

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RENATA GONÇALVES MOTA

**Modelagem de Situações de Jogos Estratégicos em
Autômatos Celulares**

**Florianópolis
2005**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RENATA GONÇALVES MOTA

**MODELAGEM DE SITUAÇÕES DE JOGOS
ESTRATÉGICOS EM AUTÔMATOS CELULARES**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio da Silva Borges

**Florianópolis
2005.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RENATA GONÇALVES MOTA

**MODELAGEM DE SITUAÇÕES DE JOGOS ESTRATÉGICOS
EM AUTÔMATOS CELULARES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação – Sistemas de Conhecimento e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Banca Examinadora:

Raul Sidnei Waslawick (Coordenador)

Dr. Paulo Sergio da Silva Borges

Dr. Luiz Fernando Jacintho Maia

Dr. João Bosco da Mota Alves

Dr. Carlos Eduardo Negrão Bizzotto

Florianópolis, 28 de Março de 2005.

Para meus pais Enéias e Cristina, meu querido Fábio e meus irmãos, Juliana, Paula e Leandro.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus, Ser Supremo, que me deu muita força nas horas em que só Ele podia me amparar.

A papai e mamãe, por entenderem que chega uma hora na vida em que é preciso largar tudo e partir, muito obrigada por tudo!!! Vocês são as melhores pessoas do mundo.

Ao amado Fábio de Monteiro Munhoz, por acalmar meu coração, por ser a maravilhosa pessoa que sempre esteve ao meu lado quando eu mais precisei e, principalmente, por ser muito paciente e saber esperar.

Aos meus queridos irmãos, Juliana, Paula e Leandro pelos sorrisos e brincadeiras em todos os momentos.

Aos amigos de Florianópolis, Lisi, Luís, Paula, Paulo e Dani pela amizade, dedicação e pela força dada por estar longe de casa.

A meus queridos avós: Gasparina, Hermen, Djalma e Geni, pela força e orações.

Um grande agradecimento à querida Verinha, secretária do PPGCC, por toda ajuda e dedicação.

Aos ilustríssimos membros da banca do TI, doutores Barreto, Jovelino e Maia, pela colaboração e motivação.

Ao meu orientador Dr. Paulo Sérgio da Silva Borges, pelos sábios ensinamentos não somente da ciência, mas também da vida, o qual me faz lembrar Isaac Newton, pois se avistei mais longe é porque estive em ombros de gigantes.

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudos concedida para a realização desta dissertação.

"Dias de calma, noites de ardência, dedos no leme e olhos no horizonte, descobri a alegria de transformar distâncias em tempo. Um tempo em que aprendi a entender as coisas do mar, a conversar com as grandes ondas e não discutir com o mau tempo. A transformar o medo em respeito, o respeito em confiança. Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso antes de mais nada, querer."

Amyr Klink

MOTA, Renata Gonçalves. **Modelagem de Situações de Jogos Estratégicos em Autômatos Celulares**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) 92 p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

RESUMO

Neste trabalho, foi pesquisado e desenvolvido um modelo estratégico baseado em Autômatos Celulares e Teoria dos Jogos, para demonstrar a mobilidade social de uma população de indivíduos virtuais. Foram empregados conceitos de jogos evolucionários, utilizando-se como base o jogo *Hawk-Dove* na formulação do modelo e na criação de um programa na linguagem Java para simulação computacional e para estudos da mobilidade evolutiva da população virtual. Alguns padrões evolucionários foram apresentados, comparados e foram identificados grupamentos estáveis e instáveis. A partir da análise dos resultados obtidos das simulações, utilizando-se o modelo proposto, foi possível identificar a ocorrência de comportamentos caóticos. A aplicação de diferentes estratégias de jogos, como *Tit-For-Tat* ou *Win-Stay|Lose-Shift*, para analisar o modelo neste trabalho indica a flexibilidade apresentada pela modelagem baseada em Autômatos Celulares e Teoria dos Jogos.

Palavras-chave: Autômato Celular, Teoria dos Jogos, Simulação, Mobilidade Social, *Hawk-Dove*.

MOTA, Renata Gonçalves. **Modeling of strategic games situations in Cellular Automata**. 2005. Dissertation (Master Degree in Computation Science) 92 p. Federal University from Santa Catarina. Florianópolis.

ABSTRACT

In this work was researched and developed a strategic model based on Cellular Automata and Games Theory to demonstrate the social mobility of a virtual individuals population. It has been used concepts of evolutionary games, based on the game Hawk-Dove on the model formulation and in the designing of a program on Java language to computational simulation and to studies of the virtual population evolutive mobility. Some evolutionary patterns have been demonstrated and compared and have been identified stable and unstable groups. From analysis of obtained results of the simulation, it was possible to identify the occurrence of chaotic behaviors. The application of different games strategies, as Tit-for-Tat, or, Win-Stay|Lose-Shift to analyze the model in this work, indicates the flexibility showed by modeling based on Cellular Automata and Games Theory.

Keywords: cellular automata, games theory, simulation program, social mobility, Hawk-dove game.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1. Exemplo de dimensões de Autômatos Celulares: a) autômato celular unidimensional; b) autômato celular bidimensional; c) autômato celular tridimensional.....27
- FIGURA 2. Exemplo de grades bidimensionais representando alguns formatos possíveis do Autômato Celular: a) formato triangular; b) formato quadrangular; c) formato hexagonal.....27
- FIGURA 3. Representação dos tipos de vizinhança, cujas células cinzas são vizinhas da célula preta central: a) vizinhança de Von Neumann, raio 1; b) vizinhança de Moore, raio 1; c) vizinhança arbitrária.....28
- FIGURA 4. Representação dos tipos de vizinhança, cujas células cinzas são vizinhas da célula preta central: a) vizinhança de Von Neumann, raio 2; b) vizinhança de Moore, raio 2.....28
- FIGURA 5. Representação da regra de transição do jogo da vida, cujas células pretas representam células “vivas” e células brancas representam células “mortas”: a) estado inicial; b) primeira geração a partir da figura 5a; c) terceira geração; d) quarta geração.....30
- FIGURA 6. Exemplo do conjunto de regiões, representado pela grade 50 x 50 do Autômato Celular, onde cada célula representa uma região. Implementado no SSODA.....59
- FIGURA 7. Exemplo do conjunto de regiões, dispostas por recursos.....60
- FIGURA 8. Exemplo de indivíduos localizados nas regiões da sociedade.....62
- FIGURA 9. Exemplo do conhecimento das regiões a) Demonstração de um conjunto de regiões com um indivíduo de comportamento *Hawk* locado na célula central; b) O indivíduo conhece as 8 regiões que o cerca e a que ele se localiza.....65
- FIGURA10. Exemplo do processo de escolha de regiões: a) demonstração de um conjunto de regiões com um indivíduo de comportamento *Hawk* locado na célula central; b) o indivíduo analisa as regiões da vizinhança; c) mudança do indivíduo para a célula de melhor recurso, obtendo um acréscimo de 5% da região em sua riqueza.....66
- FIGURA11. Exemplo do processo de escolha de regiões com mais de um indivíduo: a) demonstração de um conjunto de regiões com alguns indivíduos locados nas células; b) escolha dos indivíduos região com melhor recurso; c) mudança do indivíduo para a célula de melhor recurso.....66
- FIGURA12. Exemplo do processo de escolha de regiões: a) demonstração de um conjunto de regiões com alguns agentes locados nas células; b) escolha do agente por uma região já ocupada por outro indivíduo; c) mudança do agente para a célula de melhor recurso.....67
- FIGURA13. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia 100% *Hawk*: a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Hawk* e 2500 recursos vermelhos; b) geração 36 com 487 indivíduos; c) geração 55 com 487 indivíduos; d) geração 87 com 487 indivíduos; e) geração 204 com 478 indivíduos; f) geração 2.286 com 17 indivíduos; g) geração 16.109 com 2 indivíduos; h) última geração (16.400).....74

FIGURA14. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia *Dove*: a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Dove* e 2500 recursos vermelhos; b) geração 609 com 496 indivíduos; c) geração 1023 com 89 indivíduos; d) geração 2.027 com 8 indivíduos; e) geração 3.282 com 3 indivíduos; f) geração 5.947 com 2 indivíduos; g) geração 48.217 com 1 indivíduo; h) última geração (255.464).....75

FIGURA15. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia *Win-Stay|Lose-Shift*: a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Win-Stay|Lose-Shift* e 2500 recursos vermelhos; b) geração 35 com 490 indivíduos; c) geração 83 com 490 indivíduos; d) geração 85 com 490 indivíduos; e) geração 156 com 490 indivíduo; f) geração 1.384 com 30 indivíduo; g) última geração (4.059).....76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de um jogo soma zero.....	39
Tabela 2 – Exemplo de um jogo soma não-zero.....	40
Tabela 3 – Representação da matriz de um jogo qualquer para demonstração da estratégia mista.....	42
Tabela 4 – Representação da matriz de um jogo qualquer.....	43
Tabela 5 – Representação da matriz de um jogo qualquer.....	44
Tabela 6 – Representação da matriz de um jogo que possui quatro pontos-de-sela.....	44
Tabela 7 – Matriz de um jogo para representação do equilíbrio de Nash.....	45
Tabela 8 – Matriz do dilema do Prisioneiro.....	47
Tabela 9 – Representação dos ganhos do dilema do prisioneiro.....	48
Tabela 10 – Matriz do jogo <i>Stag Hunt</i>	49
Tabela 11 – Representação dos ganhos do jogo <i>Stag Hunt</i>	50
Tabela 12 – Matriz do jogo Guerra dos Sexos.....	51
Tabela 13 – Representação dos ganhos do jogo Guerra dos Sexos.....	51
Tabela 14 – Matriz do jogo Frango.....	52
Tabela 15 – Representação dos ganhos do jogo <i>Chicken</i> - Frango.....	53
Tabela 16 – Demonstração dos ganhos do jogo <i>Hawk-Dove</i>	56
Tabela 17 – Demonstração do valor do recurso de cada região, representado pela cor.....	60
Tabela 18 – Combinação para o ganho de cada indivíduo na disputa de regiões sem ocupação.....	67
Tabela 19 – Combinação para o ganho de cada agente na disputa de regiões ocupadas por outros agentes.....	68
Tabela 20 – Demonstração dos agentes, especificados pela cor de sua estratégia.....	70
Tabela 21 – Resultado de simulações, utilizando $N(20,10)$	77
Tabela 22 – Resultado de simulações, utilizando $N(100,10)$	78
Tabela 23 – Resultado de simulações, utilizando $N(100,80)$	78
Tabela 24 – Resultado de simulações, utilizando $N(20,10)$	79
Tabela 25 – Resultado de simulações, utilizando $N(100,10)$	80
Tabela 26 – Resultado de simulações, utilizando $N(100,80)$	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Autômato Celular
DN	Distribuição Normal
ESS	<i>Evolutionary Stable Strategy</i> (Estratégia Evolutiva Estável)
IA	Inteligência Artificial
Minimax	Mínimo dos Máximos
Maxmin	Máximo dos Mínimos
TFT	<i>Tit-for-Tat</i>
TJ	Teoria dos Jogos
VA	Vida Artificial
WSLS	<i>Win-Stay Lose-Shift</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Definição do Problema.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivos gerais.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Metodologia.....	18
1.5 Resultado Esperado.....	19
1.6 Limitações do Trabalho.....	20
1.7 Estrutura da Dissertação.....	20
2 MOBILIDADE SOCIAL.....	22
2.1 Introdução.....	22
2.2 Características.....	22
2.3 Conclusão.....	24
3 AUTÔMATOS CELULARES.....	25
3.1 Introdução.....	25
3.2 Definição.....	26
3.2.1 Dimensão e Formato.....	26
3.2.2 Vizinhança.....	27
3.2.3 Estados.....	29
3.3 Aplicações.....	32
3.4 Conclusão.....	32
4 TEORIA DOS JOGOS.....	34
4.1 Introdução.....	34
4.2 Jogos Iterados.....	37
4.3 Jogos Cooperativos versus Jogos Competitivos.....	38
4.4 Jogo Soma Zero e Soma Não-Zero.....	39
4.5 Conjunto de Informações.....	40
4.6 Estratégias.....	41
4.6.1 Estratégias Puras e Mistas.....	41
4.6.2 Ponto-de-Sela.....	43
4.6.3 Equilíbrio de Nash.....	45
4.7 Paradigmas de Jogos como Modelos Reais.....	46
4.7.1 Dilema do Prisioneiro.....	47
4.7.2 <i>Stag-Hunt</i> – Caça ao Alce.....	48
4.7.3 <i>Battle of the Sexes</i> - Guerra dos Sexos.....	50
4.7.4 <i>Chicken</i> – Frango.....	52
4.8 Teoria dos Jogos Evolucionários.....	53
4.8.1 Jogo <i>Hawk-Dove</i>	55
4.9 Conclusão.....	57
5 PROPOSTA DE TRATAMENTO DO PROBLEMA.....	58
5.1 Ambiente Simulado.....	58
5.1.1 Região.....	59
5.2 Agência e Agentes.....	61
5.3 Riqueza e Rendimento.....	63
5.4 Objetivo dos Agentes.....	64

5.5 Modelo Social.....	64
5.6 Representação do Conhecimento.....	65
5.7 Escolha dos Movimentos.....	69
5.8 Sistema de Produção.....	70
5.9 Ssoda.....	71
5.10 Conclusão.....	71
6 RESULTADOS.....	73
6.1 Simulações utilizando o modelo.....	73
6.1.1 População com estratégias 100% <i>Hawk</i>	73
6.1.2 População com estratégias 100% <i>Dove</i>	74
6.1.3 População com estratégias <i>Win-Stay Lose-Shift</i>	76
6.1.4 População com estratégias invasoras.....	77
6.1.5 População com várias estratégias.....	79
6.1.6 Conclusão.....	81
7 CONCLUSÃO.....	84
7.1 Contribuições.....	84
7.2 Propostas para Trabalhos Futuros.....	85
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O interesse pela compreensão de padrões de comportamento de agentes racionais não só vem motivando pesquisas em diversas áreas científicas, como é ainda maior quando se trata de conflitos de interesse. A interação de agentes, em situações conflitantes, não é apenas do tipo social, há sempre uma série de outros domínios de fatores (ex.: econômicos, cultural, físico etc) que, dada a sua importância, devem-se considerar.

A Teoria dos Jogos é uma teoria matemática criada para se modelar fenômenos que podem ser observados quando dois ou mais agentes interagem entre si. Tal modo de observação da realidade, integrado e multidisciplinar, constituiu o atributo fundamental do que, usualmente, designa-se por investigação de conflitos de interesse. Porém a Teoria dos Jogos é normativa e não descritiva, ou seja, não tenta fazer previsões sobre como os agentes realmente se comportarão.

Teoria dos Jogos insere-se na interface de diversos campos do conhecimento (biológico, físico, social, cultural, econômico etc), sendo o funcionamento dos seus sistemas melhor compreendido quando a análise dos seus componentes é feita de forma não isolada. Em muitos casos, para suprir a necessidade de se utilizar representação (a qual se abrange a casos específicos, ex.: representação do crescimento de uma planta, representação do comportamento das formigas, etc), são empregados modelos de simulação. Modelos de simulação tornaram-se um importante método de pesquisa, o que se deve a sua capacidade de retratar muitas situações e processos.

Modelos de simulação não passam de uma exemplificação da realidade, uma vez que não consideram todas as relações existentes do problema;

no entanto, ao considerar as relações mais importantes, pode-se possibilitar um rigor de descrição perfeitamente compatível com muitas aplicações práticas.

Para a modelagem de uma Simulação, “o uso de Autômatos Celulares vem a se tornar uma técnica efetiva para demonstrar comportamentos emergentes coletivos (que emerge de forma não explícita)”. Dentro de suas características pode-se dizer que Autômatos Celulares são como uma vida artificial para modelos de simulação (BLUE, 1998).

Este trabalho procura abordar conceitos envolvidos com a detecção de comportamentos sociais através da mobilidade social, para verificar a potencialidade de aplicar e tratar procedimentos para a representação de um modelo. Para isso, utilizaram-se os métodos computacionais de Teoria dos Jogos, para formular um modelo que trate situações em que ocorrem conflitos de interesse, e Autômatos Celulares, para modelar uma simulação e representar o modelo de sociedade artificial para investigação.

