

# Avaliação Fuzzy de Trocas Sociais em Sistemas Multiagentes baseados em Personalidades

André V. dos Santos<sup>1</sup>, Graçaliz P. Dimuro<sup>1</sup>, Benjamín C. Bedregal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Informática – UCPel  
Rua Félix da Cunha, 412 – 96010-000 – Pelotas – RS – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Informática e Matemática Aplicada – UFRN  
Campus Universitário s/n – 59072-970 Natal – RN – Brasil

{avs,liz}@ucpel.tche.br, bedregal@dimap.ufrn.br

**Abstract.** *The aim of this work is to introduce an approach based on Fuzzy Logic for the evaluation of material social exchange values in personality-based multiagent systems. Social exchanges are thought as service exchanges between pairs of agents, which evaluate those services generating fuzzy exchange values. This evaluation is of subjective nature and depends on the different agent's personality traits. In this paper, we consider only the fuzzy evaluation of material values generated on the first stage of a social exchange, analyzing also the equation of the fuzzy material equilibrium associated to this stage.*

**Resumo.** *O objetivo deste trabalho é propor uma abordagem baseada na Lógica Fuzzy para a avaliação dos valores materiais de trocas sociais em sistemas multiagentes baseados em personalidades. Trocas sociais são entendidas como trocas de serviços entre pares de agentes, que avaliam estes serviços gerando valores fuzzy de trocas. Esta avaliação é subjetiva e dependente dos diferentes traços de personalidades dos agentes. Neste artigo, considera-se a avaliação dos valores materiais do primeiro estágio de uma troca social, analisando-se também a equação de equilíbrio material fuzzy associada a este estágio.*

## 1. Introdução

Em Sistemas Multiagentes (SMA) [Wooldridge 2002] e em ambientes colaborativos em geral, pode-se exigir que os agentes sejam capazes de agir “socialmente”, no sentido que eles devem ser capazes de articular adequadamente seus comportamentos com os comportamentos de outros agentes.

Em [Dimuro et al. 2005], foi proposto a utilização de Valores de Trocas Sociais como uma ferramenta para organização social de sistemas multiagentes, com base na Teoria de Trocas Sociais de Jean Piaget [Piaget 1995]. Nesta teoria, interações são compreendidas como trocas de serviços entre indivíduos envolvendo não somente a realização desse serviço por alguns indivíduos em favor de outros, mas também a avaliação de tais serviços (em vários pontos de vista) pelos indivíduos envolvidos nas trocas.

A avaliação de um serviço por um indivíduo tem como base uma escala de valores de trocas, os quais são de natureza qualitativa, expressando *avaliações subjetivas* (bom, ruim, etc.), que podem ser comparados por suas magnitudes (menor que, igual, maior que), mas não podem ser operados de forma algébrica.

Um problema que se coloca então é a representação computacional dos valores de trocas compatível com sua natureza qualitativa, subjetiva, vaga. Neste contexto, encontra-se a Lógica Fuzzy (LF) [Zadeh 1965], uma ferramenta que tem sido largamente utilizada para o tratamento de informação subjetiva, vaga, ambígua, com aplicações em diversas áreas, muitas delas no contexto da Inteligência Artificial [Mitra and Pal 2005]. O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem baseada na Lógica fuzzy para a avaliação dos valores de trocas materiais gerados no primeiro estágio das trocas sociais em MAS baseados em personalidades, com a análise da equação de equilíbrio material fuzzy associada a este estágio. Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 resume-se o modelo de Trocas Sociais; a Seção 3 descreve o processo utilizado para representar os traços de personalidades de agentes; a proposta de avaliação fuzzy dos valores materiais é introduzida na Seção 4; a Conclusão e trabalhos relacionados estão na Seção 5.

