
Dilema do Prisioneiro Iterado e Estratégia Evolucionariamente Estável: Uma abordagem econômica

Helberte França Almeida¹

Lucas Alves Chacha²

Resumo: As Estratégias Evolucionariamente Estáveis (EEE) têm por objetivo analisar a seleção natural Darwiniana. No entanto, pode-se estender suas aplicações a problemas de ordem econômica. Uma estratégia é dita evolucionariamente estável se, uma vez adotada por todos os membros da população, uma pequena fração de indivíduos denominada de mutantes, não conseguem invadir a estratégia usada pela maioria dos indivíduos da população. Definido o conceito de EEE, este artigo pretende explorar os resultados obtidos pela interação de diversas estratégias em ambientes específicos, criados em *Matlab*, e verificar qual ou quais estratégias podem ser consideradas EEE's. Os resultados obtidos neste artigo mostram que as estratégias estáveis são aquelas que utilizam-se de cooperação, mas punem as estratégias que não cooperam.

Palavras-chave: Dilema do Prisioneiro Iterado, Estratégias Evolucionárias Estáveis; Teoria dos Jogos.

¹ Doutorando em economia pela UFSC. E-mail: helberte_cvo@yahoo.com.br

² Mestre em economia pela UFSC. E-mail: lucasaxa@hotmail.com

Iterated Prisoner's Dilemma and evolutionary stable strategy: An economic approach

Abstract: The evolutionary stable strategy (ESS) aims to analyze Darwinian natural selection. However, it can be extended to analyze problems of economic order. An evolutionary strategy is said to be stable if, once adopted by all members of the population, a small fraction of individuals, known mutants, fail to invade the strategy used by most individuals of the population. Defined the concept of ESS, this article aims to explore the results obtained by the interaction of various strategies in specific environments, created in Matlab, and check which of strategies can be considered ESSs. The results achieved in this paper shows that the stable strategies are those that make use of cooperation but punish uncooperative strategies.

Key-words: Iterated Prisoner's Dilemma (IPD); Evolutionary Stable Strategy (ESS); Game Theory.

JEL:Do3

Introdução

O conceito de jogos evolucionários foi desenvolvido por biólogos, especialmente John Maynard Smith (1973), como uma formalização da evolução via seleção natural. Smith utilizou de ferramentas matemáticas e arcabouço da teoria dos jogos para explicar e prever o comportamento evolucionário. Neste contexto, mostrou que a afirmativa de que a seleção inevitavelmente favorece os organismos para atuar agressivamente não é verdadeira. Assim, seleção pode atuar a favor do comportamento agressivo e não agressivo (Taylor, 1978).

Em um jogo evolucionário, cada indivíduo escolhe uma ação alternativa ou comportamento no qual o *payoff* ou aptidão depende da escolha dos outros. Assim, a distribuição de comportamento observado em uma população evolui e as estratégias com maior aptidão tornam-se prevaletentes. Para o caso de comportamento de organismos, a interação em um ambiente onde a situação é geneticamente determinada, a estratégia pode ser identificada como configuração de genes.

Nesse contexto, as interações biológicas são utilizadas para descrever o equilíbrio evolucionário da população e analisar se a população está em uma Estratégia Evolucionária Estável (EEE). Uma EEE é uma estratégia, se uma vez adotada por todos os membros da população, esta não pode ser invadida por um mutante através da seleção natural.

Se uma determinada estratégia é uma EEE praticada por vários indivíduos em um determinado meio comum, esta pode impedir a entrada de outra estratégia invasora. Isso acontece mesmo que, isoladamente, um indivíduo que pratica uma estratégia invasora tenha vantagem sobre um indivíduo praticando a EEE. Fazendo uma analogia com a biologia, mesmo que um indivíduo tenha melhores aptidões individuais frente a outro, esta estratégia não é superior quando leva em consideração o meio em que o outro indivíduo vive.

Em economia, existem mercados onde determinados agentes econômicos interagem utilizando-se de estratégias particulares. Um bom exemplo econômico para interações estratégicas de diferentes agentes em um mercado é uma guerra de preço entre as empresas. Ambientes onde a competição é mais agressiva, empresas que optarem por uma política de preços altos podem ser excluídas do meio, assim como um ambiente oligopolista pode estar equilibrado em um nível de preços menos agressivo entre os agentes, podendo beneficiar ou punir outras empresas que entrem neste mercado com estratégias diferentes.

Assim, o objetivo deste artigo é criar algumas estratégias e analisar quais são EEE através de simulação computacional. Os resultados pretendidos são genéricos, não tendo a pretensão de analisar as estratégias econômicas, biológicas ou de qualquer outro campo do conhecimento específico.

O presente artigo está dividido em 4 seções, contando com a presente introdução. Na segunda seção, apresenta-se o referencial teórico a ser abordado neste estudo. A seção 3 traz a metodologia utilizada no artigo, bem como uma exposição das estratégias usadas. A seção 4 apresenta e discorre sobre os resultados obtidos. Por fim a seção 5 apresenta a conclusão deste artigo.

2. Referencial Teórico

2.1 Um breve Resumo de Teoria dos Jogos

Teoria dos jogos é uma linha de pesquisa amplamente utilizada em economia e outras áreas de estudos. Ao longo dos anos, diversos autores deram a sua contribuição para formalizar esta teoria.

O primeiro autor a contribuir com elementos importantes em um ambiente de jogos foi Antoine Augustin Cournot (1801 - 1877), ao publicar o seu livro *Recherches Sur Les Principes Mathématiques de la Theorie des Richesses* (1838). Outra contribuição da teoria dos jogos foi dada por Ferdinand Zermelo (1871 - 1953). Este mostrou que o jogo de xadrez sempre apresenta solução. Para provar este resultado, o autor utiliza-se do método de solução conhecido por indução reversa (Fiani, 2011).

