

## Possibilidades e limitações da análise e síntese em Ecologia: uma discussão necessária na formação de ecólogos

Possibilities and limitations of analysis and synthesis in Ecology: a necessary discussion for the formation of ecologists.

Rogério Parentoni Martins<sup>1</sup>  
Francisco Ângelo Coutinho<sup>2</sup>

### Resumo

Considerando-se a complexidade da Ciência Ecologia e, por extensão, da formação de cientistas nessa área, o presente ensaio focaliza-se nos limites e possibilidades da análise e síntese como abordagens, cujo propósito é o de facilitar a compreensão científica sobre fenômenos naturais, bem como diminuir a distância entre as Ciências Naturais e as Humanidades. Nesse percurso, extraímos algumas consequências que julgamos úteis, como subsídios para as discussões sobre a formação de ecólogos em cursos de pós-graduação.

**Palavras-chave:** Formação de Ecólogos. Abordagens Teóricas. Análise. Síntese.

### Abstract

The Science of Ecology is complex and the training of ecologists is equally so. This essay focuses on the possibilities and limitations of analysis and synthesis as approaches for facilitating scientific understanding about natural phenomena and for reducing the distance between the natural sciences and the humanities. The essay offers considerations and consequences that are deemed to be useful to discussions about the training of ecologists on the graduate level.

**Keywords:** Training of Ecologists. Theoretical Approaches. Analysis. Synthesis.

<sup>1</sup> Naturalista pela UFMG, mestre e doutor em Ecologia pela Unicamp. Aposentado pela UFMG e atualmente é professor-visitante no Departamento de Biologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará. Email: wasp@icb.ufmg.br.

<sup>2</sup> Licenciatura em Ciências Biológicas (Universidade Federal de Minas Gerais), doutor em Educação (UFMG). É professor adjunto III da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Email: fac01@terra.com.br

## Introdução

Em seu livro “As Duas Culturas”, Snow (1995) reconhece e critica a existência de um fosso entre as culturas humanista e científica, o que dificulta a interação entre elas - além do impacto negativo que essa ausência de diálogo exerce sobre a formação educacional científica. A situação ainda persiste porque essas duas culturas tratam os fenômenos naturais e humanos a partir de métodos e perspectivas diferenciadas, embora não sejam inteiramente incompatíveis.

Pelo outro lado, critérios epistemológicos que visam demarcar as fronteiras do conhecimento científico e que se baseiam fortemente na estrutura da Física em geral excluem o reconhecimento de certos métodos utilizados pelas Ciências Humanas para adquirir conhecimento; métodos que se baseiam exclusivamente na observação e, portanto, carecem de base experimental e de testes de hipóteses estatísticas, tal qual o método de estudo de caso (SHRADER-FRECHETTE e MCCOY, 1993). Há também taxonomias sobre categorias de conhecimento que pretendem ajudar a identificar as fronteiras entre o conhecimento científico genuíno e certos conhecimentos gerados pelas Ciências Humanas, além de tentar discriminar objetivamente por que os conhecimentos artísticos, místicos e religiosos, estes corriqueiramente objeto de estudo das Ciências Humanas, não devem ser considerados científicos (PICKETT; KOLASSA; JONES, 2007).

Há também certo rancor corporativista, que se reforça a partir da ausência de diálogo entre as duas culturas. Essa incompatibilidade, que muitas vezes pode provocar indiferença e até mesmo desdém mútuo entre integrantes de ambas as culturas, empobrece a visão de mundo dos intelectuais que aceitem transitar apenas dentro dos limites e sob as restrições de uma ou outra.

Situação semelhante à descrita por Snow (1995) ocorre também entre integrantes de uma mesma cultura, no caso, em questão, da cultura científica. Isso não surpreende, considerando-se que os cientistas tendem a se agrupar em escolas que, muitas vezes, competem por ideias e recursos para o financiamento de pesquisas, sem dissimular antipatias mútuas.

Como um dos indicadores do sucesso de uma determinada escola é a sua capacidade de resolver problemas práticos, aquela que supostamente o faz encontra legitimidade e prestígio entre integrantes da comunidade científica, alunos e leigos. Estes, em geral, por terem dificuldades em entender inteiramente como o conhecimento foi produzido, admiram o cientista cujo conhecimento lhes proporcionou algum resultado prático.

Essa relação entre o desenvolvimento da pesquisa científica e a aplicação prática do conhecimento que ela produz é um dos motivos pelo qual discussões sobre limites e possibilidades das abordagens analítica e sintética podem extrapolar os âmbitos estritos do fazer científico e da crítica epistemológica, chegando a questões educacionais. Embora reconhecendo a importância desse tipo de discussão, em especial quando se considera a complexidade das sociedades contemporâneas, nosso foco será centralizado nos limites e possibilidades da análise e síntese como abordagens, cujo propósito é o de facilitar o aperfeiçoamento da compreensão científica sobre fenômenos ecológicos e, por isso, indispensável à formação de profissionais da área. Contudo, tendo em vista que cientistas da área de Humanidades também lidam com análise e síntese em suas pesquisas, cremos que a discussão a seguir possa ser útil como subsídio à formação de profissionais nessa área do conhecimento.

Um dos motivos que fundamentaram a escolha do nosso foco é o de que a Ecologia é considerada uma ciência em transição, pois suas escolas integrantes, que eram previamente isoladas e exploravam níveis de organização específicos (e.g. Ecologia Fisiológica ou Ecologia de Populações), estão interagindo por meio desses diferentes níveis de organização da Ecologia Fisiológica à Ecologia da Paisagem - (BROWN *et al.*, 2004; HOLLING, 1998; LEWINSOHN, 2004).

