

Mobilidade em Jogos Evolutivos

Jeferson J. Arenzon

Instituto de Física e INCT-Sistemas Complexos – UFRGS



©Reuters/Pawan Kumar (India)

Colaboradores

- Mendeli H. Vainstein (UnB)
- Ana T.C. Silva (UEFS)
- Hugo Fort (Montevideú)
- Antonio Endler (UFRGS)

Estudantes:

- Estrella Sicardi (Montevideú), PhD
- Alessandra Lutz (UFRGS), IC
- Gabriel Canova (UFRGS), IC

Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).

Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



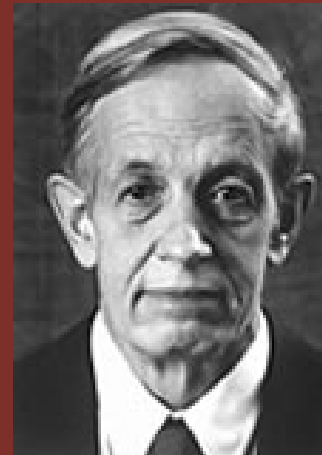
- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



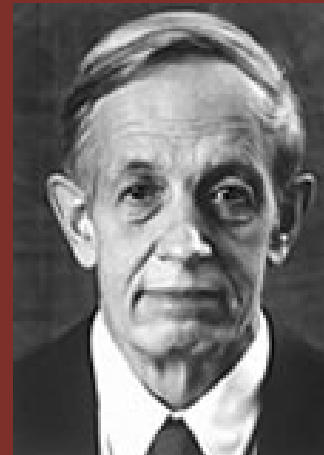
- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



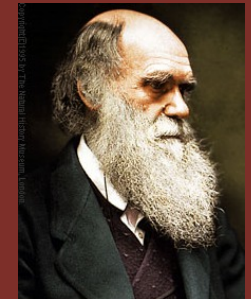
Teoria de Jogos: o exemplo do duelo trielo



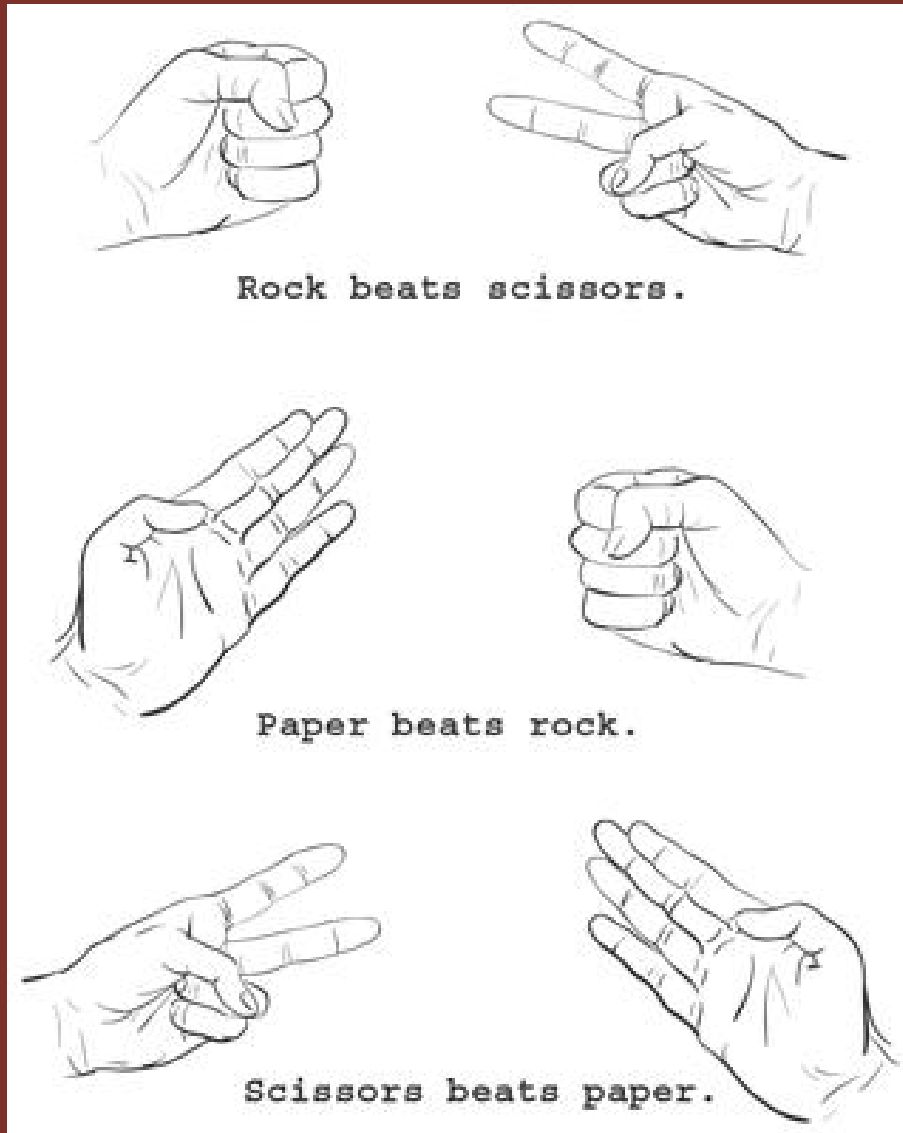
- Conhecendo o passado dos adversários, qual a melhor estratégia?
- O resultado dependerá também das decisões tomadas pelos oponentes e
- se mede em sexo, dinheiro, poder, comida, sexo, ferimentos evitados ou provocados, fama, sexo, descendentes, etc.
- Tenta encontrar o melhor conjunto de estratégias (equilíbrio de Nash, EES).



A Teoria Evolutiva de Jogos é um método fenotípico para atacar problemas onde a seleção é dependente da frequência.



Pedra-Tesoura-Papel (frequência)



Numa população, a melhor estratégia normalmente depende da densidade das outras. O payoff pode ser

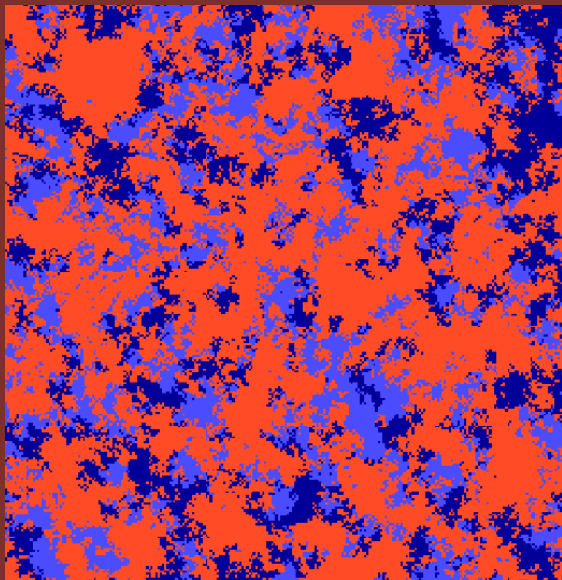
- baixo quando a estratégia é dominante e
- alto quando sua frequência na população é pequena

Não há uma estratégia ótima (ESS): o sistema apresenta ciclos.