Partindo desse pressuposto, o método de investigação de sistemas conflitantes pretende evoluir da análise reducionista da realidade, cujas questões são analisadas de um modo enquadrado no contexto global em que se inserem.

1.1 Definição do Problema

A mudança ou a oportunidade de mudança social, embora amplamente estudada, é representada por modelos que enfocam o processo de forma sistêmica, enfatizando modelos analíticos que se tornam complexos ou inadequados, dada a dificuldade em encontrar métricas objetivas para as variáveis intervenientes. A descrição dos processos e fatores referentes à mobilidade social

propriamente dita (ver Cap. 2) encontra-se diluída nos modelos gerais, sem uma análise detalhada e uma dinâmica própria claramente definida. Como, portanto, pode ser a mobilidade social entendida pelo ser humano e de que forma esse entendimento pode ser transformado em um modelo? Da mesma maneira, como seria a transposição para um sistema de inteligência artificial que possibilite a exploração desse modelo?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho consiste em definir um modelo computacional, baseando-se no jogo evolucionário *Hawk-Dove*, capaz de ilustrar a evolução de uma população de agentes racionais que procura por melhores condições sociais, em que o conjunto de recursos são escassos e limitados, tornando-se uma busca competitiva. Após definir o modelo, utilizar conceitos de Teoria dos Jogos e Autômatos Celulares no desenvolvimento de uma ferramenta, que utiliza recursos de simulação. Tal ferramenta deverá ser utilizada para melhor compreender o comportamento dos agentes no modelo e assim investigá-lo.

1.2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral do trabalho seja atingido, algumas etapas devem ser cumpridas, e apresentam-se a seguir como objetivos específicos:

- a) definir um modelo que exemplifique a mobilidade social de uma população de indivíduos;
- b) definir um conjunto de comportamentos básicos que possa ser usado para demonstrar os comportamentos observados na vida real;
- c) escolher estratégias que possam ser aplicadas ao modelo;
- d) desenvolver uma ferramenta que utilize recursos de simulação, com base no modelo inicialmente definido;
- e) realizar comparativos entre os comportamentos da população, a fim de extrair previsões e formas de controle.

1.3 Justificativa

“A comunidade científica vem cada vez mais buscando respostas e extrapolações dos resultados de suas pesquisas através do espaço geográfico” (FILHO, 2003, p.1), baseando-se no pressuposto que processos naturais são, em certo grau, controlados pela organização espacial de seu conjunto ambiental. Um objeto de pesquisa na organização espacial pode ser o ambiente social de indivíduos.

O ambiente social se encontra em mutação contínua, podendo a sua estrutura e composição mudar significativamente através do tempo e resultar em importantes ramificações quanto à interação de seus indivíduos.

Estudo em simulação social vem a ser um novo campo, no entanto experiências nessa área vêm crescendo (GILBERT, 1999). A elaboração de um estudo, com referencial teórico e aprofundamento em questões relevantes ao

ambiente social com a criação de uma ferramenta para demonstração do desenvolvimento dessa sociedade, é de fundamental importância para a contribuição de conceitos relacionados à área, substanciando no desenvolvimento de uma nova classe de modelos computacionais, abrangendo quadros sociais. Entretanto a iniciativa da formulação do modelo computacional, com a implementação de uma ferramenta, é de importância não só para o tratamento de circunstâncias do contexto social (mobilidade social), como também é formulada para poder ser aplicada a várias outras situações encontradas no mundo real, fazendo com que sua aplicação não esteja limitada a somente um domínio.

Essa dissertação tem seu foco na descrição dos processos envolvidos na mobilidade social, ligando-os a técnicas de inteligência artificial que oferecem condições de implementá-los. Com isso, a tarefa de formular um modelo de sociedade artificial que possa ser utilizado para investigar não somente uma presente sociedade, mas possíveis mundos sociais. Em cima desse modelo, desenvolver uma ferramenta, em termo de protótipo, que utiliza recursos de simulação, de forma intensiva. Essa ferramenta permitiria alcançar o entendimento mencionado, e, por conseguinte, poderia extrair previsões e formas de controle.

1.3 Metodologia

A Revisão Bibliográfica do presente trabalho, inicialmente, foi elaborada a partir de livros, revistas, artigos e diversos documentos que tratam os assuntos relacionados, fundamentalmente Autômatos Celulares, Teoria dos Jogos, Teoria dos Jogos Evolucionários e Processos de Simulação.

Durante a fase de pesquisa, foram feitas várias buscas de trabalhos correlatos, encontrando, trabalhos com grandes contribuições científicas, como o trabalho sobre a simulação da evolução de células cancerígenas (BACH, 2003), simulação da mudança na população urbana (WARD, 2003), entre outros.

Com base na pesquisa, foi analisado, definido e implementado um modelo para a demonstração de um torneio computacional entre diversas estratégias previamente elaboradas e definidas. Utilizando o modelo, uma série de simulações é formulada e representada a fim de exemplificar uma população de indivíduos que buscam por bens em comum, ocasionando conflitos sociais. Com os resultados da simulação são feitos vários comparativos entre diferentes formas de inicialização da população, da sua adaptabilidade e dos seus recursos.

1.4 Resultado Esperado

Contanto que os objetivos do trabalho sejam alcançados, espera-se chegar a um modelo computacional capaz de representar e entender a dinâmica do processo de mobilidade social de uma população de indivíduos, em um ambiente competitivo, baseando-se no jogo evolucionário *Hawk-Dove*.

Como representação do modelo, pretende-se chegar a uma ferramenta que possa alcançar o entendimento de alguns processos sociais e que não esteja somente limitada no contexto de mobilidade social e seja, sim, aplicada a várias outras situações cotidianas.

1.5 Limitações do Trabalho

O trabalho aqui desenvolvido apresenta as seguintes limitações:

- o ambiente simulado é baseado apenas em características bidimensionais;
- o estudo do modelo Markoviano de vida social não é alvo de estudos neste trabalho;
- a avaliação do sistema foi realizada utilizando-se um conjunto limitado de estratégias;
- o modelo computacional definido é baseado no jogo evolucionário *Hawk-Dove*, e o trabalho pretende apenas discutir e propor um modelo ótimo.

1.6 Estrutura da Dissertação

Estruturalmente, esta dissertação se encontra dividida em sete capítulos distintos. Dessa forma, o presente capítulo apresenta a introdução, os objetivos, a justificativa do estudo e a metodologia a ele aplicada.

O Capítulo 2 aborda uma breve descrição sobre Mobilidade Social. No Capítulo 3 é apresentada uma revisão dos aspectos fundamentais de Autômato Celular, caracterizando grade, formato, definição de regras de transição e sua representação. Quanto ao Capítulo 4, abrange uma revisão de Teoria dos Jogos, incluindo-se descrição de conflitos de interesse, jogos iterados, estratégia, jogos competitivos e cooperativos e paradigmas de jogos como modelos reais. O Capítulo 5 apresenta a proposta de tratamento do problema enunciado no Capítulo 1,

incorporando regras, tipo de população e estratégias simuladas através do programa especificamente desenvolvido para essa finalidade, abrangendo, também, a sua documentação. Demonstra o Capítulo 6 as simulações realizadas pelo programa proposto no capítulo anterior, incluindo um comparativo entre as simulações realizadas, e, finalmente, no Capítulo 7 são apresentadas às conclusões advindas da elaboração deste estudo, descrevendo visão geral da pesquisa, considerações finais do trabalho e sugestões para sua continuidade.

2 MOBILIDADE SOCIAL

O presente capítulo vem apresentar uma breve descrição sobre mobilidade social, descrevendo sua implicância na mudança de circunstâncias socioeconômicas, e, em cima dessa descrição, a aproximação da mesma às técnicas computacionais a serem aplicadas neste trabalho.

2.1 Introdução

A mobilidade social é um dos temas de grande interesse da sociologia, sintetizando um complexo de mudanças que ocorrem no sistema social e nos indivíduos ao longo do tempo, como fruto e como determinante do desenvolvimento.

Pelo fato da mobilidade social ser vista com um complexo de mudanças que ocorrem na sociedade e nos indivíduos (Pastore, 1979), ela pode ser estudada abordando diferentes aspectos, aplicando-a a diversas atividades cotidianas.

2.2 Características

“Mobilidade social descreve mudança ou oportunidades de mudança entre diferentes grupos sociais” (ALDRIDGE, 2001, p.1), e vantagens ou desvantagens que ocorrem através dessas mudanças em termos de rendimento, segurança, emprego, oportunidades de avanço, entre outros.

Essas mudanças podem acontecer sob uma variedade de circunstâncias, tais como (NEVES, 2004, p.1):

- pode ocorrer durante a vida de um indivíduo em uma determinada geração ou em mais gerações;
- pode ser um fato biográfico isolado ou ocorrer de forma padronizada, com um conjunto de indivíduos;
- pode representar uma melhoria ou um agravamento das condições de vida;
- pode envolver mobilidade espacial ou sem mudança de locação;
- pode ser um fato acidental ou uma realidade habitual das sociedades.

Apesar das diversas circunstâncias, a mobilidade implica na mudança do lugar / posição / *status* socioeconômico anteriormente ocupado.

Segundo Valéria (PERO, 2001) a mobilidade social intergeracional (mudanças na inserção ocupacional entre as gerações do pai e do filho) reflete a distribuição de oportunidades na sociedade, ou seja, as chances relativas das pessoas atingirem determinada posição no sistema de estratificação social é de acordo com a origem socioeconômica da família.

Se a reprodução das desigualdades de oportunidades pode levar a comportamentos de risco para o convívio social, é importante analisar as possibilidades de mobilidade social entre gerações e sua evolução ao longo do tempo para compreender melhor o processo de desenvolvimento socioeconômico (PERO, 2001).

2.3 Conclusão

A mobilidade social tem sido analisada sob várias perspectivas, mas nenhuma das abordagens utilizou conceitos evolucionários objetivando a construção de um modelo para sua criação e representação.

Com a ajuda a alguns métodos computacionais como: Autômatos Celulares e Teoria dos Jogos é possível que seja estudado e analisado um modelo para exprimir um modelo para este estudo.

3 AUTÔMATOS CELULARES

Um dos métodos computacionais que é aplicado para o desenvolvimento deste trabalho é o Autômato Celular. Este capítulo apresenta a definição de Autômatos Celulares demonstrando suas características essenciais e apresentando algumas pesquisas recentes relacionadas ao assunto.

3.1 Introdução

Em meados de 1940, o matemático polonês Stanislaw Ulam (1909 – 1984) e o matemático húngaro John Von Neumann (1903 – 1957) iniciaram estudos, do ponto de vista teórico, sobre Autômatos Celulares. Ulam e Von Neumann tinham intenção de prover um meio para investigar o comportamento de sistemas complexos, para demonstrar que o princípio de máquinas auto-reprodutivas era possível. “A concepção de descendentes é um critério para determinar se algo está vivo”, portanto, “se uma máquina artificial fosse capaz de produzir uma cópia de si mesma, ela seria então capaz de produzir mais cópias”, e isto seria uma forte indicação de que a ligação entre autômatos artificiais e naturais é forte. (BONETTI, 2002)

Em 1970, o jovem matemático inglês John Horton Conway (1937), baseando-se nos estudos de Ulam e Von Neumann, desenvolveu investigações, do ponto de vista prático, sobre Autômatos Celulares. Tal investigação deu origem ao Jogo da Vida também conhecido como Game of Life. O Jogo da Vida simula processos como nascimento, sobrevivência e morte. Utilizando o Jogo da Vida é

possível criar um padrão que simula o próprio Jogo da Vida, isso lhe dá a distinção de ser o primeiro jogo “esperto” capaz de simular ele mesmo.

Segundo Wolfran (WOLFRAN, 1983), Autômatos Celulares são inspirados na reprodução biológica, formando simples idealizações matemáticas de sistemas naturais. A motivação para o uso desse modelo vem da suposição de que os “processos naturais sempre buscam resolver problemas de otimização” (BARRETO, 2001, p.181), embora “não tenham sido inventados para serem modelos realísticos da natureza, mas sim para representar a reprodução da informação” (SILVA, 2002, p.3).

3.2 Definição

Um autômato celular (AC) é um sistema dinâmico, onde o tempo e o espaço são discretos. O sistema é composto por um vetor ou plano de autômatos, possuindo células (seus elementos básicos) identicamente programadas que interagem umas com as outras. Tais células possuem um conjunto finito de estados predefinidos e um conjunto de condições necessárias para a mudança de estados.

3.2.1 Dimensão e Formato

Autômatos Celulares podem operar em um ambiente de uma ou n dimensões. No Autômato Celular unidimensional, as células estão distribuídas linearmente, no AC bidimensional, existe uma distribuição no plano e, no AC tridimensional, uma distribuição espacial (figura 1).

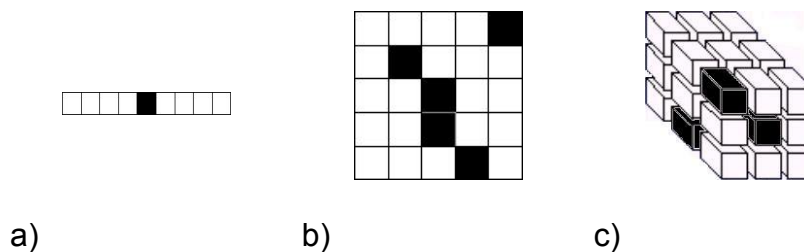


FIGURA 1. Exemplo de dimensões de Autômatos Celulares:

- a) autômato celular unidimensional;
- b) autômato celular bidimensional;
- c) autômato celular tridimensional.

As células podem ser de várias formas (triangular, quadrangular, hexagonal etc), desde que num mesmo autômato todas as células sejam de uma mesma forma. Exemplo das mais comuns:

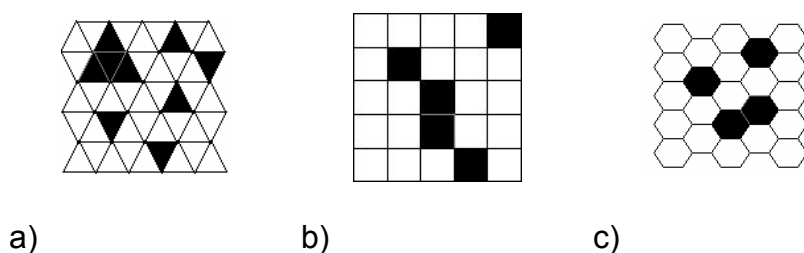


FIGURA 2. Exemplo de grades bidimensionais representando alguns formatos possíveis do Autômato Celular:

- a) formato triangular;
- b) formato quadrangular;
- c) formato hexagonal.

A escolha do melhor formato e dimensão vai depender do contexto do problema abordado e de como as células deverão interagir entre si.

3.2.2 Vizinhaça

A definição do tipo de vizinhaça é imprescindível para o resultado das interações entre as células.

Autômatos Celulares possuem diferentes tipos de vizinhanças, a escolha das quais depende do contexto a ser adotado e influencia na velocidade da propagação de estado e de padrões de comportamento. Os tipos de vizinhanças mais comuns são:

- Von Neumann: Somente células à direita, à esquerda, acima e abaixo são consideradas vizinhas, como mostra a figura 3a.
- Moore: Utilizada no Jogo da Vida de Conway, inclui-se além das definidas no modelo de Von Neumann ainda as diagonais, como mostrado na figura 3b.
- Arbitrária: Os vizinhos são escolhidos de acordo com algum critério determinístico ou randômico, como mostrado exemplo na figura 3c.