Além disso, a discussão epistemológica sobre a Ecologia tem se acirrado nas últimas décadas, a partir da iniciativa de vários ecólogos de competência internacionalmente reconhecida (PICKETT *et al.*, 2007; TURCHIN, 1999; MURRAY, 1999; LAWTON, 1999). Tais iniciativas têm estimulado o interesse em reavaliar o status científico da Ecologia, inclusive por meio da comparação de certas leis que supostamente são de alcance universal para o mundo ecológico; por exemplo, em Ecologia de Populações, as leis universais da Física (GINZBURG e COLYVAN, 2004).

Adicionalmente, a Ecologia é, algumas vezes, considerada como a única ciência verdadeiramente holística, porque lida com fenômenos que se expressam por meio das interações de organismos entre si e com o ambiente físico-químico. Todavia, os termos holístico e reducionismo ou merístico são muito relativos para serem aplicados indiscriminadamente à Ecologia como um todo. Por isso, eles devem ser aplicados tendo em vista um dado nível de organização. Por exemplo, a Autoecologia ou Ecologia dos Indivíduos de uma espécie pode ser holística com relação à Fisiologia, mas reducionista com relação à Ecologia de Populações (LOOIJEN, 1998).

Pelo bem da clareza e do rigor conceitual, definiremos alguns conceitos que servirão como base para esta discussão. No presente contexto, as abordagens analítica, reducionista ou merística serão usadas como sinônimos, o mesmo sendo válido para as abordagens integrativa, holística e sintética. Quando nos referirmos à abordagem sistêmica, ela deverá ser considerada sinônimo das abordagens integrativa, holística ou sintética. O motivo é o de que um sistema, por definição, constitui-se de uma estrutura complexa, integrada por diferentes partes que interagem entre si.

A complexidade e variabilidade que resultam da interação entre os componentes de um sistema dificultam o entendimento completo desse se as propriedades ou estruturas das partes que o constituem forem examinadas isoladas do contexto no qual interagem. Além disso, o conceito sistema é aplicável a todos os níveis de organização em Ecologia.

A Ecologia Fisiológica trata o organismo como um sistema ao analisar a influência de interações entre organismos parasito-hospedeiros, por exemplo, ou de fatores físico-químicos sobre o metabolismo. A Ecologia de Populações e Comportamental trata as interações dos indivíduos de uma população entre si e com o meio ambiente como um sistema de interações (MARTINS e COUTINHO, 2006). No entanto, é na Ecologia de Comunidades e de Ecossistemas que o conceito é mais plenamente utilizado. Nesses níveis, as interações entre espécies e fatores físico-químicos se expressam de forma mais complexa e talvez seja aí que o conceito de sistema seja mais necessário.

Adicionalmente, a abordagem sistêmica é necessariamente holística, contrapondo-se à abordagem analítico-mecanicista (LASZLO, 1972). Em sua proposta de uma filosofia sintética, baseada na teoria geral de sistemas, para contrapor-se à filosofia analítica, Laszlo utiliza-se da opinião de Maslow (1970) para aqueles que insistem que a abordagem atomística é em si uma forma de psicose. Em sua filosofia sintética, Laszlo pretende demonstrar que a compreensão das características de conjuntos dinâmicos de eventos que constituem a nós e ao nosso mundo pode ser conseguida tendo como referência postulados universais simples, exemplificados por meio da amplitude das organizações vigentes no mundo.

A estrutura da filosofia de sistemas pode ser caracterizada assim: a compreensão do ser humano e do mundo que o cerca é possível tendo como referência uma hierarquia de sistemas dinâmicos, definida em termos de sua invariância organizacional de estado e função. Adicionalmente, o conceito de tais sistemas hierárquicos é o arcabouço

ideal para a interpretação e integração das análises de fatos empíricos. Essa proposta, portanto, não apenas defende uma abordagem holística, mas também pretende que ela seja um meio pelo qual a filosofia se alimenta da ciência e esta das reflexões filosóficas sobre o estado do conhecimento que produz.

É também interessante e útil, quando se discute sobre problemas relativos ao reducionismo, distinguir diferentes aspectos desses problemas. Assim, os aspectos ontológicos do reducionismo referem-se à questão de quais entidades, coisas ou substâncias assume-se constituir a natureza (realidade), além de quais propriedades são atribuíveis a essas entidades e que funções e relações assume-se que haja entre essas propriedades.

Os aspectos epistemológicos se referem ao conhecimento que temos da realidade, ao modo como esse conhecimento é embasado teoricamente e às relações lógicas que existem entre as teorias. Especificamente, eles são referentes às relações entre teorias que têm sido desenvolvidas para aumentar a compreensão científica em diferentes domínios da realidade ou diferentes níveis de organização.

Os aspectos metodológicos referem-se aos modos pelos quais se adquire conhecimento e aos princípios, regras e estratégias que são utilizados para tal objetivo. Especificamente, os aspectos metodológicos são pertinentes à questão se, para adquirir conhecimento sobre certo nível de organização, em nível de totalidade, deve-se estudar os níveis de organização subjacentes ou o nível superior propriamente (LOOIJEN, 1998).

