

# A BDI-Fuzzy Agent Model for Exchanges of Non-Economic Services based on the Social Exchange Theory

Giovani P. Farias, Graçaliz P. Dimuro  
Programa de Pós-Graduação em Computação  
Universidade Federal do Rio Grande  
Rio Grande, Brasil, Email: giovanifarias@gmail.com

Glenda Dimuro, Esteban de Manuel Jerez  
Depto de Expresión Gráfica Arquitectónica  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, Espanha, Email: glenda.dimuro@gmail.com

**Abstract**—The purpose of this work is to develop a BDI-Fuzzy agent model for the Jason platform, with abilities to assess qualitatively, subjectively the social exchanges values originated in the provision and in the receipt of non-economic services, based on Piaget’s theory of social exchanges. An application to the simulation of exchange processes in a social organization, namely, the urban vegetable garden San Jerónimo (Seville, Spain) is presented.

**Keywords**—Multiagent Systems; Social Exchanges; BDI Architecture; Fuzzy Logic;

## I. INTRODUÇÃO

Este trabalho situa-se no contexto das áreas de Sistemas Multiagentes (SMA) [1] e de Simulação Social [2] baseada em agentes, explorando temas relacionados à arquitetura de agentes BDI (*Beliefs, Desires and Intentions*) [3] e à Lógica Fuzzy [4], com o objetivo geral de experimentar um modelo de agente BDI-Fuzzy, implementado na plataforma de agentes Jason [5], para trocas de serviços não-econômicos baseados na Teoria das Trocas Sociais de Piaget [6].

A teoria das trocas sociais de Piaget tem sido utilizada como base para a análise de interações em sistemas multiagente, onde estas interações são compreendidas como processos de trocas de serviços, entre pares de agentes, seguidas da avaliação destes serviços por parte dos agentes envolvidos, produzindo valores de trocas sociais, cuja natureza é qualitativa, subjetiva, imprecisa, vaga, ambígua, incompleta.

A arquitetura de agentes BDI é baseada em estados mentais, tendo sua origem na teoria de raciocínio prático humano. O caráter intencional do modelo BDI mostra-se adequado para o problema abordado neste trabalho. Entretanto, observa-se que o tratamento da incerteza gerada em ambientes/problemas de informação imprecisa envolvidas em trocas de serviços não-econômicos não está previsto, em geral, na arquitetura BDI.

Por outro lado, a Lógica Fuzzy, utilizada para a modelagem de raciocínio aproximado e vago, permite descrever de forma efetiva as características de sistemas complexos ou que não podem ser definidos de forma exata, pois, na Lógica Fuzzy, os relacionamentos entre elementos e conjuntos seguem uma transição entre pertinência e não pertinência que é gradual, representados por valores de pertinência intermediários entre o verdadeiro e o falso da lógica clássica.

Neste trabalho, com base na teoria das trocas sociais de Piaget, desenvolveu-se um modelo híbrido de agente BDI-Fuzzy, na plataforma de agentes Jason, com habilidades para avaliar de forma qualitativa/subjetiva os valores de trocas sociais originados na prestação e no recebimento de serviços não-econômicos, onde considera-se que os agentes assumem diferentes critérios com relação aos atributos que vão utilizar na avaliação do serviço (seja por parte de quem o realiza ou de quem o recebe), o que os induz a diferentes “*atitudes de avaliação de serviço*” e os agentes também podem assumir diferentes estratégias referentes às trocas que optam por realizar.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura existem várias referências ao uso da Lógica Fuzzy para possibilitar aos agentes mecanismos de decisão mais adaptáveis à realidade, podendo ter maior flexibilidade em ambientes complexos e dinâmicos. Nos trabalhos de simulação social baseada em agentes em [7], [8], facetas e traços de personalidades humanas foram especificadas como regras condicionais em agentes fuzzy (que são capazes de executar raciocínio aproximado qualitativo), para realizar simulação do comportamento humano. Já em [9], a Lógica Fuzzy foi utilizada para avaliação de trocas sociais entre agentes baseados em personalidades, propondo a análise das interações entre agentes com base na noção de equilíbrio fuzzy em trocas de serviços entre agentes.

No contexto de agentes BDI, nos trabalhos em [10], [11] foi proposto um modelo geral para agentes BDI graduado, através de uma arquitetura baseada em sistemas multi-contextos, que admite atitudes mentais graduadas, em sentido similar ao da Lógica Fuzzy. Uma arquitetura BDI Fuzzy para agentes sociais foi proposta em [12], com uma proposta inicial para a modelagem de sociedades cooperativas de agentes, apontando para as condições sociais necessárias para os agentes formarem intenções e ações conjuntas. Outra extensão ao modelo BDI com características fuzzy é o modelo *Agent Fuzzy Decision-Making* (AFDM) [13], que permite que agentes BDI possam tomar decisões com base em julgamentos quantificados de forma fuzzy.

