² por ano).



- Cadeia alimentar e níveis tróficos

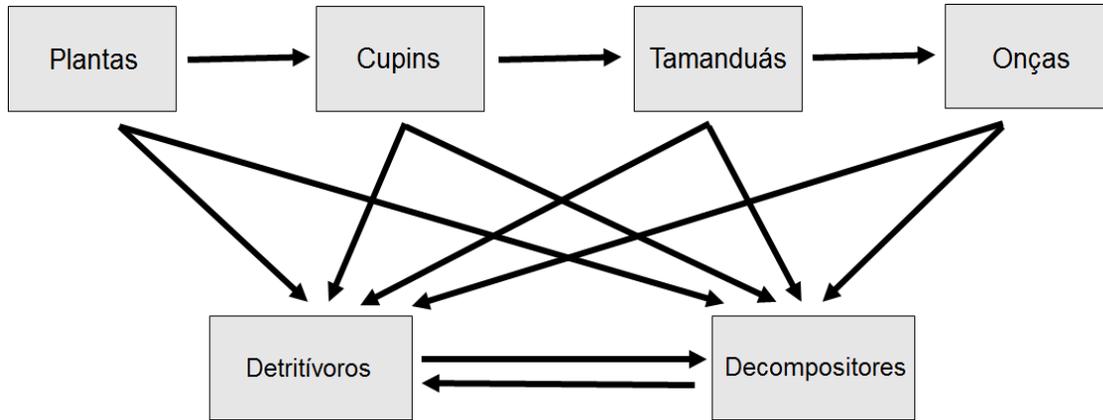
Parte da energia solar que entra em um ecossistema terrestre, após ser absorvida pelos vegetais e fixada em energia química, segue para os consumidores que consomem estes produtores primários (*herbívoros*), mas que também servem de alimento para outros consumidores (*carnívoros*) e assim sucessivamente. Esta passagem de energia por organismos que consomem e são consumidos denomina-se *cadeia alimentar* ou *trófica*. Cada posição ocupada pelos organismos (de uma ou mais espécies) ao longo da cadeia recebe o nome de *nível trófico*.

CADEIA ALIMENTAR



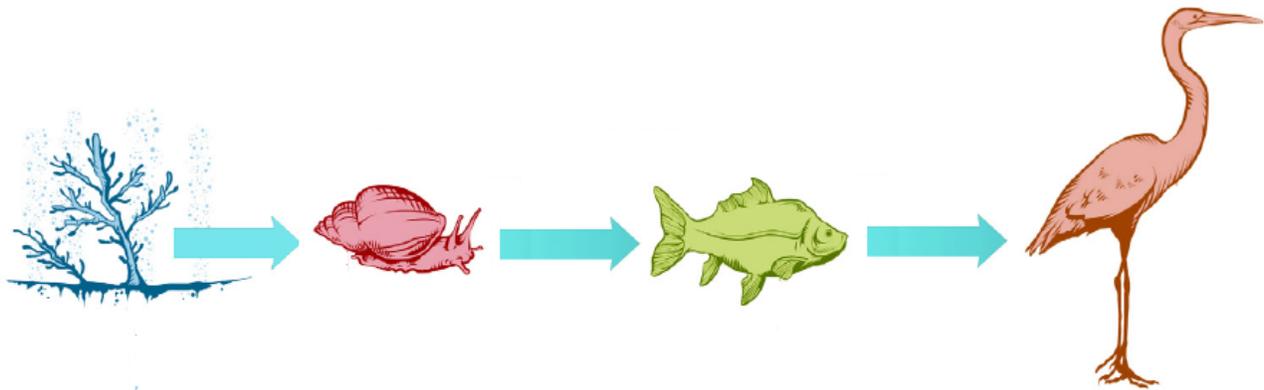
Em um ecossistema a degradação da matéria orgânica morta até sais minerais, ou seja, o processo de *decomposição* ou *mineralização*, está a cargo dos *decompositores* (fungos e bactérias). Assim como os decompositores, os *detritívoros* também utilizam detritos como recurso alimentar,

mas não realizam sua decomposição. Ao se alimentar de matéria orgânica morta acabam diminuindo o tamanho das partículas detritais, o que acelera sua degradação por processos físicos (abrasão) e químicos (lixiviação de compostos orgânicos dissolvidos), além de facilitar a ação dos decompositores. Como estes dois grupos de consumidores recebem recursos de todos os demais níveis tróficos, não são apresentados em sequência a nenhum outro nível na cadeia. No entanto, podem ser representados como receptores de energia dos demais níveis (atente para o fato de que na representação de uma cadeia alimentar, a direção da seta aponta qual grupo é o receptor de energia).



