

# Métodos científicos e o conhecimento humano

A curiosidade sobre o mundo natural motiva os cientistas no desenvolvimento de pesquisas que visam o entendimento de fenômenos e eventos naturais. Os cientistas reconhecem na natureza a existência de uma realidade organizada e partem da premissa de que os princípios que regem tal ordem natural possam ser sistematicamente explicados. Uma maneira fundamental pela qual fenômenos biológicos são organizados é simplesmente por meio de descrições e designações, como as utilizadas na classificação de organismos e comunidades. Assim, ecólogos caracterizam diferentes sistemas ecológicos como, por exemplo, a tundra, deserto, pradaria, savana, floresta decídua, floresta de coníferas e floresta tropical. Inicialmente a ecologia era uma ciência descritiva, de modo que os precursores desta ciência gastaram muito tempo descrevendo e classificando variados elementos ecológicos. Este processo descritivo foi essencial para que a ecologia moderna se desenvolvesse.

Baseada nestas informações descritivas primárias, a ecologia moderna busca o desenvolvimento de teorias sólidas que tenham poder preditivo fiel e comparável aos eventos e fenômenos do mundo real. O objetivo principal dos ecólogos é o de entender e explicar a origem e o mecanismo das interações dos organismos entre si e destes com fatores abióticos. Para a construção de teorias, inicialmente são formuladas hipóteses, ou seja, modelos hipotéticos da realidade. Todos os modelos são simplificações – alguns sacrificam a precisão em prol da generalização e outros fazem o contrário (Exemplificação I). Em geral, os

---

Cientistas visam o entendimento de fenômenos e eventos naturais

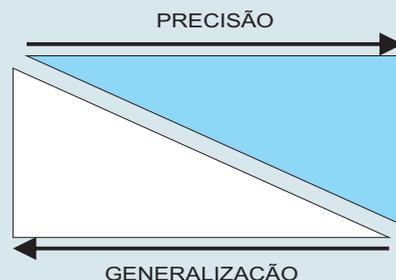
---

---

Ecologia: entender e explicar a origem e o mecanismo das interações dos organismos entre si e destes com fatores abióticos

---

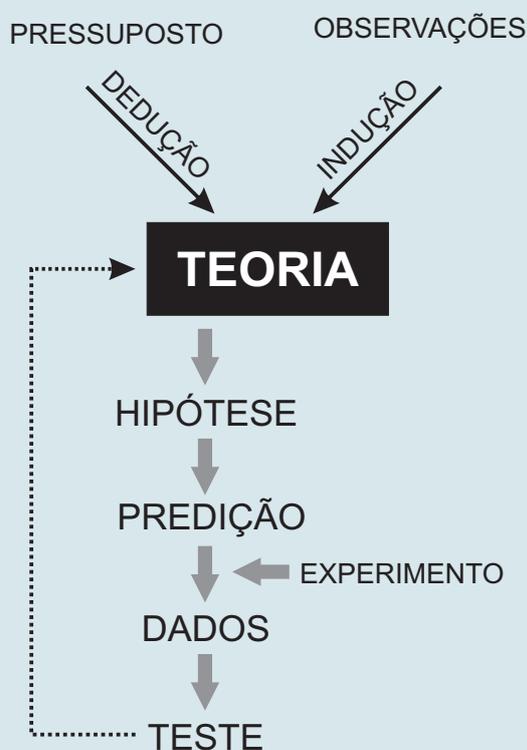
**EXEMPLIFICAÇÃO I:** No desenvolvimento de modelos, devemos optar pela precisão ou generalização destes, de acordo com o objetivo que queremos atingir. O aumento na precisão é proporcional à diminuição na generalização e vice-versa. Assim, à medida que não incluímos no modelo certos aspectos do objeto a ser modelado, este se torna mais simples e geral; e à medida que incluímos mais e mais detalhes ao modelo, este se torna mais preciso. É importante termos em mente que nem sempre um modelo mais preciso é melhor que um modelo mais geral ou o contrário. A qualidade do modelo vai depender se ele permite ser testado e responde os questionamentos de forma adequada, independente se ele é mais preciso ou mais geral. É claro que se o questionamento depende de um modelo mais preciso, nesta situação um modelo mais preciso seria mais indicado para atingir o objetivo. Modelos muito precisos geralmente são de utilização restrita. Considere que queremos construir o modelo de um triatomíneo (i.e., barbeiro) em duas situações. (1) Se o objetivo for modelar uma única espécie, seria importante descrevermos muitos detalhes para que seja possível a identificação desta espécie; a precisão em nosso modelo seria importante para este objetivo. (2) Caso nosso objetivo fosse modelar um grupo (e.g., gênero), não deveríamos nos ater tanto aos detalhes, e sim utilizar as características principais que determinam aquele grupo; não seria necessária tanta precisão para chegar ao nosso objetivo e neste caso um modelo mais geral atende melhor aos nossos objetivos.