Finalmente, com relação a Teoria dos Valores de Trocas Sociais proposta em [6] que têm sido utilizada como base para aplicações em Sistemas Multiagente [14], onde, utiliza-se valores de natureza qualitativa, que representam conceitos subjetivos, porém a representação computacional destes valores

de trocas, ou de qualquer critério subjetivo, não é trivial. Os trabalhos [15], [16] incluem uma metodologia para avaliação de serviços em processos de trocas sociais. Em [9] foi proposta uma abordagem baseada na Lógica Fuzzy para a avaliação dos valores de trocas materiais (investimento e satisfação) gerados nos dois estágios de trocas sociais, com aplicação em sistemas multiagentes baseados em personalidades. Para tanto, introduziu-se uma definição de serviço para cada um dos agentes envolvidos na troca. Através da definição de fatores de personalidades, adotou-se um critério que possibilitou obter agentes com vários traços de personalidades, apesar de no trabalho constar uma generalização para apenas três traços de personalidades.

### III. O MODELO DE TROCAS SOCIAIS

Segundo a teoria de Piaget, uma troca social entre dois agentes  $\alpha$  e  $\beta$  é executada em dois tipos de estágios. Nos estágios de tipo  $I_{\alpha\beta}$ , o agente  $\alpha$  realiza um serviço para o agente  $\beta$ . Os valores de troca envolvidos neste tipo de estágio são os seguintes:

- $r_{I_{\alpha\beta}}$ : investimento realizado por  $\alpha$  para a realização de um serviço para  $\beta$ ;
- $s_{I_{\beta\alpha}}$ : satisfação de  $\beta$  com o serviço realizado por  $\alpha$ ;
- $t_{I_{\beta\alpha}}$ : débito de  $\beta$  para com  $\alpha$  por sua satisfação com o serviços realizado por  $\alpha$ ;
- $v_{I_{\alpha\beta}}$ : crédito que  $\alpha$  adquire de  $\beta$  por ter realizado o serviço.

Nos estágios de tipo  $II_{\alpha\beta}$ , o agente  $\alpha$  solicita a  $\beta$  a realização de serviço em pagamento pelo serviço realizado anteriormente (no caso em que  $\alpha$  tem créditos), e os valores relacionados com este estágio de troca são análogos aos dos estágios de tipo  $I_{\alpha\beta}$ . Os valores  $r_{II_{\alpha\beta}}$ ,  $s_{II_{\beta\alpha}}$ ,  $r_{II_{\beta\alpha}}$  e  $s_{II_{\alpha\beta}}$  associados imediatamente à uma troca realizada, são denominados de *valores materiais*. Os valores associados às trocas postergadas  $t_{II_{\beta\alpha}}$ ,  $v_{II_{\alpha\beta}}$ ,  $t_{II_{\beta\alpha}}$  e  $v_{II_{\alpha\beta}}$  são conhecidos como *valores virtuais*.

Em resumo, uma interação entre dois agentes/indivíduos pode ser interpretada como trocas de serviços. Quando um serviço é executado então é possível que este seja avaliado, tanto pelo prestador (valor de seu investimento), como pelo receptor (valor de sua satisfação). Posteriormente, são gerados valores de débito (do receptor) e de crédito (do prestador), que são levados em conta em trocas futuras.

#### A. Avaliação Fuzzy de Serviços

A realização de um serviço pelo agente  $\alpha$  para o agente  $\beta$  implica na geração imediata dos valores materiais de investimento  $r_{\alpha\beta}$  (de  $\alpha$  que realizou o serviço à  $\beta$ ) e de satisfação  $s_{\beta\alpha}$  (de  $\beta$  que recebeu o serviço de  $\alpha$ ).

*Definição 1:* Em um processo de troca social, um serviço é definido como uma tupla  $\mathbb{S} = (a_1; \dots; a_n)$ , onde cada  $a_i$ , com  $i \in \mathbb{N}$ , é um atributo que representa um aspecto do serviço, a ser analisado no processo de avaliação dos valores materiais gerados pela realização de  $\mathbb{S}$ . Se o processo de avaliação envolve a análise do valor de investimento realizado por um agente  $\alpha$ , então utiliza-se a notação  $\mathbb{S}_r(\alpha)$ . Se o processo de avaliação envolve a análise do valor de satisfação de um agente  $\beta$ , então utiliza-se a notação  $\mathbb{S}_s(\beta)$ .

O conjunto de atributos é dependente de uma aplicação específica, e pode variar se for considerada a avaliação do valor do investimento do agente que presta o serviço ou a satisfação do agente que recebe o serviço. A avaliação fuzzy de um serviço é realizada através da composição da avaliação de cada atributo que pertence a este serviço. Os atributos são representados por variáveis linguísticas, cujo valor é expresso qualitativamente por um termo linguístico e quantitativamente por uma função de pertinência.

Uma escala com termos linguísticos  $T_1; \dots; T_m$  é denotada por  $T = \langle T_1; \dots; T_m \rangle$ , com  $m \in \mathbb{N}$ . Denota-se  $T_k \in T$  para significar que o termo  $T_k$  está na escala  $T$ , ou seja  $1 \leq k \leq m$ . Para a avaliação de um atributo  $a$  utilizando uma escala é necessário proceder a um processo de normalização.