O posicionamento de uma espécie em um nível trófico é função de sua participação em uma determinada cadeia e não da espécie propriamente dita. Por este motivo, a mesma espécie pode ser atribuída a diferentes níveis dependendo da cadeia considerada.

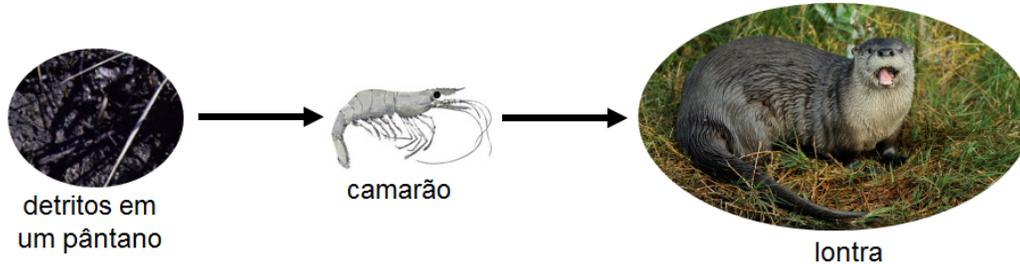
Existem três tipos de cadeias alimentares que diferem quanto à forma como o alimento disponível aos consumidores entra na cadeia. A *cadeia de pastejo* se inicia com produtores primários. Neste caso, a biomassa produzida pelos organismos fotossintetizantes torna-se disponível para os consumidores primários como matéria orgânica viva.



Fonte: modificado de Brandimarte e Santos, 2014b

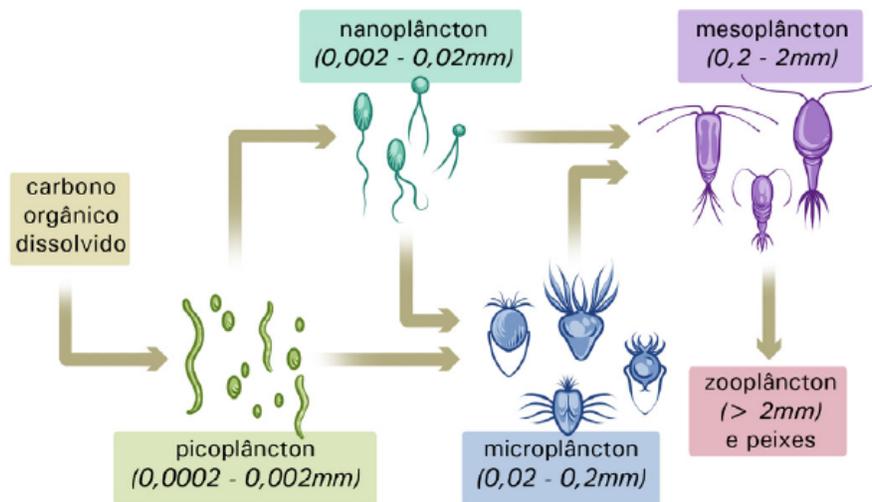
A *cadeia de detritos* ou *detritica* inicia-se com organismos detritívoros que utilizam a energia contida na matéria orgânica morta como recurso alimentar. A biomassa produzida pelos autótrofos entra na forma de matéria orgânica morta que será utilizada pelos detritívoros. Este tipo de cadeia é

encontrado em todos os ecossistemas, visto que detritos sempre são produzidos, mas existem situações em que elas são particularmente importantes. Este é o caso de cavernas que não recebem luz solar, sedimento de pântanos, serapilheira (camada de folhodo) que recobre o solo de uma floresta, entre outros exemplos.



Fontes das figuras: <https://tpwd.texas.gov>; <http://ddnwr.weebly.com> e <http://www.jimclarkphoto.com>