Um autor de suma importância para a formalização da teoria dos jogos é John Von Neumann. Este em co-autoria com Oskar Morgenstern escreveram o livro *The Theory of Games and Economic Behavior*. Neste livro, os autores apresentam a solução para jogos de soma zero e também define a representação dos jogos em forma extensiva, isto é, jogos em que são identificadas as decisões de cada jogador em cada estágio do jogo. Todavia, tal obra apresenta uma grande limitação ao abordar somente jogos de soma zero (Fiani, 2011).

Neste contexto, John Forbes Nash (1951) solucionou este problema ao apresentar a noção de equilíbrio para jogos que não se restringe aos modelos de jogos de soma zero. Assim, emerge o conceito de equilíbrio de Nash. O equilíbrio de Nash é uma combinação de estratégias para os jogadores de um jogo, de tal modo que a estratégia de cada jogador é a melhor resposta para a estratégia dos outros jogadores. Uma melhor resposta é a estratégia que maximiza um *payoff* esperado do jogador contra uma estratégia jogada por outro jogador. Cabe ressaltar que a introdução do equilíbrio de Nash possibilitou estudar um amplo ramo de jogos (Fiani 2011).

O Dilema do Prisioneiro é um dos mais famosos exemplos de aplicação de teoria dos jogos. Proposto por Melvin Dresher e Albert Tucker (1950), o jogo, resumidamente, propõe uma situação em que dois jogadores devem escolher entre cooperar e não cooperar de forma simultânea. Se ambos jogadores cooperam, *payoff* é bom para os dois jogadores e tem valor B, se os dois não cooperam o *payoff* para ambos tem valor C e se os jogadores tomam decisões diferentes, aquele que coopera tem resultado D e o que não coopera tem resultado A. De maneira que $A > B > C > D$, conforme:

TABELA 1: DILEMA DOS PRISIONEIROS

Jogador 1	Jogador 2	
	coopera	não coopera
coopera	B,B	D,A
não coopera	A,D	C,C

Fonte: Elaboração Própria

O modelo de jogo acima pode ser utilizado para analisar os mais diversos problemas de tomada de decisão, sendo amplamente utilizado nas ciências econômicas. O fato é que este problema pode ser ampliado para abrigar diversos jogadores, com diversos *payoffs* diferentes, em variados tipos de ambiente, racionalidade e ordenamento da decisão.

Neste trabalho serão estudados jogos de dilema dos prisioneiros iterados (DPI). Os jogos consistem em tomadas de decisões simultâneas, entre dois jogadores aleatoriamente escolhidos, em um meio com vários outros jogadores. Cada jogador terá uma estratégia particular, ou seja, toma decisão conforme uma regra pré-estipulada, não havendo racionalidade nas decisões. O jogo é repetido por 5.000 vezes.

Esta configuração de jogo foi a mesma utilizada por Robert Axelrod (1984), quando reportou os resultados de duas competições de DPI's realizadas pelo autor. No seu trabalho, Axelrod explora, entre outros fatores, a questão dos *payoffs* de determinadas estratégias diante de várias outras estratégias. O resultado observado foi que uma simples estratégia de realizar com o adversário o que é feito com ele na jogada anterior, a estratégia olho por olho, chega a *payoffs* maiores e mais estáveis que complexos algoritmos de previsão de jogadas.

Foi somente vinte anos depois, no *Congress Of Evolutionary Computing*, onde programadores desenvolveram estratégias do tipo mestre e escravo que foi possível produzir melhores resultados que a estratégia olho por olho (Chong et. al., 2007).

Além destes resultados, verificou-se a estabilidade de estratégias iguais em um meio comum frente a estratégias invasoras. Os resultados alcançados mostraram que estratégias, mesmo que individualmente melhores, podem não ser ótimas em um meio ambiente com várias estratégias diferentes (Axelrod, 1984), ou seja, estas estratégias não podem ser consideradas evolucionariamente estáveis.

2.2 Estratégia Evolucionária Estável

Em 1973, o biólogo Smith e o matemático Price apresentaram um artigo mostrando como a teoria dos jogos pode ser aplicada para o comportamento dos animais. Para elaborar suas ideias, os autores fazem três mudanças em relação à teoria dos jogos tradicionais, a saber: o conceito de estratégia; o conceito de equilíbrio; interação entre os agentes na natureza (Smith, 1973). Estratégia: na teoria dos jogos clássicos, jogadores tem um conjunto de estratégia no qual eles escolhem uma estratégia particular. Na biologia, espécies tem um conjunto de estratégia, no qual indivíduos herdaram um ou

outro genótipo (Smith, 1973).

Equilíbrio: no lugar do equilíbrio de Nash, Smith e Price usam o conceito de Estratégia Evolucionária Estável (EEE). Uma estratégia é uma EEE se, dado que um conjunto de população usa uma determinada estratégia, esta não pode ser invadida por um pequeno grupo que usam outras estratégias, denominados de mutantes (Smith, 1973).

Interação: no lugar de repetidos games usados na Teoria dos Jogos clássica, Smith introduz o conceito de emparelhamento aleatório repetido de agente, no qual as estratégias utilizadas pelos jogadores são baseadas em seu genótipo, mas não na história do jogo. Em outras palavras, caso um jogador utilize a estratégia, sempre coopera, dada pelo seu genótipo, ele sempre utilizará esta estratégia, independente da história do jogo (Smith, 1973).

Uma vez visto que o conceito de equilíbrio empregado na teoria dos jogos tradicional não é utilizado nesta abordagem, torna-se necessário aprofundar a noção de Estratégia Evolucionária Estável empregada por Smith.

