

Andrio dos Santos Pinto

**Simulação e Avaliação de Comportamentos em Sistemas
Multi-Agentes baseados em
Modelos de Reputação e Interação**

São Leopoldo

2008

Andrio dos Santos Pinto

**Simulação e Avaliação de Comportamentos em Sistemas
Multi-Agentes baseados em
Modelos de Reputação e Interação**

Proposta de dissertação submetida à avaliação
como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Computação Aplicada

Orientador

Prof. Dr. Fernando Santos Osório

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM COMPUTAÇÃO APLICADA

São Leopoldo

2008

Pinto, Andrio dos Santos

Simulação e Avaliação de Comportamentos em Sistemas Multi-Agente Baseados em Modelos de Reputação e Interação / Andrio dos Santos Pinto – São Leopoldo: Unisinos / Ciências Exatas e Tecnológicas 2008.

147 f. : Il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Santos Osório

Dissertação (mestrado) – Unisinos / Ciências Exatas e Tecnológicas 2008.

Referências bibliográficas: f. 140 – 147

1. Sistemas Multi-Agente. 2. Modelos de Reputação.

*Dedico este trabalho à minha mãe,
Jussanã Goreti dos Santos Pinto e à minha irmã,
Andressa dos Santos Pinto, que sempre me apoiaram
em todos os momentos da minha vida.*

Agradecimentos

A Deus por me dar a vida. Aos meus pais por toda dedicação, carinho e amor incondicional. A todos os familiares que de alguma forma me apoiaram. Em especial à FINEP-RBV (Rede Brasileira de Visualização), que financiou o meu estudo. Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Santos Osório, pela sabedoria, paciência, confiança e disposição. À Prof.^a Soraia Raupp Musse, que juntamente com a Prof.^a Renata Vieira me auxiliaram com seus conhecimentos, para enriquecer o meu trabalho. E aos meus amigos e colegas, que estiveram presentes comigo nesta jornada.

Sumário

Lista de Abreviaturas

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Resumo (+ Palavras-Chave)

Abstract (+ Key-Words)

Capítulo 1 – Introdução 17

1.1 Motivação e Justificativa 17

1.2 Objetivo Geral..... 18

1.3 Objetivos Específicos 18

1.4 Escopo do trabalho 19

1.5 Organização do trabalho 19

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica 20

2.1 Agentes e Sistemas Multi-Agentes: Simulação 20

2.2 Modelos de Reputação 24

2.3 Jogos Administrativos 31

2.3.1 A História dos Jogos Administrativos 31

2.3.2 Tipos de Jogos Administrativos 32

2.3.3 O Uso dos Jogos Administrativos 32

2.3.4 Exemplos de Jogos Administrativos 32

2.4 Teoria dos Jogos e o Dilema do Prisioneiro 35

2.4.1 Teoria dos Jogos 35

2.4.2 O Dilema do Prisioneiro 36

2.4.3 Dilema do Prisioneiro Iterado (PDI) 39

2.5 Discussão sobre o Modelo Cooperativo	
Multi-Agente com Reputação e Interação	41
Capítulo 3 - Modelo Proposto.....	43
3.1 Modelo do Agente	43
3.1.1 Conhecimento Global do Agente (K)	44
3.1.1.1 Conhecimento (C)	44
3.1.1.2 Reputação Global (Rg)	44
3.1.2 Estado (S).....	44
3.1.2.1 Personalidade (P).....	44
3.1.2.2 Estado Emocional (EE)	45
3.1.3 Influência (INF)	45
3.1.4 Intenção (I).....	46
3.2 Comportamento dos Agentes.....	46
3.3 Interação Entre os Agentes	47
3.4 Ambiente de Simulação e Implementações.....	48
3.5 Ferramentas Implementadas	49
3.5.1 Simulador do IPD	49
3.5.2 Simulador de Interações.....	53
3.6 Resultados Esperados	56
Capítulo 4 – Resultado dos Experimentos.....	57
4.1 Experimentos com comportamentos homogêneos	58
4.1.1 Objetivo	59
4.1.2 Descrição dos Experimentos	59
4.1.3 Resultados	59
4.1.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados	
das Simulações dos Experimentos	62
4.2 Experimentos com comportamentos mistos (50% de cada)	63
4.2.1 Objetivo	63
4.2.2 Descrição dos Experimentos	64

4.2.3 Resultados	65
4.2.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos	72
4.3 Experimentos com comportamentos comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia.....	74
4.3.1 Objetivo	75
4.3.2 Descrição dos Experimentos	75
4.3.3 Resultados	76
4.3.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos	80
4.4 Experimentos com comportamentos mistura dos.....	82
4.4.1 Objetivo	82
4.4.2 Descrição dos Experimentos	83
4.4.3 Resultados	84
4.4.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos	88
4.5 Experimentos com comportamentos mistos com interação	89
4.5.1 Objetivo	89
4.5.2 Descrição dos Experimentos	89
4.5.3 Resultados	90
4.5.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos	90
4.6 Discussão Final Sobre os Experimentos	91
 Capítulo 5 – Conclusões e Perspectivas	95
 APÊNDICE A	97
Apêndice A.1	98
Apêndice A.2	99
Apêndice A.3	100
Apêndice A.4	101

APÊNDICE B.....	102
Apêndice B.1	103
Apêndice B.2	104
Apêndice B.3	105
Apêndice B.4	106
Apêndice B.5	107
Apêndice B.6	108
Apêndice B.7	109
Apêndice B.8	110
Apêndice B.9	111
Apêndice B.10	112
Apêndice B.11	113
Apêndice B.12	114
Apêndice B.13	115
Apêndice B.14	116
Apêndice B.15	117
APÊNDICE C	118
Apêndice C.1	119
Apêndice C.2	120
Apêndice C.3	121
Apêndice C.4	122
Apêndice C.5	123
Apêndice C.6	124
Apêndice C.7	125
Apêndice C.8	126
APÊNDICE D	127
Apêndice D.1	128
Apêndice D.2	129
Apêndice D.3	130
Apêndice D.4	131
Apêndice D.5	132
Apêndice D.6	133

Apêndice D.7	134
Apêndice D.8	135
Apêndice D.9	136
Apêndice D.10	137
APÊNDICE E	138
Apêndice E.1	139
Referências Bibliográficas	140

Lista de Abreviaturas

IPD	Dilema do Prisioneiro Iterado (<i>Iterated Prisoner Dilemma</i>)
SMA	Sistema Multi-Agente
CR	Reputação Certificada
TRAVOS	Modelo de Reputação e Confiança de Organizações Virtuais Baseado em Agentes
TRUMMAR	Modelo de confiança baseado na reputação que os sistemas de agentes móveis podem usar para proteger agentes dos anfitriões maliciosos
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
COPPEAD	Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade Federal do Rio de Janeiro
PD	Dilema do Prisioneiro (<i>Prisoner Dilemma</i>)
RAND	Corporação estadunidense
BASIC	Linguagem de Programação
MAPD	Dilema do Prisioneiro para Multi-Agentes (<i>Multi-Agent Prisoner's Dilemma</i>)

MAIPD

Dilema do Prisioneiro Iterado para Multi-Agentes (*Multi-Agent Iterated Prisoner's Dilemma*)

Lista de Figuras

2.1 Cadeia de Suprimentos do Jogo da Cerveja	30
3.1 Modelo do Agente	43
3.2 Influência Positiva	45
3.3 Influência Negativa	46
3.4 Interação entre dois agentes.....	48
3.5 Ciclo	50
3.6 Arquivo partidas.txt.....	51
3.7 Arquivo repglobal.txt	51
3.8 Arquivo Pontuação.txt.....	52
3.9 Arquivo repglobal.txt após o término da rodada.....	53
3.10 Tela do Simulador de Interações	53
3.11 Arquivo interação_agentes.txt	54
3.12 Arquivo situação.txt	55
3.13 Arquivo influências.txt	56

Lista de Tabelas

TABELA 2.1: Trabalhos relacionados: Modelos de Reputação	33
TABELA 2.2: Análise simulatória de resultados no jogo “O Dilema do Prisioneiro”..	37
TABELA 2.3: Matriz de pagamento	38
TABELA 4.1: Simulações com comportamentos homogêneos.....	58
TABELA 4.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	59
TABELA 4.3: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	60
TABELA 4.4: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	61
TABELA 4.5: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	61
TABELA 4.6: Simulações com comportamentos mistos	63
TABELA 4.7: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	65
TABELA 4.8: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	65
TABELA 4.9: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas	66
TABELA 4.10: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	66
TABELA 4.11: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	67
TABELA 4.12: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	67
TABELA 4.13: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	68
TABELA 4.14: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	68
TABELA 4.15: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	69
TABELA 4.16: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	69
TABELA 4.17: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	70
TABELA 4.18: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	70
TABELA 4.19: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	71
TABELA 4.20: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	71
TABELA 4.21: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	72
TABELA 4.22: Simulações com comportamentos variando a cada rodada	74
TABELA 4.23: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	76
TABELA 4.24: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	77

TABELA 4.25: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	77
TABELA 4.26: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	78
TABELA 4.27: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	78
TABELA 4.28: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	78
TABELA 4.29: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	79
TABELA 4.30: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	79
TABELA 4.31: Simulações com comportamentos misturados.....	82
TABELA 4.32: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	84
TABELA 4.33: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	84
TABELA 4.34: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	85
TABELA 4.35: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	85
TABELA 4.36: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	86
TABELA 4.37: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	86
TABELA 4.38: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	86
TABELA 4.39: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	87
TABELA 4.40: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	87
TABELA 4.41: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	88
TABELA 4.42: Simulação com comportamentos mistos com interação	89
TABELA 4.43: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas ..	90

Resumo

O presente trabalho se insere no contexto da simulação dos comportamentos e das interações entre grupos de humanos virtuais, e tem por objetivo maior, propor, estudar e avaliar um modelo multi-agente cooperativo utilizando um modelo de Reputação e Interação. Nesta dissertação visamos realizar um estudo sobre: (i) questões relacionadas à reputação, formação de grupos e relacionamentos em sistemas multi-agentes, considerando a cooperação, a traição e a confiança nas relações entre agentes; (ii) o uso da simulação do problema do IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*, um problema clássico estudado na área da Teoria dos Jogos) como ferramenta para a análise do desempenho do comportamento de agentes, individualmente e em grupos; (iii) um modelo de agente capaz de incluir em seu modelo atributos relacionados com a sua reputação, personalidade e capacidade de influenciar outros agentes; (iv) o estudo da interação agente x agente e de seu impacto no comportamento dos agentes junto ao problema do IPD.

Mais especificamente, neste estudo é proposta uma avaliação experimental do problema do MAIPD (*Multi-Agent Iterated Prisoner's Dilemma*). Isto é obtido através da simulação de agentes com diferentes comportamentos e interações, onde é analisada a pontuação obtida no problema do IPD neste sistema multi-agente, onde são considerados fatores como: cooperação, traição, reputação, interação, influências e formação de grupos. Esta combinação “Multi-Agentes + IPD + Interação entre Agentes” permite que sejam consideradas questões relacionadas com: (i) a reputação, a personalidade e a formação de grupos de agentes; (ii) o impacto de um determinado comportamento no desempenho dos agentes, considerados individualmente, em grupo ou como um todo; (iii) o impacto das interações entre agentes que podem influenciar na dinâmica de todo o sistema, uma vez que podem levar a uma mudança no comportamento individual dos agentes. Os resultados dos experimentos são detalhados, sendo posteriormente discutidas e apresentadas as conclusões obtidas em relação a cada grupo de experimento e de forma geral. Ao final são ressaltadas as principais contribuições e possíveis trabalhos futuros.

Palavras-chave: Simulação do Comportamento de Grupos de Humanos Virtuais, Reputação, IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*), Multi-Agente.

Abstract

This work was developed in the context of human behavioral simulation and group interaction study. 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 Master Thesis aims to study and discuss about: (i) questions related to multi-agent systems concerning reputation, agents grouping and relationships between agents (cooperation, betray, trust); (ii) the adoption of the simulated IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma* – a classical problem studied in Game Theory) as a tool for agents' behavior analysis, which act individually or in groups; (iii) a behavioral agent model that includes attributes and properties, as for example, reasoning about reputation, personality and ability to influence (or be influenced) by other agents; (iv) the agent x agent interaction, considering different agent behaviors, analyzing the impact of their behaviors when faced to the *Iterated Prisoner's Dilemma* problem.

In this work we propose an experimental evaluation of the MAIPD problem (*Multi-Agent Iterated Prisoner's Dilemma*). Simulations were made testing different agent behaviors and interactions, in order to analyze the performance (gained points) of this multi-agents system, considering aspects like: cooperation, betray, reputation, interaction, influence and grouping. This combination of “Multi-Agents + IPD + Agents Interaction” allowed us to study questions related to: (i) the reputation, the personality and the relations in groups of agents; (ii) the impact of a specific behavior in the performance of the whole group, or for a specific sub-group, or even considering agents individually; (iii) the impact of the interactions between agents, which can affect the overall dynamic of the system, since these interactions can lead to changes in the individual agent behavior. The experimental results are detailed and discussed, where some important conclusions and analysis of the simulations are also presented. We conclude presenting the main contributions of this work, as well as, some possible future works.

Key-Words: Behavioral Simulation, Group Interaction Simulation, Reputation, Cooperation, IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*), Multi-Agents Systems.

Capítulo 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. 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 nossa personalidade e de acordo com regras de comportamento e conduta que adotamos.

Alguém que ingresse em um grupo específico e de pessoas selecionadas precisará moldar seu comportamento de acordo com as “regras” estabelecidas por esta rede de agentes para que seja acolhido, respeitado e reconhecido como integrante deste sistema de relações humanas e sociais. Além disto, quando interagimos com outras pessoas e grupos nosso comportamento está 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.

De um modo geral, as regras de comportamento e de convívio em uma sociedade se justificam para evitar que não fossem causados conflitos maiores entre os membros desta sociedade, onde fossem respeitados os limites de individualidade.

1.1 Motivação e Justificativa

A partir da reflexão acima, partimos para o viés de 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: simulação do comportamento de grupos de humanos virtuais.

Portanto, estas pesquisas têm por objetivo permitir uma melhor compreensão dos mecanismos intrínsecos ligados à interação e aos comportamentos de grupos e de multidões (*crowds*) que convivem em sociedade. Uma das principais motivações deste trabalho foi justamente o estudo e desenvolvimento de modelos que permitissem compreender melhor questões relacionadas às interações e aos comportamentos de uma sociedade de agentes.

1.2 Objetivo Geral

Propor, estudar, simular e avaliar o modelo multi-agente cooperativo desenvolvido para este trabalho utilizando o Modelo Cooperativo Multi-Agente com Reputação e Interação.

1.3 Objetivos Específicos

Realizar um estudo sobre questões relacionadas:

- à reputação, à formação de grupos e aos relacionamentos em sistemas multi-agentes (*grupos e crowds*);
- ao uso da simulação do problema do IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*) como ferramenta para a análise do desempenho do comportamento de agentes, individualmente e em grupos;
- a um modelo de agente capaz de incluir em seu modelo atributos relacionados com a sua reputação, personalidade e influência;
- ao estudo da interação agente x agente e de seu impacto no comportamento dos agentes junto ao problema do IPD.

Além disto, este trabalho visa implementar ferramentas de simulação que permitam testar e avaliar as questões estudadas e relacionadas acima:

- Implementar um simulador para o problema do IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*), considerando um sistema multi-agente (*N-Players IPD Simulation*);
- Implementar um simulador para o estudo da interação entre agentes (agente x agente), que permita sua integração junto ao simulador do IPD.

Por fim, este trabalho visa realizar e avaliar as simulações considerando a dinâmica do sistema multi-agente, da reputação e das interações.

1.4 Escopo do trabalho

A reputação de um agente é a forma com que outros agentes o vêem perante suas atitudes. Esta visão pode ser de forma positiva ou não, e terá grande impacto na formação de grupos, onde agentes com iguais interesses em comum buscam se agrupar e cooperar.

O problema do IPD será utilizado para avaliar o agente de forma individual e em grupos. O desempenho do agente pode ser analisado através do seu comportamento quando este toma decisões sozinho e quando toma decisões em conjunto com outros agentes.

A inclusão dos atributos relacionados com a reputação, personalidade e a influência entre os agentes, fará com que os agentes sejam mutuamente influenciados por estes atributos e ações. A influência poderá ser positiva, negativa ou não existir. Agentes influenciados agirão conforme seus influenciadores.

1.5 Organização do trabalho

Esta dissertação será apresentada da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** descreve os principais conceitos e a base teórica relacionada ao tema tratado na dissertação. Serão descritas cinco subseções, sendo estas: *Agentes e Sistemas Multi-Agentes: Simulação, Modelos de Reputação, Jogos Administrativos, Teoria de Jogos e o Dilema do Prisioneiro e Modelo Cooperativo Multi-Agente com Reputação e Interação.*

- **Capítulo 3 – Modelo Proposto:** descreve o modelo proposto, juntamente com suas características e protótipo. Serão descritas quatro subseções, sendo estas: *Modelo do Agente, Ações e Comportamentos dos Agentes, Interação entre os Agentes e Ferramentas Implementadas, Aplicação das Simulações e Resultados Esperados.*

- **Capítulo 4 – Resultados dos Experimentos:** descreve os resultados encontrados e a conclusão dos mesmos.

- **Capítulo 5 – Conclusões e Perspectivas:** faz o fechamento do trabalho e demonstra algumas perspectivas a partir da análise do tema estudado nesta dissertação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo descreve os principais conceitos e a base teórica relacionada ao tema tratado na dissertação. Serão descritas subseções sobre: 1) *Agentes e Sistemas Multi-Agentes: Simulação*; 2) *Modelos de Reputação*; 3) *Jogos Administrativos*; 4) *Teoria de Jogos e o Dilema do Prisioneiro*; e, 5) o *Modelo Cooperativo Multi-Agente com Reputação e Interação*.

2.1 Agentes e Sistemas Multi-Agentes: Simulação

Sistemas multi-agentes (SMA) se constituem em uma sub-área da Inteligência Artificial Distribuída e se propõem ao estudo do comportamento de agentes autônomos em um ambiente multi-agente, tendo estes agentes uma existência própria e independente da existência de outros agentes.

O principal conceito de um SMA é que a partir do comportamento individual de cada agente é que o grupo de agentes alcançará o seu grau de comportamento inteligente. Assim, nestes sistemas não apresenta-se a necessidade de cada agente ser inteligente para que se alcance o comportamento global inteligente.

Um agente – entidade computacional autônoma – decide suas próprias ações levando em consideração as mudanças que ocorrem no ambiente de atuação e o desejo de alcançar seus objetivos, já que carrega um conjunto de capacidades comportamentais (que definem sua competência e possibilidades de ações), um conjunto de capacidades sensoriais (que permitem sentir estímulos do ambiente), um conjunto de objetivos, e a autonomia necessária para alcançar seus objetivos através de suas capacidades comportamentais [Alvares 1997, Ferber 1991].

Para o sistema multi-agente o comportamento social é a base para garantir a inteligência da comunidade. A Inteligência Artificial Clássica utiliza a metáfora

basicamente de ordem psicológica, enquanto a Inteligência Artificial Distribuída apresenta uma metáfora de origem sociológica ou etológica, que ganha relevância à medida em que se busca resolver problemas complexos, que possivelmente envolvam dados fisicamente distribuídos, que requerem conhecimentos de diversos domínios, e onde possivelmente há uma interação (cooperação) entre os agentes.

Conforme destaca Demazeu [Demazeu 1995], um sistema pode ser decomposto segundo uma metodologia da Inteligência Artificial Distribuída. Em um sistema, denominamos agentes as entidades ativas (são capazes de controlar suas ações), que formam uma sociedade. Já as entidades passivas são denominadas “ambiente” ou “elementos do ambiente” (são noções estáticas e sem capacidade de tomada de decisão própria). O agente recebe informações, raciocina sobre o ambiente e outros agentes, e decide as ações que realizará de acordo com os objetivos que têm. Agentes interagem entre si ou com o ambiente quando há uma troca de informações (pode ser realizada de forma direta – comunicação explícita, ou de forma indireta – ambiente emite sinais). O projetista do sistema garante que cada agente seja capaz de desejar e de realizar a resolução de problemas.

Mesmo não existindo uma definição para “agente” que seja consenso entre os membros da comunidade da Inteligência Artificial Aplicada, podemos destacar:

– Ferber e Gasser [Ferber 1991]: agente é uma entidade real ou abstrata que tem capacidade de agir sobre si e sobre seu ambiente, do qual possui uma representação parcial e pode estabelecer comunicação com outros agentes em um universo multi-agente. Seu comportamento resulta das observações, conhecimento e interações com outros agentes.

– Gasser [Gasser 1992]: agente é uma entidade na qual se pode encontrar uma única identidade, e tem capacidade de realizar tarefas formalizadas, com base nos conhecimentos e mecanismos internos próprios que possui.

Podemos classificar os sistemas multi-agentes em dois grupos:

1) Sistemas Multi-Agentes Reativos: tem como objeto sistemas que utilizam muitos agentes simples para a resolução de um problema específico, podendo chegar a milhares de agentes, e são baseados em um modelo de ordem biológica/ etológica (modelo caracterizado por assemelhar-se à organização de animais que vivem em grandes comunidades).

Um agente reativo apresenta um modelo de funcionamento por ação x reação / estímulo x resposta. Conforme Ferber e Gasser [Ferber 1991], as características mais relevantes desta espécie de sistema multi-agente são assim descritas:

- Não há representação explícita do conhecimento, sendo que sua manifestação é externada através do seu comportamento e o dos demais agentes;
- Não há representação explícita e interna do ambiente à medida que o processo resposta x estímulo ocorre a partir da percepção do agente a cada instante;
- Os agentes reativos não possuem memória de ações, isto é, a ação presente não foi diretamente influenciada pela ação anterior e não influenciará diretamente a ação futura;
- O modelo destes sistemas concebe o problema como sendo um conjunto de agentes interagindo entre si, onde cada membro possui seus próprios objetivos. Geralmente o comportamento dos agentes é representado por um conjunto de regras.

Por exemplo, se um agente faz alguma ação contra um outro agente, este poderá reagir fazendo uma ação de defesa ou mesmo de ataque (retaliação) ao agente que lhe atacou. Do mesmo modo, se um agente percebe um estímulo positivo, ele usualmente irá reagir de modo positivo a este estímulo. Um agente (puramente) reativo irá sempre reagir, executando ações que são diretamente resultantes dos estímulos por ele percebidos.

As principais aplicações que podem ser modeladas através de sistemas multi-agentes reativos são:

- 1) Vida artificial, são aplicações nas quais o sistema multi-agente reativo possui um grande grau de similaridade e aplicabilidade, onde determinadas características podem se destacar, como a criação de entidades simples, independentes e capazes de atuar num meio complexo. O agente reativo é concebido como um ser independente, que possui a capacidade de gerar agentes descendentes se uma determinada condição necessária acontecer;
- 2) Recuperação de informações altamente específicas em ambientes de troca de dados heterogêneos;
- 3) Telecomunicações, onde os sistemas multi-agentes reativos podem ser utilizados na construção destes sistemas, que são mais abertos, flexíveis e interativos. Conforme as ações realizadas nos pontos de transmissão e recepção, os agentes têm a capacidade de reconfigurar o sistema, fazendo com que se adequem ao ambiente atual.

2) Sistemas Multi-Agentes Cognitivos: são sistemas que geralmente contam com poucos agentes, mas que realizam tarefas mais complexas que os agentes dos sistemas multi-agentes reativos.

Estruturados em organizações sociais humanas (grupo, hierarquia, mercado), possuem como principais características, conforme destaque de Ferber e Gasser [Ferber 1991]:

- Geralmente estes sistemas contêm poucos agentes, não ultrapassando a ordem das dezenas, e possuem representação explícita do ambiente e dos outros agentes da sociedade;
- Planejam ações futuras conforme a capacidade de memória que possuem, pela qual armazenam um histórico das comunicações e ações passadas;
- O sistema de percepção (permite análise do ambiente) é distinto do sistema de comunicação (permite troca de mensagens). A comunicação entre os agentes ocorre de forma direta (envio e recebimento de mensagens);
- O mecanismo de controle é deliberativo, isto é, seus agentes pensam e decidem juntos sobre as ações que serão executadas, o plano de ação e a meta de seus objetivos (caracteriza este tipo de sistema como modelo sociológico por se assemelharem às organizações humanas).

Por exemplo, um agente cognitivo pode ser implementado por um sistema baseado em regras, onde estas regras definem seu comportamento e o processo de tomada de decisões/ações: se o agente conhece seu oponente, ele age de acordo com o modelo que possui deste seu oponente (e.g. cooperando ou não com ele).