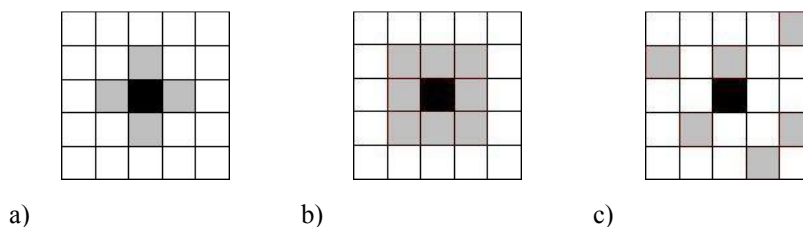


FIGURA 3. Representação dos tipos de vizinhança, cujas células cinzas são vizinhas da célula preta central:

- a) vizinhança de Von Neumann, raio 1;
- b) vizinhança de Moore, raio 1;
- c) vizinhança arbitrária.

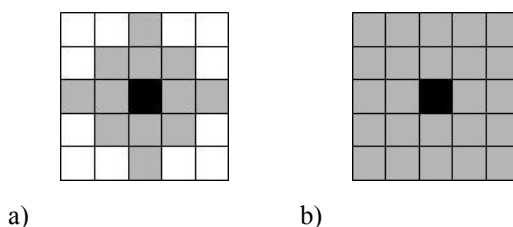


FIGURA 4. Representação dos tipos de vizinhança, cujas células cinzas são vizinhas da célula preta central:

- a) vizinhança de Von Neumann, raio 2;
- b) vizinhança de Moore, raio 2.

Ao definir o tipo de vizinhança é possível definir o tamanho do raio pelo qual ela interage. Na figura 3, pode-se dizer que a vizinhança da célula em questão possui raio 1, ou seja, é considerado somente 1 vizinho entre os lados de seu segmento. Em vizinhanças de raio 2, são considerados 2 vizinhos em seu segmento (figura 4) e assim por diante.

3.2.3 Estados

Cada célula do autômato possui um único estado (ex. viva ou morta; 0 ou 1; vermelho ou rosa ou amarelo). Este estado somado com o estado das células da vizinhança indicará o resultado da interação entre elas.

“O número de estados possíveis não deve ser muito grande, pois o número de configurações por Autômato Celular com estados “e” e células de vizinhança “n” (contando com a própria célula) é e^n ” (WOLFRAN, 1983, p.2).

A mudança de estados (comportamento de uma célula) é determinada e controlada por regras que verificam o estado das células da vizinhança e o da própria célula. A célula recebe entradas de células conectadas a ela ou mensagens gerais e usa seu próprio conjunto de regras para determinar qual será sua reação, que é manter ou mudar seu estado.

A regra de transição é aplicada síncrona e paralelamente a todas as células em cada passo de tempo. Cada estado novo da grade gerado pela regra é chamado de geração.

No caso das células que são organizadas em uma grade bidimensional, a função da regra de transição é definida como (CHAVEZ, 2003):

$$a_{i,j}^{(t+1)} = f \left[\sum_{m=-r1}^{r1} \sum_{n=-r2}^{r2} \alpha_{m,n} a_{i+m,j+n}^{(t)} \right] \quad (1)$$

onde $\alpha_{m,n}$ representa o peso de influência da célula $(i+m,j+n)$ na célula (i,j) . A região da vizinhança da célula (i,j) é determinada por dois parâmetros $r1$ (extensão horizontal) e $r2$ (extensão vertical).

Um exemplo de regra de transição é a definida no Jogo da Vida por John H. Conway (figura 5) e segue as seguintes condições:

1. uma célula viva com zero ou uma vizinha viva morre por isolamento;
2. uma célula viva com quatro ou mais vizinhas vivas morre por “sufocamento”;
3. uma célula morta com exatamente três vizinhas vivas se torna viva;
4. todas as outras mantêm seus estados.

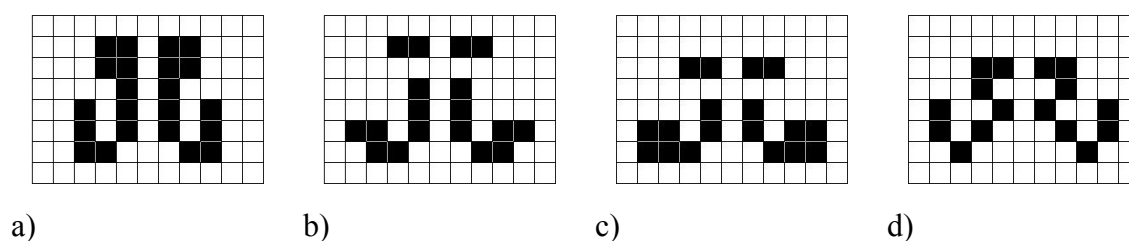


FIGURA 5. Representação da regra de transição do jogo da vida, cujas células pretas representam células “vivas” e células brancas representam células “mortas”:

- a) estado inicial;
- b) primeira geração a partir da figura 5a;
- c) terceira geração;
- d) quarta geração.

O estado inicial do autômato (células que estarão vivas ou mortas; vermelhas ou azuis) é determinado aleatoriamente, ou de forma já pré-determinada.

Estados ou regras diferentes de inicialização produzem diferentes comportamentos no sistema. Segundo Wolfran (WOLFRAN, 1983), dentre os diferentes comportamentos, gerados pelo autômato, pode-se classificá-los em 4 classes:

- a) Classe 1: o AC tende a um estado global espacialmente homogêneo. Todas as células do tabuleiro adquirem uma mesma cor, acabando no mesmo estado (ex.: Todas as células morrem). Assumindo esse comportamento diz-se que o sistema caiu em um atrator.
- b) Classe 2: o AC atinge um estado congelado ou periódico. As células permanecem estáveis “eternamente”. Assumindo esse comportamento diz-se que o sistema caiu em um atrator cíclico.
- c) Classe 3: as células do AC trocam de estado caoticamente. O AC não apresenta nenhuma estrutura, aparentando uma televisão “fora do ar”, onde os pontos mudam de cor de maneira desordenada.
- d) Classe 4: O AC assume um estado intermediário entre a classe 2 e 3. Nesse estado aparecem configurações ordenadas de células. Essas configurações não são estáveis como no estado congelado, são dinâmicas. Diz-se que o sistema está “no limite do caos”.

3.3 Aplicações

Estudos sobre autômatos celulares vêm sendo amplamente realizados nas simulações de diversos sistemas. Esses estudos se devem ao fato de os Autômatos Celulares ser uma técnica efetiva para modelar comportamento emergente (BLUE98). Algumas dessas pesquisas compreendem:

- Computação Gráfica (GONCALVES, 2003).
- Modelagem de paisagem (FILHO, 2003).
- Mudança da evolução urbana (WARD, 2003).
- Simulação Pictorial (avaliação de imagens).
- Simulação da propagação de incêndios em florestas.
- Simulação da propagação de células cancerígenas (BACH, 2003).
- Reconhecimento de Padrão Invariante (CHAVEZ, 2003).
- Propagação de doenças endêmicas / transmissíveis.

3.4 Conclusão

Os Autômatos Celulares podem ser aplicados a diversas áreas científicas, simulando e resolvendo inúmeros problemas. Uma das razões para tal é que os Autômatos Celulares utilizam regras simples, tornando-se uma técnica útil para imitar muitos processos naturais.

Cada célula em um AC pode competir ou cooperar com todas as outras células que usam os recursos disponíveis compartilhados e que participam de sua vizinhança, gerando comportamentos conflitantes. Os comportamentos podem ser analisados e tratados com a ajuda de outros métodos computacionais.

No próximo capítulo, é descrito um método que trata situações de conflitos de interesse, através da formulação de análise matemática formal e formulação de estratégias.

4 TEORIA DOS JOGOS

Um outro método computacional utilizado para o desenvolvimento deste trabalho é a Teoria dos Jogos. Este capítulo apresenta alguns aspectos da Teoria dos Jogos e de suas aplicações, demonstrando suas características e evidenciando Jogos iterados, diferenças sobre Jogos cooperativos e competitivos, conjunto de informações, Jogos soma zero e soma não-zero, estratégias, paradigmas de jogos como modelos reais e Teoria dos Jogos Evolutivos.

4.1 Introdução

A resolução de jogos foi uma das primeiras aplicações da inteligência artificial, tornando-se uma distinta e interdisciplinar aproximação para o estudo de comportamento humano (RUSSEL, 1995).

Teoria dos Jogos vem sendo estudada por notórios pesquisadores. Dentro de sua cronologia serão mencionados os pesquisadores mais conhecidos.

Estudos sobre Teoria dos Jogos foram iniciados pelo babilônio Talmud¹ (0 – 500 DC), o qual só foi reconhecido em 1985. Talmud antecipou a moderna teoria dos jogos, descrevendo o problema do contrato matrimonial: três viúvas de um mesmo homem receberiam 100, 200 e 300 dotes respectivamente. O Talmud descreveu recomendações contraditórias quanto a esse caso. Se o homem morre deixando uma propriedade de somente 100 dotes é recomendada uma divisão igual entre as esposas. Se a propriedade é a importância de 300 dotes é recomendada a divisão proporcional a (50, 100, 150). Se a propriedade é de 200

¹ Talmud: É uma compilação de antigas leis e tradições dos primeiros 5 séculos depois de Cristo, que serve como base da religião Judia.

dotes é recomendada a divisão proporcional a (50, 75, 75). Essa resolução é um completo mistério, porém verificou-se que cada solução corresponde ao núcleo de um jogo apropriadamente definido.

Em 1713, o inglês James Earl Waldegrave (1684 – 1741) desenvolveu a primeira solução da estratégia minimax mista para um jogo 2-pessoas.

Em 1913, o primeiro teorema de teoria dos jogos afirma que o xadrez² é estritamente determinado. Este teorema foi demonstrado pelo matemático Alemão Ernst Friedrich Ferdinand Zermelo (1871 – 1953) no artigo *Über eine Anwendung der Mengenlehre auf die Theorie des Schachspiels*.

Em 1928, o matemático Húngaro John Von Neumann (1903-1957) demonstrou o teorema minimax no artigo *Zur Theorie der Gesellschafts spiele*. Von Neumann declarou que todo jogo soma-zero, com estratégias puras finitas para cada jogador, é determinado.

Em 1944, o conceito fundamental da Teoria dos Jogos foi organizado pelo economista matemático Oskar Morgenstern (1902-1976) e Von Neumann, os quais desenvolveram as bases de uma Teoria dos Jogos no livro *Theory of Games and Economic Behavior* (Teoria dos Jogos e Comportamento Econômico).

Nos anos 50, o famoso matemático americano John Forbes Nash Junior (1928) produziu suas contribuições no campo da teoria dos Jogos com 4 publicações: *Equilibrium Points in N-Person Games* (1950), *The Bargaining Problem* (1950), *Non-cooperative Games* (1951) e *Two-Person Cooperative Games* (1953).

² O jogo de xadrez é um jogo de tabuleiro que tem alguns milhares de anos. Em geral, crê-se que o xadrez teve sua origem no jogo Shatranj, na Índia.

As obras de Nash lhe renderam, juntamente com John Harsanyi e Reinhard Selten, o primeiro Prêmio Nobel para a área de Teoria dos Jogos em 1994.

Em 1972, o conceito de uma Estratégia Evolucionária Estável (*Evolutionarily Stable Strategy – ESS*) foi introduzido na teoria dos jogos evolucionários pelo biologista matemático John Maynard Smith (1920), em *Game Theory and The Evolution of Fighting*. O maior impulso para o uso do conceito ESS foi dado por Maynard e George R. Price (1922 – 1975) no *The Logic of Animal Conflict* em 1973.

Há um jogo, quando existem situações em que ocorrem conflitos de interesses, por um bem escasso ou limitado, entre dois ou mais agentes racionais. Agentes querem maximizar seus ganhos, assumindo então a racionalidade perfeita. Todos são inteligentes e conhecem o que o adversário conhece.

Teoria dos Jogos é utilizada para analisar e tratar conflitos, seus resultados podem ser aplicados a simples jogos de entretenimento, como também a aspectos significativos da vida em sociedade.

O que torna “jogos” algo realmente interessante é que eles, em alguns casos, são muito difíceis de se resolver. Um exemplo de jogo com alta dificuldade de resolução é o xadrez, que, embora siga regras simples, resulta em vários jogos complexos de estratégia, o qual “envolve uma árvore de decisão 35^{100} ” (BARRETO, 2001). O Jogo da Velha (*Tic-Tac-Toe*), quando jogado por dois agentes racionais, sempre resulta em empate, sendo fácil determinar o próximo movimento correto para cada jogador.

A analogia entre comportamento humano e teoria de jogos é que os participantes (jogadores) procuram vencer através da competição. “As saídas de uma competição para um participante em particular são dispostas das ações dele e

de seu oponente. Em ambos os casos, as saídas dependerão do comportamento dos participantes” (PRESTWICH, 1999, p. 9).

Uma das conseqüências mais importantes da teoria dos jogos é que ela pode ser usada para premeditar situações, em que um comportamento é mais adequado que todos as alternativas conhecidas; ou uma mistura de comportamentos em que nenhum é mais adequado que os outros. Essa premeditação não garante o sucesso, somente garante a lógica.

4.2 Jogos Iterados

Os estudos utilizando jogos iterados se devem ao fato de os mesmos ser modelos adequados para a demonstração do comportamento de estratégias.

A iteração do jogo ocorre quando ele é jogado várias vezes seguidas pelos mesmos participantes, ou seja, o jogo é jogado repetidamente por um período determinado ou indeterminado. Ao contrário de um jogo de uma única rodada.

Em jogos iterados, a seqüência do relacionamento entre os participantes permite a adoção de estratégias que estão ligadas às ações escolhidas em jogadas anteriores.

Dois casos são analisados na iteração de um jogo (PRADO, 1999, p. 2):

- número finito e bem determinado de jogadas;
- número infinito ou finito, mas indeterminado de jogadas.

Número finito e bem determinado de jogadas permite que os participantes raciocinem por indução para trás, ou seja, eles analisam primeiro a última jogada e, em seqüência, as anteriores até chegar na primeira. Nesse tipo de jogo o que importa é o presente.

Número infinito ou finito, mas indeterminado de jogadas, inviabiliza a indução para trás. Os participantes podem penalizar seus adversários no presente para forçar uma cooperação no futuro. Nesse tipo de jogo surgem inúmeras soluções.

4.3 Jogos Cooperativos versus Jogos Competitivos

Existem jogos em que os participantes podem conversar previamente e negociar entre si suas estratégias. Esses jogos são chamados cooperativos.

Em Jogos Cooperativos os participantes aperfeiçoam seus ganhos através da comunicação, podendo formar união e entendimento, porém nem sempre os participantes optam pela colaboração. Jogos em que não há comunicação prévia entre os participantes são chamados de não-cooperativos ou competitivos ou jogos de conflito. Em Jogos Competitivos os participantes competem uns contra os outros, usualmente causado por falta completa de informação sobre o oponente ou sobre o jogo.

4.4 Jogo Soma Zero e Soma Não-Zero

Um jogo pode ser caracterizado como jogo soma zero ou como jogo soma não-zero.

Jogos do tipo soma zero são caracterizados pela permanência constante da soma de ganhos durante o curso do jogo. Os adversários estão em conflito e uma boa informação sempre ajuda a um participante.

Um exemplo de jogos soma zero pode ser notado na tabela 1, cujos ganhos das linhas são equivalentes às perdas da coluna e vice-versa.

Tabela 1 – Exemplo de um jogo soma zero.

	C1	C2
L1	-1	1
L2	1	-1

Jogos do tipo soma zero implicam, necessariamente, em um custo (perda) ao seu adversário. Ex.: xadrez e jogo-da-velha, em que cada jogador ganha precisamente o que o outro perde. Nesse tipo de jogo, não há possibilidade de colaboração entre os participantes.

Jogos do tipo soma não-zero são caracterizados pela soma de ganho não constante durante o curso do jogo. Os participantes podem cooperar ou competir, e uma boa informação pode causar danos ao adversário.

Um exemplo de jogo soma não-zero pode ser observado na tabela 2, em que o ganho e a perda não são imutáveis.

Tabela 2 – Exemplo de um jogo soma não-zero.

	C1	C2
L1	-1	-5
L2	0	-3

No jogo apresentado na tabela acima, pode ser claramente observado que a perda de C2 (-5) não equivale ao ganho de L1 (0).

4.5 Conjunto de Informações

“Um conjunto de informações em um jogo é a quantidade de conhecimento permitida a cada participante em algum momento”, porém é influenciada pelas regras do jogo (BORGES, 1996).

