Sistemas Complexos
Modelagem Baseada em Agentes

Modelagem baseada em agentes para avaliação da sustentabilidade da exploração de palmito jussara por comunidades quilombolas do Vale do Ribeira

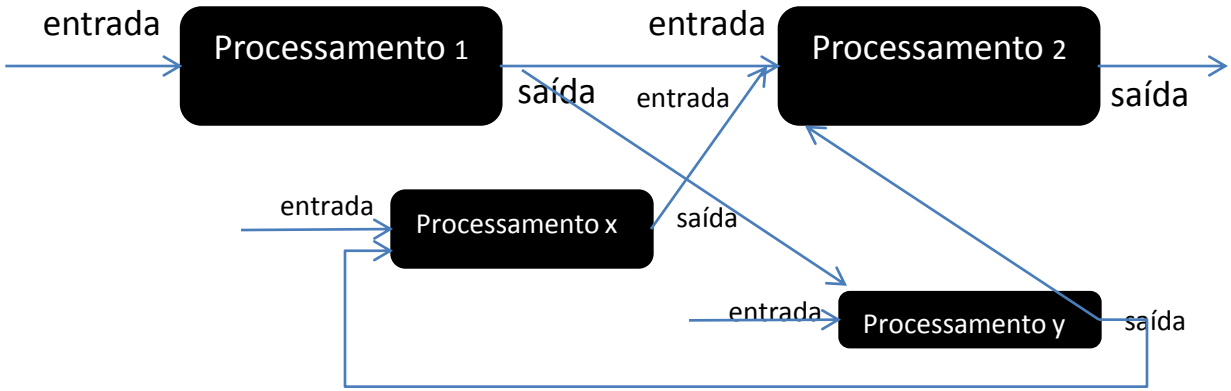
Raoni Venturieri de Andrade Lima
rao.ventur@gmail.com

Roteiro de viagem

- O que são sistemas complexos?
- Exemplos
- Abordagem científica
  - Modelagem Baseada em Agentes
- Caso *Euterpe edulis*
  - Contextualização
  - Identificação do problema
  - Hipótese de pesquisa
  - Metodologia
  - Resultados

Sistemas complexos

- O que são sistemas?
  - Conjunto de unidades ligadas entre si, que formam um todo organizado;
  - Conjunto de unidades processadoras, que recebem um *input* e geram um *output*.

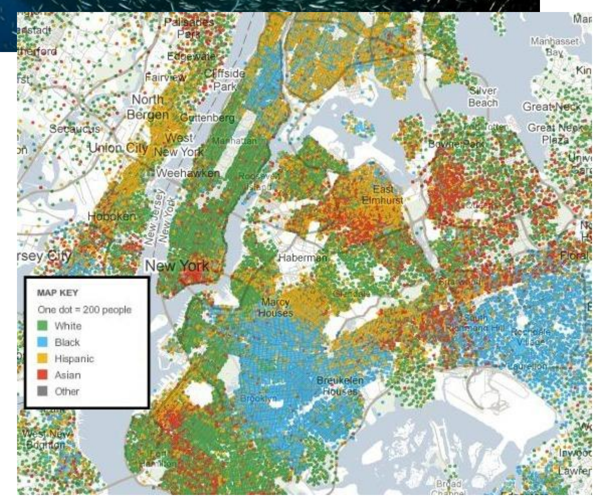


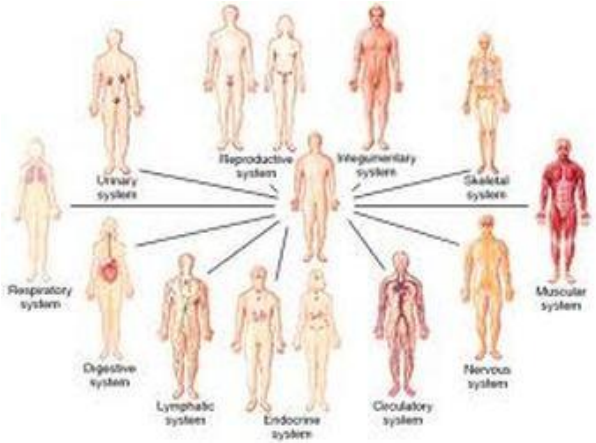
Complexidade

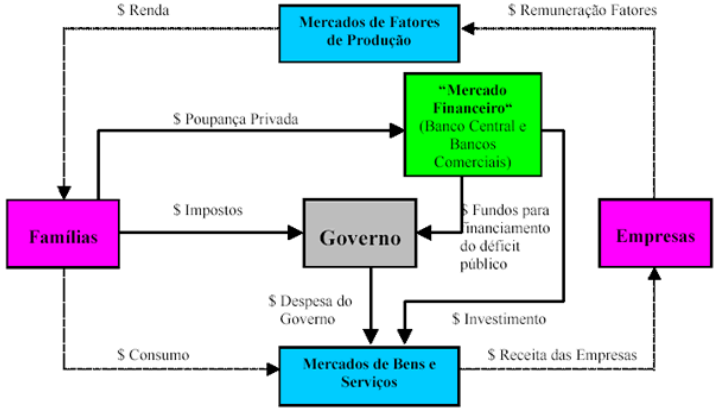
- Conectividade e interdependência
- Não-determinismo e não-linearidade
  - Retroalimentação, múltiplos equilíbrios, transições de fase, relações em múltiplas dimensões, multiplicidade de variáveis.
- Fenômenos Emergentes
  - Micro-comportamentos, Macro-consequências;
  - Auto-organização