Embora todos esses aspectos possam ser importantes para o cientista que deseja aperfeiçoar a qualidade de seu trabalho, provavelmente o aspecto metodológico pode atrair mais a sua atenção, pois remete a questões práticas pertinentes à pesquisa. Além disso, a discussão de aspectos epistemológicos exclui cientistas sem embasamento filosófico suficiente para entender as discussões sobre a natureza do conhecimento científico, mesmo que estes suspeitem que a aplicação a sua pesquisa de certas reflexões epistemológicas resultaria no aprimoramento de seu trabalho (MARTINS e COUTINHO, 2004).

### **Análise e síntese em Ecologia**

No editorial inaugural da revista eletrônica *Conservation Ecology*, Holling (1998) identifica duas culturas vigentes na Ecologia. Para caracterizá-las, o autor compara nove atributos comuns às abordagens: filosofia da abordagem; níveis de organização que são perceptíveis pelo uso de cada uma delas; tipos de causalidades com as quais lidam; ti-

pos de hipóteses formuladas por integrantes de cada abordagem; grau de incerteza esperado como resultado de aplicação de cada abordagem; tipo de estatística usada para a análise dos dados; se a abordagem se baseia em experimentação ou não e qual o tipo de erro probabilístico associado ao emprego de cada uma delas; objetivo que é atingido quando os resultados são avaliados por pares; e, finalmente, que tipo de perigo o emprego de cada abordagem pode proporcionar para a integridade do conhecimento produzido.

A filosofia da abordagem analítica é focalizada e possui meta pré-estabelecida; o método experimental que a caracteriza aponta que rejeitar a hipótese e a regra de aceitação entre explicações competidoras plausíveis é o princípio de parcimônia. Em contraste, a filosofia da cultura integrativa é ampla e exploratória; há múltiplas linhas de evidências que convergem e a meta a ser atingida é a simplicidade de compreensão.

A organização que é perceptível por meio do emprego da cultura analítica inclui interações bióticas, um ambiente previamente delimitado e a consideração de uma única escala. Em contraste, a cultura integrativa permite considerar interações biofísicas, auto-organização e escalas de análise múltiplas e interligadas.

A determinação da causalidade pela abordagem analítica é única e distinta, ao passo que, pela abordagem sintética, a causa é de origem múltipla e cada uma das possíveis causas do fenômeno é distinguível apenas parcialmente.

O tipo de hipótese formulada por meio da abordagem analítica é único e o processo de adquirir conhecimento se dá pela falsificação e rejeição da hipótese. Já a abordagem integrativa lida com hipóteses competidoras múltiplas e o processo pelo qual se adquire conhecimento é a distinção entre hipóteses que competem por uma mesma explicação sem, todavia, necessariamente, haver rejeição de algumas delas.

Quando bem-sucedida, a abordagem analítica permite a eliminação de incerteza sobre quais seriam as causas do fenômeno. Em contraste, a abordagem integrativa incorpora incerteza sobre as causas da manifestação do fenômeno, exatamente porque lida com múltiplas causalidades.

As estatísticas utilizadas na abordagem reducionista são as corriqueiras; há o emprego de desenho experimental e o tipo de erro considerado é do Tipo I, que indica qual a probabilidade de que uma hipótese nula seja rejeitada quando ela, de fato, for verdadeira. A abordagem integrativa usa estatísticas não corriqueiras e lida com o erro Tipo II, que indica qual a probabilidade de que uma hipótese nula seja aceita quando ela, de fato, for falsa.

Na abordagem analítica, atinge-se o consenso sobre a validade do conhecimento por meio da avaliação realizada por pares. Entretanto, essa avaliação, que também é usada na abordagem integrativa, consegue chegar apenas a um consenso parcial.

Finalmente, o perigo que se corre ao usar-se a abordagem analítica é o de que os resultados podem proporcionar uma resposta exatamente correta para um questionamento errôneo. Já a abordagem integrativa, pode proporcionar uma resposta inútil a um questionamento exatamente correto.

Típicos da abordagem analítica em Biologia são a genética molecular e a engenharia genética. Os seus avanços implicam promessas de aperfeiçoamento da saúde humana e benefícios econômicos proporcionados pela biotecnologia. Essas promessas que trazem legitimidade e prestígio à abordagem carregam também muitas incertezas quanto aos tipos de mudanças de valores sociais e suas consequências (HOLLING, 1998; KITCHER, 2004).

Associado à cultura analítica em geral está a ideologia da neutralidade científica: o conhecimento científico é tão autossuficiente que independe do contexto social e das relações de poder que possam vir a se estabelecer por meio do uso que dele se fizer. O cientista que o gerou não se sente responsável pelo uso que dele se fizer, mas transfere a responsabilidade às instâncias de decisão política. Não é difícil perceber os diversos tipos de implicações éticas que podem derivar (e que em outras épocas derivaram) desse tipo de comportamento adotado pelos cientistas. Contudo, como já mencionado, embora a importância dessa discussão, ela foge do escopo principal do presente trabalho. No entanto, vale à pena a leitura do trabalho de Kitcher (2004) sobre uma Biologia responsável, que propõe o conceito de uma ciência bem organizada, para o exercício da qual os cientistas deveriam ter uma postura responsável, levando em conta os benefícios sociais das pesquisas que realizam.

