

Modelos de agentes

Miguel Pessanha Pais

MARE - ULisboa



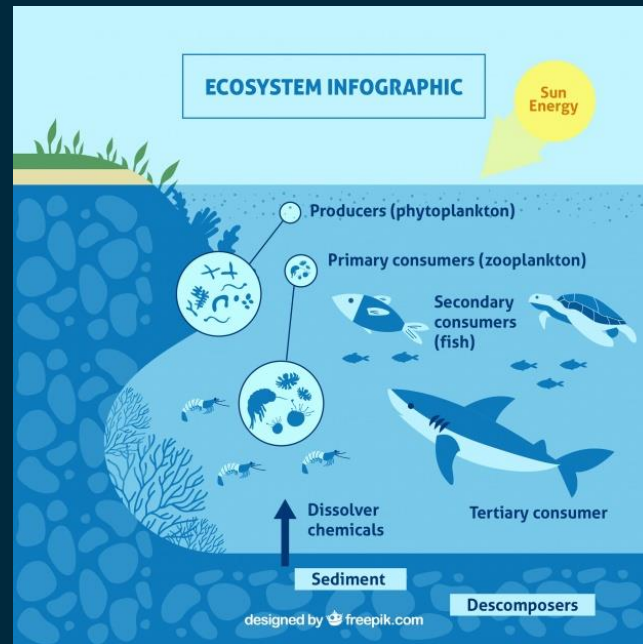
Introdução: Porquê ABMs?

O que caracteriza um ecossistema?

- Muitas partes **individuais** autónomas
- **Adaptação, evolução**
- **Interacções** entre partes
- Padrão global **emerge** das interacções e das **decisões individuais** face a esse padrão global (*feedback*)



Sistema Complexo





Introdução: Sistemas complexos

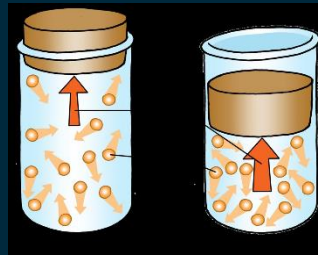
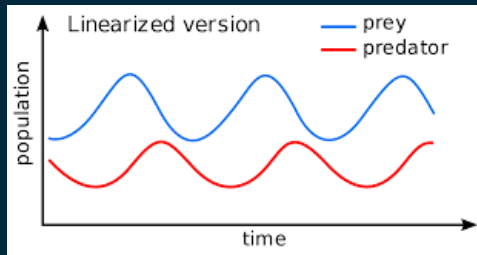
Outros exemplos: Ecossistemas, economias, sistemas imunitários, sistemas moleculares, cérebro, bolsa de valores, governos democráticos, redes sociais, cidades, etc.

- Regras a nível micro levam a padrões **emergentes** a nível macro
- **Padrão global** não “desenhado”
- **Não** há um líder ou coordenador do padrão global
- Padrões **probabilísticos / estocásticos**
- Respostas **não lineares** (*tipping-points*, teoria do caos)

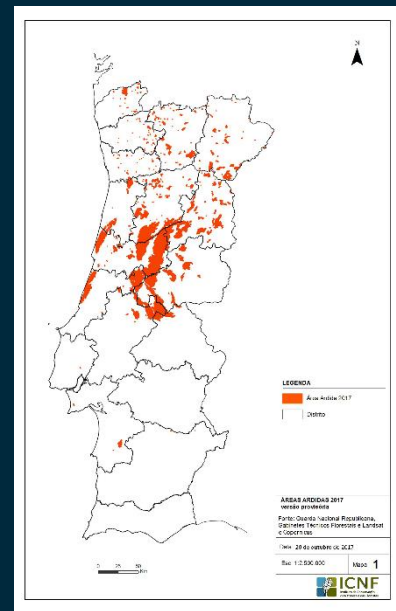
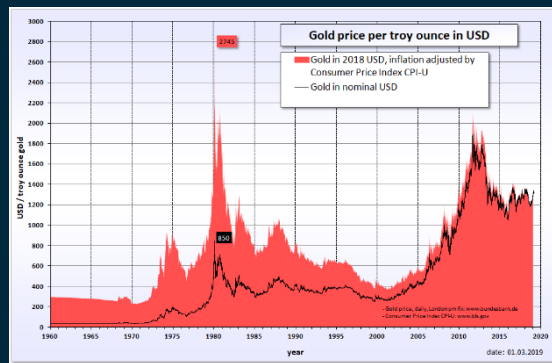
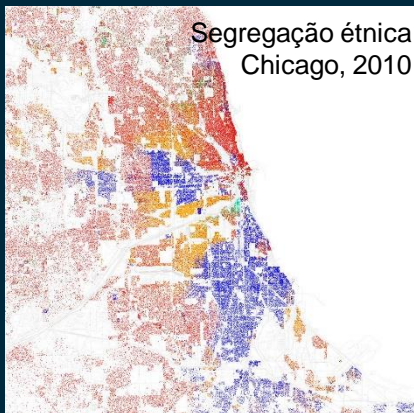
Todo é mais que a soma das partes

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Introdução: Padrões emergentes



- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!



