



Bem-vindo ao
Laboratório de
Gestão Ambiental de Reservatórios

BIG 048 -Ecologia Geral Engenharia Ambiental

Aula -1 Níveis de Organização Populações 1 – Tabela de Vida

Prof. Ricardo Motta Pinto-Coelho
Departamento de Biologia Geral
ICB - UFMG



Bases Teóricas

Ecologia: definições, histórico, enfoques atuais

A Ecologia tem como um de seus fundamentos o estudo e o entendimento dos padrões de distribuição dos organismos nas escalas do espaço e do tempo.

O metabolismo geral (produção, respiração e decomposição) dos ecossistemas é geralmente controlado por algumas variáveis abióticas tais como: radiação, temperatura, oxigênio e disponibilidade de nutrientes. Em consequência, o estudo das relações (efeitos) entre tais variáveis e os organismos é parte essencial da Ecologia.



Histórico

As raízes da Ecologia caem nos estudos ligados à História Natural algo que, em essência, é tão antigo quanto o homem. Os Egípcios e babilônicos aplicaram métodos ecológicos para combater as pragas que assolavam suas culturas de cereais no vale do rio Nilo bem como na Mesopotâmia (Odum, 1977). Os gregos (Hipócrates, Aristóteles) produziram textos claramente ecológicos (Allan, 1970).

Passada a idade média, período caracterizado pelo domínio da Igreja e sua visão aristotélica da natureza, surgem novas contribuições ao estudo ecológico. Antonie Van Leeuwenhoek (1632-1723), naturalista holandês, mais conhecido por ter inventado o microscópio, também estudou e evidenciou a importância das cadeias alimentares e a regulação de populações (Dubois et al., 1988). Gaunt (sec. XVI) foi o pioneiro da demografia. Ele trabalhou em censos da população humana na cidade de Londres e reconheceu a importância da determinação quantitativa das taxas de nascimentos, mortalidade, razão sexual e estrutura de idade das populações. Outro naturalista, Buffon (1756) assinalou que existem "forças" capazes de contrabalançar o crescimento populacional, ou seja, o princípio básico da regulação ecológica das populações.

As contribuições mais importantes para o estabelecimento da ecologia moderna aconteceram somente ao final do século XVIII e durante a primeira metade do século XIX. Malthus (1798) determinou que as populações podem crescer em ritmo exponencial (modelo densidade independente) enquanto que os recursos de que elas necessitam crescem em ritmo aritmético. Verhulst (1838) derivou a curva logística de crescimento populacional (modelo densidade dependente). Farr (1843) descobriu a relação existente entre taxa de mortalidade e densidade de uma população.



O surgimento da ciência ecológica....

Na realidade, Darwin (1859) e Malthus (opt. cit.) mudaram a idéia platônica de que a natureza sempre esteve em 'equilíbrio perfeito' (visão aristotélica) e a base para esta mudança de pensamento está nos seguintes fatos:

- a) muitas espécies foram extintas no decorrer dos tempos
- b) existe competição causada por pressão populacional
- c) a seleção natural e luta pela existência são mecanismos evidenciáveis na natureza

Na Alemanha, Ernst Haeckel, em 1869, propôs pela primeira vez o termo Ecologia (*Ökologie*). Literalmente este termo significa "oikos" (grego): casa; logie: estudo (Begon et al.1990). Möbius (1877) introduziu a noção de biocenose, estudando uma comunidade de organismos existentes num banco de ostras. Forbes (1887), estudando ambientes aquáticos em Illinois, EUA propôs o lago como um sistema ecológico independente ('microcosmo'). É considerado juntamente com Forel (1892, 1904), que estudou o *Genfersee* (Lac Léman) na Suíça, e o alemão Thienemann (1926), um dos pioneiros da ecologia aquática, a limnologia.



A história da ecologia e o Brasil...

Um nome ligado ao Brasil merece destaque especial. Os estudos realizados por Warming (1895, 1909) no cerrado foram muito importantes para a ecologia. Os seus estudos fitossociológicos em comunidades de cerrado em Lagoa Santa (MG) foram um dos primeiros estudos sobre ecologia terrestre de que se tem notícia mundialmente. No entanto, foi nos Estados Unidos que a ecologia recebeu um impulso definitivo para o estabelecimento de seu status quo atual. Cowles (1899): descreve a sucessão ecológica nas dunas ao sul do lago Michigan. Clements (1916, 1935) desenvolveu o conceito de evolução de comunidade. A partir de seus trabalhos, a Ecologia desenvolve-se como ciência própria. Finalmente Tansley (1935) propôs o termo ecossistema que hoje é tratado como a unidade central no estudo da ecologia.



Lagoa Santa em meados do século XIX



Ilustração do cerrado de Lagoa Santa, segundo Warming.



Definições modernas de Ecologia

Apesar de seu desenvolvimento rápido, a ecologia ainda pode ser considerada uma *soft science*, assim como a economia, onde ainda não existe uma fundamentação teórica rígida. Não é de se estranhar, portanto, que a ecologia seja definida de diferentes formas segundo diferentes autores. Abaixo são fornecidas algumas destas definições:

- a) Ecologia: história natural científica (Elton, 1927)
- b) Ecologia: Estudo científico da distribuição e abundância de organismos (Andrewartha, 1961).
- c) Ecologia: Biologia de grupos de organismos. Estudo da estrutura e função da natureza (Odum, 1963). É uma definição muito importante uma vez que ela ressalta a importância dos processos ecofisiológicos na determinação da estrutura dos ecossistemas.
- d) Ecologia: Estudo científico das interações que determinam a distribuição e abundância dos organismos (Krebs, 1972). Trata-se de uma visão que busca ressaltar a importância das interações bióticas (competição, predação) na estruturação das comunidades.
- e) Ecologia: Estudo do meio ambiente enfocando as interrelações entre os organismos e seu meio circundante. Observar que esta definição invoca noções físico-biológicas (Ricklefs, 1980).



A Ecologia procura a responder três tipos de perguntas muito simples:

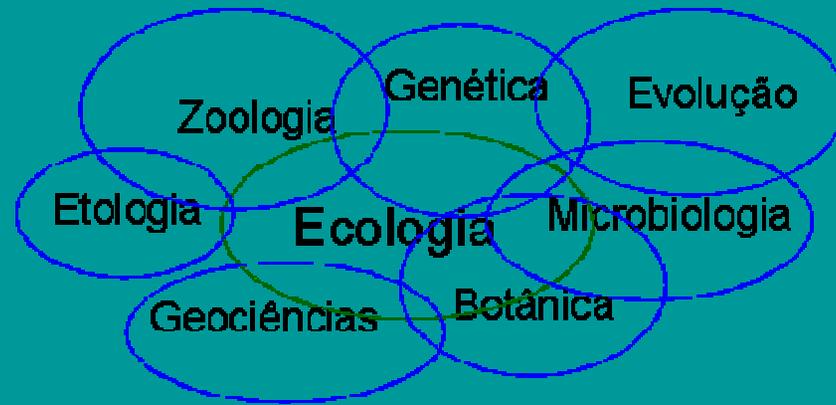
- a) onde estão os organismos?
- b) em quantos indivíduos ocorrem?
- c) porque eles lá estão (ou não estão)?

Há, ainda, na ecologia moderna limitações teóricas e metodológicas imensas para responder satisfatoriamente a estas perguntas (principalmente a terceira).

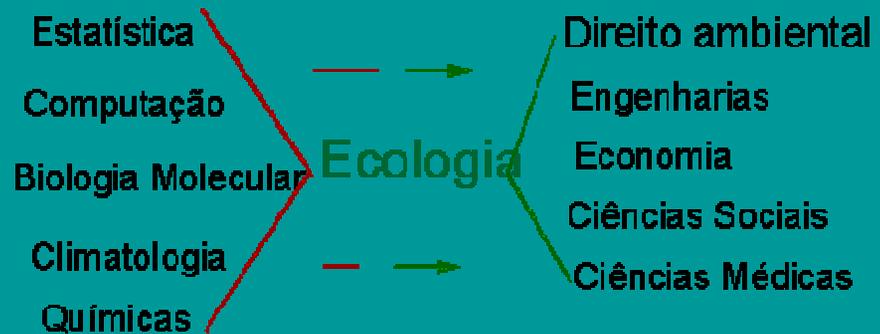


A Ecologia baseia-se em interações multi-, poli- e, principalmente, transdisciplinares. Estas interações podem ser de três tipos básicos:

- a) interações com outras ciências biológicas cuja doutrina é essencial para o desenvolvimento teórico da ecologia moderna ("interações core)". Neste âmbito incluem-se a microbiologia e a zoologia, por exemplo.
- b) ciências que fornecem ferramentas de trabalho ou novas abordagens metodológicas. Nesta categoria incluem-se a informática, a estatística e a demografia.
- c) ciências aplicadas onde o conhecimento ecológico pode vir a ser aplicado: medicina, direito ou as engenharias.