Já para Sichman [Sichman 1995], apud Alvares e Sichman [Alvares 1997, p.29], as características mais relevantes destes sistemas foram assim descritas:

- O agente do sistema multi-agente cognitivo tem em sua composição mecanismos de percepção e recepção por onde ocorre a entrada de dados e mecanismos de ação e emissão de mensagens pelos quais ocorrem a saída de dados;
- Este agente ainda possui mecanismos de revisão (revisa as crenças do agente utilizando informações que possui sobre o restante dos agentes e que ficam armazenadas na estrutura “descrição externa”) e mecanismos de raciocínio e decisão (seu raciocínio possui caráter social sobre os outros agentes);

– Como exemplos dos diversos estados internos que este agente possui destacam-se o estado de raciocínio, o de decisão e o de engajamento. Através da execução dos mecanismos internos é que estes estados sofrem alterações.

Nesta dissertação vamos trabalhar principalmente com agentes cognitivos, cujo comportamento é baseado em regras (comportamentos) e na memória das interações passadas com os demais agentes (reputação). Os agentes simulados neste trabalho possuem a capacidade de percepção, interação e tomada de decisão a fim de executar uma determinada ação. Entretanto, esta interação entre os agentes irá permitir também que eles possam alterar seu modo de se comportar, se adaptando e passando a agir de modo diferente. Portanto, o comportamento dos agentes também pode ser considerado como um comportamento estático (regras estáticas) ou dinâmico (adaptando-se as interações e as ações executadas pelos demais agentes ao longo do tempo).

A simulação da dinâmica de um sistema multi-agente, e da riqueza de ações e de interações neste tipo de sistema, é que irá permitir o estudo de questões importantes relacionadas à: cooperação, colaboração, criação de grupos, formas de interação, adoção de regras sociais, etc.

Diversos outros trabalhos podem ser encontrados na literatura, relacionados à simulação de comportamentos e da dinâmica de populações, onde podem ser destacados os seguintes trabalhos desenvolvidos por Ferber [Ferber 1999], Weiss [Weiss 2000], Reynolds [Reynolds 2008] e Musse e Thalmann [Thalmann 2007], tendo estes servido também de inspiração para o desenvolvimento deste trabalho.

As interações entre agentes, como descrito por Musse, Thalmann e Reynolds, e a dinâmica de comportamentos, levam-nos ao estudo de comportamentos que envolvam interações através da cooperação, colaboração e formação de grupos. Neste contexto, onde grupos interagem, conforme veremos a seguir, um tema muito pesquisado diz respeito à criação de modelos de reputação, que tem sido muito estudado em sistemas multi-agentes onde existe cooperação, competição e interações entre grupos. Na seção seguinte iremos abordar uma revisão de trabalhos relacionados à interação em sistemas multi-agentes e que abordaram esta questão referente ao uso de modelos de reputação.

2.2 Modelos de Reputação

Encontramos na literatura diversos modelos de reputação utilizando diversas técnicas, dentre os quais descreveremos abaixo alguns considerados mais relevantes:

Oh, et al. [Oh 2004] desenvolveram um modelo teórico de jogo para a distribuição e alocação do recurso multi-agente, onde os agentes no ambiente devem ajudar uns aos outros a sobreviver. Segundo eles, cada agente possui um valor de amizade, representando a amizade real e a amizade percebida. O modelo dirige-se diretamente a problemas com a gerência da reputação em sistemas multi-agente e em sistemas distribuídos P2P. Portanto, este trabalho aborda a questão da cooperação (ajuda e amizade) entre agentes.

Muitos sistemas multi-agentes consistem em uma rede complexa de agentes autônomos, contudo interdependentes. Nestes sistemas, os agentes têm um seletivo conjunto de outros agentes com quem eles interagem baseados no conhecimento ambiental, capacidades cognitivas, limitações de recursos, e restrições das comunicações. Descobertas precedentes têm demonstrado que a estrutura de uma rede social artificial que governa as interações dos agentes está fortemente correlacionada com a performance organizacional. Como sistemas multi-agentes são tipicamente encaixados em ambientes dinâmicos, Gaston e desJardins [Gaston 2005] desenvolveram mecanismos de adaptação de redes *online* para descobrir estruturas eficazes da rede e avaliaram suas eficiências para aumentar a performance organizacional. Portanto, este trabalho aborda a questão da formação de grupos que atuam formando uma rede social.

O modelo de confiança/honestidade inicialmente proposto por Lam e Leung's [Lam 2004], entre outros modelos de reputação existentes, não eram adaptáveis. Com isto, agentes podem perder muito porque não podem aprender de suas experiências e não podem se adaptar aos novos ambientes. Para resolver o problema, eles introduziram uma estratégia adaptável ao modelo confiança/honestidade. A estratégia adaptável permite aos agentes serem mais reativos. Ao mesmo tempo, a estratégia adaptável também aumenta o grau de pró-atividade dos agentes. Além disso, eles relacionaram a taxa adaptável à utilidade que um agente ganhou e perdeu. Portanto, este trabalho aborda a questão da reputação (confiança e honestidade) associada à adaptação de estratégias.

Conforme Yu e Singh [Yu 2002], para agentes funcionarem efetivamente em redes grandes e abertas, eles devem assegurar-se de que seus correspondentes, isto é, os agentes que interagem com eles, são dignos de confiança. Já que nenhuma autoridade central pode existir, a única maneira que os agentes podem encontrar correspondentes dignos de confiança é colaborando com outros para identificar aqueles cujo

comportamento passado foi indigno de confiança. Em outras palavras, achar correspondentes dignos de confiança reduz o problema da gerência distribuída da reputação. A aproximação deles adapta a teoria matemática da evidência para representar e propagar a avaliação que os agentes dão a seus correspondentes. Enquanto avaliam a lealdade de um correspondente, um agente - baseado em interações prévias diretas com o correspondente - combina sua evidência local com os testemunhos de outros agentes considerando o mesmo correspondente. Portanto, este trabalho aborda a questão da interação (correspondentes) visando à criação de uma relação de confiança.

Os modelos computacionais de confiança atuais são construídos geralmente na experiência direta da interação de um agente com um sócio (interação de confiança) ou dos relatórios fornecidos por terceiros sobre suas experiências com um sócio (reputação da testemunha). Entretanto, ambas aproximações têm suas limitações. Os modelos que usam a experiência direta resultam frequentemente no desempenho pobre, até que um agente tenha um número suficiente de interações a construir um retrato de confiança de um sócio particular e relatórios da testemunha, confiando nas próprias interações dos agentes que estão dispostos a compartilhar livremente de sua experiência. Para este fim, Huynh, et al. [Huynh 2006] apresentam a Reputação Certificada (CR), um modelo novo de confiança que possa superar estas limitações. Especificamente, a CR trabalha permitindo que os agentes forneçam ativamente referências *third-party* (para terceiros) sobre seu desempenho anterior como meio de construir a confiança. Os relacionamentos da confiança podem rapidamente ser estabelecidos com custo muito pequeno aos partidos envolvidos. Aqui eles avaliam empiricamente a CR e mostram que ela ajuda os agentes a escolherem mais rapidamente sócios melhores de interação do que os modelos que não incorporam esta função de confiança. Portanto, este trabalho aborda a questão da criação de uma reputação global (compartilhar experiências), que vai além das reputações estabelecidas individualmente.

Sistemas de reputação evoluem como um mecanismo para construir confiança em comunidades virtuais. Schlosser, et al. [Schlosser 2004] avaliaram diferentes métricas para computar a reputação em sistemas multi-agentes. Eles apresentaram um modelo formal descrevendo métricas em sistemas de reputação e mostraram como diferentes métricas bem conhecidas de reputação global são expressas por ele. Baseado no modelo, um framework genérico de simulação de métricas de reputação foi implementado e usado para comparar diferentes sistemas de reputação global para encontrar sua força e fraqueza. A força da métrica é medida por sua resistência contra

diferentes modelos de ameaça, isto é, diferentes tipos de agentes hostis. Portanto, este trabalho aborda questões sobre a possibilidade de usar diferentes métricas para avaliar a reputação.

Segundo Bitting e Ghorbani [Bitting 2004], os riscos e os benefícios de confiar em outros em um contexto cooperativo são discutidos, e a noção da racionalidade social é usada para estabelecer estas idéias no reino dos agentes autônomos racionais (maximizador de utilidade).

Teacy, et al. [Teacy 2005] fizeram uma pesquisa em que o objetivo era desenvolver um modelo de confiança e de reputação que assegurasse boas interações entre os agentes de software em sistemas abertos de grande escala, onde se pode observar: 1) agentes podem estar interagindo com si mesmos e podem fornecer experiências de clientes falsos com outros agentes se for benéfico para eles fazerem isto; 2) agentes necessitarão interagir com outros agentes que tenham pouca ou nenhuma experiência passada. Frente a isto, eles desenvolveram TRAVOS (Modelo de Reputação e Confiança de Organizações Virtuais Baseado em Agentes), que modela a confiança de um agente em interação com um sócio. Especificamente, a confiança é calculada usando a teoria da probabilidade pegando interações passadas entre agentes. Quando há uma falta de experiência pessoal entre agentes, o modelo extrai informação da reputação recolhida de terceiros.

Yu e Singh [Yu 2003] previamente desenvolveram um mecanismo social de gerência de reputação distribuída, nas quais um agente une testemunhos de várias testemunhas para determinar suas avaliações dos outros agentes. Entretanto, essa aproximação não protege inteiramente contra falsas avaliações geradas por agentes maliciosos. Este trabalho focaliza no problema da decepção na propagação e na agregação do testemunho. Eles introduziram alguns modelos de decepção e estudaram como eficientemente detectar agentes decepcionantes seguindo estes modelos.

Portanto, os três trabalhos acima abordam, respectivamente, questões sobre cooperação e ganho global (bem comum), reputação de terceiros e o problema da decepção.

Segundo Fullam e Barber [Fullam 2006], a estratégia de decisão da confiança de um agente consiste nas políticas do agente para fazer decisões relacionadas à confiança, tais como em quem confiar, quanto confiável é, que reputações acreditar, e quando dizer reputações verdadeiras. Em redes de troca de reputação, aprender as estratégias de decisão da confiança é complexo, comparado aos sistemas de comunicação não

reputáveis. Quando os sócios potenciais podem trocar informação sobre um agente, as interações de reputação do agente com um sócio não é independente das interações com outros. Os sócios podem dizer-se sobre suas experiências com o agente, influenciando o comportamento futuro. A pesquisa destes estudiosos enumera os tipos de decisões que um agente enfrenta na troca de redes de reputação, explica as interdependências entre estas decisões e recompensas correlacionadas a cada decisão. A variação no desempenho da aprendizagem baseada na reputação vs. a aprendizagem baseada em experiências sobre diferentes oponentes, ilustra a necessidade de determinar dinamicamente quando utilizar reputações vs. experiência na hora de fazer decisões de confiança. Portanto, este trabalho aborda questões sobre em quem e quanto confiar (incluindo a troca de reputações), e o seu impacto na dinâmica do sistema.

Sabater e Sierra [Sabater 2001] consideram que a reputação de um agente não é um conceito único e abstrato, mas sem dúvida ele é um conceito multi-faceta. A combinação destas facetas para construir reputações de conceitos complexos é chamada de *dimensão ontológica* da reputação. A aproximação seguida no trabalho deles se difere radicalmente de outros trabalhos no sentido que eles assumem a postura de que a estrutura social do agente é um fator essencial na pesagem das opiniões dos outros agentes. Outra maior contribuição desse trabalho é a maneira com que eles modelam a reputação com um conceito de multi-facetado. Portanto, este trabalho aborda a questão de reputações com múltiplas facetas levando em conta a estrutura social do agente.

O uso de interações diretas precedentes é provavelmente a melhor maneira para calcular uma reputação, mas, infelizmente, esta informação não está sempre disponível. Isto é especialmente verdadeiro nos grandes sistemas multi-agentes onde a interação é escassa. Por isso, Sabater e Sierra [Sabater 2002] apresentaram um sistema de reputação que tomava vantagem, entre outras coisas, das relações sociais entre agentes para superar este problema. Portanto, este trabalho considera questões sobre as relações sociais entre agentes.

Carter, et al. [Carter 2002] propuseram que através da formalização do conceito relacionado à confiança, um modelo mais exato de confiança pode ser implementado. O trabalho deles apresenta um novo modelo de confiança que é baseado na formalização da reputação. Uma aproximação multidisciplinar é levada a compreender a natureza da confiança e sua relação com a reputação. Através desta aproximação, uma definição prática de reputação é adotada do contexto sociológico e um modelo de reputação é desenhado e apresentado. A reputação é definida como o cumprimento do papel

(cinco papéis são definidos de modo que estes papéis sejam objetivamente cumpridos). Para formalizar a reputação, é necessário formalizar as expectativas colocadas em um agente dentro de um sistema multi-agente particular. Neste caso, os agentes são partes de uma sociedade que compartilha informação. Portanto, este trabalho considera a reputação como um cumprimento de um papel por parte do agente.

Baranski, et al. [Baranski 2006] desenvolveram uma pesquisa que apresenta resultados de estudos extensivos de simulação no *Dilema do Prisioneiro Iterado*. Dois modelos foram desenvolvidos: um modelo não grupal a fim de estudar os princípios fundamentais da cooperação e um modelo para imitar o etnocentrismo. Algumas extensões do modelo elementar de Axelrod implementaram a reputação individual. Além disso, eles introduziram a reputação do grupo para fornecer um cenário mais realístico. Em um ambiente com reputação do grupo, o comportamento de um agente afetará a reputação do grupo inteiro e vice-versa. Quando agentes desse tipo (por exemplo, aqueles com comportamento cooperativo) perdem reputação enquanto estão em um grupo, nas quais as estratégias defectivas são mais comuns, agentes com comportamento defectivo por outro lado beneficiam-se de um grupo com mais estratégias cooperativas. Com isso eles demonstraram que a reputação do grupo diminui a cooperação dentro do grupo e aumenta fora do grupo. Portanto, este trabalho aplica a simulação do Dilema do Prisioneiro Iterado para o estudo de estratégias cooperativas.

Derbas, et al. [Derbas 2004] apresentam TRUMMAR, um modelo de confiança baseado na reputação que os sistemas de agentes móveis podem usar para proteger agentes dos anfitriões maliciosos. TRUMMAR é original em ser um modelo verdadeiramente detalhado que explica, em um framework unificado, uma extensa gama de conceitos, tais como: a reputação prévia derivada, a primeira impressão, a perda da informação da reputação com o tempo, a hierarquia de sistemas de anfitriões (vizinhos, amigos e desconhecidos), e a inclusão da interação. TRUMMAR é também bastante geral para ser aplicado a algum sistema distribuído. Portanto, este trabalho aborda a integração de diferentes conceitos relativos a modelos de confiança, inclusive com interação.

Klos e Poutré [Klos 2003] apresentaram um mecanismo completamente descentralizado da reputação para aumentar a exatidão de avaliações dos agentes, e a confiança em outros agentes, como fornecedores de informação de confiança. Por fim, este trabalho aborda a questão da exatidão da informação de confiança.

A tabela abaixo (Tabela 2.1) apresenta um resumo dos trabalhos relacionados com os modelos de reputação que foram apresentados acima, destacando os elementos considerados mais importantes destes trabalhos. Os temas abordados nestes trabalhos serviram para levantar importantes discussões e foram uma importante fonte de inspiração para o desenvolvimento dos trabalhos e estudos aqui realizados, e que estão descritos nas seções seguintes desta dissertação.

TABELA 2.1: Trabalhos relacionados: Modelos de Reputação

Referência	Importantes Temas Abordados e Discutidos no Referido Trabalho
[Oh 2004]	Cooperação (ajuda e amizade) entre agentes.
[Gaston 2005]	Formação de grupos que atuam formando uma rede social.
[Lam 2004]	Reputação (confiança/honestidade) associada à adaptação de estratégias.
[Yu 2002]	Interação (correspondentes) com à criação de uma relação de confiança.
[Huynh 2006]	Reputação global que vai além das reputações individuais.
[Schlosser 2004]	Possibilidade de usar diferentes métricas para avaliar a reputação.
[Bitting 2004]	Cooperação e ganho global (bem comum).
[Teacy 2005]	Reputação recolhida de terceiros .
[Yu 2003]	Problema da decepção na propagação e agregação de testemunhos.
[Fullam 2006]	Em quem e quanto confiar (incluindo a troca de reputações), e o seu impacto na dinâmica do sistema.
[Sabater 2001]	Reputações com múltiplas facetas considerando a estrutura social do agente.
[Sabater 2002]	Relações sociais entre agentes.
[Carter 2002]	Reputação como um cumprimento de um papel por parte do agente.
[Baranski 2006]	Simulação do Dilema do Prisioneiro Iterado para o estudo de estratégias cooperativas

[Derbas 2004]	Conceitos relativos a modelos de confiança, inclusive com interação
[Klos 2003]	Questão da exatidão da informação de confiança

2.3 Jogos Administrativos

Uma definição simples é oferecida por Greene e Sisson [Greene 1959], onde os jogos administrativos são atividades realizadas por cooperação ou competição, buscando conquistar, dentro das regras, seus objetivos. Outras definições têm sido sugeridas. Alternativamente, há uma definição oferecida por Greenblat [Greenblat 1988], que enfatiza a forma com que os jogos podem ser usados para simular elementos da vida real.

2.3.1 A História dos Jogos Administrativos

Os Jogos Administrativos tornaram-se reconhecidos durante a Primeira Guerra Mundial e continuam se disseminando através dos anos.

A extensão dos jogos se deu pelo grande interesse da comunidade acadêmico-científica. A maioria, entretanto, foi influenciada por dois jogos. O primeiro apareceu em 1957 e foi um jogo baseado em computador, desenvolvido pela *American Management Association*. Ele foi publicado no livro *Top Management Decision Simulation*, escrito por Ricciardi et al. [Ricciardi 1957]. O segundo foi o manual do jogo desenvolvido por Andlinger [Andlinger 1958] e tornou-se amplamente conhecido após sua publicação no *Harvard Business Review*. Como um resultado destes dois jogos, muitas universidades e escolas de graduação de negócios começaram a desenvolver seus próprios jogos.

Ao mesmo tempo, menos atenção foi dada à adaptação destes jogos em ambientes computacionais. Shubik [Shubik 1968] publicou um artigo sobre o custo de jogar. Ele analisou que o uso dos computadores era visto pelos usuários como de difícil manuseio e os softwares eram caros demais. E, além disso, a comunidade acadêmica da época não tinha o conhecimento específico para desenvolver modelos de computadores mais acessíveis. Foi apenas após a introdução da calculadora programável da HP (Hewlett-Packard) que o primeiro sinal de uma revolução dos microcomputadores apareceu, e quando Greenblat e Duke [Greenblat 1981] incluíram uma HP em seu pacote de jogos. Através destes saltos na tecnologia, mais usuários podem agora usar computadores de forma mais acessível.

2.3.2 Tipos de Jogos Administrativos

É difícil nesta vasta área categorizar os jogos, pois eles não são todos apropriados. Muitos deles vêm de forma ampla, enquanto outros claramente pertencem a uma categoria particular. Entretanto é necessário agrupar os jogos para que os usuários possam facilmente localizar o tipo necessário. A divisão feita por Elgood [Elgood 1997] é usualmente a mais detalhada, como podemos conferir:

- Jogos baseados em modelos;
- Jogos de computadores;
- Jogos progressivos – subdivisões desta categoria incluem: labirinto, jogos de tabuleiro\dados\cartas, estudos de inquérito e jogos de fases;
- Jogos de discussão – este pode ser subdividido em exploratório, exercícios *in-tray* e simulações programadas;
- Simulações de atividade – as subdivisões desta categoria são experiências estruturadas, modelos de organização, tarefas práticas e atividades realizadas ao ar livre.

2.3.3 O Uso dos Jogos Administrativos

Os jogos podem ser usados por um número de razões baseadas nos objetivos de ensinar e treinar. Geralmente, eles permitem com que os indivíduos ensinem e treinem, praticando o que eles têm aprendido. Os benefícios dos jogos para ambos, treinador e participante, são numerosos. Elgood agrupa o uso sob três formas: preparar, examinar a performance e experimentar. Greenblat [Greenblat 1988] descreve em cinco benefícios: aumentar a motivação e interesse, ensinar e treinar, desenvolver a habilidade, mudar a atitude, e propor a avaliação de si mesmo ou a avaliação pelos outros.

Na área de jogos digitais e entretenimento, são chamados de “*serious games*”, quando possuem uma finalidade como estas descritas acima (treinar, ensinar, simular, ...).

2.3.4 Exemplos de Jogos Administrativos

O Jogo da Cerveja

Apesar do termo Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*) ter ganhado destaque e se tornado popular na década de 90, nos anos 60 o

MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) já tinha desenvolvido um jogo não computadorizado para simular a gestão de estoque em uma cadeia de suprimento, denominado Jogo da Cerveja, o qual até hoje continua a ser um dos jogos de empresa mais utilizados em todo mundo.

Tem como objetivo principal evidenciar a importância da integração e da troca eficiente de informações em uma cadeia de suprimentos. Para tanto, o jogo simula um processo de administração de estoques de empresas que compõem os diversos estágios de uma cadeia produtiva de cerveja (varejo, distribuidor, revendedor e fábrica) conforme é exposto na figura 2.1.

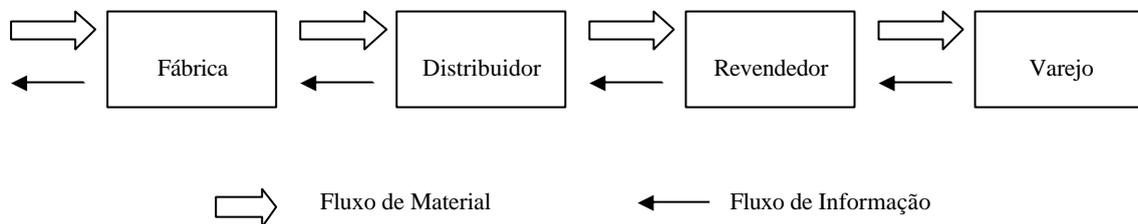


Figura 2.1 – Cadeia de Suprimento do Jogo da Cerveja

A grande diferença entre e os demais jogos de empresa é que a princípio não se trata de um jogo competitivo, mas sim colaborativo, uma vez que todas as empresas de uma mesma cadeia de suprimentos têm um objetivo comum, o de minimizar o custo total da cadeia. Para manter o caráter competitivo comum neste tipo de atividade, pode-se simular simultaneamente diversas cadeias de suprimentos competindo entre si.

Jogos de Logística Integrada

Para evidenciar a necessidade de uma integração não só entre as funções logísticas, mas também entre estas e a estratégia de marketing, alguns jogos simulam um ambiente competitivo no qual cada equipe é responsável pelo gerenciamento (estratégia) de uma das empresas concorrentes que atuam em mercados comuns (são exemplos os jogos LOG, o LOG-Advanced, o BR-LOG e o LOGA - os três primeiros desenvolvidos no *COPPEAD - Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade Federal do Rio de Janeiro* e o último na Universidade do Estado de Michigan). Estes jogos envolvem decisões relativas ao suprimento e transporte de matéria-prima, apoio à produção, distribuição de produtos acabados e estratégia de marketing.

Um grande atrativo destes jogos é o alto grau de motivação por parte dos participantes decorrente da competição entre as equipes ao disputarem uma parcela destes mercados, fazendo com que o resultado de cada período não seja fruto apenas de suas decisões, mas também das decisões e das estratégias dos demais grupos. Assim, uma determinada empresa pode, por exemplo, aproveitar o problema de disponibilidade de produto de um dos seus competidores para ganhar mercado. Conseqüentemente cada grupo tem a oportunidade de aprender não apenas com os seus erros e acertos, mas também com os da concorrência.

Westrek – a leadership and planning game

Uma equipe é levada por um helicóptero fechado em vôo noturno e deixada em um lugar desconhecido. Cada um dos integrantes tem uma mochila nas costas com um saco de dormir, comida suficiente e rações de sobrevivência para 10 dias, água para dois dias, um relógio, uma bússola, um machado e 10 metros de corda.

O piloto do helicóptero dá a cada membro um envelope antes de levantar vôo às 6h sobre a luz do amanhecer de forma repentina. Ele explica que todos devem iniciar a caminhada em relação a um marco natural no horizonte e que, ao meio-dia precisamente, devem parar e abrir seus envelopes.

É meio-dia, eles alcançaram o marco e têm que abrir seus envelopes. Os participantes constataam que contém um número de cartas com dicas – algumas explícitas, algumas enigmáticas – e um mapa da área na qual eles foram deixados.

A tarefa deles é responder as seguintes questões o mais preciso possível:

- De onde eles vieram? (Marcar o ponto de aterrisagem do helicóptero no mapa);
- Onde eles estão agora? (Marcar a localização atual no mapa);
- Aonde eles chegarão se continuarem se dirigindo nesta direção que eles estão agora? (Marcar a direção atual e a direção provável no mapa);
- Onde eles querem chegar? (Circular o destino/ objetivo planejado);
- Quando eles querem estar lá? (Qual é o prazo final?);
- Em quanto tempo eles chegarão lá? (Traçar a rota no mapa e calcular a duração da jornada).