## 2. Modelo de Trocas Sociais

Uma *troca social* entre dois agentes<sup>1</sup>,  $\alpha$  e  $\beta$ , acontece em dois tipos de estágios. Em estágios do tipo  $I_{\alpha\beta}$ ,  $\alpha$  executa uma ação em benefício de (um “serviço” para)  $\beta$ . Os valores de trocas sociais gerados neste estágio são:  $r_{I_{\alpha\beta}}$ , que é o valor do *investimento* feito por  $\alpha$  para a realização de um serviço para  $\beta$ ;  $s_{I_{\beta\alpha}}$ , que é o valor de *satisfação* de  $\beta$  com o serviço realizado por  $\alpha$ ;  $t_{I_{\beta\alpha}}$  é o valor de *débito* de  $\beta$  para com o  $\alpha$ ; e  $v_{I_{\alpha\beta}}$ , que é o valor do *crédito* que  $\alpha$  adquire em relação a  $\beta$ , por ter realizado o serviço para  $\beta$ . Em estágios do tipo  $II_{\alpha\beta}$ ,  $\alpha$  cobra o serviço que foi previamente executado para  $\beta$ , e os valores relacionados a esta troca tem um significado semelhante aos do primeiro estágio.

$r_{I_{\alpha\beta}}$ ,  $s_{I_{\beta\alpha}}$ ,  $r_{II_{\beta\alpha}}$  e  $s_{II_{\alpha\beta}}$  são chamados *valores materiais*, gerados através da avaliação de *trocas imediatas*;  $t_{I_{\beta\alpha}}$ ,  $v_{I_{\alpha\beta}}$ ,  $t_{II_{\beta\alpha}}$  e  $v_{II_{\alpha\beta}}$  são os *valores virtuais*, gerados através de trocas *trocas postergadas*, trocas que acontecerão no futuro.

Um *processo de trocas sociais* é composto por uma seqüência de estágios do tipo  $I_{\alpha\beta}$  e/ou  $II_{\alpha\beta}$ . Diz-se que um processo de trocas está em *equilíbrio material* se o somatório dos valores materiais, sob os pontos de vista de cada agente, está em torno do zero. Analogamente se define o *equilíbrio virtual*. Entretanto, pode-se considerar apenas o equilíbrio interno em cada troca, conforme as equações de equilíbrio [Piaget 1995]:

$$\text{Regra I}_{\alpha\beta} : \quad (r_{I_{\alpha\beta}} = s_{I_{\beta\alpha}}) \wedge (s_{I_{\beta\alpha}} = t_{I_{\beta\alpha}}) \wedge (t_{I_{\beta\alpha}} = v_{I_{\alpha\beta}}) \quad (1)$$

$$\text{Regra II}_{\alpha\beta} : \quad (v_{II_{\alpha\beta}} = t_{II_{\beta\alpha}}) \wedge (t_{II_{\beta\alpha}} = r_{II_{\beta\alpha}}) \wedge (r_{II_{\beta\alpha}} = s_{II_{\alpha\beta}}) \quad (2)$$

$$\text{Regra I}_{\alpha\beta} \text{II}_{\beta\alpha} : \quad r_{I_{\alpha\beta}} = s_{II_{\alpha\beta}} \quad (3)$$

Este trabalho considera apenas o equilíbrio material do primeiro estágio de uma troca social, isto é, a primeira igualdade ( $(r_{I_{\alpha\beta}} = s_{I_{\beta\alpha}})$ ) da **Regra I** <sub>$\alpha\beta$</sub>

## 3. Agentes baseados em Personalidades

Em [Dimuro et al. 2007] foi apresentada uma proposta de modelagem de traços de personalidades para aplicação em trocas sociais em Sistemas Multiagentes, que inspirou a modelagem dos traços de personalidades de agentes considerada no presente trabalho. Observa-se, entretanto, que embora utilizando a mesma denominação de [Dimuro et al. 2007], estes traços de personalidades aqui podem ter uma significação um pouco distinta da proposta naquele trabalho.

<sup>1</sup>Em [Piaget 1995], uma troca social é sempre realizada por um par de agentes.

Neste contexto, um agente *egoísta* é aquele que supervaloriza o investimento na realização de um serviço para outro agente e, ao mesmo tempo, subvaloriza a satisfação por um serviço recebido. Ao contrário, um agente *altruísta* é aquele que subvaloriza o investimento na realização de um serviço, enquanto que supervaloriza a satisfação por um serviço recebido de outro agente. Um agente *tolerante* é aquele que realiza avaliações de acordo com o senso comum, isto é, de acordo com a média das avaliações realizadas pela população local em situações semelhantes (obtida, p. ex., de uma análise estatística).