*Definição 2:* Seja  $V(a)$  o valor medido do atributo  $a$ ,  $N$  o limite superior de uma escala decrescente e  $\max$  o valor limite tolerável para o atributo  $a$ , de acordo com o senso comum. Então, o valor normalizado do atributo  $a$  é denotado por  $V_{nor}(a)$  e definido como:

$$V_{nor}(a) = \min\{N, V'(a)\}, \text{ onde } V'(a) = \frac{V(a) \times N}{\max} \quad (1)$$

O valor normalizado do atributo é então avaliado em uma escala de valores fuzzy, obtendo então avaliação fuzzy do atributo, denotada por  $\mu(a)$ .

Considerando um serviço  $\mathbb{S}_r = (a_1; \dots; a_n)$  (ou  $\mathbb{S}_s = (b_1; \dots; b_n)$ ), então é possível obter um conjunto de regras condicionais através do cruzamento de resultados das avaliações fuzzy individuais de seus atributos, utilizando a regra de inferência MAX-MIN [17].

Seja  $T^i = \langle T_1^i; \dots; T_k^i \rangle$  uma escala para avaliação de um atributo  $a_i$  de um serviço  $\mathbb{S}_r(\alpha) = (a_1; \dots; a_n)$  onde o agente  $\alpha$  presta um serviço para um agente  $\beta$ . Seja  $T^r = \langle T_1^r; \dots; T_m^r \rangle$  a escala para avaliação fuzzy do investimento  $r_{\alpha\beta}$  por parte de  $\alpha$ . Então a avaliação fuzzy do valor de investimento  $r_{\alpha\beta}$  é determinada pela regra de inferência MAX-MIN aplicada sobre uma base de regras do tipo “**IF ... THEN**” do tipo:

$$\text{IF } a_1 \text{ is } T_j^1 \text{ AND } a_2 \text{ is } T_l^2 \text{ AND } \dots a_n \text{ is } T_p^n \text{ THEN } r'_{\alpha\beta} \text{ is } T_q^r$$

onde  $T_j^1 \in T^1; T_l^2 \in T^2 \dots T_p^n \in T^n; T_q^r \in T^r$ . Na avaliação de uma regra, primeiramente avalia-se cada condição do tipo  $a_i \text{ is } T_j^i$ , com  $i = 1; \dots; n$ , como sendo  $\mu_i(V_{nor}(a_i))$ . A partir desses valores obtém-se a avaliação de  $r'_{\alpha\beta} \text{ is } T_q^r$  como sendo  $\min\{\mu_1(V_{nor}(a_1)); \dots; \mu_n(V_{nor}(a_n))\}$ .

O valor fuzzy de investimento  $r_{\alpha\beta}$  é calculado a partir das avaliações de todas as regras deste tipo. Para cada termo  $T_v^r$ , com  $v = 1; \dots; m$ , calcula-se o valor  $\max\{T_v^r, T_v^{r'}, \dots, T_v^{\omega r}\}$ , onde  $\omega \leq k_1 \times \dots \times k_n$ , com  $k_i$ , sendo a cardinalidade da escala  $T^i$  de avaliação de cada atributo  $a_i$ . Estes valores provocam um corte no termo linguístico  $T_v^r$  e portanto uma região fuzzy em  $T^r$ . Nessa região é aplicado um método de defuzzificação, por exemplo o centróide [17], para se obter o valor fuzzy de investimento  $r_{\alpha\beta}$ . De forma análoga se obtém o valor fuzzy da satisfação  $s_{\beta\alpha}$  do agente  $\beta$  pelo recebimento do serviço realizado por  $\alpha$ .

#### IV. MODELO BDI-FUZZY GENÉRICO

O modelo BDI-Fuzzy pode ser descrito como um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) acoplado a base de crenças do agente BDI, conforme apresentado na Figura 1.

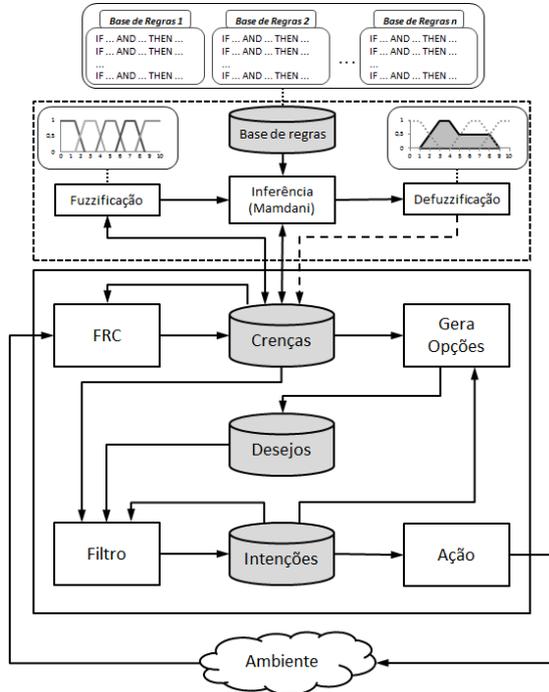


Fig. 1. Arquitetura BDI-Fuzzy Genérica.