2.3 Definição de Estratégia Evolucionária Estável

Considere um jogo com dois jogadores, no qual ambos os jogadores dispõem de um conjunto de $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ estratégias puras, a recompensa esperada do jogador 1 ao jogar $S_i \in S$ é $\pi_{i,j}$ e a recompensa do jogador 2 ao jogar $S_i \in S$ é $\pi_{i,j}$. Em cada período $t = 1, 2, \dots, n$, agentes são aleatoriamente emparelhados e cada agente é do tipo i para algum $S_i \in S$, ou seja, cada jogador i aparentemente utiliza a estratégia S_i . Portanto o estado da população é $\sigma = P_1 S_1 + \dots + P_n S_n$. Note que pode existir $P_1, \dots, P_n \geq 0$ e $\sum P_i = 1$ o *payoff* para um jogador do tipo i quando o estado da população é $\sigma = P_1 S_1 + \dots + P_n S_n$, e é definido por: $\pi_{i,\sigma} = \sum \pi_{i,j} P_j$, assim, $\pi_{i,\sigma}$ o *payoff* esperado do jogador i antes de assumir um padrão particular.

No entanto, suponha que o estado da população é σ que uma pequena subpopulação de mutantes jogam uma estratégia $r = q_1 S_1 + \dots + q_n S_n$, no sentido que q_i é a frequência de estratégias puras S_i na subpopulação. Assim, define-se que o mutante é do “tipor” e sua recompensa esperada é dada por:

$$\pi_{r,\sigma} = \sum q_i \pi_{i,j} P_j$$

Neste contexto, se uma fração $\varepsilon > 0$ de agentes que apresentam a mesma estratégia é substituída por uma população de mutantes do “tipor” que utilizam outra estratégia, então o novo estado da população é:

$$\mu = (1 - \varepsilon)\sigma + \varepsilon r$$

Portanto, o *payoff* para uma escolha não mutante é:

$$\pi_{\sigma,\mu} = (1 - \varepsilon)\pi_{\sigma\sigma} + \varepsilon\pi_{\sigma r}$$

Por analogia, o *payoff* esperado para um mutante é:

$$\pi_{r,\mu} = (1 - \varepsilon)\pi_{r\sigma} + \varepsilon\pi_{rr}$$

Portanto, uma estratégia é EEE se a estratégia empregada por um grupo de população não é invadida por uma população de mutantes $\varepsilon > 0$. Em outras palavras, se a grande maioria da população utiliza determinada estratégia e esta sofre a invasão de uma estratégia mutante, pode-se afirmar que a estratégia utilizada pela maioria dos indivíduos é EEE, se esta apresentar maior aptidão que a estratégia invasora, no caso estudado, aptidão significa pontuação.

2.4 Propriedades de uma Estratégia Evolucionária Estável

As linhas que seguem irão apresentar as propriedades de uma estratégia evolucionária estável.

1) Uma estratégia é uma EEE se, para todo tipo de mutante $r \in S$, e $\varepsilon_r > 0$ tem-se:

$$\pi_{\sigma\mu} > \pi_{r\mu}$$

A primeira propriedade informa que se uma estratégia é EEE e sofre a invasão de uma população de mutantes, se a recompensa da estratégia EEE é maior que a recompensa alcançada pela população de mutantes.

2) A estratégia $S_i \in S'$ e uma estratégia EEE se e somente se, para todo mutante tipo $r \in S$, tem-se:

$$\pi_{\sigma\sigma} > \pi_{r\sigma},$$

e se $\pi_{\sigma\sigma} = \pi_{r\sigma}$, então

$$\pi_{\sigma\sigma} > \pi_{rr},$$

A segunda propriedade diz que se $S_i \in S$ é uma estratégia EEE e esta não obtém uma recompensa maior que a estratégia mutante, então mutantes quando jogam contra outros mutantes, recebem uma recompensa menor do que a recompensa obtida do jogo estratégia mutante e estratégia EEE (Friedman, 1991).

3) Uma estratégia EEE é um equilíbrio de Nash.

Esta propriedade vem da definição de equilíbrio de Nash. Uma vez que a estra-

tégia EEE é a estratégia que maximiza a recompensa da população, portanto, a estratégia EEE é a melhor estratégia que os jogadores podem usar contra a invasão de estratégias mutantes (Nowak, 2004).

4) Todo equilíbrio de Nash estrito é uma estratégia EEE.

Propriedade análoga a anterior.

Uma vez que a exposição dos conceitos teóricos a ser utilizados neste artigo foram feitas, a próxima seção deste trabalho tratará a metodologia empregada na elaboração deste estudo.

3. Metodologia

O estudo proposto é um jogo do tipo dilema dos prisioneiros repetido. Em tal jogo, dois jogadores tem quatro possibilidades de resultados mutuamente excludentes, a saber: se ambos cooperam, é denominado de A, se ambos jogadores não cooperam, é denominado de B, se jogador 1 coopera e jogador 2 não coopera, é denominado de C, e, por fim, se jogador 1 não coopera e jogador 2 coopera, é denominado de D. No estudo proposto, adotou-se que a recompensa da combinação A é de 3 pontos para cada jogador quando esta ocorre. Quando ocorrer a combinação B, cada jogador irá receber 1 ponto. Na ocorrência da combinação C, o jogador 1 recebe 0 ponto e o jogador 2 irá receber 4 pontos. O raciocínio contrário é válido para a combinação D. Portanto, observa-se que a estratégia não cooperar domina a estratégia cooperação. No entanto, como o jogo é do tipo dilema dos prisioneiros iterados, existe a possibilidade do surgimento da cooperação. Adotar-se-á que em cada teste terá 5.000 rodadas

TABELA 2: MATRIZ DE *PAYOFFS*

Jogador 1	Jogador 2	
	coopera	não coopera
coopera	A(3,3)	C(0,4)
não coopera	D(4,0)	B(1,1)

Fonte: Elaboração Própria

O objetivo deste estudo é verificar qual ou quais estratégias são estratégias EEE. Para alcançar o objetivo proposto, utiliza-se de 10 distintas estratégias, genótipos. Os testes propostos foram realizados utilizando o software *Matlab*.