Os objetivos deste treinamento são treinar os cinco passos essenciais no planejamento de algum projeto e demonstrar o necessário de cooperação,

compartilhamento, e sinergia em uma equipe, especialmente durante o planejamento de um projeto.

Nota-se que os três exemplos de jogos administrativos citados acima, possuem em comum uma preocupação com a estratégia adotada pelos diferentes participantes dos jogos, privilegiam a cooperação e o resultado coletivo (incluindo questionamento sobre estratégias de colaboração e interações), e por fim, utilizam-se de um jogo, usualmente avaliado por algum tipo de pontuação ou recompensa que permite medir o sucesso ou fracasso de um determinado jogador ou estratégia adotada. Estes elementos presentes nos Jogos Administrativos são também fonte de inspiração e um dos focos deste trabalho de dissertação.

Cabe lembrar que há um exemplo de jogos administrativos de extrema importância, que é o Dilema do Prisioneiro (PD), e sobre o qual daremos mais ênfase na próxima subseção, dado que este foi o problema escolhido para ser adotado em nossos estudos, implementações e simulações.

2.4 Teoria dos Jogos e o Dilema do Prisioneiro

2.4.1 Teoria dos Jogos

A teoria dos jogos, hoje vista e estudada em diferentes campos acadêmicos (passando de ferramenta para análise do comportamento econômico a instrumento para definição de estratégias nucleares), é um ramo da matemática aplicada que se propõe a estudar situações estratégicas onde os jogadores realizam suas variadas escolhas de ações buscando um melhor retorno. Não se detendo somente a nível acadêmico, a cultura popular também está atenta à teoria dos jogos conforme observamos em manifestações artísticas (filme *Jogos de Guerra* – Estados Unidos, 1983, direção de John Badham/ biografia de John Nash – matemático e pesquisador da teoria dos jogos – 1998, Sylvia Nasar/ filme *Uma Mente Brilhante* – Estados Unidos, 2001, direção de Ron Howard).

Considerando o grande interesse em jogos como o Dilema do Prisioneiro, que se caracterizam basicamente por interesses próprios e racionais prejudicarem a todos envolvidos na relação, a teoria dos jogos já pode ser observada aplicada em uma gama de conhecimentos específicos, como nas ciências políticas, na biologia, na administração e na economia, na ética e na filosofia e, mais recentemente, no jornalismo, onde se concentram diversos jogos competitivos e cooperativos. Nas

ciências da computação, por conseguinte, a teoria dos jogos ganha espaço impulsionada por projetos voltados à Inteligência Artificial e à cibernética.

A teoria dos jogos se diferencia da teoria da decisão¹ à medida em que estuda decisões que são tomadas em um ambiente onde vários jogadores interagem. A teoria dos jogos estuda as escolhas de comportamentos em um cenário onde o custo e o benefício de cada opção não são fixos porque dependem da escolha dos outros participantes, ou seja, se depara com resultados que dependem da própria estratégia de um agente e das condições de mercado e também das estratégias escolhidas por outros agentes que possivelmente têm estratégias diferentes ou objetivos comuns.

2.4.2 O Dilema do Prisioneiro

O Dilema do Prisioneiro foi originalmente idealizado por Merrill Flood e Melvin Dresher trabalhando nos laboratórios da corporação estadunidense RAND em 1950. Albert W. Tucker formalizou o jogo com pagamentos de sentenças de prisão e deu o nome de “Dilema do Prisioneiro” [Poundstone 1992]. Este problema é particularmente importante e será utilizado em nosso trabalho. Uma das principais razões de sua adoção é pelo fato de ser um problema clássico, e devido ao fato de permitir que sejam implementadas “partidas”, como em um jogo de cartas, por exemplo, com a possibilidade de participação de múltiplos jogadores, e principalmente com um inteligente sistema de pontuação que permite avaliar as diferentes estratégias de jogo adotadas pelos participantes do jogo, conforme descreveremos a seguir.

O dilema do prisioneiro (Prisoner’s Dilemma) trata de um problema clássico abordado na área de Teoria dos Jogos (Game Theory), estando diretamente relacionado a questões como cooperação, confiança e traição. 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 aplicação da Teoria dos Jogos em diversas áreas. Pesquisas nesta área vêm possibilitando o estudo de novos modelos na economia, aplicados na simulação em biologia e aplicados também em estudos

¹ A teoria da decisão (Herbert Simon - 1945) fundamenta-se em explicar o comportamento humano nas organizações. Na Teoria Comportamental da Administração a organização é considerada como um sistema de decisões em que cada pessoa participa racional e conscientemente, escolhendo e tomando decisões a respeito de alternativas mais ou menos racionais de comportamento.

sociológicos. Existe uma farta bibliografia que aborda o dilema do prisioneiro e suas variantes. Também encontramos na Internet diversos sites com ferramentas de simulação deste problema, como, por exemplo, o site *Game Theory.net*², que possui um applet em Java disponibilizando um jogo interativo baseado neste problema.

O dilema do prisioneiro clássico (PD) funciona da seguinte forma: Dois suspeitos, A e B, são presos pela polícia. A polícia tem provas insuficientes para condená-los, mas, separando os prisioneiros, oferece a ambos o mesmo acordo: se um dos prisioneiros testemunhar para a procuradoria contra o outro e o outro permanecer em silêncio, o dedo-duro 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 2 anos de cadeia. Cada prisioneiro faz 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?

O dilema pode ser resumido assim:

TABELA 2.2: Análise simulatória de resultados no jogo “O Dilema do Prisioneiro”.

	Prisioneiro B fica em silêncio	Prisioneiro B trai
Prisioneiro A fica em silêncio	Cada prisioneiro serve seis meses	Prisioneiro A serve dez anos Prisioneiro B sai livre
Prisioneiro A trai	Prisioneiro A sai livre Prisioneiro B serve dez anos	Cada prisioneiro serve dois anos

Podemos expor o princípio básico do jogo para permitir que seja aplicado em outras situações além desta dos prisioneiros. A forma generalizada do jogo tem sido usada frequentemente em experimentos econômicos, onde por exemplo, podemos associar a idéia de silenciar (cooperar) e de testemunhar contra (trair) com conceitos como em uma transação comercial onde dois parceiros compram e vendem

² Site Game Theory.net. Disponível em <http://www.gametheory.net/Web/PDilemma/>, acessado em 15/6/2007.

mercadorias: se um dos agentes vender uma mercadoria e entregar o produto (cooperou) ou se não entregar (traiu); e se o outro agente que comprou a mercadoria pagar por ela (cooperou) ou se não pagar (traiu). Vários outros exemplos de situações podem ser associados a este modelo.

Temos, por exemplo, dois jogadores e um banqueiro (jogo de cartas). Cada jogador mantém um jogo de duas cartas: uma impressa a palavra “Cooperar”, a outra impressa com “Trair” (a terminologia padrão para o jogo). Cada jogador coloca uma carta com a face virada para baixo em frente ao banqueiro. Pela colocação das cartas, a possibilidade de um jogador saber a seleção do outro é eliminada. Ao fim do torneio, o banqueiro desvira ambas as cartas e paga em conformidade.

Se o jogador 1 (vermelho) trai e o jogador 2 (azul) coopera, o jogador 1 ganha o pagamento de 5 pontos enquanto o jogador 2 recebe o pagamento de 0. Se ambos cooperam, eles ganham o pagamento de três pontos cada, enquanto se ambos se traírem receberão o pagamento de 1 ponto. A matriz de pagamento é mostrada abaixo:

TABELA 2.3: Matriz de pagamento

	Jogador 2 Cooperar	Jogador 2 Trair
Jogador 1 Cooperar	Cada jogador ganha três pontos	Jogador 1 ganha 0 pontos Jogador 2 ganha 5 pontos
Jogador 1 Trair	Jogador 1 ganha 5 pontos Jogador 2 ganha 0 pontos	Cada jogador ganha um ponto

Esta matriz de pontuação é uma das peças-chave do PD clássico, pois ela permite codificar de modo bastante realista as punições e recompensas recebidas pelos jogadores quando cooperam mutuamente, quando um trai ao outro, ou quando ambos são prejudicados pelas ações mútuas de traição.

Como foi visto, o dilema do prisioneiro trabalha como um jogo, e pode ser implementado através de uma simulação, onde pontua os jogadores conforme a ação executada, usa confiança e traição, sendo que através destas ações e estratégias podemos analisar a tomada de rumo do jogo, que pode inclusive ser jogado por múltiplos jogadores, dando ênfase à abordagem multi-agente.

2.4.3 Dilema do Prisioneiro Iterado (IPD)

Axelrod [Axelrod 1984], em *A evolução da cooperação*, estuda uma extensão ao cenário clássico do dilema do prisioneiro que classificou como *Dilema do Prisioneiro Iterado* (IPD). (*Iterated Prisoner's Dilemma* - IPD). 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. O IPD pode ser considerado um sistema dinâmico, cuja análise da evolução do jogo pode ser realizada através da implementação de uma simulação da dinâmica do sistema (sujeito as diferentes “regras” e “mudanças” de comportamento adotadas pelos participantes do jogo).

Em torneio promovido por Axelrod, onde participaram acadêmicos de diversas instituições distribuídas em todas as partes do mundo concebendo estratégias automatizadas para competir num torneio de IPD (os programas participantes denotaram extrema variação na complexidade do algoritmo: hostilidade inicial, capacidade de perdão e similares), o cientista descobriu que por estes encontros repetitivos durante um longo período, na presença de muitos jogadores, tendo cada indivíduo suas estratégias próprias, a longo prazo as estratégias “altruístas” eram melhores que as “egoístas”, julgando-as unicamente em consideração ao próprio interesse do agente. Fez uso deste mecanismo para exemplificar um possível esquema que explicasse o que antes tinha sido um entrave na teoria da evolução: como um comportamento altruísta evolui na seleção natural a partir de artefatos puramente egoístas?

Anatol Rapoport apresentou o programa mais simples, o *tit for tat* (“olho por olho” ou “retaliação equivalente”) [Wikipedia 1], que continha somente quatro linhas de BASIC, e ganhou o concurso por ter sido considerado a melhor estratégia determinista, que consiste em cooperar na primeira iteração do jogo, e, nas próximas, optar pelo o que o oponente escolheu na rodada anterior. Esta estratégia evolui para a “*tit for tat* com capacidade de perdão”, onde o oponente deserta (traí) e na seguinte rodada coopera-se por vezes com ele com uma pequena probabilidade, o que permite a recuperação ocasional de ficar encerrado em um círculo vicioso de deserções (traições). A probabilidade exata depende do alinhamento dos oponentes, mas deve variar de 1% a 5%. Esta é a melhor estratégia a ser adotada quando se introduzem problemas de comunicação no jogo. Isto porque há vezes em que a jogada é transmitida incorretamente ao oponente, isto é, o oponente pensa que se desertou quando ocorreu a cooperação.

Conforme Axelrod, esta estratégia se destaca por dois motivos: 1) é “amável”, apenas deserta como resposta à deserção de outro jogador, nunca é responsável pelo início de um ciclo de deserções mútuas; 2) pode ser provocado por sempre responder o que faz o oponente, castiga imediatamente o outro indivíduo se este deserta, mas responde adequadamente se coopera de novo. O comportamento claro, ético e direto possibilita o fácil entendimento do outro jogador quanto à lógica da estratégia, que fica confortável para um relacionamento produtivo com o outro membro.

Por outro lado, nem sempre pode-se dizer qual é a melhor estratégia para o IPD, o que varia conforme o cenário. Em uma ambiente onde todos desertam sempre e apenas um indivíduo mantém a estratégia *tit for tat*, este já sai em desvantagem porque perde a primeira jogada. Em outro exemplo onde parte dos indivíduos desertam sempre e outra parte dos indivíduos seguem a estratégia *tit for tat*, a melhor estratégia depende de variáveis como a porcentagem e a duração do jogo.

As estratégias pior classificadas no torneio de Axelrod não estavam programadas para responder às escolhas dos outros jogadores. Contra estes opositores a melhor alternativa é desertar (trair) sempre, já que se inviabiliza a certeza de uma cooperação mútua.

Axelrod estabeleceu determinadas condições necessárias para o sucesso de uma estratégia ao analisar a performance das estratégias melhor sucedidas no torneio:

Amabilidade

É a condição mais importante: ser amável significa não desertar antes que o opositor. A maioria das estratégias melhor pontuadas eram amáveis, sendo que minimizam o poder de uma estratégia egoísta.

Retaliação

A estratégia vencedora precisa recuar na amabilidade porque “colaborar sempre” dá vazão para que as estratégias oportunistas explorem esta fraqueza a todo o momento.

Perdão

Uma qualidade das estratégias vencedoras é que são capazes de cooperar com o opositor logo que retaliem, evitando um ciclo vicioso de vinganças e otimizando os resultados.

Não-inveja

Uma estratégia amável não pode querer fazer mais pontos que seus opositores.

Para Axelrod, os indivíduos egoístas, aniquilados pelo seu próprio egoísmo, tenderão a ser amáveis, colaborantes, indulgentes e não invejosos. Uma das mais significativas conclusões e contribuições do estudo de Axelrod quanto a esta problemática é que os indivíduos “amáveis” são os melhores classificados.

2.5 Discussão sobre o Modelo Cooperativo Multi-Agente com Reputação e Interação

Nas subseções anteriores podemos observar um apanhado geral sobre os trabalhos com modelos de reputação e jogos administrativos de forma separada. Vimos que o problema do Dilema do Prisioneiro (PD) é uma ferramenta interessante de análise sobre questões de comportamento, interação, cooperação e traição entre agentes. Foi apresentado que este problema pode ser apresentado em diferentes configurações, onde se destacou:

PD clássico – Dilema do Prisioneiro (*Prisoner's Dilemma*), onde dois agentes tomam uma decisão sobre se devem cooperar ou trair, sendo pontuados em relação a sua ação.

IPD – Dilema do Prisioneiro Iterado (*Iterated Prisoner's Dilemma*), onde dois agentes disputam uma seqüência de partidas do PD clássico. Desta forma é possível analisar o comportamento dos agentes ao longo do tempo, assim como podemos também avaliar o acúmulo da pontuação ao longo de diversas rodadas do jogo.

MAPD – Dilema do Prisioneiro para Multi-Agentes (*Multi-Agent Prisoner's Dilemma*), onde diversos agentes jogam entre si uma partida do PD clássico. Neste caso, podemos também computar a pontuação acumulada de um agente em relação as N partidas de PD que ele realizou com cada agente.

MAIPD – Dilema do Prisioneiro Iterado para Multi-Agentes (*Multi-Agent Iterated Prisoner's Dilemma*), onde diversos agentes jogam entre si diversas rodadas de partidas do PD clássico. Esta dissertação está focada na aplicação do MAIPD como ferramenta para o estudo do comportamento em sistemas multi-agentes.

Indo mais além, numa análise mais profunda, não encontramos trabalhos sobre o tema que estamos propondo: um **modelo cooperativo multi-agente utilizando reputação e interação**, aplicado ao problema do IPD. Em alguns jogos administrativos

que aqui descrevemos, até encontramos cooperação ou então um modelo de reputação com cooperação, mas pretendemos desenvolver um modelo que utilize o dilema do prisioneiro iterado como base, para que os diversos jogadores possam jogar mais vezes seguidas, criando assim suas estratégias através de interações com os demais jogadores e mecanismos de reputação e cooperação.

Capítulo 3

Modelo Proposto

Neste capítulo será descrito o modelo do agente que está sendo proposto, juntamente com seus atributos, os comportamentos dos agentes e a interação entre os agentes. Também será apresentado o ambiente de simulação, as ferramentas implementadas, bem como o modo como ele se integra ao IPD, além de serem abordadas as possíveis aplicações das simulações e os resultados esperados.

3.1 Modelo do Agente

Cada agente possui um conjunto de variáveis composto por K = conhecimento global (conhecimento e reputação global), S = estado (personalidade e estado emocional) e I = Intenção (ação), onde este modelo é inspirado no proposto por Musse [Musse 2000]. A partir destas variáveis citadas e descritas na figura 3.1, notadamente EE (Estado Emocional), P (Personalidade) e R_g (Reputação Global), é obtida uma variável adicional denominada de Influência (INF). Estas variáveis serão detalhadas a seguir.

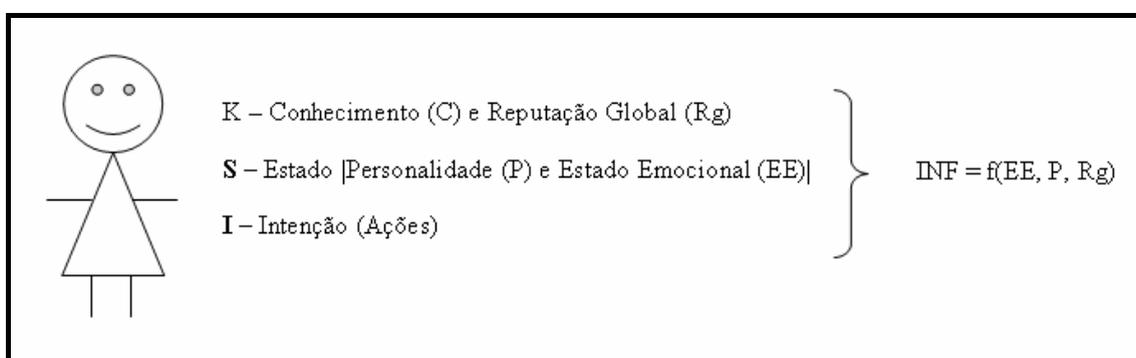


FIGURA 3.1 – Modelo de Agente

3.1.1 Conhecimento Global do Agente(K)

O conhecimento global de um agente está dividido em: Conhecimento (C) e Reputação Global (Rg).

3.1.1.1 Conhecimento (C)

O conhecimento é tudo o que o agente foi capaz de aprender sobre os demais agentes e sobre o ambiente onde está inserido.

3.1.1.2 Reputação Global (Rg)

A reputação global é a média da reputação dada pelos demais agentes ao agente em questão e tem como valor inicial o mesmo percentual para todos os agentes. Podemos ter posteriormente agentes com reputação global alta e agentes com reputação global baixa. O valor da reputação, nas simulações que realizamos com um conjunto de 10 agentes, varia de 0 a 100, onde uma reputação com valor 10 é considerada uma má reputação e uma reputação com valor 90 é considerada uma boa reputação. Os valores intermediários podem ser considerados bons ou ruins dependendo do limiar de tolerância adotado pelos agentes.

3.1.2 Estado (S)

O estado de um agente é dividido em: Personalidade (P) e Estado Emocional (EE)

3.1.2.1 Personalidade (P)

A personalidade dos agentes será setada no início da simulação e permanecerá igual durante todo o experimento, onde cada agente terá sua própria personalidade setada individualmente.

Um agente pode ter personalidade forte, capacidade de formar suas próprias opiniões e assim se tornar um influenciador; personalidade fraca, capacidade de deixar-se levar muitas vezes pelas opiniões dos outros, desconsiderando as suas, e assim ser influenciado; e personalidade média, capacidade de analisar o que é certo e errado e tomar suas decisões de forma consciente.

O agente com personalidade forte pode influenciar um agente de personalidade fraca de forma positiva ou negativa, o que vai depender do tipo de ação que ele estiver executando no momento da interação.

3.1.2.2 Estado Emocional (EE)

O estado emocional de um agente identifica se o agente está triste ou feliz. A reputação global afeta o estado emocional: quando aquela está alta, o agente fica mais feliz, e quando está baixa, o agente fica mais triste.

Isto abre a possibilidade de posteriormente analisar o estado emocional sendo afetado por outros parâmetros, como por exemplo, a personalidade e a sua interação com os demais agentes.

3.1.3 Influência (INF)

A influência de um agente é calculada através de uma função que utiliza o estado emocional (EE), a personalidade (P) e a reputação global (RG).

$$INF_A = f(EE_A, P_A, RG_A) \quad (1)$$

Calculando a influência, podemos dizer se o agente tem influência positiva, negativa ou não tem influência sobre os demais agentes à sua volta. No IPD a influência positiva é quando um agente induz os outros agentes a terem um “bom comportamento” (ser honesto e cooperar) com os demais agentes em uma jogada. Por outro lado, a influência negativa é quando um agente usa de sua influência para levar outros agentes a traírem a confiança de outros, e a não influência é quando um agente ora trai, ora coopera.

Após passar pelo teste de influência, o agente em questão avalia os agentes que estão à sua volta, com o intuito de influenciá-los.

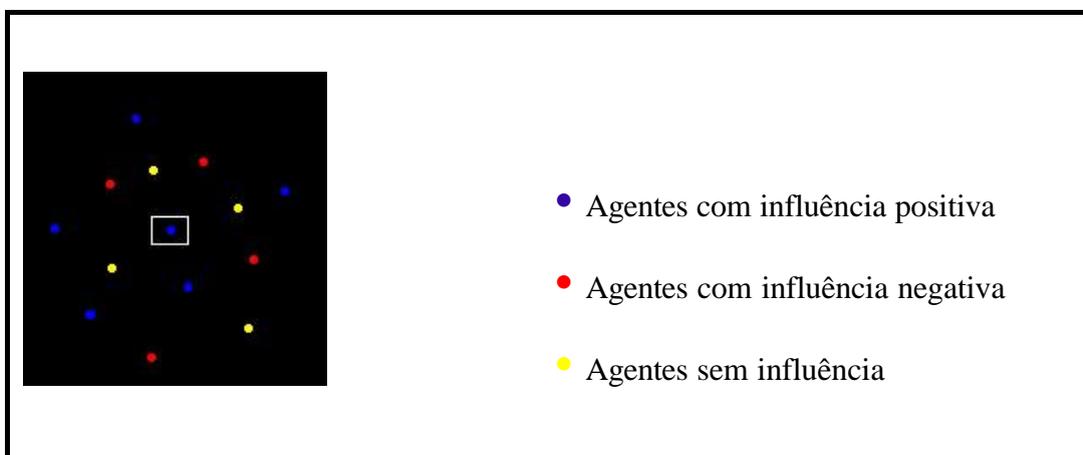


FIGURA 3.2 – Agente dentro do quadro branco influenciará de forma positiva os demais agentes à sua volta.

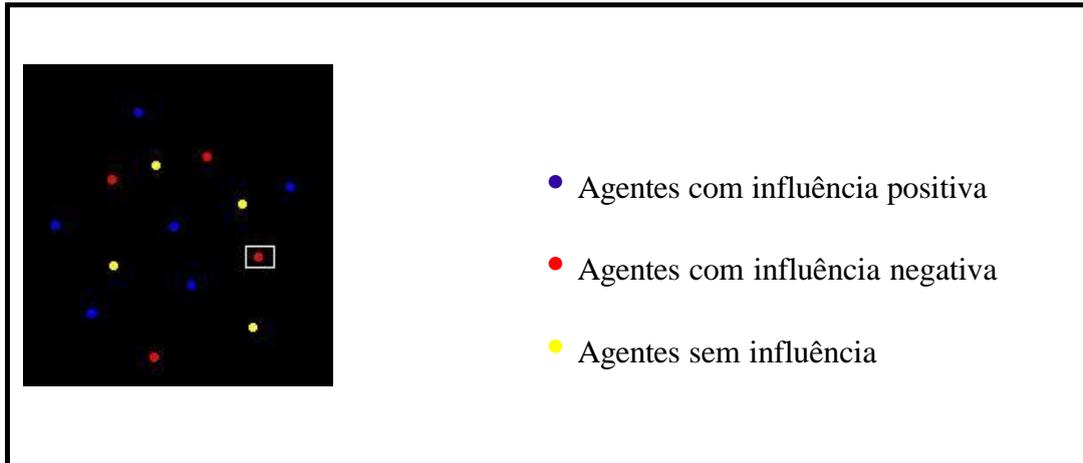


FIGURA 3.3 – Agente dentro do quadro branco influenciará de forma negativa os demais agentes à sua volta.

Os agentes que foram influenciados passarão a agir como aqueles que os influenciaram, de forma positiva ou negativa, já os que não sofreram nenhum tipo de influência continuarão agindo normalmente.

3.1.4 Intenção (I)

A intenção nada mais é do que as ações que os agentes executam. Foram estipuladas duas ações. Como no IPD, se um dos prisioneiros testemunharem para a procuradoria contra o outro e o outro permanecer em silêncio, o dedo-duro sai livre enquanto o cúmplice silencioso cumpre 10 anos de sentença, se ambos ficarem em silêncio, a polícia só pode condená-los a seis meses de cadeia cada um, e se ambos traírem o comparsa, cada um leva dois anos de cadeia. Resolvemos definir as ações levando isto em consideração: trair um agente ou cooperar com um agente.