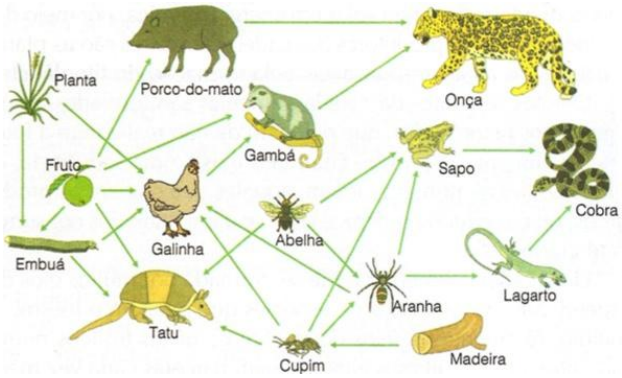
© Nadya Kulagina/Rex Features

salãodocarro


Palisades Park
Edgewater
Fairview
Cliffside Park
North Bergen
Guttenberg
Secaucus
Union City
West New York
Weehawken
Hoboken
New Jersey
New York
Manhasset Bay
Silver Beach
Great Neck
Great Neck Plaza
East Elmhurst
Haberman
Marcy Houses
Breukelen Houses
MAP KEY
One dot = 200 people
White
Black
Hispanic
Asian
Other


Urinary system
Reproductive system
Integumentary system
Skeletal system
Respiratory system
Digestive system
Lymphatic system
Endocrine system
Circulatory system
Nervous system
Muscular system


$ Renda
Mercados de Fatores de Produção
$ Remuneração Fatores
"Mercado Financeiro" (Banco Central e Bancos Comerciais)
$ Poupança Privada
Famílias
$ Impostos
Governo
$ Fundos para financiamento do déficit público
Empresas
$ Despesa do Governo
$ Investimento
$ Consumo
Mercados de Bens e Serviços
$ Receita das Empresas


Planta
Porco-do-mato
Onça
Gambá
Fruto
Sapo
Cobra
Galinha
Abelha
Embuá
Aranha
Lagarto
Tatu
Cupim
Madeira

Como se estuda tudo isso?

- Solução histórica: compartimentalização do conhecimento, especialização crescente;

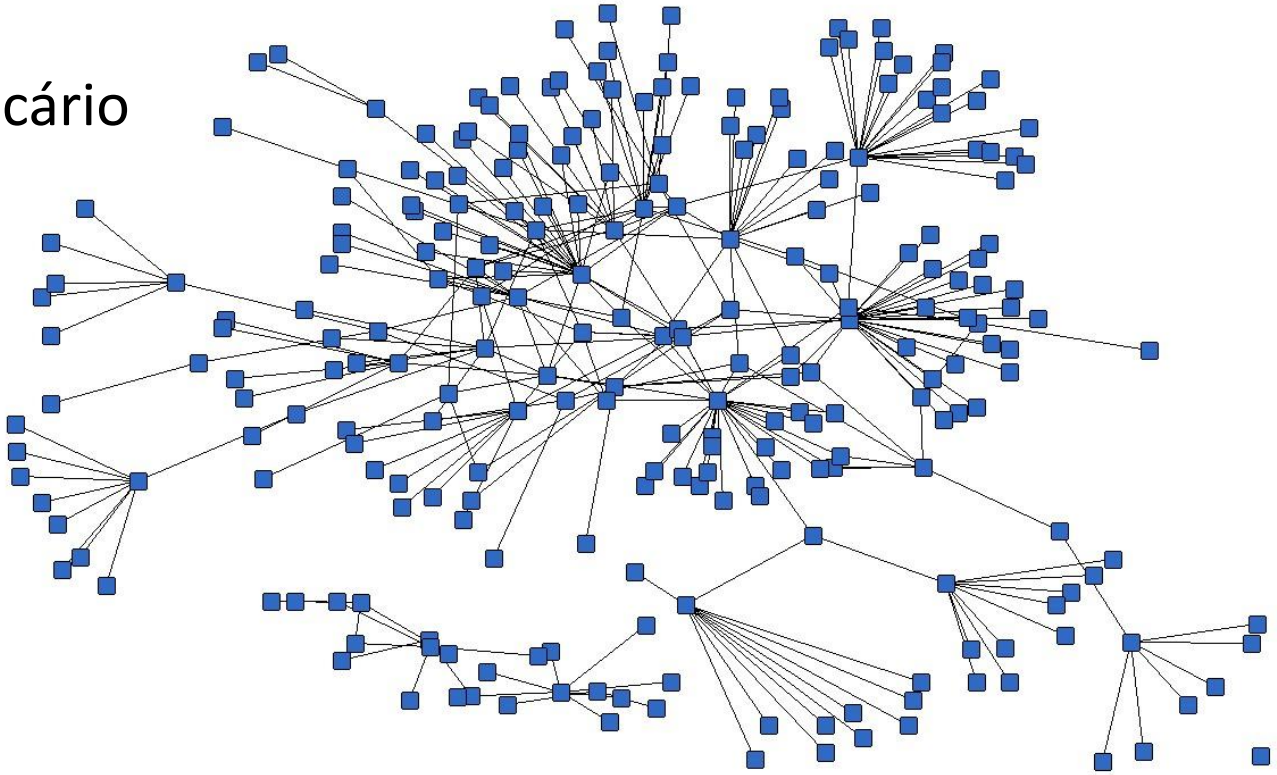
- Nova abordagem:
  - Inter-disciplinariedade;
  - Pensamento sistêmico;
  - Pensamento por meio de modelos (Model Thinking);
  - Cooperação entre especialistas;
  - Utilização de ferramentas computacionais

Abordagem metodológica

- Construção de modelos (Modelagem)
  - Identificação das variáveis importantes;
  - Como estas variáveis se relacionam?
  - Modelos com características /dinâmicas similares;
  - Concepção/adaptação
  - Toy model e aperfeiçoamento

Exemplos de similaridades entre modelos

- Dinâmica de opiniões;
- Fluxo de informações;
- Epidemias;
- Setor Interbancário



Modelagem Baseada em Agentes

- Simulação computacional
- Unidades “autônomas” de decisão;
- Unidades heterogêneas;
- Influência mútua, possivelmente também heterogênea;
- Impactam e são impactadas pelo meio;
- Regras de tomada de decisão;
- Interagem ao longo do tempo.