modelos suprimem certos aspectos da realidade, sendo denominados como: “caricaturas da natureza designadas para representar a essência da natureza com grande economia de detalhes”. Nenhum modelo é “correto” ou “verdadeiro” – os modelos basicamente representam tentativas de reproduzir a realidade, sendo de certa forma incorretos, pois não refletem a realidade exatamente como ela é. Para que um modelo seja mais útil, ele deve ser criado de forma que permita a geração de predições testáveis. Um modelo deve portanto ser confrontado com a realidade e refutado caso não a represente de forma satisfatória. Neste processo de validação nem todos os modelos são refutados; alguns modelos conceituais que não permitem validações diretas também provaram ser de grande valia. Quando o poder preditivo de um modelo é ruim, então este é descartado ou revisado. Modelos e hipóteses que não se conformam adequadamente com a realidade são gradualmente substituídos por modelos que refletem melhor o mundo real. O método científico é deste modo auto-corretivo; com o passar do tempo o conhecimento se expande com as idéias se tornando continuamente refinadas e melhoradas, sempre buscando refletir a realidade cada vez melhor. Hipóteses bem demonstradas se tornam teorias (Exemplificação II). O acesso a resultados de pesquisas anteriores permite que cientistas atuais se beneficiem, pois em poucas horas de leitura podem obter um conhecimento que demandou várias vidas para ser explicado.

**Modelos e hipóteses** que não se conformam com a realidade são substituídos por modelos que melhor a refletem

**EXEMPLIFICAÇÃO II:** As teorias são concebidas por meio de dois métodos de raciocínio: (1) o indutivista, que parte de uma série de casos individuais para inferir uma lei geral, que possa ser aplicada a outros casos; e (2) o dedutivista, que parte de leis gerais para então inferir casos particulares. No indutivismo, por exemplo, se eu capturo dois barbeiros e ambos estão infectados por *Trypanosoma cruzi*, ao me deparar com o terceiro, antecipadamente ao exame o julgo infectado, baseado nos dois espécimes anteriormente examinados. Já no dedutivismo, temos uma premissa maior “todo inseto possui exoesqueleto”, uma premissa menor “o barbeiro é um inseto” e uma conclusão “o barbeiro possui exoesqueleto”. O dedutivismo é o método mais poderoso e confiável na ciência, sendo Darwin um dos primeiros a utilizá-lo na validação de sua teoria da seleção natural. Naquela época o indutivismo era o método mais aceito e responsável pelo desenvolvimento da ciência. As teorias existentes passam por constantes provas a partir de hipóteses de cientistas, que por sua vez geram predições testáveis por meio de experimentos detalhados e rigorosos. A teoria é então validada por meio dos resultados destes experimentos, que podem confirmar seu poder preditivo ou a falseá-lo, neste caso deve-se então refutar ou revisar a teoria em questão.