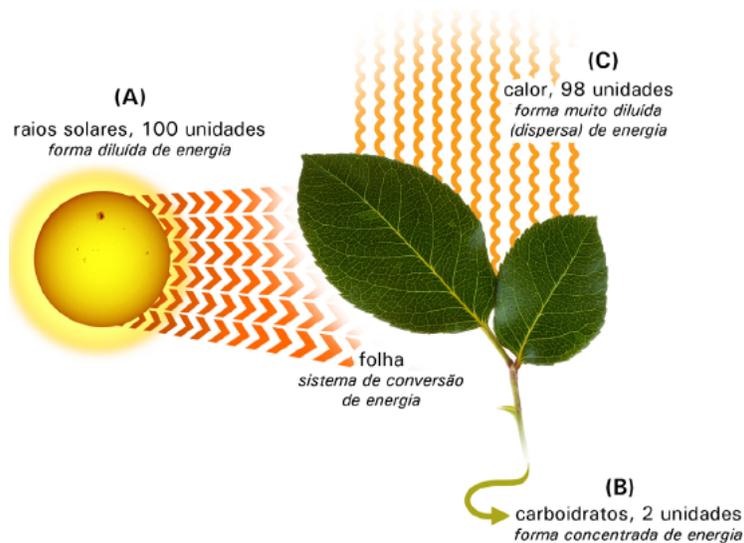
A *cadeia microbiana* ou *alça microbiana* ocorre em ambientes aquáticos e nela a matéria orgânica oriunda dos autótrofos entra sob a forma de matéria orgânica dissolvida, a qual juntamente com substâncias liberadas pelos consumidores é incorporada por micro-organismos que iniciam a cadeia.



Fonte: Brandimarte e Santos, 2014b (modificado de <http://www.chesapeakequarterly.net/V06N34/main1c/>)

- Leis da termodinâmica

O destino da energia em um ecossistema é explicado pelas leis da termodinâmica. A *primeira lei da termodinâmica*, ou *lei da conservação de energia*, afirma que um determinado tipo de energia pode ser transformado em outro, mas que a quantidade de energia no sistema se mantém constante. Exemplos de transformação de energia no ecossistema são a fixação da radiação solar em energia química pela fotossíntese e a transformação de parte desta energia em calor, o qual é liberada pelos organismos para o meio. A primeira lei é facilmente compreendida acompanhando-se o esquema abaixo. A energia que entra no sistema como energia luminosa (**A**) é transformada em energia química fixada nas moléculas de glicose (**B**) e parte desta é liberada pelos organismos como calor (**C**). No entanto, a quantidade de energia no sistema se mantém igual à que entrou (**A = B + C**).



Fonte: Brandimarte e Santos, 2014c (modificado de Odum, 1993)

Pela primeira lei da termodinâmica conclui-se que a energia que entra em um determinado nível trófico é igual à somatória da energia liberada como calor e da energia disponível (armazenada na biomassa) para o próximo nível trófico.

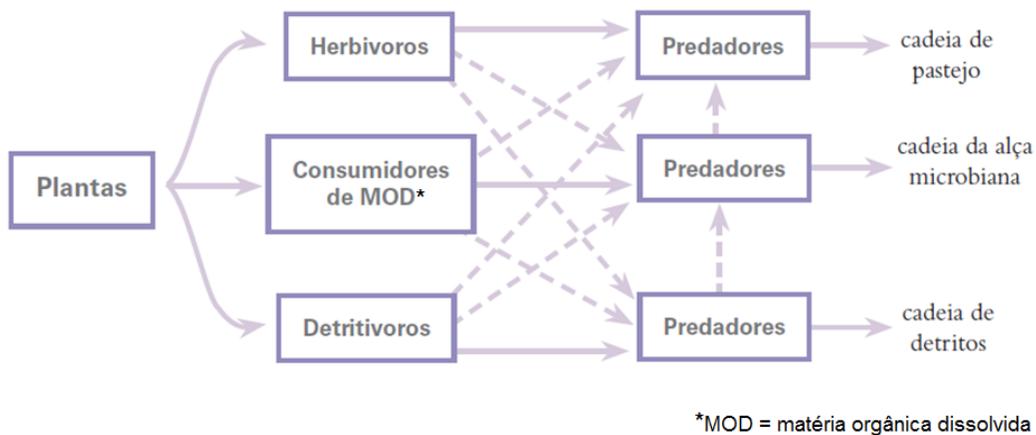
A segunda lei da termodinâmica ou lei da entropia afirma que um tipo de energia pode ser transformado em outro apenas se houver degradação da energia que entra no sistema para uma forma menos concentrada, como ocorre com parte da energia química contida na glicose (energia mais concentrada) que é transformada em calor (forma menos concentrada). Por esta lei, depreende-se que, em função da degradação de energia que entra em um nível trófico para calor, a quantidade de energia disponível para o nível posterior sempre diminui ao longo da cadeia alimentar. Soma-se a isto, o fato de que nem sempre um item alimentar é aproveitado em sua totalidade por um consumidor (ex.: um predador deixa de lado pele, ossos e outros componentes de sua presa). Deste modo, é fácil concluir que o número de níveis tróficos ocupados por consumidores em uma cadeia, ou seja, quantas ordens de consumidores existirão, depende da quantidade de energia fixada em biomassa pelos autótrofos e da eficiência de utilização de energia recebida por cada nível trófico de consumidor. Em outras palavras, o número de elos em uma cadeia alimentar não é infinito devido às “perdas” de energia que ocorrem nos diferentes níveis tróficos. A palavra perda é utilizada aqui com o sentido de que parte da energia não será utilizada.

