

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

RENATA VIEIRA PALAZZO

**Uma Abordagem Alternativa para o  
Equilíbrio em Sistemas Multiagentes  
Baseados em Valores de Troca**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência  
da Computação

Prof. Dr. Antônio Carlos da Rocha Costa  
Orientador

Porto Alegre, dezembro de 2006.

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Palazzo, Renata Vieira

Uma Abordagem Alternativa para o Equilíbrio em Sistemas Multiagentes Baseados em Valores de Troca / Renata Vieira Palazzo – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2006.

65 f.:il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação. Porto Alegre, BR – RS, 2006. Orientador: Antônio Carlos da Rocha Costa.

1. Sistemas multiagentes. 2. Simulação social. I. Costa, Antônio Carlos da Rocha. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Pedro Cezar Dutra Fonseca

Pró-Reitora de Pós-Graduação: Profa. Valquíria Linck Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Flávio Rech Wagner

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## AGRADECIMENTOS

Várias pessoas foram muito importantes para a conclusão deste trabalho, e gostaria de deixar registrados meus agradecimentos a elas. Inicialmente, agradeço ao prof. Rocha Costa, meu orientador desde os tempos de graduação, pela sua enorme disponibilidade e paciência. Agradeço também à professora Graçaliz Dimuro, quem primeiro me orientou e incentivou na pesquisa acadêmica, com carinho e dedicação, pelas valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço à minha família, pessoas essenciais na minha vida. À minha mãe, Mara, agradeço pelo enorme carinho, sempre um porto seguro. À minha irmã Daniela, pela amizade e pela companhia em todas horas, seja para longas conversas ou longos silêncios. De modo especial, agradeço ao meu pai, Luiz Antônio, que foi o meu maior incentivador e acompanhou passo a passo deste trabalho, sempre com uma palavra tranquilizadora e sempre disposto a dar idéias e sugestões.

Ao Daniel, agradeço por todo o amor e carinho, pelas sugestões, e por permanecer ao meu lado em todos os momentos, comemorando as pequenas vitórias e sendo compreensivo nos momentos de tensão.

Aos meus amigos, agradeço pelos momentos de descontração que também foram muito importantes; especialmente, aos amigos Bruno Silva, Carlos Machado e Ricardo Araújo, pelas idéias e discussões sobre o tema.

A todos que de alguma forma fizeram parte desta caminhada, meu muito obrigada.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> . . . . .	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	7
<b>LISTA DE TABELAS</b> . . . . .	9
<b>RESUMO</b> . . . . .	10
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	11
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	12
<b>2 FUNDAMENTOS</b> . . . . .	14
<b>2.1 A Teoria Sociológica de Piaget</b> . . . . .	14
2.1.1 Conceitos Fundamentais . . . . .	14
2.1.2 Normas . . . . .	17
2.1.3 Equilíbrio Normativo . . . . .	18
2.1.4 Relação entre o Equilíbrio Normativo e o Equilíbrio Social . . . . .	20
2.1.5 As Normas e as Preferências . . . . .	21
<b>2.2 Teoria da Decisão em Sistemas Multiagentes</b> . . . . .	21
2.2.1 Elementos do processo de decisão . . . . .	22
2.2.2 Disponibilidade de informação sobre o ambiente . . . . .	22
2.2.3 Preferências e representação . . . . .	23
2.2.4 Funções de Utilidade . . . . .	25
2.2.5 Funções de Utilidade Multiatributo . . . . .	25
<b>3 VALORES DE TROCA PIAGETIANOS EM SISTEMAS MULTIAGENTES</b> 27	
<b>3.1 Introdução</b> . . . . .	27
<b>3.2 Sistema de Valores de Trocas</b> . . . . .	28
3.2.1 Representação dos Valores de Troca . . . . .	28
3.2.2 Manipulação dos Valores . . . . .	29
3.2.3 Estruturas de Informação . . . . .	29
3.2.4 Mecanismo de raciocínio social . . . . .	31
3.2.5 Elementos Especiais . . . . .	31
<b>3.3 Supervisor de Trocas Sociais</b> . . . . .	32
3.3.1 Estrutura da Organização Social . . . . .	32
3.3.2 Dinâmica da Troca de Valores . . . . .	34
3.3.3 A Figura do Supervisor de Equilíbrio Social . . . . .	34
3.3.4 Agentes dotados de comportamentos diferenciados . . . . .	39

<b>3.4</b>	<b>Agentes com traços de personalidade</b>	39
<b>4</b>	<b>UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA O EQUILÍBRIO SOCIAL</b>	43
<b>4.1</b>	<b>Representação dos Valores</b>	43
<b>4.2</b>	<b>O Mecanismo de Interação Social</b>	44
<b>4.3</b>	<b>Raciocínio Social</b>	45
4.3.1	Passo 1 - Busca no Histórico de Trocas	46
4.3.2	Passo 2 - Comparação entre Valores	46
4.3.3	Passo 3 - Classificação da Personalidade	47
4.3.4	Passo 4 - Atribuição do Valor Virtual da Troca Atual	47
4.3.5	Passo 5 - Ajuste da estratégia de valorização das trocas	47
<b>4.4</b>	<b>Parâmetros</b>	47
<b>5</b>	<b>RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES</b>	49
<b>5.1</b>	<b>Experimentação 1 - Sem consulta ao histórico</b>	49
<b>5.2</b>	<b>Experimentação 2 - Com consulta ao histórico</b>	51
5.2.1	Agentes justos e realistas	53
5.2.2	Agentes justos com diferentes graus de transparência	53
5.2.3	Agentes com diferentes graus de justiça e de transparência	54
<b>5.3</b>	<b>Experimentação 3 - Com consulta ocasional ao histórico</b>	56
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	62
	<b>REFERÊNCIAS</b>	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SMA	Sistema Multiagente
MDP	Processo de Decisão de Markov
POMDP	Processo de Decisão de Markov Parcialmente Observável
HMM	Modelo de Markov Oculto

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1:	Escala de valores . . . . .	15
Figura 2.2:	Etapas e valores de uma troca social . . . . .	16
Figura 2.3:	Tipos de problemas de decisão . . . . .	23
Figura 5.1:	Agentes justos, com $m = 100$ e $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico de trocas passadas . . . . .	50
Figura 5.2:	Agentes egoístas, com $m = 100$ e $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico	51
Figura 5.3:	Agentes altruístas, com $m = 100$ e $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico	51
Figura 5.4:	Um agente altruísta e um agente egoísta, com $m = 100$ e $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico . . . . .	52
Figura 5.5:	Um agente altruísta e um agente egoísta, com $m = 100$ e $d = 0, 8$ , sem consulta ao histórico . . . . .	52
Figura 5.6:	Agentes justos e realistas, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	53
Figura 5.7:	Agentes justos e realistas, com $\epsilon = 0, 3, \epsilon = 0, 5, \epsilon = 0, 8$ , respectivamente, e $d = 0, 1$ . . . . .	53
Figura 5.8:	Agentes justos e supervalorizadores, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	54
Figura 5.9:	Agentes justos e subvalorizadores, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	54
Figura 5.10:	Agentes justos, sendo um dele supervalorizador e outro subvalorizador, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	54
Figura 5.11:	Agentes egoístas e supervalorizadores, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	55
Figura 5.12:	Agentes altruístas e subvalorizadores, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	55
Figura 5.13:	Um agente altruísta e subvalorizador, um agente egoísta e supervalorizador, com $\epsilon = 0, 1$ e $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente . . . . .	55
Figura 5.14:	Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média . . . . .	56
Figura 5.15:	Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média . . . . .	57
Figura 5.16:	Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média . . . . .	57
Figura 5.17:	Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média . . . . .	58

Figura 5.18: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média . . . . .	58
Figura 5.19: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média . . . . .	59
Figura 5.20: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média . . . . .	59
Figura 5.21: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média . . . . .	59
Figura 5.22: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média . . . . .	60
Figura 5.23: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média . . . . .	60
Figura 5.24: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média . . . . .	60
Figura 5.25: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média . . . . .	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1:	Tabela de estado de valores para o agente $\alpha$ . . . . .	30
Tabela 3.2:	Tabela do histórico de trocas para o agente $\alpha$ . . . . .	30
Tabela 4.1:	Histórico de trocas do agente $\alpha$ . . . . .	44

## RESUMO

O presente trabalho está focado na questão do equilíbrio dos valores de troca em sistemas multiagentes. A base para a formalização das interações sociais entre os agentes envolvidos é a Teoria Sociológica de Piaget, a partir da qual as relações sociais podem ser vistas como troca de serviços entre os indivíduos. A cada interação, corresponde um conjunto de valores de troca qualitativos, os quais podem ser materiais, correspondentes ao custo real do prestador do serviço e ao benefício real do beneficiário do serviço, ou virtuais, correspondentes aos créditos ou débitos que cada indivíduo assume para si próprio. Nesse contexto, o equilíbrio dos valores de troca reflete o cumprimento das normas da sociedade, sejam essas normas de caráter moral ou jurídico. Apresenta-se uma abordagem simples para o problema do equilíbrio social, a qual se baseia na comunicação entre os agentes e na avaliação do histórico de trocas passadas para a determinação dos valores adequados a cada nova troca. Verificou-se que esta abordagem apresenta resultados satisfatórios, ainda que aplicada somente durante parte das interações entre os agentes, demonstrando que, apesar de simples, é uma abordagem eficiente para o atingimento e manutenção do equilíbrio social.

**Palavras-chave:** Sistemas multiagentes, simulação social.

## **An Alternative Approach to Equilibrium in Exchange Values Based Multiagent Systems**

### **ABSTRACT**

This work focuses on the equilibrium of exchange values on multiagent systems. The basis to the formalization of social interaction is Piaget's Sociological Theory, which states that social relationships can be seen as service exchanges between individuals. To each social interaction, there is a corresponding set of qualitative exchange values, that can be material, corresponding to real costs and benefits for the involved, or virtual, corresponding to credits and debits recognized by each individual. On this context, the equilibrium of exchange values reflects the obedience to society rules, that may be of moral or legal nature. We present a simple approach to the equilibrium problem, which is based on communication among agents and analysis of past interactions, in order to determinate the appropriate values for each new exchange. We show that this approach presents satisfactory results, demonstrating that, in spite of its simplicity, it is an efficient approach for reaching and sustaining social equilibrium.

**Keywords:** social equilibrium, social simulation, multiagent systems, exchange values.

# 1 INTRODUÇÃO

Na área de Sistemas Multiagentes (SMAs), mais especificamente na sua aplicação à simulação social, a questão da regulação das interações entre os agentes envolvidos é bastante importante, uma vez que capturar a natureza das relações sociais depende, em grande parte, da representação adequada das normas e convenções sociais.

A abordagem para a representação das interações baseada em valores de troca é o objeto de estudo desse trabalho, no qual é feita uma revisão dos modelos até então propostos, sua evolução e características. O foco destes modelos é a regulação social, partindo da premissa de que os sistemas multiagentes considerados possuem estados de equilíbrio, que busca-se atingir e manter.

A base para a representação das interações através de valores de troca é a Teoria Sociológica de Piaget (PIAGET, 1973), que afirma que as relações entre os indivíduos podem ser vistas como trocas de serviços entre os mesmos, às quais são associados uma série de *valores de troca*. Em (COSTA, 2002) é proposta uma aplicação dessa Teoria aos sistemas computacionais, identificando as trocas sociais com serviços trocados entre as entidades de um ambiente computacional.

Em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003; RODRIGUES; COSTA, 2003), é formalizado um mecanismo de trocas sociais para os SMAs, contemplando todos os elementos necessários para a aplicação do modelo de trocas estabelecido por Piaget a um SMA. Definem-se uma álgebra de valores de troca, um mecanismo de raciocínio social e um conjunto de estruturas internas necessárias ao agente para o armazenamento e manipulação destes valores. O presente trabalho segue, na maior parte, esta formalização, fazendo uso das estruturas determinadas e da álgebra de valores proposta, porém com uma nova proposta para o mecanismo de raciocínio social.

Em trabalhos subsequentes, como (DIMURO; COSTA, 2005; DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), cria-se a figura do *supervisor de trocas*, um agente especial capaz de identificar os valores envolvidos nas trocas realizadas pelos agentes e recomendar a eles a realização de novas trocas, com valores adequados para que o sistema entre em equilíbrio. Por equilíbrio, socialmente falando, entende-se que as normas do sistema sejam cumpridas. Os agentes, no entanto, possuem personalidades próprias e, de acordo com seus objetivos, podem optar por seguirem ou não as recomendações dadas pelo supervisor. O mecanismo empregado pelo supervisor é modelado como um Processo de Decisão de Markov (MDP), de modo que, a cada instante, este seja capaz de recomendar um conjunto de trocas, baseado somente no estado atual de valores dos agentes envolvidos.

Mais recentemente, (DIMURO et al., 2006a,b) aprofundam a questão da personalidade dos agentes, sendo que estes além de comportamentos diferenciados quanto à obediência ao supervisor, também podem apresentar diferentes graus de transparência, quanto a permitirem que o supervisor avalie o seu estado de valores interno, podendo assim pra-

ticarem uma espécie de dissimulação. Para lidar com esse aspecto, o supervisor utiliza-se de um mecanismo baseado em um *Hidden Markov Model* (HMM) para identificar a personalidade dos agentes.

Neste trabalho, propõe-se uma abordagem alternativa para o equilíbrio social entre agentes, considerando que não existe a figura do supervisor, mas que os agentes trocam informações entre si, na forma de *valorizações informadas*. A cada troca realizada, os agentes envolvidos atribuem, além dos valores definidos por Piaget, dois valores adicionais, que representam a valorização informada por cada um deles sobre a troca efetuada. Estas valorizações também ficam sujeitas aos traços de personalidade dos agentes envolvidos. Um desses traços diz respeito ao grau de transparência mencionado, equivalente, de certa forma, ao grau de sinceridade do agente para com seu par. Um agente realista informa uma valorização consistente com a sua percepção da troca. Um agente supervalorizador, porém, pode supervalorizar os valores envolvidos, na tentativa de obter mais créditos, por exemplo.

Além das características associadas à transparência, trabalha-se também com o grau de justiça do agente. Um agente justo considera-se com tanto crédito por um serviço prestado quanto tenha sido seu custo que tenha tido na realização deste serviço. O conceito de justiça está ligado ao quanto os valores virtuais dos agentes, que correspondem a seus créditos e débitos, correspondem aos valores materiais, que estão ligados ao seu custo e satisfação reais com a prestação de um serviço.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 introduz brevemente a Teoria Sociológica de Piaget, bem como discorre sobre alguns conceitos da Teoria da Decisão relevantes para o contexto. No capítulo 3, é apresentada a revisão dos trabalhos já realizados envolvendo a aplicação da teoria piagetiana aos SMAs. O capítulo 4 contém a abordagem proposta para a regulação dos valores, seguido dos resultados obtidos, apresentados no capítulo 5. Por fim, as conclusões são apresentadas no capítulo 6.

## 2 FUNDAMENTOS

### 2.1 A Teoria Sociológica de Piaget

Um dos pilares em que se sustenta o modelo de sociedade multiagente em que se baseia esse trabalho é a teoria estabelecida por Piaget em sua obra “Ensaio sobre a Teoria dos Valores Qualitativos em Sociologia Estática (Sincrônica)” (PIAGET, 1973). Nele, Piaget define uma axiomática para a representação das interações sociais, do ponto de vista sincrônico, ou seja, considerando seu equilíbrio num dado momento da História.

Para ele, as relações sociais podem ser vistas como trocas de serviços que ocorrem entre os indivíduos de uma sociedade, nas quais um sujeito realiza um serviço em benefício de outro. Cada uma dessas trocas provoca uma alteração na relação entre os indivíduos envolvidos, a qual é representada por um conjunto de valores associado a cada troca. Em trabalhos recentes (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003; RODRIGUES; COSTA, 2003), foi demonstrada a aderência destes conceitos ao contexto dos sistemas multiagentes, e a forma como estes podem ser aplicados. Neste seção, é feita uma breve revisão da Teoria Sociológica de Piaget, abordando os principais conceitos pertinentes à mesma.

#### 2.1.1 Conceitos Fundamentais

##### 2.1.1.1 Valores

O conceito de *valor*, dentro da definição de Piaget, tem um caráter qualitativo. Isso significa que os valores considerados nesse contexto apresentam uma relação de ordem entre si, de forma que podem ser comparados em termos da sua magnitude, porém não podem ser operados algebricamente da mesma forma que os valores quantitativos.

Não se resumem, portanto, a valores econômicos, pois incluem valores não quantificáveis, como a satisfação de uma pessoa por um favor prestado por outra. De fato, os valores econômicos não estão excluídos do espectro considerado por Piaget. Entretanto, por mais importantes que sejam, estes constituem somente uma pequena parcela do conjunto de valores que circulam em uma sociedade.

Dentro do contexto dos valores de troca, é importante destacar a necessidade da presença de *escalas de valores*, que permitem que haja comparabilidade entre os valores. Estas escalas podem ser mais ou menos duráveis, de acordo com a dinâmica da sociedade. Entretanto, em um dado momento da vida da sociedade, sempre haverá um conjunto de escalas em função do qual podem ser analisadas as trocas ocorridas entre seus integrantes. Ainda, cada indivíduo possui seu próprio conjunto de escalas, em função das quais este é capaz de avaliar e comparar todos os indivíduos que com ele interagem, assim como todos os serviços prestados pelos mesmos.

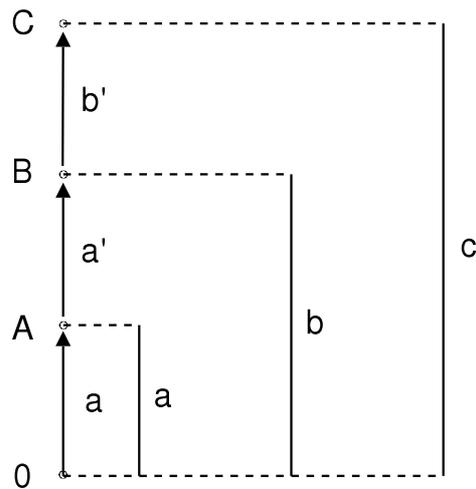


Figura 2.1: Escala de valores

Formalmente, é possível representar uma escala de valores por um sistema de relações assimétricas, conforme representado na figura 2.1. Desse modo, a notação  $0 \uparrow aA$  significa “A tem mais valor do que 0” (sendo  $a$  a diferença entre eles).

Este é um exemplo simples, entretanto as escalas de valores de um indivíduo, ou de uma sociedade, podem ser bastante mais complexas. Para atingir uma finalidade  $A$ , por exemplo, podem haver diversos meios, e nesse caso, os valores associados a eles são equivalentes. Assim, é possível que uma escala de valores seja representada em forma de árvore, onde os nodos representam as finalidades e os arcos representam os serviços através dos quais é possível atingir estas finalidades, os quais possuem sempre um valor associado. Levada em conta apenas a finalidade, as diferentes formas de atingi-la terão todas um valor equivalente.

Por fim, Piaget destaca que um mesmo indivíduo pode possuir diversas escalas de valores simultaneamente, aplicáveis aos diferentes contextos em que atua. Estas escalas por sua vez podem estar hierarquicamente relacionadas, pois é possível haver objetivos de mais alto nível que são comuns a mais de uma escala do mesmo indivíduo.

### 2.1.1.2 Trocas

O conceito de *troca*, no contexto considerado, se refere à *troca de serviços* entre sujeitos. Segundo Piaget, toda ação de um indivíduo repercute sobre os demais, alterando seus valores positivamente (satisfação), negativamente (prejuízo) ou de forma nula. Além disso, cada ação pode provocar uma reação, a qual pode ser material ou virtual. Nesse momento, distinguem-se dois tipos de valores:

- valores *materiais* (ou *reais*), que dizem respeito a ações concretas, como por exemplo o ato de emprestar um livro. Uma questão importante a ser destacada, considerando este exemplo, é que os valores associados a esta ação não dizem respeito ao valor do livro por si só, e sim ao quanto a disponibilidade do mesmo é capaz de beneficiar quem o recebe emprestado, e a quanto a indisponibilidade do mesmo pode custar a quem o empresta. Suponha-se por exemplo que o livro em questão está guardado na estante de A há muitos anos, e este nem sequer o leu. Em certo momento, B pede o livro emprestado a A, pois este é bastante raro e essencial para o trabalho de pesquisa de B. Para A, o valor material associado ao empréstimo é

muito baixo, pois o livro não lhe fará falta nenhuma. Já para B, o valor material envolvido nessa troca social é altíssimo, já que viabilizou uma parte importante de sua pesquisa.

- valores virtuais, que correspondem a créditos ou débitos de um sujeito para com outro. Estes consistem em *representações mentais* da troca ocorrida, não implicando em nenhuma ação de fato. Retomando o exemplo do empréstimo do livro: sabe-se que para B este foi de grande valia, mas isso não significa que ele necessariamente expressará sua gratidão a A como seria de se esperar, podendo associar um valor virtual baixo à essa troca. Da mesma forma, sabe-se que, para A, o empréstimo do livro não implicou em nenhum sacrifício. Porém, sabendo que B precisava muito do mesmo, A pode associar um valor virtual alto à troca em questão, considerando que prestou a B um grande serviço e que merece um alto crédito por isso.