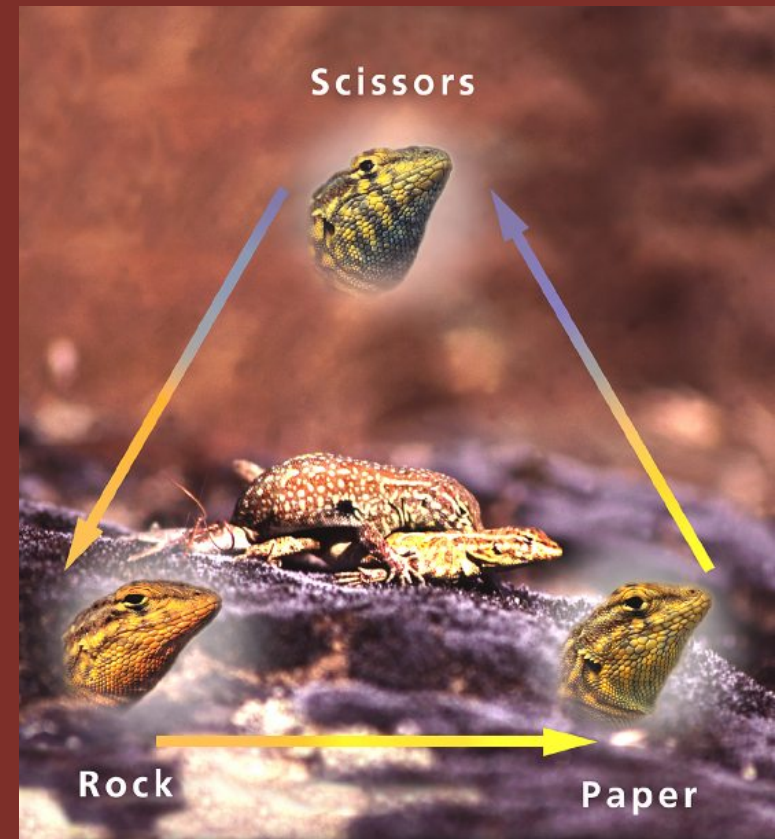
Pedra-Tesoura-Papel: *Uta stansburiana*

- **Azul**: menos agressivo e defende territórios menores
- **Laranja**: muito agressivo e defende grandes territórios
- **Amarelo**: intrusos, não defendem territórios (e são semelhantes às fêmeas)

Fitness (adaptação): número de fêmeas monopolizadas e compartilhadas

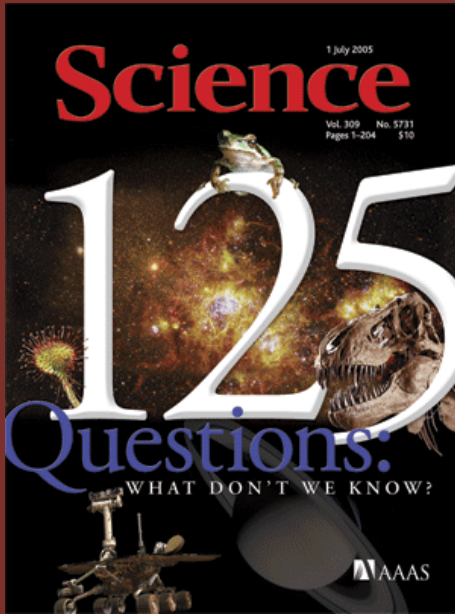


<http://www.mcs.vuw.ac.nz/~marcus>



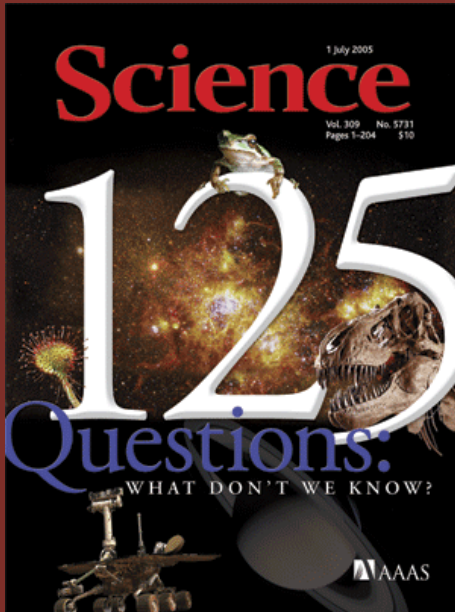
Sinervo e Lively NATURE 380 (1996) 240

Como evoluiu o comportamento cooperativo?



Julho 2005

Como evoluiu o comportamento cooperativo?

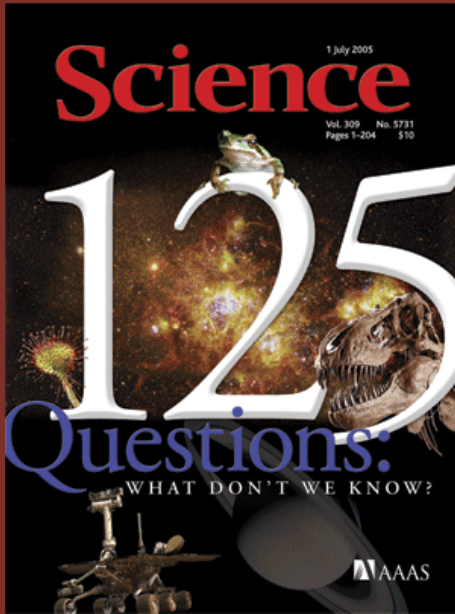


Julho 2005

Há um custo para o cooperador, e um benefício para o receptor, enquanto que a traição não envolve custo algum.



Como evoluiu o comportamento cooperativo?



Julho 2005

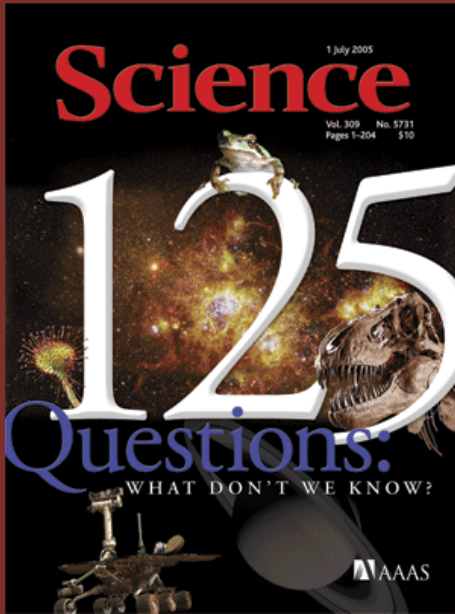
Há um custo para o cooperador, e um benefício para o receptor, enquanto que a traição não envolve custo algum.