A população total adotada em cada teste foi de 100 indivíduos, os quais foram

divididos na seguinte forma: agentes dominantes da população correspondem a 90% dos indivíduos e os invasores, mutantes, correspondem a 10% dos agentes em cada teste. Ou seja, em cada teste realizado, a população de indivíduos dominantes é de 90 agentes e são 10 os indivíduos mutantes em cada teste.

Como informado anteriormente, utilizar-se-ão 10 distintas estratégias. Como todas as estratégias são testadas uma contra todas as outras, de forma individual, no final do estudo, serão obtidos 90 testes.

4. Estratégias Utilizadas

Serão adotadas 10 estratégias distintas, genótipos, neste estudo. Nas linhas abaixo, segue a apresentação das estratégias, bem como as características específicas de cada estratégia de um ponto de vista econômico.

Nunca Cooperar: Independente do que a empresa oponente faça, o indivíduo que herda este genótipo nunca irá cooperar. Esta estratégia pode ser associada ao ambiente onde as empresas nunca cooperam. Cooperar pode ser entendido como cartéis, inovação, marketing. Esta estratégia irá obter um alto *payoff* contra estratégias que adotam com elevada frequência a estratégia cooperar. No entanto, quando ambas as empresas utilizarem esta estratégia de forma simultânea, a recompensa obtida será baixa.

Sempre Cooperar: Independente do que o oponente faça, a empresa que adota e nasce com este genótipo, sempre irá usar a estratégia de cooperar. Ao contrário da estratégia anterior, as empresas que possuem esta estratégia sempre irão contribuir com as empresas oponentes. Contribuição também pode ser lida com as mesmas características de cooperar da estratégia anterior. A vantagem desta estratégia é que ela terá uma alta recompensa quando as empresas adotarem esta estratégia de forma simultânea. Todavia seu *payoff* será menor sempre que as empresas que sempre cooperam jogarem com empresas que adotam a estratégia não cooperar com alta frequência.

Olho por olho: Estratégia que na primeira rodada coopera e nas rodadas seguintes irá adotar a estratégia que a empresa oponente realizou na rodada anterior. As empresas que adotam esta estratégia utilizam-se de cooperação, mas punem as empresas que não cooperam. A estratégia olho por olho é uma estratégia que obtém alto sucesso no ambiente do dilema dos prisioneiros integrados. Contudo, esta estratégia não obterá muito sucesso se algumas premissas não se aplicarem, entre estas premissas, cita-se: custo de complexidade da estratégia utilizada pelo oponente e probabilidade de erro nas jogadas (Coll, 1988).

Grim ou Rancorosa: Estratégia que adota a cooperação na primeira rodada e caso a empresa oponente não coopera em alguma rodada, a empresa

que adota a estratégia rancorosa nunca mais irá cooperar a partir da rodada seguinte da não cooperação. Exemplificando para o ambiente econômico, seriam empresas que se utilizam de cartéis para formação de preços, mas caso alguma empresa desvia do cartel, as demais empresas nunca mais entrarão em cartéis. Espera-se que esta estratégia consiga um alto *payoff* entre a população de jogadores que jogam esta estratégia entre si. No entanto, tal estratégia não permite erros de não cooperação, o que pode vir a prejudicar sua recompensa total.

Mestre: Empresas mestres são aquelas empresas líderes em seu seguimento de produção. Tem por característica cooperar com as outras empresas líderes de outros seguimentos. No entanto, caso a empresa oponente não seja outra mestre, ela não irá cooperar. Espera-se que esta estratégia consiga uma alta recompensa quando for utilizada de forma simultânea por duas empresas que são mestre.

Escravo: As empresas que adotam esta estratégia irão cooperar quando as duas empresas forem escravas e irá permitir ser escravizada quando jogar contra uma empresa mestre. Para as demais estratégias, ela irá adotar a estratégia de não cooperar em todas as rodadas. Tal estratégia permitirá a invasão do agente, mutante, mestre. Para as demais estratégias, espera-se que ela não sofra invasão. Fazendo uma analogia com o cenário econômico, tal estratégia pode ser comparada com as empresas que são filiais de empresas matrizes e seu maior objetivo é favorecer a empresa matriz.

Cooperar em 1% das vezes: Esta estratégia, genótipo, irá adotar a não cooperação em 99% das rodadas. Espera-se que seu resultado seja bastante semelhante à estratégia Nunca Cooperar.

Cooperar em 5% das vezes: Estratégia que adota um nível de cooperação acima da anterior. Espera-se que esta estratégia obtenha uma alta recompensa quando jogar contra empresas que cooperam com alta frequência. No entanto, seu *payoff* será reduzido quando ambas as empresas jogar esta estratégia de forma simultânea, o que pode vir a prejudicar a sua estabilidade.

Cooperar em 10% das vezes: Estratégia que adota um nível de não cooperação em 90% das vezes. Assim, seu nível de não cooperação é alto. Desta forma, obterá um alto ganho quando jogar contra empresas que jogam cooperar com alta frequência e baixa recompensa quando ambas as empresas utilizarem esta estratégia de maneira simultânea.

Cooperar em 20% das vezes: Estratégia que adota um nível de cooperação reduzido, 20% das vezes, porém, acima das três últimas estratégias apresentadas. O interessante para esta estratégia é ver o seu comportamento quando jogar contra as empresas que utilizam a estratégia olho por olho. Ainda, espera-se que Cooperar em 20% das vezes não seja uma estratégia EEE, pois seu *payoff* quando utilizado contra outras empresas que adotam esta estratégia

de maneira simultânea é baixo.

A próxima seção irá apresentar os resultados de estabilidade evolucionária de cada estratégia, bem como discorrer sobre os resultados.