Uma vez que a energia disponível para um determinado nível trófico não retorna ao nível trófico anterior e que parte desta energia é sempre liberada sob uma forma mais degradada e não aproveitável (calor), o fluxo de energia estabelecido entre componentes bióticos do ecossistema é unidirecional.

- *Teias alimentares*

Um ecossistema, geralmente, é formado por muitas espécies que interagem por meio da participação em mais de uma cadeia alimentar. Como, geralmente, uma mesma espécie pode servir de alimento para diferentes espécies, normalmente ocorrem várias cadeias alimentares que se

interligam em função de possuírem componentes em comum. Estas cadeias interligadas são denominadas *teias* ou *redes alimentares*.



Fonte: Brandimarte e Santos, 2014b (modificado de Odum, 1993)

- Eficiência ecológica

A segunda lei da termodinâmica indica que nenhuma transformação de energia é totalmente eficiente, visto que sempre há liberação de uma forma de energia que não é aproveitável. A manutenção de uma população em um dado ecossistema depende da eficiência de seus componentes na canalização da energia captada em prol do desempenho biológico. A *eficiência ecológica* de cada nível trófico, ou mesmo de cada população, pode ser avaliada pela razão entre a energia que é disponibilizada para o próximo nível trófico e a energia que recebeu, multiplicada por 100. Quanto maior esta razão, maior a eficiência do nível trófico pois indica que houve menor liberação de energia como calor.

- Produtividades primária e secundária

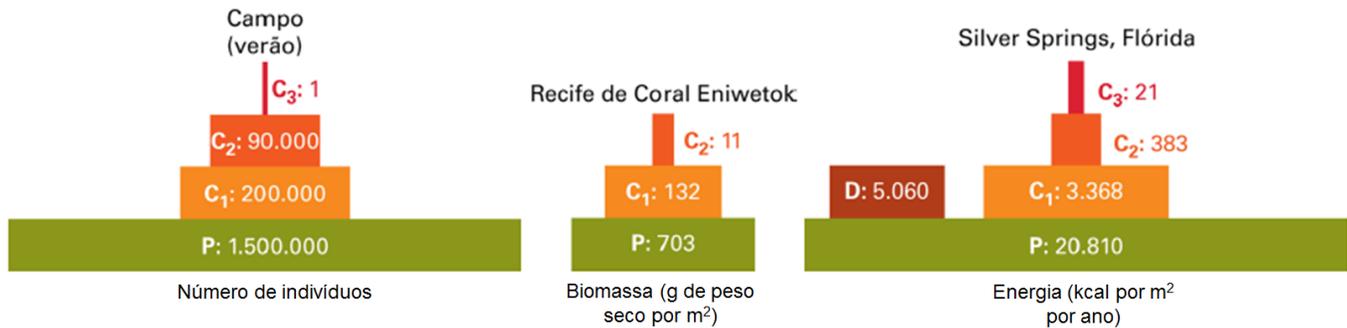
A quantidade de energia luminosa fixada na biomassa por organismos que realizam fotossíntese oxigênica por unidade de área é denominada *produção primária*. Se esta produção for calculada em um determinado período de tempo fala-se em *produtividade primária*. Esta taxa pode ser expressa em termos de unidade de massa por área por tempo, mas normalmente a biomassa é convertida em energia e o valor é expresso como unidade de energia por área por tempo (ex.: kcal por m² por ano).

A *produtividade primária bruta (PPB)* diz respeito a toda biomassa produzida por uma determinada espécie ou grupo de espécies de produtores primários em uma área (ou volume no caso de ecossistemas aquáticos) por um determinado período de tempo. Como parte da energia fixada na biomassa pelos produtores é utilizada por eles próprios, com consequente liberação de calor, a biomassa realmente disponível para os consumidores primários é a equivalente à PPB menos o que foi gasto na respiração (R) e que é medido como calor. Esta porção da produtividade primária disponível para os consumidores primários é denominada *produtividade primária líquida (PPL)*.

A porção da energia recebida que é efetivamente transformada em biomassa por consumidores por unidade de área por tempo é denominada *produtividade secundária*.

- Pirâmides ecológicas

As *pirâmides ecológicas* são utilizadas como uma forma fácil de visualizar as relações entre número de indivíduos, biomassa e energia presentes nos diferentes níveis tróficos. Cada camada da pirâmide representa um nível trófico, sendo que a basal se refere ao primeiro nível trófico e as demais, em sequência, aos níveis consecutivos. A largura de cada camada é proporcional à quantidade de indivíduos, biomassa ou energia existente em cada nível.