Exemplos

- Transição de organismos unicelulares a multicelulares

Como evoluiu o comportamento cooperativo?



Julho 2005

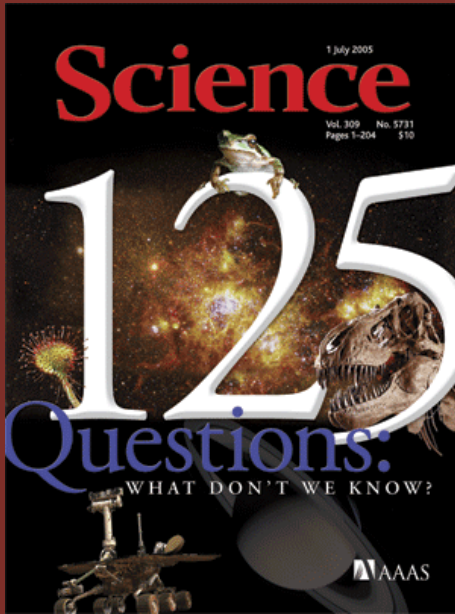
Há um custo para o cooperador, e um benefício para o receptor, enquanto que a traição não envolve custo algum.



Exemplos

- Transição de organismos unicelulares a multicelulares
- Leveduras (*S. cerevisiae*): secretam invertase para digerir açúcar externamente

Como evoluiu o comportamento cooperativo?



Julho 2005

Há um custo para o cooperador, e um benefício para o receptor, enquanto que a traição não envolve custo algum.



Exemplos

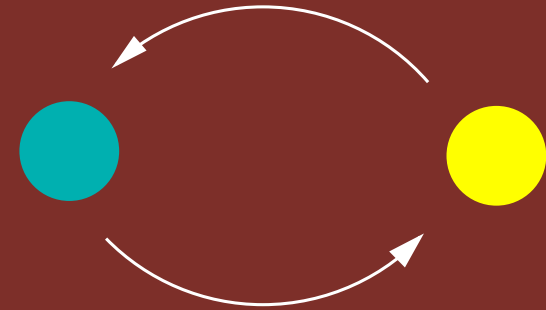
- Transição de organismos unicelulares a multicelulares
- Leveduras (*S. cerevisiae*): secretam invertase para digerir açúcar externamente
- BitTorrent

Mecanismos

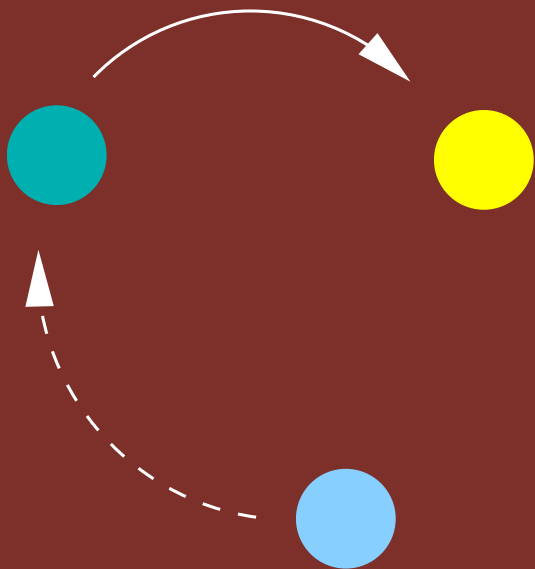
Reciprocidade por parentesco:



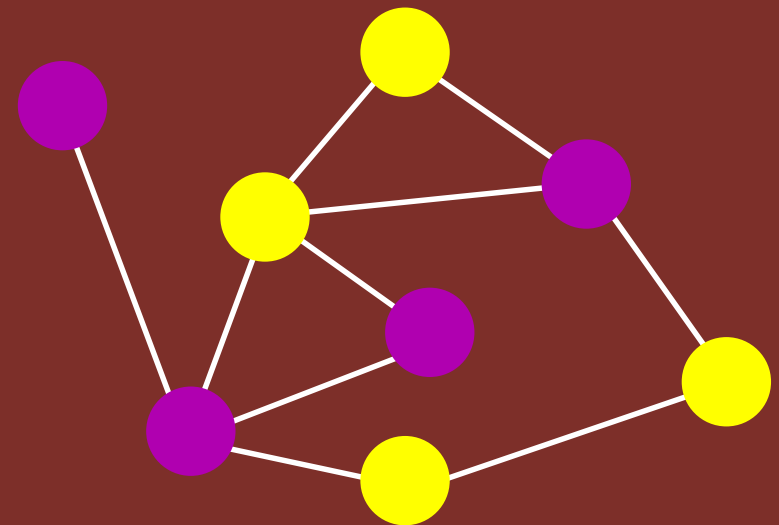
Reciprocidade direta:



Reciprocidade indireta:



Reciprocidade em rede:

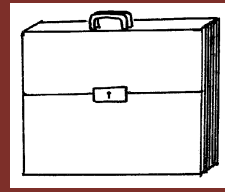


O Dilema do Prisioneiro

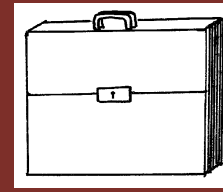
Dresher, Flood and Tucker

Hofstadter, Metamagical Themas (1985)

Permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (bactérias, seres humanos, batalhões, nações, programadores, etc).



produto



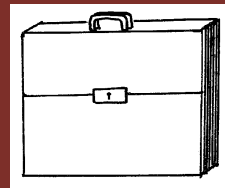
dinheiro

O Dilema do Prisioneiro

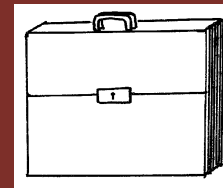
Dresher, Flood and Tucker

Hofstadter, Metamagical Themas (1985)

Permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (bactérias, seres humanos, batalhões, nações, programadores, etc).



produto



dinheiro

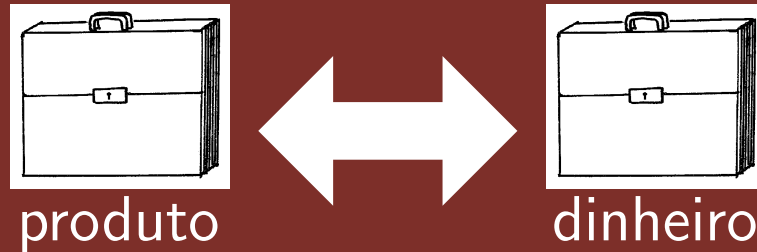
- E se o outro deixar uma maleta vazia?

O Dilema do Prisioneiro

Dresher, Flood and Tucker

Hofstadter, Metamagical Themas (1985)

Permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (bactérias, seres humanos, batalhões, nações, programadores, etc).