A abordagem integrativa na Biologia é representada pela Biologia Evolutiva e pelas abordagens sistêmicas dos vários níveis de organização pertinentes à Ecologia, especialmente, nos tempos atuais, a vertente de análise macroecológica (DINIZ-FILHO e RANGEL, 2004). Essa abordagem é caracteristicamente interdisciplinar, devido à complexidade dos níveis de organização examinados em conjunto e à variedade de conhecimentos oriundos de diferentes disciplinas, que é necessária para que essa complexidade seja parcialmente compreendida. Nesse caso, inclusive, deve-se determinar meios operativos capazes de facilitar a elaboração do conhecimento interdisciplinar por meio da integração de diferentes disciplinas. Entre eles, encontra-se a utilização de pares de

conceitos que têm o mesmo significado para cientistas de diferentes disciplinas e, por isso, funcionariam como atratores” da interação disciplinar. Exemplos desses pares de conceitos são caos e ordem, reversibilidade e irreversibilidade, que podem ser usados para estabelecer a participação de diferentes disciplinas na criação do conhecimento interdisciplinar sobre um sistema ou paisagem ecológica complexa (WALGENBACH *et al.*, 2000).

Como já foi dito, o ponto forte da abordagem analítica é a experimentação. Obviamente, porque os sistemas simples que são submetidos com sucesso a essa abordagem podem ser compreendidos satisfatoriamente por meio da análise de poucas variáveis. Todavia, submeter sistemas complexos à experimentação de laboratório ou, pior, a experimentos de campo, é uma tarefa quase impossível. Para contornar essa quase impossibilidade, há tentativas de experimentação, utilizando-se de microcosmos, nos quais seriam simuladas algumas condições ambientais típicas de sistemas naturais (LAWTON *et al.*, 1993), o que não resolve o problema, pois são necessariamente simplificados para que sejam manejáveis. Outra possibilidade é a da experimentação *in silico* (ADAMI, 1998), que também é limitada, pois os resultados que são produzidos pela aplicação dos modelos gerados em computadores dificilmente se aplicam a situações complexas, reais e imprevisíveis.

Enfim, as grandes questões da Ecologia (por exemplo, por que, em geral, há um maior número de espécies de organismos em regiões tropicais equatoriais do que em regiões temperadas ou árticas) não poderão ser respondidas utilizando-se apenas uma abordagem reducionista, até mesmo porque sua categoria de foco é a espécie e não há consenso entre biólogos do que realmente seja uma espécie. Para se ter uma ideia, das 92 definições disponíveis de espécies (LHERMINER e SOLIGNAC, 2000), há pelo menos quatro principais - biológica, evolutiva, ecológica e filogenética -, mas que são incompatíveis entre si, pois têm ênfases conceituais distintas (SHRADER-FRECHETTE e MCCOY, 1993; CHUNG, 2004).

Mesmo que a singularidade de uma espécie fosse algo fácil de ser captado e consensual, ainda assim a abordagem reducionista não seria suficiente para a compreensão dessa grande questão da Ecologia. No entanto, não faltam sugestões em uma perspectiva reducionista para tentar respondê-la. Foi proposto, por exemplo, que a temperatura seria a causa primordial da existência de um maior número de espécies em regiões tropicais, quando comparado a regiões frias, pois as temperaturas mais altas acelerariam a taxa de evolução por meio do aumento da frequência de mutações (RHODE, 1992). Nesse caso, porém, são ne-



cessárias muitas evidências experimentais que suportem essa hipótese extremamente reducionista, que pretende ser aplicável por meio dos vários níveis de organização em Ecologia.

É óbvio que, para atingir um nível satisfatório de síntese, é necessária a disponibilidade de conhecimentos produzidos pela abordagem reducionista. Por isso, a abordagem reducionista tem certa prioridade epistemológica sobre a abordagem sintética. Uma das consequências desse fato é a de que há necessidade do emprego de um pluralismo metodológico que possibilite o aperfeiçoamento do conhecimento pelo uso de ambas as abordagens (THORPE, 1974; EL-HANI, 2004). Todavia, há circunstâncias nas quais o emprego de uma ou outra abordagem pode ser mais adequado. Nessas casos, é necessário verificar qual delas seria a mais apropriada (RITCHEY, 1991).

Muito embora a classificação de Holling (1998), descrita acima, seja útil para contrastar as vantagens e limitações de cada uma das abordagens e, dessa forma, proporcionar um meio de avaliar suas capacidades relativas de produzir conhecimento, uma das críticas sérias à abordagem integrativa é sobre a questão metodológica.

Cientistas que defendem a abordagem analítica criticam a abordagem sintética, argumentando que a construção de uma teoria geral é uma atividade que não segue o método científico (FORD e ISHII, 2004). Contudo, se o método científico empregado pelos adeptos da abordagem reducionista (e que produz resultados palpáveis) não se aplica a sua contraparte, quais deveriam ser os métodos apropriados à abordagem sintética? Principalmente porque um dos obstáculos que impede a realização de síntese em Ecologia é a utilização de métodos analíticos limitados (PICKETT, 1999).

Para responder a críticas de adeptos do reducionismo sobre a falta de método científico na produção de sínteses, Ford e Ishii (2004) propõem um método de inferência científica e exemplificam como ele pode ser aplicado ao desenvolvimento de uma teoria geral, a partir de investigações empíricas em sistemas ecológicos específicos. Para ser construído e aplicável, o método desses autores necessita uma explicação científica causal e uma avaliação de sua coerência.

Uma explicação científica causal é caracterizada por: definir processos causais ou organizacionais que descrevem como um sistema funciona. Esses processos devem ter consistência, isto é, sob as mesmas condições, eles deverão produzir o mesmo efeito; devem proporcionar informações gerais sobre eventos similares; e quando for possível realizar experimentos, a manipulação planejada deverá resultar em uma resposta previsível.