Cada traço de personalidade é definido por meio de um *fator de personalidade*, denotado por  $\gamma$ , que define a influência dessa personalidade em uma avaliação. Este fator, que pode ser de *depreciação*, *superestimação* ou *neutro*, é definido de acordo com o tipo de escala utilizada (crescente ou decrescente). O fator de personalidade tolerante, denotado por  $\gamma_{tol}$ , é um fator neutro que, para uma escala decrescente, satisfaz a condição  $1 - \delta \leq \gamma_{tol} \leq 1 + \delta$ , onde  $\delta$  é um limite de tolerância. O fator de personalidade egoísta, denotado por  $\gamma_{ego}$ , é um fator de depreciação que, para uma escala decrescente, satisfaz a condição  $0 \leq \gamma_{ego} \leq 1 - \delta$ , onde o limite inferior igual a zero significa uma depreciação de 100%. O fator de personalidade altruísta, denotado por  $\gamma_{alt}$ , é um fator de superestimação que, para uma escala decrescente, satisfaz a condição  $1 + \delta \leq \gamma_{alt} \leq 2$ , onde o limite superior igual a dois significa uma superestimação de 100%. Os fatores de personalidades podem ser definidos para uma escala crescente de forma análoga.

## 4. Avaliação Fuzzy de Valores de Trocas Materiais

### 4.1. Conceitos Básicos da Lógica Fuzzy

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy foi introduzida por Zadeh [Zadeh 1965], para tratar de parâmetros imprecisos, ou definidos de forma vaga. A Lógica Fuzzy (para principais conceitos da LF veja [Ross 2004]) considera diversos graus de verdade entre zero e um, indicando a incerteza sobre a pertinência de um determinado elemento a um conjunto.

**Definição 4.1** *Seja  $X$  um conjunto (clássico). Um subconjunto fuzzy  $\mathbb{F}$  em  $X$  é um conjunto de pares ordenados  $\mathbb{F} = \{(x, \mu_{\mathbb{F}}(x)) : x \in X\}$ , onde  $\mu_{\mathbb{F}} : X \rightarrow [0, 1]$  é uma função chamada grau de pertinência de  $x$  em  $\mathbb{F}$ , com os graus 1 e 0 representando, respectivamente, a pertinência completa e a não pertinência do elemento ao conjunto fuzzy.*

Neste trabalho, a função de pertinência representa a escala de avaliação dos valores de trocas, sendo adotada a representação trapezoidal [Ross 2004].

### 4.2. Avaliação Fuzzy de Serviços

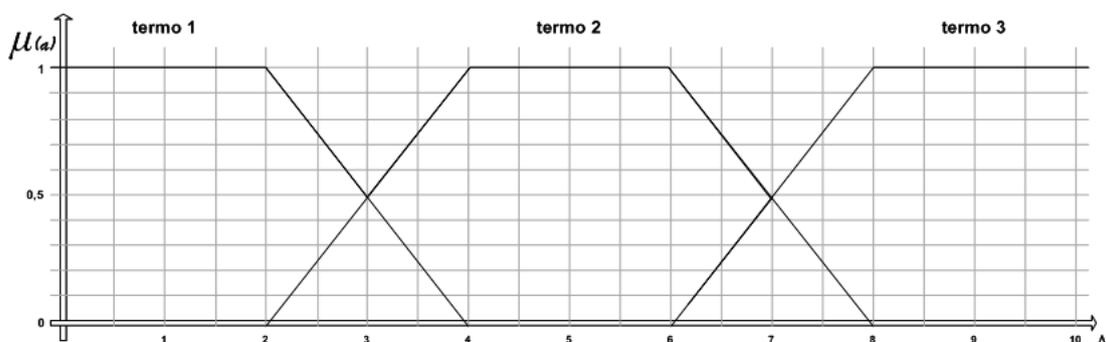
A realização de um serviço por um agente  $\alpha$  para outro agente  $\beta$  implica na geração imediata dos valores materiais de investimento  $r_{\alpha\beta}$  (por parte do agente  $\alpha$  que realizou o serviço) e de satisfação  $s_{\beta\alpha}$  (por parte de  $\beta$  que recebeu o serviço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

**Definição 4.2** *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 lingüísticas, cujo valor é expresso qualitativamente por um termo lingüístico e quantitativamente por uma função de pertinência.