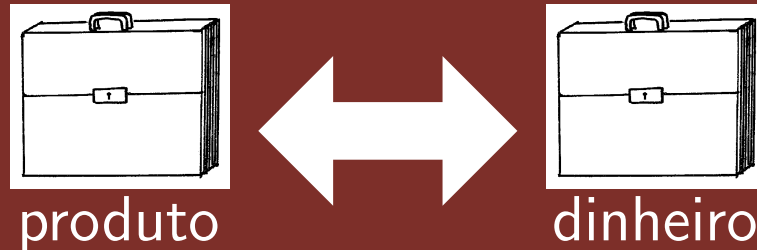
- E se o outro deixar uma maleta vazia?
- Mas e se ele deixar uma maleta com o produto?

O Dilema do Prisioneiro

Dresher, Flood and Tucker

Hofstadter, Metamagical Themas (1985)

Permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (bactérias, seres humanos, batalhões, nações, programadores, etc).



- E se o outro deixar uma maleta vazia?
- Mas e se ele deixar uma maleta com o produto?

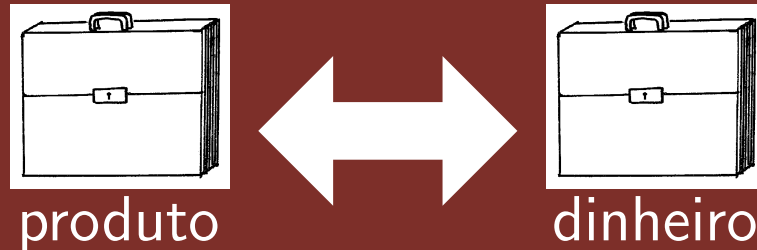
Qualquer que seja a estratégia adotada por um deles, para o outro é sempre melhor traí-lo, e deixar uma mala vazia! Porém, ambos seguirão a mesma lógica.

O Dilema do Prisioneiro

Dresher, Flood and Tucker

Hofstadter, Metamagical Themas (1985)

Permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (bactérias, seres humanos, batalhões, nações, programadores, etc).



- E se o outro deixar uma maleta vazia?
- Mas e se ele deixar uma maleta com o produto?

Qualquer que seja a estratégia adotada por um deles, para o outro é sempre melhor traí-lo, e deixar uma mala vazia! Porém, ambos seguirão a mesma lógica.

Esta é a melhor solução, embora ineficiente, para este jogo: no fundo, eles queriam trocar o produto pelo dinheiro.

Cada elemento de uma gangue... não é tão sedento por recompensas ... quanto temeroso de uma traição. Ele trai antes, e de forma egoísta, para não ser traído.

E. Alan Poe, *The Mystery of Marie Rogét*

O Dilema do Prisioneiro

	C	D
C	$b-c$	$-c$
D	b	0

O Dilema do Prisioneiro

	C	D
C	$b-c$	$-c$
D	b	0

$$\frac{\dot{\rho}_i}{\rho_i} = \underbrace{f_i(\boldsymbol{\rho})}_{\text{fitness do tipo } i} - \underbrace{\sum_{j=1}^N \rho_j f_j}_{\text{fitness médio}} \quad (\text{replicator's equation})$$

Para uma população de N indivíduos, dos quais N_C são cooperadores:

$$\begin{aligned} f_C &= \frac{(N_C - 1)b - (N - 1)c}{N - 1} \\ f_D &= \frac{bN_C}{N - 1} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} f_C &< \bar{f} \\ f_D &> \bar{f} \end{aligned}$$

O Dilema do Prisioneiro

	C	D
C	$b-c$	$-c$
D	b	0

- A melhor estratégia, para um número finito e fixo de combates é **D**.
- Então, como surge, e se mantém, a cooperação?
- Sombra do futuro: os indivíduos podem interagir novamente (medo de retaliação).
- Como saber, então, qual a melhor estratégia?
- Uma possibilidade é fazendo um torneio!

- Cada programa submetido, para decidir entre **C** e **D**, tinha à sua disposição a história do jogo até aquele momento.
- A regra vencedora em ambos os torneios foi Tit for Tat (Rapoport):
 - ◆ TFT: coopera no primeiro movimento e, posteriormente, faz o que o oponente fez no passo anterior
 - ◆ CCCDCDDCC
CCDCDDCCCC
- O que torna uma regra bem sucedida?
 - ◆ Conflitos desnecessários são evitados (coopera enquanto o outro jogador também o faz).
 - ◆ Pronta retaliação em caso de exploração.
 - ◆ Após responder à provocação, está pronta a perdoar.
 - ◆ Clareza de comportamento (permite que o outro jogador se adapte e facilita a cooperação).

- Cada programa submetido, para decidir entre **C** e **D**, tinha à sua disposição a história do jogo até aquele momento.
- A regra vencedora em ambos os torneios foi Tit for Tat (Rapoport):
 - ◆ TFT: coopera no primeiro movimento e, posteriormente, faz o que o oponente fez no passo anterior
 - ◆ CCCDCDDCC
CCDCDDCCCC
- O que torna uma regra bem sucedida?
 - ◆ Conflitos desnecessários são evitados (coopera enquanto o outro jogador também o faz).
 - ◆ Pronta retaliação em caso de exploração.
 - ◆ Após responder à provocação, está pronta a perdoar.
 - ◆ Claridade de comportamento (permite que o outro jogador se adapte e facilita a cooperação).

Morcegos



- Nem todos morcegos em uma caverna conseguem alimento suficiente.
- Alguns, relacionados por parentesco, compartilham o sangue ingerido.

Morcegos



- Nem todos morcegos em uma caverna conseguem alimento suficiente.
- Alguns, relacionados por parentesco, compartilham o sangue ingerido.
- Mas foi observado que alguns morcegos também compartilham com vizinhos que se empoleiram próximos a eles, mesmo sem relação de parentesco.
- A razão é que estes provavelmente compartilharam sangue no passado!

I Guerra Mundial (1914-1918)



http://en.wikipedia.org/wiki/Trench_warfare

Viva e Deixe Viver (Live and Let Live)



Um dia, enquanto nossa infantaria estava cozinhando, ouviu-se um grito vindo da trincheira inimiga perguntando se poderia vir e comer também. O francês foi convidado, veio e comeu. E dali em diante, sempre que notava que a comida estava pronta nas trincheiras alemãs, vinha e se juntava a nós.