As ações são executadas pelos agentes em suas trajetórias e sofrem influência de acordo com o comportamento que eles estiverem adotando. As ações são simbolizadas respectivamente pelos numerais 1 (trair) e 2 (cooperar).

3.2 Comportamento dos Agentes

O comportamento do agente é informado através de um arquivo de configuração em formato texto e é estipulado para cada um dos agentes. Foram criados seis tipos de comportamentos, sendo que um deles utiliza como atributo para a tomada de decisão sobre a ação a realizar, a reputação global do agente. Os comportamentos irão influenciar as ações de forma positiva ou negativa.

Comportamento 1: Aleatório, ora leva o agente a trair, ora a cooperar. O comportamento aleatório foi considerado nas simulações como o comportamento “baseline”, aquele que servirá de referência em termos de desempenho no jogo (não usa nenhum tipo de inteligência na tomada de suas decisões sobre como agir);

Comportamento 2: Sempre trair, leva o agente a agir de forma negativa e a executar a ação de sempre trair;

Comportamento 3: Sempre cooperar, leva o agente a agir de forma positiva e a executar a ação de sempre cooperar;

Comportamento 4: Se baseia na jogada anterior para jogar a próxima alternando as ações, ou seja, ora trai, ora coopera, dependendo da ação executada na partida anterior;

Comportamento 5: Cooperar com os demais para se defender contra um agente traidor. Os agentes cooperam entre si para se defenderem de um agente que os está traindo sempre, ou seja, um agente com comportamento do tipo 2 (sempre trai);

Comportamento 6: Cooperar com os demais, levando em consideração a reputação para se defender de agentes traidores. Os agentes cooperam entre si para se defenderem de um agente que os está traindo, levando em consideração ainda sua reputação. Usa um limiar que pode ser configurado, com o intuito de formar grupo com agentes de boas reputações. Nas simulações apresentadas no próximo capítulo, foi usado um limiar com o valor 70, ou seja, o agente que mais cooperou do que traiu é considerado “confiável” (coopera, aceitando inclusive um baixo nível de traição) e trai sempre o agente que teve um fraco nível de cooperação (reputação abaixo do limiar).

É importante destacar que as ferramentas implementadas foram projetadas de modo bastante modular e flexível, a fim de que novos tipos de comportamentos pudessem ser adicionados ao ambiente de simulação. Estudos futuros poderão ser feitos usando o modelo proposto, mas incorporando novos modelos de comportamento dos agentes, assim como, podem também ser ajustados os parâmetros, como o limiar de reputação, adotados nos experimentos práticos detalhados no próximo capítulo.

3.3 Interação Entre os Agentes

Os agentes pertencem ao mundo/ambiente de interação e nele fazem suas trajetórias de forma aleatória. Todos partem de uma posição inicial e têm uma posição final, que é sorteada a cada vez que eles se encontrarem perto da posição final anterior. Ao se aproximarem de outros agentes eles interagem trocando informações e

atualizando seus conhecimentos e atributos, e podendo sofrer influências dos demais agentes (e.g. afetando a reputação ou o comportamento). Essas interações são executadas por todos os agentes, sendo que cada um terá a sua lista de reputações, em que fica registrada a reputação dos demais agentes com os quais se interagiu. Na ilustração abaixo o agente A está interagindo com o agente B e ambos estão alimentando os seus conhecimentos (K_a e K_b) com a reputação (R_a e R_b) do outro.

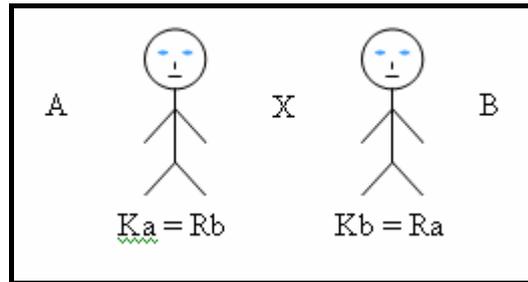


FIGURA 3.4 – Interação entre dois agentes

A interação entre agentes permite que um agente influencie e até modifique o modo de agir (comportamento) de um outro agente, ou re-avalie a reputação deste agente. Esta mudança no comportamento do agente também terá um impacto indireto na sua reputação, pois a reputação é obtida a partir do modo como o agente se comporta. Por exemplo, um agente pode mudar do Comportamento 1 (aleatório) para o Comportamento 2 (sempre trai) por influência de algum outro agente que o leva a agir desta forma.

3.4 Ambiente de Simulação e Implementações

O ciclo da simulação está dividido em duas etapas. A primeira etapa é quando ocorre a interação entre os agentes no mundo/ ambiente, onde eles trocam informações e atualizam seus conhecimentos e atributos (e.g. influência). Na outra etapa, que pode ocorrer após cada interação, ou mesmo iniciar diretamente por ela, os agentes jogam uma partida da aplicação baseada no problema do IPD (Dilema do Prisioneiro Iterado - *Iterated Prisoner's Dilemma*), e com um conjunto de partidas podemos avaliar as diferentes estratégias dos agentes. O IPD será utilizado com o objetivo de avaliar as jogadas dos agentes (são disputadas diversas partidas entre os diversos pares de agentes), fornecendo uma avaliação quantitativa do desempenho dos agentes (individualmente, por grupos, ou medindo o desempenho médio global de todos). Com isso poderemos obter uma análise mais apurada do desempenho dos agentes, e será possível avaliar a

influência do uso de diferentes percepções (e.g. reputação, formação de grupos), bem como também será possível avaliar a evolução no tempo das estratégias, determinando se houve uma melhoria no comportamento do agente ou não (se pontuou mais ou menos).

Este ambiente de simulação, através deste ciclo composto de duas etapas (Figura 3.5), uma de interação e a outra de disputa (MA-IPD), permite que possamos realizar simulações e estudos envolvendo: (i) análise e implementação de diferentes comportamentos dos agentes, bem como avaliação do seu desempenho nas disputas através da pontuação; (ii) análise do impacto de certos atributos, como a reputação, na tomada de decisão do agente afetando seu modo de agir; (iii) análise do impacto da interação entre agentes, envolvendo questões como a influência de um agente sobre o outro, seja afetando sua reputação (re-avalia a reputação), ou até mesmo através de uma influência que leve um determinado agente a mudar de comportamento.

A evolução de estratégias é, portanto, o resultado de uma mudança de comportamento dos agentes, onde esta mudança do comportamento do agente pode ter sido gerada de modo direto por influência das interações com os demais agentes, ou de modo indireto, ao afetar as reputações, que podem levar a mudanças no comportamento.

3.5 Ferramentas Implementadas

Foram desenvolvidas duas ferramentas, o Simulador do IPD e o Simulador de Interações, ambos implementados utilizando a linguagem de programação C++. O Simulador de Interações contou ainda com o suporte da biblioteca gráfica OpenGL.

3.5.1 Simulador do IPD

O Simulador do IPD recebe como entrada dois arquivos textos, um contendo o comportamento de cada agente (conforme exemplo da Figura 3.6) e o outro com a reputação global dos agentes (conforme exemplo da Figura 3.7). A reputação global do agente é uma reputação inicial configurada pelo usuário, ou após uma rodada do IPD, esta reputação irá refletir a avaliação da reputação da rodada anterior.

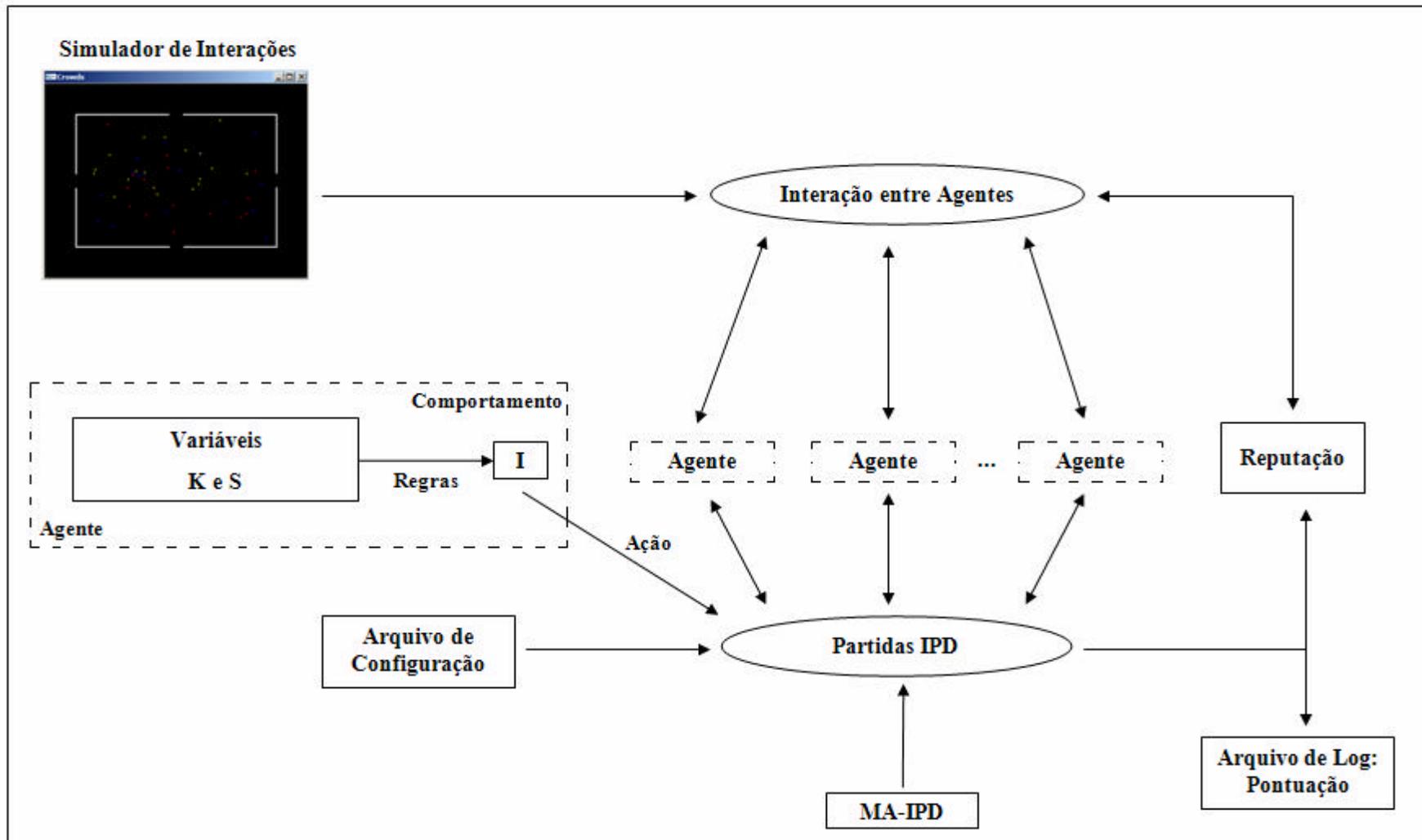


FIGURA 3.5 – Ciclo

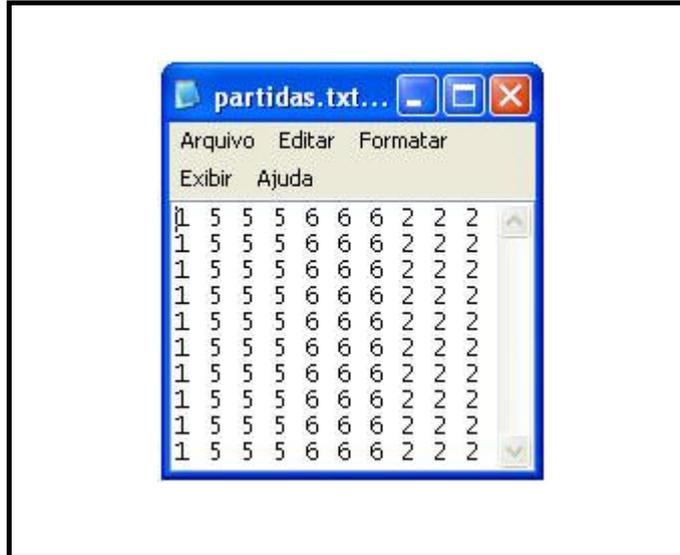


FIGURA 3.6 – Arquivo partidas.txt contendo os comportamentos dos agentes

O arquivo “partidas.txt” descreve o comportamento dos agentes para cada rodada do jogo. Sendo assim, no exemplo da Figura 3.6, temos 10 agentes que mantêm o seu comportamento constante ao longo de 10 partidas, onde o primeiro tem um comportamento aleatório (Comportamento 1, conforme descrito na seção 3.2), do segundo ao quarto agentes estes tem um comportamento do tipo 5, do quinto ao sétimo agentes estes tem um comportamento do tipo 6 e os três últimos agentes tem um Comportamento 2 (sempre trai).



FIGURA 3.7 – Arquivo reglobal.txt contendo a reputação global dos agentes

Nas simulações que realizamos, relatadas no Capítulo 4, foram utilizados 10 agentes, onde cada rodada era composta de 10 partidas realizadas contra cada um dos demais agentes, obtendo assim um total de 100 partidas por rodada.

É importante destacar que o número de agentes, assim como o número de partidas em cada rodada pode ser facilmente reconfigurado no simulador. Podemos

facilmente configurar as ferramentas implementadas para trabalhar com um número maior de agentes e de partidas por rodada.

Cada agente joga contra todos os demais e ao final de cada confronto é gerado um arquivo texto com o resumo deste confronto informando as jogadas de cada agente, juntamente com as ações executadas, a pontuação no confronto, a pontuação geral, a reputação do agente após o confronto e a reputação acumulada do mesmo. A pontuação foi calculada baseada na Tabela 2.2 do Capítulo 2 (pontuação adotada no problema do PD), onde:

- Traição x Traição = 1 ponto a cada agente;
- Traição x Cooperação = 5 pontos ao agente que traiu e 0 pontos para o outro agente que cooperou;
- Cooperação x Cooperação = 3 pontos a cada agente.

São disputadas N partidas (onde $N=10$ em nossas simulações) e ao final da rodada temos um arquivo texto com a pontuação geral dos agentes (Fig. 3.8), e no arquivo que contém a reputação global já citado anteriormente obteremos a reputação geral dos agentes (Fig. 3.9), pois o mesmo é sobrescrito a cada novo confronto. A comunicação entre o Simulador do IPD e o Simulador de Interações é feita através destes arquivos, que contém as informações das reputações e a configuração dos agentes.

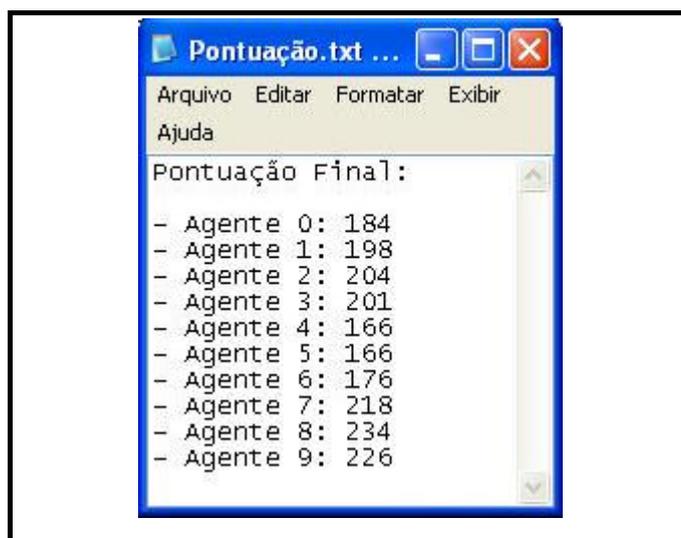


FIGURA 3.8 – Arquivo Pontuação.txt com a pontuação final da rodada.

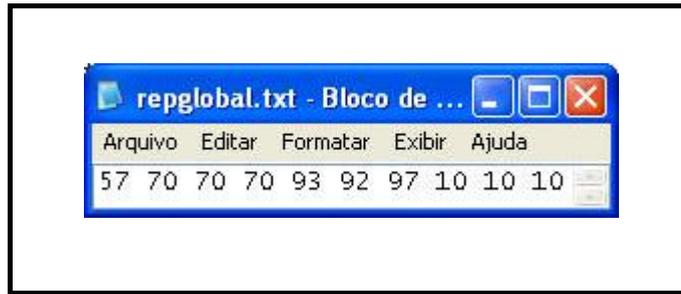


FIGURA 3.9 – Arquivo repglobal.txt com a reputação global dos agentes após o término da rodada

Analisando, por exemplo, os arquivos desta rodada, podemos demonstrar que o agente 8 foi o que obteve a maior pontuação, pois ele estava utilizando o comportamento 2 (sempre trair), e, como consequência, sua reputação ficou inferior em relação aos demais agentes.

3.5.2 Simulador de Interações

O Simulador de Interações, por sua vez, inicia sua simulação com um arquivo de configuração dos agentes (contém dados sobre o comportamento, estado emocional, personalidade, etc), e o arquivo texto da reputação global, gerado no Simulador do IPD, como entrada. Em seguida os agentes seguem suas trajetórias durante o tempo da simulação e interagem com os demais agentes trocando informações e “alimentando” sua reputação global.

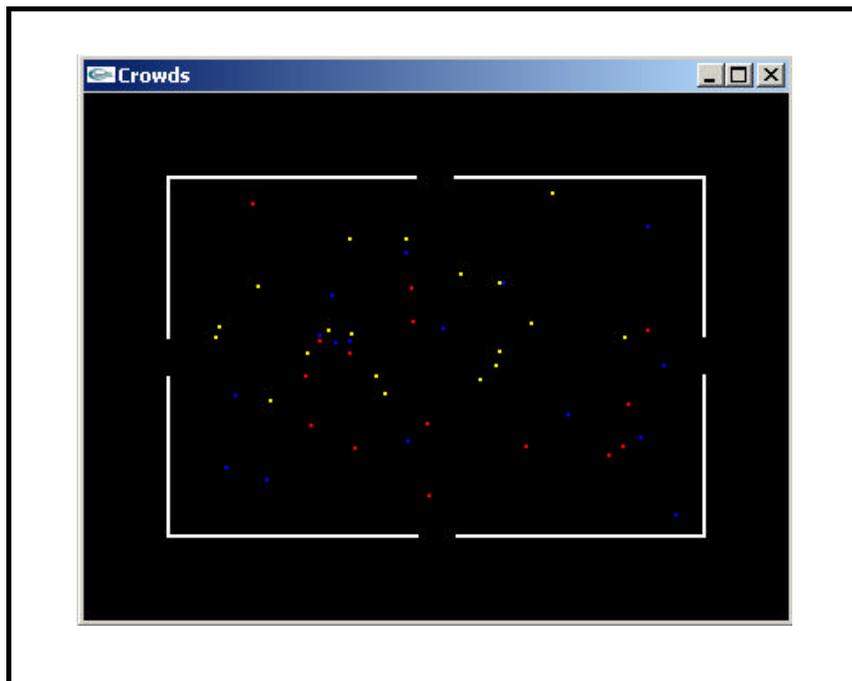


FIGURA 3.10 – Tela do Simulador de Interações

Agentes da cor azul são ditos como agentes de boa reputação perante aos demais, os vermelhos são os com baixa reputação, e os amarelos são os que ainda não interagiram.

Ao final da simulação temos o arquivo das reputações dos agentes atualizado e mais três arquivos: um arquivo com todas as interações que os agentes fizeram (interação_agentes.txt), um arquivo da situação dos agentes (situação.txt) indicando como evoluíram as reputações, e um arquivo que lista todos os agentes junto ao agente que mais lhe influenciou durante as interações.

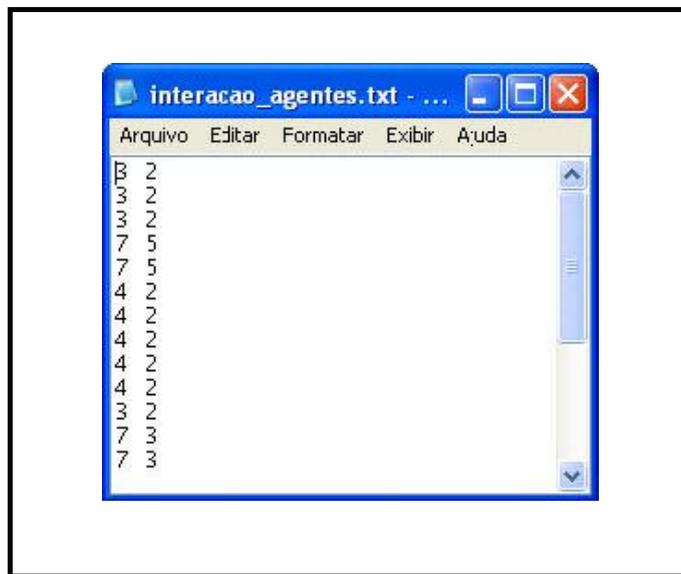


FIGURA 3.11 – Arquivo interação_agentes.txt com a demonstração dos agentes que interagiram

A Figura 3.11 apresenta o formato do arquivo “interação_agentes.txt” que contém 2 colunas (2 valores por linha), as colunas indicam os índices dos agentes que interagiram. Por exemplo, na primeira linha do exemplo da Fig. 3.11 está indicado que o agente 3 interagiu com o agente 2, e pouco mais abaixo constatamos a interação do agente 7 com o agente 5.



FIGURA 3.12 – Arquivo situação.txt com a descrição dos agentes a cada cinco tempos da simulação

A Figura 3.12 mostra que as reputações dos agentes foram afetadas de tal forma durante as interações, que uma das reputações consideradas negativa (estava abaixo do limiar de reputação) passou a ser considerada positiva (ficou acima do limiar). Durante as interações os agentes podem mudar suas reputações devido ao fato de estarem se relacionando com agentes influenciadores. Eles podem aumentar ou diminuir suas reputações.

A Figura 3.13 mostra o arquivo “influências.txt”, que contém 2 colunas (2 valores por linha), as colunas indicam os índices dos agentes que interagiram, onde a primeira coluna é o número do agente influenciado, e a coluna ao lado é o número do agente que mais influenciou este agente. Como podem ocorrer várias interações entre agentes durante a simulação, a segunda coluna irá sempre representar o agente responsável pela efetiva mudança no comportamento de outro, ou seja, o último e mais influente agente com quem o agente influenciado teve contato. Caso um agente não tenha tido interações, ou caso este agente tenha tido interações, mas com outros agentes que não foram capazes de influenciá-lo, então este agente irá ter na segunda coluna o valor -1 (sem alteração no comportamento). Este arquivo permite que através da integração dos simuladores implementados, possamos fazer, por exemplo, que um

agente influenciado “copie” o comportamento de seu influenciador, permitindo assim o estudo da evolução de estratégias de uma população de agentes e a formação de grupos.

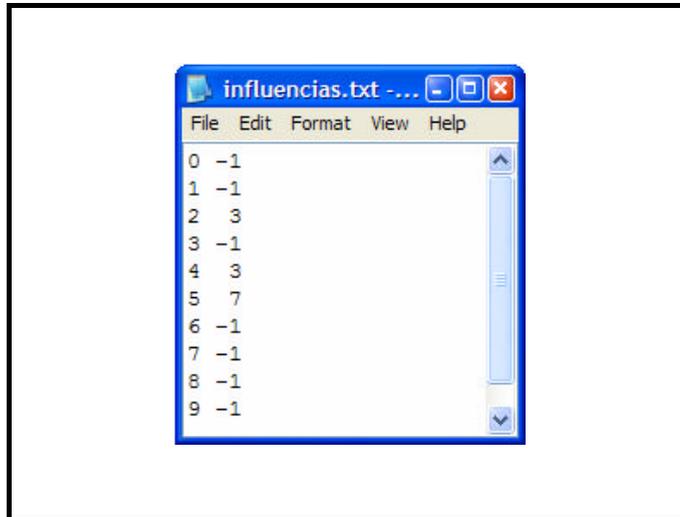


FIGURA 3.13 – Arquivo influências.txt com quais agentes foram influenciados por quais outros agentes

3.6 Resultados Esperados

As ferramentas de simulação do problema do IPD e da interação permitem o estudo e a avaliação experimental da evolução do comportamento em um sistema multi-agente. Esta combinação “IPD + Interação entre Agentes” permite que sejam consideradas questões relacionadas com: (i) a reputação, a personalidade e a formação de grupos de agentes; (ii) o impacto de um determinado comportamento no desempenho dos agentes, considerados individualmente, em grupo ou como um todo; e, (iii) a busca da melhoria do comportamento dos agentes através da evolução do conjunto de regras (estratégia).

Com o intuito de estudar questões relativas ao comportamento dos agentes, do uso da reputação, dos impactos das interações e sobre a dinâmica do comportamento de grupos, foram realizados diversos experimentos cujos resultados serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.