Introdução: Padrões emergentes



Wildaboutimages

Porquê ABMs?

Sistemas Complexos

Modelos de Agentes

Ciclo de modelação

Perguntas

Estrutura

Software

Pattern-oriented

Análise

História

Exemplos!



Introdução: Modelos de agentes

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

- Individual-based models (Ecologia)
- Agent-based models (Socioeconomia, Socioecologia)
- Multi-agent systems (Engenharia)

Modelam as acções e interacções de agentes autónomos e analisam os efeitos no **sistema**.



Introdução: ABMs em Ecologia

Porquê ABMs em Ecologia?

- Indivíduos evoluem, crescem, desenvolvem-se, adaptam-se, interagem, têm diferentes características, usam e alteram o ambiente.
- A dinâmica do ecossistema **emerge** do comportamento individual.

Vantagens:

- Permitem inferir sobre o mecanismo **micro** responsável pelos padrões **macro** e vice-versa
- **Flexibilidade** para acrescentar ou retirar complexidade consoante o problema

Desvantagens:

- Maior **complexidade** que as abordagens clássicas
- **Não há** um quadro metodológico / teórico padrão
- **Não há limite** para a complexidade

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!



Introdução: ABMs em Ecologia

Quando usar ABMs?

Quando é importante, **para o nosso problema/hipótese**, que o modelo inclua os **agentes individuais** do sistema e **o que eles fazem**.

- Como gerir uma floresta tropical de forma a manter o retorno económico e a estabilidade ecológica?
- Como é que espécies de aves irão reagir à perda de habitat de alimentação num estuário?
- Como irá alterar a pressão humana sobre uma área se impedirmos certas actividades em algumas zonas?
- Qual o efeito a nível populacional / ecossistema de um tóxico que reduz a visão?

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Introdução: Outros modelos vs ABMs

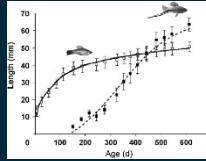


- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!

Modelo do micro



Difícil prever o padrão macro



Modelo do padrão macro



Difícil identificar o micro que o gerou

Species 1: $\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} \right)$

Species 2: $\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} \right)$

“Tu achas que se compreendes o ‘um’ também vais compreender o ‘dois’, porque ‘um’ e ‘um’ são ‘dois’. Mas tu também tens de compreender o ‘e’.”

— Mawlana Jalal-ad-Din Rumi, séc. XIII



Criar um ABM: O ciclo de modelação

1. Formular a pergunta
2. Reunir hipóteses
3. Escolher escalas, entidades, variáveis-estado, processos, parâmetros
4. Implementar o modelo – **começar SIMPLES**
5. Analisar, testar e **rever o modelo**

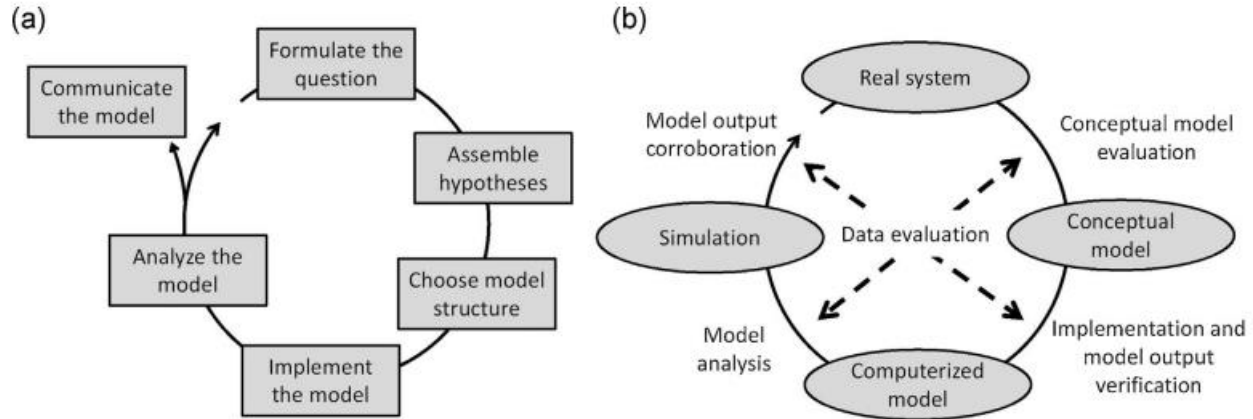


Fig. 1. Correspondence of iterative model development (the “Modelling Cycle”, Grimm and Railsback, 2005) (a), and the elements of model evaluation as proposed by Augusiak et al. (2014) (b).





Criar um ABM: Perguntas e hipóteses

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Qual o efeito da redução de habitat de lince na mortalidade de gado?

- A localização do gado face ao habitat é mais importante que a área
- Se o lince tiver presas suficientes a mortalidade de gado é baixa, mesmo que o habitat seja pequeno
- O tamanho do habitat é importante, porque vão caçar no seu território e tentar expandir em caso de necessidade
- Etc.