Exemplos

- Relações Internacionais
- Economia de mercado
- Setor interbancário
- Cadeia alimentar
- Evolução de um bioma
- Sistemas sócio-ecológicos

Trabalho de mestrado

- Simulação do sistema sócio-ecológico Quilombolas – *Euterpe edulis* Martius;

- Construção e comparação de dois cenários de política pública

O Palmito Jussara: *Euterpe edulis* Martius

O Palmito Jussara: *Euterpe edulis* Martius

Recursos comuns

- Rivalidade: consumo implica em não-disponibilidade
- Não-exclusividade: impossibilidade ou inviabilidade de impedir que alguém tenha acesso ao recurso
- Exemplos:
  - estoque de peixes;
  - água para irrigação;
  - produtos florestais.
- Hardin (1968): Tragédia dos Comuns
  - Privatização ou estatização

Recursos comuns

- Governing the Commons (Elinor Ostrom, 1990);

- Regimes de apropriação
  - Livre-acesso;
  - Propriedade privada;
  - Propriedade estatal;
  - Propriedade comunitária.

- Conjuntos de Direitos
  - Nível operacional: acesso e retirada
  - Nível de ação coletiva: gestão, exclusão, alienação
  - Nível constitucional: regras sobre a formulação de regras

O Vale do Ribeira, São Paulo

O Vale do Ribeira, São Paulo

- 2.830.666 hectares;
- 31 municípios;
- Maior área remanescente de Mata Atlântica no Brasil;
- Terreno montanhoso, inadequado para a agricultura mecanizada;
- Acesso viário limitado.

O Vale do Ribeira, São Paulo

- Piores indicadores sociais do Estado
  - Baixa escolaridade
  - Menor renda per capita
  - Piores indicadores de saúde

- Economia baseada em:
  - Monocultura de banana e chá
  - Mineração de calcário
  - Extração de palmito
  - Turismo

O Vale do Ribeira, São Paulo

- 411.500 habitantes, sendo metade deles na zona rural

- Diversidade Cultural
  - Pequenos agricultores
  - Populações indígenas
  - Populações quilombolas
  - Populações caiçaras

As comunidades Quilombolas do Vale

As comunidades Quilombolas do Vale

- Primeiros quilombos se formam no século XVIII
- Escravos libertos, fugidos e abandonados
- Agricultura de subsistência
  - Desenvolvimento de métodos de cultivo adequados a condições locais
- Até rescentemente nunca tiveram título de propriedade da terra

As comunidades Quilombolas do Vale

- Meados do século XX:
  - Maior integração à economia de mercado;
  - Mudanças nas atividades econômicas;
  - Criação de áreas de preservação ambiental;
  - Proibição do uso de fogo na agricultura (método tradicional)

- Constituição Federal de 1988:
  - As comunidades quilombolas têm o direito à propriedade da terra em que vivem;
  - O Estado deve emitir o título de propriedade às comunidades, baseado em ancestralidade Afro-Brasileira e histórico de ocupação da área;
  - Atualmente 59 comunidades foram identificadas no Vale, porém menos de 10 já foram tituladas.

Formulação do Problema

- A política pública atual de proibição não está atingindo os objetivos desejados
  - A palmeira jussara continua sendo cortada na região, e sua população continua decrescendo.

- E ainda traz como consequência a criminalização dos quilombolas que dependem do recurso

- Pressupostos ruins dos formuladores de políticas públicas quanto ao processo de decisão sobre a extração do palmito e sobre a capacidade do próprio Estado de fiscalizar

Hipótese

- A flexibilização das regras para a extração do palmito jussara pelas comunidades quilombolas pode ser mais eficaz e eficiente para a preservação da espécie do que a atual política de proibição.

- Objetivo do trabalho:
  - Fornecer uma ferramenta para discutir e propor novas políticas públicas para a sustentabilidade do palmito jussara, aliada ao desenvolvimento social das comunidades quilombolas que o exploram.

Metodologia

- Utilização da modelagem baseada em agentes para simular as interações em um sistema sócio-ecológico, mais especificamente as interações entre as unidades domésticas (agentes) e a consequência desta para o estoque de recurso.

- Comparação entre dois modelos de política pública:
  - Atual política de proibição da exploração do recurso
  - Uma política pública hipotética, no qual é permitido à comunidade gerenciar o recurso comum

- Literatura sobre Recursos Comuns, dados e observações coletados em campo, literatura sobre o *Euterpe edulis*

- Toy Model e calibração

Modelagem Baseada em Agentes (ABM)

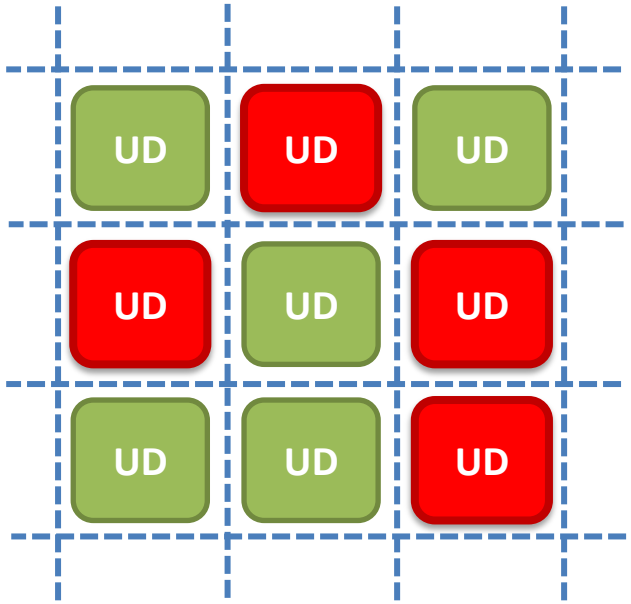
- Vantagens:
  - Útil quando agentes são unidades autônomas mas que exercem influência uns sobre os outros;
  - Útil quando os agentes exercem influência e são influenciados pela base de recursos ao longo do tempo;
  - Permite atribuir heterogeneidade entre os agentes;
  - Permite introduzir a não-linearidade no processo de tomada de decisão;
  - Sistemas complexos adaptativos: níveis micro e macro;
  - Combinação de múltiplas fontes de informações;
  - Baixo custo para testar diferentes condições.