Capítulo 4

Resultado dos Experimentos

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos experimentos, acrescido do objetivo e a descrição dos mesmos. Lembramos que os comportamentos citados nas simulações abaixo são aqueles descritos no Capítulo 3, seção 3.2:

- Comportamento 1: Aleatório.
- Comportamento 2: Sempre trai.
- Comportamento 3: Sempre coopera.
- Comportamento 4: Inverte (alternância).
- Comportamento 5: Trai apenas Comportamento 2, coopera com os demais.
- Comportamento 6: Considera Reputação, coopera se Reputação > Limiar.

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 compostas cada uma de um total de 90 partidas. Portanto, são realizadas 900 partidas a cada experimento: $10 \times 10 \times 9$, 9 partidas dos 10 agentes entre si, com cada agente executando 10 rodadas de 10 partidas cada, em série e contra os mesmos oponentes. Cada partida é sempre pontuada, de acordo com as regras tradicionais do PD (descrito na seção 2.4.2), além também de ser computada a reputação de cada agente e uma média de pontos acumulados pelos agentes. Sendo assim, os dados coletados e apresentados sobre os experimentos são relativos a:

- Pontuação dos agentes após as 9 partidas de cada uma das 10 rodadas;
- Pontuação acumulada dos agentes ao final do experimento;
- Média e desvio padrão da pontuação de cada agente ao final do experimento;
- Evolução da reputação do agente após as partidas das 10 rodadas e a média.

Dividimos as simulações em grupos: experimentos com comportamentos homogêneos, com comportamentos mistos (50% de cada), com comportamentos

comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia, com comportamentos misturados e com comportamentos mistos com interação. Resumindo temos:

Comportamentos homogêneos: visam caracterizar como os agentes, todos de um mesmo tipo, agem e também permitem validar a implementação do simulador;

Comportamentos mistos (50% de cada): se procurou ver como se comportam os agentes quando 2 grupos de comportamentos diferentes são confrontados, e assim podemos avaliar se um comportamento se impõe (ganha mais pontos) sobre outro, bem como podemos avaliar se existem comportamentos que privilegiam mais o grupo como um todo (comportamento coletivo: analisando se a média geral é aumentada ou reduzida);

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 ou diminuição da proporção de um tipo de comportamento (grupo) em relação a outro.

Comportamentos misturados: permite estudar como se comporta um sistema multi-agente onde existem diversos grupos com diversos comportamentos, todos interagindo uns com os outros. Estas simulações permitem complementar e validar as experiências anteriores, onde foram feitos experimentos mais focados (verificar sua validade também para populações mais heterogêneas).

Comportamentos mistos com interação: visa verificar e analisar a pontuação dos agentes incluindo a interação entre eles. De um modo geral a mudança de comportamentos através da interação já foi também analisada no conjunto de experimentos 3 onde foram testados grupos que variam a quantidade de agentes de um mesmo tipo (resultado típico das interações e formações/adaptações dos grupos).

4.1 Experimentos com comportamentos homogêneos

TABELA 4.1: Simulações com comportamentos homogêneos

Simulação	Comportamentos / Rodada
1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
3	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
4	6 6 6 6 6 6 6 6 6 6

4.1.1 Objetivo

Demonstrar como se comporta uma população de agentes que possuem o mesmo modo de agir e analisar a pontuação destes agentes após diversas rodadas. O objetivo deste experimento será o de verificar a pontuação e a média destas populações, comparando os resultados finais e discutindo sobre a influência de comportamentos únicos na população, junto ao problema do dilema do prisioneiro. Não foi considerada a interação.

4.1.2 Descrição dos Experimentos

Nas simulações foram utilizados dez agentes e executadas dez rodadas.

- Na simulação 1 todos os agentes utilizarão o comportamento 1 (aleatório);
- Na simulação 2 todos utilizarão o comportamento 2 (sempre trai);
- Na simulação 3 todos utilizarão o comportamento 3 (sempre coopera);
- Na simulação 4 todos utilizarão o comportamento 6 (c/reputação, limiar: 70).

4.1.3 Resultados

Experimento 1 - Simulação 1 – Agentes 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

TABELA 4.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	197,5	208,4	199,7	206,0	203,0	196,3	211,9	196,8	202,7	207,0	202,9
D:	20,16	18,46	22,65	14,08	14,90	13,64	19,15	20,65	19,99	14,01	18,7

*O maior e menor valor estão em negrito

Na simulação 1, com agentes de comportamento randômico, o agente 1 foi o que mais traiu e obteve três vitórias (ver Apêndice A.1), entretanto, como era de se esperar, devido ao comportamento aleatório dos agentes, percebe-se que não existe uma distinção muito grande entre as pontuações médias finais de cada agentes. A pontuação dos agentes, juntamente com a reputação dos mesmos, ficou distribuída ao redor do valor médio da população, ou seja, os valores da média de pontuações dos agentes estão

distribuídos em torno de mais ou menos um desvio padrão (17,8 – desvio padrão médio) do valor médio geral de pontuação dos agentes (202,9 – média geral das médias por agente). Podemos verificar que o menor valor médio de pontuação de um agente foi de 196,3 (agente 5) pontos e o maior valor médio de pontuação foi de 211,9 (agente 6). Sendo assim, o comportamento 1, que é o nosso comportamento base (*baseline behavior*), faz com que a população cujo comportamento é totalmente descoordenado e sem regras específicas, obter uma pontuação final média de 202,9 pontos com um desvio padrão de 17,8 pontos. A reputação também obteve valores medianos, com uma média geral de 55,29 (ver Apêndice A.1) e um desvio de 1,03, conforme o esperado. Estes valores serão importantes ao se considerar uma comparação com outras populações e com outros comportamentos, em relação a este comportamento aleatório (*baseline*).

Experimento 1 - Simulação 2- Agentes 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

TABELA 4.3: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
D:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Na simulação 2 todos os agentes traem, onde obtiveram a mesma pontuação em todas as rodadas (ver Apêndice A.2), conseqüentemente tiveram todos a mesma média (90,0 pontos), o mesmo desvio padrão (0,0), e ainda a mesma reputação global (10) (ver Apêndice A.2). Este resultado está perfeitamente de acordo com o que é esperado, pois em cada partida que os agentes realizam contra um outro agente eles ganham uma pontuação baixa devido a traição (note que um agente não realiza uma partida contra si mesmo, por isso sua pontuação totaliza 90 pontos). A reputação também é baixa, pois em todas partidas o agente traiu.

Experimento 1 - Simulação 3 – Agentes 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3

TABELA 4.4: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
D:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Na simulação 3, de modo oposto a anterior, todos os agentes sempre cooperam, onde obtiveram a mesma pontuação em todas as rodadas, com isto todos tiveram a mesma média (270,0 pontos), o mesmo desvio (0,0), e ainda a mesma reputação global (100) (ver Apêndice A.3). Este resultado é o esperado, pois em cada partida que os agentes realizam contra um outro agente eles ganham uma pontuação alta pois cooperaram. O agente totaliza 270 pontos por rodada, pois são 9 adversários, 10 partidas e 3 pontos por partida. A reputação também é alta, pois em todas partidas o agente cooperou. Não há interação.

Experimento 1 - Simulação 4 – Agentes 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.5: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
D:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Na simulação 4, a exemplo da simulação 3, os agentes que consideraram a reputação também obtiveram os mesmos resultados dos agentes que sempre cooperaram (ver Apêndice A.4). Como os agentes iniciam cooperando, sua reputação é boa, e por isso continuam a cooperar. Logo, neste caso, os agentes que consideraram a reputação, por todos terem uma boa reputação, acabaram tendo o mesmo comportamento da simulação 3, ou seja, sempre cooperam. As pontuações finais e as médias neste caso são as mesmas da simulação anterior: 270 pontos em média por agente.

4.1.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos

O que se pode analisar nestas 4 simulações de experimentos homogêneos foi:

- Na simulação 1 (random) os resultados ficaram distribuídos em torno dos valores médios, uma vez que o comportamento dos agentes era aleatório. A média geral das pontuações dos agentes ficou em 202,93 pontos, com desvio padrão de 17,77. As médias individuais dos agentes após as 10 rodadas variaram de 196,3 pontos até 211,9 pontos. A reputação também ficou com um valor médio de 55,29 pontos e um desvio de 1,03. O resultado desta simulação servirá como referência para as demais, sendo considerado o nosso comportamento base (*baseline behavior*);

- A simulação 2 (sempre trai), em que todos agentes sempre traíam (todos traem a todos), foi a que obteve a menor pontuação (ver Apêndice A.2). Os agentes obtiveram todos a mesma média de 90,0 pontos, o mesmo desvio padrão (zero, sem variação), e ainda a mesma reputação global com 10 pontos para todos (ver Apêndice A.2). Constata-se que um comportamento onde todos agentes tendem a trair uns aos outros leva o grupo para o seu pior desempenho, abaixo inclusive da pontuação do baseline. Em consequência disto, a reputação de todos também será a mais baixa;

- As simulações 3 (sempre coopera) e 4 (c/reputação), comparadas às simulações 1 e 2, obtiveram as maiores pontuações e como consequência de uma maior cooperação entre os agentes, isto também implicou em maiores reputações (ver Apêndice A.3). Na simulação 3 e 4, todos os agentes acabaram agindo da mesma forma, ou seja, sempre cooperando. Na simulação 4, os agentes com reputação alta acabam cooperando entre si, o que levou ao mesmo resultado do comportamento de cooperar sempre da simulação 3 (ver Apêndices A.3 e A.4). Nestas duas simulações, todos agentes ficaram com a mesma média (270,0 pontos), o mesmo desvio (0,0), e ainda a mesma reputação global (100);

- De um modo geral, como as simulações assumiram populações com comportamento homogêneo (todos agentes iguais) e estático (o comportamento é sempre o mesmo), isto faz com que os resultados reflitam diretamente a forma de pontuar as jogadas definidas para o IPD: traição dupla, pontuação mais baixa; cooperação mútua, pontuação mais alta; comportamento aleatório, mistura traição com cooperação, ficando entre ambas na pontuação;

- É importante destacar que no PD a maior pontuação possível é obtida quando um agente trai e os seus oponentes cooperam com ele. Este tipo de situação será

analisado em outros experimentos com grupos de agentes que tem comportamentos mistos.

4.2 Experimentos com comportamentos mistos (50% de cada)

TABELA 4.6: Simulações com comportamentos mistos

Simulação	Comportamentos / Rodada
1	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2
2	1 1 1 1 1 3 3 3 3 3
3	1 1 1 1 1 4 4 4 4 4
4	1 1 1 1 1 5 5 5 5 5
5	1 1 1 1 1 6 6 6 6 6
6	2 2 2 2 2 3 3 3 3 3
7	2 2 2 2 2 4 4 4 4 4
8	2 2 2 2 2 5 5 5 5 5
9	2 2 2 2 2 6 6 6 6 6
10	3 3 3 3 3 4 4 4 4 4
11	3 3 3 3 3 5 5 5 5 5
12	3 3 3 3 3 6 6 6 6 6
13	4 4 4 4 4 5 5 5 5 5
14	4 4 4 4 4 6 6 6 6 6
15	5 5 5 5 5 6 6 6 6 6

4.2.1 Objetivo

Demonstrar como se comporta uma população de agentes dividida em dois grupos constituídos pela mesma quantidade de agentes, tendo cada grupo o seu modo de agir, e avaliar como evolui a pontuação destes agentes neste cenário. Este experimento permite colocar dois grupos a competir um contra outro, verificando se um tipo de comportamento pode se impor (levar vantagem) sobre o outro. Além disto, este experimento permite discutir a questão referente a formação de grupos, onde supomos que após uma interação entre os agentes seja usual a formação de grupos por afinidade, ou seja, de comportamentos similares. Em outro experimento posterior (seção 4.3) vamos realizar simulações para analisar o impacto da variação do número de agentes em cada grupo, aumentando ou diminuindo os agentes de um determinado grupo em

relação aos demais. Não foi considerada de modo direto a interação entre agentes, onde os agentes possuem um comportamento estático (sem variações nas diversas rodadas).

4.2.2 Descrição dos Experimentos

Nas simulações foram utilizados dez agentes e executadas dez rodadas.

- Na simulação 1 a metade dos agentes possui o comportamento 1 (aleatório) e a outra metade possui o comportamento 2 (sempre trai);
- Na simulação 2, a metade dos agentes possui o comportamento 1 (aleatório) e a outra metade possui o comportamento 3 (sempre coopera);
- Na simulação 3, a metade dos agentes possui o comportamento 1 (aleatório) e a outra metade possui o comportamento 4 (alternado);
- Na simulação 4, a metade dos agentes possui o comportamento 1 (aleatório) e a outra metade possui o comportamento 5 (trai quem sempre trai);
- Na simulação 5, a metade dos agentes possui o comportamento 1 (aleatório) e a outra metade possui o comportamento 6 (usa reputação);
- Na simulação 6, a metade dos agentes possui o comportamento 2 (sempre trai) e a outra metade possui o comportamento 3 (sempre coopera);
- Na simulação 7, a metade dos agentes possui o comportamento 2 (sempre trai) e a outra metade possui o comportamento 4 (alternado);
- Na simulação 8, a metade dos agentes possui o comportamento 2 (sempre trai) e a outra metade possui o comportamento 5 (trai quem sempre trai);
- Na simulação 9, a metade dos agentes possui o comportamento 2 (sempre trai) e a outra metade possui o comportamento 6 (usa reputação);
- Na simulação 10, a metade dos agentes possui o comportamento 3 (sempre coopera) e a outra metade possui o comportamento 4 (alternado);
- Na simulação 11, a metade dos agentes possui o comportamento 3 (sempre coopera) e a outra metade possui o comportamento 5 (trai quem sempre trai);
- Na simulação 12, a metade dos agentes possui o comportamento 3 (sempre coopera) e a outra metade possui o comportamento 6 (usa reputação);
- Na simulação 13, a metade dos agentes possui o comportamento 4 (alternado) e a outra metade possui o comportamento 5 (trai quem sempre trai);
- Na simulação 14, a metade dos agentes possui o comportamento 4 (alternado) e a outra metade possui o comportamento 6 (usa reputação);

– Na simulação 15, a metade dos agentes possui o comportamento 5 (traí quem sempre traí) e a outra metade possui o comportamento 6 (usa reputação).

4.2.3 Resultados

Experimento 2 - Simulação 1 – Agentes 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2

TABELA 4.7: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	117,2	114,2	118,0	108,3	116,5	188,8	186,4	191,6	186,8	190,0	151,8
D:	8,68	13,30	10,23	7,47	14,67	14,43	15,94	9,16	16,38	11,73	39,1

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 1 os agentes com comportamento 1 (aleatório) ficaram com uma pontuação abaixo da média geral de 151,8 pontos (de 108 a 118 pontos), e os agentes com comportamento 2 (sempre traí), destacados no Apêndice B.1, ficaram com uma pontuação acima da média (de 186 a 191 pontos). A reputação dos agentes aleatórios permaneceu como antes, com um valor entre 52 e 55 pontos e os agentes que sempre traem, também como antes, ficaram todos com 10 pontos.

Experimento 2 - Simulação 2 - Agentes 1 1 1 1 1 3 3 3 3 3

TABELA 4.8: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	290,4	293,7	296,0	281,7	290,0	195,6	193,5	198,0	195,6	190,5	242,5
D:	7,75	12,29	16,88	19,15	18,85	11,76	11,16	7,94	5,33	11,64	49,8

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 2 os agentes com comportamento 1 (aleatório), destacados na Tabela 4.19, ficaram com uma pontuação acima da média geral de 242,5 pontos, e os agentes com comportamento 3 (sempre coopera), ficaram com uma pontuação abaixo da média. A reputação dos agentes aleatórios permaneceu como antes, com um valor entre 54 e 55 pontos e os agentes que sempre cooperam, também como antes, ficaram todos

com 100 pontos. As traições aleatórias do comportamento 1 contra o comportamento 2 que sempre coopera é responsável pela pontuação superior destes agentes (ver Apêndice B.2).

Experimento 2 - Simulação 3 – Agentes 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4

TABELA 4.9: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	195,9	197,7	200,0	189,2	181,2	202,7	187,3	192,4	196,4	201,3	194,4
D:	20,26	24,83	17,22	17,02	24,80	15,58	13,03	9,38	11,02	23,54	19,6

Na simulação 3 os agentes de comportamento aleatório e os agentes que alternam de comportamento acabam se comportando de modo similar (ora traem, ora cooperam). A pontuação final de todos agentes fica ao redor do valor médio geral de 194,4 pontos, ou seja, para os agentes de comportamento 1 os valores de pontuação variam entre 181 e 200 pontos, e para os agentes de comportamento 4 os valores ficam entre 187 e 202 pontos. A reputação, a exemplo das simulações anteriores, fica no ponto médio, ou seja, para todos agentes (comportamento 1 ou 4) varia entre 51 e 55 pontos (ver Apêndice B.3).

Experimento 2 - Simulação 4 – Agentes 1 1 1 1 1 5 5 5 5 5

TABELA 4.10: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	286,3	289,2	290,2	286,6	290,7	196,2	200,1	192,3	191,1	195,9	241,9
D:	7,63	15,17	15,06	12,99	15,73	14,15	9,10	7,76	6,98	9,00	48,3

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 4, o comportamento 5 (traí quem sempre traí) acaba equivalente ao comportamento 3 (sempre coopera), pois os oponentes por possuírem um comportamento aleatório levam os agentes com comportamento 5 a sempre cooperar, visto que as traições destes não ocorrem sempre de forma contínua. O resultado da simulação 4 (ver Apêndice B.4) é equivalente ao resultado da simulação 2 (comportamento 1 contra 3, Apêndice B.2).

Experimento 2 - Simulação 5 – Agentes 1 1 1 1 1 6 6 6 6 6

TABELA 4.11: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	183,8	177,0	190,8	184,6	188,8	208,2	199,5	204,6	205,2	209,0	195,2
D:	15,70	11,58	5,58	14,89	11,61	20,90	21,63	14,31	9,05	11,18	18,1

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 5 os agentes de comportamento 1 (aleatório) ficam com uma reputação baixa (entre 51 e 55) (ver Apêndice B.5), e como o limiar de reputação do comportamento 6 adotado foi 70, isto faz com que os agentes de comportamento 6 sempre traíam os agentes aleatórios. Os próprios agentes que consideram a reputação tem em certos casos uma reputação baixa por estarem traindo os outros agentes aleatórios, e por isso eles mesmos também acabam não cooperando sempre entre si, mas pontuam melhor que os aleatórios.

Experimento 2 - Simulação 6 - Agentes 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3

TABELA 4.12: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	205,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 6 os agentes que utilizavam o comportamento 2 (sempre trai) tiveram as pontuações significativamente maiores (290 pontos) do que os agentes com comportamento 3 (sempre coopera, 120 pontos), e estes agentes receberam as menores reputações (10) se comparados às reputações dos agentes de comportamento 3 (100). Os agentes que sempre traem levam vantagem (tiram proveito) quando jogam partidas contra agentes que cooperam sempre de modo independente da ação de seu oponente (ver Apêndice B.6).

Experimento 2 - Simulação 7 - Agentes 2 2 2 2 2 4 4 4 4 4

TABELA 4.13: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	177,5
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 7 os agentes que utilizavam o comportamento 2 (sempre trai) tiveram as pontuações significativamente maiores (270) que as pontuações dos agentes de comportamento 4 (alternado, com 85 pontos) e as menores reputações (10 pontos) se comparados aos agentes de comportamento 4 (75 pontos). Notamos também que nesta simulação os agentes que sempre traem pontuaram menos do que quando disputavam com agentes que sempre cooperavam, conforme apresentado na simulação anterior (ver Apêndice B.7).

Experimento 2 - Simulação 8 - Agentes 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5

TABELA 4.14: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	130,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 8 os agentes que utilizavam o comportamento 5 (trai quem sempre trai) tiveram as maiores pontuações e as maiores reputações se comparados aos agentes de comportamento 2 (sempre trai). Como os agentes de comportamento 5 cooperam entre si, mas traem os agentes que traem eles, acabaram todos eles pontuando mais (170 pontos). Neste caso, o agente que trai sai perdendo devido a reação de seus oponentes (ver Apêndice B.8).

Experimento 2 - Simulação 9 - Agentes 2 2 2 2 2 6 6 6 6 6

TABELA 4.15: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	94,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 9 os agentes que utilizavam o comportamento 6 (reputação) tiveram as pontuações um pouco maiores (98 pontos) que seus oponentes de comportamento 2 (sempre trai, 90 pontos). Também obtiveram as maiores reputações se comparados aos agentes de comportamento 2, mas cabe ressaltar que a diferença na pontuação e na reputação foi muito pequena entre estes grupos de agentes. Como as reputações dos agentes de comportamento 6 são baixas (traem muito) eles também traem entre si (ver Apêndice B.9).

Experimento 2 - Simulação 10 - Agentes 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4

TABELA 4.16: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	225,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	105,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 10 os agentes que utilizavam o comportamento 4 (alternado) tiveram uma das maiores pontuações (330) e as reputações menores (30) se comparados aos agentes de comportamento 3 (sempre coopera, com 120 pontos) (ver Apêndice B.10). Novamente, constata-se que realizar traições contra um agente que sempre coopera de modo independente a ação de seu oponente, acaba resultando em uma pontuação superior (ver Apêndice B.2), em uma população com comportamentos mistos.

Experimento 2 - Simulação 11 - Agentes 3 3 3 3 3 5 5 5 5 5

TABELA 4.17: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Na simulação 11 todos os agentes obtiveram os mesmos resultados e atingiram os mesmos valores nas pontuações (270) e nas reputações globais (100) (ver Apêndice B.11). Esta simulação é equivalente a uma simulação onde todos os agentes cooperam (Apêndice A.3), pois a metade da população é composta de agentes que sempre cooperam (comportamento 3) e a outra metade vai cooperar sempre, dado que o comportamento 5 só trai aqueles que sempre traem, mas vai cooperar sempre com quem sempre coopera.

Experimento 2 - Simulação 12 - Agentes 3 3 3 3 3 6 6 6 6 6

TABELA 4.18: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Na simulação 12 os agentes obtiveram os mesmos resultados que na simulação anterior, pois todos sempre cooperam entre si. Os agentes de comportamento 3 sempre cooperam e os agentes de comportamento 6 (reputação), acabam também sempre cooperando, pois a reputação de todos fica com uma pontuação alta, acima do limiar, em função de que não ocorrem traições. Todos agentes atingiram valores altos tanto nas suas pontuações (270), como nas suas reputações globais (100) (ver Apêndice B.12), do mesmo modo que ocorreram nos Apêndices A.3 e A.4.

Experimento 2 - Simulação 13 - Agentes 4 4 4 4 5 5 5 5

TABELA 4.19: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	225,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	105,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 13 os agentes que utilizavam o comportamento 4 (alternado) tiveram as maiores pontuações (330 contra 120 pontos) e as menores reputações (30 contra 100 pontos) se comparados aos agentes de comportamento 5 (traí quem sempre trai). Os agentes que traem alternadamente levam vantagem (tiram proveito) quando jogam partidas contra agentes que cooperam sempre, como no caso do comportamento 5 nesta simulação que cooperou em todas as partidas (ver Apêndice B.13).

Experimento 2 - Simulação 14 - Agentes 4 4 4 4 6 6 6 6

TABELA 4.20: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	178,0	178,0	178,0	178,0	178,0	169,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 14 os agentes que utilizavam o comportamento 6 (reputação) tiveram as maiores pontuações (178 contra 160) e as menores reputações (34 contra 60) se comparados aos agentes de comportamento 4 (alternado), mas cabe ressaltar que as diferenças na pontuação e de certa forma na reputação foram muito pequenas (ver Apêndice B.14). A pontuação média de todos agentes foi de 169,0 pontos com um pequeno desvio padrão de 9,0. O comportamento 6 acaba traindo quase sempre dadas as baixas reputações.

Experimento 2 - Simulação 15 - Agentes 5 5 5 5 6 6 6 6 6

TABELA 4.21: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Na simulação 15 os agentes obtiveram todos exatamente os mesmos resultados e atingiram os mesmos valores nas pontuações (270) e nas reputações globais (100) (ver Apêndice B.15). Isto se explica pelo fato do comportamento 5 (traí quem sempre trai), cooperar sempre com agentes que cooperam com ele, e o mesmo ocorre com o comportamento 6 (reputação) que coopera com quem sempre coopera com os demais, e por consequência tem alta reputação. Este resultado é equivalente ao obtido no Apêndice A.3.