Uma troca social ocorre sempre que um indivíduo  $\alpha$  realiza uma ação em benefício de outro indivíduo,  $\alpha'$ . Este último poderá então reagir de uma das seguintes formas:

1.  $\alpha'$ , em troca, realiza um serviço em benefício de  $\alpha$ . Por exemplo,  $\alpha$  empresta um livro para  $\alpha'$  e, algum tempo depois,  $\alpha'$  faz o mesmo por  $\alpha$ ;
2.  $\alpha'$  não presta nenhum serviço em troca, mas valoriza  $\alpha$  pelo serviço prestado, aumentando sua consideração para com  $\alpha$ ;
3.  $\alpha'$  não presta nenhum serviço e tampouco o valoriza. Nesse caso,  $\alpha$  é quem desvaloriza  $\alpha'$  por não lhe ser reconhecido.

Dessa forma, Piaget define que o ciclo completo de uma interação social se realiza em duas etapas: uma etapa de *acumulação de valores materiais*, que corresponde à etapa I, em que  $\alpha$  presta um serviço em benefício de  $\alpha'$ ; e uma etapa de *realização de valores virtuais*, que corresponde à etapa II, em que  $\alpha'$  reage à ação realizada por  $\alpha$  (Figura 2.2).

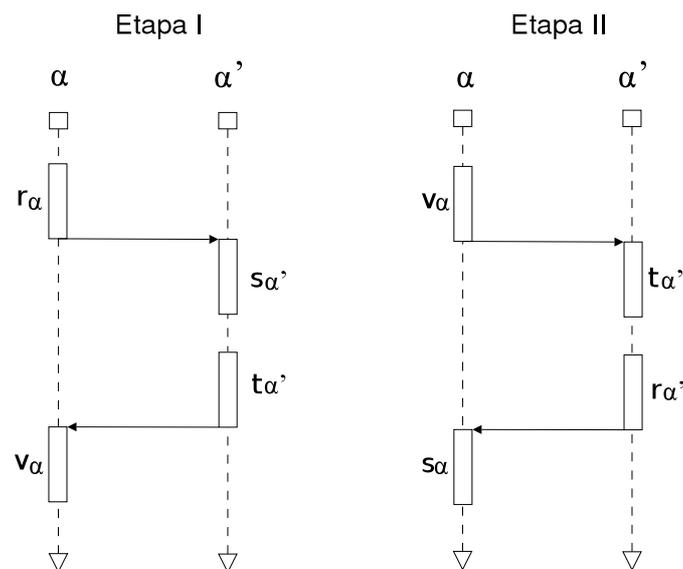


Figura 2.2: Etapas e valores de uma troca social

Para cada uma das etapas, tem-se uma seqüência de valores envolvidos, conforme a Figura 2.2. Naturalmente, assume-se a hipótese de que os indivíduos compartilham da

mesma escala de valores, de modo que seja possível comparar nas devidas proporções os valores determinados por ambos. O significado de cada um dos valores atribuídos ao primeiro momento – etapa *I* – da troca é o seguinte:

- $r_\alpha$  = valor material correspondente ao *investimento* de  $\alpha$  na ação realizada por este.
- $s_{\alpha'}$  = valor material correspondente à *satisfação* de  $\alpha'$  com a ação realizada por  $\alpha$ .
- $t_{\alpha'}$  = valor virtual correspondente ao *reconhecimento* por  $\alpha'$  da satisfação causada pela ação de  $\alpha$ .
- $v_\alpha$  = valor virtual correspondente à *acumulação* de crédito por  $\alpha$  pelo serviço prestado em benefício de  $\alpha'$ .

Finalizada a primeira etapa da troca, tem-se que  $\alpha$  acumulou um crédito – um valor virtual – para com  $\alpha'$  (o qual pode ser positivo ou negativo). Passa-se então para a etapa *II*, de realização dos valores virtuais. Suponha-se que  $\alpha$  tenha sido bem sucedido, ou seja, que tenha atingido  $v_\alpha \geq r_\alpha$ . Isto significa que  $\alpha$  adquiriu um crédito no mínimo equivalente ao seu investimento, e pode então cobrar este crédito de  $\alpha'$ , de acordo com a seqüência ilustrada na Figura 2.2. Os valores representados assumem então os seguinte significados:

- $v_\alpha$  = valor correspondente ao *crédito* de  $\alpha$  em relação a  $\alpha'$ , devido a ações anteriores realizadas por  $\alpha$ .
- $t_{\alpha'}$  = valor correspondente ao *reconhecimento* por  $\alpha'$  do crédito pretendido por  $\alpha$ .
- $r_{\alpha'}$  = valor correspondente ao *investimento* por  $\alpha'$  em ação para benefício de  $\alpha$ .
- $s_\alpha$  = valor correspondente à *realização* de crédito de  $\alpha$  em função do investimento de  $\alpha'$ .

Conforme definido anteriormente, os valores  $r$  e  $s$  são *valores materiais* (ou *reais*), enquanto os valores  $v$  e  $t$  são *valores virtuais*.

### 2.1.2 Normas

O conceito de *regra* ou *norma* define o equilíbrio do sistema social, podendo ser apresentado sob duas formas:

- *equações* que definem o equilíbrio do sistema e que devem ser verificadas entre os valores envolvidos nas trocas;
- *operações* capazes de fazer com que o equilíbrio seja restabelecido, em caso de desequilíbrio.

Para a etapa *I* do processo de troca definido na seção anterior, tem-se a seguinte implicação lógica:

$$(r_\alpha = s_{\alpha'}) \wedge (s_{\alpha'} = t_{\alpha'}) \wedge (t_{\alpha'} = v_\alpha) \Rightarrow (v_\alpha = r_\alpha)$$

a qual define, por hipótese, que  $\alpha$  é valorizado por  $\alpha'$  proporcionalmente ao seu investimento na realização do serviço prestado. Isso significa que os indivíduos estão em

equilíbrio. Para que este equilíbrio se verifique, é preciso que a seguinte equação seja satisfeita:

$$(\downarrow r_\alpha) + (\uparrow s_{\alpha'}) + (\downarrow t_{\alpha'}) + (\uparrow v_\alpha) = 0$$

As setas indicam variações qualitativas positivas ( $\uparrow$ ) e negativas ( $\downarrow$ ) dos valores em jogo. De forma análoga podem ser definidas as equações para as situações em que há desequilíbrio, pois pode ocorrer que o esforço de  $\alpha$  na realização do serviço seja maior do que o reconhecimento deste por  $\alpha'$ , ou vice-versa.

Já para a etapa *II* das trocas sociais, o equilíbrio de valores entre os indivíduos  $\alpha$  e  $\alpha'$  resulta na seguinte implicação:

$$(v_\alpha = t_{\alpha'}) \wedge (t_{\alpha'} = r_{\alpha'}) \wedge (r_{\alpha'} = s_\alpha) \Rightarrow (s_\alpha = v_\alpha)$$

a qual expressa que, se  $\alpha'$  reconhece uma dívida equivalente ao crédito de  $\alpha$  e salda sua dívida através da realização de um serviço equivalente, e se este serviço satisfaz  $\alpha$  de forma equivalente, então a satisfação de  $\alpha$  equivale ao crédito que havia acumulado na etapa *I* da troca. A equação que define o equilíbrio para a etapa *II* expressa, portanto, o inverso da equação de equilíbrio da etapa *I*:

$$(\downarrow v_\alpha) + (\uparrow t_{\alpha'}) + (\downarrow r_{\alpha'}) + (\uparrow s_\alpha) = 0$$

### 2.1.3 Equilíbrio Normativo

Piaget pontua essa definição de equilíbrio observando que, apesar de ser facilmente definido, não há nada mais instável do que do que os valores envolvidos e do que o equilíbrio em si. Apesar de ser possível que, em um determinado instante, haja equilíbrio de valores entre indivíduos, esses valores estão continuamente sujeitos a variações ao longo do tempo. É por isso, justifica, que toda sociedade apresenta mecanismos de *conservação de valores*, que têm a função de assegurar o equilíbrio graças a uma série de obrigações mais ou menos rígidas, quer sejam elas de ordem moral ou jurídica. Esses controles são internos ao processo de trocas sociais, e se fazem presentes através da coordenação dos pontos de vista, ou seja, da capacidade dos indivíduos de considerarem não só o seu ponto de vista, mas também os dos demais.

Há uma diferenciação entre os processos denominados por Piaget *troca atual* e *troca durável*. O primeiro ocorre nem curto espaço de tempo e é diretamente controlado pelos interessados. O segundo, entretanto, se estende no tempo e, por isso, requer a intervenção de normas para garantir que os valores trocados permaneçam ao longo desse espaço de tempo. Um exemplo é a diferenciação entre a venda à vista e a venda a crédito. Na primeira os envolvidos realizam a troca em um único momento, o fato de estarem na presença um do outro garante que nenhum dos dois tentará “roubar” o outro. Na segunda, por outro lado, a dívida estabelecida se torna objeto de uma obrigação moral e jurídica. Se por algum motivo o devedor não saldar sua dívida no prazo combinado, tanto seu mérito moral ficará diminuído em relação ao credor, quanto ficará obrigado pelas normas jurídicas a cumprir as penalidades estabelecidas – multas, juros, etc.

#### 2.1.3.1 Equilíbrio de Ordem Moral

Retome-se a equação do equilíbrio da etapa *I*,  $(r_\alpha = s_{\alpha'}) \wedge (s_{\alpha'} = t_{\alpha'}) \wedge (t_{\alpha'} = v_\alpha) \Rightarrow (v_\alpha = r_\alpha)$ . Vários fatores podem fazer com que esse equilíbrio não se verifique. Pode ser que a ação de  $\alpha$  não satisfaça  $\alpha'$ , ou o satisfaça desproporcionalmente à renúncia de  $\alpha$ .

Ou ainda, talvez  $\alpha'$  se satisfaça, mas não reconheça sua dívida para com  $\alpha$ . Isso significa que os valores virtuais  $v_\alpha$  e  $t_{\alpha'}$  podem assumir valores indevidos. Ou ainda, pode ser que esses valores estejam em equilíbrio no momento da troca, mas que sejam desgastados ao longo do tempo. No entanto, as normas morais da sociedade fazem com que esses valores tendam a se conservar. Se  $\alpha'$  não presta o reconhecimento devido a  $\alpha$ , será considerado injusto, ingrato, ou mesmo traidor.

A formalização proposta por Piaget para este mecanismo de conservação de valores consiste num sistema de operações composto por *normas*, de cuja aplicação resultam *valores normativos*. A partir dessa estrutura, concebem-se dois métodos de conservação de valores: *normas jurídicas* e *normas morais*. O primeiro deles consiste simplesmente em transformar os valores virtuais  $v$  e  $t$  em *direitos e obrigações*. O segundo, de acordo com Piaget, provê um controle mais radical, à medida que atua sobre os valores materiais, coordenando as ações e as satisfações segundo um ponto de vista desinteressado, levando em conta o outro em vez de somente a si mesmo.

O *equilíbrio de ordem moral* surge a partir dessa troca de ponto de vista, onde a satisfação do outro constitui um fim e não mais um meio. Nesse contexto, Piaget estabelece as seguinte *condições morais de conservação*, no contexto da etapa *I*:

1. Satisfação indefinida de  $\alpha'$  por  $\alpha$ . Essa condição significa que  $\alpha$  procurará satisfazer  $\alpha'$  enquanto puder, e não somente à medida que possa obter algum benefício futuro em função do crédito adquiridos.
2. Avaliação de  $r_\alpha$  por  $\alpha'$  segundo a intenção de  $\alpha$ . Da mesma forma que  $\alpha$  se coloca sob o ponto de vista da escala de valores de  $\alpha'$ , este último faz o mesmo, avaliando a ação  $r_\alpha$  em função da escala de valores de  $\alpha$ , ou seja, das suas intenções.

Estas duas condições se resumem a uma única, denominada *substituição recíproca das escalas*. O equilíbrio normativo de reciprocidade moral é atingido na etapa *I* das trocas sociais, quando cada um dos parceiros conserva os valores do outro, segundo a escala deste outro.

Para etapa *II* das trocas sociais, tem-se a seguinte equação de equilíbrio:  $(v_\alpha = t_{\alpha'}) \wedge (t_{\alpha'} = r_{\alpha'}) \wedge (r_{\alpha'} = s_\alpha) \Rightarrow (s_\alpha = v_\alpha)$ . Neste momento se dá a cobrança do direito adquirido na etapa *I*. No entanto, segundo Piaget, no domínio dos sentimentos morais não se encontram “direitos” que o indivíduo atribui a si mesmo, no sentido interessado, de acordo com a substituição recíproca das escalas. Assim, conclui-se que, enquanto a moral tem sua expressão na etapa *I*, a etapa *II* tem natureza jurídica.

### 2.1.3.2 Equilíbrio de Ordem Jurídica

No que diz respeito à coordenação jurídica, Piaget distingue duas formas de direito: o direito codificado, ou seja, aquele formalizado através de contratos, ou proveniente do Estado, e o direito não codificado (ou deontologia), que diz respeito às relações de direito “informais”, como uma promessa verbal. Este último poderia ser incluído no campo da coordenação moral. Nesse caso, Piaget destaca que seria preciso criar uma distinção entre dois tipos de coordenação moral: (1) aquela que diz respeito às relações *desinteressadas*, onde o indivíduo assume o ponto de vista (ou a escala de valores) do outro e (2) aquela em que as obrigações são determinadas por acordos interindividuais baseados em interesses pessoais – de onde vem a noção de “direito”. Feita essa ressalva, esclarece-se que a noção de coordenação jurídica inclui tanto o direito codificado quando essa possível categoria 2 de coordenação moral.

Ao contrário da conservação normativa de ordem moral, a *conservação normativa de ordem jurídica* ocorre sem a condição de satisfação indefinida do parceiro e unificando as escalas do ponto de vista do interessado. Levando em conta a equação de equilíbrio da etapa *II*, apresentada na seção 2.1.2:

$$(v_{\alpha} = t_{\alpha'}) \wedge (t_{\alpha'} = r_{\alpha'}) \wedge (r_{\alpha'} = s_{\alpha}) \Rightarrow (s_{\alpha} = v_{\alpha})$$

Considerando que haja conservação dos valores, o significado de cada um dos termos é o seguinte:

- $v_{\alpha}$  = valor correspondente ao direito de  $\alpha$  reconhecido por  $\alpha'$ .
- $t_{\alpha'}$  = valor correspondente à obrigação correlativa de  $\alpha'$ .
- $r_{\alpha'}$  = valor correspondente à prestação de serviço por  $\alpha'$  em cumprimento de sua obrigação para com  $\alpha$ .
- $s_{\alpha}$  = valor correspondente à satisfação de  $\alpha$  em função do serviço prestado por  $\alpha'$ .

Todas estas equivalências estão, no entanto, sujeitas à perturbação, na medida em que o julgamento individual (ou a escala) pode diferir entre os participantes da troca. De onde decorrem as possíveis situações

1.  $v_{\alpha} > t_{\alpha'}$  ou  $t_{\alpha'} > v_{\alpha}$ : nesse caso,  $\alpha$  e  $\alpha'$  estão em desacordo quanto aos seus direitos e obrigações.
2.  $t_{\alpha'} > r_{\alpha'}$  ou  $t_{\alpha'} < r_{\alpha'}$ : aqui, ambos não se entendem quanto à maneira pela qual  $\alpha'$  cumpriu sua obrigação.
3.  $r_{\alpha'} > s_{\alpha}$  ou  $r_{\alpha'} < s_{\alpha}$ : isto significa que  $\alpha$  pode não estar satisfeito com a prestação de serviço recebida.
4.  $s_{\alpha} > v_{\alpha}$  ou  $s_{\alpha} < v_{\alpha}$ : exprime a não equivalência entre a satisfação obtida por  $\alpha$  e o direito que tinha.

A relação de direito consiste exatamente em garantir que esses valores se conservem no caso da equação de equilíbrio da etapa *II*. Para tanto, as condições a serem preenchidas são as seguintes:

1.  $v_{\alpha} = s_{\alpha}$ : a satisfação de  $\alpha$  deve ser equivalente ao que este tem direito.
2.  $t_{\alpha'} = r_{\alpha'}$ : o valor do serviço prestado por  $\alpha'$  deve ser equivalente ao valor correspondente à sua obrigação para com  $\alpha$ .

#### 2.1.4 Relação entre o Equilíbrio Normativo e o Equilíbrio Social

De acordo com Piaget, em sociedades equilibradas, em termos das trocas sociais, há uma espécie de *meta-equilíbrio* entre o equilíbrio de ordem moral e o equilíbrio de ordem jurídica. O chamado *equilíbrio jurídico extrínseco* compreende o equilíbrio dos valores normativos codificados (que dizem respeito ao equilíbrio de ordem jurídica), dos valores normativos não-codificados (que dizem respeito ao equilíbrio de ordem moral) e dos valores espontâneos (que não provêm do cumprimento de normas, mas da interação livre entre os sujeitos). Por exemplo, uma sociedade com valores morais fortemente estabelecidos pode assim compensar uma codificação jurídica fragilmente estabelecida.

### 2.1.5 As Normas e as Preferências

A Teoria da Decisão, a ser introduzida no capítulo que segue, compreende o processo de fazer as escolhas adequadas em face das preferências do agente. Assume-se, no entanto, que estas preferências sejam estabelecidas *a priori*. Nesse contexto, pode-se imaginar, por exemplo, que as normas jurídicas e morais abordadas por Piaget sejam codificadas nestas preferências, expressando que o agente deseja se comportar moralmente, ou deseja cumprir as regras jurídicas impostas por alguma entidade dentro do seu sistema. Desse modo, pode-se pensar na Teoria de Piaget como fornecendo subsídio para que o agente estabeleça suas preferências, codificando assim o equilíbrio normativo de forma distribuída entre os membros da sociedade. No que segue, são introduzidos os principais conceitos da Teoria da Decisão, dentro do contexto dos sistemas multiagentes.

## 2.2 Teoria da Decisão em Sistemas Multiagentes

A teoria da decisão é um tema que permeia diversas áreas do conhecimento, passando pela Psicologia, Economia, Sociologia, Filosofia, sendo abordada por cada uma delas a partir de diferentes ângulos. No contexto da Ciência da Computação, a mesma é um dos componentes principais no estudo de agentes computacionais: um agente precisa tomar decisões sobre quais ações executar para atingir seus objetivos, dado o conhecimento que possui sobre o ambiente. Na maioria das vezes, esse conhecimento é parcial. Ser capaz de raciocinar usando informações incompletas é muitas vezes essencial para que um agente consiga alcançar seus objetivos.

Segundo (HANSSON, 1991), a teoria da decisão compreende o estudo do “comportamento orientado a objetivos na presença de opções”. Não é considerado relevante no contexto da teoria da decisão quais são os motivos para que se deseje tomar uma decisão, isto é, a definição dos objetivos se pretende atingir. Do mesmo modo, está excluída do escopo da teoria da decisão a composição do conjunto de alternativas que se apresentam. Considerando que, em dado momento, os objetivos de certo agente são tais e as ações possíveis a serem tomadas são tais, diz respeito à teoria da decisão somente a escolha da melhor alternativa.

É importante ressaltar que há duas grandes abordagens possíveis para uma teoria da decisão, ou ainda, duas categorias de teorias da decisão: normativa e descritiva. A primeira preocupa-se em determinar como as decisões devem ser tomadas dentro dos padrões da racionalidade comumente aceitos. Já a segunda preocupa-se em descrever como as decisões são tomadas de fato pelos indivíduos, não necessariamente de forma racional. Seres humanos muitas vezes agem baseados em emoções, intuições, princípios morais ou éticos, e uma série de outras influências que não necessariamente levam à decisão que seria considerada “racional”.

No estudo de agentes computacionais, a dominância sempre foi a busca por uma teoria da decisão normativa inspirada no processo de tomada de decisão dos seres humanos. Porém, sabe-se que nem sempre os seres humanos agem de forma racional. Há aplicações que empregam com agentes cujo processo de decisão não é inteiramente racional, aplicando o conceito de *bounded reasoning* (racionalidade limitada). Outros trabalhos presentes na literatura discorrem sobre a importância da utilização de informações qualitativas no processo de decisão, e de métodos para fazê-lo, como (DOYLE; THOMASON, 1999).

Nesse capítulo, é apresentada uma visão geral sobre a Teoria da Decisão, buscando cobrir os principais pontos de interesse para o estudo do processo de tomada de decisão

em agentes.

### 2.2.1 Elementos do processo de decisão

O processo de tomada de decisão pode envolver uma série de componentes. Entretanto, três destes são fundamentais para a existência do mesmo: alternativas, estados do mundo e conseqüências.

- *Alternativas* são os possíveis caminhos a serem tomados, isto é, as ações que estão disponíveis para serem executadas num determinado momento. Dependendo do tipo de problema com que se está lidando, pode ser possível escolher mais de uma alternativa simultaneamente. Nesse caso, onde as alternativas não são mutuamente exclusivas, diz-se que o problema é de escolha composta. Em certos casos, porém, é possível escolher somente uma única alternativa do conjunto de alternativas disponíveis. Essas situações representam um caso particular do problema de escolha composta, sendo denominadas de problemas de escolha simples.
- Os *estados do mundo* compreendem o conjunto de eventos independentes sobre o qual o agente em questão não possui nenhum controle. Um exemplo clássico é o estado do clima, pois não é possível determinar se fará sol ou chuva (apesar de ser possível determinar uma certa probabilidade para cada um desses estados).
- As *conseqüências* são os resultados obtidos a partir da escolha de uma determinada alternativa, combinada com a ocorrência de um determinado estado do mundo. Geralmente as conseqüências que podem resultar de uma decisão são representados por uma matriz de *payoff*, cruzando todas as alternativas possíveis com os estados do mundo que podem ocorrer. De modo geral, o *payoff* pode ser positivo ou negativo, podendo representar tanto lucro quanto prejuízo. O comportamento mais comum em agentes é buscar a maximização do *payoff* obtido.