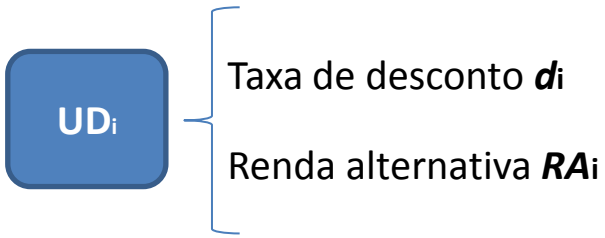
Modelagem Baseada em Agentes (ABM)

- Dificuldades:
  - Transformar percepções e incentivos subjetivos da vida real em relações matemáticas;
  - Validação de modelos teóricos hipotéticos

Simulação – condições iniciais

- Uma comunidade virtual é criada em uma rede quadrada
- Cada agente (Unidade doméstica - UD) tem 8 vizinhos, extratores ou não-extratores;
- Cada agente i possui uma taxa de desconto *d*i;
- Cada agente i possui uma renda alternativa RAi;
- O estoque inicial de palmeiras jussara é dado.





Condições da simulação

- N = 49
- Renda Alternativa (à extração de palmito)
  - Heterogeneidade entre os agentes: distribuição normal, com média R$ 600,00 e desvio padrão R$ 150,00;
- Renda por extração de palmito (*PayoffExtraction*)
  - R$ 300,00
- Taxa de desconto:
  - Homogênea para todos os agentes;
  - Três cenários: d=0 d=0,2 e d=0,9.
- Tmax = 2000 períodos

Dinâmica populacional do *Euterpe edulis* (Silva Matos et. al. 1999)

- População inicial (Reserva Municipal Santa Genebra, Campinas)
  - Categorização da população em 7 classes de tamanho (DAS)
  - Vetor populacional inicial V^0
  - Área considerada na simulação: 3.500 ha
- Matriz de transição M
  - Define a taxa de sobrevivência em cada classe e de transição para a classe seguinte.
- Dependência da densidade:
  - Maior densidade de adultos prejudica a sobrevivência de plântulas.
- Vetor de extração V_{ext}^t
  - Representa o número de plantas cortadas
  - Contempla apenas plantas das classes 6 e 7 (DAS > 60mm)
  - Uma decisão de extração implica no corte de 300 árvores

Dinâmica populacional do *Euterpe edulis* (Silva Matos et. al. 1999)

$$V_{t+1} = (V_t - V_{ext}^{t}) * M$$

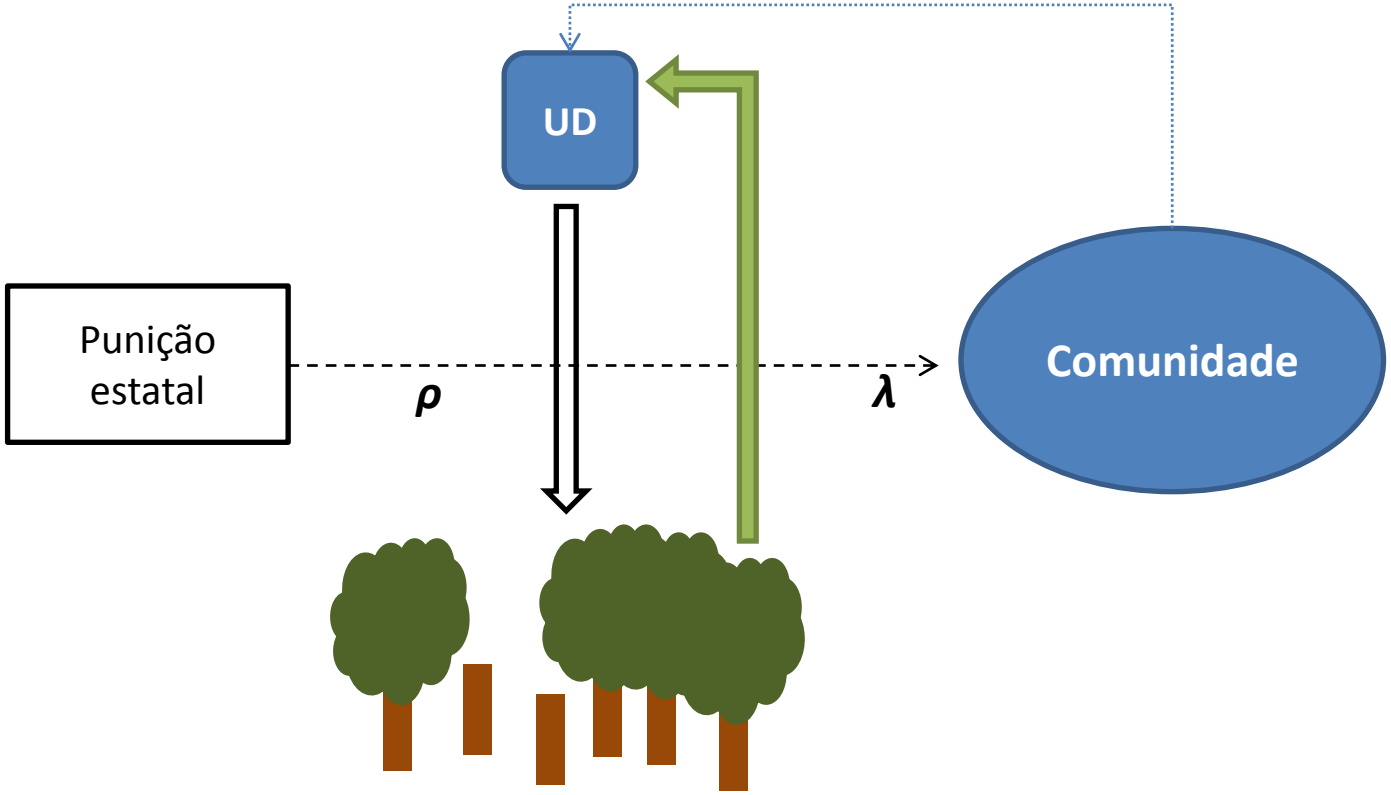
$$\begin{bmatrix} N_1^{t+1} \\ N_2^{t+1} \\ N_3^{t+1} \\ N_4^{t+1} \\ N_5^{t+1} \\ N_6^{t+1} \\ N_7^{t+1} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} N_1^{t} \\ N_2^{t} \\ N_3^{t} \\ N_4^{t} \\ N_5^{t} \\ N_6^{t} \\ N_7^{t} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ ext_6^t \\ ext_7^t \end{bmatrix} \right) * \begin{bmatrix} 0{,}5116 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 98 \\ G_1 & 0{,}7639 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}1089 & 0{,}7366 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}1995 & 0{,}6110 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}3867 & 0{,}8010 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}1790 & 0{,}7800 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}1900 & 0{,}9954 \end{bmatrix}$$