Interações com ciências Básicas

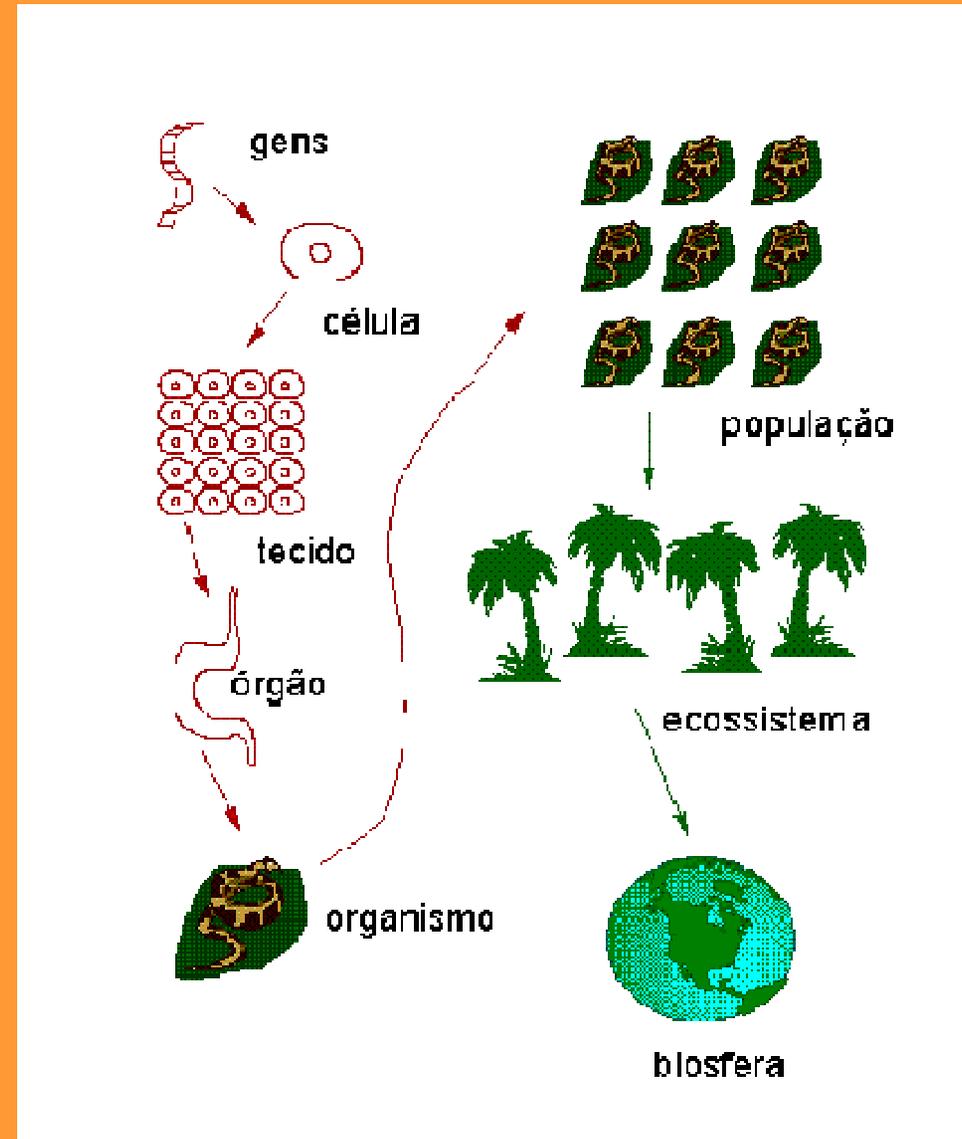


As ciências que fornecem ferramentas de trabalho para a Ecologia e onde a teoria ecológica pode ser aplicada



Unidades ecológicas

Como toda a ciência, a ecologia necessita de uma visão de seu objeto de estudo (a natureza) em partes. Para isto ela faz uso da teoria dos sistemas. Um sistema é um conjunto cujos elementos se unem através de propriedades calcadas na interação, na interdependência e na sensibilidade a certos mecanismos reguladores de tal modo que eles formam um todo unificado (Odum, 1963). Os principais sistemas ou unidades biológicas são os seguintes: gens, células, tecidos, órgãos, organismos, populações, comunidades, ecossistemas e a biosfera. A Ecologia trata dos quatro últimos níveis de organização biológicos (unidades).



Existem muitos enfoques para a Ecologia....

Tipos de Ecologia (enfoque conceitual ou de perspectiva)

- Ecologia da Paisagem
- Ecologia de Ecossistema
- Ecofisiologia
- Ecologia Comportamental
- Ecologia de Comunidades
- Etc.

Tipos de Ecologia (enfoque organismico)

- Ecologia Vegetal
- Ecologia Animal
- Ecologia Microbiana
- Ecologia do Zooplâncton
- Ecologia Humana
- Etc.

Tipos de Ecologia (enfoque do habitat)

- Ecologia Terrestre
- Limnologia
- Oceanografia Biológica
- Ecologia Tropical
- Ecologia das Zonas Árticas
- Ecologia urbana
- Etc.

Tipos de Ecologia (enfoque aplicado)

- Ecologia Teórica
- Ecologia da Conservação
- Agroecologia
- Monitoramento de Recursos Naturais
- Gestão e Recuperação de Áreas Degradadas
- Ecologia Aplicada à Formulação de Políticas Públicas
- Etc.



Conceitos Básicos em Ecologia

Espécie:

Conjunto de indivíduos capazes de se reproduzirem e dar prole fértil (pelo menos potencialmente).

Exemplos: *Homo sapiens*, *Entamoeba coli*

Ecótipo (raças ecológicas):

Eles são formados por populações de uma mesma espécie que apresenta grande dispersão geográfica mas que estão fisicamente separadas. Seus limites de tolerância ecológica, ou de Shelford, variam segundo a população considerada. Quando estas variações têm base genética, as populações são chamadas de raças genéticas. Quando estas variações tem uma base puramente fisiológica, as populações são chamadas de raças fisiológicas (fenômeno da aclimatação).

Exemplos:

a) medusa *Aurelia aurita* apresenta os seguintes ecótipos:

Aurelia aurita (var. Halifax ótimo de contração a 14 C)

Aurelia aurita (var. Tortugas ótimo de contração a 29 C)

b) A macrófita *Typha* sp (Taboa): há várias raças adaptadas a diferentes regiões climáticas (trópicos, sub-trópicos, z. temperada).



População

Conjunto de indivíduos da mesma espécie que vive num território cujos limites são geralmente delimitados pelo ecossistema no qual esta população está presente. As populações são entidades 'reais' cujos atributos: distribuição espacial, densidade, estrutura etária, taxas de crescimento (produto líquido entre taxas de natalidade, mortalidade e migração) bem como suas relações de interdependência (simbioses sensu latu) podem ser estimados quantitativamente em condições naturais/experimentais.

Exemplos:

Myrmecophaga t. tridactyla (bicho-preguiça) no Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais.

Byomphalaria straminea (caramujo planorbídeo) na Lagoa Santa, MG.

Panstrongylus megistrus (barbeiro hematófago) var. Sta. Catarina nas matas da Ilha de Florianópolis, SC (habitat natural)



Habitat:

Lugar onde uma espécie (ou mais de uma) vive. Neste local, os organismos encontrarão, além do abrigo das intempéries do meio físico e de eventuais ameaças biológicas (predação), alimento e poderão se reproduzir. Muitas vezes o termo microhabitat é utilizado para designar o local onde uma determinada espécie poderá ser encontrada. O termo biótopo é entendido como o substrato físico enquanto que o habitat poderá ter uma conotação desvinculada do senso geográfico (ex: tronco caído como habitat de certos insetos coleópteros, tubo intestinal de vertebrados como habitat de nematóides parasitas).

Nicho ecológico:

Unidade mais 'íntima' da distribuição de uma espécie. Pode ser definido considerando vários aspectos abaixo relacionados:

Nicho espacial (microhabitat): proposto por Grinnel (1917) como sendo o espaço físico ocupado por uma determinada espécie.

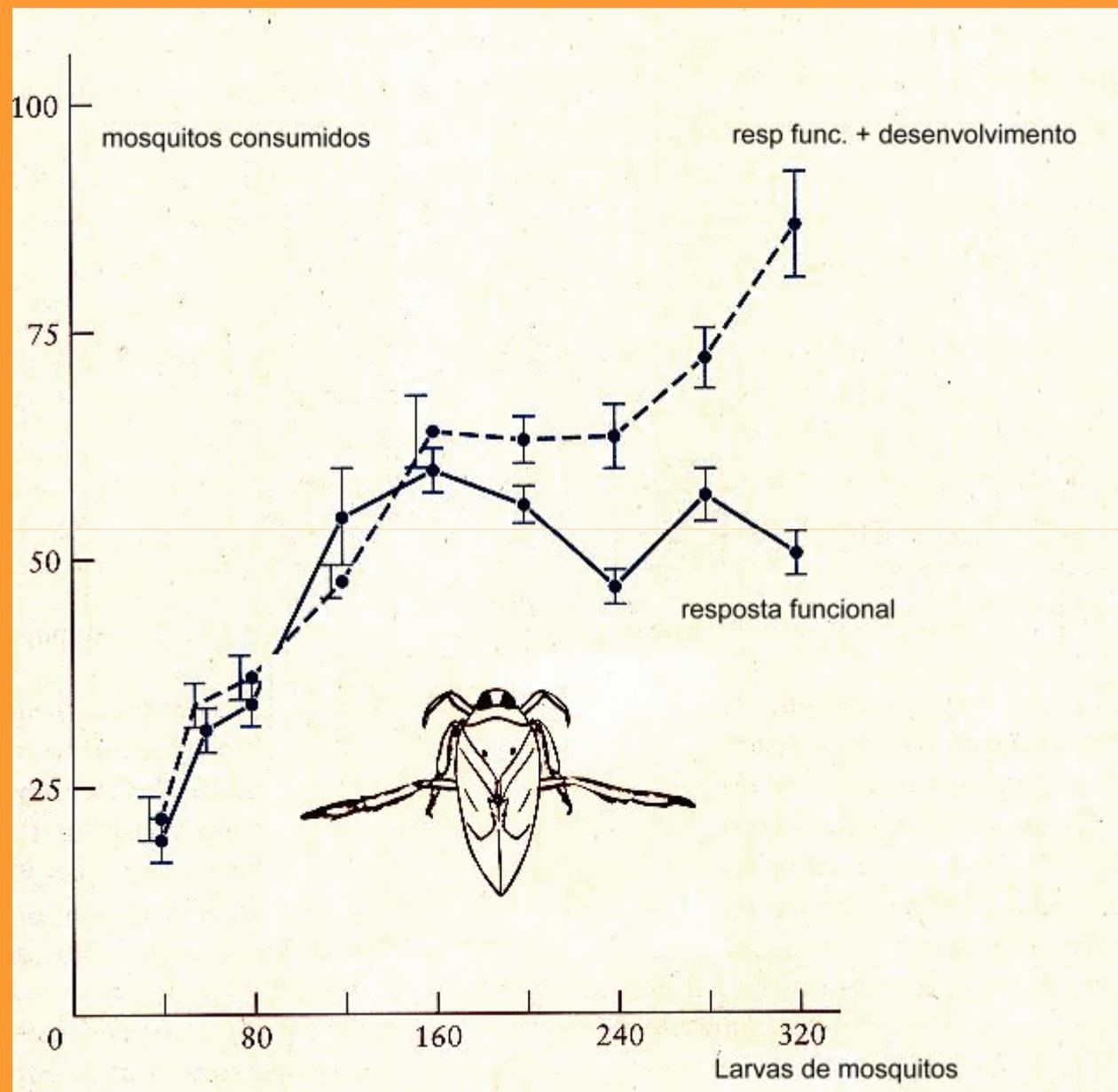
Exemplo: pele humana como microhabitat de certos ácaros.