Devido aos significados múltiplos das palavras, modelos verbais são geralmente ambíguos e imprecisos e portanto de utilização limitada. A complexidade dos sistemas ecológicos requer o uso de modelos gráficos e matemáticos, de modo que ecólogos freqüentemente utilizam mais teoria matemática que a biológica em certos modelos. Entretanto, o desenvolvimento de princípios ecológicos depende grandemente da “intuição biológica” e certamente isto requer uma boa base teórica em história natural. Não importa o quanto elegante e elaborado seja um modelo, se ele for baseado em premissas biológicas erradas, dificilmente ele vai refletir a realidade com acurácia (Exemplificação III). Por isto, a correta compreensão da ecologia depende do conhecimento de fundamentos da biologia e matemática, além de uma base sólida em ciências em geral.

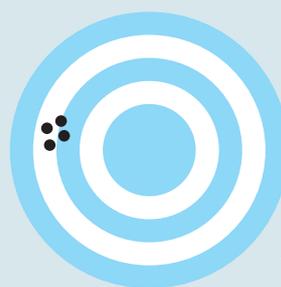
---

Modelos baseados em premissas erradas dificilmente irão refletir a realidade com acurácia

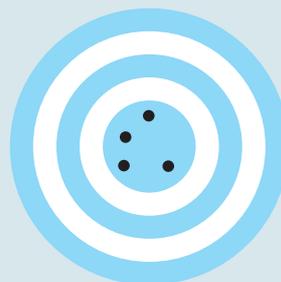
---

Os cientistas trabalham a partir de fatos, e é suposto que o conhecimento humano seja baseado nestes fatos. Mas o que exatamente é um “fato”? Sua definição no dicionário é “o que realmente aconteceu; verdade; realidade”. Considere, por exemplo, o fato de o sol nascer todas as manhãs. Diariamente observamos este fato, ou seja, a cada dia obtemos novas evidências que confirmam este fato. Apesar de termos certeza absoluta de que o sol irá nascer amanhã, existe uma possibilidade remota de que ele não irá nascer. De fato, na escala infinita do tempo, sabemos que um dia o sol irá deixar de existir. Apesar de a primeira vista não parecer, fatos simples, como o nascer-do-sol, podem ter interpretações subjetivas. De acordo com a já refutada hipótese de que “o sol se move ao redor da terra”, o movimento solar era visto somente da perspectiva de um ponto fixo na terra, o que levou a esta conclusão de que é o sol que se move ao

**EXEMPLIFICAÇÃO III:** É importante entender e distinguir as diferenças entre a precisão e a acurácia. A acurácia se refere ao quão próximo a medida está do valor real. Medidas com boa acurácia não possuem viés, ou seja, elas não estão nem acima nem abaixo do valor real. A precisão se refere à concordância entre uma série de medições e o grau em que estas medições podem ser discriminadas. Por exemplo, a medida pode ter uma precisão de três casas decimais, o que significa que podemos discriminar diferentes medições com três casas decimais. A acurácia é mais importante que a precisão. Geralmente é melhor utilizar uma balança com boa acurácia que seja precisa somente uma casa decimal do que uma balança cinco casas decimais, mas com acurácia não muito boa. As casas decimais extras não vão se aproximar mais do valor verdadeiro se seu instrumento de medição está enviesado. Assim, uma medida muito precisa varia pouco em torno da média das medições e uma medida muito acurada é bem próxima ao valor verdadeiro do objeto medido.



Precisão alta  
Acurácia baixa



Precisão baixa  
Acurácia alta

redor da terra. Na realidade, as referências que existiam sobre o nascer e o pôr-do-sol eram baseadas nesta interpretação, que foi por muito tempo sustentada por percepções superficiais, o senso comum. Entretanto, algum tempo depois uma nova hipótese desbancou a de que “o sol se move ao redor da terra”; nosso entendimento de eventos cósmicos avançou bastante quando o sol começou a ser visto como o centro de nossa galáxia e a terra não sendo mais o centro do universo. Talvez algum dia uma hipótese ainda melhor desbanque a hipótese atual que “explica” o nascer do sol.

