

## Introdução à Modelagem Hierárquica para Biólogos

Disciplina dos Programas de Pós-Graduação em Ecologia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de São Paulo e  
Universidade Federal do Oeste do Pará

4 a 11 de agosto, 2024

**Professores:** Gonçalo Ferraz, Glauco Machado & Luiza Figueira  
**Monitores:** A anunciar em breve

### **Introdução**

O curso de Introdução à Modelagem Hierárquica para Biólogos apresenta fundamentos de modelagem estatística e estimativa de parâmetros da ecologia de populações de organismos vivos na natureza. O plano do curso parte da distinção entre trabalho teórico e empírico, aborda a importância da incerteza na ecologia e exemplifica o ajuste de modelos estatísticos a dados sob a perspectiva Bayesiana e de Verossimilhança Máxima. Os exemplos de modelagem usarão dados de contagem de animais não marcados, de marcação e recaptura e de detecção de espécies. No último dia, abordaremos a utilidade da estimativa de parâmetros para o monitoramento e manejo de biodiversidade. Durante as aulas práticas, daremos particular importância à simulação de dados e análise de dados simulados, técnica que permite avaliar o desempenho das análises e compreender o funcionamento dos modelos. O curso equivale a uma disciplina de pós-graduação com três créditos. Nossa rotina diária consistirá em duas horas de aula teórica na parte da manhã, duas horas e meia de aula prática pela tarde e duas horas de apresentações e discussões informais do trabalho dos participantes do curso durante a noite. O componente prático será desenvolvido no ambiente R com especificação de modelos em JAGS. Ao final de cada dia será aplicado um pequeno questionário sobre os assuntos abordados. Os questionários comporão a avaliação da disciplina juntamente com os exercícios práticos.

<b>Local</b>	<b>Horários das aulas</b>	<b>Avaliação</b>
Abrigo Alto Montana	Teórica: 9:30-10:30,	50% Exercícios no R
Instituto Alto Montana	11:00-12:15	50% Questionários
Fazenda Pinhão Assado	Prática: 14:00-15:15,	
Itamonte, MG	15:45-17:00	

### **Calendário**

Dia 1: Teoria vs. empirismo	Dia 4: Ocupação de sítios
Dia 2: Incerteza	Dia 5: Parâmetros demográficos
Dia 3: Modelos hierárquicos	Dia 6: Monitoramento e manejo

### **Custos**

O curso em si é gratuito, mas a participação está condicionada ao pagamento de despesas de alimentação e hospedagem diretamente ao Instituto Alto Montana no valor de R\$1.600,00. Há a possibilidade de conseguirmos redução deste custo para estudantes que pedirem apoio financeiro para a participação no curso.

## CONTEÚDO DETALHADO

### Dia 1: Teoria vs. Empirismo

Contextualização conceptual da disciplina em torno da delimitação da ciência, distinção entre descoberta e invenção, e distinção entre teoria e empirismo. Prática de introdução à programação no ambiente R. (Profs. Gonçalo e Glauco)

#### Tópicos de estudo:

- Qual tipo de atividade intelectual deve ser chamada de ciência?
- Qual a diferença entre ‘descoberta’ e ‘invenção’?
- Qual a diferença entre teoria e empirismo?
- O que é um fato?
- O que é um argumento?
- Função dos espaços pasta, área de trabalho e memória RAM no R.
- Regras básicas de sintaxe no R.
- Comandos de controle de fluxo *if*, *for* e *while*.
- Como identificar erros em uma função do R.

#### Leitura (essencial em azul):

- (a) Snow, C. P. (1961) *The Two Cultures and The Scientific Revolution—The Reed Lecture, 1959*. Cambridge University Press. New York.
- (b) Wootton, D. (2015) *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*. Harper. New York. (Capítulo 1: *Modern Minds*)
- (c) Sagoff, M. (2003) The plaza and the pendulum: two concepts of ecological science. *Biology and Philosophy* 18: 529–552.
- (d) Park, M., Leahey, E. & Funk, R. J. (2023) Papers and patents are becoming less disruptive over time. *Nature* 613: 138–144.

Gould, S. (2000) Deconstructing the “science wars” by reconstructing an old mold. *Science* 287: 253–261.

