

# Estudo do Comportamento de Sociedades de Agentes Virtuais Baseados na Teoria de Jogos e em Modelos de Reputação

Andrio Pinto<sup>1</sup>, Fernando Osório<sup>3</sup>, Soraia Musse<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNISINOS – Univ. do Vale do Rio dos Sinos – PPG de Computação Aplicada, RS

<sup>2</sup> USP – Universidade de São Paulo / ICMC - São Carlos, SP

<sup>3</sup> PUC-RS – FACIN / PPGCC – Porto Alegre, RS

andriosp @gmail. com; fosorio @icmc.usp. br; soraia.musse @puers. br

***Abstract.** This work was developed in the context of Game Theory, based on concepts from behavioral simulation of virtual agents and studies of group interactions and societies. Our main goal was to propose, to study, to simulate and to evaluate a cooperative multi-agent model based on Interaction and Reputation models. This paper aims to discuss the adoption of the simulated IPD (Iterated Prisoner's Dilemma – a classical problem studied in Game Theory), and to propose an experimental evaluation of the MA-IPD problem (Multi-Agent IPD), including Reputation. Simulations were made testing different agent behaviors and interactions, considering also reputation, and grouping. The main results obtained are presented and discussed here.*

***Resumo.** Este trabalho visa estudar e aprimorar conceitos relacionados com a Teoria de Jogos e sobre o comportamento de agentes e de sociedades virtuais simuladas. Nosso principal objetivo foi o de propor, estudar, simular e avaliar um modelo de cooperação multi-agente baseado em modelos de interações e de reputação. Neste artigo foi adotado o problema do IPD Simulado (Dilema do Prisioneiro Iterado, um problema clássico da Teoria de Jogos), onde propomos uma avaliação experimental das interações através da implementação de uma ferramenta computacional que permite simular o problema do MA-IPD (Multi-Agent IPD). Diversas simulações foram realizadas com o uso desta ferramenta, onde os principais resultados e conclusões são discutidos.*

## 1. Introdução

Vivemos em uma sociedade onde, devido ao convívio e interação com diferentes pessoas e grupos, somos cobrados a cada instante por nossas decisões e ações. O nosso comportamento (decisões e ações) possui um impacto direto sobre as nossas próprias vidas e também sobre a sociedade na qual estamos inseridos. Podemos considerar este cenário de “interação social” como o cenário de um jogo: múltiplos jogadores possuem comportamentos e estratégias, interagem entre si, e suas ações geram resultados tanto para o jogador (ganhos e perdas individuais) como para os demais membros participantes do jogo (ganhos e perdas de um oponente ou de toda uma coletividade).

A Teoria dos Jogos – Game Theory [Von Neumann 1944] é uma área de estudos que abrange múltiplas disciplinas (e.g. economia, sociologia, computação), sendo estudada na área de computação principalmente junto à Inteligência Artificial. O exemplo citado acima, de um jogador participando de um jogo, onde o comportamento de cada jogador pode levar a ganhos e perdas (individuais e/ou coletivos), é justamente um dos temas amplamente estudados pela Teoria dos Jogos. Os comportamentos dos agentes, suas decisões, suas ações, suas interações, as perdas e os ganhos (e.g. simulações econômicas, jogos de executivos e “jogos sérios” ou “*serious games*”) são pontos centrais de estudo da Teoria de Jogos. Partindo destes conceitos iniciais, situamos este trabalho em um contexto que envolve os seguintes temas:

- Teoria dos Jogos;
- Comportamentos de agentes autônomos junto a uma sociedade de agentes;
- Modelos de Interação e de Reputação em Sistemas Multi-Agentes;
- Simulação do comportamento de agentes virtuais.

Voltando ao conceito inicial de interação social, tudo o que fazemos ou deixamos de fazer pode representar determinada influência sobre esta sociedade onde estamos inseridos, mas também iremos sofrer diversos tipos de influências vindas das ações de outros indivíduos com os quais convivemos e interagimos. Nossas atitudes e comportamentos são estabelecidos de acordo com a nossa personalidade e de acordo com regras de comportamento e conduta que adotamos. Em um jogo vamos definir nossa estratégia através de regras de conduta no jogo, bem como através da interação com os demais jogadores. Dentro de uma sociedade, alguém que ingresse em um grupo específico e de pessoas selecionadas, precisará moldar seu comportamento de acordo com as “regras” estabelecidas por esta rede social/grupo de agentes. Seu comportamento fará com que seja acolhido (bem ou mal) pelo grupo, respeitado e reconhecido como integrante deste sistema de relações humanas e sociais. Em um jogo, isso implica que iremos poder estabelecer parcerias com grupos de jogadores, ou então, definir quais são nossos oponentes contra os quais vamos atuar.