Na maioria dos problemas de decisão, esses elementos encontram-se combinados de forma complexa. Nem sempre é possível determinar probabilidades para os estados do mundo no futuro, assim como nem sempre se tem conhecimento total da matriz de *payoff* para a situação. Quanto menos informação se tem disponível, maior a complexidade do problema de decisão. Em função dessa quantidade de informação, costuma-se dividir os problemas de decisão em três categorias: decisão sob certeza, decisão sob risco e decisão sob incerteza.

### 2.2.2 Disponibilidade de informação sobre o ambiente

A figura 2.3 ilustra os tipos de problemas de decisão em função da disponibilidade de informação sobre o ambiente.

#### 2.2.2.1 Decisões sob certeza

Diz-se que um problema é de decisão sob certeza quando se possui total conhecimento das conseqüências associadas com cada uma das alternativas. Nesse caso, a escolha entre alternativas se resume a uma escolha entre conseqüências. No caso de uma situação de decisão sob certeza, as preferências do agente são simuladas por uma função de valor – que pode ser de atributo único ou multiatributo – que introduzem ordem no conjunto de conseqüências e, portanto, também ordenam as alternativas.

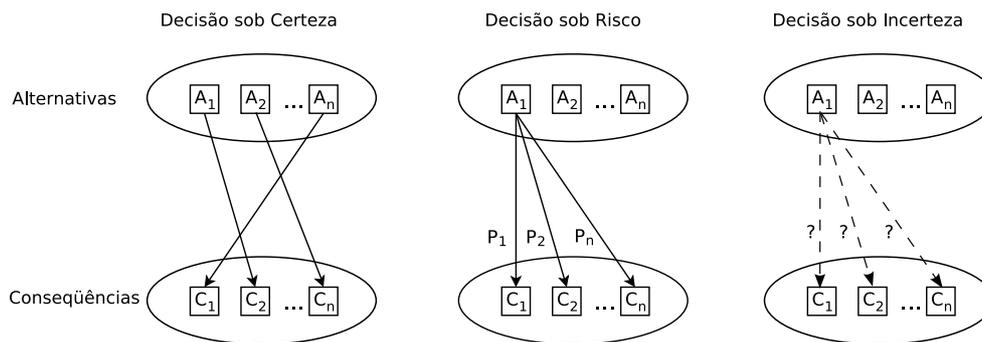


Figura 2.3: Tipos de problemas de decisão

### 2.2.2.2 Decisões sob risco

No caso das decisões sob risco, cada alternativa tem uma série de possíveis resultados. Não se sabe qual será o resultado, dada a escolha de uma alternativa, mas são conhecidas as probabilidades associadas a cada uma delas. Aqui, não se está mais simplesmente decidindo entre consequências, como no caso dos problemas de decisão sob certeza, mas sim entre distribuições de probabilidade. Observe-se que o caso de decisão sob certeza é um caso particular da decisão sob risco, onde as probabilidades apenas podem assumir os valores 0 ou 1.

### 2.2.2.3 Decisões sob incerteza

Por fim, tem-se o caso onde não há nenhuma informação sobre a probabilidade de ocorrência de cada estado do mundo. A tomada de decisão num ambiente sob incerteza, a princípio, baseia-se somente nas alternativas, uma vez que o agente somente pode assumir que obterá um determinado *payoff* se um determinado estado do mundo ocorrer.

## 2.2.3 Preferências e representação

Em qualquer processo de decisão, o objetivo do agente é escolher a(s) alternativa(s) que proporcionem o maior benefício possível, de acordo com os parâmetros que este possui sobre o que é bom ou ruim. Portanto, um dos mecanismos essenciais que suportam o processo de decisão é um sistema de representação de preferências, com base no qual o agente é capaz de avaliar o quanto uma alternativa é melhor ou pior do que outra, em um determinado contexto.

Há uma série de formas de representar essas preferências, sendo mais conhecidas as formas *numérica* e *relacional*. Dependendo da aplicação, pode-se optar pela forma que for mais conveniente. Na realidade, a representação numérica não deixa de ser um caso particular da representação relacional, uma vez que os números possuem uma intrínseca relação de ordem entre si.

### 2.2.3.1 Representação Relacional

A representação relacional consiste basicamente em estabelecer relações entre as possíveis alternativas, tais como “melhor do que”, “de mesmo valor”, ou “pelo menos tão bom quanto”, que podem ser matematicamente traduzidas pelas relações  $>$ ,  $\equiv$  ou  $\geq$ . Por exemplo, a afirmação “o café A é pelo menos tão bom quanto o café B” equivale à expressão  $A \geq B$ . Do mesmo modo pode-se dizer que “o café A é melhor do que o café B” ( $A > B$ ), ou “o café A e o café B são igualmente bons” ( $A \equiv B$ ). Essas três relações de

preferência constituem a base da lógica da preferência, sendo a relação  $>$  correspondente à idéia de preferência forte,  $\geq$  correspondente à preferência fraca e  $\equiv$  correspondente à noção de indiferença. As duas regras abaixo são comumente utilizadas para expressar a conexão entre essas relações:

1.  $A > B$  se e somente se  $\neg A \geq B \wedge B \geq A$ .
2.  $A \equiv B$  se e somente se  $A \geq B \wedge B \geq A$ .

A partir dessas regras, percebe-se que é possível usar apenas uma das três relações ( $\geq$ ) para representar as outras duas ( $>$  e  $\equiv$ ), apesar de isso exigir construções mais complexas. Do ponto de vista da representação, o significado de “A é pelo menos tão bom quanto B e B é pelo menos tão bom quanto A” é o mesmo de “A e B são igualmente bons”. A segunda construção, no entanto, é bem mais facilmente compreendida do que a primeira.

No que diz respeito à representação relacional, duas propriedades são fundamentais na caracterização de uma relação: *completeza* e *transitividade*. A primeira diz respeito à existência – ou não – de uma relação definida entre quaisquer dois elementos do *domínio* considerado. A segunda diz respeito à possibilidade de comparar dois elementos através da comparação com elementos “intermediários” entre eles.

Formalmente, tem-se que uma relação é completa se, dentro de determinado domínio, tem-se que ou  $A \geq B$  ou  $B \geq A$ . Isso equivale a dizer que uma relação é completa se, para quaisquer duas possíveis alternativas, sempre pode-se dizer se uma delas é melhor do que outra, ou se ambas são igualmente boas. Numa relação incompleta, existem pares de elementos do domínio para os quais não há relação definida.

Já a propriedade transitiva é expressa da seguinte forma: uma relação  $\geq$  é transitiva se temos que, para quaisquer elementos do domínio, se  $A \geq B$  e  $B \geq C$ , então  $A \geq C$ . No contexto da Teoria da Decisão, comumente se assume que as relações entre as alternativas possíveis são transitivas. Se A é melhor do que B e B é melhor do que C, é intuitivo assumir que A é do que C.

### 2.2.3.2 Representação Numérica

Outra forma bastante intuitiva e comumente utilizada para representar preferências é a representação numérica. A cada uma das alternativas, é associado um valor numérico que corresponde ao grau de preferência do agente pela mesma. Por exemplo, um agente pode ter suas preferências sobre cores expressa da seguinte forma:

Azul - 100  
 Amarelo - 50  
 Verde - 50  
 Vermelho - 10  
 Verde - 1

Ou seja, fica claro que este agente prefere azul a qualquer outra cor, assim como prefere igualmente amarelo ou verde. A vantagem de usar uma representação numérica é que as relações  $\geq$ ,  $>$  e  $\equiv$  podem ser facilmente derivadas. Além disso, estas relações são todas transitivas e a relação de preferência fraca ( $\geq$ ) é sempre completa.

A princípio, a representação numérica parece a melhor forma de representar preferências. Entretanto, é bastante difícil estabelecer um valor para expressar o quanto uma opção é melhor do que outra. Desse modo, qualquer associação pode parecer arbitrária. Pode-se representar duas opções pelos valores 11 e 10, ou pelos valores 1000 e 1. Ambas representações se traduzem na interpretação de que a primeira é melhor do que a segunda.

Por isso, muitas vezes a quantificação não é a forma ideal de representar preferências que, em geral, são qualitativas. Entretanto, há situações em que a representação de valores qualitativos através de números é suficiente para atender aos propósitos do sistema que se pretende modelar. É necessário avaliar se a representação quantitativa é capaz de incorporar o caráter qualitativo dos valores envolvidos.

Uma das associações mais diretas com a representação numérica é a representação monetária. No campo da economia, a preferência de um agente por uma alternativa está diretamente associada a quanto dinheiro este estaria disposto a desembolsar por ela.

#### 2.2.4 Funções de Utilidade

De um modo geral, as *funções de utilidade* fazem a associação entre cada alternativa possível (ou seqüência de alternativas) e um número real, indicando o quão boa esta alternativa é para o agente. Quanto maior o número, melhor é a alternativa, do ponto de vista do agente (WOOLDRIDGE, 2002).

Num primeiro momento, o conceito de utilidade é facilmente confundido com a representação monetária. No entanto, segundo Wooldridge, deve-se resistir à tendência em fazer essa associação. As funções de utilidade são somente uma forma de representar as preferências de um agente. Um exemplo apresentado por Wooldridge para ilustrar essa diferença entre utilidade e valor monetário é o seguinte: “suponha-se que eu possuo 500 milhões de dólares e você não possui nada. Um rico benfeitor está disposto a doar um milhão de dólares para um dos dois. Se eu receber o dinheiro, claro, haverá algum aumento na *utilidade* da minha situação. Porém não há muito que se possa fazer com 501 milhões que não se possa fazer com 500 milhões. Para você, no entanto, o aumento na utilidade da sua situação será enorme, pois se transformará de alguém sem um centavo em um milionário”.

Além disso, é importante levar em conta que a utilidade de um estado ou consequência está diretamente ligada ao conjunto de preferências do agente em questão. Voltando ao exemplo dado por Wooldridge: passar da pobreza para a riqueza, de modo geral, é considerado excelente, ou seja, uma ação de grande utilidade. No entanto, o agente em questão pode, por algum motivo, preferir ser pobre – se ele for um monge que fez votos de pobreza, por exemplo. Nesse caso, a utilidade de ficar rico, para ele, talvez seja até mesmo negativa.

As funções de utilidade podem inclusive representar um comportamento altruísta, bastando para isso que o bem-estar de outros agentes seja incluído como um dos fatores que contribuem para a utilidade do próprio agente (RUSSELL; NORVIG, 2003).

#### 2.2.5 Funções de Utilidade Multiatributo

Nem todos os problemas de decisão são influenciados por um único critério. Na maioria das decisões complexas, vários fatores precisam ser considerados, e a combinação das preferências em torno de cada um destes fatores. Esses casos são tratados através de *funções de utilidade multiatributo*.

O conjunto de atributos associados a uma decisão é denotado por um vetor

$$\vec{X} = X_1, \dots, X_n$$

e um vetor de valores desses atributos tem a forma

$$\vec{x} = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$$

Assume-se que cada um destes atributos possui um valor escalar discreto ou contínuo. Por simplicidade, é comum trabalhar com a asserção de que quanto maior for o valor do atributo, maior é a utilidade correspondente a este (RUSSELL; NORVIG, 2003).

### 2.2.5.1 Dominância

Considere-se o problema de escolher um prato em restaurante. Preocupa-se com quantidade de calorias, sabor e preço. Ora, se existe uma opção que é menos calórica, mais saborosa e mais barata do que todas as demais, o problema está resolvido, sem a necessidade de maiores análises. Quando existe uma alternativa  $S$  que tem valores mais altos do que as demais em todos os atributos, diz-se que há *dominância estrita* de  $S$  sobre as demais.

Essa abordagem funciona para o caso determinístico, mas na maioria dos problemas do mundo real não se sabe ao certo qual será o resultado de uma ação. Para estes casos, aplica-se a generalização deste conceito, a *dominância estocástica*. Nesse caso, não se trata de dominância entre valores e sim de dominância entre distribuições de probabilidade.

### 2.2.5.2 Combinação de preferências

Apesar de o conceito de dominância ser útil na redução do conjunto de alternativas, ainda assim é necessário uma forma de avaliar as alternativas restantes, considerando o conjunto de preferências do agente. Para o caso de decisão sob certeza, define-se seguinte função de valor, a qual é chamada de *função de valor aditiva*:

$$V(x_1, \dots, x_n) = \sum_i V_i(x_i),$$

onde  $V_i$  é a função de valor do agente em relação somente ao atributo  $X_i$ . Para que seja válida essa definição, é preciso que os atributos considerados apresentem *independência mútua de preferências*, o que significa que o valor de nenhum atributo tem influência na relação entre os demais atributos.

Já no caso de decisão sob incerteza, define-se uma *função de utilidade multiplicativa*, cuja natureza é sensivelmente mais complexa do que a funções de valor aditivas, uma vez que é preciso levar em conta a estrutura de preferências entre *loterias*. Além disso, os atributos devem apresentar *independência mútua de utilidade*, o que significa que cada subconjunto do conjunto de atributos considerado deve apresentar independência de utilidade para com todos os demais atributos. Em (RUSSELL; NORVIG, 2003) é apresentada a forma da função para três atributos, sendo que  $U_i$  representa  $U_i(x_i)$ :

$$U = k_1U_1 + k_2U_2 + k_3U_3 + k_1k_2U_1U_2 + k_2k_3U_2U_3 + k_3k_1U_3U_1 + k_1k_2k_3U_1U_2U_3$$

No capítulo que segue, será apresentada a união dos conceitos introduzidos no presente capítulo, através da aplicação dos conceitos da Teoria Sociológica de Piaget ao contexto dos sistemas multiagentes.

## 3 VALORES DE TROCA PIAGETIANOS EM SISTEMAS MULTIAGENTES

### 3.1 Introdução

Como demonstrado na seção 2.2, uma série de abordagens para a interação entre agentes faz uso de valores, muitas destas inspiradas nas teorias econômicas, com uma orientação quantitativa. Porém, fica claro que, em muitos casos, os valores quantitativos são somente uma forma de representar preferências ou *valores* que são, na realidade qualitativos. Outra vertente do uso de valores em sistemas multiagentes é inspirada em teorias sociais, e é nesta vertente que está focado este trabalho, mais especificamente no uso da Teoria Sociológica de Pequenos Grupos definida por Piaget, a qual é resumidamente apresentada na seção 2.1.

Os estudos que utilizam esta abordagem são bastante recentes, tendo sido publicado em 2002 o primeiro trabalho voltado para a aplicação desta teoria aos sistemas computacionais (COSTA, 2002). Nesse trabalho, é traçado um paralelo entre as trocas sociais definidas por Piaget e os modelos computacionais de produtor-consumidor e cliente-servidor. O primeiro é associado à etapa I da troca social, ou troca de tipo I, onde um sujeito presta serviço em benefício do outro. O segundo está de acordo com as trocas de tipo II, no qual um sujeito cobra do outro a realização de um serviço em troca de um crédito que possui. Além disso, são definidas as normas para o equilíbrio do sistema, dentro de um *estrutura formal normativa*. Esta, no caso dos sistemas multiagentes, pode ser aplicada tanto de forma global, determinando regras sociais que devem ser obedecidas por todos os agentes, quanto de forma local, através de acordos firmados entre os agentes em interação.

Baseado na estrutura normativa definida em (COSTA, 2002), construiu-se o desenho de um sistema de valores de troca para sistemas multiagentes, onde as idéias iniciais desenvolvidas foram estendidas e integradas a alguns dos modelos de interação multiagente mais utilizados, como o modelo de redes de contrato e o modelo baseado em dependências (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003; RODRIGUES; COSTA, 2003). Definiram-se uma álgebra de valores de troca e um mecanismo de raciocínio social baseado nos conceitos da teoria piagetiana, além das estruturas necessárias para armazenar e manipular os valores.

Em (DIMURO; COSTA, 2005; DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), o foco da discussão é trazido para a questão do equilíbrio nesse modelo de sociedade multiagente, sendo introduzido um novo elemento para a regulação dos valores de trocas nas sociedades multiagentes, chamado de *supervisor de equilíbrio*. Este elemento, que pode ser visto com um agente especial dentro do sistema, é responsável por fornecer aos demais agentes recomendações de valores a serem associados às trocas, de forma que o sistema

se mantenha em equilíbrio – ou desequilíbrio, conforme forem as normas da sociedade. Este indivíduo personifica o conjunto de normas sociais, porém os agentes têm a opção de seguir ou não suas recomendações. Definem-se aí dois tipos de agentes, os agentes obedientes e os agentes desobedientes. Mostra-se através de simulação que, usualmente, é necessário que os agentes obedeçam ao supervisor em cerca de 50% das trocas realizadas para que o sistema mantenha-se próximo do equilíbrio. O processo de tomada de decisão do supervisor baseia-se num Processo de Decisão de Markov (MDP - *Markov Decision Process*) para cálculo dos valores recomendados. Além disso, os valores de troca são modelados como intervalos reais, o que torna a representação mais próxima de sua natureza qualitativa.

No modelo inicialmente definido em (DIMURO; COSTA, 2005) os valores propostos pelo supervisor não são levados em conta pelos agentes na decisão de obedecê-lo ou não. Numa evolução deste modelo (DIMURO et al., 2006a,b), os agentes apresentam diferentes traços de personalidade, tanto no que diz respeito ao seu grau de obediência ao supervisor quanto ao possível benefício que este pode obter em uma troca.

Nas seções que seguem, são apresentados os principais conceitos de cada um dos mecanismos que compõem o conjunto de estudos sobre a aplicação da Teoria Sociológica de Piaget aos sistemas multiagentes.

## 3.2 Sistema de Valores de Trocas

Em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003), é apresentada uma primeira proposta para criação de um sistema de valores de troca para sociedades multiagentes. Para tanto, são definidos três elementos:

- uma *álgebra de valores de troca*, que especifica como os valores de troca devem ser armazenados e manipulados;
- um *mecanismo de raciocínio social*, de acordo com o qual se dão as trocas sociais entre os membros da sociedade;
- um conjunto de *estruturas* para armazenamento e manipulação dos valores envolvidos nas trocas.

### 3.2.1 Representação dos Valores de Troca

No modelo proposto em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003), os valores são representados por números inteiros, positivos ou negativos. Apesar de se utilizar uma representação numérica (quantitativa) para os valores de troca, esses são tratados de forma qualitativa, sendo considerada somente a relação de ordem entre valores, e nunca a quantidade da diferença entre dois valores no processo de tomada de decisão do agente.

Propõe-se que cada agente armazene quatro tipos valores, de acordo com os momentos da troca social identificados por Piaget:  $r$ ,  $s$ ,  $t$  e  $v$ . Para cada um dos pares com quem interage, o agente armazena um vetor  $\{r; s; t; v\}$ , o qual é atualizado a cada interação subsequente com o mesmo par. Assim, a partir do momento em que um agente  $\alpha$  interage pela primeira vez com o agente  $\alpha'$ , o primeiro cria uma representação interna da sua relação com o segundo, composta pelos vetores  $\Delta_I V_{\alpha\alpha'}$  e  $\Delta_{II} V_{\alpha\alpha'}$ , um para cada etapa do processo de troca. O agente  $\alpha'$  por sua vez, passa a armazenar os vetores  $\Delta_I V_{\alpha'\alpha}$  e  $\Delta_{II} V_{\alpha'\alpha}$ . Desse modo, é possível analisar o estado de equilíbrio ou desequilíbrio entre um par de agentes apenas através da análise destes vetores.

### 3.2.2 Manipulação dos Valores

A cada etapa de troca realizada entre um par de agentes  $\alpha$  e  $\alpha'$ , é gerada uma variação nos seus vetores  $\Delta_I V$  ou  $\Delta_{II} V$ . Por exemplo, supondo que  $\alpha$  preste um serviço a  $\alpha'$ , numa etapa de troca do tipo I. Uma vez que o valor  $r$  representa a renúncia do agente  $\alpha$ , este tem uma variação negativa no valor  $r$  do vetor  $\Delta_I V_{\alpha\alpha'}$ . Já o agente  $\alpha'$ , que obteve uma determinada satisfação com a realização de um serviço por  $\alpha$  em seu benefício, tem uma variação positiva – desde que o agente tenha ficado, de fato, satisfeito – no valor  $s$  do seu vetor  $\Delta_I V_{\alpha'\alpha}$ . Da mesma forma ocorre com os demais valores. Desse modo, foi definido em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003) que as formas gerais da variação de valores nesses vetores são as seguintes, onde  $m$  e  $n$  são valores inteiros:

Etapa I:

$$\Delta_I V_{\alpha\alpha'} = (\Delta r = -m_I; \Delta s = 0; \Delta t = 0; \Delta v = +n_I)$$

$$\Delta_I V_{\alpha'\alpha} = (\Delta r = 0; \Delta s = +m'_I; \Delta t = -n'_I; \Delta v = 0)$$

Etapa II:

$$\Delta_{II} V_{\alpha\alpha'} = (\Delta r = 0; \Delta s = +s_{II}; \Delta t = 0; \Delta v = +n_{II})$$

$$\Delta_{II} V_{\alpha'\alpha} = (\Delta r = -m'_{II}; \Delta s = 0; \Delta t = +n'_{II}; \Delta v = 0)$$

### 3.2.3 Estruturas de Informação

Além dos vetores de trocas armazenados pelos agentes, que registram o estado atual de créditos e débitos entre estes, uma série de estruturas complementares compõem o sistema de valores de trocas proposto, as quais devem estar presentes para que seja possível ao agente executar o mecanismo de raciocínio social apresentado em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003; RODRIGUES; COSTA, 2003). As mesmas são descritas a seguir.