O processo de **fuzzificação**, neste caso, utiliza funções de pertinência pré-estabelecidas, através das quais as entradas do sistema (presentes na base de crenças do agente BDI) são traduzidas em conjuntos fuzzy em seus respectivos domínios, ou seja, o fuzzificador mapeia cada variável de entrada do sistema em graus de pertinência de algum conjunto fuzzy que representa a variável em questão. Neste modelo, os valores fuzzificados podem simplesmente serem acrescentados à base de crenças do agente, para posteriormente serem utilizados em tomadas de decisões ou na máquina de inferência fuzzy para obter novas proposições fuzzy.

A **base de regras** é composta por uma coleção de proposições fuzzy na forma **IF...THEN...** descrevendo assim, as relações entre as variáveis linguísticas, para serem utilizadas na máquina de inferência fuzzy. Este componente, juntamente com a máquina de inferência, pode ser considerado o núcleo dos sistemas baseados em regras fuzzy, o qual, pode ser utilizado para acrescentar diferentes características entre os agentes BDI-Fuzzy, principalmente relacionadas a processos de avaliação e decisão.

A **máquina de inferência fuzzy** por meio das técnicas de raciocínio aproximado, traduz matematicamente cada proposição fuzzy, sendo de fundamental importância para o sucesso do sistema fuzzy, já que fornece a saída a partir de cada entrada fuzzy e da relação definida pela base de regras. Neste modelo, os agentes BDI-Fuzzy utilizam o método de inferência de Mamdani, onde: uma regra IF (antecedente) THEN (consequente) é definida pelo produto cartesiano fuzzy dos conjuntos fuzzy que compõem o antecedente e o consequente da regra. O método de Mamdani agrega as regras através do operador

lógico “or”, que é modelado pelo operador máximo (t-conorma  $\vee$ ) e, em cada regra, o operador lógico “and” é modelado pelo operador mínimo (t-norma  $\wedge$ ). Conforme as seguintes regras:

$$R^{(1)}: \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } z \text{ is } C_1$$

$$R^{(2)}: \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } z \text{ is } C_2$$

A **defuzzificação** é um processo de se representar um conjunto fuzzy por um número real. Em sistemas fuzzy, em geral a saída é um conjunto fuzzy. Assim, devemos escolher um método para defuzzificar a saída e obter um número real que a represente. Neste modelo, o agente BDI-Fuzzy e capaz de lidar com as duas saídas do sistema, sendo ela um conjunto fuzzy ou um número real. Desta forma, o processo de defuzzificação não é obrigatório, podendo ser utilizado para agregar informações à base de crenças do agente.

##### A. Atitudes de Avaliação de Serviço

A avaliação fuzzy de um serviço por um agente é realizada através da composição da avaliação de um, dois ou mais atributos que pertencem a esse serviço. Os atributos do serviço são representados por variáveis linguísticas, cujo valor é expresso qualitativamente por um termo linguístico e quantitativamente por uma função de pertinência.

A Figura 2 apresenta a arquitetura do sistema de avaliação fuzzy de serviço do agente BDI-Fuzzy, onde este obtém os atributos de um serviço  $\mathbb{S}(a_1, \dots, a_n)$ , esses atributos passam por um processo de normalização, para se adequarem a uma escala padrão, sendo então escolhidos os atributos a serem considerados na avaliação fuzzy do serviço. Os atributos selecionados passam por um processo de fuzzificação para obter a sua representação qualitativa, através dos seus termos linguísticos. As combinações dos termos linguísticos ativam uma dentre as várias bases de regras disponíveis, as quais são baseadas no método de inferência de Mamdani. Como resultado final, obtém-se o valor fuzzy do serviço (valor fuzzy do *investimento* ou da *satisfação*), o qual pode ser defuzzificado.

##### B. Balanço Material e Virtual

Em uma sociedade, toda ação ou reação de um indivíduo, avaliado segundo sua escala pessoal, repercute necessariamente sobre os outros indivíduos. Logo, ocorre uma troca na qual cada ação (real ou virtual) do primeiro provocará uma ação de volta (real ou virtual) por parte dos outros indivíduos [18]. A dinâmica da troca provoca uma variação nos valores dos indivíduos, que pode ser positiva (i.e., satisfação, lucro), negativa (i.e., prejuízo) ou nula (i.e., equilíbrio).

O **balanço material** de um agente  $\alpha$ , no modelo BDI-Fuzzy, é obtido através de uma avaliação fuzzy (qualitativa) influenciada pelos valores materiais de *investimento* ( $r_\alpha$ ) e *satisfação* ( $s_\alpha$ ), avaliados segundo a escala pessoal de  $\alpha$ , gerados na troca de serviços com um outro agente. Deste modo, o **balanço material** representa uma avaliação pessoal do agente  $\alpha$ , baseada nos valores materiais ( $r_\alpha$ ) e ( $s_\alpha$ ), a qual indica se a dinâmica da troca provoca uma variação “positiva” ( $\alpha$  recebe um serviço cuja *satisfação* é significativa), “negativa” ( $\alpha$  realiza um serviço cujo *investimento* é significativo) ou “nula” (*investimento/satisfação* de  $\alpha$  na realização/recebimento de um serviço é insignificante) nos valores materiais de  $\alpha$ .