Quando a cada jogada todos os participantes possuem o conhecimento exato das jogadas que já ocorreram, diz-se que o jogo possui informação perfeita, ex.: Xadrez.

Quando o tipo de informação é parcial ou não existe, diz-se que o jogo possui informação imperfeita. Uma informação imperfeita pode ser diminuída com o passar do tempo em jogos iterados. Jogos de cartas freqüentemente envolvem informação imperfeita, porque nenhum jogador conhece as cartas do outro.

Um conceito importante, considerando conjunto de informações, é o de conhecimento comum (*common knowledge*). Quando esta propriedade é

presente em um jogo, algum participante, além de conhecer todas as jogadas, também conhece o que os outros conhecem.

4.6 Estratégias

Uma estratégia é um “plano de contingência”, ou um conjunto de instruções, que indica a cada jogador que ação escolher em cada situação que surgir. Não é uma garantia de que o objetivo venha a ser atingido. Na teoria dos jogos, o termo estratégia cobre todas as situações, desde um plano de ação completo até um movimento simples de um determinado jogo.

Para Maynard Smith (SMITH, 1993), “uma estratégia é um fenótipo comportamental, uma especificação do que um indivíduo faria em alguma situação em que ele possa se encontrar”. A decisão da escolha da estratégia do participante influencia ou pode determinar o ganho ou a perda a ser alcançada ao fim do jogo.

Vários tipos de estratégias existem para poder ajudar o jogador a tomar uma decisão. Um conjunto de estratégias pode ser definido como:

$$S^t = \{ S_1^t, S_2^t, S_3^t \dots S_n^t \} \quad (2)$$

4.6.1 Estratégias Puras e Mistas

Uma estratégia é chamada pura S_j^t , quando as ações dos participantes são determinísticas e perfeitamente especificadas. Uma estratégia pura não envolve experimentos aleatórios e não é definida em termos de outras estratégias presentes no jogo, ou seja, um participante escolhe uma jogada e permanece com ela até o fim da rodada.

Quando a estratégia pura é adotada por um participante, um adversário, analisando os seus movimentos precedentes, pode concluir qual estratégia ele está seguindo. Para superar esse problema, o participante pode escolher a estratégia mista.

Estratégia mista envolve aleatoriedade, consiste em movimento de seleção por escolha através de um processo randômico.

$$\sigma^i = \{ (p_1^i, s_1^i), (p_2^i, s_2^i), \dots, (p_n^i, s_n^i) \}$$

onde $\sum_j p_j^i = 1$ (3)

Estratégias mistas consistem em uma distribuição probabilística sobre a estratégia pura. Ex.: Ao jogar pôquer³ o ideal seria não blefar sempre, nem dizer sempre a verdade. Outro exemplo pode ser verificado na tabela 3.

Tabela 3 – Representação da matriz de um jogo qualquer para demonstração da estratégia mista.

		A	
		R	F
B	F	0	1
	R	2	0
		0	2
		1	0

O jogador A joga $\{(1/3, F) (2/3, B)\}$, jogador B joga $\{(2/3, F) (1/3, B)\}$.

³ Pôquer: ou poker é um jogo de cartas americano jogado por duas ou mais pessoas, muito comum em cassinos. É o mais popular de uma classe de jogos nos quais os jogadores com as cartas total ou parcialmente escondidas fazem apostas para um monte central, após o que o resultante das apostas é atribuído ao jogador ou jogadores que possuir(em) o melhor conjunto de cartas.

4.6.2 Ponto-de-Sela

A existência de um ponto-de-sela em um jogo permite que os participantes o escolham para conseguirem obter um bom resultado.

Considerem-se dois jogadores, Maxi e Mini. Maxi tem que escolher entre um conjunto de alternativas (linhas) e Mini tem que simultaneamente escolher entre um diferente conjunto de alternativas (colunas). O valor localizado nessa linha e coluna é a quantia que Mini perde para Maxi. Assim Maxi prefere números altos e Mini prefere números baixos.

Tabela 4 – Representação da matriz de um jogo qualquer.

		Mini		
		A	B	C
Maxi	A	-7	-11	-7
	B	-7	-90	-7
	C	-9	-10	-9
	D	-7	-12	-7

Nesse exemplo, se Maxi escolher linha *D* e Mini escolher coluna *A*, o ganho de Maxi em cima de Mini é -12; que é Maxi perder 12 e Mini ganhar 12.

Um ponto-de-sela é o número que é maior ou igual a todos os números em uma coluna, e menor ou igual a todos os números em uma linha. Se o jogo tem um ponto-de-sela, então os jogadores devem escolher a linha/coluna contendo o mesmo.

Na tabela 5 é ilustrada a matriz de um jogo qualquer onde o ponto-de-sela é destacado pela célula em amarelo. É possível um jogo ter mais de um ponto de sela, neste caso, numericamente eles serão todos iguais.

Na tabela 6 é ilustrada a matriz de um jogo qualquer que possui 4 pontos-de-sela, destacados pela célula amarela.

Tabela 5 – Representação da matriz de um jogo qualquer.

	A	B	C	D
A	4	3	5	2
B	2	1	-1	-20
C	3	4	4	-1
D	-16	0	16	1

Tabela 6 – Representação da matriz de um jogo que possui quatro pontos-de-sela.

	A	B	C	D
A	4	2	5	2
B	2	1	-1	-20
C	3	2	4	2
D	-16	0	16	1

“A existência de um ou mais ponto-de-sela é característica de jogos com informação perfeita, que podem ou não ser estritamente estratégicos” (BORGES, 1996, p.30).

4.6.3 Equilíbrio de Nash

Equilíbrio de Nash é um conceito em Teoria dos Jogos originado por John Nash em 1951.

Tavares (TAVARES, 1995) define o equilíbrio de Nash como sendo a combinação de estratégias ótimas de cada jogador, ou seja, a melhor resposta em relação às estratégias dos outros jogadores.

Um Equilíbrio de Nash é uma combinação de estratégia S^t se o movimento do jogador é uma resposta ótima independente do movimento de seu adversário.

As estratégias $\{S_1, \dots, S_n\}$ são um equilíbrio de Nash se, para cada jogador i , S_i^* for a melhor resposta às estratégias $\{S_1^*, \dots, S_{i-1}^*, S_{i+1}^*, \dots, S_n^*\}$ dos outros $n-1$ jogadores. Isto é $u_i \{S_1, \dots, S_{i-1}, S_i, S_{i+1}, \dots, S_n\} \geq u_i \{S_1, \dots, S_{i-1}, S_i, S_{i+1}, \dots, S_n\}$ para toda estratégia factível $s_i \in S_i$.

Na tabela 7 é demonstrada a matriz de um jogo qualquer, em que Fábio é jogador coluna e Renata jogador linha. A célula destacada em amarelo representa o equilíbrio de Nash.

Tabela 7 – Matriz de um jogo para representação do equilíbrio de Nash.

		Fábio	
		C	N
Renata	C	-1	0
	N	-5	-3

A análise para a escolha do equilíbrio de Nash é feita da seguinte forma: o melhor resultado para Fábio na tabela 7, seria optar por N e Renata optar por C. No caso de Renata escolher N, é ainda mais lucrativo Fábio continuar a escolher N do que C. Se Renata também chegar à mesma conclusão, ambos optarão pelo equilíbrio de Nash.

Um jogo pode ou não ter um ou mais Equilíbrios de Nash. Se um jogo tem um único equilíbrio e é jogado por indivíduos racionais, então eles escolherão as estratégias que formam o equilíbrio de Nash, o que também não é garantido.

O equilíbrio não é um conceito de solução, é uma recomendação. Um jogador deve seguir a recomendação se ele acreditar que todos os outros jogadores seguem suas recomendações.

4.7 Paradigmas de Jogos como Modelos Reais

Para exemplificar situações freqüentemente encontradas no mundo real, a Teoria dos Jogos provê alguns paradigmas, como: Falcão e Andorinha (*Hawk-Dove*), Frango (*Chicken*), Guerra dos Sexos (*Battle of the Sexes*), Dilema do Prisioneiro (*Prisoners Dilemma*), Tragédia dos comuns (*Tragedy of Commons*), Caça ao Alce (*Stag-Hunt*) entre outros.

O objetivo dos paradigmas é encontrar a melhor estratégia e maximizar seus ganhos, mostrando a complexidade de tomar decisões no mundo real.

4.7.1 Dilema do Prisioneiro

O dilema do prisioneiro é um clássico e famoso problema da teoria dos jogos, proposto originalmente por Melvin Dresher e Merrill Flood da RAND Corporation em 1950. O matemático Canadense Albert W. Tucker (1905 - 1995) escreveu o primeiro artigo sobre o dilema, que desde então vem sendo explorado (HOFSTADTER, 1985).

Na Tabela 8, a representação das regras do jogo, T significa *Temptation* (Tentação), R – *Reward* (Recompensa), S – *Sucker* (Idiota) e P – *Punishment* (Punição), satisfazendo: $T > R > P > S$.

Tabela 8 – Matriz do dilema do Prisioneiro.

	Cooperação	Não Cooperação
Cooperação	R	T
Não Cooperação	S	P

Várias analogias foram criadas para ilustrar o problema, uma das mais conhecidas é a seguinte: Dois suspeitos (Leandro e Marcos) são detidos. O delegado, em particular, conversa com Leandro dizendo que a polícia não possui provas suficientes para mantê-lo preso por mais de 1 ano, porém, se ele testemunhar contra seu parceiro Marcos, ficará livre por ajudar a polícia; no entanto, Marcos ficará preso por 5 anos. Leandro é levado a pensar que a mesma proposta

foi feita a seu parceiro e, se os dois testemunharem contra o outro, ambos ficarão presos por 3 anos.

Na tabela 9, as penas estão representadas (em anos de prisão) dependendo da ação de cada suspeito. Leandro, jogador linha e suspeito Marcos, jogador coluna.

Tabela 9 – Representação dos ganhos do dilema do prisioneiro

Leandro Marcos	Não Testemunhar	Testemunhar
Não Testemunhar	1 1	0 5
Testemunhar	5 0	3 3

Ao analisar o jogo, no ponto de vista utilitarista, a cooperação de ambos (não-testemunhar) é o melhor resultado, mas o problema é confiar ou não no parceiro.

O Equilíbrio de Nash está na estratégia em que tanto Leandro quanto Marcos testemunham, porém o simples fato de existir um ponto de equilíbrio não quer dizer que ele será escolhido, que é o que acontece em jogos iterados.

4.7.2 Stag-Hunt – Caça ao Alce

O jogo *Stag-Hunt* é conhecido por muitos nomes na literatura de Teoria dos Jogos, entre eles “Dilema da Confiança” (“*Trust Dilemma*”), Jogo da Promessa (“*Assurance Game*”) e Jogo da Coordenação (“*Coordination Game*”).

Na Tabela 10, a representação das regras do jogo, T significa *Temptation* (Tentação), R – *Reward* (Recompensa), S – *Sucker* (Idiota) e P – *Punishment* (Punição), satisfazendo: $R > T > P > S$.

Tabela 10 – Matriz do jogo *Stag Hunt*.

	Cooperação	Não Cooperação
Cooperação	R	T
Não Cooperação	S	P

Dentre as analogias criadas para ilustrar o problema, a que se destaca é a seguinte: Duas pessoas (Leandro e Marcos) vão caçar e se escondem em um lugar longe do outro, firmando a promessa de caçarem juntos um alce, que os alimentará por 3 dias. Se, no entanto, Marcos quebrar a promessa e for caçar sozinho, ele ficará sem alimento. Se ambos quebrarem a promessa, cada um conseguirá uma lebre e um único dia de alimentação.

Na Tabela 11 estão representados os ganhos do jogo Stag-Hunt.

Tabela 11 – Representação dos ganhos do jogo *Stag Hunt*.

Marcos Leandro	Caçar Alce	Caçar Coelho
Caçar Alce	3 3	2 0
Caçar Coelho	0 2	1 1

A diferença desse com o dilema do prisioneiro é que agora, o melhor resultado seria ambos cooperarem e caçarem alce, e, também se alguém caçar coelho e o outro não.

Analisando o jogo, existem três equilíbrios de Nash no jogo, dois equilíbrios puros: ambos caçam alce ou ambos caçam coelho, e, um equilíbrio misto: uma combinação das duas jogadas.

4.7.3 *Battle of the Sexes* - Guerra dos Sexos

Na Tabela 12, a representação das regras do jogo guerra-dos-sexos, onde B significa *Best Return* (Melhor Resultado), S – *Second Best Return* (Segundo Melhor Resultado), 0 – *worst* (Pior Resultado).

Uma analogia utilizada para ilustrar esse problema é a seguinte: Um casal Renata e Fábio está longe um do outro. Cada um recebe o convite para ir a uma luta de box ou ao balé, ambos no mesmo horário. Renata gosta muito de balé, porém sabe que Fábio adora luta de box. Fábio gosta muito de luta de Box, porém sabe que Renata adora balé. Ambos prefeririam estar presente no mesmo evento e devem optar por um dos dois sem comunicação com o outro.

Tabela 12 – Matriz do jogo Guerra dos Sexos.

	Luta de Box	Balé
Luta de Box	S 0	B 0
Balé	0 0	B S

A Tabela 13 exemplifica os ganhos da Guerra dos Sexos.

Tabela 13 – Representação dos ganhos do jogo Guerra dos Sexos.

Renata Fábio	Luta de Box	Balé
Luta de Box	1 3	0 0
Balé	0 0	3 1

Ao Analisar o jogo, assim como o jogo *Stag hunt*, é possível encontrar três equilíbrios de Nash no jogo, dois equilíbrios puros: ambos vão a luta de box ou ambos vão ao balé, e, um equilíbrio misto: uma combinação das duas jogadas.

4.7.4 *Chicken* – Frango

O jogo *Chicken* aparentemente foi originado no filme “Rebeldes sem uma causa” (*Rebel without a Cause*), onde os atores encenam um “racha” entre carros.

Na Tabela 14, a representação das regras do jogo, satisfazendo: $T > R > S > P$.

Tabela 14 – Matriz do jogo Frango.

	Continuar	Desviar
Continuar	R R	S T
Desistir	T S	P P

Uma analogia utilizada para ilustrar este problema é a seguinte: Duas pessoas (Leandro e Marcos) dirigem um carro cada percorrendo diretamente num curso de choque ao outro. Se ambos seguirem em frente irão colidir. Se Marcos desviar e Leandro seguir em frente, Marcos é considerado “frango” e Leandro reconhecido por bravura. Se ambos desviarem, são desprezados e considerados “frangos”.

Tabela 15 – Representação dos ganhos do jogo *Chicken* - Frango.

Leandro Marcos	Continuar	Desviar
Continuar	2 2	1 3
Desviar	3 1	0 0

A diferença entre este jogo e o dilema do prisioneiro é que se ambos não cooperarem (Desviar) é o pior resultado. O melhor resultado para Leandro nesse jogo seria, ele continuar e Marcos desviar, e, ambos continuarem.

Existem dois equilíbrios de Nash no jogo: Leandro continuar e Marcos desviar, e, Marcos continuar e Leandro desviar.

4.8 Teoria dos Jogos Evolucionários

A Teoria dos Jogos Evolucionários é um componente essencial de uma abordagem matemática e computacional para a biologia (NOWAK, 2004). “É uma maneira de se pensar sobre a evolução num nível fenotípico, quando a adaptabilidade de um fenótipo, em particular, depende de sua frequência na população” (SMITH, 1993).

A Teoria dos Jogos Evolucionários considera que os indivíduos são, de certa forma, pré-programados com algum comportamento, formalmente uma estratégia para um jogo, e que algum processo de seleção evolucionário operará na população distribuindo os comportamentos (WEIBUL, 1996).

A principal contribuição da Teoria dos Jogos Evolucionários é a noção de que a seleção Darwiniana possa substituir a necessidade por agente racional.

Uma das pesquisas da teoria dos jogos evolucionários deriva-se do trabalho de John M. Smith e George R. Price, o qual emprega o conceito de uma *Evolutionary Stable Strategies* – ESS (Estratégia Evolutiva Estável) como a principal ferramenta de análise.