#### Curiosidades:

- Lepore, J. (2021) Monkey business. Episódio 1, Temporada 2 do podcast *The Last Archive*, disponível em: <https://www.thelastarchive.com/season-2/episode-1-monkey-business>
- Tavares, R. (2020) Make Aristotle great again. Quinta conversa da primeira memória, no podcast *Agora, agora e mais agora*, disponível em: <https://www.publico.pt/2020/03/29/sociedade/noticia/make-aristotle-great-again-1910013>
- Ferraz, G. (2018) Dicotomia. Poesia do livro *Palavras com som*, disponível em: <https://soundcloud.com/onaloerraz/dicotomia?in=onaloerraz/sets/palavras-com-som>

## Dia 2: Incerteza

Incerteza epistemológica e incerteza verbal na ciência e na ecologia. Conceitos básicos de probabilidade. Prática de simulação e estimativa de parâmetros de um modelo linear. (Profs. Gonçalo e Glauco)

### Tópicos de estudo:

- Os quatro 'ídolos' de Francis Bacon.
- A dicotomia como um dos ídolos da tribo mais presentes em ecologia.
- Dois tipos de conceito na ciência: conceitos 'axiomáticos' e 'reificações'.
- Como a reificação fragiliza a relação entre duas entidades.
- Tipos de incerteza epistemológica e incerteza verbal de Regan et al. (2002).
- O paradoxo de Simpson como exemplo de incerteza perante números.
- O princípio de incerteza de Cohen (1986), limite para o realismo de um modelo.

### Leitura (essencial em azul):

- (a) Weisberg, H. I. (2014) *Willful Ignorance: The Mismeasure of Uncertainty*. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ. Capítulo 1.
- (b) Slobodkin, L. B. (2001) The good, the bad and the reified. *Evolutionary Ecology Research* 3: 1–13.
- (c) Regan, H. M., Colyvan, M., & Burgman, M. A. (2002) A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. *Ecological Applications* 12: 618–628.
- (d) Cohen, J. E. (1986) An uncertainty principle in demography and the unisex issue. *American Statistician* 40: 32–39.

Matthiopoulos, J. (2011) *How to Be a Quantitative Ecologist*. John Wiley & Sons. Chichester, UK. Capítulo 8.

Levins, R. (1966) The strategy of model building in population biology. *American Scientist* 54: 421–431

Ellenberg, J. (2014) *How Not to Be Wrong*. The Penguin Press. New York, USA. Capítulo 6.

### Curiosidades:

Filme *Doubt* (2008) de John Patrick Shanley, com Amy Adams, Meryl Streep e Philip Seymour Hoffman. Trailer:

<https://www.youtube.com/watch?v=f8S0ANep4vc>

Filme *Match Point* (2005), de Woody Allen, com Brian Cox, Jonathan Rhys Meyers, Matthew Goode e Scarlett Johansson. Trailer:

<https://youtu.be/yIC7Ygsy0Cg>

### **Dia 3: Modelos Hierárquicos**

Ajuste de um modelo linear a dados no contexto de máxima verossimilhança e no contexto Bayesiano. Noções básicas de seleção de modelos. Forma canônica da estimativa de parâmetros populacionais e introdução aos modelos hierárquicos como estratégia de redução da incerteza. Prática de GLM com dados de ocupação de sítios. (Prof. Gonçalo)

#### Tópicos de estudo:

- Regras básicas de cálculo de probabilidades.
- Conceito de verossimilhança e de estimativa de verossimilhança máxima (ML).
- Comparação entre Bayes e verossimilhança na estimativa de parâmetros.
- Origem e significado do AIC; relação com veross. e teoria de informação.
- Significado e implicações da inferência multi-modelos.
- Forma canônica da modelagem de populações e dois desafios recorrentes.
- O que é um modelo hierárquico e como ele se encaixa na classificação ML.
- Diferença amostragem de conveniência e amostragem probabilística.
- Diferença entre índices e estimadores estatísticos de parâmetros de interesse.