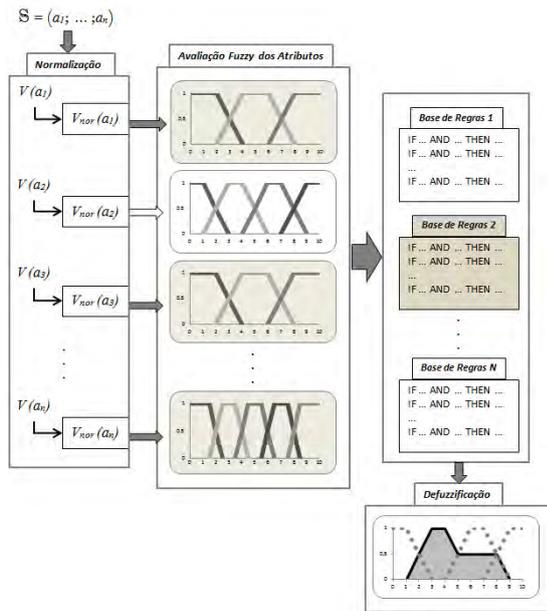


Fig. 2. Arq. do sistema de avaliação fuzzy de serviço do agente BDI-Fuzzy

O **balanço virtual** de um agente  $\alpha$ , no modelo BDI-Fuzzy, é obtido através de uma avaliação fuzzy (qualitativa) influenciada pelos valores virtuais de *crédito* ( $v_\alpha$ ) e *débito* ( $t_\alpha$ ), gerados na troca de serviços com um outro agente. Deste modo, o balanço virtual representa uma avaliação do agente  $\alpha$ , baseada nos valores virtuais ( $v_\alpha$ ) e ( $t_\alpha$ ), a qual indica se a dinâmica da troca provoca uma variação “positiva” ( $\alpha$  realiza um serviço e adquire crédito significativo), “negativa” ( $\alpha$  recebe um serviço cujo *débito* é significativo) ou “nula” (crédito/débito de  $\alpha$  na realização/recebimento de um serviço é insignificante) nos valores virtuais de  $\alpha$ .

## V. ESTUDO DE CASOS

As simulações foram realizadas em um ambiente de uma **horta** urbana, com objetivo de analisar o comportamento dos diferentes tipos de agentes hortelãos<sup>1</sup> BDI-Fuzzy, que apresentam características distintas, na maneira como realizam um determinado serviço, nas “*atitudes de avaliação de serviço*” e nas suas “*estratégias de troca*”. Considere que cada agente hortelão possui a sua parcela de terra e pode realizar três tipos de serviços: plantar, irrigar e colher. Onde esses serviços podem ser “*trocados*” entre os agentes. Neste ambiente, o hortelão  $\alpha$ , “*prestador*” de um determinado serviço a  $\beta$ , pode avaliar o investimento  $r_{\alpha\beta}$  necessário para a realização do serviço  $S$  de acordo com os seguintes atributos:  $S_r = (\text{dificuldade, custo, tempo})$ . Já o hortelão  $\beta$ , “*receptor*” de um serviço de  $\alpha$ , pode avaliar a sua satisfação  $s_{\beta\alpha}$  de acordo com os atributos:  $S_s = (\text{qualidade, preço, tempo})$ .

O **hortelão** é o agente capaz de realizar os serviços de plantar, irrigar e colher no ambiente da horta. Cada hortelão apresenta características específicas para a realização de cada um dos serviços, essas características afetam os atributos dos

serviços realizados pelo agente, os quais podem influenciar nas interações com os outros agentes. O agente hortelão pode apresentar três características diferentes para escolher o agente com o qual irá interagir, chamadas de “**estratégias de trocas de serviços**”.

A primeira consiste na escolha baseada somente na “*satisfação esperada*”, ou seja, após o agente receber todas as “*propostas*” (valores dos atributos *qualidade, preço e tempo*) dos agentes presentes na horta para a realização de um serviço, o hortelão, de acordo com a sua “*atitude de avaliação de serviço*”, escolhe o agente que pode lhe proporcionar uma maior *satisfação* ( $s$ ) com o serviço prestado.

A segunda consiste na escolha baseada na “*satisfação esperada*” e no *balanço virtual*, neste caso, o hortelão após receber todas as “*propostas*”, verifica a “*satisfação esperada*” e o *balanço virtual* com cada um dos agentes, sendo a combinação entre esses dois valores que determinará a “*chance de escolha*” do agente para a realização do serviço. Neste caso o hortelão prefere trocar serviços com os agentes que lhe enviaram uma melhor proposta e com os quais ele possui um *balanço virtual* “positivo” (*crédito*  $v > \text{débito } t$ ).

A terceira consiste na escolha baseada na “*satisfação esperada*” e no *balanço material*, neste caso, o hortelão após receber todas as “*propostas*”, verifica a “*satisfação esperada*” e o *balanço material* com cada um dos agentes, sendo a combinação entre esses dois valores que determinará a “*chance de escolha*” do agente para a realização do serviço. Assim, o hortelão prefere trocar serviços com os agentes que lhe enviaram uma melhor proposta e com os quais ele possui um *balanço material* “negativo” (*investimento*  $r > \text{satisfação } s$ ).