Criar um ABM: Escala, entidades, processos, parâmetros

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Escala

- Unidade temporal (segundos/minutos/dias/estações/anos/décadas)
- Ambiente – Espacial? Espacialmente explícito? Distância/redes/misto?
 - Unidade espacial (cm, m, km, zonas)

Entidades

- Agentes – átomos, células, organismos (animais, pessoas), grupos, empresas, governos...
- Propriedades do ambiente

Processos

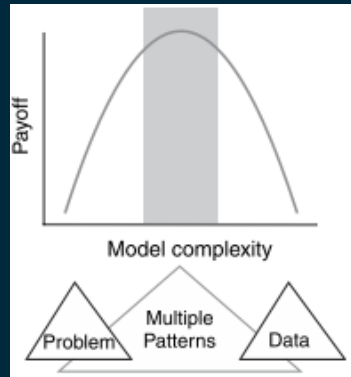
- Comportamentos, interacções agente-agente, interacções agente-ambiente, clima, crescimento, reprodução, morte, processos de decisão, etc. – **podem ser modelos ecológicos!**

Parâmetros

- Variáveis-estado – tamanho, posição espacial, quantidade de alimento, idade, sexo, velocidade, etc.
- Parâmetros conhecidos (dados reais), parâmetros desconhecidos (calibração, incerteza)

Criar um ABM: Escala, entidades, processos, parâmetros

- Propagação de um vírus em coelhos
- Propagação de um vírus em pessoas
- Efeitos de uma área protegida no balanço socio-ecológico de um local
- Efeito de uma campanha de marketing para mudar comportamentos e proteger uma espécie



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Implementação do modelo: software

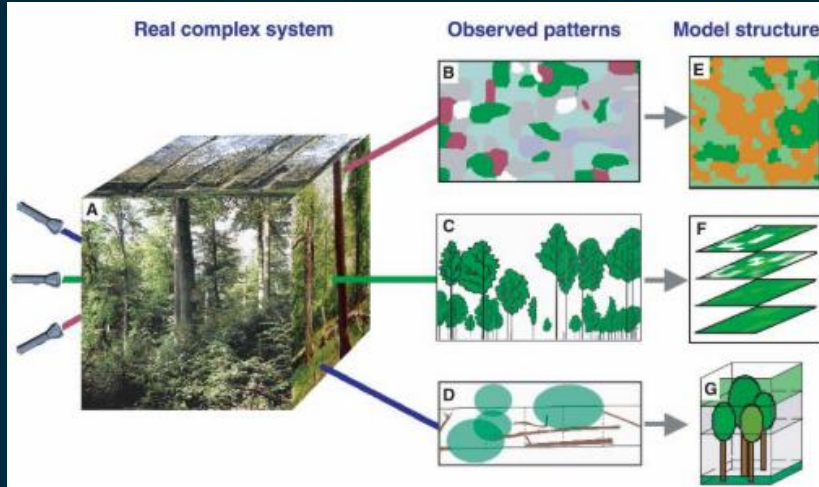
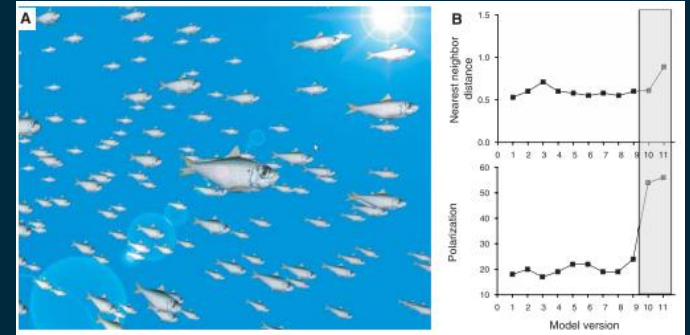


M A S O N

- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!

Criar um ABM: Pattern-oriented modelling

- Combinar vários padrões reais observados dá mais realismo estrutural ao modelo (encaixa-se em vários padrões a várias escalas).
- Calibrar variáveis para reproduzirem padrões específicos em vez do resultado final reduz o *over-fitting*.



Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology
Volker Grimm *et al.*
Science **310**, 987 (2005);
DOI: 10.1126/science.1116681



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Criar um ABM: Análise / revisão

- **Resultados** – variáveis-resposta de interesse comparáveis com o sistema real – **análise estatística!**
- **Validação quantitativa** – dados independentes vs modelo (total ou em parte)
- **Validação qualitativa** – efeito do micro no macro capturado?
- **Sensitivity analysis** – parâmetros-chave
- **Uncertainty analysis** – propagação da incerteza nos parâmetros



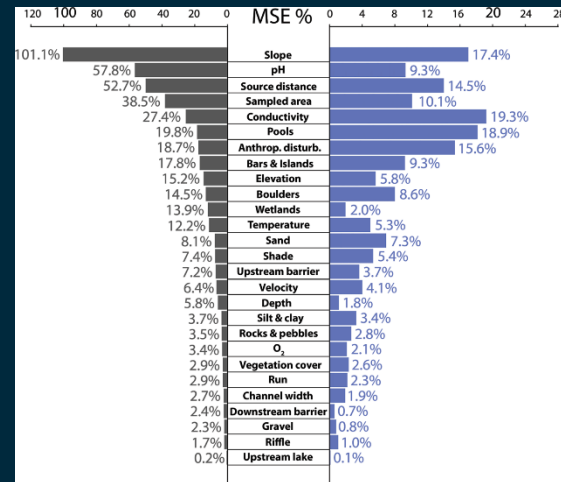
Preciso de rever a estrutura?