#### Leitura (essencial em azul):

- (a) Anderson, D. R. (2001) The need to get the basics right in wildlife field studies. *Wildlife Society Bulletin* 29: 1294–1297.
- (b) MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L. L., & Hines, J. E. (2006) *Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Capítulo 1.
- (c) Cressie, N., Calder, C. A., Clark, J. S., Ver Hoef, J. M., & Wikle, C. K. (2009) Accounting for uncertainty in ecological analysis: the strengths and limitations of hierarchical modeling. *Ecological Applications* 19: 553–570.
- (d) Zulian, V., Müller, E. S., Cockle, K. L., Lesterhuis, A., Júnior, R. T., Prestes, N. P., Martinez, J. & Ferraz, G. (2020) Addressing multiple sources of uncertainty in the estimation of global parrot abundance from roost counts: A case study with the Vinaceous-breasted Parrot (*Amazona vinacea*). *Biological Conservation* 248: 108672.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2004) Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research* 33: 261-304 (ler páginas 261–275)
- Matthiopoulos, J. (2011). *How to Be a Quantitative Ecologist*. John Wiley & Sons. Chichester, UK. Capítulos 8–11.
- Ellenberg, J. (2014) *How Not to Be Wrong*. The Penguin Press. New York, USA. Capítulo 1 e Capítulo 10.

#### Curiosidades:

- Vídeo didático sobre Marov Chain Monte Carlo (MCMC), por M. J. Culbertson (2016). Link do YouTube: [https://youtu.be/kV\\_UfhjLlHI](https://youtu.be/kV_UfhjLlHI)
- Tavares, R. (2020) A verdade acerca da verdade. Quinta conversa da quinta memória, no podcast *Agora, agora e mais agora*, disponível em: <https://www.publico.pt/2020/03/29/sociedade/noticia/make-aristotle-great-again-1910013>

#### **Dia 4: Ocupação de sítios**

Variações sobre modelagem hierárquica I: dados faltantes, variação de esforço e covariáveis ambientais em modelos de ocupação de sítios. Diferentes tipos de modelo de ocupação de sítios. Prática de simulação e análise de dados de ocupação de sítios com variação de esforço. (Profs. Gonçalo e Rodrigo)

#### Tópicos de estudo:

- Importância da simulação de dados no desenvolvimento de modelos.
- Significado de 'ocupação de sítios', vantagens e desvantagens do conceito.
- Expressão matemática da verossimilhança de uma história de detecção.
- Covariáveis e dados faltantes nos modelos de ocupação de sítios.
- Exigências e principais decisões em uma amostragem de ocupação de sítios.
- Aplicações de modelos de ocupação de sítios em ecologia e epidemiologia.
- Desenho robusto de Pollock e modelos de dinâmica de ocupação de sítios.
- Falsos-positivos e falsos-negativos na análise de ocupação de sítios.
- Significado e aplicabilidade dos modelos multi-estados de ocupação de sítios.

#### Leitura (essencial em azul):

- (a) MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G., Droege, S., Royle, J. A., & Langtimm, C. (2002) Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83: 2248–2255.
- (b) Figueira, L., Tella, J. L., Camargo, U. M., & Ferraz, G. (2015) Autonomous sound monitoring shows higher use of Amazon old growth than secondary forest by parrots. *Biological Conservation* 184: 27–35.
- (c) Mores, G. B., Schuler-Faccini, L., Hasenack, H., Fetzer, L. O., Souza, G. D., & Ferraz, G. (2020) Site occupancy by *Aedes aegypti* in a subtropical city is most sensitive to control during autumn and winter months. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 103: 445-454.
- (d) Zulian, V, Miller, D. A. W., & Ferraz, G. (2021) Integrating citizen-science and planned-survey data improves species distribution estimates. *Diversity and Distributions* 27: 2498-2509.

MacKenzie, D. I., & Royle, J. A. (2005) Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort. *Journal of Applied Ecology* 42: 1105–1114.

Padilla-Torres, S. D., Ferraz, G., Luz, S. L. B., Zamora-Perea, E., & Abad-Franch, F. (2013) Modeling Dengue vector dynamics under imperfect detection: three years of site-occupancy by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in urban Amazonia. *PLoS ONE* 8: e58420.

Bailey, L. L., MacKenzie, D. I., & Nichols, J. D. (2013) Advances and applications of occupancy models. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 1269–1279.