August Bader, *Bibliothek für Zeitgeschichte, Stuttgart*

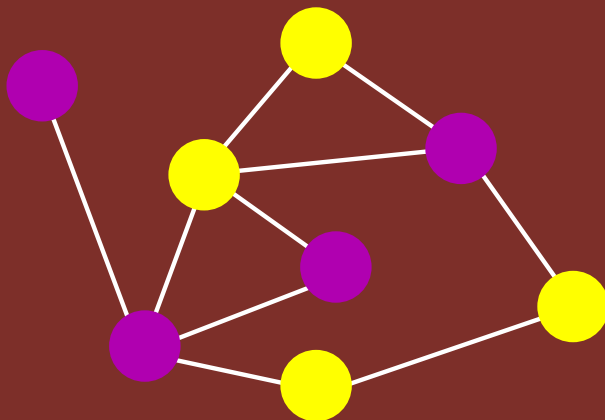
Viva e Deixe Viver (Live and Let Live)



Recebemos a seguinte mensagem, amarrada a uma pedra, da trincheira alemã oposta à nossa: 'Vamos mandar um *40-pounder*. Fomos ordenados a fazer assim, mas não queremos. Vai acontecer esta noite, e vamos assoprar um apito antes para avisá-los para que tenham tempo de se esconder.' Tudo aconteceu como eles disseram.

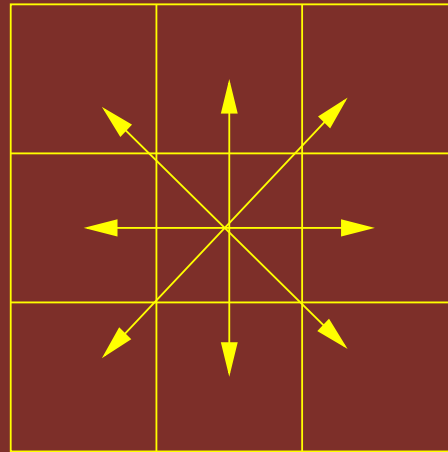
Regimental War Diary, the Fifth Leicestershire

**Vizinhança fixa
(estrutura espacial)
é importante!**

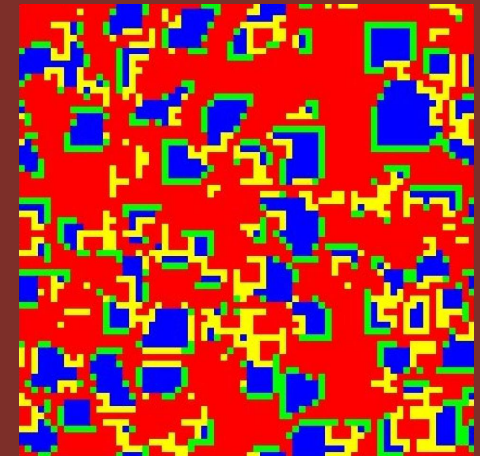
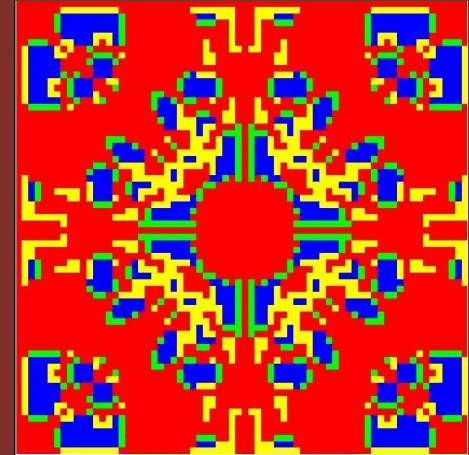


Estratégias puras (simples): cooperar sempre ou nunca cooperar (0-memória).

- Combate e reprodução:



- Existe um intervalo dos parâmetros do jogo onde tanto os grupos de **Cs** quanto de **Ds** crescem: caos espacial.
- Porém, a densidade de cooperadores se mantém aproximadamente constante: coexistência



Diluted Spatial Games

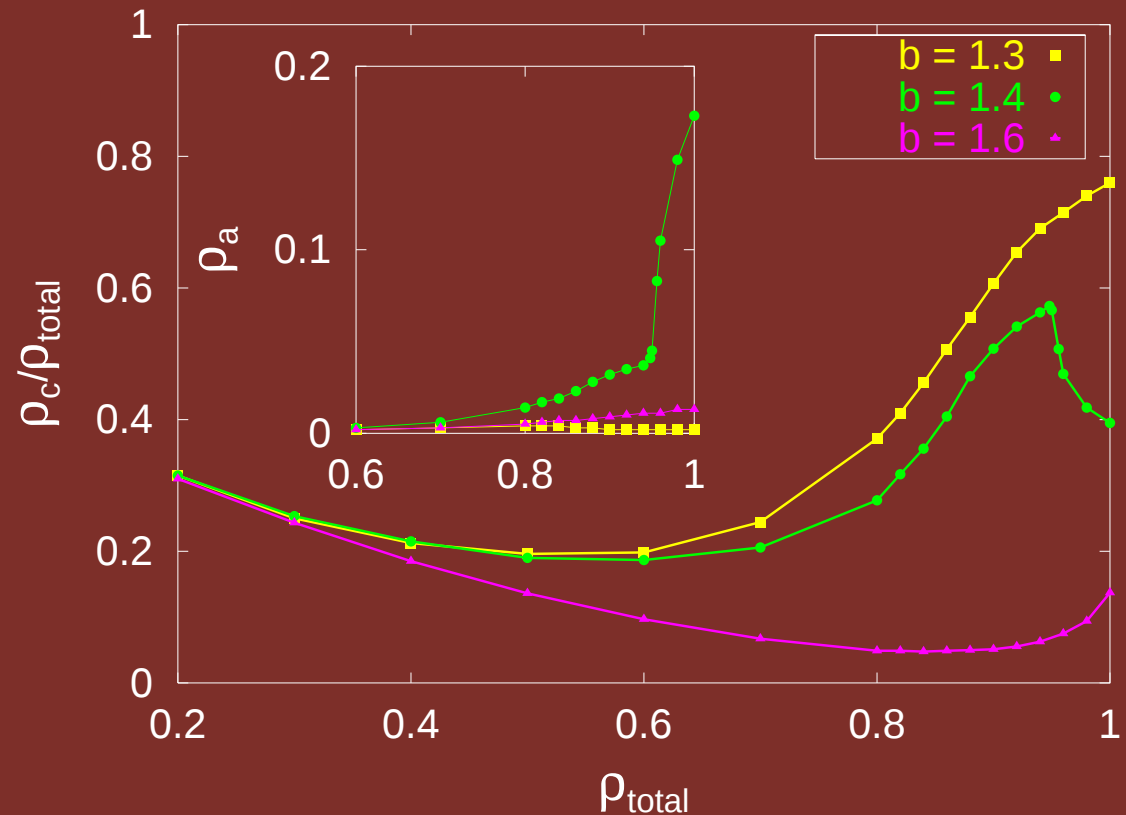
Vainstein and JJA, PRE 64 (2001) 051905

- Is cooperation robust in the presence of **heterogeneous spatial environments** (non uniform landscapes, fluctuating contact number, etc)?

Strategies: **C** and **D**

	C	D
C	1	0
D	b	0

Quenched dilution



- **Optimal cooperation** occurs for **weak disorder**: irregular landscapes may enhance cooperation by introducing natural defenses against invasions of defectors (pinning of spatial waves).

Questions

General:

- What are the minimum conditions under which cooperative behavior might emerge and be sustained?