Mais/menos agentes/processos?

Mudança de escala?

Medir mais dados para reduzir incertezas?

...



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Modelação de Agentes: Modelo de segregação de Schelling



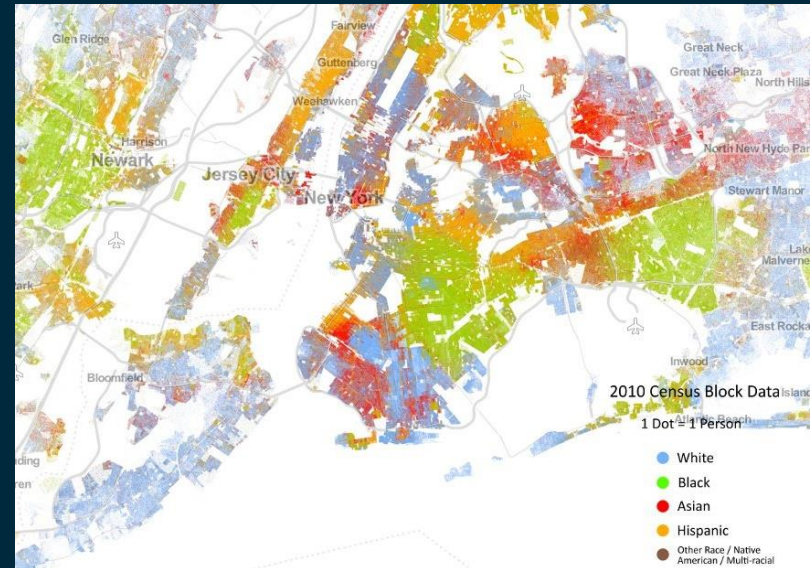
Thomas Schelling (1921-2016)

Economista

Nobel da Economia em 2005

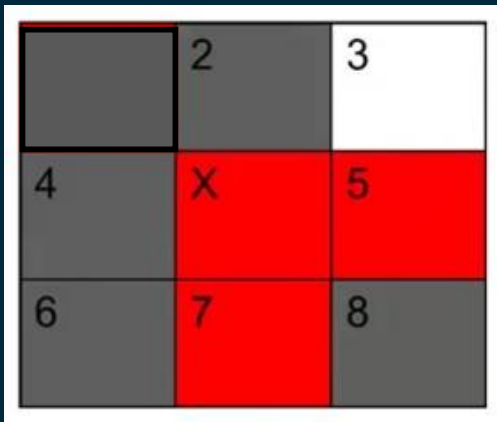
1971 – Segregação espacial

Compreender como a tolerância individual explica o padrão **macro** observado



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Modelação de Agentes: Modelo de Segregação de Schelling



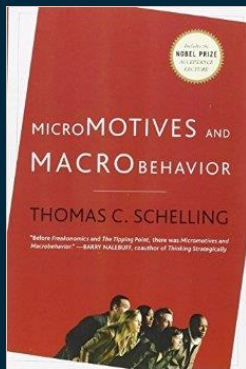
X tem um máximo de 8 vizinhos

Se pelo menos **40%** dos meus vizinhos são iguais a mim, **fico**.

Senão, **mudo-me**.

$$3 / 7 \approx 43\%$$

$$2 / 7 \approx 29\%$$



Aumentamos a escala → o que acontece ao sistema se mudamos o **nível de tolerância** individual?



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

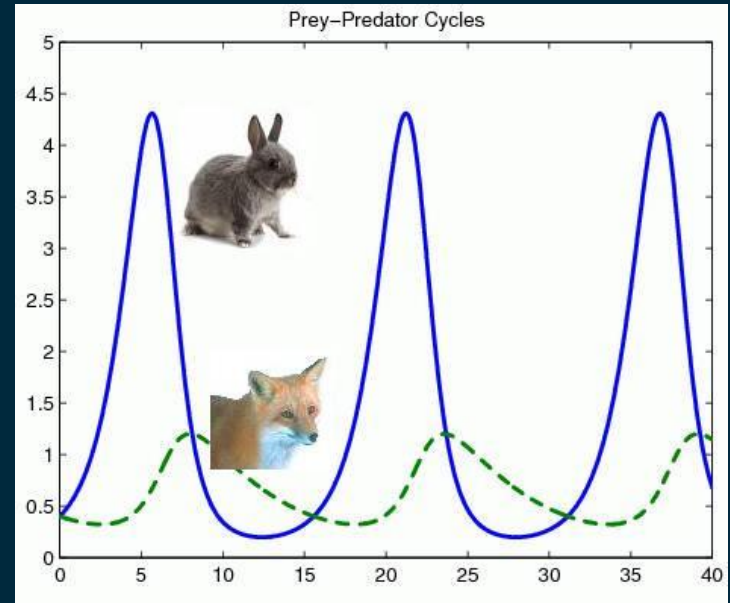


Modelação de Agentes: Exemplos

Predador – Presa

Abordagem clássica – Lotka-Volterra

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy$$
$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y$$