5. Resultados

Como forma de avaliar a hipótese de quais estratégias são EEE, foram realizadas nove simulações para cada estratégia. Em cada simulação, a população da estratégia usada é formada por 90% dos agentes, 90 indivíduos, e a estratégia invasora, mutante, terá 10% dos indivíduos, 10 agentes. Como informado anteriormente, cada estratégia será avaliada em relação às outras estratégias e será considerado que uma estratégia é EEE se, e somente se, a estratégia analisada no fim das 5.000 rodadas realizadas em cada teste, conseguir pontuação maior ou igual à obtida pela estratégia mutante. A seguir apresentam-se os resultados para cada estratégia.

Nunca Cooperar: A estratégia Nunca Cooperar não é uma estratégia EEE, isto ocorre porque esta sofre a invasão das estratégias Olho por olho, Grim, Mestre e Escravo. A explicação para este acontecimento é que as estratégias invasoras cooperam entre si, desta forma, o *payoff* obtido entre os 10% dos agentes mutantes é responsável por estas estratégias invadir o genótipo Nunca Cooperar. A maior pontuação obtida pela estratégia Nunca Cooperar é quando esta sofre a invasão da Sempre Cooperar, assim, a estratégia Nunca Cooperar passa a explorá-la. Todavia a ideia de um agente sempre cooperar independente do que seu adversário faça é bastante irreal.

Sempre Cooperar: A estratégia Sempre Cooperar não é uma estratégia EEE, observa-se que esta sofre a invasão das estratégias Nunca Cooperar, Mestre, Escravo, Cooperar em 1%, 5%, 10% e 20% das vezes. Portanto, esta estratégia não sofre a invasão das estratégias Olho por olho e Grim. A exemplificação para este acontecimento é que as estratégias mutantes que consegue invadir a Nunca Cooperar exploram o seu genótipo enquanto que Olho por olho e Grim utilizam-se de cooperação em todas as 5.000 rodadas.

Olho por olho: Ao analisar os resultados alcançados pela estratégia Olho por olho, pode-se afirmar que esta estratégia é uma EEE, isto ocorre porque a estratégia não sofre invasão de estratégias mutantes. No entanto, ao analisar o resultado obtido por esta estratégia quando comparado com as estratégias Sempre Cooperar e Grim, observa-se que a pontuação obtida é igual, isto porque estas estratégias utilizam-se da cooperação mútua nas 5.000 rodadas. A menor pontuação da estratégia invasora foi da estratégia Nunca Cooperar.

Grim: A partir dos resultados obtidos pela estratégia Grim, pode-se afirmar

que esta estratégia é uma EEE, portanto, esta estratégia não sofre invasão de estratégias mutantes. Esta estratégia repete o comportamento da estratégia Olho por Olho ao empatar em pontuação com os genótipos Sempre Cooperar e Olho por olho, a mesma explicação para a ocorrência deste acontecimento na estratégia Olho por olho é validada aqui. Um fato interessante observado nesta estratégia é que as estratégias Cooperar em 1%, 5%, 10% e 20% das vezes aparecem com resultados bastante semelhantes. A explicação para esta ocorrência é que a estratégia Grim passa a utilizar-se de não cooperação em todas as rodadas independente que seu oponente faça a partir da rodada que seu oponente jogar não cooperar.

Mestre: Ao avaliar os resultados alcançados pela estratégia Mestre, observa-se que esta é uma estratégia EEE, assim, está não sofre invasão de genótipos mutantes. Com relação a pontuação obtida por esta estratégia, observa-se que o resultado obtido pelas estratégias Sempre Cooperar e Escravo são iguais, a explicação para este fato é que nas 5.000 rodadas estas estratégias jogam cooperação e a estratégia Mestre utiliza-se de não cooperar em todas as rodadas.

Escravo: A estratégia Escravo não é uma EEE, como esperado ela sofre a invasão da estratégia Mestre. No entanto, para as outras estratégias invasoras, a estratégia Escravo apresenta estabilidade, isto é, não sofre invasão.

Cooperar em 1% das vezes: A estratégia Cooperar em 1% das vezes não é uma estratégia EEE, uma vez que esta sofre a invasão dos genótipos Nunca Cooperar, Olho por olho, Grim, Mestre, Escravo. Como observado na descrição das estratégias, o resultado obtido por esta estratégia é bastante semelhante ao da estratégia Nunca coopera. Todavia, esta consegue invadir a estratégia Cooperar em 1% das vezes por uma pequena diferença.

Cooperar em 5% das vezes: A estratégia Cooperar em 5% das vezes não é uma estratégia EEE, esta sofre a invasão das estratégias Nunca coopera, Olho por olho, Grim, Mestre, Escravo e Cooperar em 1% das vezes. Com relação a pontuação, observa-se que o genótipo Cooperar em 5% das vezes consegue obter um alto *payoff* quando esta sofre a invasão da estratégia Sempre Cooperar.

Cooperar em 10% das vezes: A estratégia Cooperar em 10% das vezes não é uma estratégia EEE, observa-se que esta sofre a invasão dos genótipos Nunca Cooperar, Olho por olho, Grim, Mestre, Escravo, Cooperar em 1% das vezes e Cooperar em 5% das vezes. A maior pontuação desta estratégia é quando ela sofre a invasão da estratégia Sempre Cooperar.

Cooperar em 20% das vezes: A estratégia Cooperar em 20% das vezes não é uma estratégia EEE, esta sofre a invasão de todas as estratégias mutantes, exceto a estratégia Sempre Cooperar. Portanto, esta foi a estratégia que apresentou o pior resultado de estabilidade. Ao avaliar a pontuação do genótipo analisado quando sofre a invasão da estratégia Olho por olho, pode-se afirmar que esta é a segunda maior pontuação da estratégia Cooperar em 20% das

vezes, perdendo apenas para a pontuação obtida quando esta sofre a invasão da estratégia mutante Sempre Cooperar.

Ao analisar o comportamento das estratégias de uma forma geral, pode-se afirmar que os genótipos que são EEE são aqueles que adotam a cooperação entre os membros de mesmo genótipo e punem as não cooperação dos invasores.