#### Curiosidades:

Koehler, S. (2016) As aparências enganam – Uma combinação de estudos genéticos e ecológicos revela processos evolutivos. Entrevista sobre reportagem do mesmo título, por Maria Guimarães. Disponível no podcast da Revista Pesquisa Fapesp: <https://revistapesquisa.fapesp.br/as-aparencias-enganam/>

### **Dia 5: Estimativa de parâmetros demográficos**

Variações sobre modelagem hierárquica em ecologia II: estimativa de parâmetros demográficos, com especial atenção à estimativa de sobrevivência aparente. Prática de simulação e análise de dados de marcação-recaptura para estimativa de sobrevivência. (Profs. Gonçalo e Rodrigo)

#### Tópicos de estudo:

- Diferenças entre dados de ocupação de sítios e de marcação-recaptura.
- Características básicas e premissas do modelo Cormack-Jolly-Seber.
- Desenho robusto de Pollock na análise de dados de marcação recaptura.
- Expressão matemática da verossimilhança de uma história de captura.
- Limites para a identificabilidade de parâmetros em análise de sobrevivência.
- Significado de um perfil e de uma superfície de verossimilhança.
- Significado geométrico da incerteza de uma estimativa de veross. máxima.
- Exemplo(s) de aplicação do modelo Cormack-Jolly-Seber em ecologia.
- *Distance sampling* e marcação-recaptura no espaço.

#### Leitura (essencial em azul):

- (a) Cooch, E. G., & White, G. C. (2004) *Program Mark: A Gentle Introduction*. Cap. 1.
- (b) Muñoz, A. P., Kéry, M., Martins, P. V., & Ferraz, G. (2018) Age effects on survival of Amazon Forest birds and the latitudinal gradient in bird survival. *The Auk* 135: 299-313.
- (c) Lachish, S., Knowles, S. C., Alves, R., Wood, M. J., & Sheldon, B. C. (2011) Fitness effects of endemic malaria infections in a wild bird population: the importance of ecological structure. *Journal of Animal Ecology* 80: 1196–1206.
- (d) Royle, J. A., Chandler, R. B., Sollmann, R., & Gardner, B. (2014) *Spatial Capture-Recapture*. Academic Press. Waltham, MA. Capítulo 1, pp 3–19.
- Baccaro, F., & Ferraz, G. (2012) Estimating density of ant nests using distance sampling. *Insectes Sociaux* 60: 103–110.
- Matthiopoulos, J. (2011) *How to Be a Quantitative Ecologist*. John Wiley & Sons. Chichester, UK. Capítulos 1 e 11.
- Lebreton, J.-D., Nichols, J. D., Barker, R. J., Pradel, R., & Spendelov, J. A. (2009) Modeling individual animal histories with multistate capture-recapture models. *Advances in Ecological Research* 41: 87-173. (ler páginas 88-99)

#### Curiosidades (sobre pensamento triangular):

- Levins, R. (1966) The strategy of model building in population biology. *American Scientist* 54: 421–431. (Leitura do primeiro dia)
- Grime, J. P. (1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111: 1169–1194.
- Sternberg, R. J. (1986) A triangular theory of love. *Psychological Review* 93: 119–135.
- Sternberg, R. J. (2018) A triangular theory of creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 12: 50–67.

## **Dia 6: Monitoramento e Manejo**

Aplicação dos princípios de modelagem hierárquica no monitoramento e manejo.  
(Prof. Gonçalo)

### Tópicos de estudo:

- Aplicabilidade das ideias de Platt (1964) na ecologia do século XXI.
- Perguntas prioritárias no monitoramento: Por quê? O quê? Como?
- Grandes programas de monitoramento de diversidade biológica no Brasil.
- Pré-definição de desenho e técnicas de amostragem no licenciamento.
- Ciclicidade das licenças de operação e manejo adaptativo.
- Definição e condições para a viabilidade do manejo adaptativo.
- Principais etapas do manejo adaptativo.

### Leitura (essencial em azul):

- (a) Platt, J. R. (1964) Strong inference - Certain systematic methods of scientific thinking may produce much more rapid progress than others. *Science* 146: 347–353.
- (b) Ferraz, G. (2012) Twelve guidelines for biological sampling in environmental licensing studies. *Natureza & Conservação* 10: 1–7.
- (c) Yoccoz, N., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001) Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 446–453.
- (d) Williams, B. K., Szaro, R. C., & Shapiro, C. D. (2007) *Adaptive Management: the US Department of the Interior Technical Guide*. U. S. Department of the Interior, Washington, DC, USA.

Danielsen, F., Mendoza, M. M, Alviola, P., Balete, D. S., Enghoff, M., Poulsen, M. K., & Jensen, A. E. (2003) Biodiversity monitoring in developing countries: what are we trying to achieve? *Oryx* 37: 407–409.

Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2003) Monitoring of biological diversity – a response to Danielsen et al. *Oryx* 37: 410–410.