Nicho trófico: proposto por Elton (1927). É a posição do organismo dentro de uma cadeia alimentar: produtor, herbívoro, carnívoro. Conceito apresenta algumas limitações de emprego tais como no casos de organismos que promovem o canibalismo, típico de várias espécies de copépodes zooplancctônicos, ou então são essencialmente onívoros tais como o homem, por exemplo.

Exemplo: Hemípteros neustônicos *Notonecta* e *Corixa* têm o mesmo microhabitat (vivem sobre a película de água em áreas alagadas) mas têm nichos tróficos diferentes: *Notonecta* é carnívoro e *Corixa* é herbívoro. O exemplo a seguir, extraído de Krebs, 1994 pag. 281), ilustra as respostas de densidade e crescimento do inseto predados *Notonecta hoffmanni* em laboratório. A taxa de predação é expressa pelo número de larvas de mosquito consumido por dia. O gráfico, abaixo, ilustra que sob condições de muita comida, *Notonecta* cresce mais rápido.



Hemípteros neustônicos
Notonecta e *Corixa* têm o mesmo microhabitat (vivem sobre a película de água em áreas alagadas) mas têm nichos tróficos diferentes: *Notonecta* é carnívoro e *Corixa* é herbívoro. O exemplo a seguir, extraído de Krebs, 1994 pag. 281), ilustra as respostas de densidade e crescimento do inseto predados *Notonecta hoffmanii* em laboratório. A taxa de predação é expressa pelo número de larvas de mosquito consumido por dia. O gráfico, abaixo, ilustra que sob condições de muita comida, *Notonecta* cresce mais rápido.



Nicho hipervolumétrico: proposto por Hutchinson (1957). Seria a posição de um certo organismo dentro do gradiente ambiental. Envolve não só as condições ambientais exploradas por este organismo: temperatura, pH, umidade, radiação solar, chuvas, etc, como também as interações bióticas tais como predadores, parasitas, competidores, etc. Levando em consideração o nicho hipervolumétrico pode-se dividi-lo ainda em duas sub-categorias:

Nicho fundamental (ou máximo) ou nicho reduzido (ou realizado). Entende-se por nicho fundamental como sendo o conjunto de todas as faixas de variações potencialmente exploráveis por uma certa espécie.

Nicho realizado refere-se à faixa ambiental na qual efetivamente pode ser encontrada uma espécie num dado ambiente. Muitas vezes, o nicho realizado é significativamente mais restrito que o nicho fundamental devido às interações com outras espécies principalmente a predação e a competição.

Exemplo: *Paramecium caudata* e *P. aurelia*: protozoários ciliados com o mesmo nicho espacial e trófico. *P. caudatum* é eliminado porquê tem menor taxa intrínseca de crescimento (max).

O nicho ecológico pode mudar com o desenvolvimento ontogenético, ou o sexo.

Exemplo:

Em *Culex* sp. a larva é aquática e é herbívora (consome algas e bactérias de vida livre). As fêmeas adultas são aladas e hematófagas e os machos são alados porém fitófagos (consomem seiva vegetal).



A noção da equivalência ecológica, ou seja, que existem organismos diferentes podem desempenhar papéis ecológicos similares em ecossistemas diferentes (normalmente em diferentes províncias biogeográficas) é um corolário da teoria do nicho ecológico, pois, equivalentes ecológicos embora vivendo em distintas regiões do planeta têm o mesmo nicho ecológico.

Exemplo: *Cecropia* sp., vulgarmente conhecida como Embaúba (Américas)

Musanga sp. (África)

Macoranga sp. (Ásia)

Todas estas três espécies de árvores de madeira mole, plantas pioneiras vivendo nas bordas das matas ou em estágios serais iniciais de florestas pluvial tropicais em diferentes regiões da biosfera.

O conceito de nicho pode ser muito importante para o estudo teórico e comparativo da evolução de ecossistemas. A teoria do nicho pode explicar os padrões de diversidade encontrados nos diferentes ecossistemas. Ecossistemas similares por sua vez podem ter diferentes padrões de ocupação de nicho podendo existir ambientes nos quais vários nichos ecológicos estejam vagos. A noção do nicho ecológico também é muito importante para a ecologia aplicada. Um interessante exemplo é a determinação dos limites de tolerância das espécies com o consequente estabelecimento de espécies bioindicadoras de poluição ou contaminação ambiental.



Comunidades

Möbius (1877) foi um dos primeiros a tentar caracterizar uma comunidade. Ele estudou bancos de ostras em regiões litorâneas e notou que existe uma interdependência entre os organismos presentes no que ele designou por biocenose. A Comunidade pode ser também definida como o conjunto de todas as populações de uma dada área geográfica (Odum, 1963) ou como a parte viva do ecossistema (Clark, 1954). É comum o uso do termo biocenose por ecólogos europeus em lugar ao de comunidade. Os organismos de uma biocenose atuam em reciprocidade com o meio físico sendo influenciados por ele e também modificando-o de modo característico.

Outras definições de comunidades

Comunidade: É qualquer conjunto de populações numa determinada área ou habitat. Ela pode ter os mais variados tamanhos. Segundo Krebs (1972), muitos dos termos relativos à comunidades vêm da Ecologia Vegetal.

Comunidade: É uma associação entre populações interativas (Ricklefs, 1980)

Comunidade: É uma reunião de populações numa determinada área ou habitat físico definidos. É uma unidade ecológica pouco definida. (Odum, 1977)

Comunidade: É um conjunto de espécies (populações) que ocorrem conjuntamente no tempo e no espaço (Begon et al., 1990). Segundo este autor, o estudo da comunidade pressupõe o estudo de ecossistemas.



Ecosistema

Termo proposto por Tansley (1935) para designar a reunião entre todos os organismos e o meio físico onde vivem. Hoje em dia, uma definição de ecossistema muito usada em Ecologia seria a seguinte: qualquer unidade que inclua a totalidade dos organismos (comunidades) de uma área determinada, que atuam em reciprocidade com o meio físico de modo que uma corrente de energia conduza a uma estrutura trófica, a uma diversidade biótica e a ciclos biogeoquímicos (Odum, 1977).

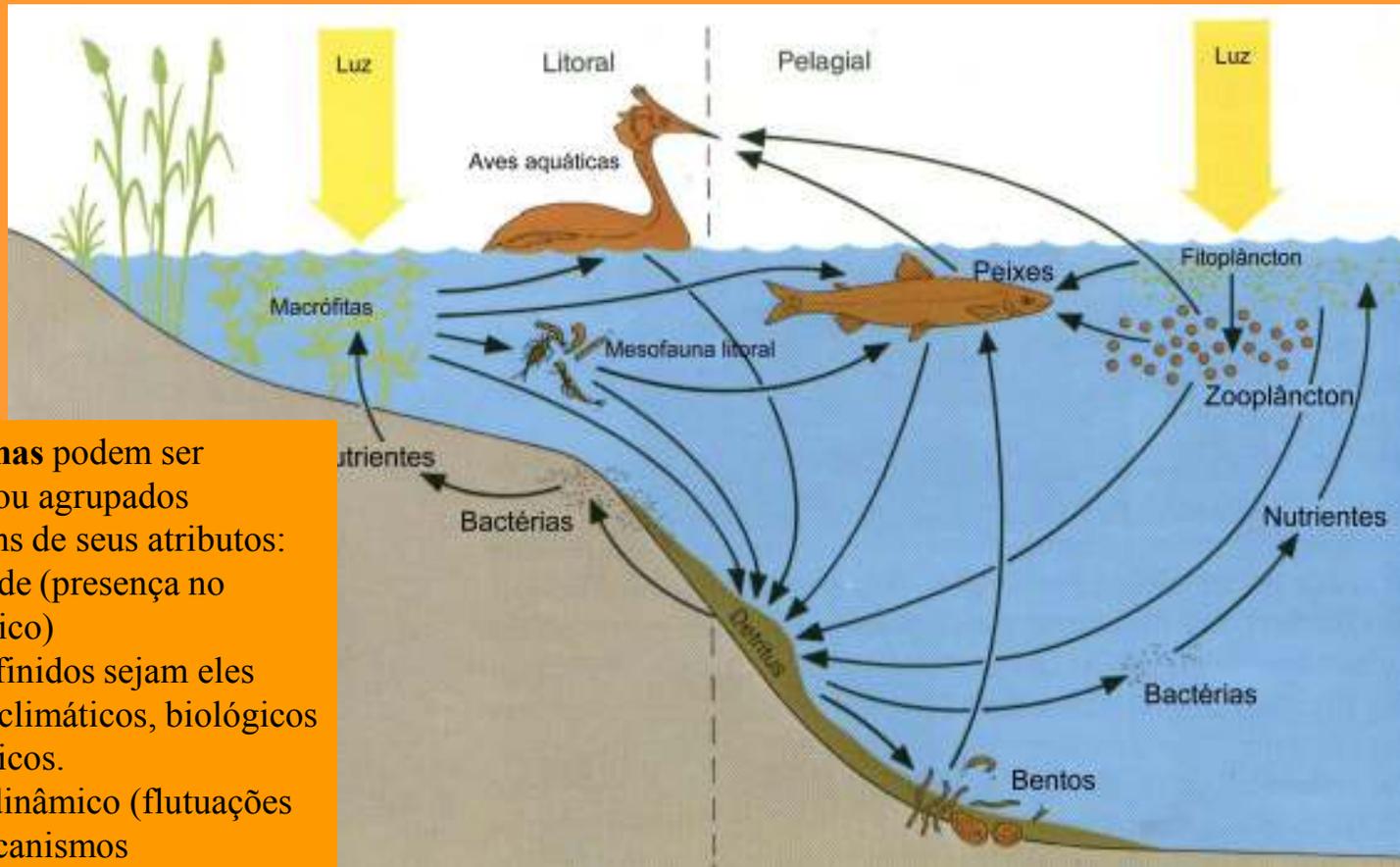
Aspectos estruturais do ecossistema: (a) substâncias inorgânicas (particuladas, dissolvidas), (b) substâncias orgânicas (particuladas e dissolvidas), (c) clima, (d) substrato físico (sólido, líquido e gasoso), (e) componentes bióticos, (f) produtores, (g) consumidores, (h) predadores, (i) desintegradores, (j) regeneradores.