Considerações Finais

Teoria dos jogos tem sido aplicado em biologia como um método para estudar a evolução das espécies. No jogo evolucionário, os *payoffs* dos jogos são identificados como aptidão Darwiniana e a racionalidade dos indivíduos é substituída por estabilidade evolucionária. O objetivo deste estudo era avaliar qual ou quais estratégias são EEE.

O presente trabalho foi estruturado na seguinte forma: na segunda seção apresentou um breve resumo da teoria dos jogos, bem como a literatura de estratégias evolucionárias. A terceira seção mostrou a metodologia do estudo e discorreu sobre as características de cada estratégia utilizada. A quarta seção apresenta os resultados alcançados neste trabalho.

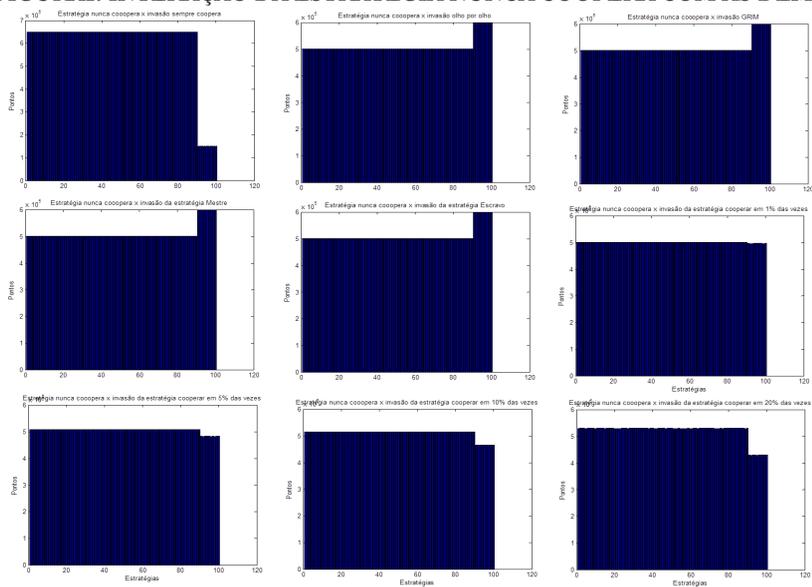
No que diz respeito aos resultados, observa-se que apenas três estratégias são EEE, a saber: Olho por olho, Gim e Mestre. A característica comum destas estratégias apresentadas é que ambas cooperam entre si e punem a não cooperação dos mutantes ou cooperam entre si e não cooperam com os genótipos invasores.

Referências Bibliográficas

- Axelrod, R.M (1984). *The Evolution Of Cooperation*, BASIC Books, NewYork.
- Chong, S.Y.; Humble, J; Kendall, G.; Li, J. ; Yao, X (2007). *The Iterated Prisoner's Dilemma: 20Years On*. M World Scientific.
- Coll, J. C. M.; Shirshleifer, J (1988). *What Strategies can Support the Evolutionary Emergency of Cooperation?* Journal of Conflict Resolution.
- Fiani, R (2010). *Teoria dos Jogos*. Campus.
- Friedman, D. (1991). *Evolutionary Games in Economics*. Econometrica.
- Nowak, M. A.; Sasaki, A.; Taylor, C.; Fudenberg, D (2004). *Emergence of Cooperation and Evolutionary Stability in Finite Populations*. Nature,
- Smith, M.; Price, G.R (2006). *Logic of Animal Conflict*. Nature.
- Taylor, P.D (1978). *Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics*. Math Biosci.

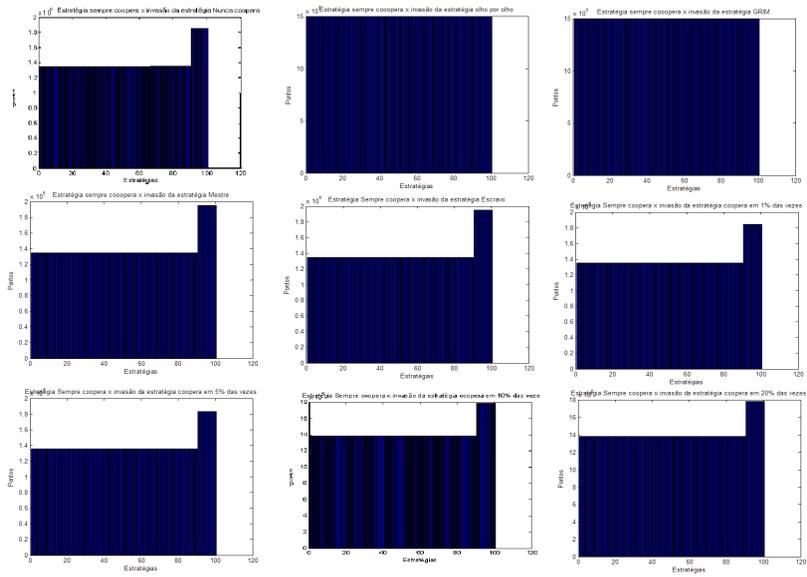
Apêndice

FIGURA1: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA NUNCA COOPERA COM AS DEMAIS