Além disto, quando interagimos com outras pessoas e grupos, nosso comportamento está sempre sendo avaliado, assim como nós também estamos analisando o comportamento alheio, isto é, participamos de forma intrínseca de um processo concomitante, de mão dupla, da análise do comportamento humano. Desta forma é composta a “imagem” (reputação) que nós temos das outras pessoas e que estas têm em relação a nós.

A partir das reflexões acima, e de considerações à cerca do comportamento humano, conduzimos este trabalho de forma a implementar e simular agentes virtuais, que nos permitiu realizar estudos sobre os diferentes comportamentos destes junto à sociedades. A fim de implementar de forma prática este estudo, envolvendo questões ligadas aos comportamentos e relacionamentos em Sistemas Multi-Agentes, adotou-se o uso da simulação do problema do IPD (Iterated Prisoner’s Dilemma), um problema clássico da Teoria dos Jogos. O Dilema do Prisioneiro – IPD, constitui-se neste trabalho de uma ferramenta de simulação e testes usada para a análise do comportamento de agentes, seja individualmente (modelo IPD tradicional), ou seja em grupos (modelo MA-IPD – Multi-agent IPD).

Acreditamos que pode ser de grande importância o desenvolvimento de estudos e pesquisas que levem à criação de novos modelos comportamentais de grupos, podendo ser validados através do uso de ferramentas computacionais de simulação do comportamento de sistemas multi-agentes, integrando modelos de: comportamento (tomada de decisão, ação), reputação, interação, influência e formação de grupos. Em suma, este trabalho visa realizar e avaliar simulações da dinâmica de um sistema multi-agente considerando a reputação e interações destes.

Este trabalho possui como resultado direto à análise do impacto de diferentes comportamentos individuais junto a uma sociedade de agentes virtuais, considerando também o impacto da adoção de modelos de reputações e de interação entre agentes nos resultados alcançados individualmente e coletivamente. Assim, podemos vislumbrar que este trabalho poderá trazer significativas contribuições para as seguintes áreas:

- Estudo de comportamentos sociais;
- Jogos Sérios: definição de modelos de comportamentos mais competitivos, lucrativos e de maior ganho coletivos;
- Jogos para o Entretenimento: implementação de agentes autônomos virtuais que possuam um comportamento mais competitivo, assim como, permitindo definir diversos tipos de personalidades e comportamentos a serem adotados em jogos;
- Teoria de Jogos: avaliação do impacto dos comportamentos sobre os ganhos e perdas em jogos, de modo que possamos melhor balancear um jogo, através do ajuste de parâmetros que influenciem o comportamento dos agentes virtuais (e.g. baseando-se na reputação).

Este artigo é apresentado como segue: a seção 2 descreve os principais conceitos e a base teórica relacionada ao tema tratado; a seção 3 descreve o modelo proposto, o ambiente de simulação e implementações; e a seção 4 descreve os resultados obtidos.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Este trabalho está diretamente relacionado com o estudo e simulação de agentes virtuais, autônomos e sistemas multi-agentes [Weiss 99, Pinto 2008]. Também envolve questões relacionadas ao comportamento destes agentes, principalmente quando são consideradas questões relativas à reputação dos agentes que estão interagindo entre si. Além disto, este trabalho está focado na simulação da interação entre os agentes (e na análise de seu comportamento), onde optou-se pela adoção de um modelo de interação amplamente estudado junto a área da Teoria dos Jogos, o Dilema do Prisioneiro [Poundstone 92].

Nosso objetivo foi inicialmente realizar um amplo estudo sobre modelos de reputação, a fim de encontrar subsídios para a inclusão de um modelo de reputação a ser adotado pelos agentes autônomos implementados neste trabalho. Encontramos na literatura [Pinto 2008] uma revisão bastante ampla sobre diversos modelos de reputação, baseados em diferentes técnicas e que serviram de inspiração para este trabalho.