#### 3.2.3.1 Composição da Sociedade

Consiste nos agentes que fazem parte da sociedade, seus objetivos, seus planos e as ações que cada um destes é capaz de realizar. Estas informações são necessárias para que o agente calcule suas relações de dependência com os demais, buscando interagir com estes de modo a realizar seus planos alcançar seus objetivos. Em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003) é proposto o uso de uma estrutura global, à qual todos os agentes têm acesso, contendo estas informações, porém com a ressalva de que o excesso de simplificação desta abordagem pode comprometer a fidelidade dos resultados de uma simulação em relação à situação real. Uma alternativa seria dotar os agentes de mecanismos de aquisição de conhecimento ao longo da execução do sistema.

#### 3.2.3.2 Vetor de variação dos valores de troca

Para cada par de agentes, consiste no conjunto dos quatro vetores de variação de valores de troca definidos previamente:  $(\Delta_I V_{\alpha\alpha'}; \Delta_{II} V_{\alpha\alpha'}; \Delta_I V_{\alpha'\alpha}; \Delta_{II} V_{\alpha'\alpha})$

#### 3.2.3.3 Estado dos valores de troca

O estado de valores de troca consiste no conjunto de valores ( $V_{\alpha\alpha'}$  ou  $V_{\alpha'\alpha}$ ) acumulados pelos agentes ao longo da sua interação com os demais agentes. Com esta informação, os agentes são capazes de identificar os créditos e débitos que possuem uns para com os

outros. Sendo uma informação cumulativa, a mesma deve ser atualizada a cada troca realizada com a informação contida nos vetores de variação dos valores de troca. A tabela 3.1 ilustra essa estrutura.

Tabela 3.1: Tabela de estado de valores para o agente  $\alpha$

Parceiro	$r$	$s$	$t$	$v$
$\alpha'$	$V_{\alpha\alpha'}(r)$	$V_{\alpha\alpha'}(s)$	$V_{\alpha\alpha'}(t)$	$V_{\alpha\alpha'}(v)$
$\alpha''$	$V_{\alpha\alpha''}(r)$	$V_{\alpha\alpha''}(s)$	$V_{\alpha\alpha''}(t)$	$V_{\alpha\alpha''}(v)$

#### 3.2.3.4 Histórico de Trocas

O histórico de trocas de um agentes armazena todas as trocas realizadas durante a evolução da sociedade. Cada entrada deste histórico contém o instante em que a troca ocorreu, a ação (serviço) que foi executada ou recebida pelo agente e os vetores de variação envolvidos na troca. Esta informação permite uma análise de longo prazo sobre a dinâmica dos valores de troca durante a simulação. A forma desta estrutura é demonstrada tabela 3.2. Fica subentendido que, de acordo com o tipo de troca realizado, o vetor que sofre alteração é  $\Delta_I V_{\alpha\alpha'}$  e  $\Delta_I V_{\alpha'\alpha}$

Tabela 3.2: Tabela do histórico de trocas para o agente  $\alpha$

Tempo	Parceiro	Ação	$\Delta r$	$\Delta s$	$\Delta t$	$\Delta v$
t1	$\alpha'$	a1	$\Delta V_{\alpha\alpha'}(r)$	$\Delta V_{\alpha\alpha'}(s)$	$\Delta V_{\alpha\alpha'}(t)$	$\Delta V_{\alpha\alpha'}(v)$
t2	$\alpha''$	a2	$\Delta V_{\alpha\alpha''}(r)$	$\Delta V_{\alpha\alpha''}(s)$	$\Delta V_{\alpha\alpha''}(t)$	$\Delta V_{\alpha\alpha''}(v)$

#### 3.2.3.5 Conjunto de Normas e Acordos

O conjunto de normas e acordos define a dinâmica de trocas que se desenvolverá na sociedade. No modelo proposto em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003), o mesmo é estabelecido durante o processo de troca pelos agentes envolvidos, para garantir a conservação dos valores de troca ao longo do tempo. Entretanto, é possível considerar também a existência um conjunto de normas definido *a priori* por alguma entidade “superior” da organização social. Um exemplo disso são as leis – normas de equilíbrio jurídico – e a moral, discutidas na seção 2.1.

#### 3.2.3.6 Estratégias de troca

Cada agente pode ter sua própria estratégia de troca, ou seja, um conjunto de regras e critérios utilizados pelo agente na hora de escolher seus parceiros de interação e de elaborar propostas troca. A estratégia do agente deve estar associada aos seus objetivos e/ou planos, de forma que suas interações o levem a se aproximar cada vez mais do estado de valores desejado. Uma estratégia, no contexto proposto, consiste na definição de uma opção para cada uma das seguintes situações:

- Quando o agente está ocioso: este pode oferecer ou não serviços para os demais agentes. Caso a estratégia seja de oferecer serviço, deve haver um critério para seleção e ordenação de parceiros;
- Quando o agente precisa de um serviço: este deve definir quais os critérios de seleção e ordenação de parceiros;

- Oferta ou não de supervalorização de crédito como vantagem;
- Normas associadas a cada tipo de proposta recebida;
- Forma de análise das propostas recebidas.

### 3.2.4 Mecanismo de raciocínio social

O mecanismo de raciocínio social proposto em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003) é orientado no sentido de atender aos dois principais objetivos do sistema de valores de troca projetado: (i) prover uma forma de regulação e continuidade das trocas sociais, através da formulação de regras legais e morais e (ii) orientar o processo de planejamento e decisão dos agentes, através do uso de estratégias orientadas aos valores de trocas.

Este mecanismo divide o processo de raciocínio social em três fases:

1. Antes da troca: Neste momento o agente faz um cálculo sobre valores para escolher os tipos de propostas e de agentes mais adequados para atingir o estado de valores desejado e os pares mais suscetíveis a aceitarem estas propostas.
2. Durante a troca: é quando ocorre uma das etapas de troca (I ou II) conceituadas por Piaget, seguindo a seqüência de ações definida para cada uma destas etapas. O tipo de troca a se realizar depende do tipo de proposta que foi feita no estágio anterior do processo. Nesta etapa são calculadas as variações dos valores na troca atual.
3. Após a troca: Nessa etapa são atualizadas as estruturas de informação dos agentes de acordo com as variações calculadas na etapa anterior, incluindo atualizações no estado de valores e no histórico de trocas, bem como o armazenamento de novos acordos, caso estes tenham sido estabelecidos.

A escolha do agente sobre o tipo de troca a ser realizado se dá entre cinco tipos fundamentais de trocas:

1. Requisitar um serviço em troca de outro serviço imediato, ou seja, a realização de um ciclo de troca completo, com duas etapas;
2. Requisitar um serviço em troca de crédito, isto é, a realização de uma etapa de troca do tipo I;
3. Requisitar um serviço em troca em um crédito previamente adquirido, o que consiste na realização de uma etapa de troca do tipo II;
4. Requisitar um serviço em troca de um crédito supervalorizado; este tipo também implica na realização de uma etapa do tipo I, porém a proposta tem maior valor de persuasão dada a supervalorização do crédito prometido.
5. Oferecer um serviço em troca de crédito, isto é, realiza-se uma etapa de troca também de tipo II.

### 3.2.5 Elementos Especiais

Para a construção de um sistema multiagente contendo um sistema de valores de troca, alguns elementos especiais devem ser definidos pelo projetista do sistema, em função dos seus objetivos:

- Normas: as normas são necessárias para a regulação e para a continuidade das trocas ao longo do tempo, pois geram compromissos entre os agentes. Uma norma pode ser tanto coletiva, valendo para toda a sociedade, quanto individual, quando é estabelecida através de um acordo entre os agentes envolvidos;
- Punições: para que seja efetiva a influência das normas dentro de qualquer sistema, é preciso que se estabeleçam punições correspondentes ao não cumprimento das normas estabelecidas. De outro modo, um agente poderia simplesmente desobedecer às normas sempre que isso representasse um benefício aos seus objetivos.
- Informação sobre outros agentes: a forma como a informação sobre os demais agentes estará disponível a um agente em particular pode ser tanto através de estruturas globais quanto através de acesso direto às estruturas destes agentes, como seus estados de valores, serviços que são capazes de realizar, etc.
- Escala de valores quantitativa: conforme determinado por Piaget, é necessário que os participantes de uma troca social compartilhem da mesma escala de valores, para que possa existir equilíbrio entre os mesmos. A sugestão dada é a composição desta escala através de dois critérios básicos de avaliação: custo do serviço e urgência do serviço. Quanto maior for o primeiro e menor for o segundo, menor será o valor de uma ação na escala de valores do agente.

#### 3.2.5.1 Discussão

O modelo proposto em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003; RODRIGUES; COSTA, 2003) trouxe valiosa contribuição para a aplicação da teoria sociológica piagetiana aos sistemas multiagentes, demonstrando inclusive como este pode ser integrado a dois modelos de interação já tradicionais na área, o modelo de redes de contrato e o modelo baseado em dependências. A partir deste modelo, o projetista de um sistema multiagente tem à sua disposição todas as ferramentas necessárias para o desenho de um sistema multiagente baseado em valores de troca sociais.

Uma característica deste modelo é que o mesmo restringe-se ao aspecto moral das trocas sociais. A opção do agente por não honrar suas dívidas, por exemplo, provoca a desvalorização dos créditos do mesmo, causando dano à sua imagem perante seus pares. O foco do equilíbrio de ordem moral diz respeito à somente às trocas de tipo *I*.

Nas seções seguintes, apresentam-se os trabalhos que avançam o desenvolvimento do modelo de trocas sociais em SMAs baseada em valores de troca, focando principalmente na questão do equilíbrio jurídico da sociedade, relativo às normas presentes na mesma.

### 3.3 Supervisor de Trocas Sociais

Nesta seção, é apresentado o modelo de sociedade multiagente proposto em (DIMURO; COSTA, 2005; DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), no qual é introduzido o conceito de um elemento *supervisor de trocas*, capaz de regular a interação entre os agentes, a qual se dá com base na Teoria Sociológica de Piaget.

### 3.3.1 Estrutura da Organização Social

#### 3.3.1.1 Conceitos básicos

Dentro do contexto considerado, conforme definido em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), a *organização* de uma sociedade  $S$ , em um dado instante  $t$ , pode ser concebida como uma estrutura da forma

$$O_S^t = (A_S^t, E_S^t),$$

onde  $A_S^t$  é o conjunto de agentes da sociedade no instante  $t$ , e  $E_S^t \subseteq A_S^t \times A_S^t$  é o conjunto de trocas sociais que estão ocorrendo neste instante. Uma vez que se leve em conta apenas uma sociedade, cuja estrutura permanece constante durante sua existência, os índices  $t$  e  $S$  podem ser omitidos.

Para que a estrutura da sociedade mantenha-se estável, por um período razoável de tempo, identificam-se quatro elementos importantes, necessários para garantir uma *organização invariante*:

- *Funções sociais* – são os serviços que os agentes prestam em favor de outros agentes na sociedade, e que justificam a existência da mesma;
- *Papéis sociais* – são o elemento relacional que estabelece a ligação entre os agentes, as funções sociais que executam e o comportamento que devem ter para que possam executar tais funções de forma adequada;
- *Valores de troca* – são os meios através dos quais os serviços que um agente presta são avaliados pelos demais membros da sociedade;
- *Regras sociais* – são os meios através dos quais os agentes são obrigados a se comportar de determinadas formas, e são proibidos de se comportar de outras.

#### 3.3.1.2 Definição formal

Além dos elementos básicos de uma organização social, apontados na seção anterior, uma série de outros elementos se faz necessário para que se possa registrar e analisar o comportamento da sociedade. Assim, define-se a *organização* de um sociedade como uma estrutura  $O = (A, F, Ro, E, BV, Ru)$ , onde:

- $A$  é o conjunto de *agentes*;
- $F$  é o conjunto de *serviços* que os agentes, ou grupos de agentes, provêm uns aos outros;
- $Ro$  é o conjunto de *papéis sociais* aos quais os agentes podem estar associados;
- $E$  é o conjunto de *trocadas sociais* que os agentes podem realizar;
- $BV$  é o conjunto de *balanços de valores de trocas* que suportam as várias formas através das quais os agentes podem avaliar as trocas sociais;
- $Ru$  é o conjunto de *regras sociais* que regulam o comportamento dos agentes.

Além dos elementos básicos de uma organização social, são acrescentados ainda alguns elementos complementares, para que se possa explicar a dinâmica da organização social:

- O conjunto  $IBeh$  de todos os possíveis *comportamentos individuais* dos agentes da sociedade; o conjunto de comportamentos individuais de um agente, dado por  $IB : A \rightarrow IBeh$ ;
- A forma com que o conjunto de possíveis trocas se relaciona com o subconjunto de agentes que podem realizá-las entre si, dada por  $Cap : \mathcal{P}(A) \rightarrow E$ ;
- A forma com que cada função social é implementada por um conjunto de agentes na forma de uma troca social, dada por  $I : F \times \mathcal{P}(A) \rightarrow E$ ;
- A forma com que cada papel social determina o comportamento individual do agente ao qual está associado, em relação ao desempenho de uma função social, dada por  $P : F \times Ro \rightarrow IBeh$ ;
- A forma com que cada agente avalia o desempenho de uma troca, dada por  $Ev : E \times A \rightarrow BV$ ;
- A forma com que cada regra social determina os comportamentos *permitidos* (p), *obrigatórios* (o) e *proibidos* (f) dos agentes em uma troca social, de acordo com o balanço dos valores de troca associados à troca social entre eles, dada por  $Ru : F \times A \times E \rightarrow \mathcal{P}(IBeh \times \{\mathbf{p}, \mathbf{o}, \mathbf{f}\})$ .

### 3.3.2 Dinâmica da Troca de Valores

Em todo sistema onde se possa definir a noção de *equilíbrio*, automaticamente se aplicam os conceitos de *desvio* e *compensação*. Enquanto o primeiro conduz o sistema do estado de equilíbrio para um estado de desequilíbrio, o segundo, inversamente, conduz o sistema em desequilíbrio de volta ao equilíbrio.

As *regras sociais* estabelecem, para cada estado de desequilíbrio, um tipo de ação que deve ser executada para que o equilíbrio seja restabelecido. Nesse sentido, dois tipos de ações compensatórias são possíveis: punição e reciprocção. No modelo de Piaget, a base para a compensação é a reciprocção, ou seja, a obrigação de um agente em desempenhar um serviço em favor de outro agente, como forma de compensá-lo pelo serviço que este último prestou a ele no passado.

### 3.3.3 A Figura do Supervisor de Equilíbrio Social

A figura do *supervisor* numa sociedade de agentes é a implementação do conjunto de regras jurídicas – de acordo com a diferenciação de Piaget entre normas morais e jurídicas, apresentado na seção 2.1.3 – definidas para esta sociedade. Em função do desequilíbrio presente na sociedade, o supervisor recomenda aos agentes que a compõe a execução de ações para que o sistema retorne ao equilíbrio. Entretanto, no modelo em estudo os agentes podem decidir livremente entre obedecer ou rejeitar a recomendação do supervisor de trocas.

#### 3.3.3.1 Representação Intervalar dos Valores de Troca

Conforme a seção 2.1.1.1, os valores com que a Teoria de Piaget trabalha são valores *qualitativos*. Em trabalhos anteriores, como (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003), estes valores são representados por números inteiros, mas mantendo as restrições operatórias que os caracterizam como qualitativos. Já em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), é proposta uma notação intervalar para a representação dos mesmos, o que permite

que a comparação entre valores seja mais flexível e, desta forma, capturando de forma mais aproximada a natureza qualitativa dos mesmos. Para tanto, propõe-se uma *escala intervalar de valores qualitativos*. Seja o conjunto:

$$\mathbb{I}\mathbb{R}_L = \{[a, b] \mid -L \leq a \leq b \leq L, a, b \in \mathbb{R}\}$$

o qual é limitado por  $L > 0 \in \mathbb{R}$ . Define-se então uma escala intervalar de valores qualitativos como

$$\mathcal{I}\mathcal{R}_L = (\mathbb{I}\mathbb{R}_L, +, \Theta, \sim, \approx),$$

onde:

(i)  $+$  :  $\mathbb{I}\mathbb{R}_L \times \mathbb{I}\mathbb{R}_L \rightarrow \mathbb{I}\mathbb{R}_L$  é a operação de adição, dada por

$$[a, b] + [c, d] = [\max\{-L, a + c\}, \min\{b + d, L\}];$$

(ii) Um *valor nulo*  $\Theta \in \mathbb{I}\mathbb{R}_L$  é qualquer intervalo  $[a, b]$  tal que  $\text{mid}([a, b]) = 0$ , onde  $\text{mid}([a, b]) = \frac{a+b}{2}$  é o ponto médio de  $[a, b]$ ;

(iii)  $0 = [0, 0]$  é o *valor nulo absoluto*;

(iv) Um *valor quase-simétrico* para  $X \in \mathbb{I}\mathbb{R}_L$  é qualquer intervalo  $\tilde{X}$  tal que  $X + \tilde{X} = \Theta$ ;

(v)  $\approx$  é a *relação de equivalência qualitativa*, definida por

$$X \approx Y \Leftrightarrow X + \tilde{Y} = \Theta.$$

### 3.3.3.2 Modelagem das Trocas Sociais

Cada um dos valores definidos por Piaget ( $r, s, t$  e  $v$ ) é representado em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005) como um intervalo em  $\mathbb{I}\mathbb{R}_L$ , denotado por  $k_{N\alpha\alpha'}^t$ , onde:

- $t$  é o instante de tempo em que o valor se dá;
- $k \in \{r, s, t, v\}$  caracteriza o valor como sendo de investimento, satisfação, débito ou crédito;
- $N \in \{I, II\}$  define se o valor está sendo trocado no contexto de tipo  $I$  (etapa  $I$ , de acumulação de valores materiais) ou de tipo  $II$  (etapa  $II$ , de realização de valores virtuais);
- $\alpha$  é o agente que atribui o valor considerado, no instante  $t$ ;
- $\alpha'$  é o agente alvo da valorização realizada no instante  $t$ .

Assim, o valor  $s_{I\beta\alpha}^t$  representa o valor intervalar de *satisfação* do agente  $\beta$  para com o agente  $\alpha$  em uma troca de tipo  $I$ , no instante  $t$ .

Além disso, define-se o símbolo  $\perp$  para representar um valor de troca indefinido. Se  $r_{I\alpha\beta}^t = \perp$ , significa que o agente  $\alpha$  não realizou nenhum serviço em favor de  $\beta$  no instante  $t$  e, portanto, não houve troca do tipo  $I$ . Conseqüentemente, os demais valores de tipo  $I$  apresentam também o valor  $\perp$  em  $t$ . O mesmo vale para o valor  $v_{II\alpha\beta}^t$ : se este é igual a  $\perp$  no instante  $t$ , significa que não houve cobrança de crédito da parte de  $\alpha$  para  $\beta$  e, portanto, não ocorreu troca do tipo  $II$  entre  $\alpha$  e  $\beta$ . Assim, os demais valores do tipo  $II$

apresentam o valor  $\perp$  em  $t$ . Por fim, define-se que no mesmo instante  $t$ , somente um dos valores  $r_{I\alpha\beta}^t$  e  $v_{II\alpha\beta}^t$  pode ser diferente de  $\perp$ , o que significa que o agente  $\alpha$  não pode prestar um serviço para  $\beta$  e, simultaneamente, cobrar-lhe um crédito.

A noção de *equilíbrio* entre um par de agentes num espaço de tempo considerado,  $T$ , é definida segundo o somatório de seus valores, denotado por  $\mathbf{g}$ , sendo

$$\mathbf{g}_{\alpha\beta}^T = \sum k_{I\alpha\beta}^T + \sum k_{II\alpha\beta}^T,$$

$$\mathbf{g}_{\beta\alpha}^T = \sum k_{I\beta\alpha}^T + \sum k_{II\beta\alpha}^T,$$

onde  $k_{N\alpha\beta}^T = \sum_{t \in T} k_{N\alpha\beta}^t$ . De forma análoga, define-se  $k_{N\beta\alpha}^T$ . Para que o processo de trocas sociais decorrido durante o período  $T$  entre os agentes  $\alpha$  e  $\beta$  esteja em equilíbrio, é preciso que

$$\mathbf{g}_{\alpha\beta}^T \approx_{\epsilon} \Theta_{\epsilon} \wedge \mathbf{g}_{\beta\alpha}^T \approx_{\epsilon} \Theta_{\epsilon}$$

Onde  $\epsilon \geq 0 \in \mathbb{R}$  representa a *tolerância* considerada. O estabelecimento de um intervalo de tolerância  $[-\epsilon, \epsilon]$  determina o desvio em relação a zero que o centro de um intervalo pode ter, e ainda assim seja considerado nulo – referido como  $\epsilon$ -nulo. Em função disso, define-se a relação de equivalência  $\approx_{\epsilon}$ , que leva em conta esta tolerância. Isto permite maior flexibilidade nas comparações, o que é importante para aproximar a representação intervalar dos valores de sua natureza qualitativa.

### 3.3.3.3 Representação dos Estados da Sociedade

A generalização da representação das trocas sociais, de dois para  $n$  agentes, se dá através da definição de uma notação matricial. Uma  $\star$ -matriz intervalar  $m \times m$ , da forma  $[x_{ij}]^{\star}$  é definida como uma matriz intervalar  $[x_{ij}]$ , onde  $x_{ij} = \star$  sempre que  $i = j$ . Nesse contexto, definem-se

(i) a operação de *adição*:  $X + Y = [x_{ij} + y_{ij}]^{\star}$

(ii) a *relação de equivalência qualitativa (mod  $\epsilon$ )*:  $X \approx_{\epsilon} Y \Leftrightarrow (\forall i \neq j) x_{ij} \approx_{\epsilon} y_{ij}$

Em um sistema multiagente composto por  $m$  agentes, a configuração dos valores de troca durante um período  $T$  pode ser representada por oito  $\star$ -matrizes intervalares  $m \times m \times \#T$

$$K_N = [k_{N\alpha\beta}^t]^{\star}$$

denominadas matrizes de *investimento* ( $K = R$ ), *satisfação* ( $K = S$ ), *débito* ( $K = T$ ) e *crédito* ( $K = V$ ), para os estágios  $N = I$  e  $N = II$ .