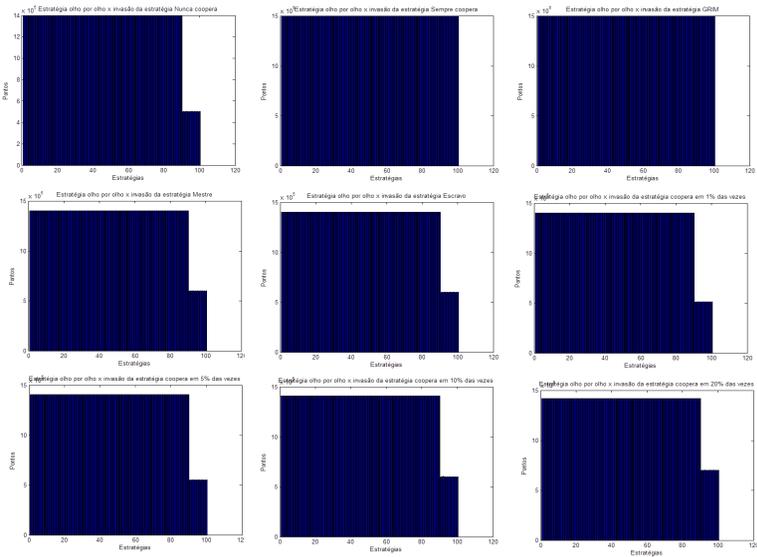
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA2: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA SEMPRE COOPERA COM AS DE-MAIS



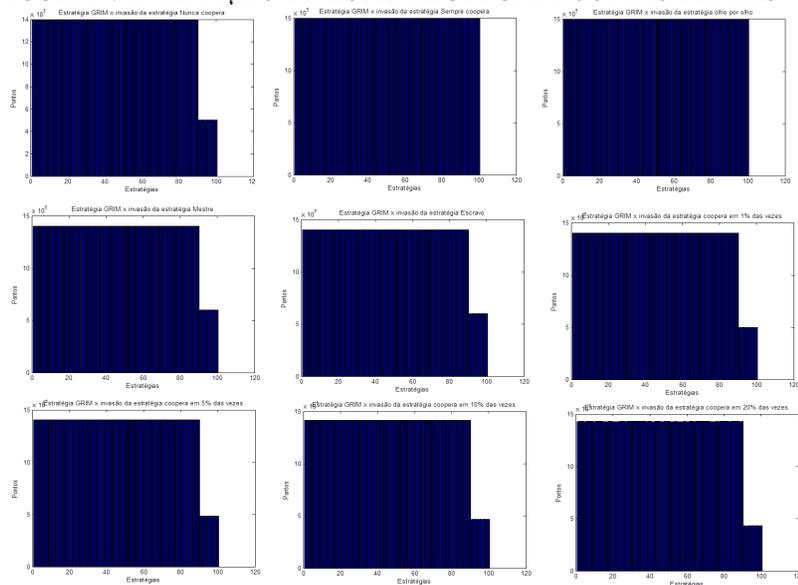
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA3: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA OLHO POR OLHO COM AS DE-MAIS



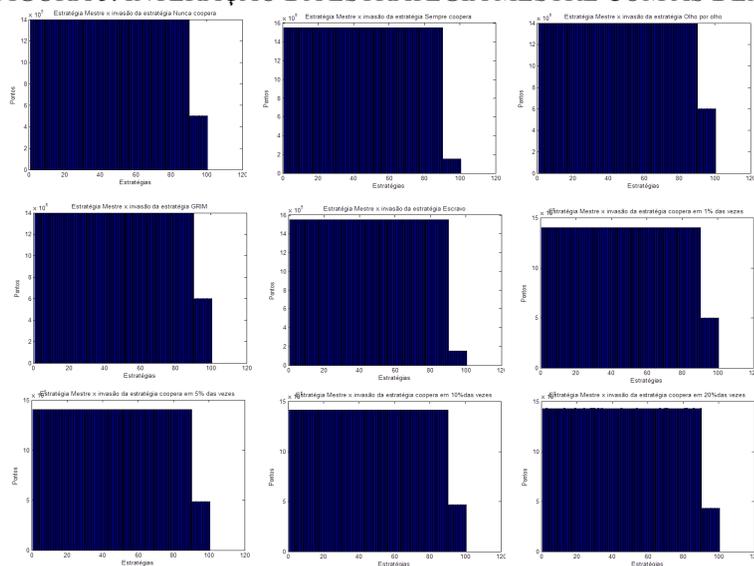
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 4: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA GRIM COM AS DEMAIS



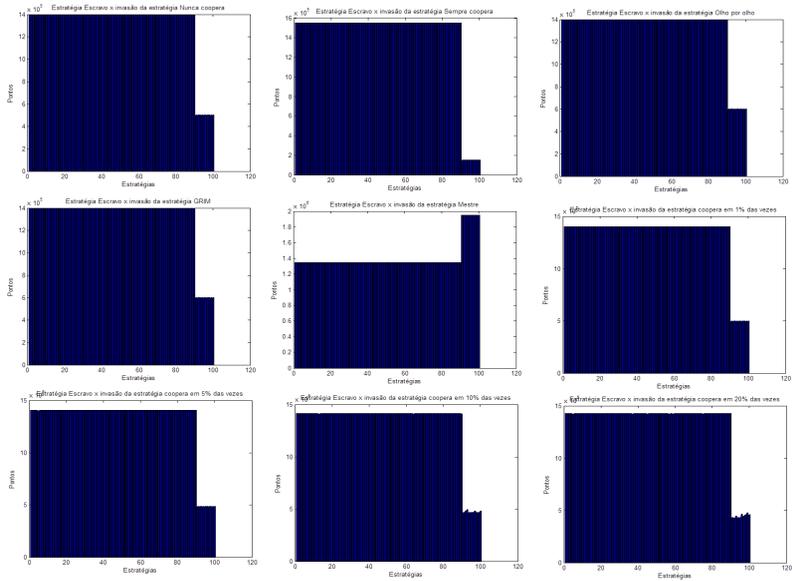
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 5: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA MESTRE COM AS DEMAIS