Cenário 1 – Política atual de proibição

Cenário 1 – Política atual de proibição

- A exploração do palmito jussara não é permitida;
- A tomada de decisão, o monitoramento e a aplicação das punições são externas à comunidade;
- A punição depende de uma probabilidade ρ de ser flagrado pela polícia ambiental;
- Quando os extratores são flagrados, recebem uma punição λ. Entretanto, a multa é paga pela associação dos moradores da comunidade (compartilhada com todos os membros);
- Não há pressão de pares (peer-pressure) para a conservação do recurso pelos agentes. Pelo contrário, os agentes percebem incentivos para extrair ao ver seus vizinhos extraindo.

Cenário 1 – Política atual de proibição



Cenário 1 – Política atual de proibição

- Função payoff

  $$PayoffTotal_i = [PayoffExtraction*(1+nvz/8)] * ease * (1+d_i) – sharedfines – RA_i$$

  Onde:
  - *nvz* é o número de vizinhos que extrai;
  - *ease* = $População_{(classes\ 6\ e\ 7)\ t}$ / $População_{(classes\ 6\ e\ 7)\ t=0}$
  - *sharedfines* é a soma de todas as punições, dividida pelo total de agentes.

- Tomada de decisão
  - Se $PayoffTotal_i > 0$, o agente i decide extrair

Cenário 1 – Política atual de proibição

- Após o agente *i* tomar a sua decisão, o próximo agente *j* é analisado, até que todos os agentes tenham tomado a sua decisão no período t;

- Atualização do estoque de recursos:
  - A somatória das extrações realizadas em t compõe o vetor de extração V_{ext}^{t}, que será incorporado à dinâmica populacional do palmito;
  - $ease_{t+1}$ = $População_{(classes\ 6\ e\ 7)\ t+1}$ / $População_{(classes\ 6\ e\ 7)\ t=0}$

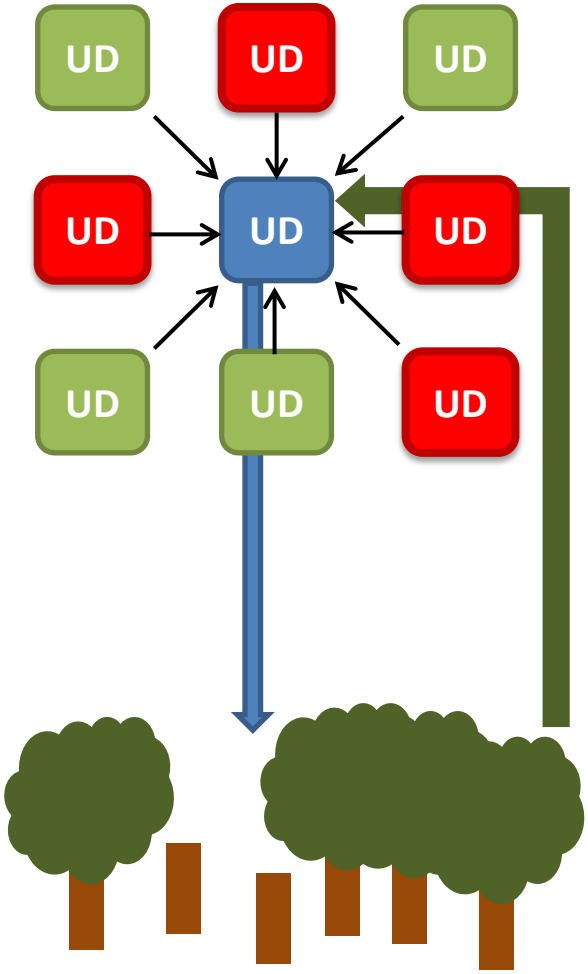
- O algoritmo é repetido até que t = t_{max}, ou até que o recurso seja extinto.

Cenário 2 – Política de gestão comunitária

Cenário 2 – Política de gestão comunitária

- Engajamento entre membros da comunidade é necessário para a gestão do recurso;
- A tomada de decisão, o monitoramento e a aplicação de punições são internos à comunidade: os agentes engajados assumem os custos de organização;
- Indivíduos que não extraem podem ser indivíduos engajados, com probabilidade φ;
- Indivíduos engajados incorrem em mais custos de organização, na medida em que a quantidade de vizinhos que extraem é maior. Entretanto, possuem uma margem de tolerância γ, somente a partir da qual decidem agir;

Cenário 2 – Política de gestão comunitária



- Indivíduos extratores sofrem pressão de pares e são punidos proporcionalmente à quantidade de vizinhos engajados que possuem.