Os modelos de reputação estudados permitiram estabelecer as relações entre os agentes, destacando-se: a relação de confiança (estabelecida através da memória das interações passadas e da avaliação das atitudes de cooperação e de traição); o uso de métricas para quantificar esta confiança; e as relações e influências que são estabelecidas

entre grupos de agentes (redes sociais e grupos com comportamentos similares). Este estudo também nos levou a considerar a aplicação do IPD (Teoria dos Jogos) que estabelece critérios e métodos para quantificar ganhos e perdas em interações.

## 2.1. Teoria dos Jogos e Jogos Administrativos

O objetivo da Teoria dos Jogos [Von Neumann 1944] é determinar a “melhor” estratégia para um dado jogador, de modo a maximizar o retorno (ganho), assumindo que o oponente é racional e que este também fará jogadas de resposta inteligentes. A Teoria dos Jogos foi amplamente estudada e aperfeiçoada a fim de modelar e melhor compreender modelos de comportamentos complexos, como é o caso dos modelos econômicos (e.g. mercados de compra e venda de mercadorias ou ações). Como veremos mais adiante, o IPD é um problema clássico da Teoria de Jogos, sendo considerado um Jogo de Soma Não Nula (ganhos e perdas diferentes entre os jogadores).

### 2.1.1 O Dilema do Prisioneiro

O Dilema do Prisioneiro (PD - Prisoner's Dilemma) foi originalmente idealizado por Merrill Flood e Melvin Dresher trabalhando na corporação RAND em 1950. Albert Tucker formalizou o jogo com pagamentos de sentenças de prisão e deu o nome de “Dilema do Prisioneiro” [Poundstone 1992]. Uma das principais razões de sua adoção é pelo fato de ser um problema clássico, e permitir que sejam implementadas “partidas”, como em um jogo de cartas, com a possibilidade de participação de múltiplos jogadores, e principalmente com um sistema inteligente de pontuação que permite avaliar as diferentes estratégias de jogo adotadas pelos participantes do jogo. Este tipo de problema onde existe uma decisão a ser tomada, com diferentes conseqüências que afetam os demais agentes, e onde existem conceitos de confiança e traição que fazem parte da estratégia do jogo, tem um papel muito importante nas pesquisas atuais da área de Teoria dos Jogos, e em diversas outras áreas, como a Sociologia, por exemplo. Existe uma farta bibliografia sobre o PD e suas variantes [Axelrod 1984, PD 2008].

Tabela 1 - Análise de resultados no jogo do Dilema do Prisioneiro

Prisioneiro A e B ficam em silêncio (cooperam entre si) > A e B pegam penas de 6 meses cada (sem confissão)
Prisioneiro A e B traem um ao outro (ambos se acusam) > A e B pegam penas de 2 anos cada (ambos incriminados)
Prisioneiro A fica em silêncio (coopera) e B trai > Prisioneiro A fica preso dez anos e B sai livre
Prisioneiro A traie B fica em silêncio: > Prisioneiro A sai livre e B fica preso dez anos

O dilema do prisioneiro (PD) clássico é descrito da seguinte forma: “Dois suspeitos, A e B, são presos pela polícia. A polícia tem provas insuficientes para os condenar, mas, separando os prisioneiros, oferece a ambos o mesmo acordo: se um dos prisioneiros, confessando, testemunhar contra o outro e esse outro permanecer em silêncio, o que confessou sai livre enquanto o cúmplice silencioso cumpre 10 anos de sentença. Se ambos ficarem em silêncio, a polícia só pode condená-los a 6 meses de cadeia cada um. Se ambos traírem o comparsa, cada um leva 5 anos de cadeia. Cada prisioneiro faz a sua decisão sem saber que decisão o outro vai tomar, e nenhum tem

certeza da decisão do outro. A questão que o dilema propõe é: o que vai acontecer? Como o prisioneiro vai reagir?” [PD 2008]. O dilema pode ser resumido assim, conforme descrito acima na Tabela 1.