P: produtor primário
C_{1,2 e 3}: consumidores de primeira, segunda e terceira ordens respectivamente
D: decompositores

Fonte: Brandimarte e Santos, 2014c (modificado de Odum, 1985)

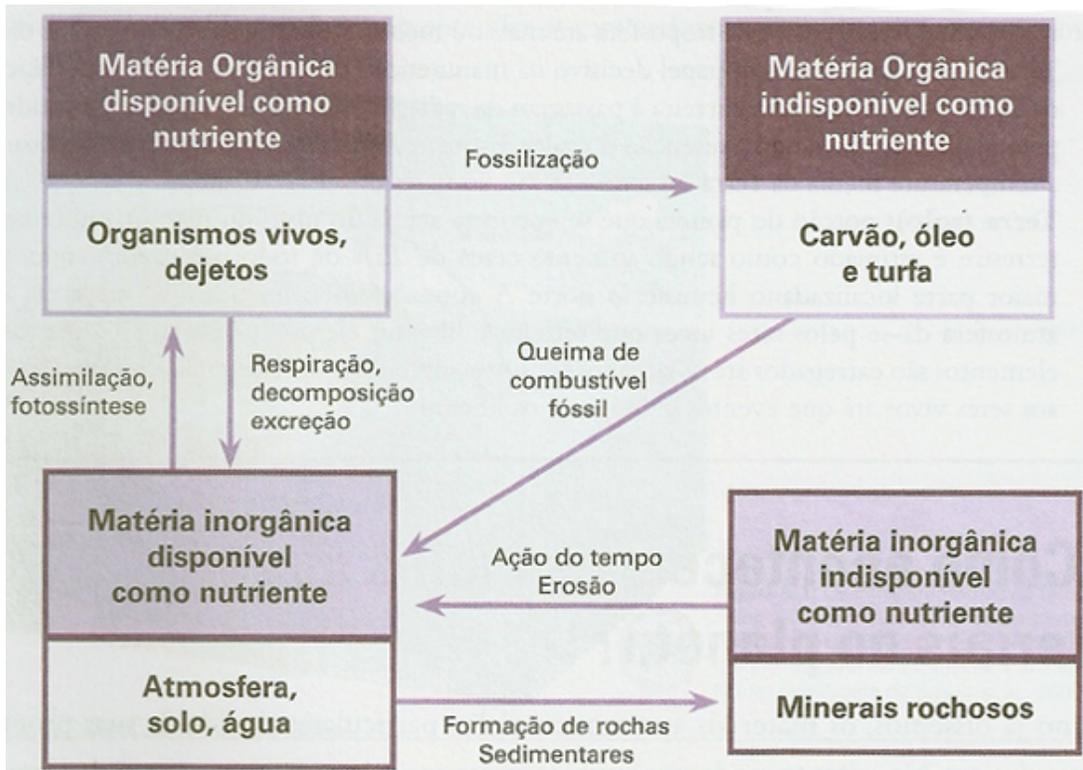
As pirâmides de números e de biomassa podem ser invertidas, ou seja, apresentar valores menores na base que nos demais níveis. A pirâmide de energia, no entanto, jamais será invertida devido à ocorrência de dissipação de energia sob a forma de calor de um nível trófico para outro. Assim, para que um próximo nível trófico possa ser mantido, o anterior sempre deverá conter maior quantidade de energia que o seguinte.

Ciclos biogeoquímicos

Ao contrário da energia, os nutrientes podem ser reutilizados indefinidamente no ecossistema. Nutrientes que foram captados do meio e estocados em biomassa voltam a se tornar disponíveis para formação de nova biomassa após a decomposição da matéria orgânica morta. Deste modo, o fluxo de nutrientes e demais elementos químicos, bem como de substâncias como a água, ocorre em *ciclos biogeoquímicos*. Esta denominação deve-se ao fato de o movimento da matéria ocorrer entre organismos vivos (*bio*) e o ambiente geológico (*geo*) - representado por rochas, solo, ar e água – ao mesmo tempo em que ocorrem alterações em suas formas químicas (*químicos*).