Para um período  $T = t_1, \dots, t_n$ , as matrizes *globais* são dadas por:

$$K_N^T = \sum_{t=t_1}^{t_n} K_N^t.$$

O balanço das trocas do tipo  $N \in \{I, II\}$  realizadas no período  $T$  é dado por:

$$B_N^T = (R_N^T, S_N^T | T_N^T, V_N^T),$$

onde separam-se os valores *reais* contidos nas matrizes  $R$  e  $S$  dos valores *virtuais* contidos nas matrizes  $T$  e  $V$ . O balanço geral de trocas do sistema no período  $T$  é dado por:

$$B^T = (R^T, S^T \mid T^T, V^T),$$

onde  $K^T = K_I^T + K_{II}^T$ .

Os resultados materiais, virtuais e gerais do processo de trocas são dados, respectivamente, por

$$\mathbf{M}^T = R^T + S^T,$$

$$\mathbf{V}^T = T^T + V^T,$$

$$\mathbf{G}^T = \mathbf{M}^T + \mathbf{V}^T$$

Assim, diz-se que um sistema multiagente está em equilíbrio se

$$\mathbf{G}^T \approx_\epsilon [\Theta_\epsilon]^*,$$

onde  $[\Theta_\epsilon]^*$  é uma  $\star$ -matriz intervalar cujas entradas são todas valores  $\epsilon$ -nulos. Diz-se que o sistema está em *equilíbrio material* se

$$\mathbf{M}^T \approx_\epsilon [\Theta_\epsilon]^*,$$

Se um processo de trocas sociais encontra-se em desequilíbrio material, é possível definir uma  $\star$ -matriz intervalar  $\mu\tilde{M}_\epsilon^T$ , onde cada entrada é um intervalo compensatório da entrada correspondente em  $M^T$ , de modo que

$$M^T + \mu\tilde{M}_\epsilon^T \approx_\epsilon [\Theta_\epsilon]^*.$$

### 3.3.3.4 Resolução do Equilíbrio

A solução proposta para o problema do equilíbrio em sociedades multiagentes por (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), conforme mencionado, consiste na introdução de um elemento denominado *supervisor de trocas sociais*, o qual analisa o processo de trocas entre cada par de agentes com o objetivo de manter os resultados materiais em equilíbrio. Os resultados virtuais servem de base para a decisão do supervisor sobre qual tipo de troca,  $I$  ou  $II$ , este deve sugerir aos agentes para que o equilíbrio seja restabelecido.

Para alcançar este propósito, o supervisor modela o processo de trocas entre cada par de agentes como MDPs simultâneos, nos quais os *estados* são “os possíveis resultados materiais das sociedade como um todo” e as *políticas ótimas* são as “seqüências de ações que o supervisor de equilíbrio recomenda que os agentes executem”.

### 3.3.3.5 Processo de Decisão de Markov Qualitativo Intervalar

Para definição do MDP para modelagem do problema do equilíbrio em sistemas multiagentes, são definidos por (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005) alguns conceitos auxiliares, os quais são introduzidos brevemente a seguir.

Os estados do modelo são classes de intervalos que representam os resultados materiais do processo de trocas sociais. Considere-se um tolerância  $\epsilon \geq 0$ , uma fronteira  $L > 0$  para o conjunto de intervalos reais  $\mathbb{IR}_L$ , e o conjunto de  $2n + 1$  classes de equivalência dos

intervalos  $X \in \mathbb{IR}_L$ ,  $\hat{E} = \{E^{-n}, \dots, E^{-1}, E^0, E^1, \dots, E^n\}$ , definido para  $i = -n, \dots, n$  como

$$E^i = \begin{cases} \{X | i\frac{L}{n} \leq \text{mid}(X) < (i+1)\frac{L}{n}\} & \text{se } -n \leq i < -1 \\ \{X | -\frac{L}{n} \leq \text{mid}(X) < -\epsilon\} & \text{se } i = -1 \\ \{X | -\epsilon \leq \text{mid}(X) \leq +\epsilon\} & \text{se } i = 0 \\ \{X | \epsilon < \text{mid}(X) \leq \frac{L}{n}\} & \text{se } i = 1 \\ \{X | (i-1)\frac{L}{n} < \text{mid}(X) \leq i\frac{L}{n}\} & \text{se } 1 < i = n \end{cases}$$

Estas classes são as representações do supervisor para resultados materiais *desfavoráveis* ( $i < 0$ ), *equilibrados* ( $i = 0$ ) e *favoráveis* ( $i > 0$ ). A *precisão* do supervisor é dada por  $k_n = \frac{L}{n}$ .

As *ações* consideradas no modelo são transições de estados entre estas matrizes compostas por classes de resultados materiais:

$$[A_{\alpha\beta}^i] : [E_{\alpha\beta}^i] \rightarrow [E_{\alpha\beta}^{i'}].$$

Estas ações podem ser de um dos três tipos a seguir:

- (i) um *intervalo compensatório*, que é o quase-simétrico mínimo de  $E^i$ , denotado por  $C^i$ ;
- (ii) um *intervalo go-forward-k-step*, denotado por  $F_k^i$  que transforma uma classe  $E^i$  em  $E^{i+k \neq 0}$ , com  $i \neq L$
- (iii) um *intervalo go-back-k-step*, denotado por  $B_k^i$  que transforma uma classe  $E^i$  em  $E^{i-k \neq 0}$ , com  $i \neq -L$

Para cada estado  $[E^i]^*$  o supervisor de equilíbrio deve encontrar a ação que atinge o estado terminal – denotado por  $[E^0]^*$  – ou, pelo menos, um estado a partir do qual o estado de equilíbrio possa ser alcançado. As tabelas que especificam a construção de cada tipo de intervalo são apresentadas em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005).

De posse dos conceitos introduzidos, é possível enunciar a seguinte definição: um *Processo de Decisão de Markov Qualitativo Intervalar* (QI-MDP) para a manutenção do equilíbrio de trocas sociais em um sistema multiagente com  $m$  agentes é uma tupla  $\langle E, A, F, R \rangle_{\epsilon}^{L,n}$ , onde:

- (i) O conjunto de estados do modelo é o conjunto de  $\star$ -matrizes  $m \times m$

$$\mathbf{E} = \{[E_{\alpha\beta}^i]^* \mid E_{\alpha\beta}^i \in \hat{E}\}$$

de classes de resultados materiais;

- (ii) O conjunto de ações do modelo é o conjunto de  $\star$ -matrizes  $m \times m$

$$\mathbf{A} = \{[A_{\alpha\beta}^i]^* \mid E_{\alpha\beta}^i \in \mathcal{C} \cup \mathcal{F} \cup \mathcal{B}\}$$

de intervalos de *compensação* ( $\mathcal{C}$ ), *avanço* (*go-forward*,  $\mathcal{F}$ ) e *retrocesso* (*go-backward*,  $\mathcal{B}$ );

- (iii)  $\mathbf{F} : \mathbf{E} \times \mathbf{A} \rightarrow \Pi(\mathbf{E})$  é a função de transição de estados, que retorna, para cada estado e cada ação, uma distribuição de probabilidades sobre o conjunto de estados;

- (iv)  $\mathbf{R} : \mathbf{E} \times \mathbf{A} \rightarrow \mathbb{R}$  é a função de ganho, que retorna o ganho imediato esperado ao escolher a ação  $[A_{\alpha\beta}^i]^*$  quando o estado atual do modelo é  $E_{\alpha\beta}^i$ .

Em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005) é apresentada uma função de recompensa e uma política ótima para a solução do QI-MDP, além de um operador de *recomendação do valor ótimo*. De posse destes mecanismos o supervisor de trocas sociais é capaz de avaliar o estado atual do processo de trocas e recomendar, para cada par de agentes:

- O tipo de troca que os agentes devem efetuar entre si, se do tipo *I* ou tipo *II*, respeitando as restrições do modelo de trocas estabelecido por Piaget. Um agente não pode, por exemplo atribuir um valor de satisfação  $s$  se não houver um valor  $r$  não-nulo indicando que outro agente prestou um serviço ao primeiro;
- Os valores  $r$ ,  $s$ ,  $t$  e  $v$  que devem ser trocados entre os agentes, para que estes atinjam o estado recomendado pela política.

### 3.3.4 Agentes dotados de comportamentos diferenciados

A presença da figura do supervisor de trocas em uma sociedade multiagente não implica que os agentes precisam seguir as recomendações do supervisor. Este tem a função de determinar as trocas a serem realizadas para que o sistema se mantenha em um estado de equilíbrio – ou de desequilíbrio, conforme forem as regras que reflitam a natureza da sociedade.

Em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005) sugere-se, como desenvolvimento do modelo proposto, a classificação de agentes em duas categorias, agentes *obedientes*, que sempre seguem a recomendação do supervisor e agentes *desobedientes*, que podem ou não seguir as recomendações do supervisor. Estes últimos ainda podem apresentar os seguinte padrões de comportamento:

1. O *agente egoísta* sempre segue as recomendações do supervisor quando as trocas recomendadas podem lhe proporcionar benefício material, mas há uma grande chance de que ele não as siga em caso contrário;
2. O *agente altruísta* sempre segue as recomendações do supervisor quando as trocas recomendadas não lhe trazem benefício material, mas há uma grande chance de que ele não as siga em caso contrário;
3. O *agente totalmente desobediente* nunca segue as recomendações do supervisor.

Para a análise teórica realizada em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), considera-se a composição de sociedades somente com agente obedientes. Ainda assim, as recomendações do supervisor nem sempre atingem os resultados esperados por este, pois a natureza qualitativa dos valores de troca torna o problema de decisão não-trivial. Podem ser necessários até quatro passos de trocas para que o sistema atinja o estado de equilíbrio. São apresentados também resultados experimentais, em que os agentes obedecem ao supervisor somente durante parte das trocas, demonstrando-se que ainda que a atuação do supervisor seja parcial, o sistema aproxima-se do equilíbrio.

O modelo QI-MDP definido pode ser aplicado não só ao problema da coordenação das interações sociais em sistemas multiagentes, mas também a outros problemas que apresentem um único estado de equilíbrio, pois sua definição é suficiente genérica para tanto.

### 3.4 Agentes com traços de personalidade

Em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005), os autores propõem a continuidade do trabalho desenvolvido, através do tratamento da situação em que o supervisor de trocas sociais possui conhecimento parcial dos estados do sistema, utilizando para tanto Processos de Decisão de Markov Parcialmente Observáveis (POMDPs). Com esta extensão do escopo do problema, novas aplicações para o modelo podem ser identificadas. No modelo de sociedade proposto, cada agente tem, de fato, uma visão parcial do sistema em que está inserido. Desse modo, poder-se-ia pensar cada agente como um supervisor de trocas, transformando a coordenação centralizada em uma forma distribuída.

Em (DIMURO et al., 2006a) o trabalho até então desenvolvido é estendido com a introdução de mais um aspecto no comportamento dos agentes, que consiste nas diferentes personalidades em respeito à possibilidade de se beneficiar das trocas sociais recomendadas pelo supervisor, já vislumbradas anteriormente. Os agentes envolvidos em uma mesma simulação podem apresentar as seguintes personalidades ou comportamentos:

- Egoísmo: o agente geralmente busca seu próprio benefício, com uma probabilidade alta de aceitar trocas que representem transições para novos estados onde o resultado seja favorável para ele;
- Forte egoísmo: o agente tem uma probabilidade muito baixa de aceitar qualquer troca que represente uma redução nos seus resultados materiais, mesmo que seus resultados se mantenham favoráveis;
- Altruísmo: o agente geralmente busca o benefício do outro, com uma probabilidade alta de aceitar trocas que representem transições para novos estados onde o outro agente encontre resultados favoráveis;
- Forte altruísmo: o agente tem uma probabilidade muito baixa de aceitar trocas que representem uma redução nos resultados materiais do outro, mesmo que os resultados deste se mantenham favoráveis;
- Fanatismo: o agente tem uma probabilidade muito alta de realizar trocas que conduzam ao seu valor de referência, evitando outros tipos de transições;
- Tolerância: o agente tem uma probabilidade alta de realizar trocas que conduzam ao seu valor de referência, caso seus resultados materiais estejam distantes deste estado, porém aceita também outros tipos de transições;
- Prudência: o agente tem uma probabilidade alta de evitar trocas quando os valores envolvidos são maiores do que um limite especificado.

Além disso, o grau de obediência ao supervisor de um agente pode ser:

- Obediência cega: o agente sempre segue a recomendação do supervisor;
- Obediência eventual: o agente pode ou não seguir a recomendação do supervisor, de acordo com uma certa probabilidade;
- Desprezo total pelas recomendações: o agente sempre decide por conta própria,

O trabalho apresentado em (DIMURO et al., 2006a) considera os agentes como sendo *transparentes*, ou seja, o supervisor tem total acesso às suas estruturas internas. Desse modo, o Processo de Decisão de Markov Qualitativo Intervalar definido em (DIMURO; COSTA; PALAZZO, 2005) permanece válido, uma vez que o supervisor têm acesso a toda a informação necessária para a tomada de decisão quanto à melhor troca a ser realizada em um dado instante. Em (DIMURO et al., 2006b), este trabalho avança considerando o caso em que os agentes são *não-transparentes*. Nesse caso, o supervisor precisa confiar nas informações fornecidas pelos agentes sobre seus resultados virtuais – as quais nem sempre correspondem aos estados reais – para calcular os valores de troca adequados. A avaliação feita pelo agente pode expressar que este possui créditos (C), que possui débitos (D), ou nula (N). A esse respeito, os agentes podem adotar os seguintes comportamentos:

- Realismo: o agente tem uma probabilidade muito alta de fornecer avaliações realistas sobre seu resultado virtual;
- Superavaliação: o agente tem uma probabilidade muito alta de fornecer avaliações que demonstram que ele possui créditos;
- Subavaliação: o agente tem uma probabilidade muito alta de fornecer avaliações que demonstram que ele possui débitos.

Uma vez que a disponibilidade de informações sobre o ambiente é parcial, o modelo QI-MDP utilizado pelo supervisor de trocas é complementado por um Modelo de Markov Oculto (HMM - *Hidden Markov Model*), para permitir ao supervisor reconhecer e manter um modelo dos traços de personalidade dos agentes. Este modelo é definido da seguinte forma:

Um HMM para trocas entre agentes não-transparentes dotados de personalidades é uma tupla  $\langle \mathbf{E}_s, \mathbf{O}, \pi, \mathbf{F}, \mathbf{G} \rangle$ , onde:

- (i) o conjunto  $\mathbf{E}_s$  de estados do modelo é dado pelos pares de classes de resultados materiais, onde  $s$  é o ponto de equilíbrio:

$$\mathbf{E}_s = \{(E_0, E_0), (E_0, E_+), (E_0, E_-), (E_+, E_0), (E_+, E_+), (E_+, E_-), (E_-, E_0), (E_-, E_+), (E_-, E_-)\}$$

- (ii) o conjunto  $\mathbf{O}$  de observações é dado pelos possíveis pares de avaliações dos resultados virtuais pelos agentes:

$$\mathbf{O} = \{(N, N), (N, D), (N, C), (D, N), (D, D), (D, C), (C, N), (C, D), (C, C)\}$$

- (iii)  $\pi$  é a distribuição de probabilidade inicial sobre o conjunto de estados  $\mathbf{E}_s$ ;
- (iv)  $\mathbf{F} : \mathbf{E}_s \rightarrow \Pi(\mathbf{E}_s)$  é a função de transição de estados, que retorna, para cada estado, uma distribuição de probabilidades sobre o conjunto de estados  $\mathbf{E}_s$
- (v)  $\mathbf{G} : \mathbf{E}_s \rightarrow \Pi(\mathbf{O})$  é a função de observação, que retorna, para cada estado, uma distribuição de probabilidades sobre o conjunto de observações  $\mathbf{O}$ .

Este modelo possibilita ao supervisor realizar as seguintes tarefas:

1. Encontrar a probabilidade de uma seqüência de avaliações dos resultados virtuais pelos agentes, usando um algoritmo *back-forward*;

2. Encontrar a seqüência mais provável de estados associada a uma seqüência de avaliações dos resultados virtuais pelos agentes, usando o algoritmo de *Viterbi*
3. Manter um modelo adequado dos traços de personalidade dos agentes, dado seu comportamento observável; o supervisor ajusta os parâmetros do seu modelo corrente à probabilidade de ocorrência de uma seqüência freqüente de observações, usando o algoritmo de *Baum-Welch*, para comparar o modelo resultante com os modelos conhecidos de personalidades e classificá-lo.

Cada uma destas tarefas foi alvo de experimentos, nos quais demonstrou-se que a abordagem proposta é viável e aplicável, representando mais um passo na direção de um processo de tomada de decisão descentralizado, onde cada agente possui o seu próprio “supervisor de trocas interno”. Para tal, sugere-se o uso de POMDPs, conforme mencionado anteriormente.

## 4 UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA O EQUILÍBRIO SOCIAL

A abordagem escolhida para o tratamento do equilíbrio nos trabalhos até então desenvolvidos mantém o uso de intervalos para representar os valores de troca. Essa abordagem tem a vantagem de capturar com mais fidelidade a natureza qualitativa dos valores, uma vez que é definido o valor de tolerância  $\epsilon$ , tornando as comparações entre valores menos rígidas. Como alternativa ao uso de intervalos, consideramos tolerâncias percentuais na comparação entre os valores de troca. A principal diferenciação proposta neste trabalho é uma abordagem simples, porém descentralizada, numa tentativa de remover a figura do supervisor de trocas.

A idéia proposta consiste em manter os aspectos principais do modelo definido, como a existência de uma tolerância na comparação entre valores e a possível não-transparência dos agentes. Entretanto, em vez de reportarem seus resultados virtuais ao supervisor, estes reportam diretamente aos seus pares, que armazenam a avaliação da troca feita pela seu par e a utilizam na proposição de novas trocas. Através dessa abordagem, é possível atingir um equilíbrio social emergente a partir do equilíbrio local entre os agentes pertencentes à sociedade.

### 4.1 Representação dos Valores

Conforme o proposto em (RODRIGUES; COSTA; BORDINI, 2003), os valores qualitativos são aqui representados por números inteiros. Porém, sua natureza qualitativa é respeitada, à medida que não se faz uso da diferença entre os valores de troca, somente se fazem comparações entre os mesmos, utilizando-se da relação de ordem presente no conjunto dos números inteiros. Fica claro que o uso de números inteiros pode prejudicar tais comparações, pois a avaliação qualitativa nunca é algo tão preciso quanto um número inteiro. Por exemplo, se um agente presta um serviço a outro, em cuja realização teve um investimento alto, atribuindo à troca um valor  $r = 1000$ . O agente que recebeu o serviço, por sua vez, teve de fato uma alta satisfação com o serviço realizada, atribuindo à troca um valor  $s = 990$ . Temos então que  $r \geq s$ . Se o agente que recebeu o serviço tivesse ficado pouco satisfeito com a realização da mesma, atribuindo-lhe um valor baixo, ou mesmo negativo, teríamos ainda que  $r \geq s$ . Assim, identifica-se a necessidade de manter uma tolerância na comparação entre valores, como é feito no tratamento dado à questão através do uso de intervalos. A alternativa proposta é embutir no mecanismo de comparação entre valores uma tolerância percentual, de modo que valores próximos possam ser entendidos como iguais, como no exemplo mencionado. Tanto o agente prestador do serviço considerou seu investimento “bastante” alto, quanto o agente beneficiário do

serviço considerou-se “bastante” satisfeito, qualitativamente falando. Sugere-se utilizar limites de tolerância não menores do que 10%, e não superiores a 25%, de modo a manter a aproximação com a natureza qualitativa dos valores de troca, porém sem comprometer a fidelidade aos estados expressados pelos agentes.

A cada troca realizada, o agente armazena além dos valores atribuídos por ele, o *feedback* recebido do seu par, ou seja, a *valorização informada* por este quanto à troca realizada. A estrutura de armazenamento do histórico de trocas passa a ser então da seguinte forma, onde os valores que não foram atribuídos pelo agente recebem variação zero:

Tabela 4.1: Histórico de trocas do agente  $\alpha$

Parceiro	$\Delta r$	$\Delta s$	$\Delta t$	$\Delta v$	Valorização informada
$\alpha'$	$x'_1$	$x'_2$	$x'_3$	$x'_1$	$a'$
$\alpha''$	$x''_1$	$x''_2$	$x''_3$	$x''_4$	$a''$

A coluna “valorização informada” registra a avaliação da troca feita pelo parceiro do agente logo que esta ocorre, e segue os mesmos critérios propostos em (DIMURO et al., 2006b), isto é, os agentes podem informar valorizações realistas, supervalorizações ou subvalorizações, de acordo com suas características pessoais. Estas valorizações informadas baseiam-se nos valores virtuais atribuídos pelos agentes às trocas, uma vez que estes representam o reconhecimento de créditos e débitos.