- Indivíduos extratores nunca assumem custos de organização

Cenário 2 – Política de gestão comunitária

- Função payoff

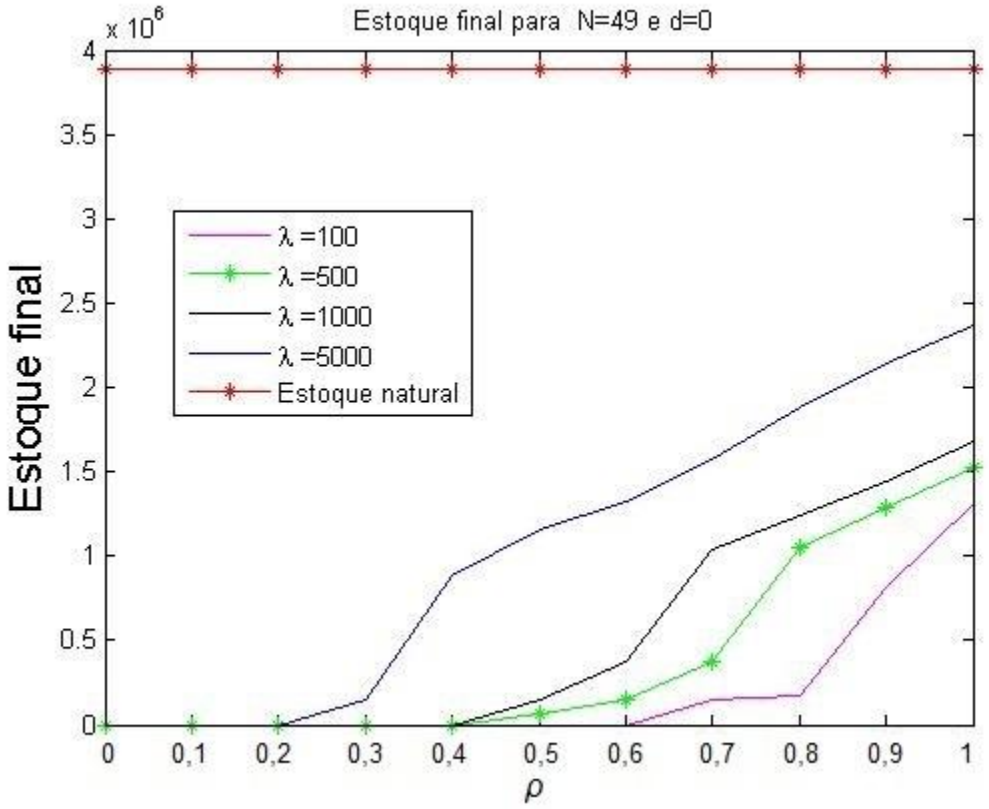
$PayoffTotal_i = (PayoffExtraction – Pnshmt_i) * ease * (1+d_i) + mgtcost_i – RA_i$

Onde:

- $Pnshmt_i = R\$300,00 *(vz\_n\_r * \varphi)/8,$ e *vz_n_r* é o número de vizinhos que não extraem;
- $mgtcost_i$ = R$40,00 *(*nvz*/8), e *nvz* é o número de vizinhos que extraem;

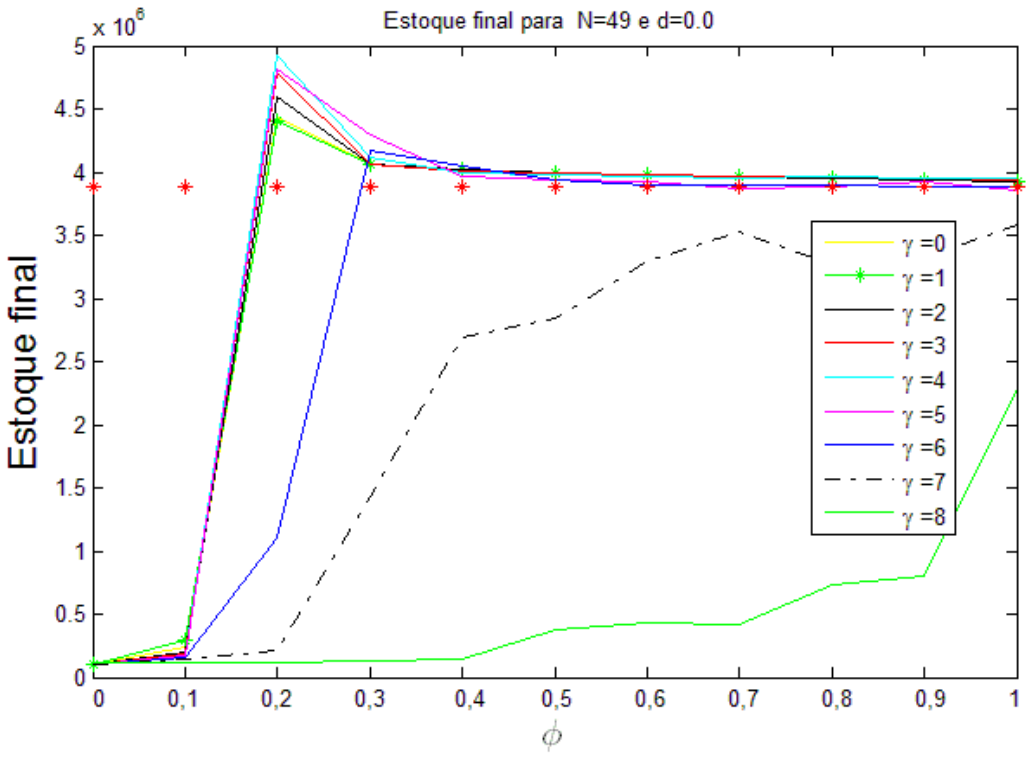
- Tomada de decisão
  - Se $PayoffTotal_i > 0$, o agente i decide extrair