---

Observação e  
experimentação  
têm papel  
fundamental na  
ciência

---

A observação e a experimentação têm um papel fundamental para a ciência. Eles são utilizados para testar modelos, refutar hipóteses inadequadas, e ainda para ajudar na formulação de interpretações melhores do mundo natural. Certos tipos de eventos naturais não podem ser manipulados. Assim, nós não podemos parar a fusão do sol ou a rotação da terra para testar nossas idéias, mas cada observação do nascer ou pôr-do-sol pode ajudar em nossa interpretação de eventos celestes. Igualmente, em muitas situações ecológicas (particularmente aquelas que envolvem a evolução de adaptações), a experimentação direta é freqüentemente inaplicável. Alguns tipos de fenômenos ecológicos permitem a manipulação, mas como astrônomos, os ecólogos evolutivos devem ter muita cautela em abordagens comparativas (experimentos naturais).

---

Uma importante  
finalidade da  
ciência é entender a  
causalidade

---

Uma importante finalidade da ciência é entender a causalidade (relação entre dois acontecimentos); quando observamos que o evento B sempre ocorre após o evento A, podemos inferir que A causa B. Entretanto, outro evento desconhecido X pode estar influenciando a ocorrência de ambos os eventos A e B, com B ocorrendo com um pequeno atraso. Uma maneira em que os cientistas testariam esta correlação espúria seria provocar a ocorrência do evento A, mantendo todo o experimento constante e controlado; então, se o evento B continua ocorrendo após o A quando o X não ocorre, podemos sugerir com mais evidências que o evento A causa o B. Na física e em algumas áreas da biologia como a molecular, conexões causais são bastante simples e diretas, permitindo a construção de hipóteses alternativas mutuamente exclusivas. Desta maneira, a investigação científica pode então ser procedida pelo que chamamos de “inferência forte”, podendo os cientistas escolher dentre alternativas lógicas. Entretanto, em ecologia de populações, hipóteses mutuamente exclusivas dificilmente podem ser formuladas. A causalidade múltipla também é comum e raramente é possível eliminar uma hipótese como inadequada considerando todas as situações.

## Referências selecionadas

- Bender EA, Case TJ, Gilpin, ME. 1984. Perturbation experiments in community ecology: Theory and practice. *Ecology* 65: 1–13.
- Colwell RK, Fuentes ER. 1975. Experimental studies of the niche. *Ann Rev Ecol Syst* 6: 281–310.
- Diamond J, Case T (eds). 1986. *Community ecology*. Harper & Row, New York.
- Fisher RA. 1935. *The design of experiments*. Oliver and Boyd, Edinburgh, Great Britain.
- Hilborn R, Stearns SC. 1982. On inference in ecology and evolutionary biology: The problem of multiple causes. *Acta Biotheoretica* 31: 145–164.
- Horn HS. 1979. Adaptation from perspective of optimality. In OT Solbrig, S Jain, GB Johnson, PH Raven (eds), *Tropics in plant population biology* (pp 48–61). Columbia Univ Press, New York.
- Hutchinson GE. 1949. Circular causal systems in ecology. *Ann NY Acad Sci* 51: 221–246.
- Levins R. 1966. The strategy of model building in population biology. *Amer Sci* 54: 421–431.
- Loehle C. 1987. Hypothesis testing in ecology: Psychological aspects and the importance of theory manipulation. *Quart Rev Biol* 62: 397–409.
- Platt JR. 1964. Strong inference. *Science* 146: 347–353.
- Popper KR. 1959. *The logic of scientific discovery*. Basic Books, New York.
- Quinn JF, Dunham AE. 1983. On hypothesis testing in ecology and evolution. *Amer Natur* 122: 602–617.
- Schoener A. 1983. Field experiments on interspecific competition. *Amer Natur* 122: 240–285.

## Referências extras

- Gotelli NJ, Allison AM. 2004. *A primer of ecological statistics*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Futuyma DJ. 1986. *Evolutionary biology*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Keller V, Bastos CL. 2004. *Aprendendo lógica*. Editora Vozes, Petrópolis.