Aspectos funcionais do ecossistema: (a) fluxo de energia, (b) cadeias de alimentos, (c) diversidade (tempo e espaço), (d) ciclos de nutrientes, (e) sucessão e evolução, (f) controle (cibernética)

Os ecossistemas podem ser classificados ou agrupados segundo alguns de seus atributos:

- a) primitividade (presença no tempo geológico)
- b) padrões definidos sejam eles fisiográficos, climáticos, biológicos e/ou geoquímicos.
- c) equilíbrio dinâmico (flutuações regulares, mec. homeostáticos).





Os ecossistemas podem ser classificados ou agrupados segundo alguns de seus atributos:

- primitividade (presença no tempo geológico)
- padrões definidos sejam eles fisiográficos, climáticos, biológicos e/ou geoquímicos.
- equilíbrio dinâmico (flutuações regulares, mecanismos homeostáticos).

Figura - O lago como um ecossistema: a luz e nutrientes permitem o desenvolvimento de uma intensa atividade fotossintética nas margens (macrófitas emersas e submersas) e na zona limnética ou de águas abertas (fitoplâncton). A matéria vegetal é consumida pelo zooplâncton, bentos e meio fauna do litoral. Esses organismos são a base da cadeia alimentar que estende-se através dos peixes, aves, etc. As bactérias ao lado do zooplâncton exercem um importante papel na reciclagem dos nutrientes essenciais (modificado de Smith, 1999).



Ecologia de Populações (parte 1)

Definições básicas

População:

É qualquer de grupo de organismos da mesma espécie ocupando um espaço particular num tempo determinado. A população possui um determinado grupo de parâmetros que podem ser quantitativamente determinados em condições experimentais ou de campo.



Figure 1 *Ankistrodesmus gracilis*, alga clorofícea que pode formar populações expressivas em lagos e outros ambientes eutróficos. Fotomicrografia de Carla Macedo a partir de cultivos em laboratório.

Atributos demográficos de uma população

1) Natalidade:

É um termo que descreve a produção de novos indivíduos por unidade de tempo. Esta produção pode ser quantificada por nascimentos, postura de ovos, germinação ou fissão celular (índices mitóticos). Dois aspectos devem ser diferenciados em relação à produção: a) fertilidade e b) fecundidade.

2) Fertilidade:

A fertilidade refere-se à performance real de uma população, e está baseada no número de nascimentos bem sucedidos. A fecundidade refere-se ao potencial fisiológico de reprodução atribuído a uma dada população. A população humana apresenta uma fecundidade igual a 1 nascimento/11 meses.fêmea em idade reprodutiva e uma fertilidade média de 1 nascimento/8 anos.fêmea em idade reprodutiva. Naturalmente estas estimativas irão depender do organismo a ser considerado. Uma ostra pode produzir de 55 a 114 milhões de ovos, os peixes irão produzir milhares deles, os anfíbios centenas e os pássaros de 1 a 20 ovos. Já os mamíferos poderão produzir de 1 a 10 indivíduos/ciclo reprodutivo.

3) Mortalidade:

Inicialmente deve ser distinguida a longevidade fisiológica daquela ecológica. Isto deve levar em conta o fato de que, em Ecologia, é muito raro encontrar uma população na qual a maioria dos indivíduos estejam morrendo por senescência. A maioria dos indivíduos é predada, sofre doenças ou não escapa de catástrofes naturais. Uma pequena enchente em um córrego, por exemplo, pode ser o fim para milhares de pequenos insetos habitantes da várzea.

A longevidade da população humana sofreu grandes variações ao longo do último milênio: na Roma antiga as mulheres viviam em média 21 anos; na Inglaterra do final do século XVIII elas viviam cerca de 39 anos e nos Estados Unidos ao início dos anos sessenta elas viviam em média 73 anos (Rabinovich, 1978).

A taxa de mortalidade pode ser estimada diretamente no campo pela técnica de marcação e recaptura ou por tabelas de vida do tipo horizontal e no laboratório pelas tabelas de vida do tipo vertical (vide abaixo).

4) Imigração e emigração:

A dispersão (emigração é quando a população perde indivíduos e imigração é quando novos indivíduos são acrescentados à população) muitas vezes não é levada em conta em censos populacionais. Em estudos de marcação e recaptura é comum trabalhar com a taxa de diminuição que seria a resultante de mortalidade e emigração e taxa de incremento que seria a resultante de nascimentos mais imigração.

A taxa de emigração pode ser distinguida da taxa de mortes ao se estimar a taxa de diminuição em dois quadrados de diferentes tamanhos. Sejam A e B dois quadrados de área a e $4a$.

Tabela - Relação perímetro área em retângulos de diferentes tamanhos

Quadrado	Lado (l)	Perímetro (p)	Área (a)	Relação p/a
A	1	4	1	4
B	2	8	4	2

A taxa de mortalidade dos indivíduos em A e B é igual. Se os indivíduos estão movendo ao acaso, a taxa de emigração em B é duas vezes maior em A, já que a relação perímetro sobre a área é 4:2 (A:B).

A probabilidade de um organismo cruzar os limites de A é duas vezes maior do que cruzar os limites de B. Imaginemos que as taxas de diminuição tenham sido 0.20 e 0.15, respectivamente em A e B.

Se queremos determinar a taxa de mortalidade 'm' e a taxa de emigração 'e' da taxa de diminuição observada nos dois quadrados podemos supor:

$$0.15 = m + e$$

$$0.20 = m + 2e$$

Aplicando-se o multiplicador (-1) aos membros da primeira equação e somando-os com a segunda equação temos:

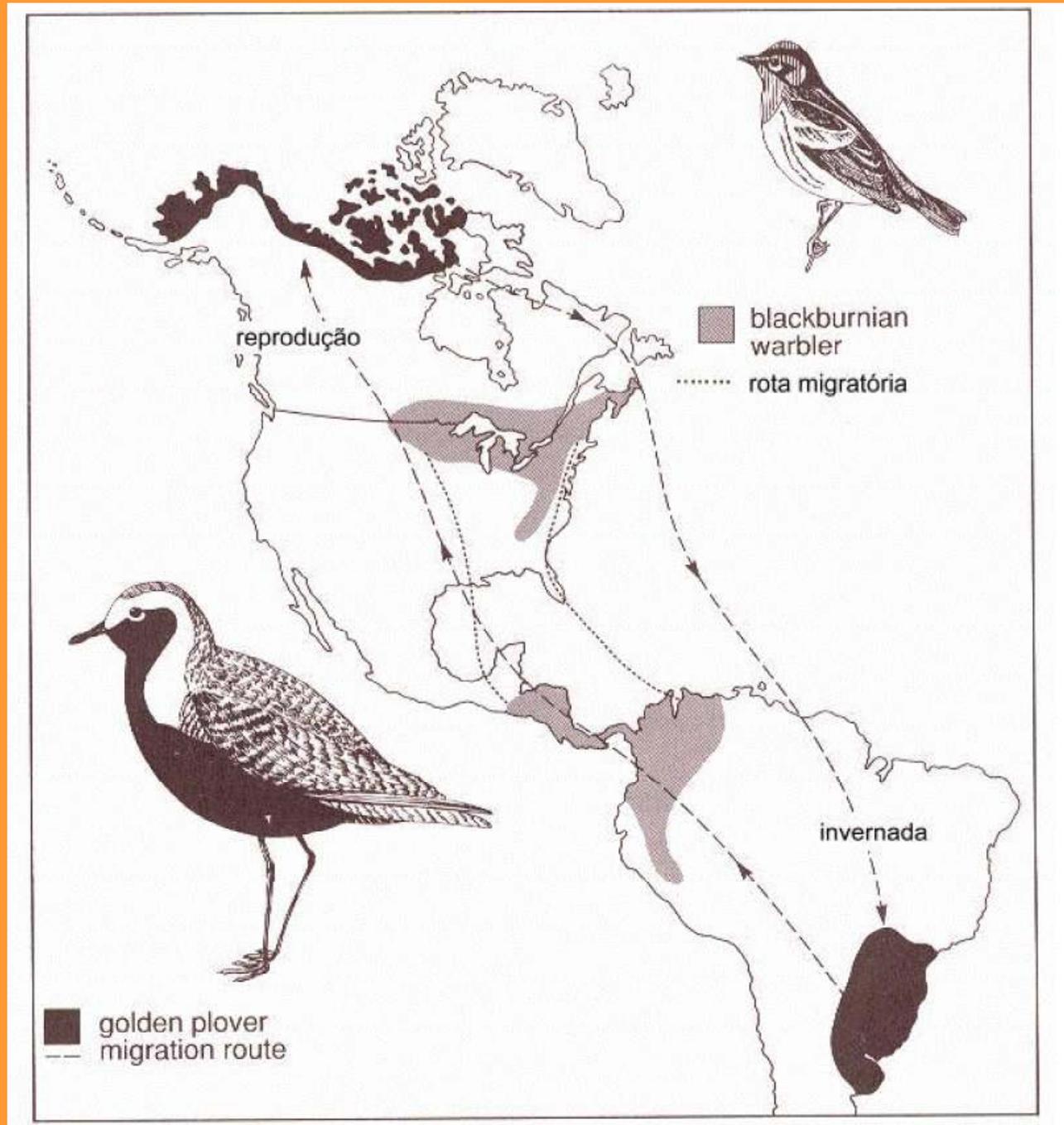
$$0.05 = 0 + e$$

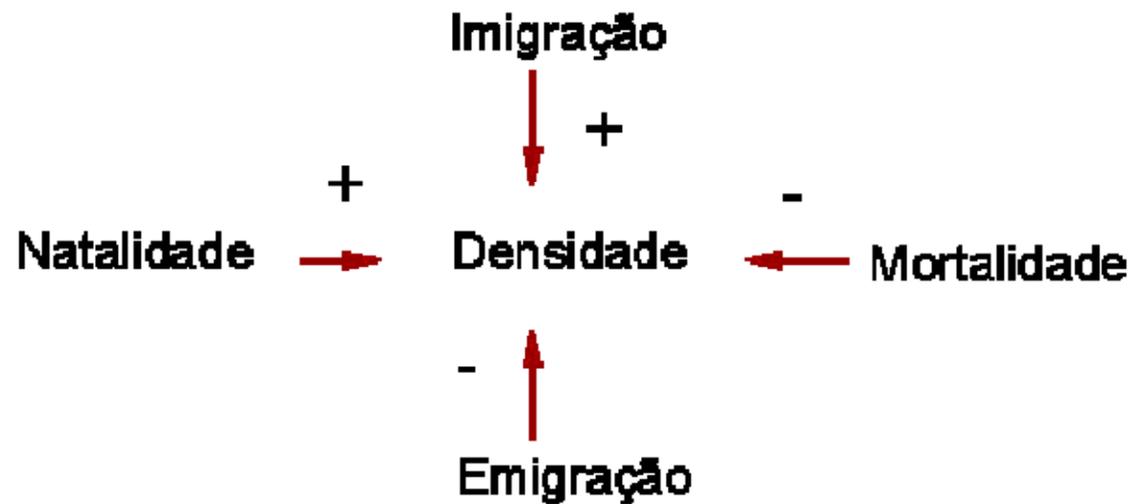
logo:

$$e = 0.05 (5\%) \text{ e } m = 0.10 (10\%)$$

Usando o mesmo processo acima pode-se separar a taxa de nascimento da taxa de imigração, usando o número de indivíduos não marcados na amostra.

O conhecimento da biologia de migração de uma espécie é, portanto, de grande importância para o estudo de uma população. A seguir, fornecemos dois exemplos de migrações de aves de longo curso, extraído de Ricklefs (1990)





A densidade é o produto dos ganhos (natalidade e emigração) e perdas (emigração e mortes) de uma população

4) Densidade:

Refere-se ao número de indivíduos por unidade de área ou volume. Existem várias maneiras de se expressar a densidade de uma dada população.

Um grande número de metodologias foi proposto para se avaliar a densidade de uma população. Levou-se em consideração, por exemplo, se os organismos são grandes ou pequenos, se são organismos sésseis ou móveis. Outro aspecto relevante refere-se ao fato de que, algumas vezes, é necessário inventariar toda a população, como no caso de grandes vertebrados em perigo de extinção. Na maioria dos casos, entretanto, apenas uma parte dela deve ser inventariada. Neste caso, técnicas de amostragem com base estatística são empregadas para se garantir uma representatividade adequada das amostras.

Em alguns casos, não é possível determinar a densidade absoluta de uma população, como é o caso de se contar somente amostras não quantitativas (ex: plâncton coletado por uma rede, onde não foi possível a correta determinação do volume filtrado). Ainda assim, é possível a determinação da densidade relativa da população. Conta-se um número arbitrário de indivíduos e determina-se o percentual de cada espécie em relação ao total.

Estimativas da densidade absoluta

Contagem total:

Em censos de população humana, vertebrados e invertebrados tais como ostras ou mexilhões ou ainda em estudos fitossociológicos de plantas de porte arbóreo.

Amostragem:

Método dos quadrados: Este método é usado com grande frequência em estudos sobre Ecologia Vegetal. Conta-se o número de indivíduos em quadrados (ou qualquer outra figura geométrica) com uma área conhecida. A seguir extrapola-se os dados para a área total a ser considerada.

Coleta e recaptura:

Este método é muito usado em estudos de Ecologia Animal. Ele permite também estimar as taxas de nascimentos e de mortes além da densidade de uma população e pode ser estimado da seguinte maneira:

$$T = \frac{N_a \cdot Nm_t}{Nm_a}$$

T = tamanho da população

N_a = tamanho da amostra

Nm_t = total de ind. marcados

Nm_a = total de ind. marc. amostra

Este método têm sido usado, com muito sucesso, em borboletas, cobras, besouros, peixes e vários vertebrados. No entanto ele apresenta algumas limitações:

- os animais marcados devem ter a mesma taxa de mortalidade que os não marcados, ou seja, a técnica de marcação não deve expor os animais a uma maior taxa de predação;
- as marcas não devem desaparecer ou causar equívocos para serem reconhecidas;

A confiabilidade do método da coleta e recaptura depende dos seguintes fatores:

Table II Critérios para o uso do método dos quadrados.

critérios

- 1) a população dentro da unidade de amostragem tem que ser estimada exatamente;
 - 2) a área de cada unidade deve ser estimada com grande precisão e não deve variar,
 - 3) os quadrados devem ser plotados aleatoriamente.
-

Densidade relativa:

É baseada na coleta de amostras que representam uma relação constante, embora desconhecida, com a população total. Não é feita estimativa absoluta da densidade mas sim de um índice de abundância.

A seguir, é apresentada uma lista de variáveis que podem ser usadas para a estimativa da densidade relativa de uma dada população:

- a) armadilhas de captura de roedores;
- b) contagem de bolas fecais;
- c) frequência de vocalização de pássaros;
- d) registros de atividades de pescadores ou caçadores;
- e) número de evidências ou pistas da presença de um organismo;
- f) índice de cobertura vegetal;
- g) questionários em censos sobre população de vertebrados aplicados aos habitantes de uma certa região;
- h) percentual de iscas consumidas (em ratos, por exemplo).

Crescimento de População

Modelo Exponencial de Crescimento Populacional

Lotka (1922) demonstrou que uma população cuja distribuição em classes etárias não se altere deverá crescer segundo a relação:

$$\frac{dN}{dt} = r_m \cdot N$$

r_m = tx. intrinseca de crescimento

Modelos de Crescimento Populacional

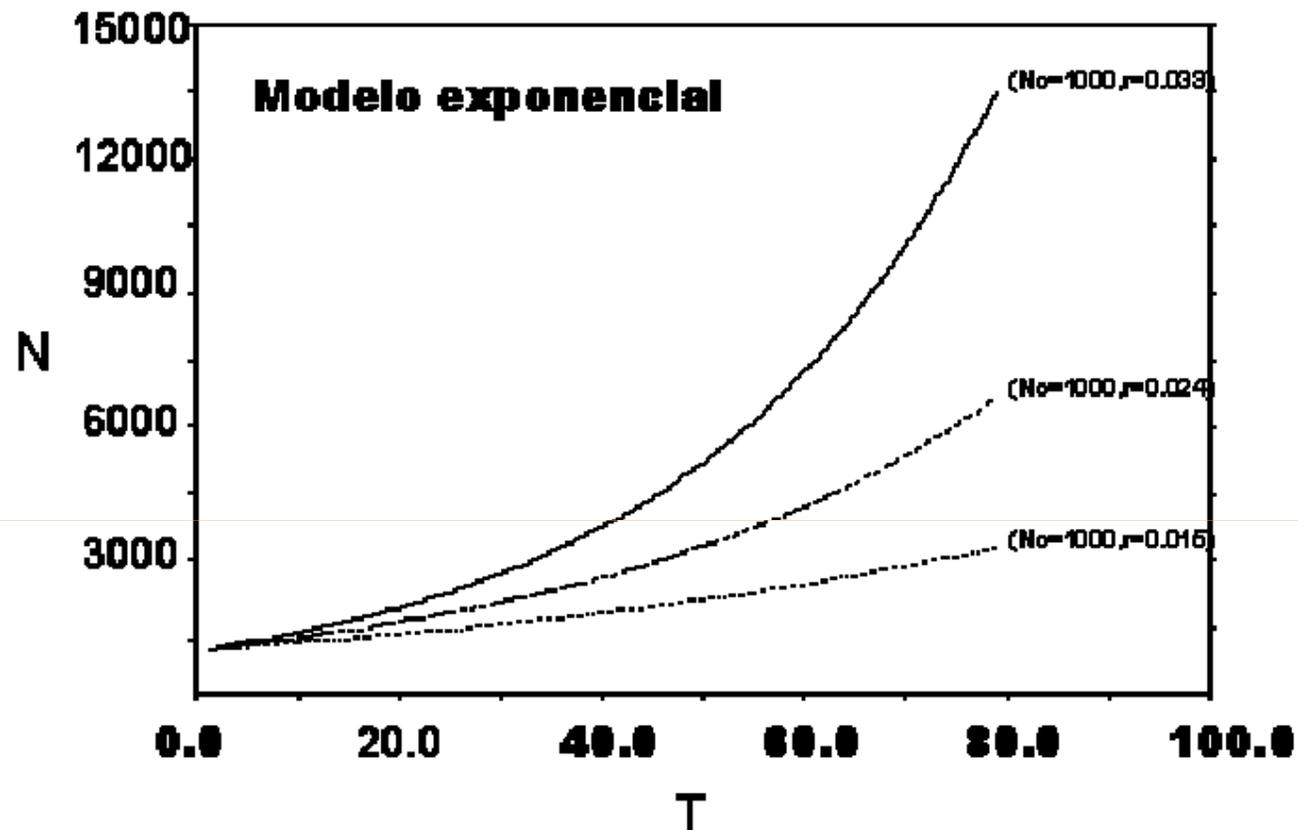


Figure 3 Curvas de crescimento exponencial para diferentes valores de r e No.

O modelo de crescimento exponencial é caracterizado por uma curva típica que é ilustrada pela figura acima.

Esse modelo pode ser formalmente definido pelas fórmulas abaixo:

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \mu \cdot N \\ N_t &= N_o \cdot e^{\mu t} \\ \mu &= \frac{1}{t} \cdot \ln\left(\frac{N_t}{N_o}\right) \\ T_d &= \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}\end{aligned}$$

onde

μ : taxa de crescimento instantâneo da população;

N_o : tamanho inicial da população (em indivíduos ou biomassa);

N_t : tamanho da população no instante “t”;

T_d : tempo de duplicação da população;

Observação: freqüentemente, na literatura especializada, a taxa de crescimento instantâneo de uma população pode ser representada indistintamente pela notação r .

Se temos a taxa líquida de crescimento (R_0) podemos facilmente calcular a taxa instantânea de crescimento (r) observando a fórmula:

$$r = \ln \frac{R_0}{T}$$

onde:

R_0 é a taxa finita ou líquida de crescimento ou o número de fêmeas por fêmea.geração;
 T é o tempo de geração.