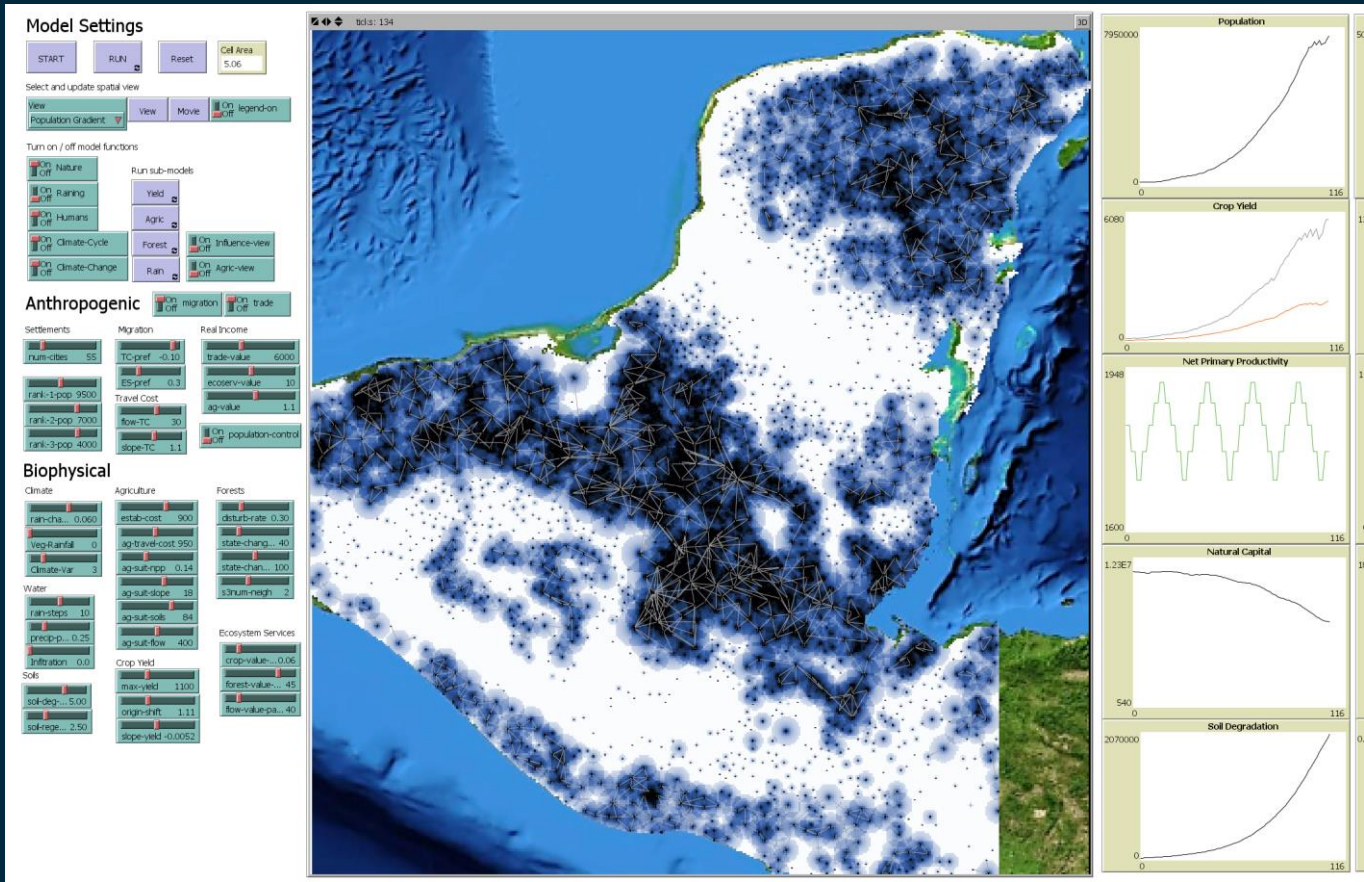


Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Modelação de Agentes: Reviver o passado