Uma escala para avaliação de um atributo é representada pela função de pertinência  $\mu$  para a variável lingüística que representa o atributo a ser avaliado, como pode ser observado na Fig.1. Nesta figura, a escala para avaliação do atributo cujos termos lingüísticos são “termo 1”, “termo 2” e “termo 3”, tem um valor limite igual a  $N \in \mathbb{N}$ . Existem dois tipos de escala: a escala decrescente é aquela que quanto maior for a medida no eixo  $x$  pior é a avaliação do atributo, caso contrário diz-se que a escala é crescente. Uma escala com termos lingüísticos  $T_1, \dots, T_n$  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, que leva em conta o fator de personalidade.



**Figura 1. Escala para avaliação fuzzy de um atributo de serviço**

**Definição 4.3** Seja  $V(a)$  o valor medido do atributo  $a$ ,  $N$  o limite superior de uma escala decrescente e  $max$  o valor limite do atributo  $a$ , de acordo com o senso comum. Então, o valor normalizado do atributo  $a$ , para um agente com fator de personalidade  $\gamma$ , é denotado por  $V_{nor}(a)$  e definido como:

$$V_{nor}(a) = \min\{N, V'(a)\}, \text{ onde } V'(a) = \frac{V(a) \times N}{max} \times (2 - \gamma). \quad (4)$$

O valor normalizado do atributo é então avaliado na escala de valores fuzzy mostrada na Fig. 1, 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 [Ross 2004].

Seja  $T^i = \langle T_1^i, \dots, T_k^i \rangle$  uma escala para avaliação de um atributo  $a_i$  de um serviço  $\mathbb{S}_r(\alpha) = (a_1, \dots, a_n)$  que um agente  $\alpha$  realiza 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:<sup>2</sup>

**If**  $a_1$  is  $T_j^1$  and  $a_2$  is  $T_l^2$  and ... and  $a_n$  is  $T_p^n$   
**Then**  $r'_{\alpha\beta}$  is  $T_q^r$

<sup>2</sup>Considera-se a t-norma de Gödel (do mínimo).

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  $a_i$  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  $r'_{\alpha\beta}$  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

$$\max\{T_v^r, T_v^{r'}, \dots, T_v^{\omega r}\}, \quad (5)$$

onde  $\omega \leq k_1 \times \dots \times k_n$ . Estes valores provocam um corte no termo lingüístico  $T_v^r$  e portanto uma região fuzzy em  $T^r$ . Nessa região é aplicado um método de *defuzzificação*, por exemplo o *centróide* [Ross 2004], 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  $\alpha$ .

### 4.3. Estudo de Caso

Considere um serviço de tele-entrega de pizza onde existem dois pontos de vista de avaliação: (i) do agente  $\alpha$ , que executa o serviço de entregar a pizza para o agente  $\beta$ , gerando um valor de investimento  $r_{\alpha\beta}$ , onde consideram-se os fatores complexidade ( $cl$ ) para montar a pizza e a distância ( $d$ ) percorrida para entregar a pizza na residência de  $\beta$ ; (ii) do agente  $\beta$ , que recebe o serviço, gerando um valor de satisfação  $s_{\beta\alpha}$ , onde se leva em conta o tempo ( $t$ ) de entrega e o custo ( $ct$ ), que refere-se ao valor pago por  $\beta$  pela pizza. Assim, tem-se que esse serviço é definido como:  $\mathbb{S}_r(\alpha) = \{d, cl\}$  e  $\mathbb{S}_s(\beta) = \{t, ct\}$ .

Consideram-se agentes com diferentes fatores de personalidade e analisam-se em detalhe as avaliações realizadas pelo agentes  $\alpha_3$  (agente egoísta com fator de personalidade  $\gamma_{\alpha_3} = 0.3$ ) e  $\beta_{15}$  (agente altruísta com fator de personalidade  $\gamma_{\beta_{15}} = 1.5$ ).

### 4.4. Avaliação Fuzzy do Valor de Investimento

Seja o serviço  $\mathbb{S}_r(\alpha) = \{d, cl\}$ , onde  $d$  denota distância e  $cl$  denota complexidade, e as escalas para avaliação fuzzy dos atributos  $d$  e  $cl$ , e do valor do investimento  $r_{\alpha\beta}$ , dadas, respectivamente, como:  $T^d = \langle \text{perto, meio perto, meio longe, longe} \rangle$ ;  $T^{cl} = \langle \text{baixa, média, alta} \rangle$  e  $T^r = \langle \text{pouco, médio, alto} \rangle$ . A base de regras para a avaliação fuzzy do investimento é dada pela Tab. 1.