A coerência de uma explicação causal pode ser entendida de diversas maneiras: como uma relação explícita entre duas proposições; uma propriedade de um conjunto inteiro de proposições relacionadas; e como uma propriedade de uma única proposição, dentro de uma série de proposições (THAGARD, 1992). Em sua elaboração de uma teoria de coerência explicativa, esse autor propõe sete princípios - simetria de coerência entre duas proposições; coerência explicativa entre proposições; analogia entre explicações; prioridade de proposições que descrevem o resultado de observações; princípio da contradição entre proposições; competição explicativa entre proposições; e aceitabilidade da proposição em um sistema explicativo -, por meio dos quais são estabelecidas relações de coerência explicativa, o que permite avaliar o grau de aceitabilidade de proposições que fazem parte de um sistema explicativo. Baseando-se nesses princípios, ele elaborou um modelo computacional (ECHO) que serve para auxiliar a avaliação da coerência explicativa de uma teoria.

A construção de conceitos integrativos sobre a organização e as propriedades de sistemas ecológicos é um meio importante que os ecólogos utilizam para realizar sínteses. Os conceitos ecossistema ou comunidade, por exemplo, implicam organização, ao passo que resiliência ou estabilidade são conceitos que descrevem propriedades ou aspectos dessa organização. Todavia, esses conceitos integradores não podem ser diretamente mensurados e, por isso, tanto sua definição quanto sua descrição detalhada devem ser sintetizadas a partir de estudos realizados em certo número de sistemas (FORD, 2000).

Não obstante essas possibilidades de integração, Austin (1999), por exemplo, descreve a Ecologia de Comunidades como um domínio fragmentado da Ecologia, pois não há comunicação efetiva entre grupos que defendem teorias diferentes, tais como as teorias associadas ao conceito integrativo de nicho ecológico. Todavia, há opiniões contrárias (e.g. LEWIN-SOHN, 2004). Pelo outro lado, Pickett (1999) considera que são muitas as oportunidades para a realização de sínteses em Ecologia, mas são raras as discussões ecológicas acessíveis sobre como o processo de integração poderá ser efetivado.

Ford e Ishii (2004) usam três tipos de conceitos integradores em Ecologia: conceitos naturais, funcionais e integradores. Os naturais definem e/ou classificam entidades e eventos observáveis ou mensuráveis do mundo ecológico; os funcionais definem propriedades ou expressam relações entre dois ou mais conceitos naturais. Plantas e animais são conceitos naturais; fotossíntese e herbivoria, funcionais. Um exemplo do terceiro tipo de conceito é o de integridade biológica, aplicado a riachos de água doce. Ele se baseia na teoria de que a influência humana, por meio de

vários tipos de poluição e/ou distúrbios, reduz o número de espécies em riachos. Nesse caso, as espécies são os conceitos naturais; os conceitos funcionais são como os animais encontram seu habitat e perpetuam seus ciclos de vida. O conceito de integridade biológica foi aplicado a riachos nos Estados Unidos a partir dos conceitos naturais espécies de peixe”.

Realmente, há poucas espécies em riachos poluídos. Nesse caso, porém, os conceitos funcionais não foram usados, mas se houve uma redução em número de espécies é possível inferir que houve um distúrbio nas propriedades ou relações entre as espécies do riacho.

Alguns ecólogos consideram conceitos integradores essenciais para o desenvolvimento da Ecologia (FORD e ISHII, 2004). É o caso de Turchin (1999), que considera a taxa intrínseca per capita de crescimento populacional  $r$  de interesse central em análises sobre a regulação do tamanho populacional de animais. Nesse caso, regulação é um conceito integrador e a variável  $r$  é um conceito funcional. Para se construir uma teoria sobre regulação populacional, há dificuldades a serem resolvidas. Há múltiplas influências sobre o  $r$  e, por isso, caso se deseje construir uma teoria abrangente, é necessário considerar conceitos funcionais múltiplos para se definir regulação. Além disso, esses vários fatores podem ter um domínio diferente que é quando, onde e em quais espécies eles operam. Assim, para se ter uma teoria abrangente sobre regulação e densidade populacional, como deseja Turchin, essa deveria ser uma síntese dos diferentes processos observados e quando e onde eles se aplicam (FORD e ISHII, 2004).

Outros ecólogos rejeitam os conceitos integradores por os julgarem de pouco ou nenhum valor para a construção do conhecimento ecológico. Murray (1999) é um dos que os rejeitam. Nesse caso, em contraponto a Turchin (1999), aquele autor propõe hipóteses sobre limitação populacional. Essas incluem vários processos ecológicos (competição e predação) ou comportamentais (territorialidade). Murray não vê necessidade de produzir conceitos integradores, mas, sobretudo, é radicalmente contra esse procedimento por motivos metodológicos, insistindo em que a Ciência Ecologia deva estruturar-se a partir da criação e uso de hipóteses testáveis. Seu interesse é o de inventar leis universais, previsões dedutíveis dessas leis, e testá-las, comparando-as a fatos empíricos. Murray (1999b) segue à risca a cartilha popperiana, às vezes, parecendo mais popperiano do que o próprio Popper.