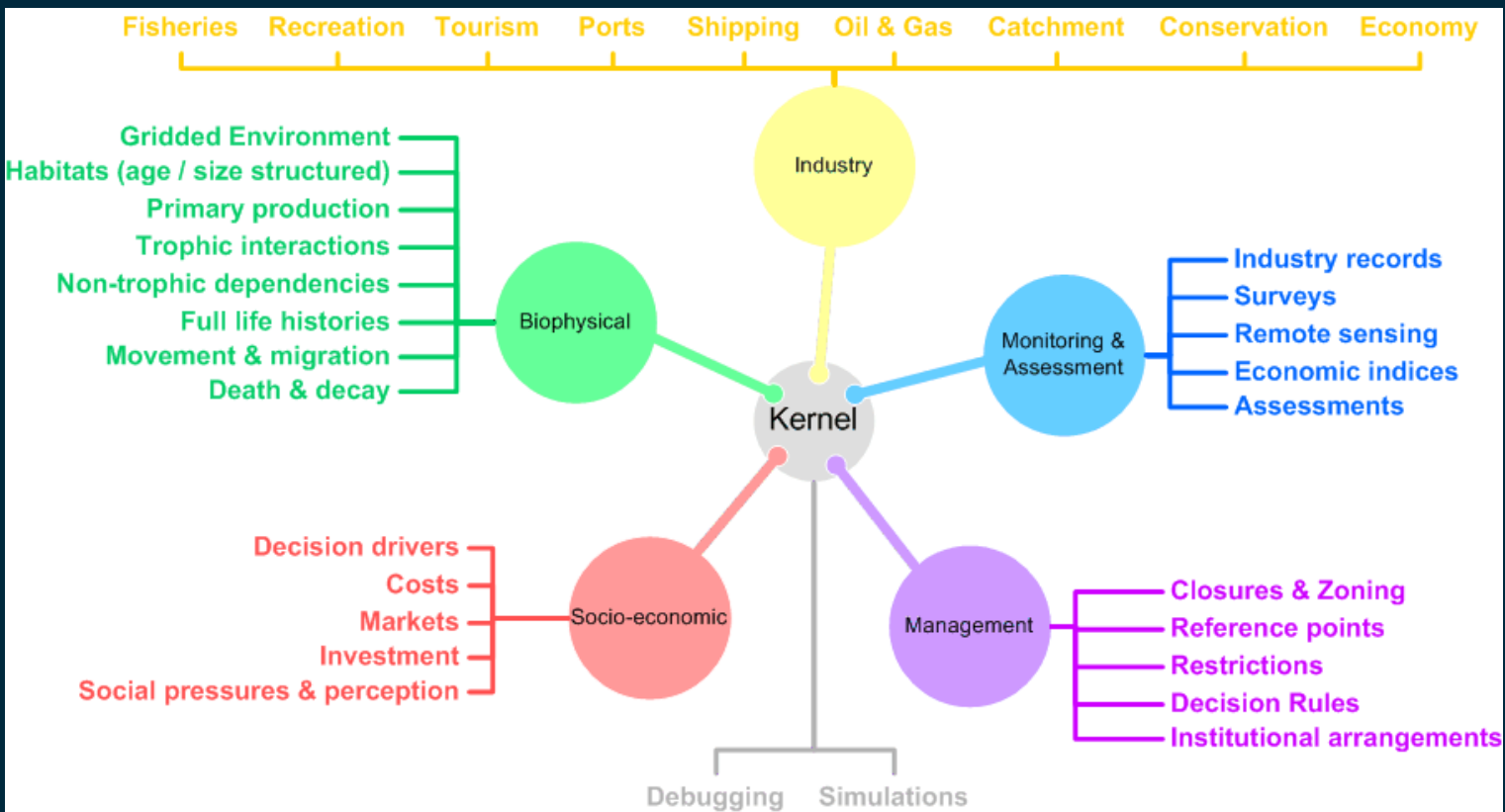


Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!



MayaSim: An Agent-based model of the ancient Mayan Social-Ecological system

Modelação de Agentes: Ferramentas de gestão ambiental



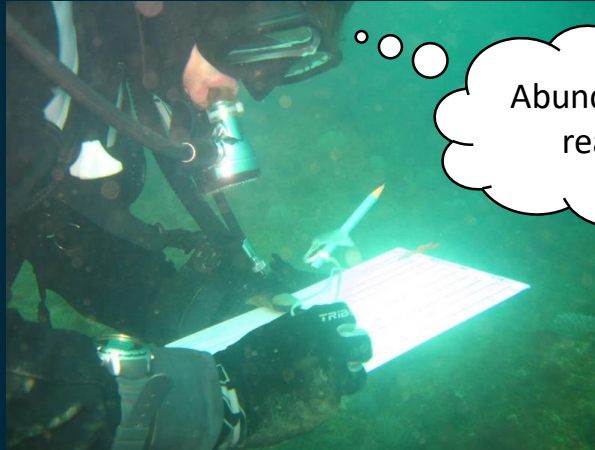
InVitro model (CSIRO marine and atmospheric research)

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!



Exemplo: modelo FishCensus

Qual o efeito do comportamento dos peixes no enviesamento e precisão das contagens em mergulho?



Abundância real?