4.2.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados das Simulações dos Experimentos

O que se pôde constatar através destas quinze simulações de experimentos com comportamentos mistos (50% de cada) foi que:

- Os agentes de comportamento 1 se sobressaíram sobre os agentes de comportamentos 3, 4 e 5, conforme as simulações 1, 3 e 4 (ver Apêndices B.1, B.3 e B.4);
- Os agentes de comportamento 2 se sobressaíram sobre os agentes de comportamentos 1, 3 e 4, conforme as simulações 1, 6 e 7 (ver Apêndices B.1, B.6 e B.7);
- Os agentes de comportamento 3 obtiveram os mesmos resultados que os agentes de comportamento 5 e 6, conforme as simulações 11 e 12 (ver Apêndices B.11 e B.12);
- Os agentes de comportamento 4 se sobressaíram sobre os agentes de comportamentos 3 e 5, conforme as simulações 10 e 13 (ver Apêndices B.10 e B.13);
- Os agentes de comportamento 5 se sobressaíram sobre os agentes de comportamentos 2, conforme a simulação 8 (ver Apêndice B.8), e obtiveram os mesmos

resultados que os agentes de comportamento 3 e 6, conforme as simulações 11 e 15 (ver Apêndices B.11 e B.15);

– Os agentes de comportamento 6 se sobressaíram sobre os agentes de comportamentos 1 e 4, conforme as simulações 1 e 9 (ver Apêndices B.1 e B.9), e obtiveram os mesmos resultados que os agentes de comportamento 3 e 5, conforme simulações 12 e 15 (ver Apêndices B.12 e B.15).

Além disto, em uma análise mais global, foi possível constatar que:

– Comportamentos de traição, quando confrontados com comportamentos que sempre cooperam independentemente do comportamento do seu oponente, tendem a tirar proveito deste tipo de situação, pontuando mais. Quando a reputação não é considerada, aqueles que traem pontuam mais do que os que cooperam;

– Comportamentos de traição são prejudicados quando todos traem ou quando existe um conjunto de agentes que buscam penalizar as traições, como é o caso dos comportamento 5 e 6, que acabam pontuando mais;

– Comportamentos de cooperação, quando confrontados com comportamentos que sempre traem, ou que traem de forma esporádica tendem a pontuar menos que estes. Constata-se uma grande importância do limiar de tolerância para traições de agentes que penalizam as traições, como o comportamento 5 (só não tolera a traição contínua em todas jogadas) e o comportamento 6 (que considera a reputação e depende do limiar adotado);

– Comportamentos que consideram a reputação podem acabar tendo uma avaliação prejudicada onde os agentes que usam a reputação, ou algum outro mecanismo de avaliação dos oponentes, ficam penalizando (traindo) os agentes que usualmente traem os demais. A quantidade de agentes que traem em relação ao total de demais agentes, e o limiar de reputação adotado são fatores decisivos neste tipo de situação. Em função disto, no próximo experimento iremos analisar justamente este tipo de situação, onde a distribuição dos agentes varia ao longo do tempo;

– Uma pontuação superior (mais alta) pode ser alcançada por agentes que traem esporadicamente seus oponentes, quando estes seus oponentes permanecem sempre cooperando. Isto pode ser observado pelas altas pontuações dos comportamentos 1 e 4 quando confrontados aos comportamentos do tipo coopera

sempre, como o 3 e o 5. Uma pontuação alta também é obtida pelo comportamento 2 quando confrontado com o 3.

Um outro tipo de análise pode ser feito em relação à pontuação média global de toda a população de agentes, a denominada “média geral” apresentada junto a tabela de médias de cada agente após as 10 rodadas. Esta pontuação permite comparar quando uma população se beneficia mais como um todo, alcançando uma média geral maior. Podemos dizer que este valor indica o ganho coletivo: quanto mais alta esta média, maior o ganho coletivo. Um ganho individual elevado pode não contribuir para que o grupo como um todo tenha um ganho maior. Os resultados da média geral estão resumidos listados a seguir:

Simulação 1 = 151,8; Simulação 2 = 242,5; Simulação 3 = 194,4; Simulação 4 = 241,9; Simulação 5 = 195,2; Simulação 6 = 205,0; Simulação 7 = 177,5; Simulação 8 = 130,0; Simulação 9 = 94,0; Simulação 10 = 225,0; Simulação 11 = **270,0**; Simulação 12 = **270,0**; Simulação 13 = 225,0; Simulação 14 = 169,0; Simulação 15 = **270,0** (ver Apêndices B.1 ao B.15).

Podemos constatar que as simulações 11, 12 e 15 (ver Apêndices B.11, B.12 e B.15) são as que têm uma melhor contribuição coletiva para todos os agentes (270 pontos), onde estas são simulações onde a cooperação é a ação que predomina. Por outro lado, as simulações 10 e 13 (ver Apêndices B.10 e B.13) que tiveram uma alta pontuação (330 pontos) por parte dos agentes de comportamento 4 (alternado), não foram tão benéficas para o grupo como um todo, pois a média final ficou em 225 pontos para toda a população. A pior pontuação foi a da simulação 9 (ver Apêndice B.9), onde ocorreu um grande número de traições, resultantes do comportamento 2 (sempre trai) e do comportamento 6 (reputação), que considerou todos com uma reputação baixa.

4.3 Experimentos com comportamentos comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia

TABELA 4.22: Simulações com comportamentos variando a cada rodada

Simulação	Comportamentos / Rodada
1	1 6 6 6 6 6 6 6 6
2	1 1 6 6 6 6 6 6 6
3	1 1 1 6 6 6 6 6 6
4	1 1 1 1 6 6 6 6 6

5	2 6 6 6 6 6 6 6 6 6
6	2 2 6 6 6 6 6 6 6 6
7	2 2 2 6 6 6 6 6 6 6
8	2 2 2 2 6 6 6 6 6 6

4.3.1 Objetivo

Demonstrar como se comporta uma população de agentes que varia a quantidade de indivíduos de um determinado comportamento a cada rodada, e como evolui a pontuação destes agentes. Com isto, nosso objetivo é verificar como se comportam os grupos de agentes de mesmo comportamento quando a quantidade de agentes em cada grupo varia. Através da alteração da composição da população e dos grupos podemos verificar o efeito da mudança de comportamento, onde a população aumenta ou diminui a quantidade de agentes com um mesmo tipo de comportamento. Este tipo de mudança da composição da população, com agentes que passam de um grupo para outro (mudam de comportamento) é típico em sociedades onde existe uma interação entre agentes, com agentes que influenciam outros agentes a mudar de comportamento.

Conforme foi discutido na seção anterior, a quantidade de agentes que traem em relação ao total de demais agentes é um fator decisivo no jogo quando está sendo adotado um comportamento que considera a reputação, sendo esta pontuação também afetada também pelo limiar de reputação adotado. Em função disto, neste experimento iremos analisar justamente este tipo de situação, onde a distribuição dos agentes varia ao longo do tempo e existe um grupo de agentes que consideram a reputação (comportamento 6) na tomada de decisão de suas ações.

As simulações deste experimento não consideraram as interações de modo direto, mas os resultados das simulações nos permitem inferir como se comportará a população quando houver interações e mudanças de comportamentos dos agentes.

4.3.2 Descrição dos Experimentos

Nas simulações foram utilizados dez agentes e executadas dez rodadas:

- Na simulação 1 foi utilizado um agente com o comportamento 1 e nove agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 2, foram utilizados dois agentes com o comportamento 1 e oito agentes com o comportamento 6;

- Na simulação 3 foram utilizados três agentes com o comportamento 1 e sete agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 4 foram utilizados quatro agentes com o comportamento 1 e seis agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 5 foi utilizados um agente com o comportamento 2 e nove agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 6 foram utilizados dois agentes com o comportamento 2 e oito agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 7 serão utilizados três agentes com o comportamento 2 e sete agentes com o comportamento 6;
- Na simulação 8 foram utilizados quatro agentes com o comportamento 2 e seis agentes com o comportamento 6.

Destacamos que já foram apresentados os resultados de simulações onde existe uma população dividida meio a meio, com comportamentos do tipo 1, 2 e 6: Experimento 2 - Simulação 5 (agentes com comportamento 1 e comportamento 6) e Experimento 2 – Simulação 9 (agentes com comportamento 2 e comportamento 6). Além disto também já foram apresentados experimentos onde todo o grupo de agentes possui o mesmo comportamento, descritos na seção 4.1: Experimento 1, simulações 1, 2 e 4.

4.3.3 Resultados

Experimento 3 - Simulação 1 – Agentes 1 6 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.23: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	179,4	258,8	261,4	261,0	260,8	258,8	258,4	260,0	260,2	260,0	251,9
D:	8,30	1,60	3,35	2,41	1,60	3,12	2,15	2,68	2,89	3,58	24,5

*Números destacados em negrito

Na simulação 1 os nove agentes que tinham o comportamento 6 (reputação) tiveram as maiores pontuações (de 258 a 261 pontos) e as maiores reputações globais (de 93 a 94 pontos) se comparados ao agente de comportamento 1 (aleatório) (ver Apêndice C.1). O agente de comportamento 1 ficou com 179,4 pontos em média e

reputação de 54,7 pontos (ver Apêndice C.1), abaixo portanto da média alcançada pelos demais agentes e abaixo da média geral.

Experimento 3 - Simulação 2 – Agentes 1 1 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.24: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	184,3	183,8	251,2	248,4	251,6	251,0	248,8	252,0	249,4	250,6	237,1
D:	9,96	11,44	3,12	2,50	3,07	4,12	2,86	4,73	3,10	3,58	27,2

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 2 os oito agentes que tinham o comportamento 6 (reputação) tiveram as maiores pontuações (de 248 a 251 pontos, entretanto um pouco abaixo da pontuação da simulação 1) e as maiores reputações globais (de 89 a 90 pontos) se comparados ao agente de comportamento 1 (aleatório) (ver Apêndice C.2). Ressaltamos que comparado à simulação 1, as pontuações e as reputações diminuíram nos agentes de comportamento 6 e aumentaram nos agentes de comportamento 1. A agente 1 obteve 184 pontos e o agente 2 obteve 183 pontos, com reputações de 55 e 56 pontos respectivamente. (ver Apêndices C.1 e C.2)

Experimento 3 - Simulação 3 – Agentes 1 1 1 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.25: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	191,3	187,5	181,2	239,6	239,6	238,3	239,2	239,2	241,6	242,8	224,0
D:	10,41	6,38	12,25	6,50	4,88	5,33	2,04	4,92	3,88	3,92	25,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 3, novamente os sete agentes que tinham o comportamento 6 tiveram as maiores pontuações e as maiores reputações globais se comparados aos três agentes de comportamento 1 (ver Apêndice C.3). Ressaltando que as pontuações e as reputações dos agentes de comportamento 6 também diminuíram se comparadas às simulações 1 e 2. (ver Apêndices C.1, C.2 e C.3)

Experimento 3 - Simulação 4 – Agentes 1 1 1 1 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.26: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	193,0	182,3	186,6	186,3	228,7	227,1	231,9	226,7	222,2	228,2	211,3
D:	12,81	8,72	11,05	8,15	5,29	5,77	4,91	11,42	12,66	14,65	22,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 4 os seis agentes que tinham o comportamento 6 tiveram as maiores pontuações e as maiores reputações globais se comparados aos quatro agentes de comportamento 1 (ver Apêndice C.4). Ressaltando que as pontuações e as reputações dos agentes de comportamento 6 também diminuiriam se comparadas às simulações 1, 2 e 3. (ver Apêndices C.1, C.2, C.3 e C.4)

Experimento 3 - Simulação 5 – Agentes 2 6 6 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.27: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	90,0	250,0	234,0								
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 5 os nove agentes que utilizaram o comportamento 6 (reputação) tiveram todos os mesmos valores de pontuação (250 pontos) e de reputação (90 pontos), se sobressaindo sobre o agente que utilizou o comportamento 2 (sempre trai, que obteve 90 pontos e reputação 10 em todas rodadas). (ver Apêndice C.5)

Experimento 3 - Simulação 6 – Agentes 2 2 6 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.28: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	90,0	90,0	230,0	202,0							
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 6 os oito agentes que utilizaram o comportamento 6 (reputação) tiveram todos os mesmos valores de pontuação (230 pontos) e de reputação (80 pontos), se sobressaindo sobre os dois agentes que utilizaram o comportamento 2 (sempre trai, que obtiveram ambos 90 pontos e reputação com 10 pontos em todas rodadas, exatamente como ocorreu na simulação anterior) (ver Apêndice C.6). Ressaltamos que a pontuação e a reputação dos agentes com comportamento 6 caiu em relação à simulação 5, onde no exemplo anterior havia apenas 1 agente com comportamento 2 (sempre trai). (ver Apêndice C.5 e C.6)

Experimento 3 - Simulação 7 – Agentes 2 2 2 6 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.29: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	90,0	90,0	90,0	210,0	174,0						
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,0

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 7 os sete agentes que utilizaram o comportamento 6 tiveram os mesmos valores de pontuação (210) e reputação (70), se sobressaindo sobre os três agentes que utilizaram o comportamento 2, que também tiveram os mesmos resultados de pontuação (90) e reputação (10) (ver Apêndice C.7). Ressaltamos que, se comparadas às simulações 5 e 6, a pontuação e a reputação dos agentes de comportamento 6 diminuiu, e a dos agentes de comportamento 2 se manteve igual, sem alterações. (ver Apêndices C.5, C.6 e C.7)

Experimento 3 - Simulação 8 – Agentes 2 2 2 2 6 6 6 6 6 6

TABELA 4.30: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	90,0	90,0	90,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,0
D:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,9

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 8 os seis agentes que utilizaram o comportamento 6 tiveram os mesmos valores de pontuação (100) e reputação (15), se sobressaindo um pouco sobre os quatro agentes que utilizaram o comportamento 2, que também tiveram os mesmos resultados de pontuação (90) e reputação (10) (ver Apêndice C.8). Ressaltamos que, se comparadas às simulações 5, 6 e 7, a pontuação e reputação dos agentes de comportamento 6 caiu bastante (traiu mais), e a dos agentes de comportamento 2 se manteve igual, sem alteração. A reputação dos agentes de comportamento 6 diminuiu bastante devido ao limiar adotado. (ver Apêndices C.5, C.6, C.7 e C.8)

4.3.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados dos Experimentos

O que se pode analisar através destas oito simulações de experimentos com comportamentos comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia é:

- Nas simulações 1, 2, 3 e 4, onde o número de agentes com o comportamento 1 variava a cada simulação, podemos observar que os agentes de comportamento 6 se sobressaíram sobre os agentes de comportamento 1, mas que suas parcelas de pontuação e reputação foram diminuindo (ver Apêndices C.1, C.2, C.3 e C.4);

- Nas simulações 5, 6, 7, e 8, onde o número de agentes com o comportamento 2 variava a cada simulação, podemos observar que os agentes de comportamento 6 se sobressaíram sobre os agentes de comportamento 2, mas que suas parcelas de pontuação e reputação também foram diminuindo, enquanto as dos demais se mantinham iguais (ver Apêndices C.5, C.6, C.7 e C.8);

- Na simulação 8 tivemos uma peculiaridade que foi o fato das parcelas de pontuação e reputação dos agentes de comportamento 6 diminuírem e ficarem próximas às parcelas dos agentes de comportamento 2 (ver Apêndice C.8).

Além disto, em uma análise mais global, foi possível constatar que:

- Comportamentos baseados em reputação tendem a pontuar mais, entretanto isso depende do limiar adotado, que no caso de nossas simulações foi ajustado para 70. Em nossas simulações constatamos que quanto mais agentes com comportamentos que considerem a reputação, mais estes têm chance de pontuar acima dos comportamentos que incluem a traição, como o comportamento 1 (aleatório) e 2 (sempre trai);

- Comportamentos baseados em reputação podem vir a praticamente empatar, em termos de pontuação, com um comportamento de traição, o que ocorreu em nossas simulações onde os grupos de agentes eram divididos meio a meio: Experimento 2, simulação 5 e 9 (ver Apêndices B.5 e B.9);

– Comportamento 2 (sempre traição), não aumenta nem diminui sua pontuação quando confrontado com comportamentos que penalizam a traição, a exemplo do comportamento 6 (reputação). A pontuação do comportamento 2 no Experimento 3, para 1, 2, 3, 4 ou até 5 agentes foi sempre a mesma: 90 pontos (o que se explica, pois em todas disputas ambos agentes se traem). Nestas mesmas situações, a pontuação média de todo o grupo, a média geral, cai à medida que o número de agentes com comportamento 2 cresce de 234 pontos para 1, 202 para 2, 174 para 3, e chegando a 96 para 4 agentes (ver Apêndices C.5, C.6, C.7 e C.8).

Portanto, algumas das conclusões que podemos tirar destes experimentos são:

– Manter o sistema desorganizado, com agentes que não possuem uma estratégia definida (ou que cooperam sempre) é uma estratégia que beneficia aqueles que traem. Quanto mais agentes do tipo que cooperam existir, desde que estes não se organizem a fim de penalizar os agentes que traem, melhor para os agentes que sempre traem. Este tipo de estratégia poderia ser usado por agentes que queiram influenciar os demais. Note que se todos traem, mesmo os agentes que traem saem perdendo, e quanto mais agentes que traem, também é pior para estes agentes;

– A pontuação máxima que pode ser obtida nas simulações ocorre quando um agente único sempre trai onde todos os demais sempre cooperam, inclusive com ele. Em uma simulação realizada com um agente de comportamento 2 e nove agentes de comportamento 3 (Simulação 2 3 3 3 3 3 3 3 3) constatou-se que o agente que sempre trai (comportamento 2) pontua sempre 450 pontos e os agentes que sempre cooperam (comportamento 3) pontuam sempre 240 pontos;

– Uma situação similar a descrita logo acima, com apenas 1 agente que sempre trai, mas onde os demais agentes cooperam apenas se a reputação do oponente for boa, conforme foi avaliado no Experimento 3, Simulação 5 (Simulação 2 6 6 6 6 6 6 6 6), constata-se que o agente que sempre trai obtém uma pontuação mínima de 90 pontos (ver Apêndice C.5).

Logo, algumas importantes conclusões que podemos tirar destes experimentos³ são de que: (i) ser sempre bonzinho (cooperar) pode não ser uma boa estratégia se temos agentes que traem e tiram proveito desta situação; (ii) ser sempre mau (traidor) é uma boa estratégia quando a sociedade (população e grupos) não se encontra organizada e os agentes não penalizam as traições de forma mais coordenada e forte; (iii) ser sempre

³ Todos estes resultados derivaram de simulações numéricas do PD, não sendo meras especulações.

mau (traidor) é vantajoso se o número de traidores não é muito superior aos demais, logo, quanto menos traidores, em um sistema que não penaliza estes, melhor para eles; (iv) para maximizar o bem comum para toda a sociedade, ou seja, para maximizar a pontuação média geral, a melhor estratégia é forçar que os agentes atuem de modo organizado, cooperando para penalizar e reduzir o número de agentes que traem, até que todos possam cooperar sempre entre si: quanto mais agentes que consideram a reputação em suas decisões, e que prezam por uma boa reputação, melhor será para todos do grupo de um modo geral. Todas estas conclusões enfatizam a importância das interações e das influências que um agente pode exercer sobre o comportamento dos demais.

4.4 Experimentos com comportamentos misturados

TABELA 4.31: Simulações com comportamentos misturados

Simulação	Comportamentos / Rodada
1	1 2 2 2 3 3 3 4 4 4
2	1 2 2 2 3 3 3 5 5 5
3	1 2 2 2 3 3 3 6 6 6
4	1 2 2 2 4 4 4 5 5 5
5	1 2 2 2 4 4 4 6 6 6
6	1 2 2 2 5 5 5 6 6 6
7	1 3 3 3 4 4 4 5 5 5
8	1 3 3 3 4 4 4 6 6 6
9	1 3 3 3 5 5 5 6 6 6
10	1 4 4 4 5 5 5 6 6 6

4.4.1 Objetivo

Demonstrar como se comporta uma população de agentes com comportamentos misturados, e como evolui a pontuação destes agentes. Uma vez que já foram feitas simulações para analisar o comportamento de populações com apenas 2 grupos de agentes, resta analisar ainda se populações com diversos grupos de agentes, cada um com seu comportamento próprio, possuem também propriedades iguais, ou pelo menos próximas, das propriedades apresentadas nas simulações anteriores.

As simulações deste experimento não consideraram as interações de modo direto, mas os resultados das simulações nos permitem inferir como se comportará a população quando houver interações e mudanças de comportamentos dos agentes.

4.4.2 Descrição dos Experimentos

Nas simulações foram utilizados dez agentes em dez rodadas:

– Na simulação 1 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 3 e três com o comportamento 4;

– Na simulação 2 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 3 e três com o comportamento 5;

– Na simulação 3 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 3 e três com o comportamento 6;

– Na simulação 4 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 4 e três com o comportamento 5;

– Na simulação 5 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 4 e três com o comportamento 6;

– Na simulação 6 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 2, três agentes com o comportamento 5 e três com o comportamento 6;

– Na simulação 7 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 3, três agentes com o comportamento 4 e três com o comportamento 5;

– Na simulação 8 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 3, três agentes com o comportamento 4 e três com o comportamento 6;

– Na simulação 9 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 3, três agentes com o comportamento 5 e três com o comportamento 6;

– Na simulação 10 foram utilizados um agente com o comportamento 1, três agentes com o comportamento 4, três agentes com o comportamento 5 e três com o comportamento 6.

4.4.3 Resultados

Experimento 4 - Simulação 1 – Agentes 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

TABELA 4.32: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	194,4	341,2	338,0	336,0	73,5	72,9	73,7	216,6	218,6	220,3	208,5
D:	12,14	4,66	5,93	7,85	5,41	4,85	4,80	7,39	8,56	5,59	103,2

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 1 os agentes de comportamento 2 (sempre trai) tiveram as maiores pontuações (entre 336 e 341 pontos) e as menores reputações (10), enquanto que os agentes de comportamento 3 (sempre coopera) tiveram as maiores reputações (100) e as menores pontuações (entre 72 e 73 pontos) (ver Apêndice D.1). Os agentes de comportamento 2 e 4 ficaram acima da média geral e os de comportamento 1 e 3 ficaram abaixo da média.

Experimento 4 - Simulação 2 – Agentes 1 2 2 2 3 3 3 5 5 5

TABELA 4.33: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	255,5	228,4	231,6	231,2	164,7	162,6	166,2	195,6	195,9	193,8	202,6
D:	8,32	6,50	5,12	3,60	5,60	5,16	3,34	4,61	4,46	2,75	31,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 2 o agente de comportamento 1 (aleatório) obteve a maior pontuação (255,5 pontos), seguido bem de perto dos agentes de comportamento 2 (sempre trai) com pontuações entre 228 e 231 pontos, sendo que ambos ficaram acima da média geral. Os agentes de comportamento 3 (piores pontuações) e os de comportamento 5 ficaram abaixo da média. Os agentes de comportamento 3 tiveram as

maiores reputações, enquanto que os agentes de comportamento 2 tiveram as menores (ver Apêndice D.2).

Experimento 4 - Simulação 3 – Agentes 1 2 2 2 3 3 3 6 6 6

TABELA 4.34: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	191,1	232,8	229,6	230,4	164,1	162,0	163,5	193,5	190,4	193,2	195,1
D:	3,01	3,12	2,80	4,54	4,66	4,24	3,85	10,44	8,36	9,52	27,1

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

Na simulação 3 o agente 1 foi o que mais traiu e obteve oito vitórias e a maior pontuação (232,8 pontos). Os agentes de comportamento 2 (sempre trai) tiveram as maiores pontuações, onde apenas estes agentes ficaram acima da média global, e as menores reputações (10 pontos), enquanto que os agentes de comportamento 3 tiveram as maiores reputações e as menores pontuações (ver Apêndice D.3).

Experimento 4 - Simulação 4 – Agentes 1 2 2 2 4 4 4 5 5 5

TABELA 4.35: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	201,8	220,0	220,0	219,2	215,5	214,6	214,0	102,9	106,2	104,8	181,9
D:	16,65	6,75	6,26	7,60	8,79	7,58	8,58	3,56	3,60	4,35	51,5

Na simulação 4 os agentes 0 à 6 (comportamentos 1, 2 e 4) tiveram as maiores pontuações, com uma pequena superioridade para o comportamento 2 (sempre trai). Os agentes de comportamento 5 foram os que tiveram as maiores reputações (70), porém, com as menores pontuações, sendo os únicos que tiveram pontuações abaixo da média geral. Os agentes de comportamento 2 tiveram as menores reputações (10) (ver Apêndice D.4).

Experimento 4 - Simulação 5 - Agentes 1 2 2 2 4 4 4 6 6 6

TABELA 4.36: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	126,0	204,4	217,6	219,6	104,1	101,5	104,7	164,6	167,4	169,0	157,9
D:	10,28	29,30	4,88	5,43	5,73	8,90	4,65	7,27	5,66	8,35	45,8

Na simulação 5 os agentes de comportamento 2 foram os que tiveram as maiores pontuações (entre 204 e 219) e as menores reputações (10), ficando bem acima da média geral. Estes foram seguidos pelos agentes de comportamento 6, que ficaram com uma pontuação inferior (entre 164 e 169), porém, ainda acima da média. Os demais comportamentos (1 e 4) ficaram abaixo da média. Os agentes de comportamento 4 tiveram as maiores reputações, em torno de 70 pontos (ver Apêndice D.5).