Pelo outro lado, Ford e Ishii (2004) argumentam a favor da abordagem sintética, reconhecendo-a essencial ao desenvolvimento científico da Ecologia, porque essa abordagem permite aos cientistas organizar e reorganizar o conhecimento ecológico, à medida que a ecologia progri-

de. Em última análise, o próprio progresso da Ecologia se alimenta das tentativas de síntese. Não é por acaso que, na Ecologia atual, a meta-análise de dados esteja sendo usada com muita frequência (ARNQVIST e WOOSTER, 1995; BRETT, 1997).

Ainda segundo Ford e Ishii (2004), há duas barreiras básicas que dificultam o desenvolvimento da abordagem sintética: uma falta de definição do que realmente é uma inferência científica efetiva sobre um conceito integrador e a falta de reconhecer procedimentos metodológicos que permitem a realização da síntese. Esses autores propõem, para resolver o problema, uma metodologia que permita a obtenção de sínteses.

Para que a metodologia possa ser elaborada, é necessário reconhecer previamente três componentes do processo de síntese. A síntese deve ser realizada a partir da combinação de novos resultados com a teoria existente; proporcionar uma explicação científica do porquê que alguma coisa existe ou algum fenômeno ocorre; e explicar o conjunto das informações prévias e novas de forma coerente. A partir daí, os autores exemplificam os procedimentos para se obter os componentes característicos da síntese, baseados em explicações causais e na teoria de coerência explicativa de teorias de Thagard. A partir desse procedimento, constroem uma explicação científica para o conceito integrativo de espécie pioneira longeva, a ser aplicado à descrição de histórias de vida em espécies de árvores.

Não obstante a disputa sobre a validade do conhecimento holístico e reducionista pelos adeptos radicais de uma ou outra abordagem, Looijen (1998) defende a tese de que, como programas de pesquisa, e é isso que interessa ao cientista, o holismo e o reducionismo são mutuamente dependentes e, por isso mesmo, devem cooperar entre si, pois o objetivo é o de aperfeiçoar o conhecimento científico. Programas de pesquisas reducionistas dependem das leis e teorias proporcionadas pelos programas de investigação holísticos, mas estes necessitam explicações reducionistas. Os programas de pesquisa holísticos dependem dos programas reducionistas para proporcionar explicações mais detalhadas. Desse modo, um tipo de co-evolução entre programas de pesquisa holísticos e o reducionismo - que produza co-adaptações mútuas e traga como resultado o avanço do conhecimento - é muito mais desejável do que posicionamentos radicais, como, por exemplo, o expresso por meio da declaração de um conhecido prêmio Nobel em Bioquímica de que a única Biologia que existe é a Molecular e o reducionismo radical de Loeb (1964), para quem seria possível reduzir toda a Biologia à Física. Essa visão se enquadraria em uma perspectiva ontológica do reducionismo,

mas mesmo o reducionismo epistemológico radical, tal qual o de Murray (1999), não contribui para a desejada colaboração entre o holismo e reducionismo que Looijen (1998) defende.

Looijen (1998) acredita em um efeito inibitório ao desenvolvimento da Ecologia, resultado dessa disputa entre holistas e reducionistas radicais. Discorda também da posição muito rígida de vários ecólogos, enunciada nos anos 80 (e. g. FRETWELL, 1981; STRONG *et al.*, 1984; MCINTOSH, 1985), de que à Ecologia faltam leis e teorias gerais características de ciências maduras, como a Física. No entanto, reconhece que, muito embora a Ecologia seja muito rica em hipóteses, modelos, teorias e conceitos, ainda faltam leis e teorias gerais corroboradas, pelo menos em níveis superiores de organização da Ecologia. Não é claro, no entanto, se os níveis superiores aos quais se refere incluiriam a Ecologia de Populações. Isso porque essa é uma das áreas da Ecologia para a qual a proposição de leis gerais corroboradas tem sido muito frequente (GINZBURG e COLYVAN, 2004), se bem que após a publicação do trabalho de Looijen. Todavia, o que mais impressiona é que, em apenas quatro anos após a publicação de Looijen, o debate sobre o estado de maturidade da Ecologia tenha se intensificado tanto até o presente, como já nos referimos neste texto. Essa situação bem-vinda indica que a Ecologia está em uma fase extremamente rica de desenvolvimento teórico e empírico (COELHO *et al.*, 2004) e que sua maturidade talvez possa ser brevemente consolidada.

Finalmente, discutiremos a proposta de cooperação e dependência mútua entre programas de pesquisa holístico e reducionista (LOOIJEN, 1998), examinando um de seus exemplos sobre a redução do modelo de competição Lotka-Volterra à teoria moderna de nicho ecológico. Esse exemplo é importante também do ponto de vista conceitual, pois há dúvidas de que nicho ecológico seja de fato uma teoria, mas sim apenas um conceito complexo (veja PICKETT; KOLASSA; JONES, 2007) que faz parte de sistema de teorias (veja THOMPSON, 1988) em Ecologia de populações e de comunidades.

O modelo de competição Lotka-Volterra é considerado um modelo holístico fenomenológico, ao passo que o da teoria moderna de nicho é um modelo mecanicista (reducionista), ou melhor, uma família de modelos que prove um mecanismo de competição para explicar o modo de exploração de recursos por duas ou mais espécies. Nesse ponto, já aparece um problema que introduz confusão conceitual. Afirmar que a teoria de nicho é um modelo parece ser uma contradição se aplicarmos o modelo de estrutura de teorias ecológicas proposto por Pickett *et al.* (2007). Esse modelo nos ajuda a identificar os componentes da teoria, bem como de

que forma ocorre sua ontogenia por meio da adição de componentes, que tornam uma teoria mais complexa e, ao mesmo tempo, mais abrangente, consistente e com maior conteúdo empírico (para uma discussão sobre o modelo de estrutura de teoria, veja MARTINS, 2002).