Specific:

- Once the population is spatially structured, what are the effects of mobility? Does it increase or decrease cooperation? Do we need any behaviorally complex strategy?

Questions

General:

- What are the minimum conditions under which cooperative behavior might emerge and be sustained?

Specific:

- Once the population is spatially structured, what are the effects of mobility? Does it increase or decrease cooperation? Do we need any behaviorally complex strategy?

Mobility:

- helps to avoid retaliation and abuse by moving away;
- increases the range of interaction (random mixing);
- increases cluster evaporation;
- decreases (local) competition for resources.

Questions

General:

- What are the minimum conditions under which cooperative behavior might emerge and be sustained?

Specific:

- Once the population is spatially structured, what are the effects of mobility? Does it increase or decrease cooperation? Do we need any behaviorally complex strategy?

Mobility:

- helps to avoid retaliation and abuse by moving away;
- increases the range of interaction (random mixing);
- increases cluster evaporation;
- decreases (local) competition for resources.

no clear
trend...

Questions

General:

- What are the minimum conditions under which cooperative behavior might emerge and be sustained?

Specific:

- Once the population is spatially structured, what are the effects of mobility? Does it increase or decrease cooperation? Do we need any behaviorally complex strategy?

Mobility:

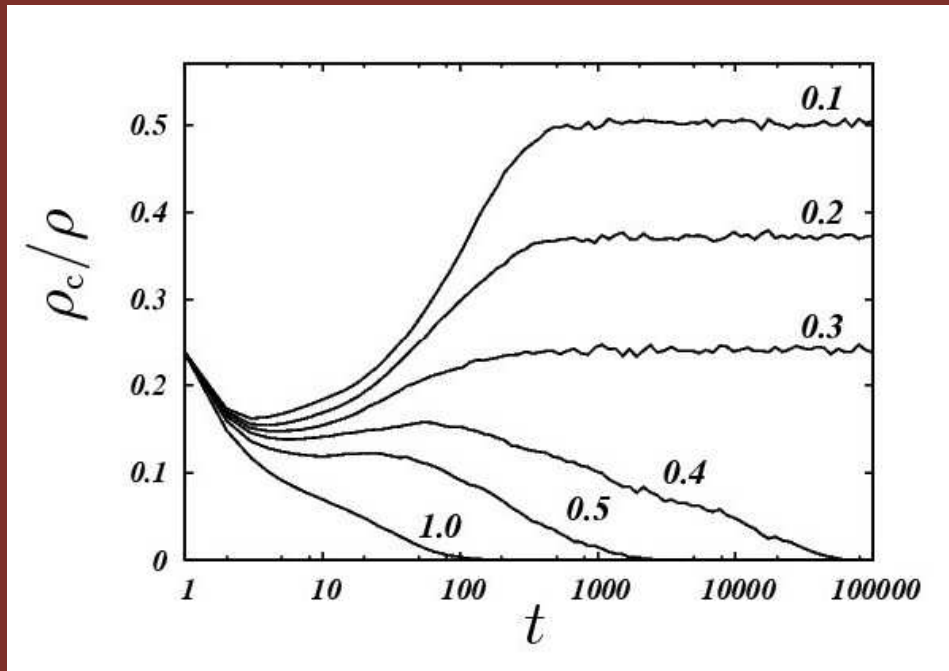
- helps to avoid retaliation and abuse by moving away;
- increases the range of interaction (random mixing);
- increases cluster evaporation;
- decreases (local) competition for resources.

no clear
trend...

We consider the **simplest** setting: random diffusion of simple, memoryless, unconditional, non-retaliating, strategy-pure agents (allC and allD).

Random Diffusion

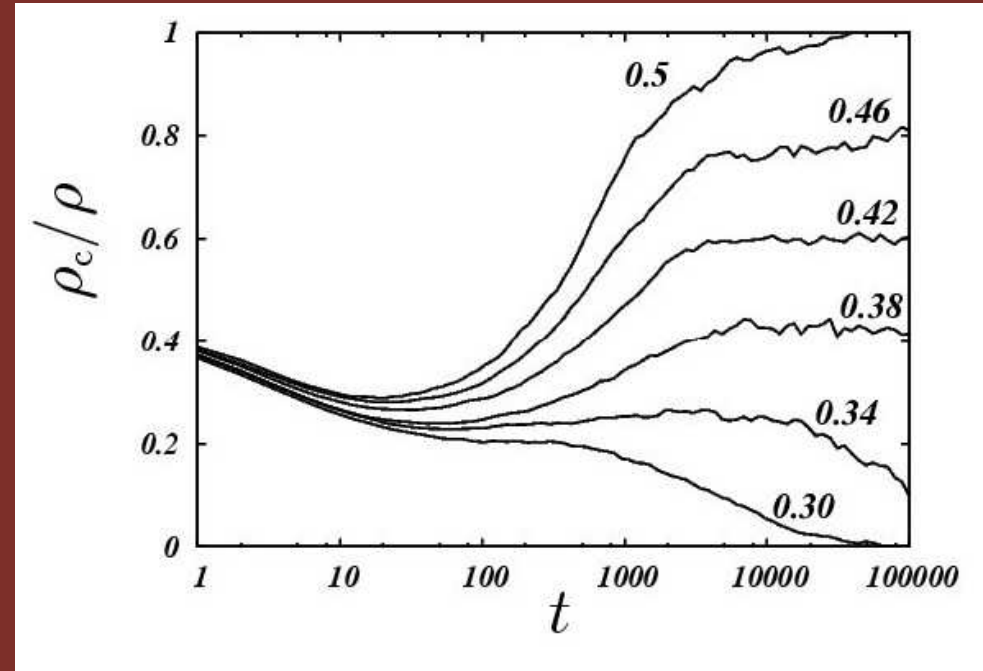
Vainstein, Silva and JJA, J. Theor. Biol. 244 (2007) 722