Qual é a diferença entre estas duas taxas? A taxa finita R_0 tem uma lógica fácil de ser compreendida em termos demográficos ao passo que a taxa instantânea de crescimento é mais fácil de se trabalhar matematicamente. R_0 pode ser estimada a partir de tabelas de vida (como se verá abaixo) e pode ser definida como sendo o somatório do produto entre o número de sobreviventes (l_x) e de nascimentos (m_x) em cada classe etária dentro de uma população.

Se a população tem fases definidas de desenvolvimento ontogenético, usa-se o somatório simples e se ela apresenta crescimento contínuo, usa-se a integral do produto visto anteriormente e então temos as fórmulas:

$$R_0 = \sum_0^{\infty} l_x \cdot m_x$$

OU

$$R_0 = \int_0^{\infty} l_x \cdot m_x \cdot dx$$

Se $R_0 > 1$ a população está crescendo;

Se $R_0 = 1$ ela está estável;

Se $R_0 < 1$ ela está diminuindo.

O uso das equações acima pode ser ilustrado da seguinte maneira: considere um animal hipotético que viva 3 anos, que produza 2 jovens no ano 1 e um jovem no ano 2 e nenhum indivíduo no ano 3. Teríamos então a seguinte tabela de vida:

Tabela IV Tabela de vida de um pequeno mamífero

Anos (x)	Sobreviventes (l_x)	Nascimentos (m_x)	$l_x m_x$
0	1	0	0
1	1	2	2
2	1	1	1
3	1	0	0
4	0	0	0

A taxa de crescimento R_0 é calculada somando o produto:

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x = 3.0$$

Dados experimentais mostram que o besouro *Tribolium castaneum* possui um valor de T próximo a 55.6 dias e o valor de R_0 foi estimado em 275.0. Sendo assim, teremos a seguinte taxa de crescimento instantâneo para esse organismo:

$$r_{\text{Tribolium}} = \ln \frac{275}{55.6} = 0.101$$

Assim a taxa de crescimento instantâneo para o coleóptero *Tribolium castaneum* é igual a 0,101

Tabela - Taxas de crescimento (r e G) em diferentes populações de vertebrados (roedores) e invertebrados (insetos)

Organismo	r_m (dia⁻¹)	G (dia)	R_0
<i>Microtus agrestes</i> (r)	0.0125	141.8	5.9
<i>Rattus norvegicus</i> (r)	0.0147	217.8	25.9
<i>Tribolium castaenum</i> (i)	0.101	55.6	275.0
<i>Calandra oryzae</i> (i)	0.109	43.4	113.6

Obs: roedor (r), inseto (i).

Fonte: Rabinovich, (1978)

Raramente, na natureza, as populações obedecem ao modelo exponencial de crescimento por longos períodos. Elas normalmente têm uma taxa de crescimento real menor do que μ_{\max} (μ^* ou potencial biótico), uma vez que várias perdas podem ocorrer. A taxa de crescimento real de uma população, que pode em alguns casos ser até negativa, é chamada de lambda (λ). A equação abaixo ilustra a relação entre λ e μ_{\max} , para o fitoplâncton de lagos e oceanos

$$\lambda = \mu^* - k$$
$$k = s + d + g$$

onde:

λ : taxa real de crescimento observada sob condições naturais;

μ^* : potencial biótico ou taxa máxima de crescimento;

k: taxa somatório das perdas populacionais;

s: taxa de sedimentação;

d: taxa de diluição (*wash out*);

g: herbivoria (*grazing*);

Um caso especial: a população humana:

Se uma população segue o modelo geométrico, é possível estimar o seu tempo de duplicação (t) apenas conhecendo sua taxa de crescimento populacional (r). Imaginemos que no instante t a população deverá ter o dobro do seu tamanho inicial que seria N_0 . Assim, no instante t vamos ter:

$$N_t = 2 \cdot N_0$$

Aplicando o modelo geométrico, temos:

Se r é conhecido temos que:

$$t = \frac{0.693}{r}$$

$$t = \frac{0.693}{0.033} = 21 \text{ anos}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{r \cdot t}$$

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{r \cdot t}$$

$$\text{se } N_t = 2 \cdot N_0$$

$$2 = e^{r \cdot t}$$

$$\ln 2 = r \cdot t$$

$$0.693 = r \cdot t$$

Pergunta:

A população humana, em vários países do terceiro mundo, possui um r ao redor de 0.033. Qual seria o tempo de duplicação (t) desta população se ela segue o modelo exponencial?

A tabela a seguir, resume os dados sobre o crescimento populacional nos últimos 450 anos (até a década de setenta):

Tabela - Expansão da população humana nos últimos séculos.

Ano	Bilhões de Indivíduos
1650	0.5
1750	0.75
1830	1.0
1900	1.6
1950	2.5
1960	2.8
1970	3.6

No entanto, há situações genéricas sob as quais pode-se esperar crescimento exponencial de algumas espécies:

- a) quando há introdução de uma nova espécie no ecossistema;
- b) novos habitats foram criados (fechamento de um reservatório, por exemplo).

Há casos na literatura onde um genuíno crescimento exponencial pode ser observado em circunstâncias naturais:

- a) a alga diatomácea *Asterionella formosa* pode crescer exponencialmente durante o *spring bloom* (florescimento primaveril, um período restrito a algumas semanas) em muitos lagos temperados;
- b) áreas de ressurgência marinha;
- c) roedores em climas temperados e árticos durante a sua estação de crescimento.

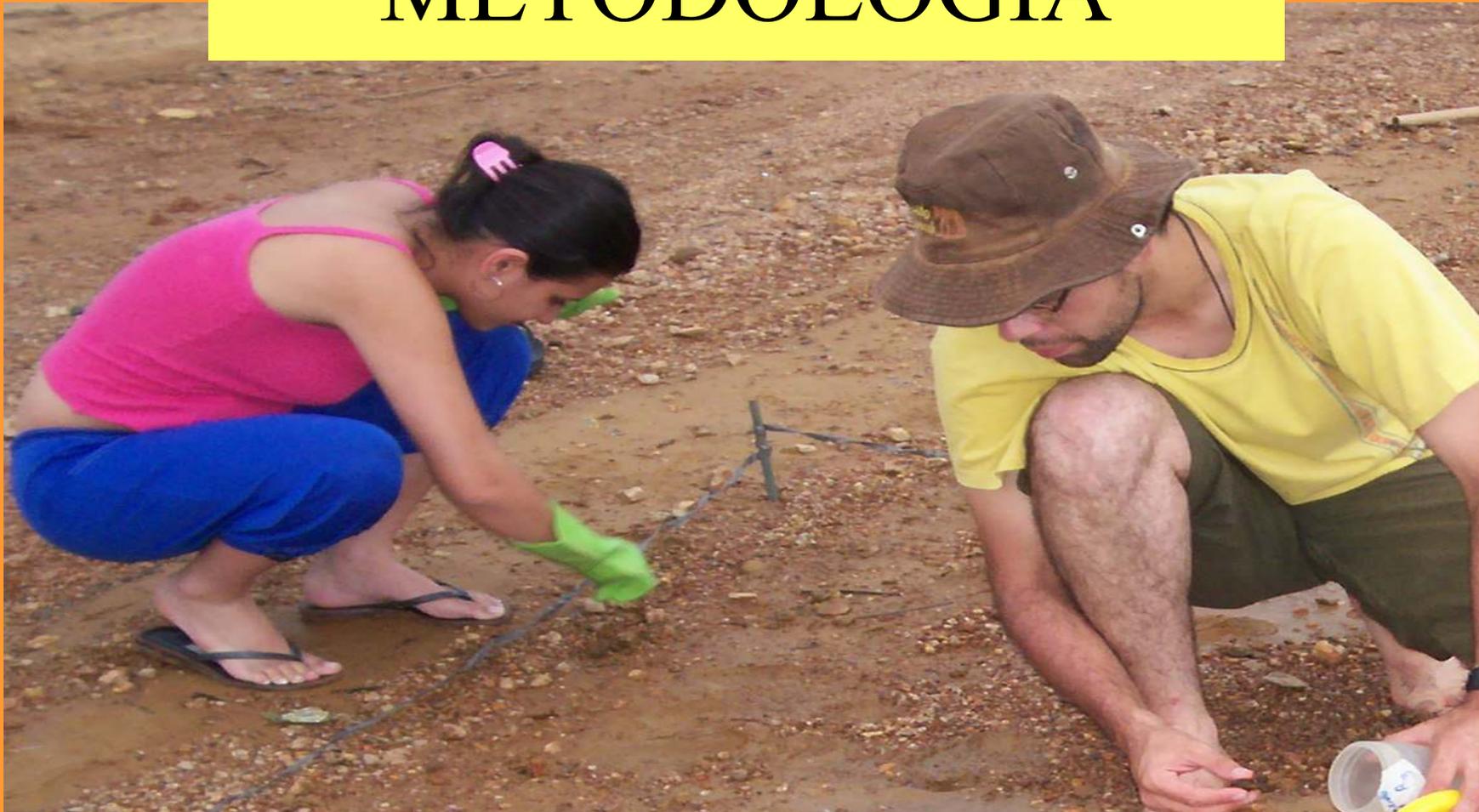
Caso de Estudo



Reservatório de Furnas

Em anos recentes, o reservatório tem sofrido com a invasão do molusco *Corbicula* sp.

METODOLOGIA



- Coleta de material biológico em um ponto de 2 x 2 x 0,1 m (0,4 m³).
- Coleta, contagem, mensuração e pesagem dos indivíduos coletados
- As amostras foram pesadas, colocadas para secar em estufa por 48hs a 60°C e pesadas novamente.

Tabela - Ocorrência de *Corbicula* (em classes de tamanho) em quatro diferentes pontos do reservatório de Furnas (novembro de 2006).