Nessa perspectiva, que julgamos muito útil e necessária do ponto de vista epistemológico, se nicho for considerado um modelo, ele deve fazer parte de uma teoria, pois um modelo é um dos componentes de uma teoria bem estruturada. O mesmo raciocínio será válido se nicho ecológico for considerado um conceito que faz parte, por exemplo, de uma teoria sobre competição. Mais apropriadamente, o modelo Lotka-Volterra é, de fato, um modelo que se baseia em outro modelo matemático que descreve o crescimento logístico de populações, o que, por sua vez, deriva de uma das leis universais da Ecologia (a lei malthusiana, cujo enunciado é: quando as taxas de nascimento e morte per capita forem constantes, quaisquer populações crescerão ou decrescerão a uma taxa exponencial). Dessa maneira, a lei malthusiana descreve como populações crescem ou declinam quando nada lhes acontece (GINZBURG e COLYVAN, 2004).

Devido à restrição de espaço e ao fato de que a descrição e derivação do modelo de Lotka-Volterra podem ser encontradas em vários livros-texto sobre Ecologia (e.g. BEGON; HARPER; TOWNSEND, 1998), não nos deteremos nesses aspectos e partiremos diretamente para a questão da redução do modelo.

A principal restrição do modelo de Lotka-Volterra, que resulta de seu caráter fenomenológico, é a de que ele indica apenas que espécies podem influenciar-se mutuamente, mas não diz como isso pode acontecer. Dessa forma, o modelo passa a requerer uma explicação mais aprofundada de seus pressupostos e previsões. Essa explicação pode ser obtida por meio da teoria moderna de nicho, que reduz o modelo de Lotka-Volterra. Essa teoria é mecanicista, ou melhor, uma família de modelos mecanicistas, nos quais tanto o objeto da competição (recursos) quanto o mecanismo (exploração de recursos por duas ou mais espécies) são especificados. Portanto, a partir dessa redução, é estabelecida a cooperação entre a abordagem holista fenomenológica de Lotka-Volterra e a teoria reducionista mecanicista moderna de nicho.

## Considerações finais

Neste ensaio, apresentamos duas abordagens epistemológicas à Ecologia. Esperamos ter argumentado o suficiente para evidenciar as possibilidades e limitações de cada uma. Contudo, a nossa preocupação básica foi a de relacionar argumentos e exemplos que indicam que, para

que haja um aumento da compreensão científica em Ecologia, é necessário que as formas de abordagens estejam explicitadas.

Do mesmo modo, nossos argumentos sugerem que diminuir o fosso entre as culturas humanista e científica requer a análise do status epistemológico de ambas. Quando vislumbramos aproximações e distanciamentos entre essas duas tradições de conhecimento, notamos também as possibilidades do diálogo. Sem esse diálogo, sabemos que a grande maioria das tomadas de decisões em manejo e conservação, por exemplo, estará comprometida pelo fato de desconsiderar aspectos éticos.

Todavia, nada do que foi aqui arrolado será possível enquanto tais reflexões se restringirem a um pequeno grupo de especialistas ou forem tema diletante para preencher horas ociosas. O que é preciso é que as discussões sobre formas de abordagem à produção e justificação do conhecimento ecológico façam parte das práticas culturais do ecólogo. Isso, no entanto, somente será possível com a elaboração e implantação de currículos específicos de pós-graduação. Nesse sentido, somamo-nos aos esforços realizados pela revista RBPG, que tem publicado artigos referentes à Ecologia: mestrados profissionais, grade curricular e expansão da área no Brasil.

Finalmente, o que aqui se enunciou não é a única forma de aumentar a compreensão científica em Ecologia e nem de aproximar Humanidades da cultura das Ciências Naturais. No entanto, acreditamos ter indicado meios de se encontrar um caminho produtivo.

### **Agradecimentos**

O primeiro autor agradece ao CNPq, pelo qual é bolsista 1B; a Thomas M. Lewinsoh; e a Frederico S. Lopes pelas discussões ao longo dos últimos 20 anos.

Recebido em 31.05.2009  
Aprovado em 18.11.2009

## Referências bibliográficas

- ADAMI, C. Introduction to artificial life. Nova Iorque: Springer, 1998.
- ARNQVIST, G.; WOOSTER, D. Meta-analysis: synthesizing research findings in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 10, p. 236-240, 1995.
- AUSTIN, M. P. A silent clash of paradigms: some inconsistencies in community ecology. *Oikos* 86, p. 170-178, 1999.
- BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. *Ecology*. Blackwell, 1996.
- BRETT, M. T. Meta-analysis in ecology. *Bulletin Ecological Society of America* 78, p. 92-94, 1997.
- BROWN, J. H.; GILLOOLY, J. F.; ALLEN, A. P.; SAVAGE, V. M.; WEST, G. B. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85(7), p. 1771-1789, 2004.
- CHUNG, C. The species problem and the value of teaching the complexities of species. *The American Biology Teacher* 66 (6), p. 413-417, 2004.
- COELHO, A. S.; LOYOLA, R. D.; SOUZA, M. B. G. (eds.). *Ecologia Teórica*. Belo Horizonte: O Lutador, 2004.
- DINIZ-FILHO, J. A. F.; RANGEL, T.F.L. Macroecologia e ecologia geográfica. In: COELHO, A. S.; LOYOLA, R. D.; SOUZA, M. B. G. (eds). *Ecologia Teórica*. Belo Horizonte: O Lutador, p. 91-104, 2004.
- EL-HANI, C. Pluralismo metodológico na pesquisa biológica: indo além do reducionismo. *Sitientibus*, 2004.
- FORD, E. D. *Scientific method for ecological research*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- FORD E. D.; ISHII, H. The method of synthesis in ecology. NRCSE Technical Report Series, 053. Disponível em: [www.nrcse.washington.edu/pdf/trs53\\_synth.pdf](http://www.nrcse.washington.edu/pdf/trs53_synth.pdf). Acesso em: 2004.