### A. Análise das Simulações

As simulações representam o ambiente da Horta, no qual três agentes do tipo Hortelão interagem. Os agentes são denominados de *Hortelão 1*, *Hortelão 2* e *Hortelão 3*, respectivamente, e apresentam características distintas na maneira como realizam um determinado serviço e nas suas *atitudes de avaliação de serviço*. Os hortelãos podem realizar três tipos de serviços na horta: plantar, irrigar e colher. Os intervalos dos possíveis valores gerados para cada atributo dos serviços prestados pelos agentes *Hortelão 1*, *2* e *3*, são apresentados na Tabela I, através da qual pode-se observar que:

- *Hortelão 1* – realiza serviços de baixa qualidade, com preço alto e com um tempo elevado;
- *Hortelão 2* – realiza serviços de média qualidade, com preço médio e com um tempo intermediário;
- *Hortelão 3* – realiza serviços de qualidade média a alta, com preços que variam de baixo a médio e com um tempo curto a médio.

A Tabela II apresenta os intervalos de valores, para cada atributo do serviço, utilizados para o cálculo do *investimento* ( $r$ ) do *Hortelão 1*, *2* e *3* na realização de um serviço. Através dos quais, pode-se observar que:

- *Hortelão 1* – considera que os três serviços da Horta são “*fáceis*” de realizar, ou seja, apresentam uma dificuldade baixa, porém lhe consomem muito tempo e recurso;

<sup>1</sup>Estes estudos foram realizados em um projeto de cooperação com a Universidad de Sevilla, para o desenvolvimento de ferramentas para simulação de processos de produção e gestão social de ecossistemas urbanos [19], mais especificamente, a horta urbana de San Jerónimo, (Sevilla, Espanha).[20], [21]

TABLE I. VALORES DOS ATRIBUTOS DOS SERVIÇOS REALIZADOS PELOS AGENTES *Hortelão 1, 2 E 3*

Serviços	Hortelão 1			Hortelão 2			Hortelão 3		
	qualidade	preço	tempo	qualidade	preço	tempo	qualidade	preço	tempo
plantar	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45
irrigar	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45
colher	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45

- *Hortelão 2* – apresenta valores intermediários para os três atributos dos serviços da Horta;
- *Hortelão 3* – apresenta uma dificuldade elevada para executar os três serviços da Horta, porém estes não lhe consomem muito tempo e recurso.

Cada hortelão, quando necessita de um serviço, envia uma requisição de “*proposta*” de serviço a todos os outros hortelãos presentes na Horta. Após o recebimento de todas as “*propostas*” o hortelão escolhe o agente com o qual irá trocar serviço, de acordo com a sua “*estratégia de troca*”.

Nas simulações realizadas, cada hortelão executa 100 requisições de cada um dos serviços da horta, gerando um total de 300 requisições por agente. Essas interações seguem uma ordem pré-estabelecida, como descrita a seguir:

*Hortelão 1* requisita serviço ... serviço terminado ◡  
*Hortelão 2* requisita serviço ... serviço terminado ◡  
*Hortelão 3* requisita serviço ... serviço terminado ◡  
*Hortelão 1* requisita serviço ... serviço terminado ◡  
 ...

Essa sequência evita que um único agente requisições diversas propostas de serviços seguidas, impossibilitando que os outros agentes realizem suas requisições.

Nas simulações realizadas o *Hortelão 1* avalia o *investimento* gerado na realização de um serviço da Horta, levando em consideração somente o valor do atributo “*dificuldade*” e avalia a *satisfação* obtida no recebimento de um serviço levando em consideração somente o valor do atributo “*qualidade*”. O *Hortelão 2* avalia o *investimento* levando em consideração os valores dos atributos “*dificuldade*” e “*tempo*” e avalia a *satisfação* levando em consideração os valores dos atributos “*qualidade*” e “*tempo*”. O *Hortelão 3* avalia o *investimento* levando em consideração os três atributos do serviço “*dificuldade*”, “*custo*” e “*tempo*” e avalia a *satisfação*, também, levando em consideração os três atributos do serviço “*qualidade*”, “*preço*” e “*tempo*”.

**B. Simulação com Estratégia de Troca Baseada na Satisfação**

Nesta simulação, são avaliados os valores defuzzificados dos balanços materiais e virtuais dos três agentes hortelão (*Hortelão 1*, *Hortelão 2* e *Hortelão 3*) nas diversas trocas de serviços realizadas. Neste caso, os três hortelãos utilizam a *estratégia de troca baseada na satisfação*. Essa estratégia de troca combinada com as outras características dos hortelãos resultou nos seguintes números de serviços realizados por cada agente:

- O *Hortelão 1* não foi escolhido por nenhum dos agentes para realizar serviço;
- O *Hortelão 2* realizou 28 serviços para o *Hortelão 1* e realizou 300 serviços para o *Hortelão 3*;
- O *Hortelão 3* realizou 272 serviços para o *Hortelão 1* e realizou 300 serviços para o *Hortelão 2*.