Este é portanto um jogo onde as pontuações podem ser fixadas do seguinte modo: se o jogador A trair e o jogador B cooperar, o jogador A ganha 5 pontos enquanto o jogador B não recebe nada (0 pontos). Se ambos cooperam, eles ganharão três pontos cada, enquanto se ambos traírem mutuamente receberão 1 ponto cada. Esta matriz de pontuações é mostrada na Tabela 2. Note que podemos fazer uma analogia deste jogo com uma negociação de mercado, envolvendo a compra de um produto (onde o comprador coopera=“paga” ou não coopera=“não paga”) e a venda (onde o vendedor coopera=“entrega” ou não coopera=“não entrega”), e onde as pontuações refletem o lucro ou prejuízo de cada um. No fundo buscamos respostas para as questões: Vale a pena não pagar? Vale a pena não entregar a mercadoria? Vale a pena ser (des)honesto?

Tabela 2 - Matriz de pontuação na implementação clássica do “Dilema do Prisioneiro”.

	<b>B Coopera</b>	<b>B Trai</b>
<b>A Coopera</b>	Ambos ganham 3 pontos	A ganha 0 pontos B ganha 5 pontos
<b>A Trai</b>	A ganha 5 pontos B ganha 0 pontos	Ambos ganham 1 ponto

Esta matriz de pontuação é a peça-chave do PD clássico, pois ela permite codificar de modo bem realista as punições e recompensas recebidas pelos jogadores quando cooperam mutuamente, quando um trai o outro, ou quando ambos são prejudicados pelas ações mútuas de traição. Isto permite também simular as interações e o jogo.

O Dilema do Prisioneiro (PD) pode ser estendido de modo a criar novos modos de implementar este jogo. Axelrod [Axelrod 1984], estudou uma extensão do cenário clássico do dilema do prisioneiro que classificou como Dilema do Prisioneiro Iterado (IPD - Iterated Prisoner’s Dilemma). Neste contexto, os participantes escolhem a sua estratégia e disputam uma série de rodadas deste jogo, onde podem possuir um comportamento que faz uso da memória dos seus encontros prévios a fim de planejar sua estratégia atual. Além disto, também é possível realizar diversas rodadas de partidas do jogo do IPD entre múltiplos agentes (todos agentes jogam entre si), caracterizando assim um MA-IPD (Multi-Agent Iterated Prisoner’s Dilemma).

### 3. Modelo Proposto

Foi implementado um simulador que permite realizar partidas do jogo do IPD entre múltiplos agentes, caracterizando assim a implementação do MA-IPD. Nesta implementação, adotamos agentes que podem ter diferentes comportamentos, baseados em regras. Os comportamentos podem ou não considerar uma variável que representa a Reputação de um agente determinado. A Reputação é o resultado da avaliação do comportamento passado de cada agente, em relação ao seu grau de confiabilidade (boa reputação) e o seu grau de traição (má reputação) para com os demais agentes. A Reputação é calculada através da avaliação das interações passadas dos agentes no IPD.

### 3.1. Comportamento dos Agentes

O comportamento dos agentes é informado através de um arquivo de configuração e definido individualmente para cada agente. Os comportamentos influenciarão as ações de forma positiva (coopera) ou negativa (trai). Foram criados seis tipos de comportamentos, sendo que um deles utiliza como atributo para a tomada de decisão, a reputação global do agente. São eles: (este trabalho permite e inclusive prevê a extensão deste conjunto)

**Comportamento 1 (C1):** Aleatório, ora trai, ora coopera. O comportamento aleatório foi considerado como o comportamento “baseline”, que serve de referência em termos de desempenho no jogo (sem inteligência na tomada de decisões sobre como agir);

**Comportamento 2 (C2):** Sempre trair, leva o agente a agir de forma negativa e executar a ação de sempre trair (“trapaceiro”);

**Comportamento 3 (C3):** Sempre cooperar, leva o agente a agir de forma positiva e a executar a ação de sempre cooperar (“altruísta”);

**Comportamento 4 (C4):** Baseia-se na jogada anterior para jogar a próxima alternando as ações, ou seja, ora trai, ora coopera, dependendo da ação executada anteriormente;

**Comportamento 5 (C5):** Trai o traidor para se defender contra um agente traidor e coopera com os demais. Os agentes cooperam entre si para se defenderem de um agente que os está traindo sempre (um agente com comportamento do tipo 2);

**Comportamento 6 (C6):** Cooperar com os demais, considerando a reputação para se defender de agentes traidores. Um limiar de reputação pode ser configurado, visando definir quais agentes pertencerão ao grupo de agentes de boas reputações.