Estrutura etária de <i>Corbicula</i>																							
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
Ilha Grande																							
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
	2	6	3	12	25	22	48	85	165	191	173	125	66	41	9	2	8	10	16	13	9	5	1
Escarpas do Lago																							
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
	0	0	0	0	2	1	0	0	2	3	4	4	7	7	26	25	27	17	0	2	0	0	0
Mundo Novo 1																							
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	6	15	19	39	56	37	31	10	4	4	0	0	0
Mundo Novo 2																							
	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0

Densidades de *Corbicula*

Reservatório de Furnas

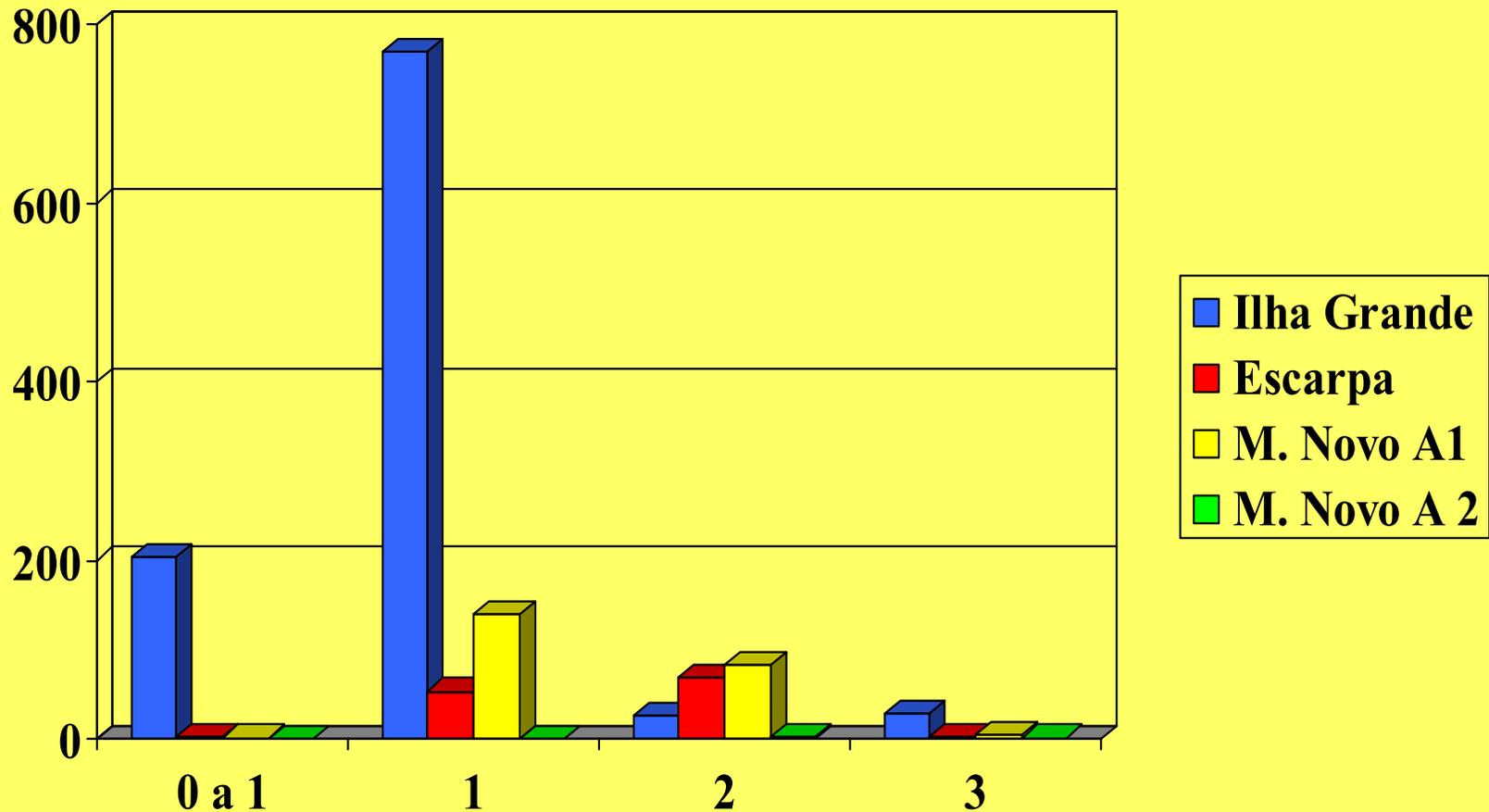
- Ponto 1 (Mundo Novo A1)
25,2 indivíduos /m²
- Ponto 2 (Mundo Novo A2)
0,33 indivíduos /m²
- Escarpa do Lago
14,1 indivíduos /m²
- Ilha Grande
115,2 indivíduos /m²

Relação idade x comprimento em *Corbicula* sp.

- < 1 ano: 0,8 cm a 1,5 cm de comprimento
- 1-2 anos de idade: 1,5 cm a 2,3 cm de comprimento
- 2-3 anos de idade: 2,3 cm a 2,7 cm de comprimento
- > 3 anos: 2,7 cm a 2,9 cm de comprimento

Fonte: Cataldo & Boltovskoy (1999)

Distribuição etária de *Corbicula* sp. Reservatório de Furnas



Distribuição etária de *Corbicula* em Furnas. Dados coletados nas proximidades da cidade de Guapé, em novembro de 2006 pelos alunos do curso de Ecologia Energética, ICB, UFMG.

Conclusões

- A população apresenta potencial para crescimento. Porém, é necessário estudos ao longo do tempo afim de melhor caracterizar a estrutura etária da população, sendo que o tamanho das conchas pode ser influenciado pelo ambiente;
- Foi observado que uma redução da granulometria do sedimento acarreta um aumento nas densidades dos indivíduos da população;

Modelo logístico

O modelo logístico de crescimento populacional

Uma das principais características do modelo logístico é a dependência do crescimento em relação a densidade de uma dada população em um dado instante. Sendo assim, deve ser possível expressar r em função da capacidade de suporte do meio (K) e da densidade da população (N).

O conjunto de equações abaixo procura demonstrar matematicamente essa dependência. A taxa de crescimento r_m pode ser interpretada como sendo a capacidade inata para crescer em números. É um parâmetro característico para cada espécie e pode variar segundo o ambiente ou as condições experimentais.

A taxa r_m é uma capacidade inata sendo atingida por uma particular combinação de condições do meio em conjunto, definidas como sendo ótimas. O termo "ótimo" deve ser encarado com reservas. Na realidade condições ótimas podem significar condições controladas e especificáveis. A importância deste parâmetro está em sua utilidade para simulações e modelizações.

Modelo de crescimento Logístico (Verhulst, 1838)

Este modelo caracteriza-se por uma associação entre a densidade de uma população e sua taxa de crescimento. Por esta razão, é também chamado de modelo densidade-dependente. A população pára de crescer ao atingir uma densidade máxima (K), definida como sendo a capacidade de suporte do meio. Em baixas densidades (K tende a 0), o crescimento é aproximadamente exponencial e em altas densidades (N tende para K) o crescimento tende a ser zero. O modelo logístico pode ser definido pela seguintes fórmulas:

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \frac{K-N}{K}$$

$$\lim_{N \rightarrow K} \left(\frac{K-N}{K} \right) = 0$$

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a-r \cdot t}}$$

onde:

N_t : tamanho da população no tempo t;

K: capacidade de suporte (densidade máxima prevista pelo modelo);

r: taxa de crescimento (potencial biótico);

e: base de números naturais ($e = 2.71827$);

a: constante de integração.

Ajuste de dados ao modelo logístico:

Esta curva pode ser facilmente ajustada a partir de dados de laboratório (N , K e t). Para o cálculo da curva logística, utiliza-se uma análise regressão linear dada pela equação abaixo. A inclinação da reta é a taxa de crescimento per capita (r) e a interseção em y e (a) é a constante de integração.

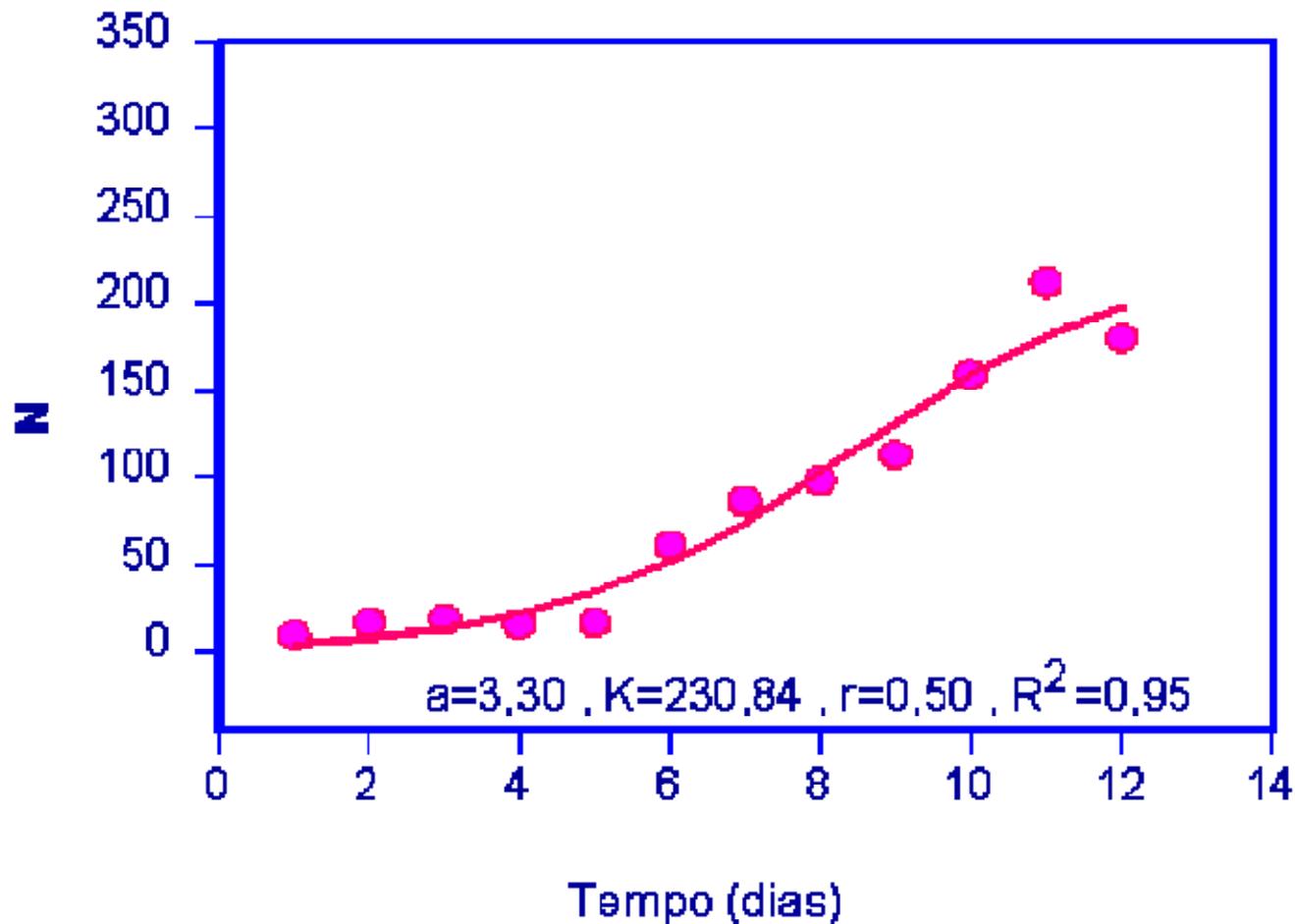
$$\ln \frac{K-N}{N} = a - r \cdot t$$

A forma integrada da curva logística pode ser observada na equação abaixo onde a é uma constante de integração e e é a base dos números naturais ($e = 2.71827$).