COD

Combat-Offspring-Diffusion

$$\rho = 0.7$$

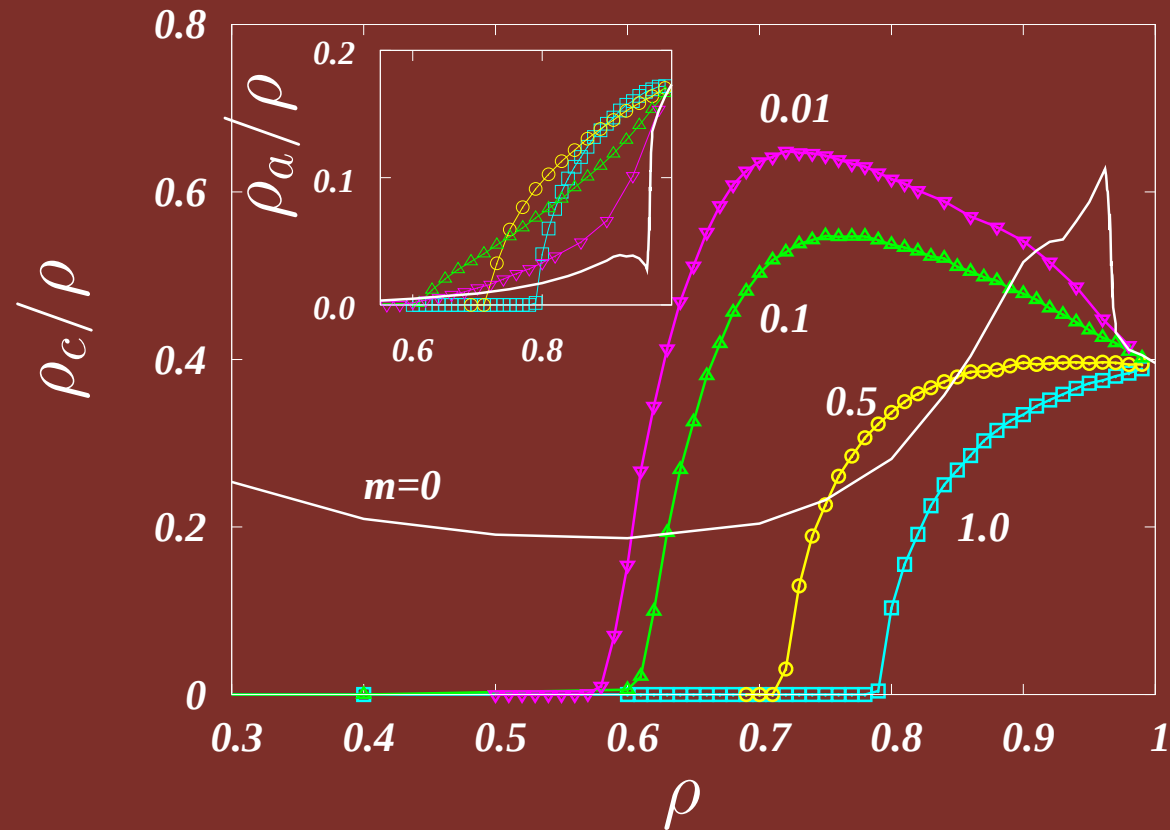


CDO

Combat-Diffusion-Offspring

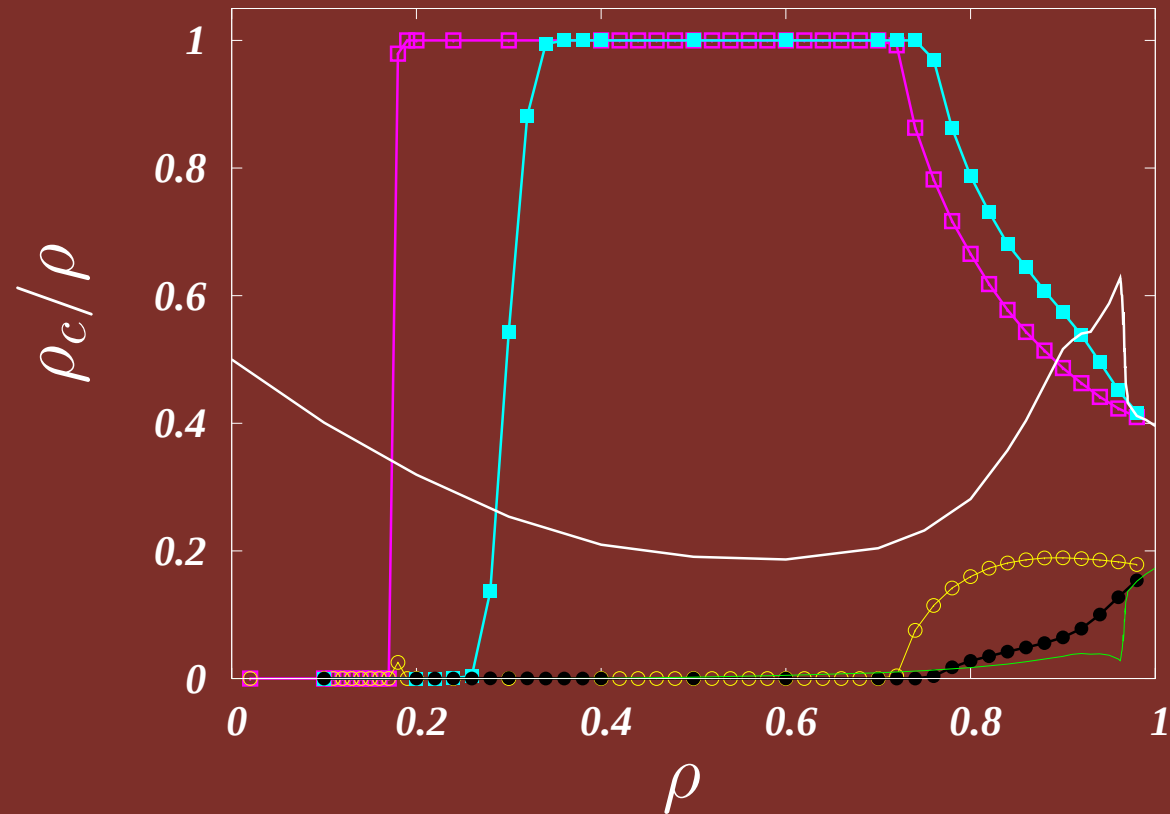
$$\rho = 0.24$$

Random Diffusion (COD)