### 3.2. Ambiente de Simulação e Implementações

Os agentes jogam um certo número de partidas do PD (IPD), contra cada um dos outros agentes (MA-IPD). Com um conjunto de partidas executadas podemos assim avaliar quantitativamente o desempenho das diferentes estratégias dos agentes, através de medidas como: o desempenho individual (pontuação individual), o desempenho por grupos (considerando os agentes que possuem um mesmo comportamento), e o desempenho global (média de pontuação geral de toda a população). Através da análise das pontuações também é possível avaliar a evolução no tempo das estratégias, quando varia a quantidade de agentes de um determinado tipo de comportamento, verificando assim o impacto das alterações na configuração da população junto às pontuações.

O Simulador do MA-IPD recebe como entrada dois arquivos textos, um define o tipo de comportamento de cada agente e o outro a reputação global dos agentes. Este simulador gera como saídas as reputações atualizadas, em função do comportamento dos agentes nas partidas, e um arquivo com as pontuações geral e individual de cada partida. Em nossas simulações, realizamos experimentos com o Simulador MA-IPD, onde foi inclusive variando o número de agentes com um determinado comportamento, dentro de uma população, e assim, foi possível avaliar o impacto da troca de comportamentos, que pode vir a ocorrer no decorrer das interações.

## 4. Experimentos e Resultados

As simulações foram realizadas sempre considerando um conjunto total de 10 agentes que disputam partidas entre si (cada um contra todos os demais, compondo uma

rodada), sendo que são disputadas 10 rodadas, caracterizando assim uma seqüência de partidas. Cada partida é sempre pontuada de acordo com as regras tradicionais do PD (cf. descrito na seção 2.1.1), além também de ser computada a reputação de cada agente e uma média de pontos acumulados pelos agentes. Dividimos as simulações em grupos:

1. **Comportamentos homogêneos:** visa caracterizar como os agentes agem, todos de um mesmo tipo, e também permitiu validar a implementação do simulador;
2. **Comportamentos mistos (50% de cada):** procurou-se ver como se comportam os agentes quando 2 grupos de comportamentos diferentes são confrontados, e assim foi possível avaliar se um comportamento se impõe (ganha mais pontos) sobre outro;
3. **Comportamentos comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia:** permite verificar como os agentes ao trocarem de comportamento influenciam as simulações, testando o aumento/diminuição da proporção de um tipo de comportamento (grupo) em relação a outro;
4. **Comportamentos misturados:** permite estudar como se comporta um sistema multi-agente onde existem diversos grupos com diversos tipos de comportamentos, todos interagindo uns com os outros. Estas simulações permitem complementar e validar as experiências anteriores, onde foram feitos experimentos mais focados, e assim foi possível verificar os efeitos em populações mais heterogêneas.

#### 4.1. Análise dos Resultados dos Experimentos

Os diversos experimentos realizados, conforme descrito acima, e que estão detalhados em [Pinto 2008], permitiram chegar às conclusões que serão descritas a seguir, onde adotamos a seguinte notação: MI = Pontuação Média Individual do Agente; MG = Pontuação Média Geral de toda a população.

**Experimentos Homogêneos:** Analisamos a simulação dos agentes C1 (Aleatório) e constatamos que o desempenho individual e geral foi mediano (MI entre 196,3 e 211,9 pontos e MG=202,93 pontos), como esperado. Onde todos agentes traem uns aos outros (C2), isto leva o grupo para o seu pior desempenho (MI e MG=90). Em comportamentos onde todos acabam cooperando (C3, C4, C5 ou C6), a pontuação ficou mais elevada (MI e MG=270). Afirma-se que: *em uma população totalmente homogênea a melhor estratégia é sempre cooperar.*

**Experimentos com comportamentos mistos (50% de cada):** Comportamentos de traição (C2), quando confrontados com comportamentos que sempre cooperam (C3), tendem a pontuar mais (MI-C2=290, MI-C3=120, MG=205). *Quando a reputação não é considerada, aqueles que traem pontuam sempre mais do que os que cooperam, entretanto, comportamentos de traição são prejudicados quando todos traem ou quando existe um conjunto de agentes que buscam penalizar as traições.* Em uma população com comportamentos de traição (C2) e com uso de reputação (C6) os agentes C2 obtiveram MI=90 e os agentes C6 obtiveram MI=98, sendo a MG=94. Isto nos permite afirmar que em populações mistas (50%): o agente que sempre trai tem um desempenho sempre superior, exceto quando confrontado com um agente que considera a reputação; o agente que considera a reputação permite obter uma pontuação acima do agente que sempre trai, mas a pontuação geral é penalizada neste tipo de situações. *A situação ideal é novamente quando todos cooperam (MI e MG=270).*