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a - r_m \cdot t}}$$

onde:

N_t : refere-se ao tamanho da população no instante t ;
 r_m , K e t : como nas fórmulas acima.



O modelo de crescimento logístico, que é do tipo densidade- dependente, ou seja, a taxa de crescimento depende do tamanho populacional. A diferença entre o crescimento exponencial e o logístico, em termos de área de curva, é chamada de resistência ambiental (Ω , omega). A figura acima demonstra a grande aderência ao modelo que é obtida cultivando cladóceros no laboratório (Macedo, 1999).

Evidências do modelo “logístico” de crescimento

Há várias evidências experimentais suportando o modelo logístico de crescimento populacional.

- A mais famosa delas foi publicada por Gauss (1934), onde é feito um estudo sobre a dinâmica populacional de duas espécies do ciliado *Paramecium*: *P. aurelia* e *P. caudatum*.

- Pearl (1927) observou que leveduras (*Saccharomices*) podem crescer segundo um modelo logístico.

- Jacobs (1947) cultivou *Escherichia coli* em meio aeróbico sob temperatura (35 °C) e pH constantes e contínuo aporte de comida e obteve como resposta o crescimento logístico.

- Chapman (1928) observou que colônias do coleóptero *Tribolium* crescem segundo um modelo logístico.

- Park et al.(1964) observou, entretanto, que culturas de *Tribolium*, embora cresçam segundo uma curva logística, não se estabilizam em torno de K. Há um lento e contínuo decréscimo (800 dias).

- Birch (1953) observou a ausência de estabilização em K para o coleóptero *Calandra*.

Uma população que obedeça ao modelo logístico deve obedecer aos seguintes critérios (Rabinovich, 1978):

- a) qualquer que seja a natureza do novo indivíduo, o efeito em r é o mesmo. Todos os indivíduos são idênticos, ou seja não há efeito da idade ou sexo sobre a taxa de crescimento;
- b) o efeito depressivo da densidade sobre a taxa de crescimento é sentido instantaneamente, ou seja, não há time-lag (ou tempo requerido para se observar uma dada resposta);
- c) a população se encontra numa condição estável de distribuição de idades;
- d) o efeito depressivo da densidade sobre a taxa de crescimento é linear;
- e) as taxas instantâneas de natalidade e mortalidade (b e m) são as determinantes da taxa instantânea de crescimento (r_m) e não mudam ao longo do tempo. Isto significa que tanto as condições ambientais bem como o genótipo dos indivíduos são constantes ao longo de gerações sucessivas.

A falta de estabilidade em torno de K apresentada por várias populações sob suposto crescimento logístico levou a proposição de modelos alternativos:

- a) time-lag: depende de N de uma maneira não uniforme;
- b) modelos estocásticos ou probabilísticos.

Tabelas de Vida

Ecologia de Populações (parte 2)

Técnicas demográficas

Tabelas de vida: Foram inicialmente desenvolvidas por demógrafos sociais trabalhando a partir de dados censitários de populações humanas. Elas reúnem as mortalidades específicas por idades. Há dois tipos de tabelas:

a) tabela estática ou vertical: É baseada num 'transecto' de uma população num tempo definido. É produzida por um levantamento censitário;

b) tabela de "coorte" ou horizontal: É baseada no estudo de um conjunto de indivíduos da mesma idade (coorte) durante toda a sua vida.

Estas tabelas se diferem apenas na maneira na qual são coletados os dados que servirão de partida para os cálculos.

Elas serão idênticas se o ambiente não mudar e se a população estiver em equilíbrio.

A montagem de uma tabela é feita a partir da estimativa de uma série de parâmetros demográficos, dentre os quais podem ser citados:

x : intervalo de idade;

l_x : número de sobreviventes ao início da idade x ;

d_x : número de indivíduos mortos no intervalo x a $x+1$;

q_x : taxa de mortalidade durante o intervalo x a $x+1$;

e_x : esperança média de vida no início da idade x ;

L_x : média de probabilidade de sobrevivência entre duas idades sucessivas;

T_x : número total de dias que restam de vida aos sobreviventes que tenham alcançado a idade x .

Primeiramente deve-se estabelecer um intervalo de idade (x) compatível com as características do desenvolvimento ontogenético da espécie estudada. Em seres humanos, x é usualmente igual a 5 anos, em cervídeos, x cai para 1 ano e, em ratos silvestres, x é igual a apenas 1 mês.

Uma das principais características de uma tabela de vida refere-se ao cálculo seqüencial das colunas, ou seja, dados os intervalos de idade (x) e o número de sobreviventes por classe etária (l_x), todos os outros parâmetros podem ser calculados.

$$\begin{aligned}d_x &= -(l_x - l_{x-1}) \\ l_{x+1} &= l_x - d_x \\ q_x &= \frac{d_x}{l_x} \\ T_x &= \sum L_x \\ L_x &= \frac{l_x + l_{x+1}}{2} \cdot 1000 \\ e_x &= \frac{T_x}{l_x} \cdot 1000\end{aligned}$$

A tabela abaixo sumariza a forma convencional de se representar os diversos parâmetros necessários para a montagem de uma tabela de vida. Ela foi construída com dados de uma população de insetos (afídeos), onde o valor de l_x inicial foi de 1000 e o intervalo de idade de apenas 1 dia. Após 6.5 dias, todos os indivíduos estavam mortos.

Tabela de vida das fêmeas do afídeo *Aphis fabae* construída a partir dos dados de Dixon & Walther (1971) in Rabinovich (1978).

x	l_x	dx	qx	L_x	T_x	E_x
0.5	1000	0	0	1.000	4.185	4.185
1.5	1000	0	0.000	0.995	3.190	3.190
2.5	990	10	0.010	0.910	2.195	2.210
3.5	830	160	0.192	0.670	1.285	1.548
4.5	510	320	0.627	0.435	0.615	1.205
5.5	360	150	0.417	0.180	0.180	0.500
6.5	0	360	1.000	0.000	0.000	0.000

Passaremos, a seguir, ao cálculo das taxas de crescimento populacional a partir dos dados de uma tabela de vida.

Passaremos, a seguir, ao cálculo das taxas de crescimento populacional a partir dos dados de uma tabela de vida. É possível, a partir de uma tabela de vida, calcular as taxas líquida e instantânea de crescimento de uma população. Para isto são necessários os cálculos descritos a seguir:

R_0 : taxa líquida de reprodução, ou seja, o número de fêmeas que é produzido por uma fêmea em seu tempo de geração

T : tempo de geração, ou seja, é o tempo médio de geração entre duas gerações sucessivas;

r : taxa intrínseca de crescimento natural ou simplesmente taxa de multiplicação instantânea;

l : taxa finita, ou seja, ao contrário da taxa instantânea, é o número de indivíduos que se junta à população por unidade de tempo.

m_x : número de nascimentos por fêmea

l_x : probabilidade de se estar vivo na idade x .

Fórmulas necessárias para as estimativas dos parâmetros de uma tabela de vida

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x$$
$$r = \ln \frac{R_0}{T}$$
$$T = \frac{\sum x \cdot l_x \cdot m_x}{\sum l_x \cdot m_x}$$
$$l = e^r$$

Exemplo: tomemos a tabela de vida de *Aphis fabae* (Rabinovich, 1978) e recalculemos algumas colunas.

x (dias)	l_x	m_x	$l_x \cdot m_x$	$x \cdot l_x \cdot m_x$
0.5	1.000	0	0	0
1.5	1.000	0	0	0
2.5	0.990	13.40	13.27	33.18
3.5	0.830	11.90	9.88	34.58
4.5	0.510	4.60	2.35	10.58
5.5	0.360	4.60	1.66	9.13
6.5	0.000	0.00	0.00	0.00
Totais		34.50	27.15	87.46

$R_0 = 27.15$ fêmeas/geração.fêmea

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x$$

$$r = \ln \frac{R_0}{T}$$

$$T = \frac{\sum x \cdot l_x \cdot m_x}{\sum l_x \cdot m_x}$$

$$l = e^r$$

Considerando os dados da tabela acima podemos então calcular os parâmetros básicos da tabela de vida do inseto:

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x = 27.15 \text{ fem. ger}$$

$$T = \frac{87.46}{27.15} = 3.22 \text{ dias}$$

$$r = \frac{\ln 27.15}{3.22} = 1.025 \text{ dias}$$

$$l = 2.787 \text{ ind/fêmea.dia}$$

Literatura Sugerida

Andrewartha, H.G. 1971. Introduction to the Study of Animal Populations. Chicago Univ. Press, Chicago, EUA. 283.

Krebs, C.J. 1994. Ecology. Harper & Collins. 4Ed. New York, USA. 801 p.

Krebs, C.J. 1989. Ecological Methodology. Harper & Collins, New York, USA. 653 pp.

Pinto-Coelho, R.M. 2000. Fundamentos de Ecologia. Editora Artmed, Porto Alegre, RS.