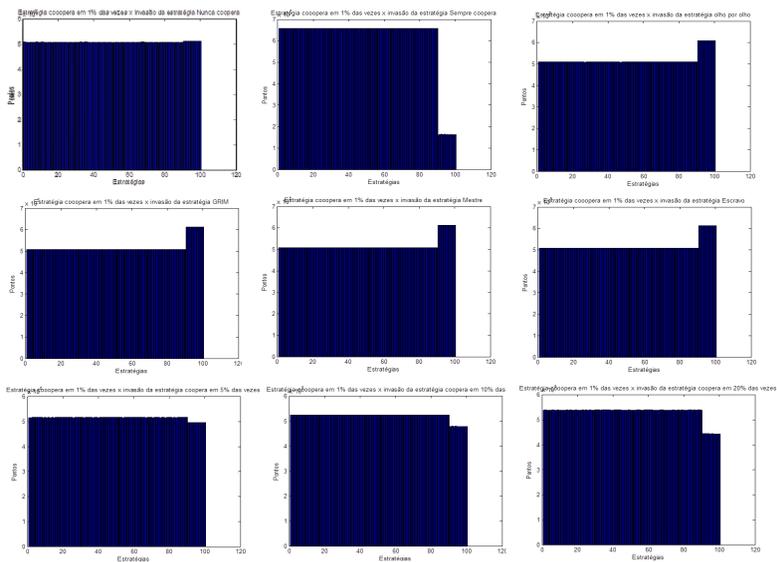
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA6: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA ESCRAVO COM AS DEMAIS



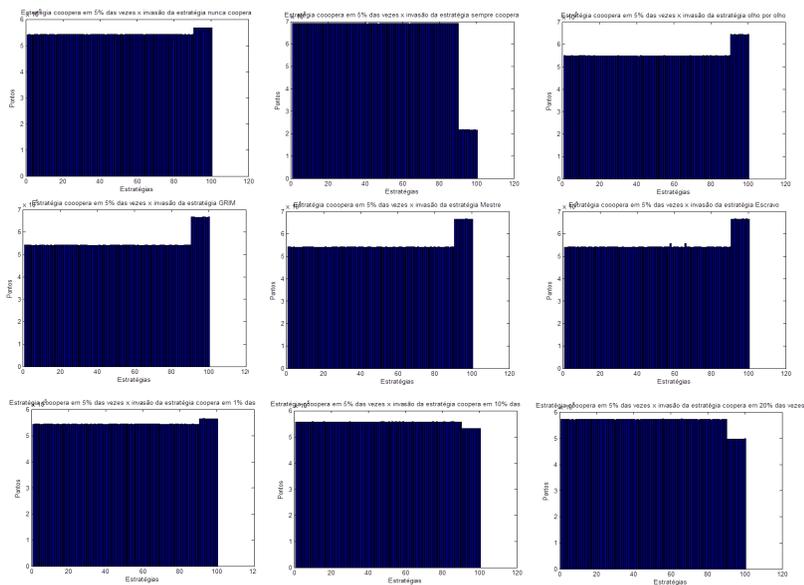
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 7: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA COOPERA 1% DAS VEZES COM AS DEMAIS



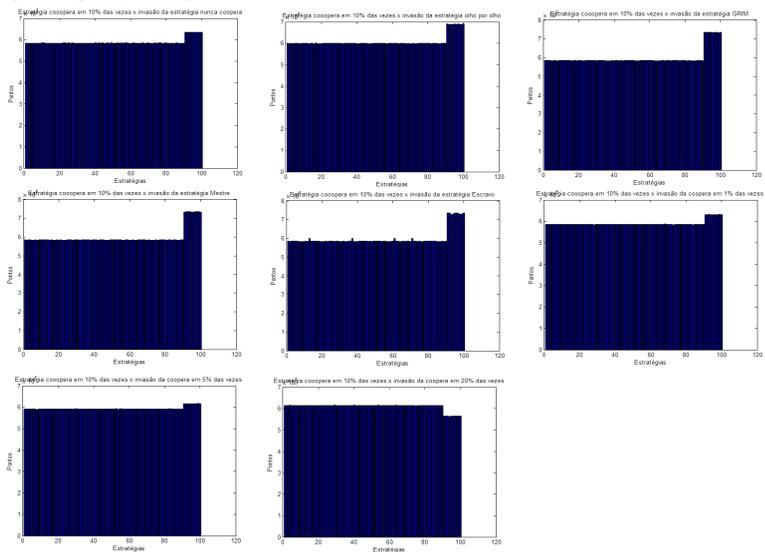
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 8: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA COOPERA5% DAS VEZES COM AS DEMAIS



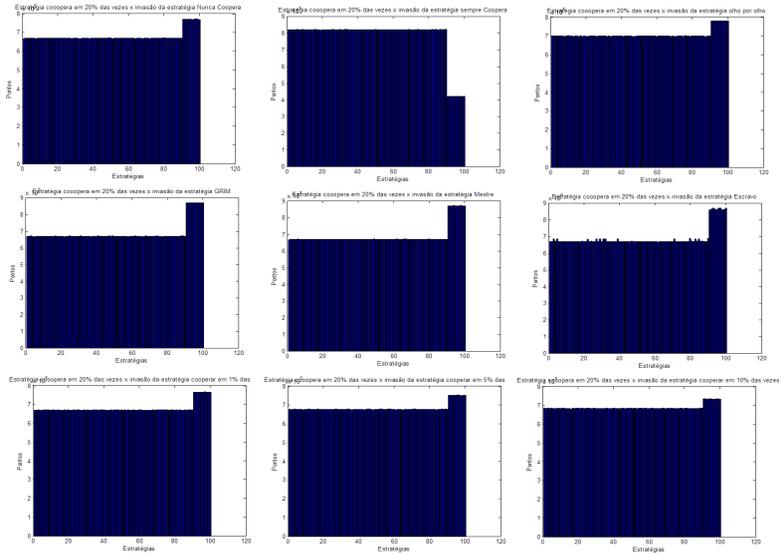
Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 9: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA COOPERA10% DAS VEZES COM AS DEMAIS



Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA10: INTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA COOPERA 20% DAS VEZES COM AS DEMAIS



Fonte: Elaborado pelo autor.