Assim, pode-se somar o número de serviços prestados entre dois agentes, para obter o total de trocas realizadas entre esses agentes durante a simulação. Neste caso, ocorreram:

- 28 trocas entre os hortelãos 1 e 2;
- 272 trocas entre os hortelãos 1 e 3;
- 600 trocas entre os hortelãos 2 e 3.

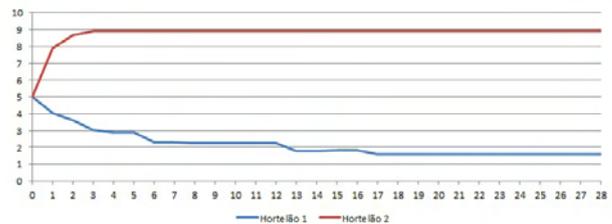


Fig. 3. Balanços virtuais dos hortelãos 1 e 2 com estratégia de troca baseada na satisfação

A Figura 3 mostra os balanços virtuais dos hortelãos 1 e 2, onde pode-se observar que, pelo fato do *Hortelão 1* só ter recebido serviços, este acumula dívidas com o *Hortelão 2*, o qual, por sua vez, acumula créditos por ter sido o único a realizar serviços nas 28 interações que teve com o *Hortelão 1*.

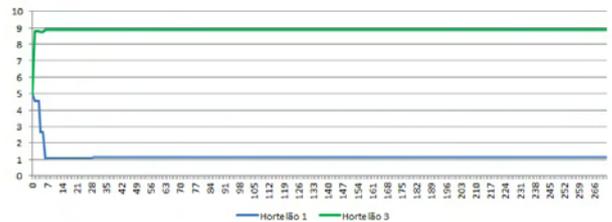


Fig. 4. Balanços virtuais dos hortelãos 1 e 3 com estratégia de troca baseada na satisfação

A Figura 4 mostra os balanços virtuais dos hortelãos 1 e 3, onde observa-se uma certa semelhança com a Figura 3, porém neste caso ocorreu um número muito maior de interações entre os agentes, onde nessas 272 interações, somente o *Hortelão 3* realizou serviços, resultando assim num balanço virtual “*negativo*” para o *Hortelão 1*, que acumulou dívidas.

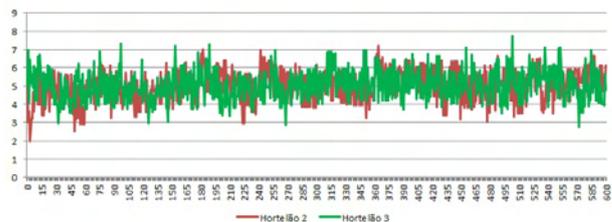


Fig. 5. Balanços virtuais dos hortelãos 2 e 3 com estratégia de troca baseada na satisfação

A Figura 5 mostra os balanços virtuais dos hortelãos 2 e 3, neste caso os valores dos balanços apresentam oscilações em torno de 5, sendo (5.030900671) a média do balanço virtual

TABLE II. VALORES DOS ATRIBUTOS DOS SERVIÇOS PARA O CÁLCULO DO investimento REALIZADO PELOS AGENTES *Hortelão* 1, 2 E 3

Serviços	Hortelão 1			Hortelão 2			Hortelão 3		
	dificuldade	custo	tempo	dificuldade	custo	tempo	dificuldade	custo	tempo
plantar	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45
irrigar	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45
colher	0 a 2.5	75 a 100	60 a 90	2.5 a 7.5	25 a 75	30 a 60	5 a 10	0 a 50	1 a 45

do *Hortelão* 2 e (5.032719712) a média do balanço virtual do *Hortelão* 3, o que demonstra um equilíbrio virtual entre os agentes nas 600 interações, onde cada agente realizou a mesma quantidade de serviços (300), fato esse que pode ter contribuído para o equilíbrio dos balanços virtuais.

Analisando os valores e os gráficos presentes, observa-se que a estratégia de troca baseada somente na satisfação favorece a interação (troca de serviços) entre os agentes que apresentam melhores características na realização do serviço, ou seja, esses agentes têm uma chance maior de serem escolhidos para realizarem o serviço, pois, apresentam atributos melhores para a realização do mesmo e consequentemente causam uma satisfação maior para o agente que recebe o serviço. Esse tipo de estratégia de troca não leva em consideração os balanços materiais e virtuais entre os agentes, permitindo, neste caso, que um determinado agente somente receba ou realize um serviço em diversas interações (como o ocorrido com o *Hortelão* 1 que não foi escolhido por nenhum dos agentes para realizar serviço).

## VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo híbrido de agente BDI-Fuzzy para a plataforma de agentes Jason, com habilidades de avaliar de forma qualitativa os valores de trocas sociais originados na prestação e no recebimento de serviços não-econômicos. Um serviço é definido como um conjunto de atributos que são utilizados na sua avaliação (e.g, qualidade, dificuldade, tempo, custo, etc). O agente pode considerar um, dois ou mais atributos do serviço na sua avaliação (tanto na prestação como no recebimento de um serviço), configurando as diferentes atitudes de avaliação de serviço. Os agentes também podem assumir diferentes atitudes com relação às trocas de serviços que optam por realizar, podendo levar em consideração os valores dos balanços materiais e virtuais na escolha dos agentes com os quais irão interagir.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by CNPq (Proc. 560118/10-4, 305131/2010-9, 476234/2011-5), FAPERGS (Proc. 11/0872-3) and Projeto RS-SOC (FAPERGS Proc. 10/0049-7).