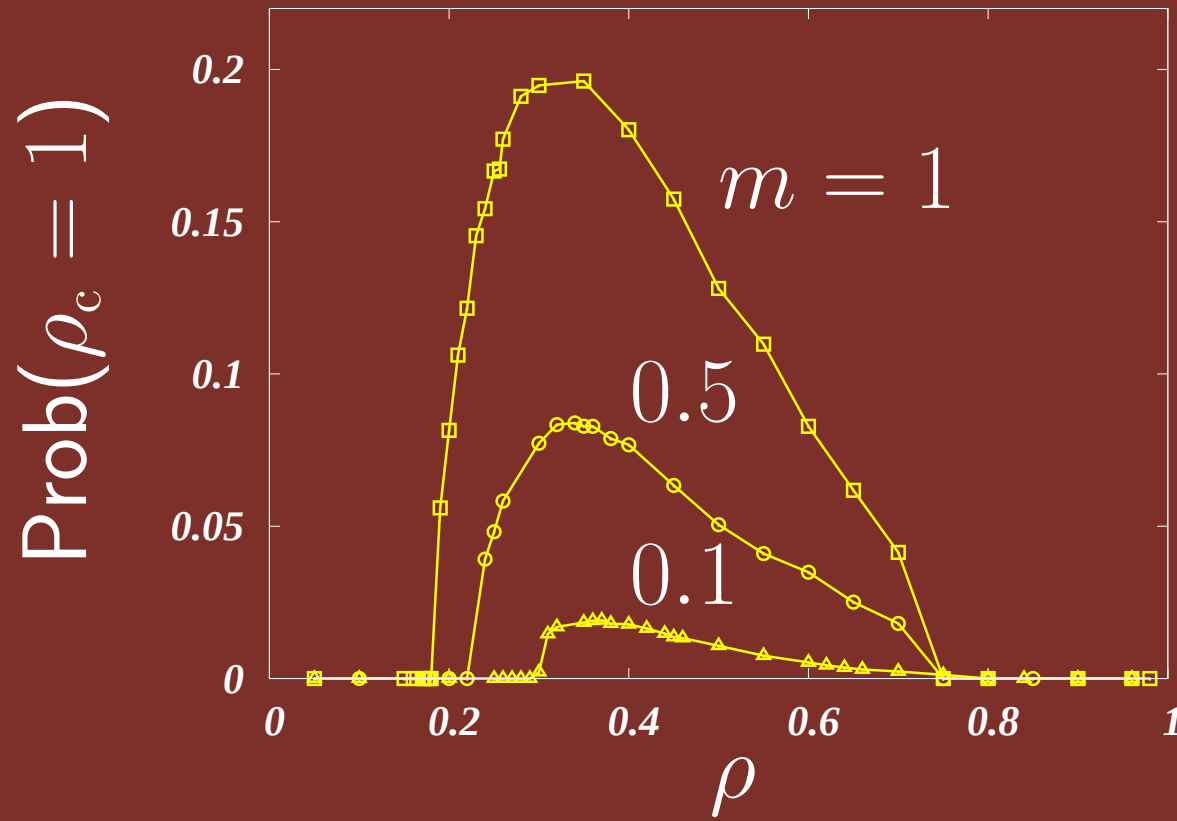
- The $m = 1$ case is always below the $m = 0$ one.
- Broad range of densities where mobility improves cooperation!
- The behavior is different for $m = 0$ and 0^+
- Mobility destroys cooperation for small densities.

Random Diffusion (CDO)



- cooperator free, defector free and mixed phases
- mobility enhances cooperation for intermediate densities

Fixation probability



Initial patch of two cooperators: mobility may enhance the fixation of cooperative behavior.

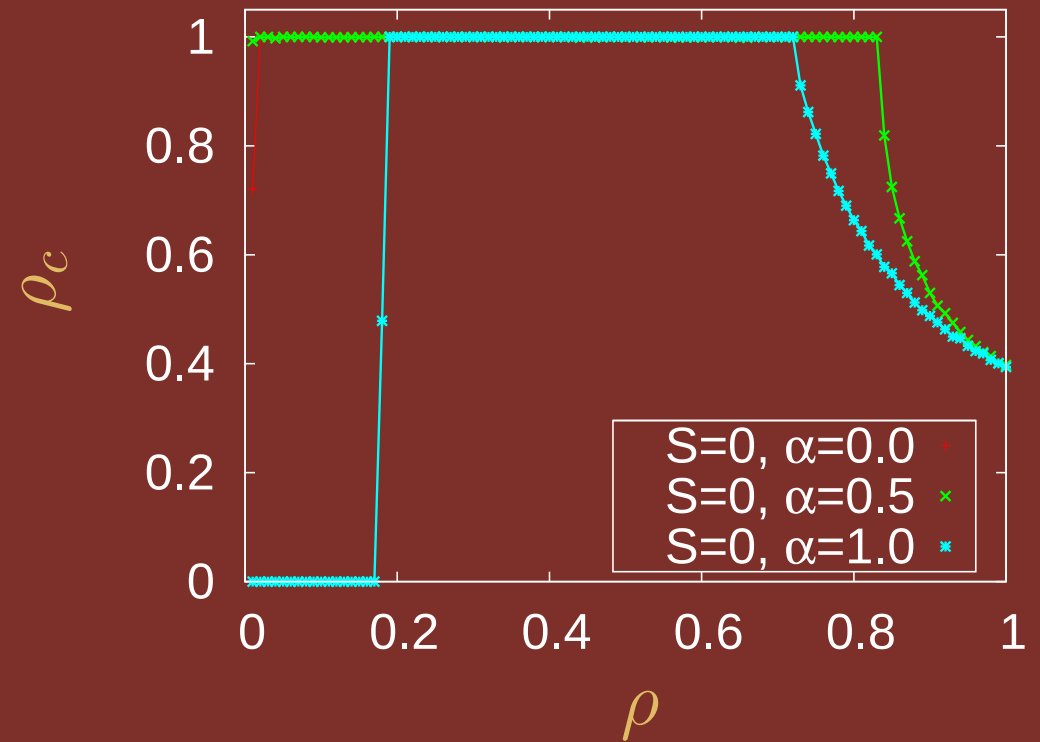
Non random diffusion

Vainstein, JJA, Sicardi and Fort, *in preparation*



Random diffusion may evolve to:

- biologically oriented diffusion
- coordinate movement



Conclusões

- Memoryless agents, with pure, unconditional and non-retaliating strategies, diffusing with a simple “**always-move**” rule on a regular lattice.
- Under these conditions, cooperation is **possible, robust** and sometimes **enhanced** when compared to the strongly viscous case.
- Mobility allows cooperators to invade a population of defectors and may have a fundamental role on the onset of cooperation.
- Once incorporated within a population, mobility may evolve to more contingent forms, perhaps under the control of the agents, and be strategy, payoff, partner, etc, dependent.
- Such non random rules may also be important for the development of cooperative swarming, relevant for evolving higher levels of biological organization.

Nash Equilibrium and ESS

Nash equilibrium presumes that:

- players are aware of the structure of the game;
- are consciously attempting to maximize their payoffs;
- are attempting to predict the moves of their opponents;
- all of this is common knowledge between the players

Evolutionarily stable strategies presumes that:

- players are individuals with biologically encoded, heritable strategies,
- with no control over the strategy they play and need not even be capable of being aware of the game.

A strategy is an ESS if it is uninvadable by another strategy.

O Dilema do Prisioneiro

O dilema do prisioneiro permite estudar as relações de conflito e cooperação entre elementos (que podem ser vírus, humanos, batalhões, nações, etc).

- Dois prisioneiros são mantidos em celas separadas, acusados de cometer, juntos, um determinado crime.
- Cada um recebe as seguintes opções:
 - ◆ se ambos confessam, a pena será leve (2 anos)
 - ◆ se um confessa e o outro não, o primeiro é liberado e o outro pega pena máxima (10 anos)
 - ◆ se ambos não confessam, não podem ser condenados pelo crime e passam somente alguns dias na prisão



1972 Art Spiegelman

Qualquer que seja a estratégia adotada por um dos prisioneiros, para o outro é sempre melhor traí-lo!

Cada elemento de uma gangue... não é tão sedento por recompensas ... quanto temeroso de uma traição. Ele trai antes, e de forma egoísta, para não ser traído.

E. Alan Poe, *The Mystery of Marie Rogét*