Resultados – Modelo de Proibição, *d*=0



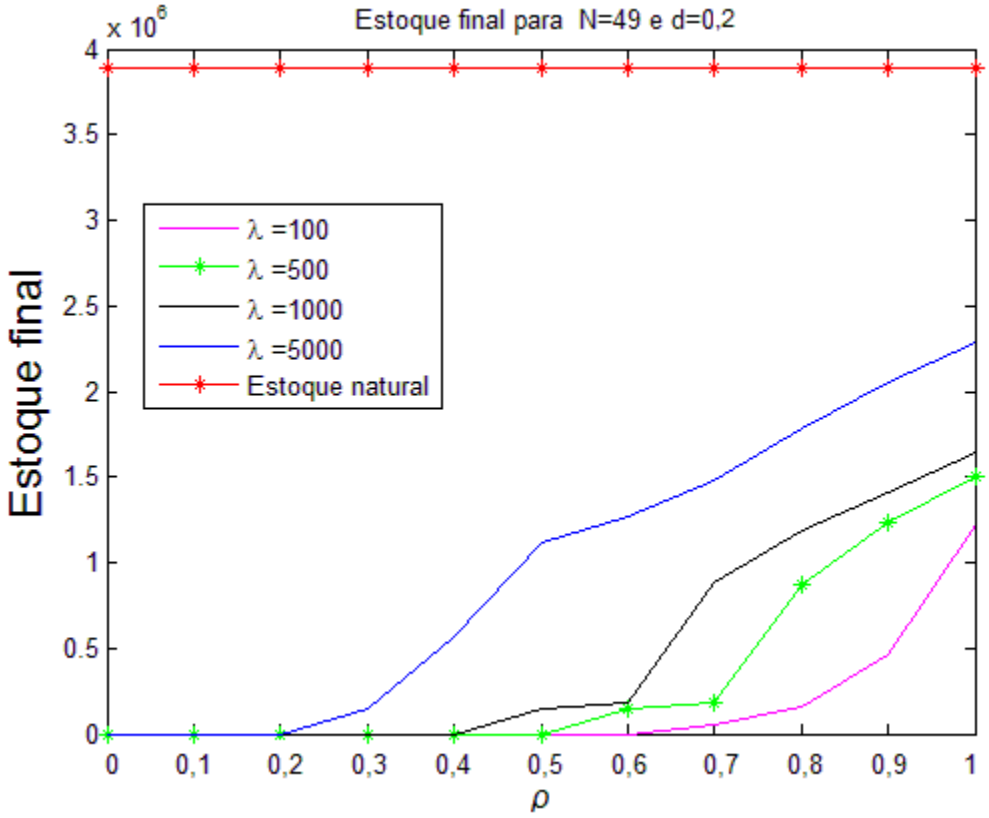
Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de proibição estatal, conforme a probabilidade de punição ρ e a severidade da punição, representada por λ, quando a taxa de desconto d=0.

Resultados – Modelo Comunidade, *d*=0



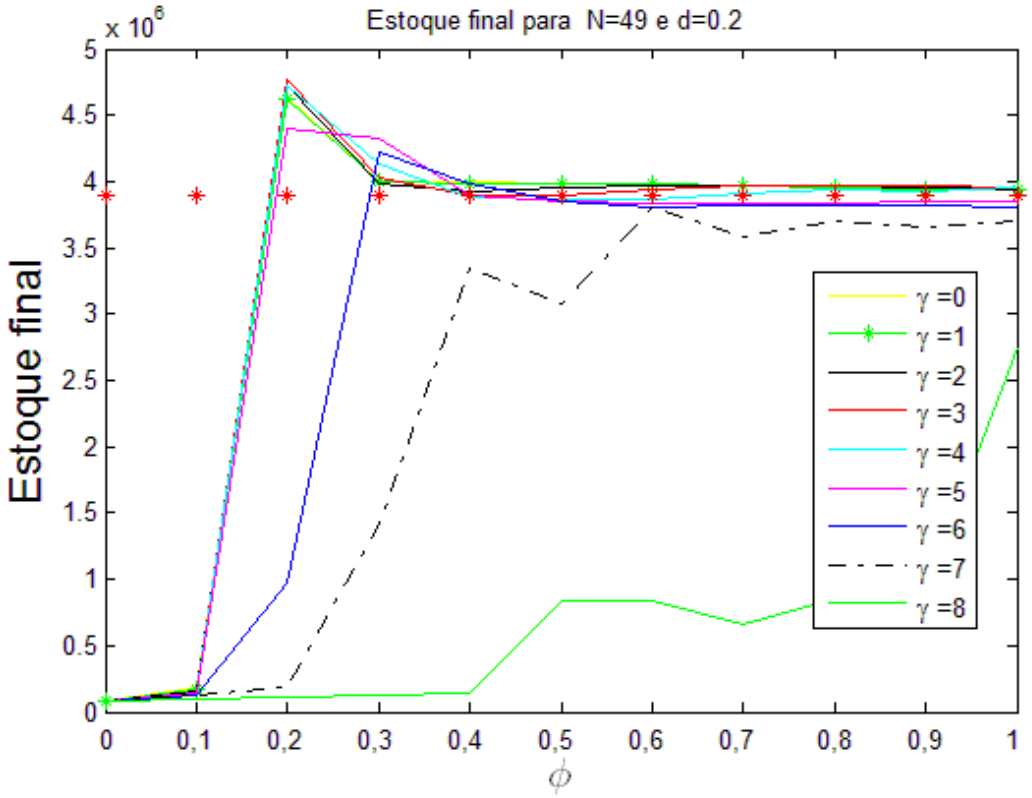
Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de gestão comunitária do recurso, conforme a proporção ϕ de agentes engajados e margem de tolerância *γ*, quando a taxa de desconto d=0.

Resultados – Modelo de Proibição, *d*=0,2



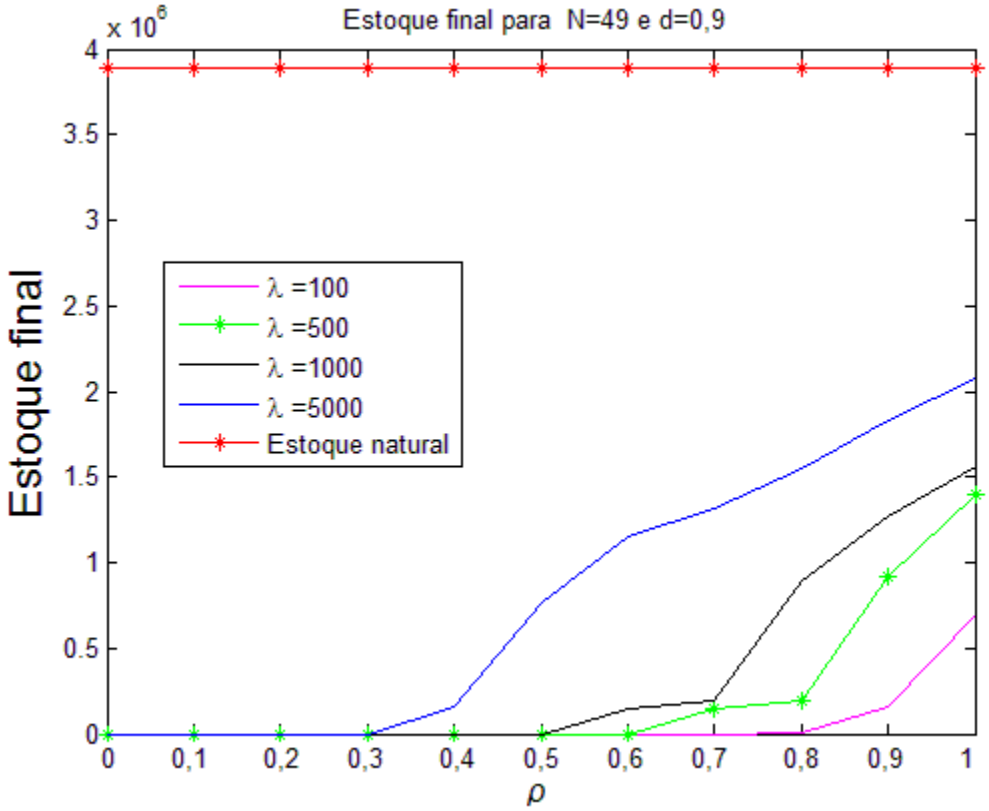
Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de proibição estatal, conforme a probabilidade de punição ρ e a severidade da punição, representada por λ, quando a taxa de desconto d=0,2.