**Tabela 1. Avaliação do Investimento (Distância  $\times$  Complexidade)**

$r_{\alpha\beta}$	baixa	média	alta
perto	<b>pouco</b>	<b>pouco</b>	<b>médio</b>
meio perto	<b>pouco</b>	<b>médio</b>	<b>médio</b>
meio longe	<b>médio</b>	<b>médio</b>	<b>alto</b>
longe	<b>médio</b>	<b>alto</b>	<b>alto</b>

Considere a realização de uma instância do serviço, cujos atributos complexidade e distância são medidos como:  $V(cl) = 40$  e  $V(d) = 5$ . A normalização desses atributos, realizada pelo agente egoísta  $\alpha_3$  ( $\gamma = 0.3$ ), através da Eq. (4), resulta:  $V_{nor}(cl) = 6.80$  e  $V_{nor}(d) = 5.66$ . Nas figuras 2 e 3, pode-se observar a marcação na escala desses valores normalizados. Observa-se que o agente tolerante  $\alpha_{11}$ , com fator de personalidade  $\gamma = 1.1$ , apresenta as avaliações normalizadas realistas  $V_{nor}(cl) = 3.6$  e  $V_{nor}(d) = 3$ .

As figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, os valores fuzzy das avaliações dos atributos complexidade e distância, realizadas por agentes com diferentes fatores de personalidades, onde se pode observar as avaliações fuzzy realizadas pelo agente egoísta  $\alpha_3$ :

“cl is média” com grau 0.8 e “cl is alta” com grau 0.86, “d is meio perto” com grau 0.34 e “d is meio longe” com grau 0.66.