Experimento 4 - Simulação 6 - Agentes 1 2 2 2 5 5 5 6 6 6

TABELA 4.37: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	193,3	114,8	112,0	107,6	190,2	192,9	190,5	190,6	189,7	189,6	167,1
D:	5,76	7,33	7,43	6,74	6,60	3,56	7,50	13,43	10,95	10,80	37,5

Na simulação 6 a pontuação foi bem distribuída, mas predominaram os agentes de comportamento 1, 5 e 6, com pontuações acima da média. Apenas os agentes de comportamento 2 ficaram com as pontuações mais baixas e abaixo da média geral. Os agentes de comportamento 5 foram os que tiveram as maiores reputações (70), enquanto os de comportamento 2 tiveram as menores (10) (ver Apêndice D.6).

Experimento 4 - Simulação 7 - Agentes 1 3 3 3 4 4 4 5 5 5

TABELA 4.38: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	300,1	165,9	165,6	162,9	366,0	367,8	360,0	162,9	165,6	165,9	238,3
D:	16,58	3,81	5,50	4,66	9,78	10,43	6,75	3,01	5,16	4,85	92,1

Na simulação 7 o agente 5 (comportamento 4) foi o que mais traiu (pior reputação, com 23,6 pontos) e obteve mais pontos com seis vitórias (367,8 pontos). Os agentes de comportamento 4 foram os que tiveram as maiores pontuações e as menores reputações, enquanto os de comportamento 3 e 5 tiveram as maiores reputações (100) e as menores pontuações, ficando todos estes abaixo da média geral (ver Apêndice D.7).

Experimento 4 - Simulação 8 - Agentes 1 3 3 3 4 4 4 6 6 6

TABELA 4.39: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	237,1	159,9	159,3	158,7	270,0	270,4	272,5	218,3	215,9	213,8	217,6
D:	15,18	4,04	4,73	4,92	7,22	7,20	10,17	11,94	10,20	16,74	44,9

Na simulação 8 o agente 6 foi o que mais traiu (pior reputação) e o que obteve a maior pontuação (272,5 pontos) com quatro rodadas em que venceu. Os agentes de comportamento 4 foram os que tiveram as maiores pontuações (entre 270 e 272 pontos) e as menores reputações (entre 38 e 39), porém um agente de comportamento 1 e um único agente de comportamento 6 ficaram com pontuações acima da média. Os agentes de comportamento 6 ficaram praticamente sobre a média geral. Os agentes de comportamento 3 tiveram as maiores reputações (100) (ver Apêndice D.8).

Experimento 4 - Simulação 9 - Agentes 1 3 3 3 5 5 5 6 6 6

TABELA 4.40: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	295,8	255,6	254,1	256,8	256,2	256,8	257,1	260,2	258,8	261,2	261,3
D:	11,81	3,98	4,04	4,49	5,56	4,07	4,85	3,03	3,12	2,86	12,9

Na simulação 9 o agente 0 (comportamento 1) foi o que mais traiu (pior reputação) e o que obteve vitória em todas as rodadas, com a maior pontuação (295,8 pontos), sendo o único agente a pontuar acima da média geral. Os agentes de comportamento 3 e 5 tiveram as maiores reputações (100), onde os agentes de

comportamento 6 também tiveram uma reputação bem próxima a esta (entre 94 e 95) (ver Apêndice D.9).

Experimento 4 - Simulação 10 - Agentes 1 4 4 4 5 5 5 6 6 6

TABELA 4.41: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	249,2	266,1	266,4	265,9	162,0	162,9	163,2	217,5	218,5	223,0	219,5
D:	11,16	9,91	5,78	8,25	7,82	4,46	6,18	11,92	12,15	13,81	42,5

Na simulação 10 os agentes de comportamento 4 foram o que mais traíram (reputação mais baixa com 40 pontos) e obtiveram as melhores pontuações (entre 265 e 266 pontos), bem acima da média. O agente com comportamento 1 também ficou acima da média geral, assim como um único agente de comportamento 6 (o agente 9), que ficou pouco acima da média geral. Os agentes de comportamento 6 ficaram quase sobre a média geral. Os agentes de comportamento 5 tiveram as maiores reputações (100) (ver Apêndice D.10).

4.4.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados dos Experimentos

O que se pode analisar através destas dez simulações de experimentos com comportamentos misturados foi:

- Nas simulações 1, 2, 3, 4 e 5, em que os agentes de comportamento 2 enfrentaram os agentes de diversos comportamentos, eles sempre pontuaram mais, mas cabe ressaltar que nestas simulações havia sempre poucos agentes com comportamentos que penalizavam os agentes que traem (ver Apêndices D.1, D.2, D.3, D.4 e D.5);

- Nas simulações 2 e 9, em que os agentes de comportamento 1 enfrentaram agentes de comportamento 3, 5 e 6, eles foram vitoriosos pontuando mais (ver Apêndices D.2 e D.9);

- Na simulação 6, em que os agentes de comportamento 6 e 5 enfrentaram os agentes de comportamento 2, os agentes de comportamento 6 e 5 foram vitoriosos e pontuaram mais, apesar de que o único agente de comportamento 1 ter pontuado mais que todos os outros (ver Apêndice 6);

– Nas simulações 7 e 8, em que os agentes de comportamento 4 enfrentaram os agentes de comportamento 3, 5 e 6, eles foram vitoriosos com maior pontuação (ver Apêndices D.7 e D.8).

De um modo geral foi possível constatar com estas simulações de populações com grupos misturados de agentes e comportamentos que:

– Em diversas simulações os agentes que possuíam reputações mais baixas acabavam obtendo pontuações mais elevadas do que os demais, o que caracteriza o fato de não estarem sendo penalizados de forma sistemática pelos demais agentes em função de suas traições;

– Em diversas simulações a mistura de comportamentos privilegiou os agentes que possuíam um comportamento que incluísse a traição, resultante provavelmente do fato de que a população não possuía uma organização que privilegiasse uma maior punição destes agentes.

4.5 Experimentos com comportamentos mistos com interação

TABELA 4.42: Simulação com comportamentos mistos com interação

Simulação	Comportamentos / Rodada
1	1 1 2 2 3 3 5 5 6 6

4.5.1 Objetivo

Demonstrar como se comporta uma população de agentes que possuem comportamentos diversos e analisar a pontuação destes agentes após diversas rodadas incluindo a interação entre eles.

4.5.2 Descrição dos experimentos

Na simulação foram utilizados dez agentes e executadas dez rodadas tanto do IPD, quanto do Simulador de Interações. As simulações do Simulador de Interações levaram 5 min. em cada rodada.

– Na simulação 1 e única foram utilizados dois agentes de comportamento 1, dois agentes de comportamento 2, dois agentes de comportamento 3, dois agentes de comportamento 5 e dois agentes de comportamento 6.

4.5.3 Resultados

Experimento 5 - Simulação 1 – Agentes 1 1 2 2 3 3 5 5 6 6

TABELA 4.43: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	239,2	233,8	209,6	207,2	181,5	179,1	197,3	194,9	210,4	213,8	206,7
D:	7,33	10,38	6,31	9,13	5,41	7,83	7,40	4,46	5,26	3,52	19,9

*O maior e menor valor estão em negrito

Na simulação 1 os agentes de comportamento 2 (sempre trai) foram o que mais traíram (com a reputação mais baixa com 30 pontos), e os agentes de comportamento 1 obtiveram as melhores pontuações (média de 239,2 e 233,8 pontos), bem acima da média geral. Os agentes com comportamento 2 e 6 também ficaram acima da média geral. Os agentes de comportamento 3 e 5 tiveram as maiores reputações (ver Apêndice E.1).

4.5.4 Análise e Discussão Sobre os Resultados dos Experimentos

O que se pode analisar através desta simulação de experimentos com comportamentos mistos com interação foi:

- Que os agentes de comportamento 1 enfrentaram os agentes de diversos comportamentos e sempre pontuaram mais, devido ao auxílio dos comportamentos 5 e 6 que penalizavam os agentes de comportamento 2.

De um modo geral foi possível constatar com esta simulação de populações com grupos mistos de comportamentos de agentes que:

- Em diversas simulações os agentes que possuíam reputações mais baixas não acabavam obtendo pontuações mais elevadas do que os demais, pois estavam sendo penalizados de forma sistemática pelos demais agentes, que utilizavam da cooperação;
- Em diversas simulações a mistura de comportamentos privilegiou os agentes que possuíam um comportamento aleatório, resultante provavelmente do fato de que a população não possuía uma organização que privilegiasse uma maior punição destes agentes;

- Um maior número de experimentos deste tipo precisaria ser realizado para que pudessem ser tiradas conclusões mais apuradas sobre a influência da interação no comportamento e na evolução da reputação dos agentes.

4.6 Discussão Final Sobre os Experimentos

Nossos experimentos foram bem produtivos, isto é, nos levaram a grandes conclusões que serão mostradas a seguir:

Experimentos Homogêneos:

- Analisamos a simulação baseline, utilizada pelo comportamento aleatório;
- Constatamos que um comportamento onde todos agentes tendem a trair uns aos outros leva o grupo para o seu pior desempenho;
- Verificamos que os agentes que cooperam jogando contra agentes que cooperam com reputação, terão os mesmos resultados de pontuação e reputação, favorecendo assim o bom desempenho na partida;
- As simulações tiveram resultados que refletiram diretamente na forma de pontuar as jogadas definidas para o IPD. A maior pontuação possível é obtida quando um agente trai e todos os seus oponentes cooperam com ele.

Experimentos com comportamentos mistos (50% de cada):

- Comportamentos de traição, quando confrontados com comportamentos que sempre cooperam independentemente do comportamento do seu oponente, tendem a pontuar mais. Quando a reputação não é considerada, aqueles que traem pontuam mais do que os que cooperam;
- Comportamentos de traição são prejudicados quando todos traem ou quando existe um conjunto de agentes que buscam penalizar as traições;
- Comportamentos de cooperação, quando confrontados com comportamentos que sempre traem, ou que traem de forma esporádica tendem a pontuar menos que estes;
- Comportamentos que cooperam, mas que consideram a reputação podem acabar tendo uma avaliação prejudicada, pois podem ficar penalizando (traindo) os agentes que usualmente traem os demais e acabam eles próprios com uma baixa reputação também;

- Uma pontuação superior (mais alta) pode ser alcançada por agentes que traem esporadicamente seus oponentes, quando estes seus oponentes permanecem sempre cooperando. Uma pontuação alta também é obtida pelo comportamento 2 quando confrontado com o 3;

- Um outro tipo de análise pôde ser feita em relação à pontuação média global de toda a população de agentes, a denominada “média geral”. Quanto mais alta a média, maior o ganho coletivo. Um ganho individual elevado pode não contribuir para que o grupo como um todo tenha um ganho maior.

Experimentos com comportamentos comparando quando a quantidade de agentes de um tipo varia:

- Comportamentos baseados em reputação tendem a pontuar mais, entretanto isso depende do limiar adotado. Em nossas simulações constatamos que quanto mais agentes com comportamentos que considerem a reputação, mais estes têm chance de pontuar acima dos comportamentos que incluem a traição;

- Comportamentos baseados em reputação podem vir a praticamente empatar, em termos de pontuação, com um comportamento de traição, onde os grupos de agentes foram divididos meio a meio;

- Comportamento 2 (sempre traição), não aumenta nem diminui sua pontuação quando confrontado com comportamentos que penalizam a traição;

- Manter o sistema desorganizado, com agentes que não possuem uma estratégia definida (ou que cooperam sempre) é uma estratégia que beneficia aqueles que traem. Quanto mais agentes do tipo que cooperam existir, 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 agente único sempre trai onde todos os demais sempre cooperam, inclusive com ele;

- Usualmente a pontuação máxima coletiva será obtida quando todos os agentes cooperarem entre si e a pontuação mínima coletiva será obtida quando todos os agentes traírem entre si.

Experimentos com comportamentos misturados:

– Em diversas simulações os agentes que possuíam reputações mais baixas acabavam obtendo pontuações mais elevadas do que os demais, o que caracteriza o fato de não estarem sendo penalizados de forma sistemática pelos demais agentes em função de suas traições;

– Em diversas simulações a mistura de comportamentos privilegiou os agentes que possuíam um comportamento que incluísse a traição, resultante provavelmente do fato de que a população não possuía uma organização que privilegiasse uma maior punição destes agentes.

Experimentos com comportamentos mistos com interação:

– Em diversas simulações os agentes que possuíam reputações mais baixas não acabavam obtendo pontuações mais elevadas do que os demais, pois estavam sendo penalizados de forma sistemática pelos demais agentes, que utilizavam da cooperação;

– Em diversas simulações a mistura de comportamentos privilegiou os agentes que possuíam um comportamento aleatório, resultante provavelmente do fato de que a população não possuía uma organização que privilegiasse uma maior punição destes agentes;

– Um maior número de experimentos deste tipo precisaria ser realizado para que pudessem ser tiradas conclusões mais apuradas sobre a influência da interação no comportamento e na evolução da reputação dos agentes.

Capítulo 5

Conclusões e Perspectivas

O propósito deste trabalho foi propor, estudar, simular e avaliar o modelo multi-agente cooperativo desenvolvido. Para atingirmos este objetivo, foram pesquisados os conceitos de Agentes e Sistema Multi-Agente (grupos e crowds), IPD (Iterated Prisoner's Dilemma), Reputação, e Jogos Administrativos. Além disto, uma extensa pesquisa sobre técnicas do estado-da-arte relacionadas a estes temas foi realizada, na qual foram investigados vários trabalhos sobre os principais temas desta dissertação, dentre eles o trabalho de Baranski et al. [2006]. Este trabalho é um dos mais importantes relacionados ao tema desta dissertação, sendo uma pesquisa que apresenta resultados de estudos extensivos de simulação no Dilema do Prisioneiro Iterado, implementados através de dois modelos: um modelo não grupal a fim de estudar os princípios fundamentais da cooperação e um modelo para imitar o etnocentrismo. Nesta dissertação, de modo similar ao trabalho de Baranski et al. [2006], usamos o problema do IPD e a formação de grupos, porém focamos nosso estudo nas questões relativas ao uso da reputação e sobre o impacto da interação entre agentes que pode levar a criação dinâmica de grupos e mudanças de comportamento. Além disto, também foi proposto um conjunto de comportamentos bem particular e bem definido que foi aplicado em nossos experimentos.

Através deste estudo foi proposta a avaliação experimental de um modelo multi-agente considerando a cooperação (e a traição) e sendo aplicado ao problema do IPD, implementado sob a forma de um MA-IPD (*Multi-Agent Iterated Prisoner's Dilemma*). O simulador do IPD foi criado de forma a simular a evolução do comportamento dos agentes em um sistema multi-agente. Esta combinação “IPD + Modelo de Comportamento + Interação Entre Agentes” permitiu que fossem consideradas questões relacionadas com: (i) a reputação, a personalidade e a formação de grupos de agentes; (ii) o impacto de um determinado comportamento no desempenho dos agentes,

considerados individualmente, em grupo ou como um todo; (iii) a busca da melhoria do comportamento dos agentes através da evolução do conjunto de regras (estratégia). Além disto, junto a este trabalho foram implementadas duas ferramentas de simulação que permitiram testar e avaliar as questões estudadas e relacionadas acima:

- Implementar um simulador para o problema do IPD (*Iterated Prisoner's Dilemma*), considerando um sistema multi-agente (*MA - IPD Simulation*);
- Implementar um simulador para o estudo da interação entre agentes (agente x agente), que permita sua integração junto ao simulador do IPD.

Os resultados obtidos em diversas simulações ficaram dentro do previsto, validando assim a implementação. Por exemplo, em simulações onde todos agentes possuem o mesmo comportamento e este comportamento é estático (não muda de uma rodada para outra – sem interação), verificou-se que a pontuação final dos agentes é coerente com a pontuação padrão adotada no PD, bem como a reputação também indica de modo coerente como o agente se comportou. Além destas simulações, diversas outras simulações nos apresentaram resultados que não eram tão óbvios e previsíveis como estes primeiros, permitindo assim que chegássemos a uma série de conclusões interessantes levantadas a partir dos resultados práticos obtidos. Determinados resultados provaram que a união faz a força, e, outros ainda, que nem sempre trair é a melhor escolha (ainda mais quando se considera a reputação). Por outro lado, demonstraram também que um traidor pode vir a tirar benefícios próprios e individuais em detrimento do bem comum, quando não há um maior controle ou organização da sociedade a fim de punir os traidores. No capítulo 4 foi apresentada uma extensa série de simulações, juntamente com uma detalhada análise dos resultados destas simulações, apresentada nas seções 4.14, 4.2.4, 4.3.4, 4.4.4 e 4.4.5 e ao final deste capítulo.

Assim, as principais contribuições deste trabalho que merecem ser destacadas são:

- A realização de uma importante pesquisa bibliográfica de técnicas do estado da arte sobre Modelos de Reputação, IPD, Sistema Multi-Agentes e Jogos Administrativos;
- A proposta de um Modelo Cooperativo Multi-Agente com Reputação e Interação;

- A implementação de dois simuladores capazes de simular o comportamento de agentes e suas interações através de um ambiente 2D;
- A utilização do IPD em sistema multi-agentes utilizando múltiplos jogadores;
- A elaboração de estratégias definidas através dos comportamentos dos agentes, e validadas através de diversos experimentos de simulação;
- A possibilidade de integração entre o IPD e a interação entre agentes, permitindo uma avaliação quantitativa;
- A análise dos resultados das diversas simulações, validando as ferramentas de simulação e apresentando uma série de conclusões a respeito das melhores formas de se comportar em um sistema multi-agente sujeito às regras do jogo do IPD.

Como perspectivas e trabalhos futuros a serem realizados a partir dos trabalhos desenvolvidos nesta dissertação, se destacam as seguintes possibilidades:

- A utilização de um ambiente de simulação de interações mais realístico: incluindo obstáculos, trajetórias, colisão entre elementos da cena, e até mesmo fazendo uso de um ambiente virtual 3D;
- Um estudo mais detalhado do uso e impacto de atributos como os fatores influenciáveis no comportamento dos agentes (estado emocional e personalidade);
- A elaboração de outros tipos de comportamentos (expansão da base de comportamentos), com intuito de analisar a reação e desempenho dos agentes;
- A realização de experimentos que realmente “fechem o loop”, permitindo uma maior integração entre os 2 simuladores: Interação e IPD. Análise mais aprofundada do impacto das interações na reputação e no comportamento dos agentes;
- O uso de algoritmos evolutivos, Algoritmos Genéticos, por exemplo, para otimizar o ganho final de acordo com diferentes critérios: maximizar o ganho individual, maximizar o ganho coletivo, maximizar ambos (individual e coletivo);
- Desenvolver simulações com um número maior de agentes, variando dos 10 agentes atuais para simulações com mais de 1000 agentes, por exemplo.

Sem dúvida este trabalho servirá como inspiração para trabalhos futuros que continuem a investigar o impacto de diferentes comportamentos e da interação na forma

como os agentes colaboram entre si em um sistema multi-agente. As implementações servirão de suporte para estes estudos e trabalhos futuros que podem a vir a ser desenvolvidos no contexto desta dissertação.

APÉNDICE A

Apêndice A.1

TABELA A.1.1: Experimento 1 - Simulação 1 – Agentes 11111111111

Simulação 1											
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Total do Agente
0	162	189	222	188	192	187	182	205	214	234	1975
1	232	241	181	210	196	210	201	182	212	219	2084
2	217	207	173	204	186	209	177	170	248	206	1997
3	190	225	223	221	207	199	210	210	194	181	2060
4	232	176	219	199	192	209	197	212	193	201	2030
5	190	209	213	194	195	172	176	215	200	199	1963
6	222	238	183	212	215	200	207	239	223	180	2119
7	183	155	214	204	185	210	227	219	184	187	1968
8	168	193	220	221	224	192	193	221	175	220	2027
9	229	211	215	203	184	206	216	205	182	219	2070

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA A.1.2.: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	197,5	208,4	199,7	206,0	203,0	196,3	211,9	196,8	202,7	207,0	202,9
D:	20,16	18,46	22,65	14,08	14,90	13,64	19,15	20,65	19,99	14,01	18,7

*O maior e menor valor estão em negrito

TABELA A.1.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	59	59	57	57	57	50	55	53	54	48	54,9
1	53	43	55	53	59	56	59	60	53	50	54,1
2	56	56	62	62	56	51	56	69	47	56	57,1
3	61	53	50	53	48	52	55	60	54	61	54,7
4	54	59	58	64	49	56	47	63	57	56	56,3
5	57	59	54	58	53	57	57	56	52	56	55,9
6	49	53	64	54	50	54	56	51	55	65	55,1
7	51	65	59	58	54	50	46	60	65	56	56,4
8	53	62	52	51	48	58	55	52	60	55	54,6
9	60	49	60	54	52	50	52	56	52	53	53,8

APÉNDICE B

Apêndice B.3

TABELA B.3.1: Experimento 2 - Simulação 3 – Agentes 1111144444

Simulação 3										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	220	189	192	206	150	192	228	197	202	183
1	179	185	200	178	201	218	146	212	230	228
2	194	191	167	232	216	188	206	202	214	190
3	210	174	165	194	212	169	210	174	195	189
4	150	213	185	187	182	215	203	178	165	134
5	212	176	220	186	213	218	217	198	206	181
6	181	187	177	191	196	183	198	191	159	210
7	203	185	215	184	195	186	187	194	186	189
8	191	197	198	213	184	217	190	180	200	194
9	189	242	216	183	207	190	178	215	163	230

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA B.3.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	195,9	197,7	200,0	189,2	181,2	202,7	187,3	192,4	196,4	201,3	194,4
D:	20,26	24,83	17,22	17,02	24,80	15,58	13,03	9,38	11,02	23,54	19,6

TABELA B.3.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	53	55	56	50	68	55	51	54	51	52	54,5
1	57	52	51	58	55	53	68	55	49	48	54,6
2	49	59	59	54	54	56	55	56	48	51	54,1
3	53	56	60	53	54	59	50	55	54	50	54,4
4	58	50	57	58	55	54	53	57	53	63	55,8
5	50	56	48	55	50	49	49	51	50	56	51,4
6	55	54	57	54	52	56	53	54	61	51	54,7
7	50	55	48	54	53	56	55	53	55	54	53,3
8	53	53	51	48	56	50	54	56	50	54	52,5
9	53	45	48	56	49	54	55	48	58	57	52,3

Apêndice B.5

TABELA B.5.1: Experimento 2 - Simulação 5 – Agentes 1111166666

Simulação 5										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	165	193	181	183	173	199	189	182	215	158
1	197	170	171	188	163	170	188	160	186	177
2	188	185	190	194	193	196	198	192	178	194
3	202	175	181	207	178	187	157	172	203	184
4	169	185	213	183	200	189	196	191	178	184
5	216	203	212	220	220	222	221	148	211	209
6	222	162	174	212	210	212	225	183	178	217
7	224	198	209	202	212	228	178	201	206	188
8	218	194	188	208	208	212	208	209	212	195
9	216	198	182	208	216	224	206	212	212	216

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA B.5.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	183,8	177,0	190,8	184,6	188,8	208,2	199,5	204,6	205,2	209,0	195,2
D:	15,70	11,58	5,58	14,89	11,61	20,90	21,63	14,31	9,05	11,18	18,1

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA B.5.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	49	52	55	60	44	55	50	45	57	45	51,2
1	53	46	49	54	53	54	54	49	62	62	53,6
2	56	63	55	53	55	50	57	51	53	57	55
3	45	46	53	57	49	53	56	55	57	52	52,3
4	57	46	63	61	50	60	52	58	58	48	55,3
5	73	68	74	78	75	76	77	35	72	74	70,2
6	76	40	44	74	70	73	79	58	46	78	63,8
7	77	64	71	48	71	78	46	67	68	41	63,1
8	74	62	51	69	69	71	69	71	71	64	67,1
9	73	64	56	69	73	77	68	59	71	59	66,9

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

APÉNDICE C

Apêndice C.1

TABELA C.1.1: Experimento 3 - Simulação 1 – Agentes 1666666666

Simulação 1										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	192	174	178	170	184	166	176	188	190	176
1	262	258	260	258	258	256	260	258	258	260
2	264	262	262	260	266	254	264	264	260	258
3	258	264	262	262	258	260	264	264	258	260
4	264	260	260	262	260	258	260	262	262	260
5	264	256	260	254	260	262	256	256	262	258
6	256	260	262	256	260	256	260	260	258	256
7	260	258	256	262	258	258	260	262	266	260
8	264	260	260	256	260	256	258	260	264	264
9	260	256	256	260	264	266	254	262	262	260