## 4.2 O Mecanismo de Interação Social

O mecanismo proposto baseia-se na comparação entre o valor virtual percebido pelo agente e a valorização informada pelo seu par, nas trocas passadas. Após a realização de uma troca entre dois agentes  $\alpha$  e  $\beta$ , seja ela do tipo I ou do tipo II, cada agente conhece três valores. Em trocas do tipo I, sendo  $\alpha$  o prestador e  $\beta$  o beneficiário do serviço executado:

- O agente  $\alpha$  conhece o valor  $r$ , correspondente ao seu *investimento real*, o valor  $v$ , correspondente ao seu *crédito*, e o valor  $\alpha_t$  correspondente à *valorização informada* por  $\alpha$  quanto àquela troca específica, o qual baseia-se em  $t$ , que neste caso representa o débito de  $\beta$ ;
- O agente  $\beta$  conhece o valor  $s$ , correspondente à sua *satisfação real*, o valor  $t$ , correspondente ao seu *débito*, e o valor  $a_v$ , correspondente à *valorização informada* por  $\alpha$  quanto àquela troca específica, o qual baseia-se em  $v$ , que neste caso representa o crédito de  $\alpha$ .

Em trocas do tipo II, sendo  $\beta$  o prestador do serviço e  $\alpha$  o beneficiário do serviço executado:

- O agente  $\alpha$  conhece o valor  $v$ , correspondente ao *crédito* que possui para com  $\beta$ , o valor  $s$ , correspondente à sua *satisfação* com o serviço prestado por  $\beta$ , e o valor  $a_t$ , correspondente à *valorização informada* por  $\beta$  quanto à troca realizada, o qual baseia-se em  $t$ , que neste caso representa o reconhecimento de  $\beta$  quanto ao crédito pretendido por  $\alpha$ ;

- O agente  $\beta$  conhece o valor  $t$ , correspondente ao seu *reconhecimento* quanto ao crédito pretendido por  $\alpha$ , o valor  $r$ , correspondente ao seu *investimento*, e o valor  $a_v$ , correspondente à *valorização informada* por  $\alpha$  quanto à troca realizada, o qual baseia-se em  $v$ , que neste caso representa o crédito pretendido por  $\alpha$ .

Nesse contexto, são levados em conta dois aspectos do comportamento dos agentes: (1) seu comportamento quanto à fidelidade dos valores virtuais aos valores materiais e (2) seu comportamento quanto à fidelidade da valorização informada aos valores virtuais.

O primeiro aspecto, ao qual se refere-se como *justiça*, demonstra o quanto o agente considera seu esforço ou satisfação real ao internalizar estes valores como créditos ou débitos. Nesse aspecto, os agentes podem se comportar das seguintes formas:

1. Um agente *justo* atribui ao seu crédito ( $v$ ) o mesmo valor do esforço empregado, ou custo do serviço prestado ( $r$ ) ao seu par. Da mesma forma, atribui ao seu débito ( $t$ ) o mesmo valor da satisfação obtida com o serviço pelo seu par ( $s$ );
2. Um agente *altruísta* costuma superestimar sua satisfação ( $s$ ) em relação ao custo real do serviço prestado, superestimar seus débitos ( $t$ ) em relação à sua satisfação ( $s$ ) e subestimar seus créditos ( $v$ ) em função de seu investimento ( $r$ );
3. Um agente *egoísta* costuma subestimar sua satisfação ( $s$ ) em relação ao custo real do serviço prestado, subestimar seus débitos ( $t$ ) em relação à sua satisfação ( $s$ ) e superestimar seus créditos ( $v$ ) em função de seu investimento ( $r$ ).

O segundo aspecto, ao que refere-se como *transparência*, demonstra o quanto o agente é fiel às idéias que possui de débitos e créditos ao reportar a valorização da troca realizada ao seu par. Nesse aspecto, um agente pode ser:

- *Realista*: este tipo de agente costuma informar ao seu par valorizações que representam de fato o valor virtual que percebe na troca. Assim, é provável que  $a_t = t$  ou  $a_v = v$ .
- *Superavaliador*: este tipo de agente costuma informar ao seu par valorizações que superestimam seus créditos e subestimam seus débitos. Se trata-se de um agente supervalorizador, então é provável que  $a_t > t$  ou  $a_v > v$ .
- *Subavaliador*: este tipo de agente costuma informar ao seu par valorizações que subestimam seus créditos e superestimam seus débitos. Se trata-se de um agente subvalorizador, então é provável que  $a_t < t$  ou  $a_v < v$ .

### 4.3 Raciocínio Social

Conforme anteriormente mencionado, as trocas entre agentes podem ser de dois tipos: o tipo I, de *acumulação* de resultados materiais e o tipo II, de *realização* de resultados virtuais. Sendo assim, nas trocas de tipo I os valores de investimento ( $r$ ) e de satisfação ( $s$ ) são atribuídos de acordo com o quanto o serviço realmente custou para o agente  $\alpha$  ou foi benéfico para o agente  $\beta$ . Os valores de crédito acumulado ( $v$ ) e débito contraído ( $t$ ) são uma função do comportamento do agente quanto à *justiça* na sua avaliação dos valores materiais. Por fim, há a valorização informada, que é uma função do comportamento do agente quanto à *transparência* na comunicação dos seus valores virtuais.

Nas trocas de tipo II, os valores acumulados no passado são cobrados ou retribuídos ao parceiro, de modo é que nesta etapa que são levadas em conta as comparações entre os valores virtuais que o agente atribuiu e as valorizações informadas pelo parceiro, para fins do equilíbrio.

Na realização da primeira troca entre dois agentes, os valores conhecidos por cada agente são armazenados no seu histórico de trocas. A partir daí, em todas as trocas subsequentes entre o mesmo par de agentes, cada um deles segue a seguinte sequência de passos:

1. Buscar no histórico todas as trocas de tipo I realizadas o parceiro atual;
2. Para cada uma das trocas passadas, comparar a valorização informada pelo parceiro, com o valor virtual atribuído pelo próprio agente;
3. Classificar o comportamento do parceiro de acordo com as comparações realizadas;
4. Atribuir um valor virtual de acordo com comportamento observado no parceiro;
5. Decidir se deve ajustar ou não a sua estratégia de valorização de trocas.

Nas seções seguintes, cada um desses passos será discutido com mais detalhes.

#### **4.3.1 Passo 1 - Busca no Histórico de Trocas**

Esse passo consiste em acessar a estrutura interna do agente que contém o histórico das trocas previamente realizadas e selecionar aquelas trocas de tipo I, nas quais o parceiro é o mesmo da troca atual. Uma estrutura temporária `histórico_trocas_par_atual` pode ser criada, para facilitar a manipulação dos valores nela contidos.

Após selecionar as trocas relevantes para a análise do comportamento do seu par, o agente avalia cada uma delas, comparando a valorização informada pelo par com o valor virtual percebido. Este passo será detalhado na seção seguinte.

#### **4.3.2 Passo 2 - Comparação entre Valores**

Tendo selecionado as trocas tipo I realizadas com o parceiro atual, o agente compara, em cada uma delas, o valor de valorização informada pelo parceiro e o valor virtual atual atribuído por si próprio naquela troca.

A forma proposta para classificação da personalidade observada é simples; cria-se um acumulador onde são creditados pontos positivos para o par quanto este age de forma altruísta, do ponto de vista do agente avaliador, e pontos negativos quanto este age de forma egoísta.

Este acumulador é acrescido/decrecido da seguinte forma, para cada uma das possibilidades:

Para trocas do tipo I em que o agente faz o papel de  $\alpha$  (prestador do serviço): Nesse caso, tem-se uma valorização informada  $a_t$ , onde o parceiro avalia seu débito. O acumulador recebe +1 para cada troca supervalorizada, em relação ao valor virtual  $v$  atribuído pelo próprio agente, e -1 para cada troca subvalorizada em relação ao mesmo valor  $v$ .

Para trocas do tipo I em que o agente faz o papel de  $\beta$  (beneficiário do serviço): Nesse caso, tem-se uma valorização informada  $a_v$ , onde o parceiro avalia seu crédito. O acumulador acumula -1 para cada troca supervalorizada, em relação ao valor virtual  $t$  atribuído pelo próprio agente, e +1 para cada troca subvalorizada em relação ao mesmo valor  $t$ .

### 4.3.3 Passo 3 - Classificação da Personalidade

Após ter comparado os valores em todas as trocas passadas do tipo I, o agente decide pelo perfil identificado no seu par com base no resultado do acumulador. Se o valor acumulado for positivo, o agente assume que seu par é um supervalorizador. Se o valor for negativo, o agente assume que seu par é um subvalorizador. E, se for zero – ou um valor próximo a zero, de acordo com a tolerância estipulada –, assume que seu par é um realista.

Quanto mais trocas com o mesmo parceiro o agente tiver no histórico selecionado, maior será a probabilidade de acerto deste sobre a personalidade do parceiro. Em vez de levar em conta somente o balanço de trocas acumulado, leva-se em conta cada troca individualmente. Em termos de implementação do modelo, não é necessário acessar todo o histórico passado a cada nova troca, pois pode-se fazer com que cada agente armazene também um acumulador referente às consultas das trocas passadas com cada um de seus pares, atualizando-o a cada nova troca de tipo *I* realizada. Desse modo, pode-se considerar que o sistema mantém a *propriedade de Markov*, que determina que o estado seguinte do sistema depende apenas da ação tomada e do estado atual, uma vez que o estado atual de um agente pode ser descrito como o conjunto composto por:

1. Seus balanços acumulados de valores virtuais e materiais;
2. Um conjunto de acumuladores, referentes à consulta ao histórico de trocas passadas com cada par.

### 4.3.4 Passo 4 - Atribuição do Valor Virtual da Troca Atual

De acordo com a Teoria Sociológica de Piaget (seção 2.1), os valores  $t$  e  $v$  são valores virtuais, à medida que consistem em representações mentais das trocas realizadas, ou seja, representam o quanto os indivíduos julgam-se credores ou devedores em função da ação realizada. Este julgamento pode não ser proporcional aos valores materiais envolvidos,  $r$  e  $s$ , que representam o custo e satisfação efetivos correspondentes à ação. Na abordagem proposta, os valores virtuais são o foco para o equilíbrio social.

Tendo avaliado o comportamento passado do seu parceiro de troca atual, o agente adota o mesmo comportamento na atribuição do valor virtual correspondente à troca atual, o que funciona como um mecanismo de compensação/punição: se o agente superavaliou seus créditos, ou subavaliou seus débitos, o mesmo tratamento lhe será uma forma de punição. Se o agente subavaliou seus créditos, ou superavaliou seus débitos, o mesmo tratamento lhe será uma compensação.

### 4.3.5 Passo 5 - Ajuste da estratégia de valorização das trocas

Ao fim de cada troca, o agente decide se manterá ou alterará sua estratégia de valorização das trocas. Neste trabalho, uma vez que está sendo focado o pelo equilíbrio, propõe-se manter a mesma estratégia ao longo de toda a simulação. Porém, sugere-se como trabalho futuro a realização de experimentos focados no caráter evolutivo do sistema, avaliando se existe a emergência de certos comportamentos que seriam, de modo geral, benéficos para a sociedade como um todo.

## 4.4 Parâmetros

Os parâmetros presentes no modelo de interação proposto são os seguintes:

1. O grau de tolerância percentual na comparação entre os valores de troca,  $\epsilon$ . Um valor 0.1 para esse parâmetro, por exemplo, significa que valores com uma diferença de até 10% são considerados iguais;
2. O grau de aumento ou diminuição em relação ao valor base para a superestimação ou subestimação de valores,  $d$ ;
3. O número de agentes do sistema,  $n$ ;
4. O grau de transparência de cada agente  $\alpha$ ,  $t_\alpha$ ;
5. O grau de justiça de cada agente  $\alpha$ ,  $j_\alpha$ .
6. A amplitude do intervalo de valores aceitos na simulação,  $m$ ; o intervalo  $[-m, +m]$  compreende o universo de valores possíveis a serem atribuídos pelos agentes.

O grau de transparência indica o quanto o agente é fiel aos seus valores virtuais ao informar a valorização da troca ao seu par. Nesse sentido, consideram-se três tipos de comportamentos possíveis anteriormente descritos : *realismo*, *supervalorização* e *subvalorização*.

O grau de justiça do agente identifica o quanto o agente considera os resultados materiais na atribuição de valores virtuais. Nesse sentido, os agentes pode ser *justos*, *altruístas* ou *egoístas*.

O parâmetro  $d$  é utilizado da seguinte forma: para cada valor superestimado ou subestimado, é gerado um novo valor, cuja parcela a ser acrescentada ou subtraída ao valor original é dada por  $d$ .

## 5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Para analisar o comportamento do sistema com a forma de interação proposta, foram realizadas uma série de combinações entre os parâmetros possíveis, sempre considerando a interação entre um único par de agentes. Esse é o caso mais simples, porém permite analisar a dinâmica das trocas e o comportamento dos agentes em relação ao equilíbrio do sistema. Com o modelo proposto, podem ser geradas simulações contendo  $n$  agentes.

As simulações realizadas seguem a seguinte estrutura: a cada instante, cada agente propõe uma troca a cada um dos demais, os quais podem aceitar ou não, com 50% de probabilidade. Caso os agentes decidam realizar uma troca, é escolhido, aleatoriamente, o tipo de troca a ser realizado – tipo I ou tipo II – e o papel desempenhado por cada agente na troca. Um agente pode fazer tanto o papel de  $\alpha$ , que é o prestador do serviço nas trocas de tipo I e o beneficiário nas trocas de tipo II, quanto de  $\beta$ , que é o beneficiário nas trocas de tipo I e o prestador nas trocas de tipo II.

Para cada combinação dos parâmetros, quanto à transparência e justiça dos agentes, foram simulados 1000 passos, o que resulta na realização de aproximadamente 1000 trocas entre os dois agentes envolvidos, pois é realizada, em média, uma troca a cada ciclo. Além disso, foram analisadas diversas combinações dos parâmetros  $\epsilon$  e  $d$ . O valor de  $m$  foi mantido fixo, para propiciar a comparabilidade entre as diversas variações nos demais parâmetros, utilizando-se  $m = 100$  em todas as simulações.

O parâmetro de avaliação do equilíbrio é o cálculo do balanço virtual de cada um dos agentes. A manutenção do equilíbrio consiste em manter esse balanço o mais próximo possível do ponto de equilíbrio definido, ao longo do tempo. Para todas as simulações aqui apresentadas, consideramos o valor zero como sendo o estado de equilíbrio para o balanço de um agente.

### 5.1 Experimentação 1 - Sem consulta ao histórico

No primeiro conjunto de experimentos realizados, o mecanismo de análise do histórico passado foi desconsiderado, gerando, conforme esperado, situações onde a simulação não converge para o equilíbrio. Nesse caso, o agente não compara a valorização informada pelo parceiro nas trocas passadas com o valor virtual atribuído por ele mesmo e, portanto, o parâmetro  $\epsilon$  torna-se irrelevante, assim como o grau de transparência do agente ao informar sua valorização da troca.

Utilizou-se  $d = 0, 1$  e  $m = 100$  em todas as simulações. Mantendo estes parâmetros, foram geradas todas as combinações possíveis entre agentes justos, egoístas e altruístas.

A figura 5.1 demonstra a situação em que ambos os agentes são justos, ou seja, a cada troca, atribuem valores virtuais – créditos e débitos – em correspondência com os valores materiais – investimento e satisfação. A figura 5.2 demonstra a situação em que ambos

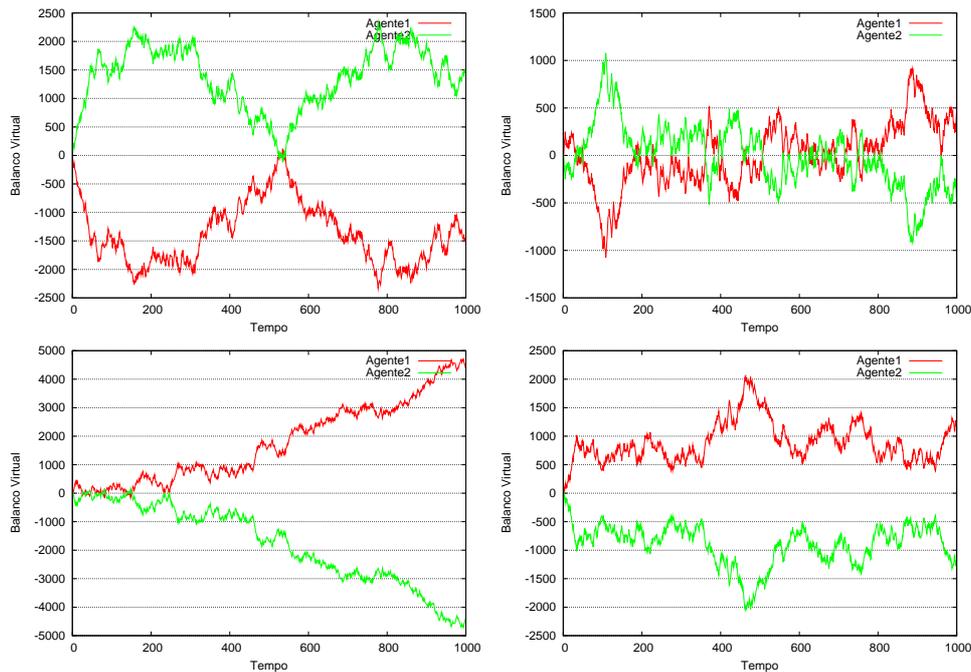


Figura 5.1: Agentes justos, com  $m = 100$  e  $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico de trocas passadas

os agentes são egoístas, isto é, atribuem-se créditos superestimados em relação ao seu investimento e débitos subestimados em relação à sua satisfação. A figura 5.3 demonstra a satisfação em que ambos são altruístas, ou seja, atribuem-se créditos subestimados em relação ao seu investimento e débitos superestimados em relação à sua satisfação.

Percebe-se que em todos os casos, a evolução é caótica, pois o custo de cada serviço prestado e a satisfação obtida são gerados de forma aleatória, dado que neste contexto estão apenas sendo consideradas as dinâmicas de evolução dos valores, sem aplicação a um problema específico.

Quando os agentes são justos, o valor virtual que atribuem a cada troca é sempre equivalente ao custo do serviço ou à satisfação obtida. Por isso, observa-se a simetria entre as curvas descritas pela evolução dos balanços virtuais de cada agente, que consistem no somatório de todos os valores virtuais atribuídos ao longo da simulação. No caso de agentes egoístas ou altruístas, essa simetria não se verifica, pois os valores virtuais, apesar de basearem-se nos reais, são influenciados pela personalidade dos agentes.

No caso da combinação entre agentes altruístas e egoístas, conforme apresentado na figura 5.4, nota-se uma aparente simetria entre os balanços, que está bastante ligada ao tamanho de  $d$ . Com um valor de  $d$  pequeno, como no caso apresentado, em que utiliza-se  $d = 0, 1$ , os valores virtuais ficam bem próximos dos valores dos valores materiais. Com um valor de  $d$  mais alto, os balanços virtuais dos agentes rapidamente divergem, fazendo com que o agente altruísta acumule um balanço negativo e que o agente egoísta acumule um balanço positivo. Isso é demonstrado na figura 5.5, que apresenta simulações onde foi utilizado  $d = 0, 8$ .