Uma ESS é uma estratégia em que se todos os membros de uma população adotar, nenhuma estratégia mutante conseguirá invadir a população sobre a influência da seleção natural (SMITH, 1993).

Há dois tipos de ESS (PRESTWICH, 1999):

1. ESS Pura: uma estratégia se sobressai a todas as outras. Ela está sempre mais adequada a qualquer situação, sem contar sua frequência. Uma estratégia ESS pura é imune a invasões de outras estratégias conhecidas. Assim, uma estratégia que aparecer por mutação ou imigração não será capaz de propagar e eventualmente será extinta.
2. ESS Mista: duas estratégias coexistem permanentemente. Para um dado conjunto de ganhos, haverá um conjunto de frequências em que este misto é estável.

A motivação que se leva a estudar a Teoria dos Jogos Evolucionários é a modelagem do comportamento de indivíduos de geração em geração. A evolução das características dos indivíduos dependerá de como estes interagirão com indivíduos que possuem outras características.

4.8.1 Jogo *Hawk-Dove*

O jogo *Hawk-Dove* foi proposto por John M. Smith e George R. Price em 1973. O jogo demonstra um conflito de interesses entre dois agentes, que encontram um recurso (V) e disputam entre si pelo mesmo recurso, assumindo o movimento *Hawk* ou *Dove*. A interpretação dada é que o indivíduo que levar o recurso terá sua adaptabilidade (*fitness*) aumentada, e o perdedor poderá sofrer um custo (C) em sua adaptabilidade.

O movimento "*Hawk*" sempre luta para machucar ou matar seu oponente, porém, no andamento da disputa ele pode se ferir, caracterizando-se como agente não-cooperativo. O movimento "*Dove*" somente se exhibe, porém, quando encontra um *Hawk*, foge sem se ferir, caracterizando-se como agente cooperativo. Estes dois movimentos são escolhidos para representar os dois extremos possíveis que podem ser observados na natureza.

Se os participantes optarem pelo movimento *Hawk*, acontece uma luta entre eles, possuindo uma probabilidade de 50% de obter o recurso. O vencedor leva o recurso, enquanto o perdedor sofre um custo (C). Nesse caso o fator da adaptabilidade pode influenciar a luta. Se ambos participantes optarem pelo movimento *Dove*, o recurso, quando possível, é compartilhado entre eles e nenhum dos participantes sofrerá custos. Se um participante escolhe o movimento *Hawk* e o seu adversário *Dove*, o participante *Dove* foge e o *Hawk* leva todo o recurso, sem nenhum custo.

A melhora na adaptabilidade de um participante está relacionada com a escolha de seu comportamento (movimento) e o comportamento adotado pelo

seu oponente. O indivíduo que adotar a melhor estratégia a ser utilizada em cada disputa, melhorará significativamente sua adaptabilidade.

A única informação disponibilizada aos participantes, antes da realização de uma disputa, é a identidade do seu adversário. Com isso, a estratégia utilizada pelo adversário pode ser deduzida indiretamente, analisando os comportamentos adotados nas jogadas anteriores. A adaptabilidade do adversário não é fornecida e nem pode ser deduzida.

A Tabela 16 exibe os valores para cada jogador que adota as estratégias das linhas, se o seu oponente adotar as estratégias das colunas, ou seja, os ganhos são referentes apenas para o jogador da linha.

Tabela 16 – Demonstração dos ganhos do jogo *Hawk-Dove*.

	<i>Hawk</i>	<i>Dove</i>
<i>Hawk</i>	$\frac{1}{2}(V - C)$	V
<i>Dove</i>	0	$V/2$

A estratégia *Dove* não é uma ESS. A estratégia *Hawk* é uma ESS somente se:

$$(V - C) > 0 \text{ ou } V > C$$

No caso de $V < C$, nem *Hawk*, nem *Dove* é uma ESS.

Se todos os indivíduos adotarem a estratégia *Dove*, toda competição seria entre *Dove*, então uma estratégia *Hawk* entre eles se sairia muito melhor e seu gene se propagaria. Claramente uma população de estratégias *Dove* não é estável, como visto anteriormente, a população pode ser invadida por um participante adotando a estratégia *Hawk*.

Considerando uma população composta por estratégias *Hawk*, o custo é maior que o recurso. Uma estratégia *Dove* se sairia melhor que *Hawk*, então o gene do *Dove* se propagaria.

Nesse modelo de seleção natural, uma população mista de *Hawk* e *Dove* seria favorecida e o equilíbrio estável seria quando a média de ganhos para uma *Hawk* é igual para um *Dove*.

4.9 Conclusão

A Teoria dos Jogos traz ferramentas que auxiliam a organização das idéias, para que os indivíduos possam não apenas antecipar suas ações, no sentido de indicar onde elas o levarão, mas, também analisar quais movimentos devem ser tomados para construir o futuro desejado.

Muitos aspectos relacionados à formulação e à implementação de estratégias são contemplados pela perspectiva da TJ, fazendo com que sua aplicação seja utilizada no tratamento de situações em que a análise de aspectos comportamentais é o objetivo direto.

Este capítulo mostra que, da mesma forma como foi visto anteriormente em Autômatos Celulares, um estado inicial pode causar diferenças significantes no resultado final. Muitos jogos seguem regras simples, mas resultam em jogos complexos, como no caso do xadrez.

Alguns jogos existentes em Autômatos Celulares simulam o comportamento biológico, como o Jogo da Vida⁴ e o *the sims*⁵, ambos não possuem uma maneira de ganhar, porém demonstram regras simples para padrões complexos.

⁴ Jogo da Vida: Proposto por John Horton Conway em 1970.

⁵ The Sims: Jogo de computador produzido pela EA Games

5 PROPOSTA DE TRATAMENTO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta as definições e as principais características do processo da modelagem da simulação. Essa modelagem demonstra características de um processo de mobilidade social de uma população de indivíduos.

As definições e as características do processo baseiam-se nos conceitos abordados nos capítulos anteriores, apresentando formulação de regras, população e recurso.

Para facilitar a visualização do processo é utilizado como auxílio a ferramenta SSODA (Simulação de Sociedade Artificial), a qual foi desenvolvida especificamente para a presente dissertação.

5.1 Ambiente Simulado

O Ambiente / Mundo simulado é caracterizado pela representação da vida social de determinados indivíduos, que disputam por recursos escassos e limitados.

O ambiente é composto por um conjunto de regiões, representado por uma grade de Autômato Celular (50 x 50), seguindo o formato quadricular e contendo 2500 células, como demonstrado na figura 6.

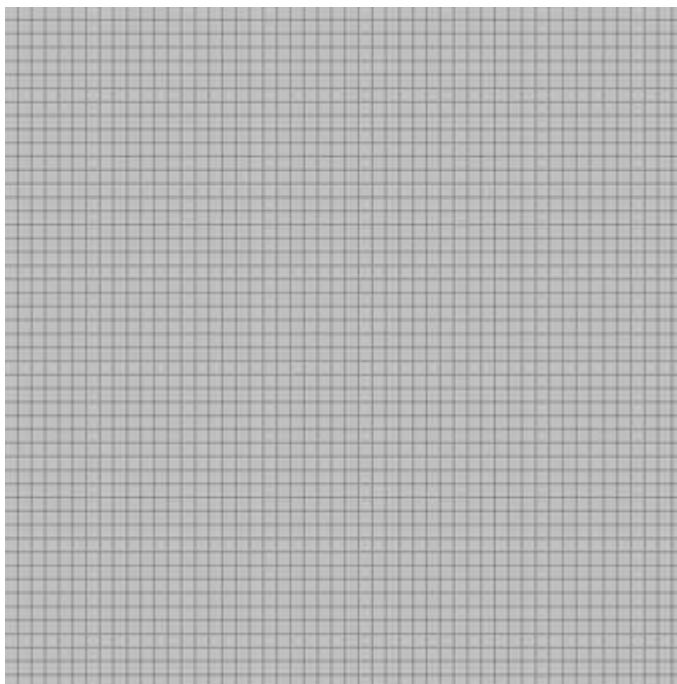


FIGURA 6. Exemplo do conjunto de regiões, representado pela grade 50 x 50 do Autômato Celular, onde cada célula representa uma região. Implementado no SSODA.






Cada célula representa uma determinada região. Dentre as regiões, existirão vários níveis de recurso, algumas com alto nível e outras com nível mais baixo.

5.1.1 Região

A ocupação de uma determinada região é um dos fatores determinante do ganho ou da perda da riqueza de cada indivíduo composto no ambiente. Em cada região é disponibilizado um valor de recurso que será alvo de bem em comum entre os indivíduos na sociedade. Cada região é representada por uma célula da grade e poderá ser ocupada ou não por algum indivíduo.

O estado inicial das regiões na grade será feito de forma aleatória ou pré-determinada, onde cada região poderá assumir um dos cinco estados especificados na tabela 17.

Tabela 17 – Demonstração do valor do recurso de cada região, representado pela cor.

Região	Valor
	É a região que mais possui recursos. O valor inicial de seus recursos equivale a 10.
	O valor inicial de seus recursos equivale a 7.
	O valor inicial de seus recursos equivale a 5.
	O valor inicial de seus recursos equivale a 3.
	É a região que menos possui recursos. O valor inicial de seus recursos equivale a 1.

A disposição desses recursos na grade é feita conforme representado na figura 7.

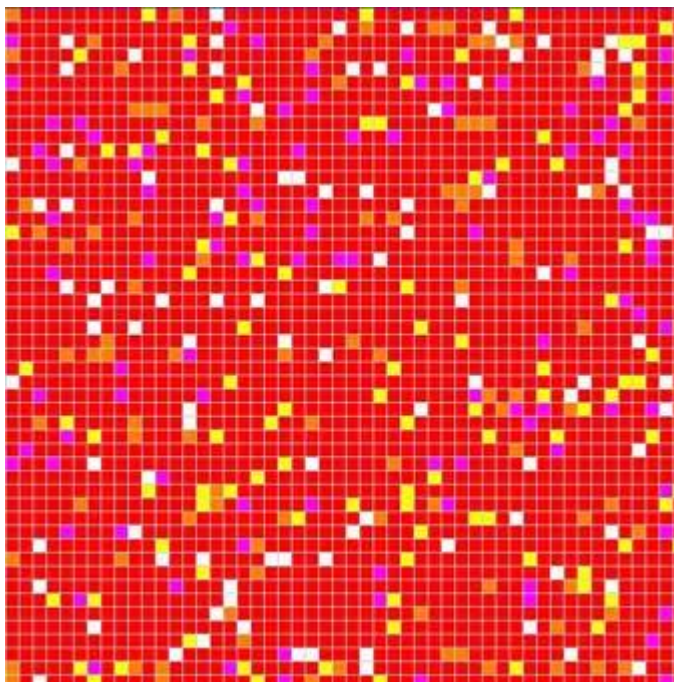


FIGURA 7. Exemplo do conjunto de regiões, dispostas por recursos.

5.2 Agência e Agentes

Uma agência é definida para conduzir a finalidade natural da atividade humana. “Pode-se relacionar agência a conceitos como intencionalidade, livre arbítrio e pretensão em alcançar o objetivo” (GILBET, 1999).

Como o ambiente simulado abrange a vida social de indivíduos, pode se dizer que a agência definida neste contexto é composta pela sobrevivência, vontade própria e pretensão em obter sempre os melhores resultados. A agência é, no entanto, o domínio que os indivíduos atuam.

Cada agente é representado por cada indivíduo que compõe a população do ambiente simulado, são metáforas computacionais que emulam comportamento de agentes do cotidiano. “Um agente de computador não tem intencionalidade, mas é construído para simular alguns aspectos de intenções humanas” (GILBET, 1999). Um aspecto pode ser claramente visualizado quando definido que cada agente possui pretensão em obter sempre os melhores resultados.

Como as ações dos agentes (indivíduos) são determinadas conforme definição da agência, os agentes, então, possuirão um objetivo a alcançar. Embora, a agência, quando aplicada a agentes como programas de computador, possui conceitos geralmente menos demonstrativos que a realidade.

Agentes de computador têm as seguintes propriedades (GILBET,1999):

- autonomia – agentes operam sem que outros tenham controle direto as suas ações e estados internos;
- habilidade social – agentes interagem com outros agentes através de algum tipo de linguagem;

- reatividade - agentes são capazes de analisar seu ambiente (um mundo simulado, incluindo outros agentes) e respondê-lo;
- pró-atividade – como é refletido ao ambiente. Agentes também são capazes de tomar o primeiro passo, engajado no comportamento direto ao objetivo.

Agentes são representados no ambiente simulado, possuindo comunicação entre a vizinhança, coordenação de suas atividades e negociação em caso de conflitos, sempre adotando o comportamento agressivo ou dócil, conforme o jogo *Hawk* e *dove* (ver Cap. 4, subseção 4.8.1).

Um exemplo de representação dos agentes na simulação é representado logo abaixo na figura 8, onde cada agente ocupa uma região (célula) na grade.

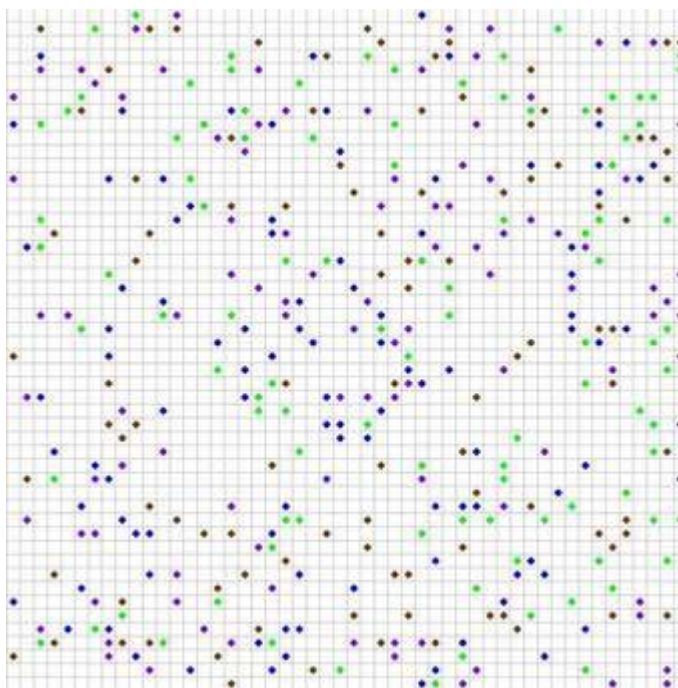


FIGURA 8. Exemplo de indivíduos localizados nas regiões da sociedade.

5.3 Riqueza e Rendimento

A riqueza refere-se a todos os bens possuídos pelos agentes. Rendimento diz respeito a pagamentos e salários provenientes de trabalhos, mais o dinheiro derivado dos investimentos.

Todos agentes serão iniciados com uma quantidade de riqueza calculada através de uma Distribuição Normal onde é especificada usando 2 parâmetros: a média populacional μ , e o desvio padrão populacional σ , ou equivalentemente a variância populacional σ^2 . Denotando $N(\mu, \sigma)$. Como referência a equação da curva é:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Com isso, cada agente, em particular, terá uma riqueza que será utilizada para medir forças na busca de melhores resultados. Essa riqueza, porém, será modificada ao longo das gerações, podendo, então, aumentar ou diminuir através dos rendimentos.

Os rendimentos serão calculados e atribuídos sobre a interação do agente no ambiente, ou seja, dependerá de como o agente irá atuar no ambiente em que ele convive e como ele se relaciona com os outros agentes.

Cada região beneficiará ao indivíduo em que a ocupa um rendimento de 8% do valor equivalente ao recurso em cada geração, com isso, o recurso sofrerá uma perda equivalente a sua doação (8%). Desses 8% ganhos pelo indivíduo 3% é utilizado para o pagamento de impostos, fazendo com que somente 5% lhe seja útil.

5.4 Objetivo dos Agentes

Os agentes são dirigidos pela necessidade de satisfazer um objetivo interno de sobrevivência. Esse objetivo está na necessidade de adquirir um aumento em suas riquezas e se prevenir de custos que causaram perda em seu rendimento.