Os ciclos biogeoquímicos extrapolam os limites do ecossistema, visto que os elementos e substâncias podem ser oriundos de outros ecossistemas, bem como ser exportados para outros locais, via transporte atmosférico ou carreamento pela água, por exemplo. Além disso, não estão igualmente distribuídos, em quantidade e forma química, mesmo dentro de um ecossistema, estando presentes em *reservatórios* ou *compartimentos* dos quais são disponibilizados em diferentes velocidades. Entre estes reservatórios podem ser citados a atmosfera, o solo, a coluna d'água e os sedimentos em ambientes aquáticos e a biota. Um esquema geral de ciclagem válido para qualquer elemento ou substância é apresentado abaixo. Como pode ser observado, a ciclagem envolve

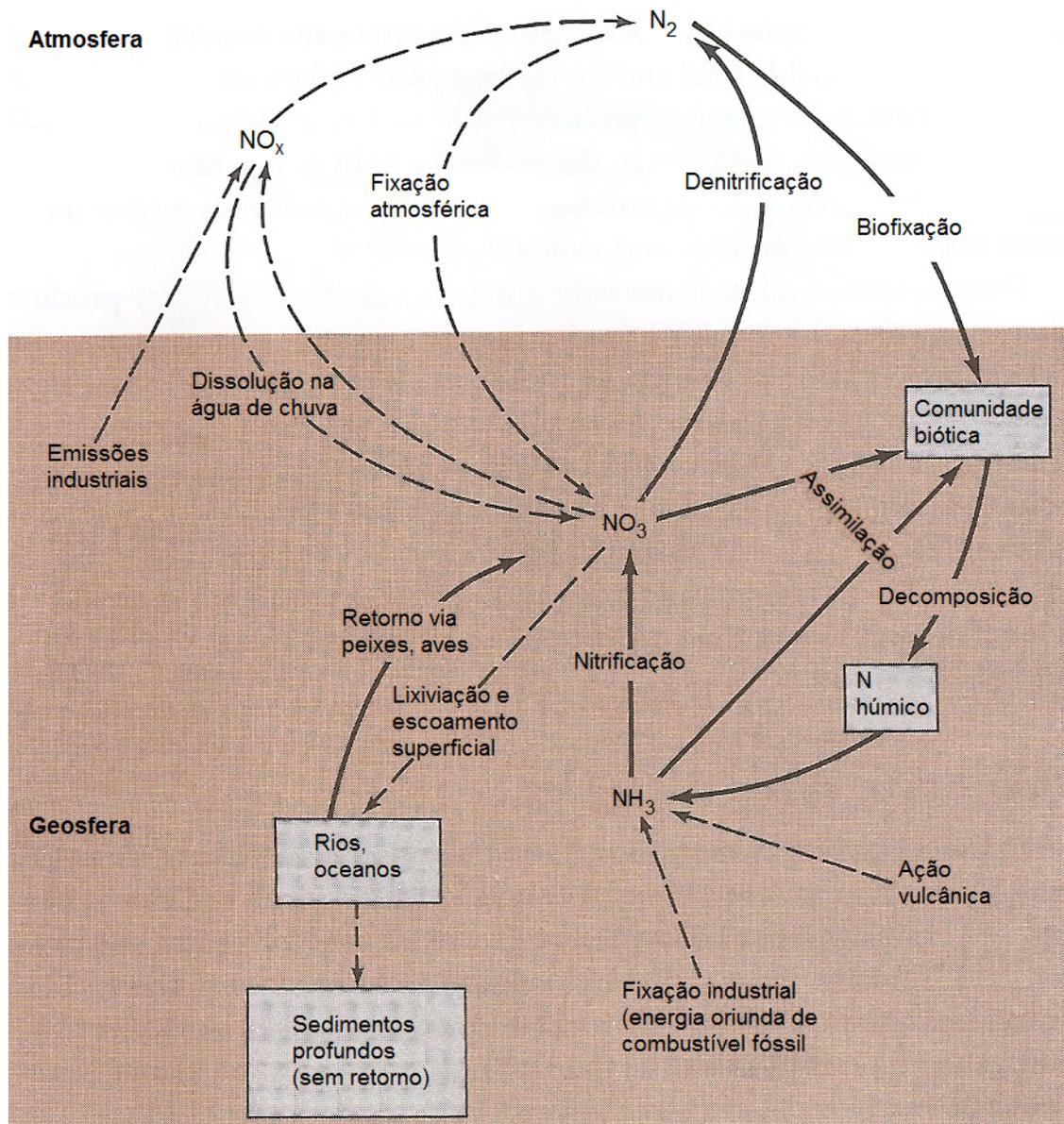
diferentes vias, sendo que a quantidade de um determinado material que passa por estas vias em um determinado período de tempo pode ser estimada, por exemplo, em toneladas por ano. Estas taxas de troca ou de transferências entre os vários compartimentos têm maior influência na estrutura e funcionamento dos ecossistemas que as quantidades presentes em um dado momento ou local.