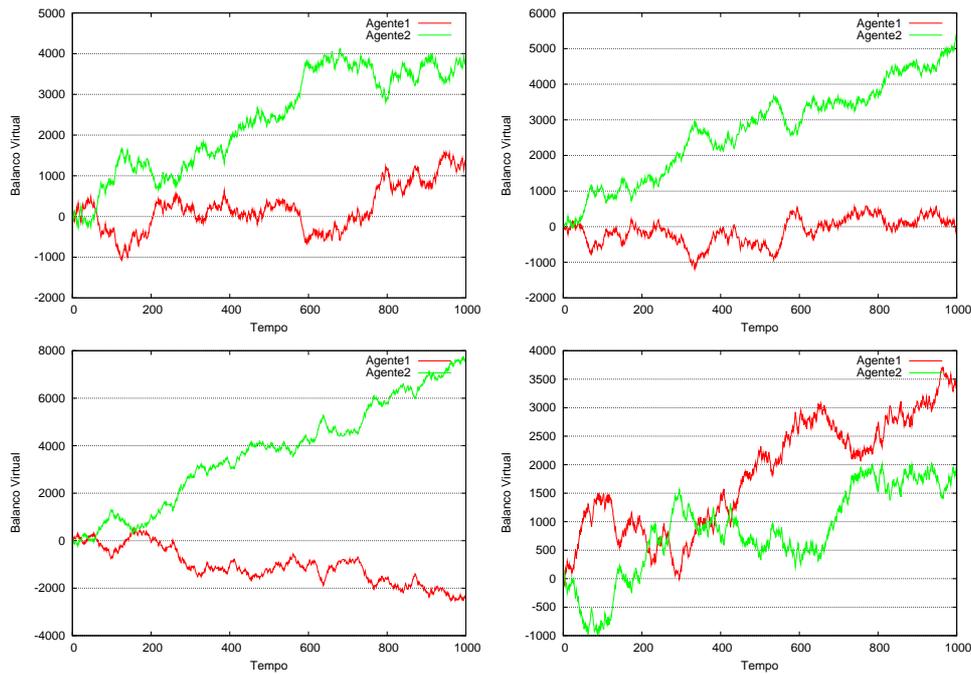


Figura 5.2: Agentes egoístas, com  $m = 100$  e  $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico

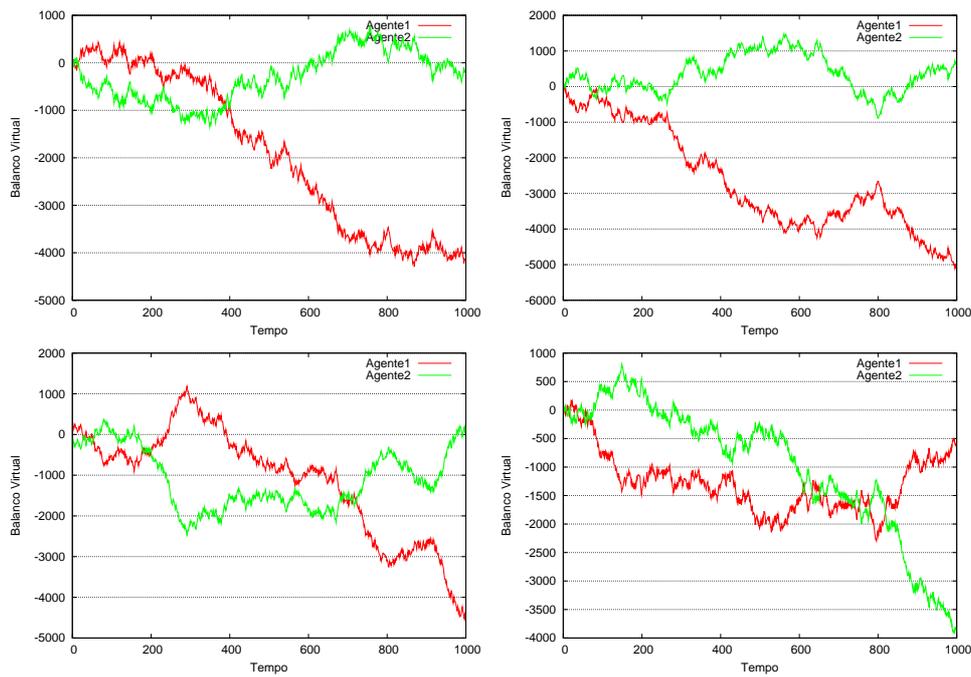


Figura 5.3: Agentes altruístas, com  $m = 100$  e  $d = 0, 1$ , sem consulta ao histórico

## 5.2 Experimentação 2 - Com consulta ao histórico

Nesse conjunto de experimentos, aplicou-se a abordagem proposta para a obtenção do equilíbrio, anteriormente descrita: para decidir quanto aos valores virtuais que serão atribuídos à troca atual, cada agente consulta o histórico de trocas passadas com o mesmo parceiro, comparando a avaliação fornecida pelo seu parceiro com o valor virtual percebido por si próprio. A partir dessas comparações, geram-se compensações ou punições que tendem a manter o sistema num estado de equilíbrio dinâmico.

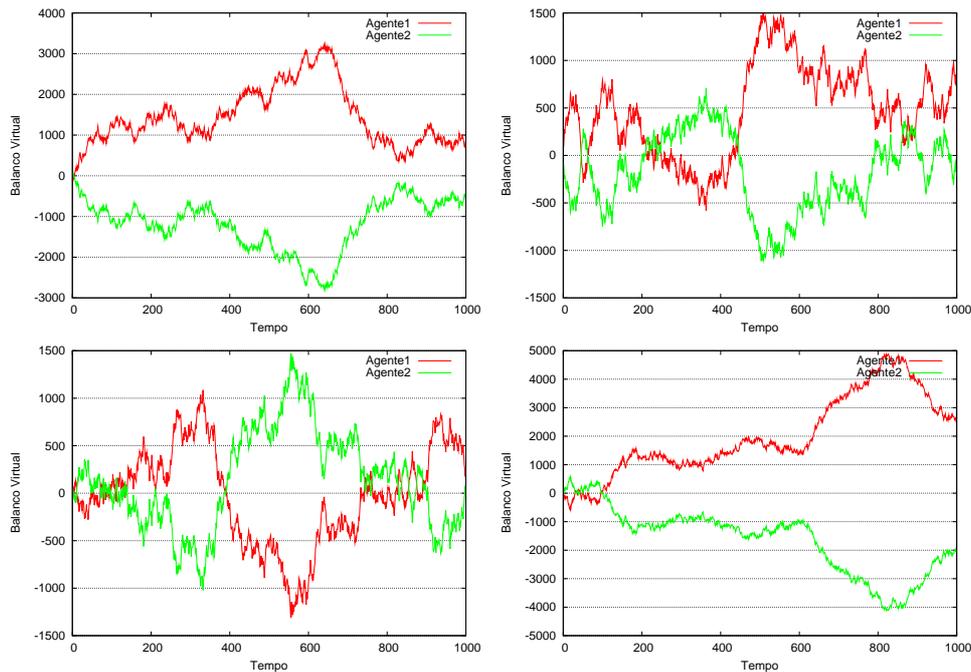


Figura 5.4: Um agente altruísta e um agente egoísta, com  $m = 100$  e  $d = 0,1$ , sem consulta ao histórico

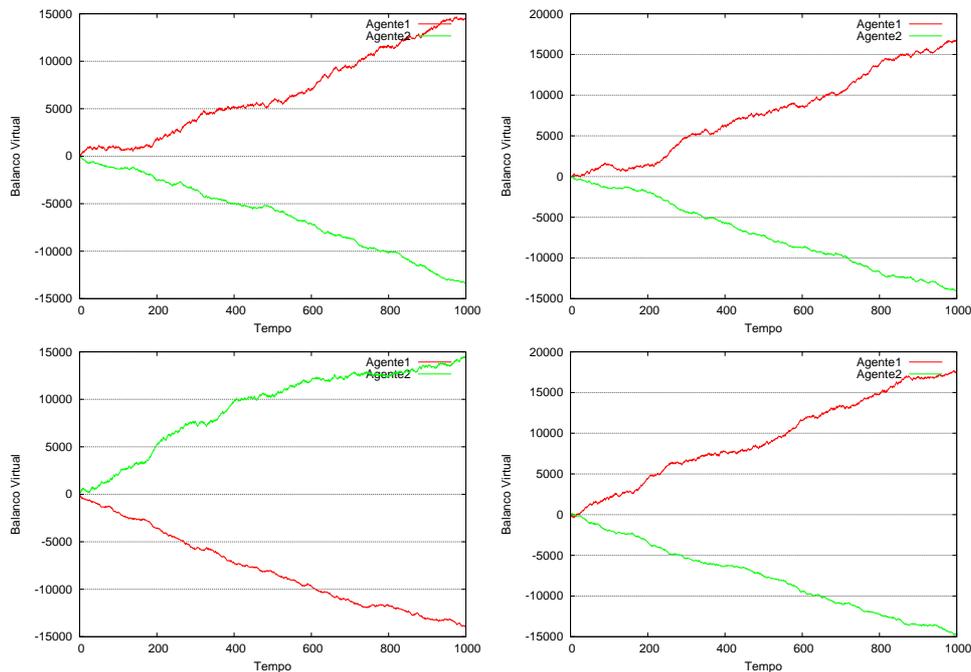


Figura 5.5: Um agente altruísta e um agente egoísta, com  $m = 100$  e  $d = 0,8$ , sem consulta ao histórico

Com essa abordagem, por mais que os parâmetro sejam alterados, o estado de equilíbrio dinâmico se mantém ao longo do tempo, variando apenas a amplitude da variação dos balanços dos agentes em torno do ponto de equilíbrio. A seguir, serão demonstradas as combinações entre os comportamentos possíveis para os agentes, bem como entre os demais parâmetros definidos previamente. Em todos os casos, é utilizado  $m = 100$ .

### 5.2.1 Agentes justos e realistas

As figuras a seguir demonstram o caso de maior propensão ao equilíbrio, com ambos os agentes justos e realistas. Na figura 5.6, são mostrados os resultados em que é mantido  $\epsilon$  fixo e variado  $d$ , enquanto na figura 5.7 são mostrados os resultados em que é variado  $\epsilon$  e  $d$  é mantido fixo. Em todas elas o afastamento do equilíbrio se dá somente nas trocas de tipo I, retornando ao equilíbrio sempre que ocorre uma ou mais trocas de tipo II.

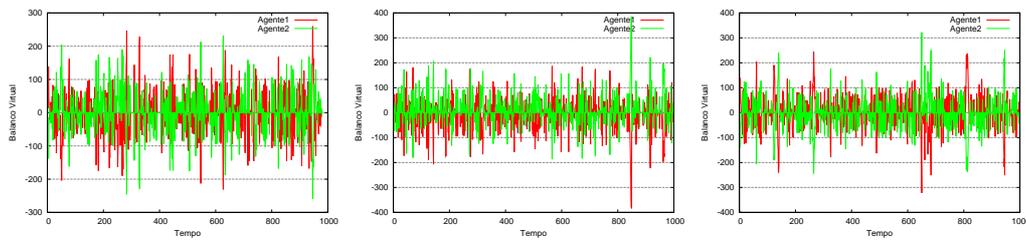


Figura 5.6: Agentes justos e realistas, com  $\epsilon = 0,1$  e  $d = 0,1$ ,  $d = 0,3$ ,  $d = 0,5$ , respectivamente

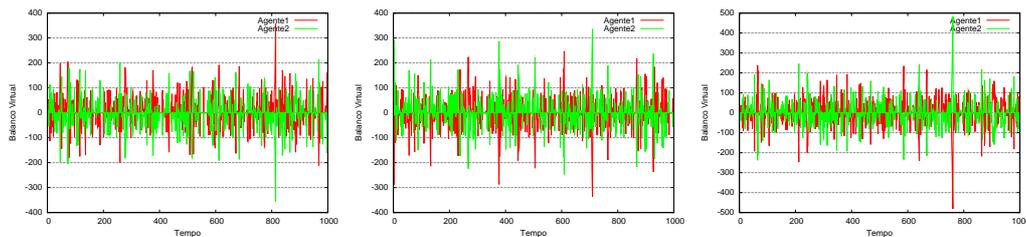


Figura 5.7: Agentes justos e realistas, com  $\epsilon = 0,3$ ,  $\epsilon = 0,5$ ,  $\epsilon = 0,8$ , respectivamente, e  $d = 0,1$

Conforme esperado, em todas as situações em que os agentes fazem avaliações realistas da troca, o equilíbrio dinâmico permanece ao longo de toda a execução do sistema. Todas as figuras mostram o caso mais regular, onde ambos os agentes provêm avaliações realistas – equivalentes aos valores virtuais atribuídos – e são justos quanto à atribuição de valores – isto é, atribuem valores virtuais equivalentes aos valores materiais.

Esse comportamento se verifica porque não há divergência entre os valores materiais e virtuais, tampouco entre os valores virtuais e as avaliações fornecidas pelos agentes. Assim, ao comparar o resultado virtual atribuído por si próprio a uma troca com a avaliação feita pelo seu par, o agente sempre encontrará uma igualdade, fazendo com que continue atribuindo valores justos e perpetuando o equilíbrio num ciclo permanente.

Nas demais simulações em que ambos os agentes são realistas, mas com diferentes graus de transparência em suas avaliações, permanece a situação de equilíbrio, porém com uma amplitude um pouco maior, que representa as supervalorizações ou subvalorizações em relação aos valores materiais. Isso será demonstrado na seção seguinte.

### 5.2.2 Agentes justos com diferentes graus de transparência

O próximo conjunto de testes manteve os agentes com comportamento justo, porém variando o seu grau de transparência. O fato de os agentes serem realistas, supervalorizadores ou subvalorizadores quanto à avaliação dos seus valores virtuais, não é suficiente

para desviar o sistema do equilíbrio, conforme é pode-se observar nos experimentos realizados com todas as combinações possíveis para a transparência dos dois agentes envolvidos.

Na primeira combinação de parâmetros, combinou-se agentes justos e supervalorizadores, ou seja, ambos são fiéis aos valores materiais para atribuição de créditos e débitos a si próprios, porém superestimam os seus créditos e subestimam os seus débitos ao informarem ao seu par a valorização da troca.

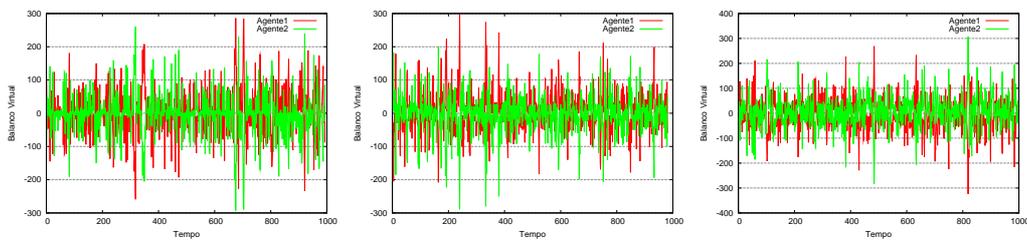


Figura 5.8: Agentes justos e supervalorizadores, com  $\epsilon = 0, 1$  e  $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente

Já na segunda combinação de parâmetros, combinou-se agentes justos e subvalorizadores, que subestimam seus créditos e superestimam seus débitos ao informarem ao seu par a valorização da troca.

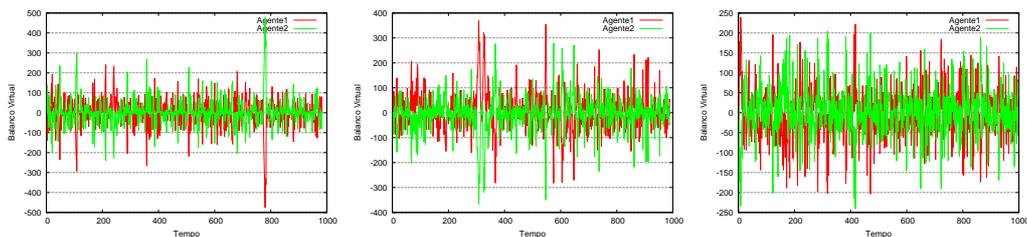


Figura 5.9: Agentes justos e subvalorizadores, com  $\epsilon = 0, 1$  e  $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente

Por fim, realizaram-se simulações com dois agentes justos, um deles sendo supervalorizador e o outro, subvalorizador. Apesar das variações, em todos os casos o equilíbrio em torno do valor de referência - zero, neste caso – se manteve.

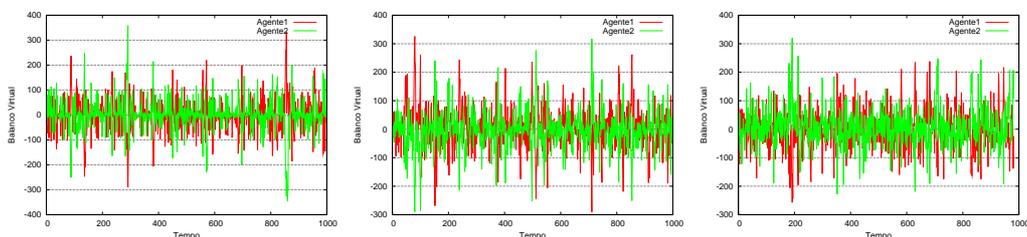


Figura 5.10: Agentes justos, sendo um dele supervalorizador e outro subvalorizador, com  $\epsilon = 0, 1$  e  $d = 0, 1, d = 0, 3, d = 0, 5$ , respectivamente

### 5.2.3 Agentes com diferentes graus de justiça e de transparência

No último conjunto de experimentos realizados procurou-se combinar tanto agentes com diferentes graus de justiça quanto de transparência. A expectativa *a priori* era de

que o grau de variação nos valores provocado pelos desvios, tanto dos valores virtuais em relação aos valores materiais quanto das avaliações em relação aos valores virtuais, fosse causar a divergência dos balanços em relação ao ponto de equilíbrio. Entretanto, não foi o que se verificou nos experimentos. Ainda que com um grau maior de variação, que pode ser observado na maior amplitude das curvas que representam os balanços de cada agente, o equilíbrio dinâmico é mantido.

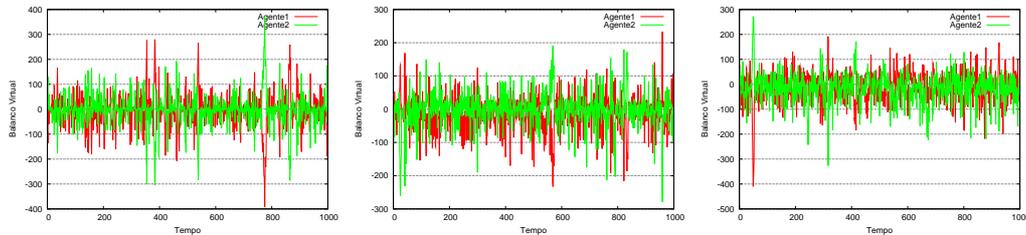


Figura 5.11: Agentes egoístas e supervalorizadores, com  $\epsilon = 0,1$  e  $d = 0,1$ ,  $d = 0,3$ ,  $d = 0,5$ , respectivamente

Primeiramente, combinou-se pares de agentes com as mesmas características quanto à justiça e transparência, cujos resultados podem ser observados nas figuras 5.11 e 5.12. O equilíbrio se manteve, com alguns eventuais picos no balanço de um dos agentes, o que em geral representa uma seqüência maior de trocas do tipo I, que não levam em conta a avaliação do histórico para a atribuição dos valores.

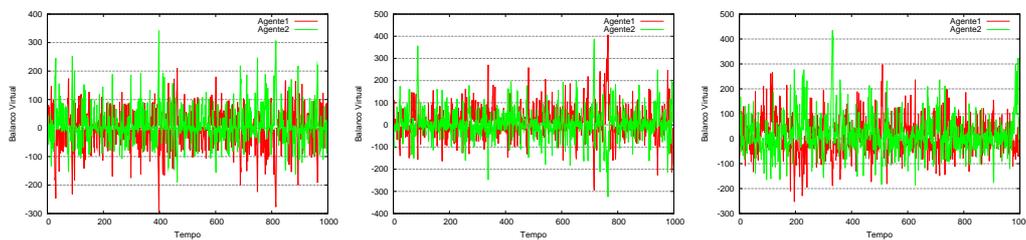


Figura 5.12: Agentes altruístas e subvalorizadores, com  $\epsilon = 0,1$  e  $d = 0,1$ ,  $d = 0,3$ ,  $d = 0,5$ , respectivamente

Por fim, experimentaram-se as combinações mais heterogêneas possíveis, como nos casos demonstrados na figura 5.13, com um agente sendo altruísta e subvalorizador e o outro, egoísta e supervalorizador. Ainda assim, os balanços se mantêm em torno do equilíbrio, apresentando pouca variação.

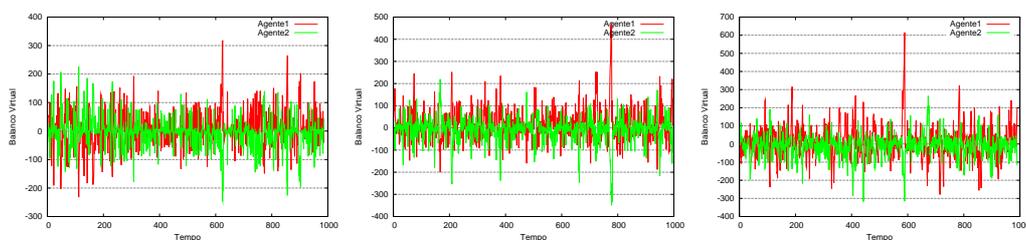


Figura 5.13: Um agente altruísta e subvalorizador, um agente egoísta e supervalorizador, com  $\epsilon = 0,1$  e  $d = 0,1$ ,  $d = 0,3$ ,  $d = 0,5$ , respectivamente

Ao longo desta seção, demonstrou-se que a abordagem proposta para o equilíbrio social mostra-se resistente às variações nos parâmetros da simulação e também nos tipos

de comportamentos adotados pelos agentes, mantendo o sistema em torno do equilíbrio. Na seção seguinte, serão demonstrados os resultados obtidos quando apenas parte das trocas realizadas levam em conta essa abordagem.

### 5.3 Experimentação 3 - Com consulta ocasional ao histórico

Uma vez que foi possível verificar a manutenção do equilíbrio em todas os experimentos realizados, levando em conta diferentes parâmetros e comportamentos, buscou-se identificar qual é o limite da estabilidade encontrada, trabalhando com simulações onde os agentes só aplicam a abordagem de avaliação do histórico e comparação de valores e avaliações durante uma parte do tempo, ou seja, uma combinação das experimentações 1 e 2, ora aplicando a abordagem proposta, ora permitindo trocas “aleatórias” – dentro das limitações previstas. Para este conjunto de experimentos, utilizou-se os parâmetros  $\epsilon = 0, 1$  e  $d = 0, 1$ .

O comportamento do agente quanto ao seu grau de justiça continua sendo válido durante toda a simulação, pois é este que define quais valores virtuais serão atribuídos a uma troca. O grau de transparência, no entanto, só tem sentido para aquelas trocas onde a abordagem voltada para o equilíbrio é aplicada, pois no restante do tempo o agente não compara a valorização informada pelo parceiro com os valores atribuídos por ele próprio, no passado. Esta valorização é sempre informada ao parceiro, mas nem sempre é considerada.