Os agentes necessitam procurar as melhores regiões para haver um aumento em seu rendimento, satisfazendo seu objetivo interno e garantindo a sobrevivência.

5.5 Modelo Social

Os agentes interagem entre si no ambiente e possuem a capacidade de aprender através do inter relacionamento entre outros agentes, possuindo um histórico da última interação realizada.

O histórico de um agente possibilitará que haja um determinado conhecimento de como é o comportamento dos agentes que esse se relaciona. Esse histórico permite, então, que alguns agentes assumam precauções ao se relacionar com oponentes agressivos, ou tirar vantagens de oponentes dóceis.

Cada agente possui uma ciência do ambiente que ele se encontra, porém esse conhecimento é limitado conforme a vizinhança de Moore, definida em Autômatos Celulares, no capítulo 3, ou seja, um agente conhece a região em que ele se encontra e as regiões que o cercam, conforme representado na figura 9.

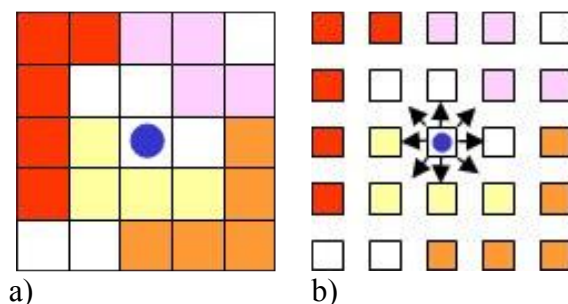


FIGURA 9. Exemplo do conhecimento das regiões.

- a) Demonstração de um conjunto de regiões com um indivíduo de comportamento Hawk locado na célula central;
- b) O indivíduo conhece as 8 regiões que o cerca e a que ele se localiza.

A interação de cada agente é realizada com, somente, as oito regiões que o cercam, portanto um agente não possui um conhecimento global da localização de todos os recursos ou agentes na sociedade.

5.6 Representação do Conhecimento

“Para a construção de um modelo, um agente necessita, de alguma maneira, representar suas vontades” (GILBET, 1999).

Cada agente, por possuir o conhecimento de seu ambiente, é capaz de exprimir sua preferência pela região que lhe trará melhores benefícios.

A cada geração, os agentes verificam, paralela e sincronamente, as regiões da vizinhança, visando ao melhor recurso. Após a escolha da região com o melhor recurso, os agentes se locomovem para essa região, havendo, então, um acréscimo em sua riqueza referente ao ganho do recurso que ele adquiriu. (figura 10)

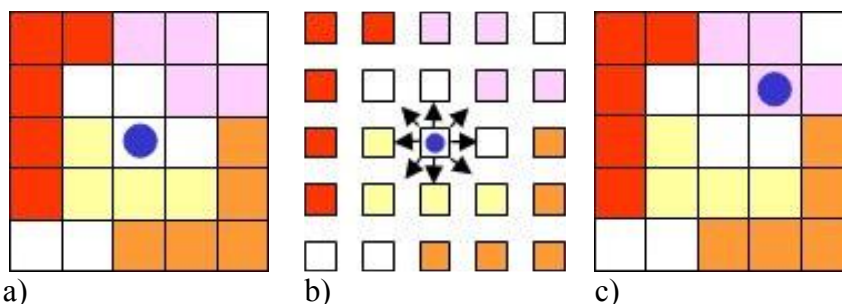


FIGURA 10. Exemplo do processo de escolha de regiões:

- demonstração de um conjunto de regiões com um indivíduo de comportamento Hawk locado na célula central;
- o indivíduo analisa as regiões da vizinhança;
- mudança do indivíduo para a célula de melhor recurso, obtendo um acréscimo de 5% da região em sua riqueza.

A escolha da melhor região, em algumas ocasiões, poderá ser feita por vários indivíduos, ou seja, pode ocorrer uma similaridade entre dois ou mais na preferência da mesma região (figura 11).

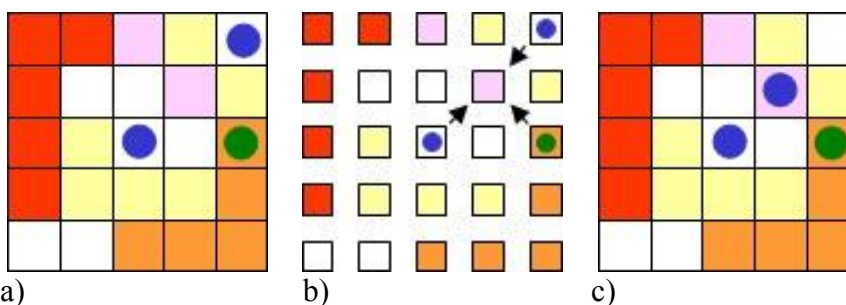


FIGURA 11. Exemplo do processo de escolha de regiões com mais de um indivíduo:

- demonstração de um conjunto de regiões com alguns indivíduos locados nas células;
- escolha dos indivíduos região com melhor recurso;
- mudança do indivíduo para a célula de melhor recurso.

Para determinar quem vence a disputa da melhor região e garantir que somente um agente a ocupe é aplicada à combinação de ganho conforme a tabela 18, que segue como base o jogo *Hawk-Dove*.

Tabela 18 – Combinação para o ganho de cada indivíduo na disputa de regiões sem ocupação.

Agente A	Agente B	Ganho
<i>Hawk</i>	<i>Hawk</i>	O agente que possuir a maior riqueza vence a disputa e recebe um acréscimo de 5% do valor do recurso em seu rendimento. O agente perdedor permanece na mesma região e sofre um custo de 50% de sua riqueza.
<i>Hawk</i>	<i>Dove</i>	O agente A vence a disputa ganhando um acréscimo de 5% do valor do recurso em seu rendimento. O agente B perde a disputa e não sofre nenhum custo.
<i>Dove</i>	<i>Dove</i>	Os agentes não disputam e também não sofrem nenhum custo.

Em alguns casos, um agente pode reconhecer dentre as regiões da vizinhança o melhor recurso em uma região já ocupada por outro agente (figura 11).

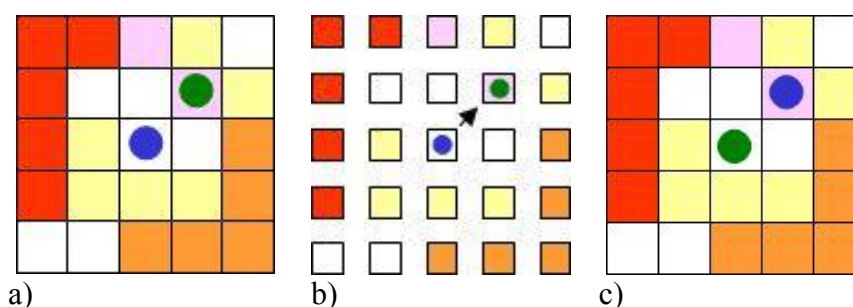


FIGURA 12. Exemplo do processo de escolha de regiões:

- demonstração de um conjunto de regiões com alguns agentes locados nas células;
- escolha do agente por uma região já ocupada por outro indivíduo;
- mudança do agente para a célula de melhor recurso.

Uma região já ocupada por um agente qualquer está sujeita a disputa, seguindo a combinação de ganho conforme a tabela 19.

Tabela 19 – Combinação para o ganho de cada agente na disputa de regiões ocupadas por outros agentes.

Agente A*	Agente B	Ganho
<i>Hawk</i>	<i>Hawk</i>	O agente que possuir a maior riqueza vence a disputa. Caso A vença a disputa, é acrescido o valor de 5% do recurso em seu rendimento, trocando de posição com o agente perdedor. O agente B sofre um custo de 50% em seu rendimento. Caso B vença a disputa, é acrescido um valor de 5% em seu rendimento e permanece em sua mesma região. O agente A sofre um custo de 50% em seu rendimento e permanece em sua mesma região.
<i>Hawk</i>	<i>Dove</i>	O agente A vence a disputa ganhando um acréscimo de 5% em seu rendimento. O agente B perde a disputa trocando de lugar com o agente A.
<i>Dove</i>	<i>Hawk</i>	O agente A permanece em sua mesma região sem sofrer nenhum custo. O agente B permanece em sua mesma região e acresce 5% em seu rendimento.
<i>Dove</i>	<i>Dove</i>	Os agentes não disputam e também não sofrem nenhum custo permanecendo na mesma região.

* Agente invasor

Essas combinações são ditas regras de transição. As regras de transição são aplicadas paralela e sincronamente a todos os agentes no ambiente, os quais fazem análise e mudanças nas posições e nos comportamentos automaticamente.

Um agente situado em uma região sem recursos utiliza seu rendimento conquistado para a sobrevivência, sofrendo um custo de 5% a cada geração. Quando o agente utiliza todos os seus recursos necessários para sobrevivência, chegando a um valor igual ou inferior a 0,001, este agente morre e é excluído da simulação.

5.7 Escolha dos Movimentos

O jogo *Hawk-Dove* possui dois tipos de comportamento, o agressivo (*hawk*) e o dócil (*dove*). Baseados nesses comportamentos, os agentes devem decidir qual devem assumir ao longo das gerações. Para a escolha do comportamento, um agente necessita, de alguma maneira, determinar qual é o melhor para satisfazer seus objetivos. "Um agente pode ser programado para mudar se ele se encontrar de frente a um forte e agressivo oponente" (GILBET, 1999).

Como regra, para determinar o comportamento, pode ser adotada à forma: "Se o agente se encontrar neste estado, então deve ser feito isto", que é chamada de ação-condição.





Alguns conceitos de estratégias, já conhecidos, são utilizados para implementar essas regras de ação-condição no ambiente, tais como:

- *Tit for Tat* (olho por olho): É a estratégia vencedora de um torneio realizado em 1980, por Robert Axelrod (AXELROD, 1984). Essa estratégia sempre começa cooperando (*dove*) e, em seguida, repete o que o adversário fez no lance anterior: trai (*hawk*), se tiver sido traído; coopera, caso tenha obtido cooperação.
- *Win Stay – Lose Shift* (Ganha Permanece – Perde Muda): Essa estratégia persiste na insistência de um movimento enquanto estiver ganhando; quando perder, o movimento é alterado.

- 100% *Hawk*: Nunca irá assumir a cooperação no jogo. No caso do jogo *Hawk* e *Dove*, sempre assumirá a estratégia *Hawk*.
- 100% *Dove*: Sempre coopera com seu adversário. No caso do jogo *Hawk* e *Dove*, sempre assumirá a estratégia *Dove*.

A escolha de quem ocupa qual região é feita de forma aleatória ou pré-determinada, porém, cada estratégia é especificada por uma cor na grade conforme a tabela 20.

Tabela 20 – Demonstração dos agentes, especificados pela cor de sua estratégia.

Região	Valor
	Agente que segue a estratégia 100% <i>Hawk</i> .
	Agente que segue a estratégia 100% <i>Dove</i> .
	Agente que segue a estratégia <i>Tit for Tat</i> .
	Agente que segue a estratégia <i>Win-Stay Lose-Shift</i> .

5.8 Sistema de Produção

O sistema possui três componentes:

- conjunto de regras: parte de condição. Especificação de quando a regra é executada e parte para a ação. Indica qual comportamento é adotado quando a regra é executada. Exemplo: Um indivíduo no ambiente pode seguir a regra *Tit-for-Tat*;
- memória: histórico das interações entre indivíduos. A memória pode ser utilizada pelo conjunto de regras para pesquisas. Exemplo: Quando o indivíduo utilizar a estratégia *Tit-for-Tat*, o

indivíduo utiliza a memória para consultar o resultado de sua última interação;

- interpretador de regra: o trabalho do interpretador da regra é considerar cada regra, checar se as condições da regra são obtidas e, então, se necessário, realizar as ações e movimentos.

5.9 Ssoda

O sistema experimental (Ssoda) tem como objetivo disponibilizar uma interface de aplicação que simplifique o processo de implementação do modelo em um ambiente de desenvolvimento de fácil utilização, portátil, com suporte a dispositivos gráficos variados em um contexto multi-agentes. À medida que era desenvolvido, funcionalidades foram acrescentadas ao sistema. Possui a finalidade de simular uma população de indivíduos e assim facilitar o entendimento do comportamento das estratégias e da população com um todo.

Desenvolvido utilizando a linguagem de programação Orientada a Objeto JAVA, permite com que futuramente usuários contribuam para aprimorar o sistema, continuando seu desenvolvimento de forma colaborativa.

5.10 Conclusão

As abordagens dos métodos computacionais foram de fundamental importância para o desenvolvimento do modelo, fazendo com que o mesmo se torne uma ferramenta de estudo não só na área de mobilidade social, mas sim possa ser aplicado a diversas situações do cotidiano.

A escolha do tipo de formato e tamanho da grade foi feita de forma intuitiva, a fim de facilitar a implementação do modelo, não desprezando, porém, outros formatos e tamanhos.

Os resultados das simulações obtidas, com base no modelo aqui definido, serão apresentadas no próximo capítulo.

6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta as simulações realizadas utilizando-se o modelo definido no capítulo anterior. A simulação tem como ferramenta de auxílio o programa Ssoda, apresentado anteriormente, que foi desenvolvido especificamente para este propósito. Foram efetuadas diversas simulações com diferentes configurações de população e recursos a fim de obter conclusões e realizar comparações sobre a mobilidade social dos indivíduos virtuais impostos no modelo.

6.1 Simulações utilizando o modelo

Tanto em Autômatos Celulares, como em Teoria dos Jogos, diferentes configurações de um mesmo sistema resultam em diferentes e até mesmo complexos resultados. Será visto, em seguida, simulações com diferentes estratégias e configurações.

6.1.1 População com estratégias 100% *Hawk*

Inicialmente foi configurada uma simulação de uma população de 500 indivíduos adotando a estratégia 100% *Hawk*, disponibilizados ao acaso, com 100% de recursos vermelhos e distribuição normal de riqueza $N(20,10)$.

Na figura 13, podem ser verificados alguns trechos da simulação onde é identificada a geração e a quantidade de indivíduos.

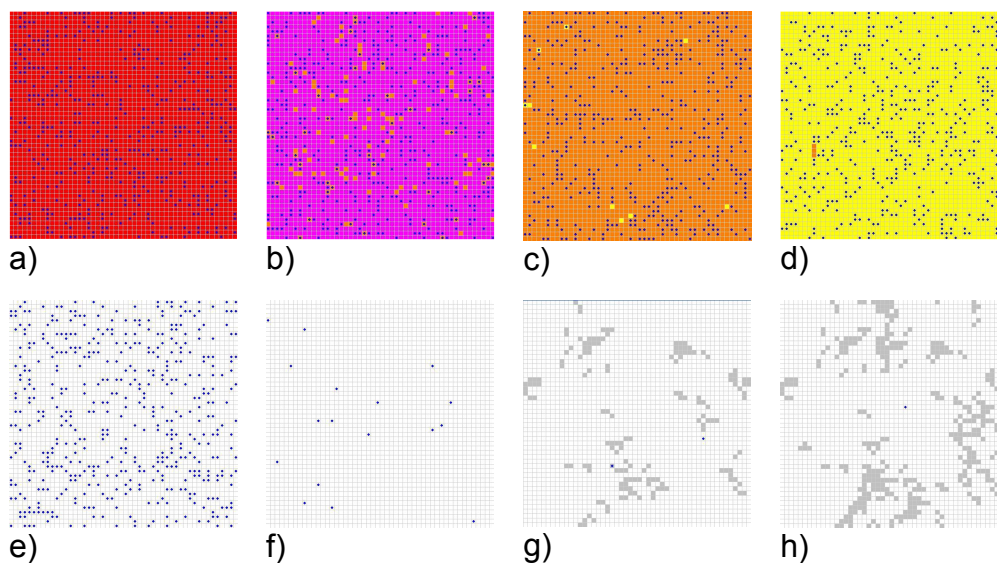


FIGURA 13. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia 100% *Hawk*:

- a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Hawk* e 2500 recursos vermelhos;
- b) geração 36 com 487 indivíduos;
- c) geração 55 com 487 indivíduos;
- d) geração 87 com 487 indivíduos;
- e) geração 204 com 478 indivíduos;
- f) geração 2.286 com 17 indivíduos;
- g) geração 16.109 com 2 indivíduos;
- h) última geração (16.400).