Fonte: Brandimarte e Santos, 2014d

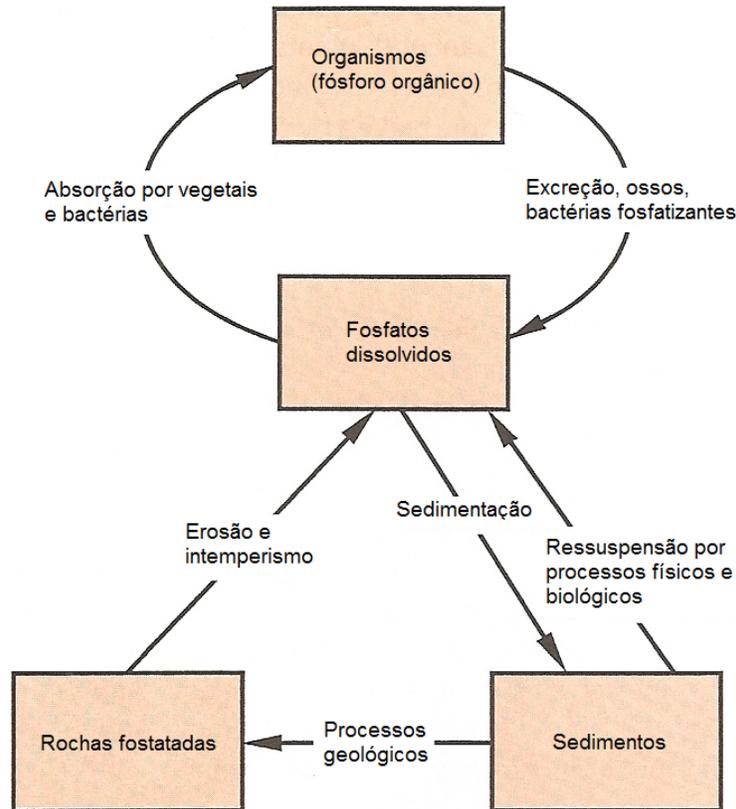
Existem dois tipos contrastantes de ciclos biogeoquímicos, que diferem quanto ao fato do principal reservatório do elemento ou substância ser a atmosfera (*ciclos gasosos*) ou os sedimentos e solos (*ciclos sedimentares*). Dependendo do elemento, no entanto, o ciclo pode apresentar feições intermediárias entre os tipos gasosos e sedimentares. O transporte na atmosfera é bastante rápido (minutos, horas) em comparação com o que ocorre nos sedimentos, nos quais os elementos podem ficar imobilizados por muito tempo (anos).

Como exemplo de ciclo gasoso é apresentado o ciclo do nitrogênio, no qual a participação de micro-organismos é essencial em várias etapas. Existem bactérias que realizam a *fixação do nitrogênio* molecular gasoso (N_2) presente na atmosfera em formas nitrogenadas (amônia, nitrito e nitrato) que podem ser utilizadas pelos produtores primários. Outro grupo de bactérias promove a *denitrificação*, na qual o nitrato (NO_3^-) é convertido a nitrogênio molecular (N_2) possibilitando seu retorno para a atmosfera. Há ainda bactérias quimiossintetizantes que promovem a *nitrificação* por meio da oxidação do íon amônio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) e do nitrito a nitrato (NO_3^-). A primeira oxidação da nitrificação é realizada por bactérias do gênero *Nitrosomona* e a segunda por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Estas bactérias podem ser muito abundantes no solo.



Fonte: modificado de Odum, 1993.

O ciclo do fósforo é tipicamente sedimentar, visto que o principal reservatório do elemento são os sedimentos marinhos. As rochas fosfatadas são muito exploradas economicamente devido à utilização do fósforo na fabricação de fertilizantes sintéticos. A mineração do fosfato é uma via não natural de liberação de grandes quantidades de fósforo que, de outra forma, estariam praticamente indisponíveis para a biota, visto que sua liberação dependeria da ocorrência de intemperismo e erosão destas rochas, processos que são naturalmente lentos. Aves marinhas piscívoras, por meio de suas fezes, promovem o retorno de muitas toneladas de fósforo do ambiente marinho para o terrestre, formando extensos depósitos de fezes, denominados *guano*, que frequentemente são explorados como fertilizante.



Fonte: modificado de Odum, 1993.

Sucessão Ecológica

Ecosistemas não são entidades imutáveis no tempo. A composição e a estrutura das comunidades, bem como as vias que compõem o fluxo de energia e a ciclagem de nutrientes sofrem alterações naturais ao longo do tempo.