Ecological Modelling 348 (2017) 58–69

Contents lists available at ScienceDirect

ELSEVIER Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel

Fish behaviour effects on the accuracy and precision of underwater visual census surveys. A virtual ecologist approach using an individual-based model

Miguel Pessanha Pais*, Henrique N. Cabral

MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

PeerJ

Effect of underwater visual survey methodology on bias and precision of fish counts: a simulation approach

Miguel Pessanha Pais and Henrique N. Cabral

MARE—Marine and Environmental Sciences Centre, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

Qual o efeito do método de contagem nos erros?
Qual o melhor método para uma determinada espécie?

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Exemplo: modelo FishCensus

Modelo espacial 2D (ABM)



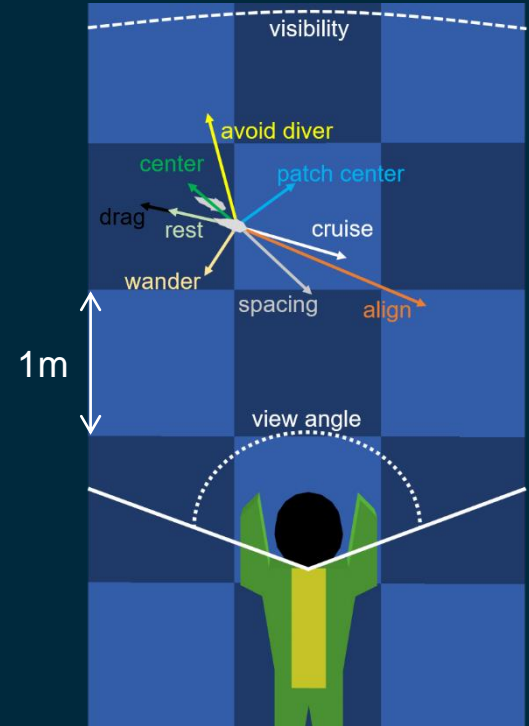
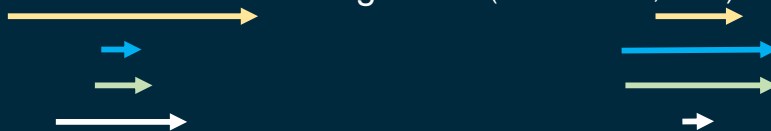
0.1 segundos

movimento vectorial

$$V_a = \sum_{i=1}^8 (w_i \cdot V_i) + V_d$$

velocity_{t+1} acceleration velocity_t

- Até 8 vetores em simultâneo
- Multiplicados por coeficientes de importância
- Um conjunto de coeficientes define um “estado comportamental”
- Até 4 estados por espécie, com frequências definidas
- Novo estado a cada 10 segundos (Watson *et al.*, 1995)



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!



Exemplo: modelo FishCensus

Visibilidade subaquática
6 m

ângulo de visão
160°

Pontos fixos



- radius (m)
- Time (min.)
- rotation speed (°/sec.)

ângulo de visão
180°

Transectos



- length (m)
- width (m)
- speed (m/min.)

Contagens: a cada segundo

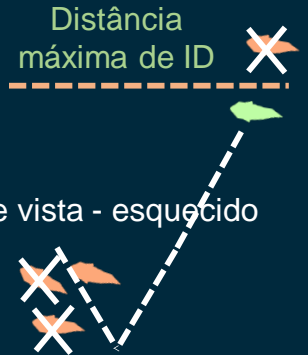
Saturação: 3 peixes/seg.



Prioridade: proximidade



Memória: sai de vista - esquecido



Parametrização: comparação com padrões reais



Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agentes
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!





Exemplos de comportamento modelado

- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!

Cryptic



Schooling





Exemplos de comportamento modelado

Porquê ABMs?
Sistemas Complexos
Modelos de Agente
Ciclo de modelação
Perguntas
Estrutura
Software
Pattern-oriented
Análise
História
Exemplos!

Shy



Bold



Resultados: efeito isolado do comportamento



- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!