A população sobreviveu somente 16.400 gerações. A morte dos indivíduos foi ocasionada pelos conflitos causados entre eles. À medida que aconteceu o consumo dos recursos, ocorrendo a falta e a diminuição destes, os indivíduos foram motivados a lutarem por maiores benefícios, sofrendo custos e tendo como consequência a morte. Nesta simulação, os indivíduos que acumularam as maiores riquezas sobreviveram mais gerações.

6.1.2 População com estratégias 100% *Dove*

A simulação foi iniciada com uma população de 500 Indivíduos adotando a estratégia 100% *Dove*, disponibilizados ao acaso, com 100% de recursos vermelhos e distribuição normal de recursos $N(20,10)$.

Na figura 14, pode ser verificados alguns trechos da simulação onde é identificada a geração e a quantidade de indivíduos.

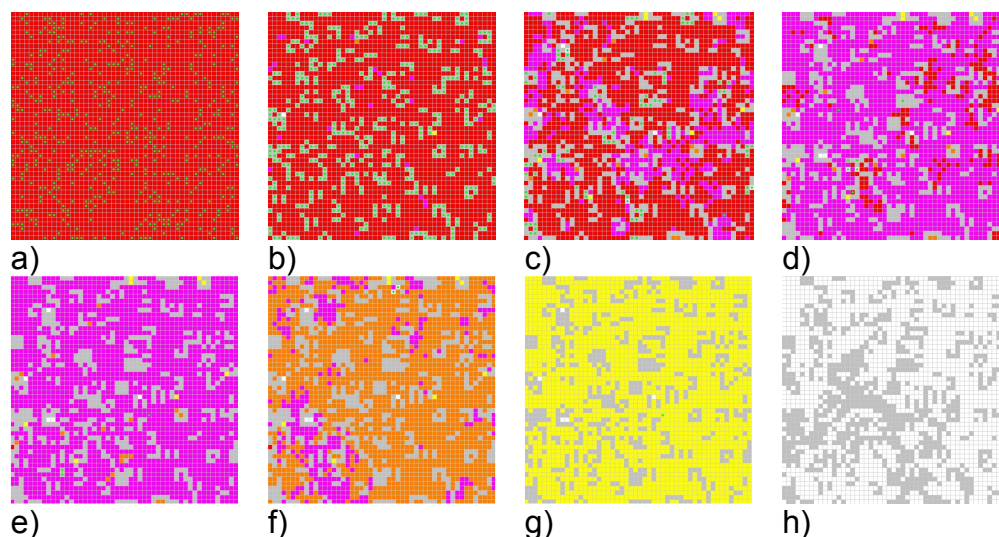


FIGURA 14. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia

Dove:

- a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Dove* e 2500 recursos vermelhos;
- b) geração 609 com 496 indivíduos;
- c) geração 1023 com 89 indivíduos;
- d) geração 2.027 com 8 indivíduos;
- e) geração 3.282 com 3 indivíduos;
- f) geração 5.947 com 2 indivíduos;
- g) geração 48.217 com 1 indivíduo;
- h) última geração (255.464).

A população sobreviveu 255.464 gerações. Se comparada à população de indivíduos *Hawk*, da simulação anterior, essa população sobreviveu a um número muito superior de gerações. Porém, a partir da geração 48.217, existia somente um indivíduo *Dove* e os recursos disponíveis na grade ainda eram muitos, o que fez com que o indivíduo sobrevivente se perpetuasse ainda muitas gerações, por não haver competição, e conseguisse usufruir sozinho dos benefícios. A causa da morte dos indivíduos deve-se ao fato dos mesmos não terem lutado pelos recursos desejados. Houve a espera da desistência do oponente pelos recursos ou de sua morte.

Esta simulação surtiu o mesmo efeito para uma população de 500 indivíduos que seguiram a estratégia *Tit-for-Tat*. Todos os indivíduos iniciaram com o comportamento *Dove*, não existindo nenhuma estratégia invasora, os mesmos continuaram a seguir este comportamento até o final.

6.1.3 População com estratégias *Win-Stay|Lose-Shift*

A simulação foi configurada com 500 Indivíduos que adotaram a estratégia *Win-Stay|Lose-Shift*, disponibilizados ao acaso, com 100% de recursos vermelhos e distribuição normal de recursos $N(20,10)$.

Na figura 15, podem ser verificados alguns trechos da simulação onde é identificada a geração e a quantidade de indivíduos.

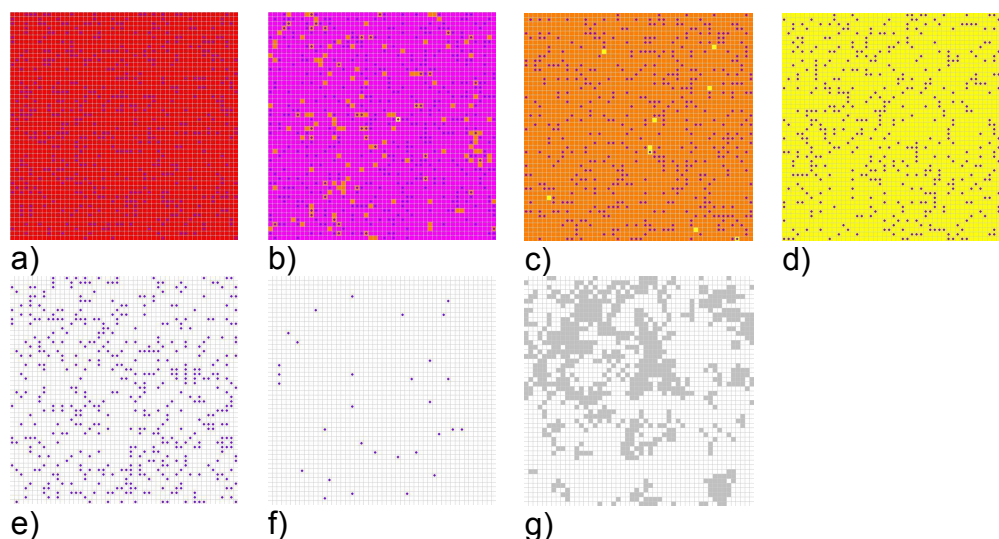


FIGURA 15. Algumas ocorrências da simulação iniciada com 500 indivíduos adotando a estratégia *Win-Stay|Lose-Shift*:

- a) grade inicial com 500 indivíduos adotando a estratégia *Win-Stay|Lose-Shift* e 2500 recursos vermelhos;
- b) geração 35 com 490 indivíduos;
- c) geração 83 com 490 indivíduos;
- d) geração 85 com 490 indivíduos;
- e) geração 156 com 490 indivíduo;
- f) geração 1.384 com 30 indivíduo;
- g) última geração (4.059).

A população sobreviveu 4.059 gerações. Se comparado às simulações anteriores, compostas de estratégias 100% *Hawk* e 100% *Dove*, essa população obteve um índice de gerações inferior. A causa da morte dos indivíduos foi o fato de os mesmos assumirem tanto o comportamento *Hawk* como o *Dove*, o que fez com que os recursos fossem consumidos rapidamente no início e fossem acarretados custos no final.

6.1.4 População com estratégias invasoras

Visando observar o comportamento de uma população disposta na simulação com indivíduos invasores, nas tabelas 21, 22 e 23 são demonstrados configurações de simulações e seus resultados.

Na tabela 21, cada linha descreve uma simulação e utiliza uma estratégia base composta por 100 indivíduos e estratégias invasoras com 10 indivíduos cada, seguindo a distribuição de recursos $N(20,10)$.

Tabela 21 – Resultado de simulações, utilizando $N(20,10)$.

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	10	10	10	5.867	100% <i>Hawk</i>	TFT
10	100	10	10	11.829	100% <i>Hawk</i>	TFT
10	10	100	10	11.270	WSLS	100% <i>Dove</i>
10	10	10	100	4.694	WSLS	100% <i>Hawk</i>

Na tabela 22, são demonstradas as mesmas simulações que na tabela anterior, porém com distribuição normal de recursos $N(100,10)$.

Tabela 22 – Resultado de simulações, utilizando N(100,10).

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	10	10	10	4.475	100% <i>Hawk</i>	TFT
10	100	10	10	11.565	100% <i>Hawk</i>	TFT
10	10	100	10	11.183	100% <i>Hawk</i>	100% <i>Dove</i>
10	10	10	100	4.330	WSLS	100% <i>Hawk</i>

Na tabela 23, é utilizada uma distribuição normal de recursos N(100,80).

Tabela 23 – Resultado de simulações, utilizando N(100,80).

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	10	10	10	7.084	100% <i>Hawk</i>	WSLS
10	100	10	10	16.463	WSLS	TFT
10	10	100	10	11.725	100% <i>Hawk</i>	100% <i>Dove</i>
10	10	10	100	4.780	WSLS	100% <i>Hawk</i>

Pode ser visto que, em todas as simulações, as estratégias 100% *Hawk* e WSLS tiveram melhores resultados. Isto se deve ao fato de ambas lutarem sempre para conquistarem benefícios, sendo consequência disso uma maior segurança e reserva de riquezas no final da simulação (quando existe uma diminuição dos recursos).

À medida que a distribuição de riquezas é alterada, os indivíduos se comportam de maneira diferente na população. Na tabela 22, onde é utilizada a distribuição normal N(100,10), os indivíduos permanecem estáveis por um bom período e somente quando a falta de recursos é aparente é que os indivíduos começam a morrer. Na tabela 23, na qual é utilizada N(100,80), pode ser notado que

houve um certo aumento no número das gerações, o que tem relação com o fato de os indivíduos iniciarem a simulação com pouca quantidade de riqueza, não conseguindo sobreviver aos conflitos e isolamento e somente alguns indivíduos usufruem os recursos na grade.

6.1.5 População com várias estratégias

A fim de realizar um torneio computacional entre as estratégias, e tentar chegar a uma estratégia vencedora, são demonstrados nas tabelas abaixo resultados de simulações com DN diferentes.

Na tabela 24, pode-se visualizar o resultado de simulações utilizando $N(20,10)$.

Tabela 24 – Resultado de simulações, utilizando $N(20,10)$.

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	100	100	100	2.444	WSLS	TFT
500	500	500	500	766	WSLS	TFT
500	500	0	0	1.200	100% <i>Hawk</i>	100% <i>Dove</i>
500	0	500	0	4.222	100% <i>Hawk</i>	TFT
500	0	0	500	4.058	WSLS	100% <i>Hawk</i>
0	500	0	500	857	WSLS	100% <i>Dove</i>
0	0	500	500	1903	WSLS	TFT

Na tabela 25, pode ser visualizado o resultado de simulações utilizando $N(100,10)$.

Tabela 25 – Resultado de simulações, utilizando N(100,10).

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	100	100	100	2.084	WSLS	TFT
500	500	500	500	739	100% Hawk	TFT
500	500	0	0	1.349	100% Hawk	100% Dove
500	0	500	0	3.611	100% Hawk	TFT
500	0	0	500	4.190	WSLS	100% Hawk
0	500	0	500	796	WSLS	100% Dove
0	0	500	500	1744	WSLS	TFT

Na tabela 26, é possível se ver o resultado de simulações utilizando N(100,80).

Tabela 26 – Resultado de simulações, utilizando N(100,80).

100% Hawk	100% Dove	TFT	WSLS	Gerações	Melhor Estratégia	Pior Estratégia
100	100	100	100	2.362	100% Hawk	TFT
500	500	500	500	808	100% Hawk	TFT
500	500	0	0	1.258	100% Hawk	100% Dove
500	0	500	0	4.561	100% Hawk	TFT
500	0	0	500	3.871	WSLS	100% Hawk
0	500	0	500	881	WSLS	100% Dove
0	0	500	500	1597	WSLS	TFT

Novamente as estratégias 100% Hawk e WSLS se sobressaíram entre as demais. Entretanto, entre as estratégias 100% Hawk e WSLS, a estratégia WSLS conseguiu obter um resultado mais satisfatório em relação a 100% Hawk.

6.1.6 Conclusão

Nas simulações realizadas com uma única estratégia, a estratégia 100% *Dove* obteve uma performance melhor que as outras estratégias, se for levada em conta a quantidade de gerações com algum indivíduo vivo. No caso de se pensar nos indivíduos de uma forma geral, onde seja relevante a performance do grupo, a estratégia 100% *Hawk* possuiu um melhor rendimento, já que a estratégia 100% *Dove* foi perpetuada por muito mais tempo por existirem poucos indivíduos na população, diferentemente da estratégia 100% *Hawk*.

As estratégias WSLS e 100% *Hawk* reagiram melhor tanto ao realizarem quanto ao sofrerem a invasão, se destacando quanto às demais. Isto ocorreu devido a elas garantirem seus recursos logo no início da simulação e, quando houve falta de benefícios, os indivíduos puderam utilizar seus próprios rendimentos para a sua sobrevivência.

A estratégia WSLS obteve uma melhor performance em relação às demais, embora WSLS tenha empatado com a 100% *Hawk* quanto ao número de simulações ganhas. Na disputa entre essa duas estratégias somente, a WSLS ganhou em todas as simulações.

No torneio computacional promovido por Axelrod (AXELROD, 1984), onde diversas estratégias foram propostas e confrontadas umas com as outras, utilizando-se como contexto o Dilema do Prisioneiro (ver Cap. 4, subseção 4.7.1), a estratégia *Tit-for-Tat* foi vencedora. Diferentemente de Axelrod, neste trabalho a estratégia TFT não obteve um resultado satisfatório na disputa, tendo sido considerada a pior estratégia a ser adotada.

Diferentemente do torneio realizado por Axelrod (AXELROD, 1984), em que ocorre uma simulação utilizando-se como contexto o Dilema do Prisioneiro (ver Cap. 4, subseção 4.7.1) no qual a estratégia *Tit-for-Tat* foi vencedora, nestas simulações a TFT não obteve um resultado satisfatório na disputa, tendo sido a pior estratégia.

Quando foi feita uma configuração diferente para a quantidade inicial de riquezas, o resultado final da estratégia vencedora não diferiu, apesar do número de gerações ter sido desigual.

Considerando-se uma distribuição de riquezas, entre os indivíduos, relativamente igual $N(100,10)$, a população tende a sobreviver por mais gerações em conjunto, fazendo com que haja um consumo maior das riquezas. Isso leva à de recursos e menos gerações de sobrevivência, ou seja, aumenta-se o número de indivíduos em cada geração, aumentando-se também o consumo, mas se gera falta de recursos e, assim, a morte.

Analisando-se uma distribuição de riquezas com um diferencial relativamente grande $N(100,80)$, uma considerável quantidade de indivíduos morre logo no início da simulação, resultando disso menos indivíduos na população e, por conseguinte, maior quantidade de gerações com menos indivíduos consumindo.

Com o resultado das simulações, pôde-se identificar que populações compostas por indivíduos sem iniciativa (Comportamento *Dove*) tendem a não permanecer em comunidade, o que acarreta a sobrevivência de poucos, e, quando se deparam com indivíduos que lutam por seus objetivos (Comportamento *Hawk*), são excluídos do ambiente. Indivíduos que lutam pelo objetivo, embora sobrevivam poucas gerações, tendem a viver em comunidade e sua exclusão do ambiente só se ocorre na ausência de recursos.

Comportamentos agressivos fazem com que os recursos da simulação sejam rapidamente consumidos; comportamentos dóceis permitem com que os recursos sejam consumidos vagarosamente. Uma mistura dos dois comportamentos não balanceia a população e, mesmo conseguindo viver por mais tempo em grupo, os recursos são rapidamente consumidos, prevalecendo o comportamento agressivo (*Hawk*).

7 CONCLUSÃO

Além do uso em estudos científicos, espera-se que o projeto sirva como ferramenta de divulgação para trabalhos de simulação de vida artificial, utilizando-o para analogias em diversas áreas científicas.

A seguir, são feitas algumas considerações sobre as contribuições e aplicações da dissertação desenvolvida, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros a serem desenvolvidos com base na pesquisa atual.