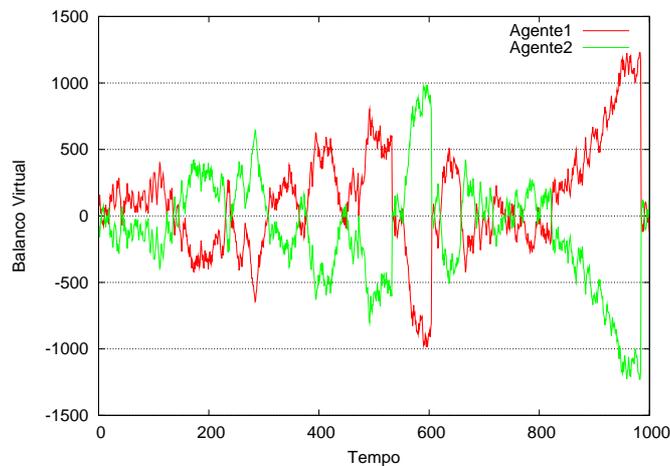


Figura 5.14: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média

O primeiro experimento leva em conta a abordagem proposta, em média, em 2% das trocas efetuadas. Na figura 5.14, ambos os agentes são justos e realistas. Note-se que a divergência dos balanços é grande, porém é possível perceber que os balanços de valores ainda giram em torno do equilíbrio, apesar de apresentarem variações muito maiores, uma situação intermediária entre os resultados do experimento 1 e os resultados do experimento 2.

Nesse contexto, há uma influência maior do comportamento dos agentes. Se nos resultados com agentes justos e realistas ainda é possível identificar um movimento em direção ao equilíbrio, com agentes egoístas e subvalorizadores, como é o caso demonstrado na figura 5.15, ou quando se tem agentes altruístas e supervalorizadores, como se demonstra na figura 5.16, esse movimento é mais disperso.

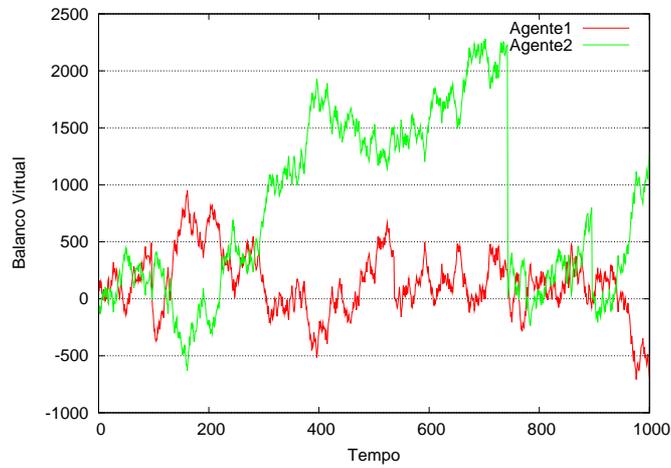


Figura 5.15: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média

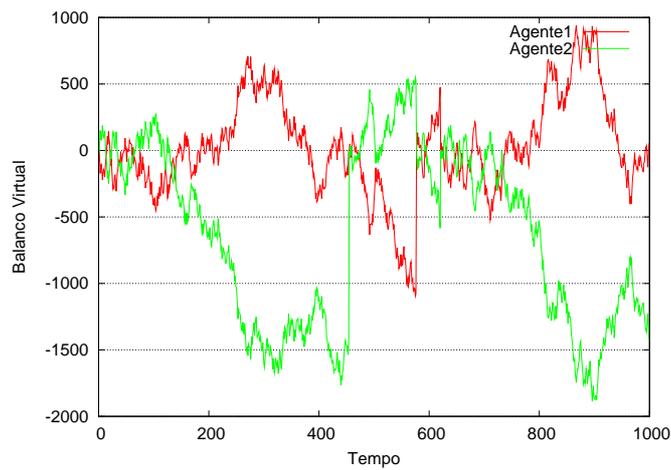


Figura 5.16: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 2% das trocas, em média

Na avaliação do comportamento com 2% de trocas com consulta ao histórico, verifica-se que o sistema se afasta bastante do equilíbrio. Num próximo conjunto de simulações, aplicou-se a consulta ao histórico em 10% das trocas. em média, cujos resultados são apresentados nas figuras 5.17, 5.18 e 5.19. Nota-se um considerável aumento na aproximação dos balanços ao ponto de equilíbrio, tanto com agentes justos e realistas quanto com agentes de comportamentos diferentes.

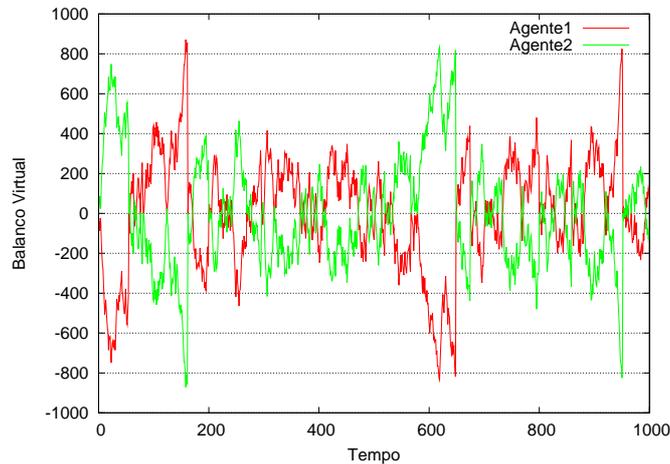


Figura 5.17: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média

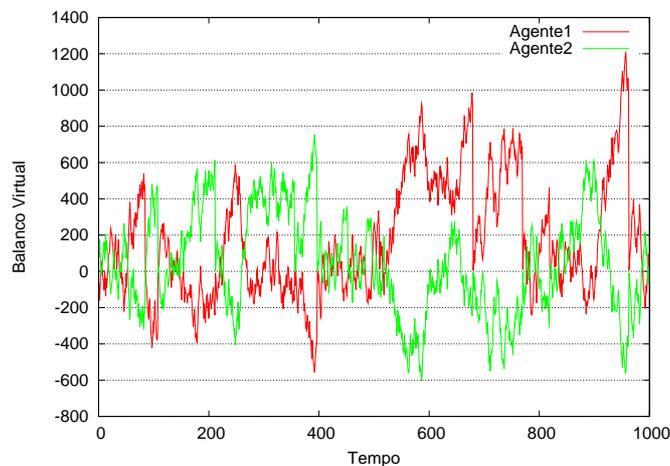


Figura 5.18: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média

Nas figuras 5.20, 5.21 e 5.22, são apresentados os resultados das simulações em que os agentes fazem consulta ao histórico em 25% das trocas, em média. Com esse percentual, as amplitudes máximas dos balanços virtuais dos agentes ficam em torno de  $500$ , isto é,  $5m$ , ao passo que com a consulta ao histórico em todas as trocas, essa amplitude fica em torno  $2m$ .

No último cenário considerado, os agentes fazem consulta ao histórico de trocas, para decidirem seus valores virtuais, em média, em 50% das trocas. Nesse contexto, a amplitude máxima de variação dos balanços virtuais em torno de equilíbrio é de aproximadamente  $3m$ .

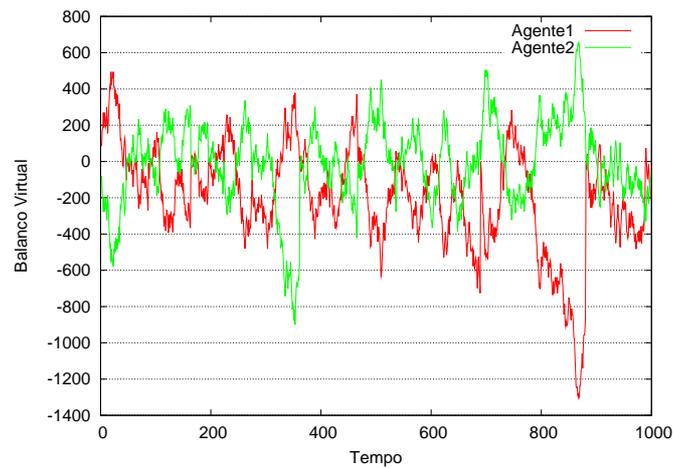


Figura 5.19: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 10% das trocas, em média

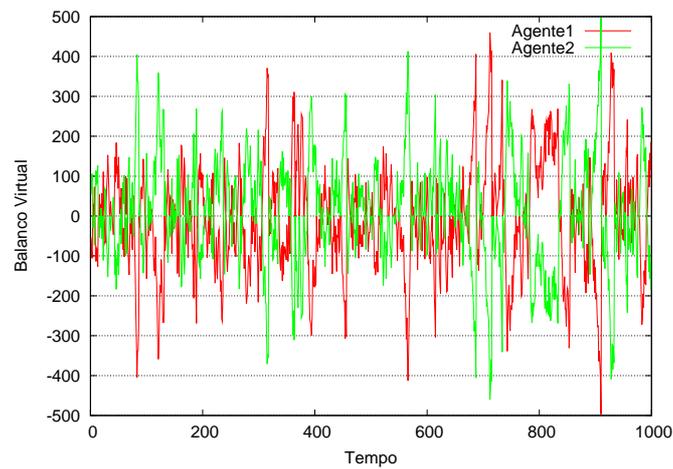


Figura 5.20: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média

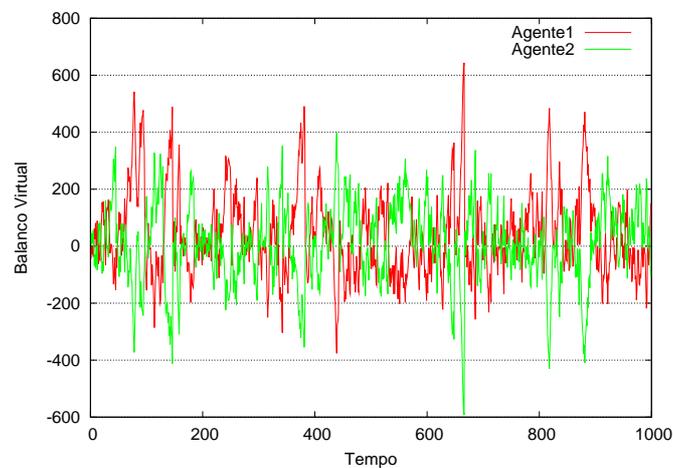


Figura 5.21: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média

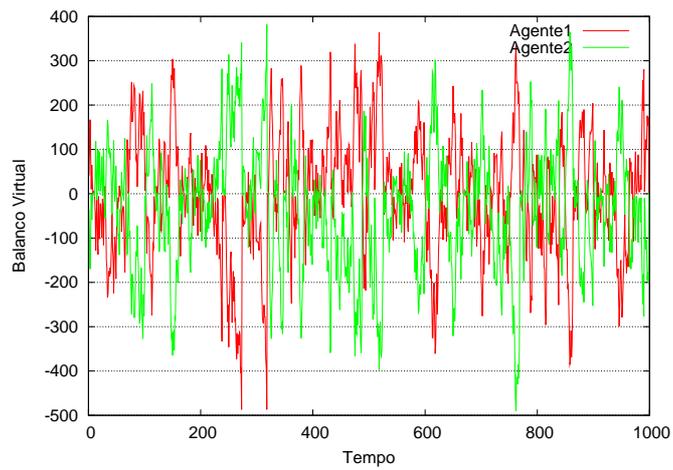


Figura 5.22: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 25% das trocas, em média

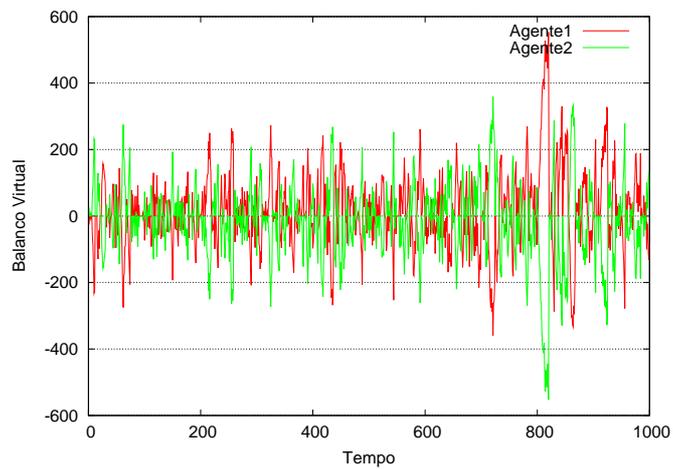


Figura 5.23: Agentes justos e realistas, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média

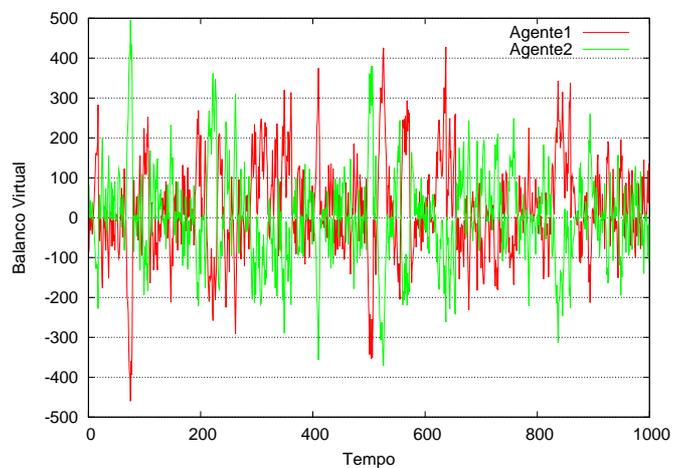


Figura 5.24: Agentes egoístas e subvalorizadores, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média

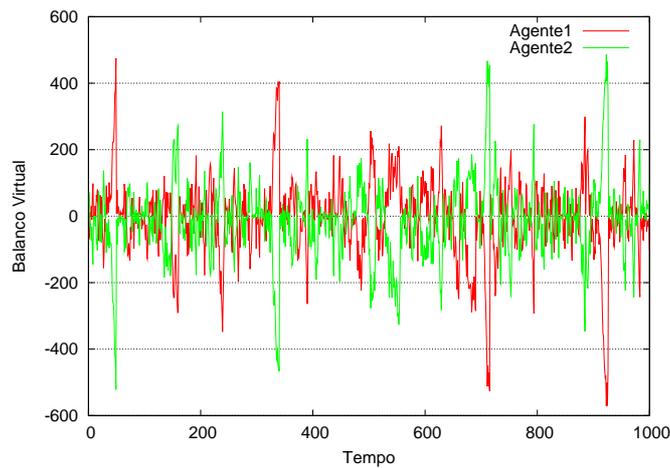


Figura 5.25: Agentes altruístas e supervalorizadores, com consulta ao histórico em 50% das trocas, em média

Com a série de experimentos realizados, foi possível demonstrar que a abordagem proposta para o atingimento e manutenção do equilíbrio social é adequada e suporta as variações do ambiente e do comportamento dos agentes. Mesmo que seja aplicada somente em um percentual das trocas, consegue-se uma aproximação bastante razoável do ponto de equilíbrio, sem a necessidade de envolver uma estrutura externa, como é o caso do supervisor de trocas.

## 6 CONCLUSÃO

A metodologia proposta neste trabalho consistiu na revisão dos trabalhos desenvolvidos na área de simulação social baseada em valores de trocas, seguida da proposição e avaliação de um método para a manutenção do equilíbrio dinâmico de valores sociais. Um dos principais destaques da abordagem proposta é a eliminação da figura do supervisor, que consiste num elemento centralizador, indesejável em uma arquitetura distribuída por natureza.

Buscou-se trabalhar a questão com inspiração no o que acontece nas relações sociais entre indivíduos no mundo real: a cada interação, além da avaliação pessoal internalizada pelo indivíduo quanto à qualidade daquela interação, há quase sempre uma avaliação externada, onde um indivíduo comunica ao outro qual foi a sua percepção sobre aquela interação. Ainda, sabe-se que nem sempre essa percepção externada corresponde à realidade.

Em comparação com os resultados obtidos nos demais trabalhos que abordam o mesmo tema, além da ausência do supervisor mencionada, destaca-se a simplicidade da abordagem proposta. Os agentes comunicam-se diretamente e, apenas através da análise dos histos e de pequenos acréscimos e decréscimos nos valores gerados, é possível atingir e manter o sistema em equilíbrio. Além disso, é uma solução robusta, pois mesmo que o mecanismo proposto seja aplicado apenas em parte das interações, ou ainda somente por parte dos agentes envolvidos – o que permanece a ser demonstrado – o balanço do sistema permanece em torno do equilíbrio.

Como sugestão de trabalhos futuros, identificam-se dois pontos que poderiam ser desenvolvidos: o primeiro deles é a adaptação da estratégia dos agentes em função da avaliação do histórico passado. Dentro do contexto proposto, se busca atingir balanços de valores que fiquem em torno do equilíbrio. Portanto, trabalhar com agentes que têm comportamentos constantes é um caso mais simples, pois não se está levando em conta quais são os interesses ou intenções do agente, mas apenas a forma de lidar com esse interesses num dado momento. Nesse caso, seria necessário adaptar a proposta de avaliação da personalidade do parceiro, uma vez que esta poderia ser alterada ou adaptada durante a simulação.

Outro ponto a ser desenvolvido como trabalho futuro é a realização de experimentos envolvendo vários agentes, avaliando como o número de agentes envolvidos impacta no sucesso da abordagem proposta. Quando se tem somente dois agentes, a interação entre estes é intensa, porém com vários agentes, a interação entre um par de agentes específico poderia ser bem mais rara, dificultando a identificação da personalidade do parceiro e a escolha adequada dos valores que conduzam ao equilíbrio.

De modo geral, avalia-se que a solução proposta contribuiu para a pesquisa relacionada a simulação social baseada em valores de trocas, bem como para área de sistemas

multiagentes de modo geral, lançando a proposta inicial para uma abordagem diferenciada ao problema do equilíbrio de valores de troca em sistemas multiagentes, que conta com simplicidade e eficácia.

## REFERÊNCIAS

CASSANDRA, A. R.; KAEHLING, L. P.; LITTMAN, M. L. Acting Optimally in Partially Observable Stochastic Domains. In: NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AAAI, 12., 1994, Seattle, Washington, USA. **Proceedings...** [S.l.]: AAAI Press/MIT Press, 1994. v.2, p.1023–1028.

COSTA, A. Uma Estrutura Formal Normativa para Sistemas Computacionais. In: OFICINA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, OIA, 6., 2002, Pelotas. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2002.

DIMURO, G. P.; COSTA, A. C. R. Interval-based Markov Decision Processes for Regulating Interactions Between Two Agents in Multi-Agent Systems. In: WORKSHOP ON STATEOF-THE-ART IN SCIENTIFIC COMPUTING, PARA, 2004, Lyngby. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2005. p.102–111. (Lecture Notes in Computer Science, n.3732).

DIMURO, G. P.; COSTA, A.; GONÇALVES, L.; HÜBNER, A. Centralized Regulation of Social Exchanges between Personality-based Agents. In: WORKSHOP ON COORDINATION, ORGANIZATION, INSTITUTIONS AND NORMS IN AGENT SYSTEMS AT ECAI'06, COINECAI'06, RIVA DEL GARDA, ITALY, 2006, 2006, Amsterdam. **Proceedings...** IOS Press, 2006. to appear.

DIMURO, G. P.; COSTA, A.; GONÇALVES, L.; HÜBNER, A. **Regulating Social Exchanges Between Personality-based Non-transparent Agents**. Submetido para publicação em 2006.

DIMURO, G. P.; COSTA, A.; PALAZZO, L. A. M. Systems of Exchange Values as Tools for Multiagent Organizations. **Journal of the Brazilian Computer Society – Special edition on Multiagent Systems Organization**, [S.l.], 2005.

DOYLE, J.; THOMASON, R. H. Background to Qualitative Decision Theory. **AI Magazine**, [S.l.], v.20, n.2, p.55–68, 1999.

HANSSON, S. O. **An overview of decision theory**. [S.l.]: SKN, 1991.

HOMANS, G. C. Social Behavior as Exchange. **American Journal of Sociology**, [S.l.], v.63, p.597–606, 1958.

HORVITZ, E. J.; BREESE, J. S.; HENRION, M. Decision theory in expert systems and artificial intelligence. **International Journal of Approximate Reasoning**, [S.l.], v.2, n.3, p.247–302, July 1988.

KAEBLING, L. P.; LITTMAN, M. L.; CASSANDRA, A. R. Planning and Acting in Partially Observable Stochastic Domains. **Artificial Intelligence**, [S.l.], v.101, n.1-2, p.99-134, 1998.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: an analysis of decision under risk. **Econometrica**, [S.l.], v.47, n.2, p.263-292, 1979.

NAIR, R.; ROTH, M.; YOHOO, M. Communication for Improving Policy Computation in Distributed POMDPs. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS, AAMAS, 3., 2004, Washington, DC, USA. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE Computer Society, 2004. p.1098-1105.

PARSONS, S. **Game Theory and Decision Theory in Agent-Based Systems Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations**. [S.l.]: Springer, 2002.

PIAGET, J. **Estudos Sociológicos**. Rio de Janeiro: Forense, 1973.

RODRIGUES, M. R.; COSTA, A. Using Qualitative Exchange Values to Improve the Modelling of Social Interactions. In: WORKSHOP ON AGENT BASED SIMULATIONS, 2003, Melbourne. **Proceedings...** [S.l.]: Springer, 2003. p.57-72. (Lecture Notes in Computer Science Series, v. 2927)

RODRIGUES, M. R.; COSTA, A.; BORDINI, R. H. A System of Exchange Values to Support Social Interactions in Artificial Societies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENTS SYSTEMS, AAMAS, 2., 2003, Melbourne. **Proceedings. . .** [S.l.: s.n.], 2003. p.81-88.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A modern approach**. 2nd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 2003.

SATZ, D.; FERREJOHN, J. Rational Choice and Social Theory. **The Journal of Philosophy**, [S.l.], v.91, n.2, p.71-87, 1994.

WOOLDRIDGE, M. **Introduction to MultiAgent Systems**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2002.

ZHANG, N. L.; LIN, W. A Model Approximation Scheme for Planning in Partially Observable Stochastic Domains. **Journal of Artificial Intelligence Research**, [S.l.], v.7, p.199-230, 1997.