Quando um novo ambiente se torna disponível, passa a ser ocupado por espécies, ditas *pioneiras*, que apresentam características que as tornam aptas para iniciarem a ocupação deste novo ambiente, no qual as condições, nutrientes e outros recursos são limitantes. A presença de tais espécies resulta no início da alteração da estrutura abiótica do ecossistema, de forma que este se torna adequado para a ocupação por outras espécies. Estas, por sua vez, também modificam o ambiente tornando-o adequado para a ocupação por outras espécies e assim sucessivamente. Assim, conforme o tempo passa, ocorre um processo gradual e ordenado caracterizado por várias etapas, no qual as espécies vão sendo substituídas e o ambiente abiótico vai sendo modificado. Este processo é denominado *sucessão ecológica* ou *amadurecimento do ecossistema*.

Cada etapa do processo é denominada *estágio seral* e apresenta uma comunidade com composição e estrutura peculiar. Quando a comunidade e o ambiente abiótico se tornam mais estáveis, considera-se que foi atingido o estágio final de maturação do ecossistema denominado *clímax*. Na verdade, o clímax representa o estágio final teórico determinado pelo clima regional. No entanto, em uma mesma região existem diferenças locais devido a peculiaridades como tipo de solo, topografia e disponibilidade de água, de modo que este estágio mais estável não corresponde

exatamente ao final teórico esperado a partir do clima. Assim, o que se tem são estágios finais determinados por estas variações. No caso do cerrado, por exemplo, a ocorrência periódica de fogo, impede que a sucessão atinja um estágio mais maduro.

Quando o processo sucessional se inicia a partir do surgimento de um novo ambiente, o processo é denominado *sucessão primária*. O surgimento de uma nova ilha ou lago e o total recobrimento de áreas por lava vulcânica representam oportunidades para a ocorrência de sucessão primária.

Sucessão secundária ocorre quando um ambiente já ocupado sofre alterações de tal ordem que se abrem espaços disponíveis para nova colonização. Neste caso, não há limitação por nutrientes e o ambiente não é tão inóspito como ocorre no caso da sucessão primária. A abertura de clareiras em uma floresta, resultante de desmatamento, fogo ou da queda de uma grande árvore, propicia sucessão secundária. Normalmente, mesmo no interior de florestas preservadas, são encontradas áreas em vários estágios sucessionais devido ao fato da abertura de clareiras por queda de árvores mortas ocorrer em momentos distintos.

Ao longo do processo sucessional várias tendências podem ser observadas no ecossistema como o aumento da riqueza e diversidade de espécies e, portanto, do número de interações interespecíficas. Os ciclos biogeoquímicos tendem a se tornar mais fechados dentro do ecossistema, embora não deixe de haver importação e exportação de material. O fluxo de energia também sofre alterações pois no início do processo há menor quantidade de biomassa a ser sustentada, de modo que grande parte da energia pode ser destinada ao crescimento dos indivíduos (produção de biomassa). Nos estágios mais maduros, há maior quantidade de biomassa que necessita, portanto, de mais energia para ser mantida. Deste modo, mais energia é gasta manutenção dos indivíduos, restando menos energia para investimento em biomassa.

Bibliografia básica

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. Ecologia: de indivíduos a ecossistemas. Porto Alegre: Artmed, 2007. 740p.

BRANDIMARTE, A.L.; SANTOS, D.Y.A. Ocorrência e distribuição dos seres vivos como resultado das pressões ambientais. In: LOPES, S.G.B.C.; VISCONTI, M.A. (Coords). Diversidade biológica, história da vida na Terra e Bioenergética. São Paulo: USP/Univesp/Edusp, 2014a. p. 245-266.

BRANDIMARTE, A.L.; SANTOS, D.Y.A. Cadeias e redes alimentares. In: LOPES, S.G.B.C.; VISCONTI, M.A. (Coords). Diversidade biológica, história da vida na Terra e Bioenergética. São Paulo: USP/Univesp/Edusp, 2014b. p. 373-384.

BRANDIMARTE, A.L.; SANTOS, D.Y.A. Fluxo de energia. In: LOPES, S.G.B.C.; VISCONTI, M.A. (Coords). Diversidade biológica, história da vida na Terra e Bioenergética. São Paulo: USP/Univesp/Edusp, 2014c. p. 357-371.

BRANDIMARTE, A.L.; SANTOS, D.Y.A. Ciclos biogeoquímicos. In: LOPES, S.G.B.C.; VISCONTI, M.A. (Coords). Diversidade biológica, história da vida na Terra e Bioenergética. São Paulo: USP/Univesp/Edusp, 2014d. p. 385-399.

ODUM, E.P. Ecology and our endangered life-support systems. Sunderland: Sinauer, 1993. 301 p.