7.1 Contribuições

Dentre as contribuições provenientes do desenvolvimento deste trabalho, o reforço ao vínculo entre Vida Artificial (VA) e Mobilidade Social é um dos mais importantes, vínculo este ainda pouco analisado e explorado por programas de simulação em VA.

A formulação do modelo computacional baseado no jogo *Hawk-Dove*, ilustra a evolução de populações de indivíduos para a avaliação e a análise de comportamentos, possibilitando diversos tipos de configurações. Ao testar e analisar o modelo é possível que se chegue a uma configuração considerada ideal, dependendo dos propósitos a serem avaliados.

O desenvolvimento do programa, como foi apresentado, ainda fornece uma exploração para experimentos de Mobilidade Social. Tornou-se também um modelo ilimitado, a ser aplicado em diversas situações cotidianas.

Com o modelo, podem-se surgir várias analogias a serem observadas a partir de seus resultados, permitindo ainda outras diversas conclusões.

7.2 Propostas para trabalhos futuros

Aqui são descritos alguns aprimoramentos e funcionalidades que podem ser implementadas futuramente no projeto, bem como simulações que podem ser realizadas utilizando-se, para sua implementação, o contexto desenvolvido.

Entre os aprimoramentos a serem desenvolvidos no programa, consta um ajuste no sistema de manipulação de indivíduos no ambiente, que permite a criação e a inclusão de novas estratégias. Funcionalidades como o acesso a arquivos que envolvam leitura e gravação de simulações, agentes e configurações, não foram implementadas.

Entre as simulações a serem realizadas, é sugerido o desenvolvimento de diferentes configurações de inicialização para a observação de como aspectos físicos são influenciados pela evolução e adaptabilidade.

O desenvolvimento de uma classificação para os comportamentos também é uma tarefa importante, pois assim podem-se definir indivíduos que executam alguns comportamentos que não são visíveis a todo o momento, mas que pertencem ao papel desempenhado pela população durante o decorrer do processo, sendo que isso pode ser evidenciado através de qualquer uma das condições definidas.

Uma implementação interessante a ser feita no modelo é a inclusão de estratégias *fuzzy*, o que permitiria à população seguir uma variação de maior de comportamentos, possibilitando, por exemplo, que um indivíduo seja 70% *dove* e 30% *hawk*, permitindo com que o resultado da interação com outros indivíduos seja

influenciado em sua conduta, alterando a probabilidade do comportamento do mesmo.

Uma outra implementação sugerida é a criação de um modelo não específico para o jogo *Hawk-Dove*, algo que possibilite a escolha de outros jogos definidos em Teoria dos Jogos, como o dilema do prisioneiro, o dilema da confiança, o frango, etc., para se analisar o comportamento de uma sociedade em outros focos.

REFERÊNCIAS

- ALDRIDGE, S., Social Mobility: A Discussion Paper. **Cabinet Office**, London, Performance and Innovation Unit, 2001.
- AXELROD, R., **The Evolution of Co-operation**. New York: Basic Books, 1984.
- AXELROD, R., **On Six Advances in Cooperation Theory**, Analyse & Kritik. University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA, 2000.
- BACH, L. A.; SUMPTER, D. J. T; ALSNER, J.; LOESCHCKE, V. Spatial Evolutionary Games of Interaction among Generic Cancer Cells. **Journal of Theoretical Medicine**, p. 1-12, 2003.
- BARRETO, J. M., **Inteligência Artificial No liminar do Século XXI**. 2º ed. Florianópolis: PPP, 2001.
- BLUE V. J.; ADLER J. L. Emergent Fundamental Pedestrian Flows from Cellular Automata Microsimulation. **Transportation Research Record**, p. 29-36, 1998.
- _____. Cellular Automata Microsimulation of Bi-Directional Pedestrian Flows. **Transportation Research Record**, p. 135-141, 2000.
- _____. **Bi-Directional Emergent Fundamental Pedestrian Flows From Cellular Automata Microsimulation**. SYMP. TRANSPORTATION AND TRAFFIC THEORY. Pergamon, p. 235-254, 1999.
- BONETI, C. S. F.; MESQUITA, M. G.; CARNEIRO, R. M. R., **Autômatos celulares**. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2002.
- BORGES, P. S. S. **A model of strategy games based on the paradigm of the Iterated Prisoner's Dilemma employing Fuzzy Sets**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BORGES, P. S. S.; PACHECO, R. C. S; BARCIA, R. M; KHATOR, S. K. A Fuzzy Approach to the Prisoner's dilemma. *BioSystem*, vol. 41, nº 2, p.127-137, 1997.
- BORKAR, V. S.; JAIN, S.; RANGARAJAN, G., Collective Behaviour And Diversity In Economic Communities: Some Insights From An Evolutionary Game. **The Application of Econophysics**, ed. H. Takayasu, Springer-Verlag, Tokyo, 2003
- CARMEL D; MARKOVITCH, S. Exploration Strategies for Model-based Learning in Multi-agent Systems: Exploration Strategies. **Autonomous Agents an Multi-Agent System**, vol. 2, p. 141 – 172, 1999.
- CHÁVEZ, G. C.; LIANG, Z., Sistema Celular para Reconhecimento de Padrão Invariante. **Anais**. WORKSHOP EM TRATAMENTO DE IMAGENS, p. 62 – 70, 2003.

FICICI, S. G.; MELNIK, O.; POLLACK, J. B. **A Game-Theoretic Investigation of Selection Methods Used in Evolutionary Algorithms.** CONGRESS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION. IEEE Press, 2000.

_____ **Game Theory and the Simple Coevolutionary Algorithm: Some Preliminary Results on Fitness Sharing.** WORKSHOP ON COEVOLUTION: Turning Adaptive Algorithms upon Themselves. GECCO, 2001

FILHO, B. S. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAUJO, W. L.; VOLL, E. **Modelagem de Dinâmica de Paisagem: Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação Baseados em Autômato Celular.** 1. ed. v.1, p. 1-100. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003.

FRAENKEL, A. S. **Two-Player Games on Cellular Automata.** MSRI WORKSHOP ON COMBINATORIAL GAMES, MSRI Publ., Berkeley, CA, Vol. 42, 2000.

GILBERT, N.; TROITZSCH, K. G. **Simulation for the Social Scientist.** USA: Open University Press, 1ª ed, 1999.

GOODWIN, R. A.; ANDERSON, J. J.; NESTLER, J. M. Decoding 3-D Movement Patterns of Fish in Response to Hydrodynamics and Water Quality for Forecast Simulation. **Civil & Environmental Engineering**, Cornell University, USA, vol. 1, pg 254, 2004.

GONÇALVES, R. M.; CENTENO, T. M.; CELLERON, G., Modelagem Preditiva a Partir de uma Sequência de Imagens de Satélite Utilizando Autômatos Celulares. **Anais.** SBSR. 11, Belo Horizonte: INPE, p. 975-981, 2003.

HARGREAVES, S.; VAROUFAKIS, Y. Some Experimental Evidence on the Evolution of Discrimination, Co-operation and Perceptions of Fairness. **The Economic Journal**, p. 679–703. Royal Economic Society: Blackwell Publishers, MA 02148, USA, 2002.

HIEBELE, D.; TATAR, R. **Cellular Automata and Discrete Physics.** San Jose, CA: Presented Winter School on Nonlinear Physics, 1990.

HOFSTADTER, D., R. **Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern.** Nova Iorque: HarperCollins Publishers, 1985.

HOLZAN, R.; KFIR-DAHAV, N.; MONDER, D.; TENNENHOLTZ, M. Bundling Equilibrium in Combinatorial Auctions. **Games and Economic Behavior.** Vol. 47 p. 104–123, 2004.

JACKSON, M. O. A Crash Course In Implementation Theory. **Social Science Working Paper.** California Institute of Technology, Pasadena, p. 1076, 1999.

KELLY, A. **Decision Making Using Game Theory: An Introduction for Managers.** New York: Cambridge University Press, 2003.

KIMBROUGH, S. O. Agents, Games, and Evolution. **Agents, Games & Evolution**. OPIM 319, Spring, 2001.

KOESSLER, F. **Common Knowledge and Interactive Behaviors: A Survey**. TIPIK WORKSHOP ON THE ECONOMICS OF KNOWLEDGE, França: Université Louis Pasteur, 1999.

LEHRER, C.; BORGES, P. S. S. **Algoritmos Genéticos com Operação de Seleção Hawk-Dove com Estratégia Tit For Tat, e com Operação de Recombinação com Taxas Variáveis**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Curitiba - PR, 2002.

MAYOH, B.; DENMARK, A. C. Evolution of Cooperation in Multiagent Systems. **Springer-Verlag** Berlin: Heidelberg, p. 701-710, 2002.

MILCHTAICH, I., **How Does Selfishness Affect Welfare?** CORE, Université catholique de Louvain, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium, 1999.

MILLER, G. F.; CLIFF, D. Co-Evolution of Pursuit and Evasion I: Biological and Game-Theoretic Foundations. **Adaptive Behavior**, University of Sussex, Brighton, UK, 1994.

MITCHELL, M., **An Introduction to Genetic Algorithms**. Cambridge: MIT Press, 1996.

MORIKAWA, T.; HANLEY, J.; ORBELL, J. Cognitive Requirements for Hawk-Dove Games: A Functional Analysis for Evolutionary Design. **Politics and the Life Sciences**, v. 21, n. 1, 2002.

MORRIS, S.; SHIN, H., S.; Approximate Common Knowledge and Co-ordination: Recent Lessons from Game Theory. **Journal of Logic**, p. 171–190, 1997.

NEVES, A. Teorias da Mobilidade Social. **Universidade Católica Portuguesa**, Disponível em: <<http://duckfeet.planetaclix.pt/2semestre.htm>>. Acesso em: 22/05/2004

NEYMAN, A. Finitely Repeated Games With Finite Automata. **Mathematics Of Operations Research**, v. 23, n. 3, USA, 1998.

NORMAN, T. **The Evolution of Conflict under Inertia**. Oxford: Nuffield College, Oxford, 2003.

NOWAK, M.; SIGMUND, K. **A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game**. Nature, 364(6432):56-8, 1993.

_____. **Evolutionary Dynamics of Biological Games**. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org>, Science>, v. 303, Acesso em: 05/06/2004.

OLIVEIRA, G. M. B.; OMAR, N., OLIVEIRA, P. B. Computação e Evolução em Autômatos Celulares Unidimensionais. **Revista de Engenharia e Computação**, v.1, p. 39-56, 2001.

OLIVER, P. E.; MYERS, D. J. **Formal Models in Studying Collective Action and Social Movements**. Paris: University of Notre Dame Department of Sociology, 2002.

PARK, J. **Evolutionary Programming, TSC, and Bead Games**. ThinkAlong Software Ing, Jack Park, 2000.

PASTORE, José. **Desigualdade e mobilidade social no Brasil**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

PERO, V. **Mobilidade Social no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Economia da UFRJ, 2001.

PETERSON, G.; REIF, J.; AZHAR, S. Decision Algorithms for Multiplayer Non-Cooperative Games of Incomplete Information. **Computers and Mathematics with Applications**, v.43, p. 179-206, 2002.

PHELAN, C. **Opportunity and Social Mobility**. Minneapolis: Federal Reserve Bank of Minneapolis, 2003.

PRADO, E. F. S. Dilema do Prisioneiro e Dinâmicas Evolucionárias. **Estudos Econômicos**. v. 29, n.2, p. 96 - 109, 1999.

PRATA, S. **Divertindo-se com a Vida Artificial**. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994.

PRESTWICH, K. **Game Theory**. Department of Biology, Worcester, MA USA 010610: College of the Holy Cross, 1999.

QUAPP, W.; HIRSCH, M.; IMIG, O.; HEIDRICH, D. Searching for Saddle Points of Potential Energy Surfaces by Following a Reduced Gradient. **Journal of Computational Chemistry**, v. 19, n. 9, p. 1087-1100, 1998.

RENNARD, J. P. **Introduction to Artificial Life and Java Illustration**. Disponível em: <<http://www.rennard.org>>. Acesso em: Junho de 2003.

RIORDAN, C. O. **Iterated Prisoner's Dilemma: A review**. Department of Information Technology, National University of Ireland, Galway Ireland. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/480180.html>> Acesso em: 20/07/2004.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence. A Modern Approach**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

SCHALK, A. **The Theory of Games and Game Models**. Manchester: Department of Computer Science, University of Manchester, 2003.

SCHWALBE, U.; WALKER, P. Zermelo and the Early History of Game Theory. **Games and Economic Behavior**. Elsevier, v. 34, p. 123-137, 2001.

SIGMUND, K. **The Social Life of Automata**. Laxenburg A-2361: International Institute for Applied Systems Analysis, 1999.

SIGMUND, K. **William D. Hamilton's Work in Evolutionary Game Theory**. Schlossplatz 1A-2361 Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2002.

SILVA, A., S. **Simulações Computacionais E Vida Artificial: Um Ensaio Sobre Os Filmes: 13. Andar e Matrix**. BRAZILIAN CONGRESS OF COMMUNICATION SCIENCES. 25. Brasil: Intercom 2002 Proceedings, 2002.

SILVA, I., C., S., Animação Comportamental. **Realidade Virtual**. 13, 2002.

SMITH, J. M. **Evolution and the Theory of Games**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

TAVARES, M. P. **Teoria dos Jogos: Algumas Aplicações ao Mercado de Trabalho**. Rio de Janeiro: PUC – Pontífice Universidade Católica. 1995.

TAYLOR, M. **From Memetics to Mimetics: Richard Dawkins, René Girard, and Media-related Pathologies**. Nagoya - Japan: Department of English, Kinjo Gakuin University, 2002.

THUIJSMAN, F.; PELEG, B.; AMITAI, M.; SHMIDA, A. Automata, Matching and Foraging Behavior of Bees. **J. theor. Biol.** 175, p. 305-316, 1995.

VASCONCELOS, M. H. S. **Computação Evolutiva e Autômatos Celulares**. Pelotas: PUC. Disponível em: <<http://gpia.ucpel.tche.br/iiiioia/07.doc>> Acesso em: 02/03/2004.

VLEK, C. **Globalização, dilemas dos comuns e qualidade de vida sustentável: do que precisamos, o que podemos fazer, o que podemos conseguir?**. Holanda: Universidade de Groningen, Estudos de Psicologia, p. 221-234, 2003.

WALKER, P. **A Chronology of Game Theory**. University of Canterbury, NZ. Disponível em: <http://william_king.www.drexel.edu/top/class/histf.html>. Acesso em: 05/03/2004.

WARD, D. P.; MURRAY, A. T.; PHINN, S. R. Integrating spatial optimization and cellular automata for evaluating urban change. **The Annals of Regional Science, Springer-Verlag**. Springer-Berlin Heidelberg, p. 131-148, 2003.

WEIBULL, J. W. **Evolutionary Game Theory**. Cambridge: MIT Press, p. 1-10, 1996.

WIRL, F. Socio-economic typologies of bureaucratic corruption and implications. **Jornal of Evolucionary Economics**. Springer-Verlag, p.199-220, 1998.

WOLFRAM, S. Cellular Automata. **Nature**, 311, p 419 – 424, 1984. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>>. Acesso em: 02/11/2003.

WOLFRAM, S. Cellular Automata as Models of Complexity. **Nature**, 311, 419—424, 1984. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>>. Acesso em: 02/11/2003.

_____. **Cellular Automata as Simple Self-Organizing Systems**. Caltech preprint CALT-68-938, 1983. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>>. Acesso em: 05/11/2003.

_____. Cellular Automaton Supercomputing. **High-Speed Computing: Scientific Applications and Algorithm Design**, University of Illinois Press, 1988. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>>. Acesso em: 20/01/2004.

_____. Complex Systems Theory. **Emerging Syntheses in Science. WORKSHOPS OF THE SANTA FE INSTITUTE**, Addison-Wesley, p. 183-189, 1984. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>>. Acesso em: 07/02/2004.

_____. Statistical Mechanics of Cellular Automata. **Reviews of Modern Physics**, 55, p. 601-644, 1983. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com>> Acesso em: 08/02/2004.