**Experimentos com comportamentos onde a quantidade de agentes de um tipo varia:** Em nossas simulações constatamos que quanto mais agentes com comportamentos que considerem a reputação (C6) existir na população, mais estes têm chance de pontuar acima dos comportamentos que incluem a traição (C1 e C2), entretanto isso depende também do limiar de reputação adotado. Os agentes que consideram a reputação tornam desinteressante a

opção pelo comportamento de traição (C2), pois a pontuação individual destes acaba ficando mais baixa (MI-C2=90). *Quanto mais agentes do tipo que cooperam existir (altruístas), desde que estes não se organizem a fim de penalizar os agentes que traem, melhor para os agentes que sempre traem.* A pontuação máxima individual, que pode ser obtida nas simulações ocorre quando um único agente sempre trai e todos os demais sempre cooperam, inclusive com ele (MI-C2=450, MI-C3=240, MG=261). *Isso nos permite afirmar que se um agente quer maximizar seu ganho individual, ele deve trair e fazer com que todos os demais sempre cooperem* (ou deve trair sem que ultrapasse o limiar de reputação). Este agente irá portanto tentar influenciar os demais para que assumam comportamentos de cooperação a fim de se beneficiar individualmente. Entretanto, este tipo de *comportamento individualista prejudica a média global da população, onde a pontuação máxima global é alcançada somente quando todos cooperam sempre entre si* (MI=MG=270).

**Experimentos com comportamentos misturados:** Os experimentos com comportamentos misturados apenas reforçaram as conclusões que foram obtidas nos experimentos anteriores. Em algumas das simulações os agentes que possuíam reputações mais baixas acabavam ainda assim obtendo pontuações mais elevadas do que os demais. Isto se caracteriza pelo fato de não estarem sendo penalizados de forma sistemática pelos demais agentes em função de suas traições, causado pelo uso de um limiar de reputação tolerante demais. Em algumas simulações a mistura de comportamentos privilegiou os agentes que possuíam um comportamento que incluísse a traição, pois como já foi constatado anteriormente, *o comportamento de traição quando “diluído” entre os demais, tende a ser beneficiado individualmente.* Disto concluímos que, pelo fato da população não possuir uma boa organização (estruturação do grupo para a busca do bem comum), isto acaba por privilegiar uma parcela (pequena) de agentes que se aproveitam desta situação.

## 5. Conclusões

Este trabalho visou realizar um estudo, através da implementação de uma ferramenta de simulação computacional, de questões relacionadas à interação entre agentes, levando em consideração a formação de grupos e o uso da reputação. Conforme pode ser constatado nos resultados apresentados no item anterior (item 4), e que estão destacados no texto (em itálico), é possível com as simulações realizar uma avaliação precisa (quantitativa) do desempenho de diferentes tipos de estratégias e comportamentos dos agentes, quando confrontados com situações de um “jogo sério” de cooperação e traição. Este estudo visou contribuir no estudo de estratégias em sistemas multi-agentes.

## Referências

- Axelrod, R.: (1984) *The Evolution of Cooperation*, New York: Basic Books.
- PD – Prisoner’s Dilemma, Wikipedia. (Acesso em Agosto de 2008) [[http://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner\\_dilemma](http://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner_dilemma)] [[http://pt.wikipedia.org/wiki/Dilema\\_do\\_Prisioneiro](http://pt.wikipedia.org/wiki/Dilema_do_Prisioneiro)]
- Pinto, Andrio dos Santos: (2008). *Simulação e avaliação de comportamentos em sistemas multi-agentes baseados em modelos de reputação e interação*. Dissertação de Mestrado - Computação Aplicada, Unisinos. São Leopoldo, RS. [<http://btd.unisinos.br/>]
- Poundstone, W.: (1992) *Prisoner’s Dilemma*, Doubleday, NY.
- Von Neumann, John; Morgenstern, Oskar: (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.
- Weiss, G.: (1999) (Ed.). *Multiagent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence*, London: MIT Press.