FRETWELL, S. Bringing ecology to scientific maturity. *American Naturalist* 118, p. 306, 1981.

GINZBURG, L.; M. COLYVAN. *Ecological Orbits*. Nova Iorque: Oxford University Press, 2004.

HOLLING, C. S. Two cultures of ecology. *Conservation Ecology* [online] 2 (2), p. 4, 1998. Disponível em: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art4>. Acesso em: 2010.

KITCHER, P. 2004. Responsible biology. *BioScience* 54(4), p. 331-336.

LASZLO, E. *Introduction to systems philosophy*. Londres: Gordon and Beach Science Publishers, 1972.

LAWTON, J. H. Are there general laws in ecology? *Oikos* 84, p. 177-192, 1999.

LAWTON, J. H.; NAEEM, S.; WOODFIN, R.M.; BROWN, V. K.; GANGE, A. C.; GODFRAY, H. C. J.; HEADS, P. A.; LAWLER, S.; MAGDA, D.; THOMAS, C. D.; THOMPSON, L. J.; YOUNG, S. The ecotron: a controlled environmental facility for the investigation of population and ecosystem processes. *Phil. Trans. R. Soc. London B* 341, p. 181-194, 1993.

LEWINSOHN, T. M. Em busca do mons veneris: é possível unificar as ecologias de comunidades? In: COELHO, A.S.; LOYOLA, R. D.; SOUZA, M. B. G. (eds). *Ecologia Teórica*. Belo Horizonte: O Lutador, 2004.

LHERMINER, P.; SOLIGNAC, M. L'espèce: définitions d'auteurs. *Life Sciences* 323, p. 153-165, 2000.

LOEB, J. *The mechanistic conception of life*. Cambridge: Belknap Press, 1964.

LOOIJEN, R. Holism and reductionism in biology and ecology. The mutual dependence of higher and lower level research programmes. Tese de Doutorado. Universidade de Groningen, Holanda, 1998.

MARTINS, R. P. Teorias. In: MARTINS, R.P.; MARI, H. (eds). *Universos do Conhecimento*. Belo Horizonte: Editora FALÉ-UFMG, 2002.

MARTINS, R. P.; COUTINHO, F. A. O Fantasma Teoria. In: COELHO, A.S.; LOYOLA, R. D.; SOUZA, M. B. G. (eds). *Ecologia Teórica*. Belo Horizonte: O Lutador, p. 15-26, 2004.

MARTINS, R. P.; COUTINHO, F. A. Evolução de Sistemas Biológicos. In: Vários (Org.). *Bases ecológicas e evolutivas da diversidade dos seres vivos*, v. 1. Belo Horizonte: Editora da UFMG, p. 51-64, 2006.

MCINTOSH, R. P. *The background of ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

MURRAY, B. G. Jr. Can population regulation controversy be buried and forgotten? *Oikos* 84, p. 148-152, 1999.

PICKETT, S.T. A. The culture of synthesis: habits of mind in novel ecological integration. *Oikos* 87, p. 479-487, 1999.

PICKETT, S. T. A.; KOLASSA, J.; JONES, C. G. *Ecological Understanding. The nature of theory and the theory of nature*. Nova Iorque: Academic Press, 2007.

RHODE, K. Latitudinal gradients in species: the search for the primary cause. *Oikos* 65, p. 514-527, 1992.

RITCHEY, T. Analysis and Synthesis. On scientific method-based on a study by Bernhard Riemann. *System Research* 8(4), p. 21-41, 1991.

SHRADER-FRECHETTE, K. ; MCCOY, E. D. *Method in ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

SNOW, C. P. *As duas culturas e uma segunda leitura*. São Paulo: Edusp, 1995.

STRONG, D. R.; SIMBERLOFF, D.; ABELE, L.G.; THISTE, A. B. *Ecological communities. Conceptual issues and evidence*. Nova Jersey: Princeton University Press, 1984.

THAGARD, P. *Conceptual revolutions*. Nova Jersey: Princeton University Press, 1992.

THOMPSON, J. *The Structure of Biological Theories*. Albany: State University of New York Press, 1988.

THORPE, W. Reduccionism in biology. In: AYALA, F. J.; DOBZHANSKY, T. (eds.) *Studies in the philosophy of biology*. Londres: The Macmillan Press, p. 109-138, 1974.

TURCHIN, P. Population regulation: a synthetic view. *Oikos* 84, p. 153-159, 1999.

WALGENBACH, W.; PARENTONI, R. M.; BARBOSA, F.A.R.: Modos operativos de Integração Disciplinar nas Ciências Ambientais. In: TUCCI, E. M.; HOGAN, D. e NAVEGANTES, R. (Eds.): *Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais*. PNUMA/ORPALC: Rede de Formação Ambiental 5. Brasília: p. 211-245, 2000.