Pontos fixos

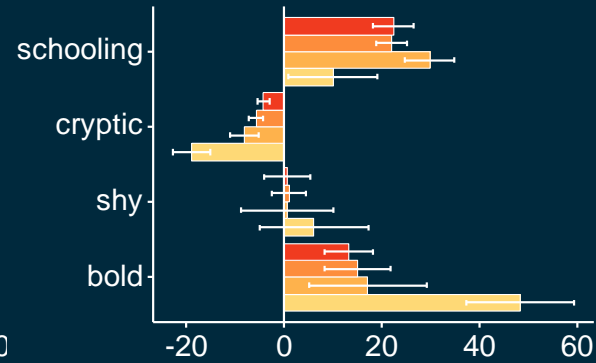
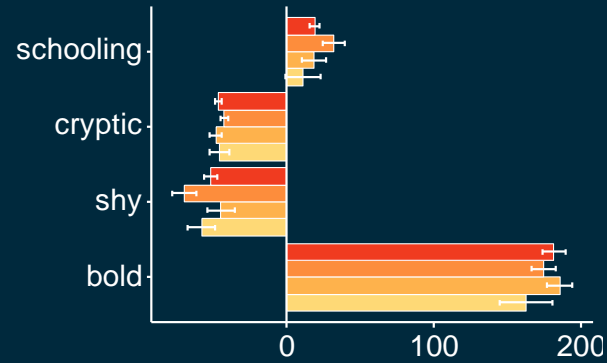
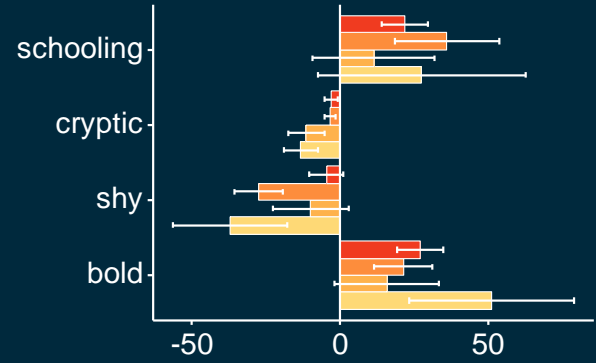
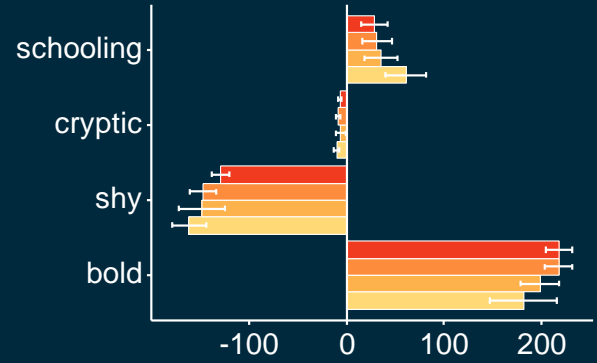
Transectos

Enviesamento

Desvio da densidade verdadeira (%)

Precisão

Coefficiente de variação (%)



fish/m² 0.05 0.1 0.2 0.3



Resultados: efeito total

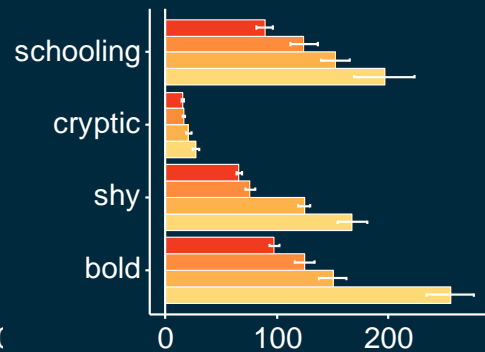
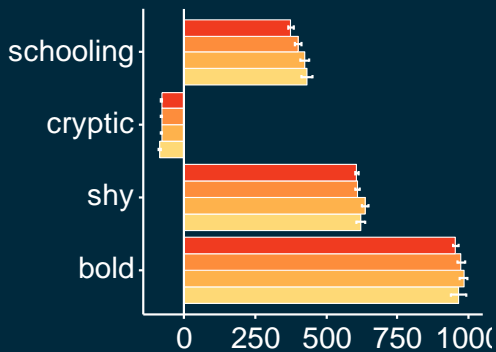
Enviesamento

Desvio da densidade verdadeira (%)

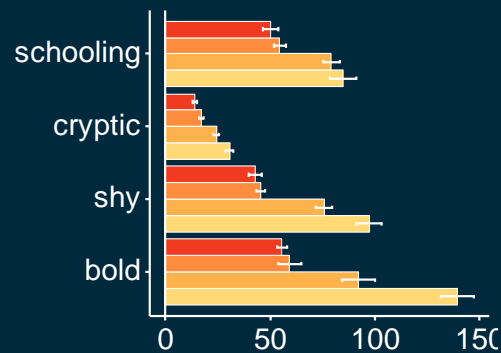
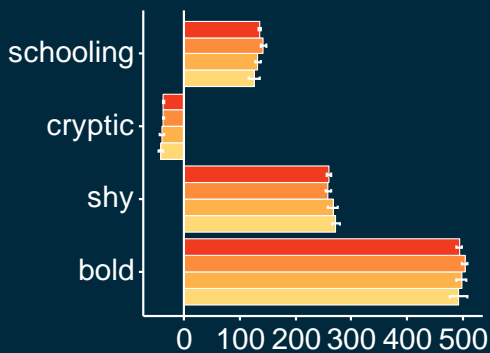
Precisão

Coefficiente de variação (%)

Pontos fixos



Transectos



fish/m² 0.05 0.1 0.2 0.3

- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!

Outros exemplos!



- Porquê ABMs?
- Sistemas Complexos
- Modelos de Agentes
- Ciclo de modelação
- Perguntas
- Estrutura
- Software
- Pattern-oriented
- Análise
- História
- Exemplos!



NetLogo

QUESTÕES?

mppais@fc.ul.pt
www.miguelppais.com