## REFERENCES

- [1] M. Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*. Chichester: Wiley, 2002.
- [2] N. Gilbert, *Agent-based Models*. Los Angeles: SAGE, 2008.
- [3] A. S. Rao and M. P. Georgeff, "An abstract architecture for rational agents," in *Proc. of the 3rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'92)*. Morgan Kaufmann, oct 1992, pp. 439–449.
- [4] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [5] R. H. Bordini, J. F. Hübner, and M. Wooldridge, *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. University of Liverpool: Wiley, 2007.
- [6] J. Piaget, *Sociological Studies*. London: Routledge, 1995.
- [7] N. Ghasem-Aghaee and T. I. Ören, "Towards fuzzy agents with dynamic personality for human behavior simulation," in *Proc. of the 2003 Summer Computer Simulation Conference, Montreal, July 20-24, 2003*. San Diego: SCS, 2003, pp. 3–10.
- [8] T. I. Ören and N. Ghasem-Aghaee, "Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation," in *Proc. of the 2003 Summer Computer Simulation Conference, Montreal, July 20-24, 2003*. San Diego: SCS, 2003, pp. 11–18.
- [9] G. P. Dimuro, A. V. Santos, G. P. Bedregal, and A. C. R. Costa, "Fuzzy evaluation of social exchanges between personality-based agents," in *New Trends In Artificial Intelligence, Proc. of 14th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, EPIA'2009*, L. S. Lopes, N. Lau, P. Mariano, and L. M. Rocha, Eds. Aveiro: APIA/Universidade de Aveiro, 2009, pp. 451–462.
- [10] A. Casali, L. Godo, and C. Sierra, "Graded BDI models for agent architectures," in *In 5th International Workshop on Computational Logic in Multi-Agent Systems (CLIMA V, ser. LNAI, vol. 3487)*. Springer, 2004, pp. 126–143.
- [11] —, "Modelos BDI graduados para arquitecturas de agentes," *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 9, no. 26, pp. 67–75, 2005.
- [12] S. A. Long and A. C. Esterline, "Fuzzy BDI architecture for social agents," in *Proceedings of the IEEE Southeastcon 2000*, N. R. Pal, N. Kasabov, R. K. Mudi, S. Pal, and S. K. Parui, Eds. Los Alamitos: IEEE, 2000, pp. 68–74.
- [13] S. Shen, G. M. P. O'Hare, and R. Collier, "Decision-making of BDI agents, a fuzzy approach," in *Proceedings of The Fourth International Conference on Computer and Information Technology*. Washington: IEEE, 2004, pp. 1022 – 1027.
- [14] G. P. Dimuro, A. C. R. Costa, and L. A. M. Palazzo, "Systems of exchange values as tools for multi-agent organizations," *Journal of the Brazilian Computer Society*, vol. 11, no. 1, pp. 31–50, 2005, (Special Issue on Agents' Organizations).
- [15] M. R. Rodrigues, A. C. R. Costa, and R. Bordini, "A system of exchange values to support social interactions in artificial societies," in *Proc. II Intl Conf. on Autonomous Agents and Multiag. Systems, AAMAS'03*. Melbourne: ACM Press, 2003, pp. 81–88.
- [16] M. R. Rodrigues and A. C. R. Costa, "Using qualitative exchange values to improve the modelling of social interactions," in *Proc. of IV Work. on Agent Based Simulations, MABS'03, Melbourne, 2003*, ser. LNAI, D. Hales, B. Edmonds, E. Norling, and J. Rouchier, Eds., no. 2927. Berlin: Springer, 2004, pp. 57–72.
- [17] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. New Mexico - USA: Wiley, 2004.
- [18] J. Piaget, *Estudos Sociológicos*. Rio de Janeiro: Forense, 1973.
- [19] G. Dimuro and E. M. Jerez, "La comunidad como escala de trabajo en los ecosistemas urbanos," *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 10, pp. 101–116, 2011.
- [20] F. C. P. Santos, T. F. Rodrigues, G. Dimuro, D. F. Adamatti, G. P. Dimuro, A. C. R. Costa, and E. De Manuel Jerez, "Modeling role interactions in a social organization for the simulation of the social production and management of urban ecosystems: the case of San Jerónimo vegetable garden of Seville, Spain," in *2012 Brazilian Workshop on Social Simulation, Advances in Social Simulation II*. Los Alamitos: IEEE, 2012, pp. 136–139.
- [21] I. S. Santos, T. Rodrigues, G. P. Dimuro, A. R. Costa, G. Dimuro, and E. de Manuel, "Towards the modeling of the social organization of an experiment of social management of urban vegetable gardens," in *Proceedings of 2011 Workshop and School of Agent Systems, their Environment and Applications*. Los Alamitos: IEEE, 2011, pp. 98 –101.