Resultados – Modelo Comunidade, *d*=0,2



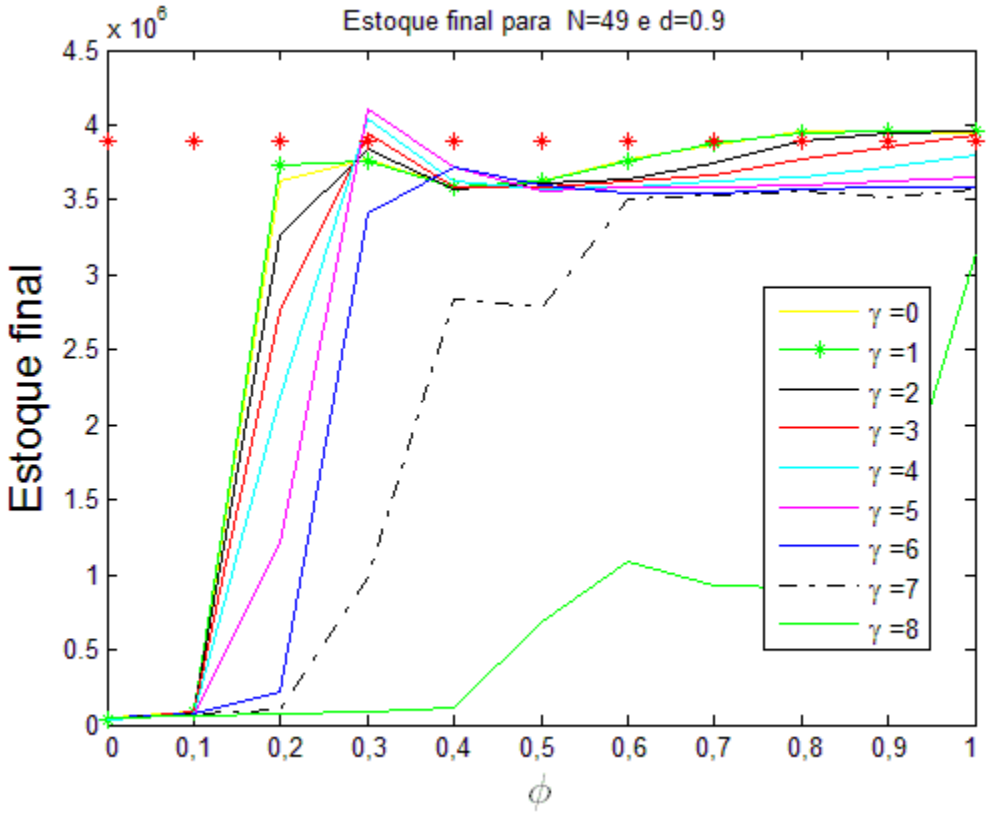
Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de gestão comunitária do recurso, conforme a proporção ϕ de agentes engajados e margem de tolerância *γ*, quando a taxa de desconto d=0,2.

Resultados – Modelo de Proibição, *d*=0,9



Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de proibição estatal, conforme a probabilidade de punição ρ e a severidade da punição, representada por λ, quando a taxa de desconto d=0,9.

Resultados – Modelo Comunidade, *d*=0,9



Estoque final de palmeiras (Classes 6 e 7) no modelo de gestão comunitária do recurso, conforme a proporção ϕ de agentes engajados e margem de tolerância *γ*, quando a taxa de desconto d=0,9.

Conclusão

- Na maior parte das condições testadas, o estoque final de palmito no modelo de gestão comunitária foi superior ao modelo de proibição estatal;

- Em algumas condições, o estoque final no modelo de gestão comunitária foi superior até ao estoque que seria obtido caso não houvesse ação humana no meio, o que sugere que há uma taxa de extração ótima do ponto de vista biológico, que poderia ser explorada para fins comerciais;

- Para uma proporção de agentes engajados relativamente baixa (0,2), já houve resultados muito positivos;

- Em diversas condições, a flexibilização das normas atuais para a exploração do palmito jussara por comunidade quilombolas do Vale do Ribeira seria mais eficaz para a preservação da espécie, simultaneamente trazendo benefícios do ponto de vista social.

Sugestões para trabalhos futuros

- Testar novos padrões de interação entre as unidades domésticas;
- Sofisticar e testar novas regras de tomada de decisão;
- Testar o modelo para diferentes condições de estoque inicial de *Euterpe edulis*;
- Introduzir processos de aprendizagem na população;
- Introduzir uma dinâmica espacial ao modelo, verificando a distribuição do palmito no território;
- Testar a robustez do modelo à choques externos.

Obrigado!

http://www.youtube.com/watch?v=lYXTm8VZKVE

Raoni Venturieri de Andrade Lima
rao.ventur@gmail.com