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA C.1.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	179,4	258,8	261,4	261,0	260,8	258,8	258,4	260,0	260,2	260,0	251,9
D:	8,30	1,60	3,35	2,41	1,60	3,12	2,15	2,68	2,89	3,58	24,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA C.1.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	61	52	54	50	57	48	53	59	60	53	54,7
1	96	94	95	94	94	93	95	94	94	95	94,4
2	97	95	95	95	97	92	96	96	95	93	95,1
3	94	96	96	95	94	95	97	96	93	94	95
4	97	95	95	95	94	93	95	96	96	95	95,1
5	97	93	95	92	94	95	93	92	94	93	93,8
6	93	95	96	93	94	93	95	95	94	92	94
7	95	94	93	96	94	94	95	96	98	94	94,9
8	97	94	94	93	94	93	94	94	96	96	94,5
9	95	92	93	94	96	97	92	96	96	95	94,6

Apêndice C.2

TABELA C.2.1: Experimento 3 - Simulação 2 – Agentes 1166666666

Simulação 2										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	204	187	185	179	191	171	178	180	196	172
1	171	195	161	192	192	187	200	175	180	185
2	256	250	248	250	248	252	258	250	250	250
3	246	248	248	252	252	250	248	244	250	246
4	254	256	252	252	250	244	252	254	252	250
5	244	252	246	250	252	254	260	250	252	250
6	250	246	250	248	252	246	250	244	254	248
7	254	256	248	256	252	250	246	254	260	244
8	252	248	246	254	254	250	248	248	244	250
9	258	256	246	250	250	248	250	248	248	252

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA C.2.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	184,3	183,8	251,2	248,4	251,6	251,0	248,8	252,0	249,4	250,6	237,1
D:	9,96	11,44	3,12	2,50	3,07	4,12	2,86	4,73	3,10	3,58	27,2

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA C.2.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	60	57	57	55	57	52	56	52	58	48	55,2
1	54	61	45	58	61	53	60	53	57	58	56
2	94	89	89	89	89	91	93	91	89	90	90,4
3	88	89	89	90	92	91	88	87	90	89	89,3
4	91	93	91	92	91	87	91	92	91	90	90,9
5	88	91	89	90	92	91	94	90	92	90	90,7
6	90	87	90	90	92	87	90	88	92	89	89,5
7	91	92	88	93	91	90	89	91	94	87	90,6
8	91	90	89	91	92	90	90	90	88	90	90,1
9	94	93	89	90	91	89	90	88	89	90	90,3

Apêndice C.3

TABELA C.3.1: Experimento 3 - Simulação 3 – Agentes 1116666666

Simulação 3										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	202	194	181	194	202	171	199	177	198	195
1	179	193	181	186	194	178	193	196	191	184
2	161	194	185	197	185	198	173	176	178	165
3	232	244	242	254	240	238	242	230	234	240
4	240	246	232	244	238	240	248	236	238	234
5	236	238	231	234	242	232	246	238	248	238
6	240	244	240	238	238	238	240	240	238	236
7	250	240	236	238	244	240	230	238	238	238
8	236	242	248	246	240	240	236	246	240	242
9	242	248	244	236	244	242	242	242	250	238

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA C.3.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	191,3	187,5	181,2	239,6	239,6	238,3	239,2	239,2	241,6	242,8	224,0
D:	10,41	6,38	12,25	6,50	4,88	5,33	2,04	4,92	3,88	3,92	25,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA C.3.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	58	65	53	50	65	51	65	55	62	56	58
1	51	61	53	69	54	54	54	52	57	55	56
2	50	53	56	56	58	54	51	56	54	49	53,7
3	81	86	86	91	86	84	86	80	81	85	84,6
4	85	87	81	87	84	85	89	83	84	82	84,7
5	83	84	82	82	86	81	87	84	89	84	84,2
6	85	87	85	84	83	83	85	85	84	83	84,4
7	90	86	83	84	87	85	80	84	84	84	84,7
8	83	86	89	87	85	85	83	88	85	86	85,7
9	86	89	87	83	87	86	86	86	89	84	86,3

Apêndice C.4

TABELA C.4.1: Experimento 3 - Simulação 4 – Agentes 1111666666

Simulação 4										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	211	197	208	174	183	205	189	175	202	186
1	184	182	182	178	176	185	172	196	198	170
2	192	178	191	177	172	182	200	183	210	181
3	182	184	178	186	182	193	182	208	186	182
4	230	233	222	232	226	228	228	234	236	218
5	238	221	232	220	228	228	226	230	230	218
6	232	231	240	220	232	234	234	230	236	230
7	234	215	230	228	228	230	240	222	240	200
8	232	210	224	232	226	236	224	222	226	190
9	240	218	232	236	226	236	224	242	238	190

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA C.4.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	193,0	182,3	186,6	186,3	228,7	227,1	231,9	226,7	222,2	228,2	211,3
D:	12,81	8,72	11,05	8,15	5,29	5,77	4,91	11,42	12,66	14,65	22,5

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA C.4.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	52	55	51	50	61	55	59	54	57	54	54,8
1	61	53	53	51	47	61	50	58	63	57	55,4
2	55	56	62	49	50	58	51	59	60	44	54,4
3	62	57	59	55	42	55	55	53	63	56	55,7
4	80	83	76	81	78	79	79	82	83	77	79,8
5	84	77	81	75	79	79	78	80	80	76	78,9
6	81	82	85	75	81	82	82	80	83	83	81,4
7	82	74	80	79	79	80	85	76	85	53	77,3
8	81	58	77	81	78	82	77	75	77	52	73,8
9	85	74	81	83	78	83	77	86	84	60	79,1

APÉNDICE D

Apêndice D.1

TABELA D.1.1: Experimento 4 - Simulação 1 – Agentes 1222333444

Simulação 1										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	172	200	191	209	178	211	201	202	186	194
1	346	342	342	334	342	342	350	334	338	342
2	326	342	330	338	346	342	334	338	342	342
3	338	334	326	338	334	322	334	338	346	350
4	72	78	75	66	72	66	78	69	84	75
5	78	72	78	75	72	72	63	78	75	66
6	78	68	69	81	72	69	81	75	69	75
7	231	218	212	206	227	217	217	216	215	207
8	221	205	226	215	231	217	214	211	213	233
9	225	228	226	219	220	217	213	216	227	212

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.1.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	194,4	341,2	338,0	336,0	73,5	72,9	73,7	216,6	218,6	220,3	208,5
D:	12,14	4,66	5,93	7,85	5,41	4,85	4,80	7,39	8,56	5,59	103,2

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA D.1.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	61	54	53	52	60	47	54	52	60	57	55
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	49	51	52	54	50	51	51	52	52	53	51,5
8	51	54	50	52	49	51	52	52	52	48	51,1
9	50	49	50	51	51	52	52	51	49	52	50,7

Apêndice D.3

TABELA D.3.1: Experimento 4 - Simulação 3 – Agentes 1222333666

Simulação 3										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	195	192	186	194	194	186	193	190	191	190
1	234	230	238	238	230	234	230	230	230	234
2	226	230	230	230	234	226	230	230	234	226
3	230	230	234	226	238	226	230	222	234	234
4	162	162	165	168	171	156	162	159	165	171
5	165	159	159	153	165	162	168	165	165	159
6	156	168	165	165	162	159	168	168	162	162
7	176	201	196	199	198	170	198	199	201	197
8	179	190	195	184	206	179	200	195	186	190
9	198	182	196	186	200	190	202	212	184	182

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.3.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	191,1	232,8	229,6	230,4	164,1	162,0	163,5	193,5	190,4	193,2	195,1
D:	3,01	3,12	2,80	4,54	4,66	4,24	3,85	10,44	8,36	9,52	27,1

*Números destacados em negrito são as pontuações acima da média

TABELA D.3.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	62	67	66	66	61	52	56	55	60	58	60,3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	45	67	66	56	64	42	64	66	67	65	60,2
8	56	50	52	49	68	56	65	64	50	52	56,2
9	54	56	53	58	65	50	66	59	57	56	57,4

Apêndice D.5

TABELA D.5.1: Experimento 4 - Simulação 5 – Agentes 1222444666

Simulação 5										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	108	114	137	128	138	137	113	126	128	131
1	210	206	218	118	218	218	222	210	206	218
2	214	222	214	214	218	222	210	214	226	222
3	214	226	226	214	218	218	218	230	214	218
4	105	106	107	100	109	103	114	92	99	106
5	108	96	85	105	93	103	105	105	119	96
6	103	114	107	109	104	98	104	108	101	99
7	170	176	156	168	162	172	156	170	154	162
8	174	172	168	168	172	154	162	166	166	172
9	176	162	178	170	172	162	180	158	176	156

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.5.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	126,0	204,4	217,6	219,6	104,1	101,5	104,7	164,6	167,4	169,0	157,9
D:	10,28	29,30	4,88	5,43	5,73	8,90	4,65	7,27	5,66	8,35	45,8

TABELA D.5.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	52	54	53	56	58	54	57	50	55	50	53,9
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	72	72	71	71	70	71	69	74	72	70	71,2
5	71	74	75	71	73	71	70	71	68	72	71,6
6	72	70	71	70	71	72	70	70	71	72	70,9
7	24	25	25	25	26	25	25	24	24	24	24,7
8	24	25	23	27	23	24	26	24	26	23	24,5
9	23	22	26	22	27	26	23	24	25	23	24,1

Apêndice D.6

TABELA D.6.1: Experimento 4 - Simulação 6 – Agentes 1222555666

Simulação 6										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	187	202	197	184	190	197	192	188	201	195
1	122	126	114	122	118	102	110	110	118	106
2	122	98	106	122	114	106	114	114	118	106
3	118	94	106	114	110	106	110	114	102	102
4	189	198	186	180	189	195	198	198	180	189
5	189	195	192	186	192	198	198	192	192	195
6	180	198	189	183	189	204	195	195	180	192
7	194	202	170	174	195	204	200	201	198	168
8	196	204	179	168	184	198	202	194	192	180
9	188	202	196	168	184	204	200	180	192	182

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.6.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	193,3	114,8	112,0	107,6	190,2	192,9	190,5	190,6	189,7	189,6	167,1
D:	5,76	7,33	7,43	6,74	6,60	3,56	7,50	13,43	10,95	10,80	37,5

TABELA D.6.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	60	58	55	57	53	58	59	62	54	49	56,5
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
5	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
6	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
7	65	66	44	46	64	67	65	67	67	43	59,4
8	53	67	56	41	49	64	66	52	51	55	55,4
9	49	66	53	41	57	67	65	55	51	56	56

Apêndice D.8

TABELA D.8.1: Experimento 4 - Simulação 8 – Agentes 1333444666

Simulação 8										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	232	240	222	252	242	244	201	235	248	255
1	156	165	165	159	159	153	159	165	156	162
2	162	156	159	153	156	165	168	159	153	162
3	162	159	159	150	153	153	159	165	162	165
4	274	276	279	263	261	262	282	271	263	269
5	280	265	276	271	257	270	278	265	278	264
6	275	280	264	261	282	285	274	285	263	256
7	241	229	224	226	206	227	206	206	210	208
8	210	227	228	228	204	228	204	212	214	204
9	216	250	228	226	194	208	196	214	194	212

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.8.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
M:	237,1	159,9	159,3	158,7	270,0	270,4	272,5	218,3	215,9	213,8	217,6
D:	15,18	4,04	4,73	4,92	7,22	7,20	10,17	11,94	10,20	16,74	44,9

TABELA D.8.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	61	57	61	49	49	49	62	59	57	49	55,3
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	39	38	37	40	41	41	37	40	40	40	39,3
5	38	41	38	39	42	40	38	40	38	41	39,5
6	38	38	40	41	37	37	38	37	40	42	38,8
7	58	81	80	81	54	80	54	56	56	57	65,7
8	70	80	65	63	53	63	53	71	58	67	64,3
9	73	72	63	62	62	69	63	72	62	71	66,9

Apêndice D.9

TABELA D.9.1: Experimento 4 - Simulação 9 – Agentes 1333555666

Simulação 9										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	286	290	300	316	294	292	272	294	306	308
1	255	249	255	252	264	252	258	258	258	255
2	249	255	249	252	252	255	261	261	255	252
3	258	255	249	255	258	261	267	255	255	255
4	261	267	255	255	246	252	258	261	255	252
5	264	255	261	255	255	255	255	249	261	258
6	261	258	255	246	258	258	261	258	252	264
7	258	256	262	260	258	260	256	264	264	264
8	260	260	258	260	260	254	254	256	262	264
9	260	260	256	266	258	260	262	262	264	264

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.9.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	295,8	255,6	254,1	256,8	256,2	256,8	257,1	260,2	258,8	261,2	261,3
D:	11,81	3,98	4,04	4,49	5,56	4,07	4,85	3,03	3,12	2,86	12,9

TABELA D.9.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	60	53	51	53	54	53	61	60	62	63	57
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	94	93	96	94	93	95	93	96	96	97	94,7
8	95	95	94	94	94	91	92	93	96	97	94,1
9	95	94	93	97	94	95	96	95	97	97	95,3

Apêndice D.10

TABELA D.10.1: Experimento 4 - Simulação 10 – Agentes 1444555666

Simulação 10										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	233	257	251	238	245	275	257	245	244	247
1	271	280	279	271	254	252	256	266	258	274
2	260	264	260	276	275	264	271	261	270	263
3	274	257	279	264	260	264	259	275	254	273
4	165	162	159	174	150	159	156	162	156	177
5	168	168	159	165	159	162	165	165	153	165
6	171	159	165	156	159	162	159	165	159	177
7	225	229	230	208	204	208	204	225	206	236
8	226	231	232	212	200	212	209	229	202	232
9	220	244	228	214	208	214	228	244	200	230

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA D.10.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	249,2	266,1	266,4	265,9	162,0	162,9	163,2	217,5	218,5	223,0	219,5
D:	11,16	9,91	5,78	8,25	7,82	4,46	6,18	11,92	12,15	13,81	42,5

TABELA D.10.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	62	56	50	59	51	49	53	54	48	65	54,7
1	39	38	38	39	42	43	42	40	41	39	40,1
2	41	41	42	39	37	41	39	41	39	42	40,2
3	39	42	38	41	41	41	41	39	41	40	40,3
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	79	81	80	55	55	55	55	79	56	81	67,6
8	62	82	81	71	53	71	71	81	54	81	70,7
9	75	71	79	72	57	72	65	71	53	80	69,5

APÊNDICE E

Apêndice E.1

TABELA E.1.1: Experimento 5 - Simulação 1 – Agentes 1122335566

Simulação 1										
Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10
0	238	248	237	232	237	239	257	232	234	238
1	226	245	243	228	237	220	227	254	223	235
2	210	210	226	202	206	210	210	202	210	210
3	210	218	210	186	210	210	210	198	202	218
4	189	177	180	183	183	171	180	177	189	186
5	186	171	168	183	180	183	171	192	186	171
6	200	185	191	191	209	209	200	194	200	194
7	185	200	197	197	191	200	197	191	197	194
8	208	210	208	201	212	210	222	214	206	213
9	216	214	210	214	214	208	210	218	214	220

*Números em negrito são as maiores pontuações

TABELA E.1.2: Média (M) e Desvio Padrão (D) de cada Agente após as 10 rodadas

Agente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média Geral
M:	239,2	233,8	209,6	207,2	181,5	179,1	197,3	194,9	210,4	213,8	206,7
D:	7,33	10,38	6,31	9,13	5,41	7,83	7,40	4,46	5,26	3,52	19,9

*O maior e menor valor estão em negrito

TABELA E.1.3: Reputação Global dos Agentes (por rodada)

Agente	Rod. 1	Rod. 2	Rod. 3	Rod. 4	Rod. 5	Rod. 6	Rod. 7	Rod. 8	Rod. 9	Rod. 10	Méd.
0	54	46	64	30	71	49	49	75	61	60	55,9
1	78	46	64	65	48	66	81	45	64	57	61,4
2	10	39	42	37	10	60	51	45	62	10	36,6
3	10	63	10	30	70	60	67	25	10	10	35,5
4	84	63	80	99	70	66	81	75	67	99	78,4
5	84	76	99	79	63	49	58	75	62	89	73,4
6	80	60	42	70	71	66	57	72	80	80	67,8
7	90	81	66	80	80	66	61	75	89	89	77,7
8	69	76	80	37	63	70	58	70	67	73	66,3
9	73	72	75	76	85	69	67	74	64	63	71,8

Referências Bibliográficas

- [Alvares 1997] L.O.C. Alvares; J.S. Sichman, **Introdução aos Sistemas Multiagentes**. Brasília: XVI Jornada de Atualização em Informática, 1997.
- [Andlinger 1958] G. R. Andlinger, **Business games – play one!**, *Harvard Business Review*, Vol. 36 No 2.
- [Axelrod 1984] R. Axelrod, **The Evolution of Cooperation**. New York: Basic Books, 1984.
- [Baranski 2006] B. Baranski, T. Bartz-Beielstein, R. Ehlers, T. Kajendran, B. Kosslers, J. Mehnen, T. Polaszek, R. Reimholz, J. Schmidt, K. Schmitt, D. Seis, R. Slodzinski, S. Steeg, N. Wiemann, M. Zimmermann, **The Impact of Group Reputation in Multiagent Environments**. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2006.
- [Bitting 2004] E. Bitting, A. A. Ghorbani, **Cooperative Multiagent Systems for the Optimization of Urban Traffic**. In *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*. 2004.
- [Booker 1985] L. B. Booker, **Improving the Performance of Genetic Algorithms in Classifier Systems**. In *Proceedings of the International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*. pp. 80-92. 1985.

- [Booker 1989] L. B. Booker, D. E. Goldberg, J. H. Holland, **Classifier Systems and Genetic Algorithms**, *Artificial Intelligence*, vol. 40, pp. 235-282, 1989.
- [Carter 2002] J. Carter, E. Bitting, A. A. Ghorbani, **Reputation Formalization for an Information-Sharing Multi-Agent**. *Computational Intelligence*, Volume 18, Number 4, pp. 515-534, 2002.
- [Castro 2002] L. N. Castro, F. J. V. Zuben, **Notas de aula da disciplina Computação Evolutiva**, DCA/FEE/Unicamp, Campinas – SP, 2002. Disponível em: ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ia707_02/topico13_02.pdf, acessado em 30/11/2006.
- [Thalman 2007] D. Thalman; S.R. Musse. **Crowd Simulation** 1. ed. London: Springer-Verlag, 2007. v. 1. 245 p.
- [Demazeu 1995] Y. Demazeau, **From interactions to collective behaviour agent-based system**. In *Proceedings of the 1st European Conference on Cognitive Science, St. Malo, 1995*.
- [Derbas 2004] G. Derbas, A. Kayssi, H. Artail, A. Chehab, **TRUMMAR – A Trust Model for Mobile Agent Systems Based on Reput**. In *Proceedings of the IEEE/ACS International Conference on Pervasive Services*. 2004.
- [Elgood 1997] C. Elgood, **Handbook of management games and Simulations**, 6th ed., Gower, England, 1997.
- [Ferber 1991] J. Ferber; L. Gasser, **Intelligence Artificielle e Distribute**. *International Workshop on Expert Systems & Their Applications*, Avignon, France, 1991. Cours no. 9.

- [Ferber 1999] J. Ferber, **Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence**. Addison-Wesley, New York, 1999.
- [Fullam 2006] K. K. Fullam, K. S. Barber, **Learning Trust Strategies in Reputation Exchange Networks**. In *Proceedings of the 6th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'06)*. 2006.
- [Gasser 1992] L. Gasser, **Boundaries, Identity, and Aggregation: Plurality Issues in Multiagent Systems; (In) Decentralized A.I. 3 (Proceedings of 3rd Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Kaiserlauten, Germany, 5-7th August 1991)**; E. Werner and Y. Demazeau (Eds.); 199-213; Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), Amsterdam, Holland.
- [Gaston 2005] M. E. Gaston, M. desJardins, **Agent-Organized Networks for Dynamic Team Formation**. In *Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'05)*. 2005.
- [Goldberg 1983] D. E. Goldberg, **Computer-Aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning**, *Ph.D. Thesis*, University of Michigan, Ann Arbor, MI., 1983.
- [Greenblat 1981] C. S. Greenblat, R. D. Duke, **Principles and Practice of Gaming/Simulation**, Sage, Beverly Hills, 1981.
- [Greenblat 1988] C. S. Greenblat, **Designing Games and Simulations**, Sage Publications, London, 1988.

- [Greene 1959] J. Greene, R. Sisson, **Dynamic Management Decision Games**, Chapman & Hall, London, 1959.
- [Holland, 1975] J. H. Holland, **Adaptation in Natural and Artificial Systems**, University of Michigan Press, 1975.
- [Holland, 1992] J. H. Holland, **Adaptation in Natural and Artificial Systems**, 2nd edition, The MIT Press, 1992.
- [Holland, 1995] J. H. Holland, **Hidden order: how adaptation builds complexity**, Addison Wesley, Inc, 1995.
- [Holland, 1998] J. H. Holland, **Emergence: from chaos to order**, Addison Wesley, Inc, 1998.
- [Huynh 2006] T. D. Huynh, N. R. Jennings, N. R. Shadbolt, **Certified Reputation: How an Agent Can Trust a Stranger**. In *Proceedings of the 6th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'06)*. 2006.
- [Klos 2003] T. Klos, H. L. Poutré, **Using Reputation-based Trust for Assessing Agent Reliability**. In *Proceedings of 7th International Workshop on Trust in Agent Societies*. 2004.
- [Kovacs 1995] T. Kovacs, P. L. Lanzi, **A Learning Classifier Systems Bibliograph**, *Technical Report: CSRP-99-19*, Stanford University, 1995.
<http://www.stanford.edu/~buc/SPHINcsX/book.html>
- [Lan 2004] K. Lam, H. Leung, **An Adaptative Strategy for Trust/Honesty Model in Multi-agent Semi-competitive Environments**. In *Proceedings of the 16th IEEE*

International Conference on Tools with Artificial Intelligence. 2004.

- [Michalewicz 1996] Z. Michalewicz, **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**, 3rd edition, Springer, 1996.
- [Musse 2000] S. Musse, **Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control**. *PhD Thesis*, 2000.
- [Oh 2004] J. C. Oh, N. Gemelli, R. Wright, **A Rationality-based Modeling for Coalition Support**. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*. 2004.
- [Poundstone 1992] W. Poundstone, **Prisoner's Dilemma**, Doubleday, NY, 1992.
- [Reynolds 2007] C. W. Reynolds, **Boinds Steering Behaviors and OpenSteer** – Reynolds Homepage. Disponível em: <http://www.red3d.com/cwr/>, acessado em: 15/01/2008.
- [Ricciardi 1957] Ricciardi, F. M., Craft, C. J., Malcolm, D. G., Bellman, R., Clark, C., Kibbee, J. M., Rawdon, R.H. **Top management decision simulation**, American Management Association, New York, 1957.
- [Richards 1995] R. A. Richards, **Zeroth-Order Shape Optimization Utilizing Learning Classifier Systems**, *Ph.D. Thesis*, Stanford University, 1995.
<http://www.stanford.edu/~buc/SPHINcsX/book.html>
- [Sabater 2001] J. Sabater, C. Sierra, **REGRET: Reputation in gregarious societies**. In *Proceedings of the 1st*

International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'01). 2001.

- [Sabater 2002] J. Sabater, C. Sierra, **Reputation and Social Network Analysis in Multi-Agent Systems**. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'02)*. 2002.
- [Schlosser 2004] A. Schlosser, M. Voss, L. Brückner, **Comparing and Evaluating Metrics for reputation Systems by Simulation**. *RAS-2004, A Workshop on Reputation in Agent Societies as part of 2004 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'04) and Web Intelligence (WI'04)*. 2004.
- [Schubik 1968] M. Schubik, **Gaming: Costs and Facilities**, *Management Science*, 14, 11, July 1968, 629-660.
- [Sichman 1995] J.C. Sichman, **Du Raisonement Social Chez les Agents: Un Approche Basé sur la Théorie de la Dépendance**. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France. Forthcoming.
- [Teacy 2005] W. T. L. Teacy, J. Patel, N. R. Jennings, M. Luck, **Coping with Inaccurate Reputation Sources: Experimental Analysis of a Probabilistic Trust Model**. In *Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'05)*. 2005.
- [Yu 2002] B. Yu, M. P. Singh, **An Evidential Model of Distributed Reputation Management**. In *Proceedings of the 2nd*

International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'02). 2002.

- [Weiss 2000] G. (Ed.) Weiss. **Multiagent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence**. London: MIT Press, 1999.
- [Wikipedia 1] Wikipédia, **Site do Wikipedia.org**. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner_dilemma, acessado em 15/6/2007.
- [Wikipedia 2] Wikipédia, **Site do Wikipedia.org**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_multiagente, acessado em 06/01/2008.
- [Wikipedia 3] Wikipédia, **Site do Wikipedia.org**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_dos_jogos, acessado em 05/01/2008.
- [Yu 2003] B. Yu, M. P. Singh, **Detecting Deception in Reputation Management**. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'03)*. 2003.