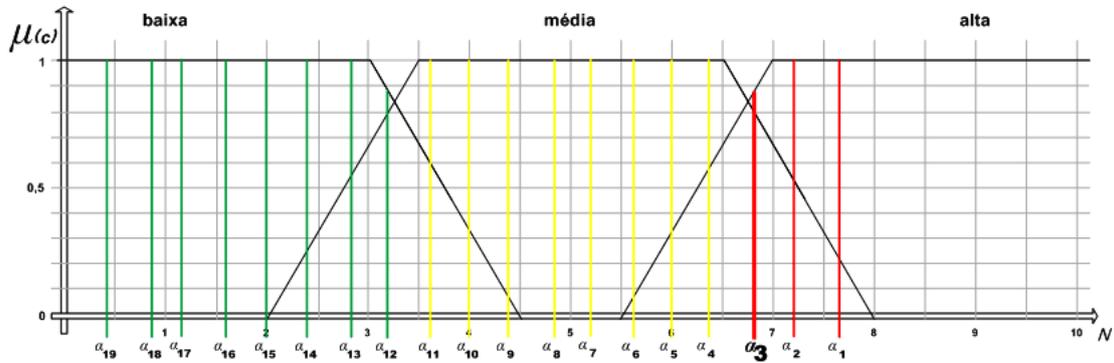


Figura 2. Fuzzificação do Atributo Complexidade

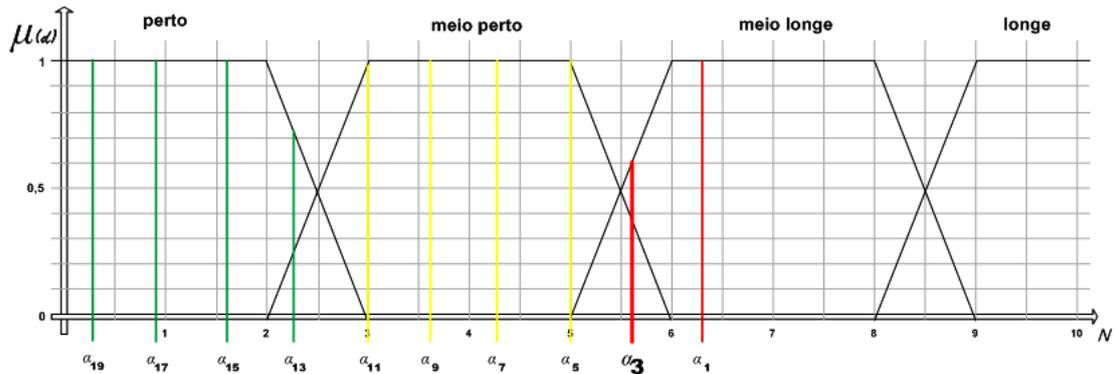


Figura 3. Fuzzificação do Atributo Distância

Avaliando-se com esses valores as regras aplicáveis da Tabela 1, tem-se que o valor fuzzy do investimento de  $\alpha_3$  é calculado como na Eq. 5, obtendo-se: “ $r_{\alpha\beta}$  is médio” com grau  $\max\{0.34, 0.34, 0.66\} = 0.66$  e “ $r_{\alpha\beta}$  is alto” com grau 0.66, gerando a região fuzzy da Fig. 4. O valor *crisp* de saída, se necessário para alguma aplicação, é calculado pelo método do centróide, que resulta em 6.852866.

#### 4.5. Avaliação Fuzzy do Valor de Satisfação

Seja o serviço  $S_s(\beta) = \{t, ct\}$ , onde  $t$  denota tempo e  $ct$  denota custo, e as escalas para avaliação fuzzy dos atributos  $t$  e  $ct$ , e do valor da satisfação  $s_{\beta\alpha}$  dadas, respectivamente, como:  $T^t = \langle \text{rápido, médio, lento} \rangle$ ;  $T^{ct} = \langle \text{barato, médio, caro} \rangle$ ;  $T^s = \langle \text{insatisfatório, médio, satisfatório} \rangle$ . A base de regras para a avaliação fuzzy do investimento é dada pela Tab. 2.

Tabela 2. Avaliação do Investimento (Tempo  $\times$  Custo)

$s_{\beta\alpha}$	barato	médio	caro
rápido	satisfatório	satisfatório	médio
médio	satisfatório	médio	insatisfatório
lento	médio	insatisfatório	insatisfatório

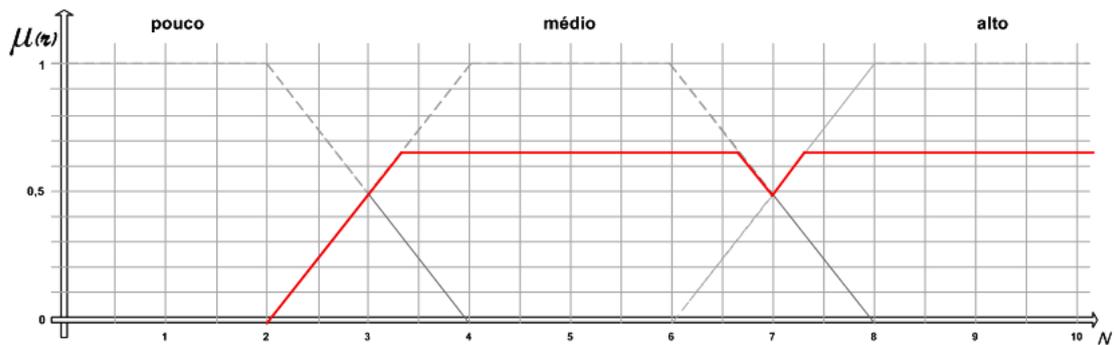


Figura 4. Representação geométrica do valor fuzzy do investimento de  $\alpha_3$

Considere a realização de uma instância de um serviço, cujos atributos para avaliação da satisfação, tempo e custo, são medidos pelos valores:  $V(t) = 30$  e  $V(ct) = 40$ . As avaliações normalizadas desses atributos, realizadas pelo agente altruísta  $\beta_{15}$ , através da Eq. (4), são:  $V_{nor}(t) = 2.5$  e  $V_{nor}(ct) = 3.33$ . Compare, nas figuras 5 e 6, as avaliações deste agente com a do agente tolerante  $\beta_{11}$ , com fator de personalidade  $\gamma = 1.1$ , que realiza as avaliações normalizadas realistas  $V_{nor}(t) = 4.50$  e  $V_{nor}(ct) = 5.99$ .

As figuras Fig. 5 Fig. 6 mostram, respectivamente, os valores fuzzy das avaliações do atributo custo e do atributo tempo, realizadas por agentes com diferentes fatores de personalidades, onde se pode observar as avaliações fuzzy realizadas pelo agente altruísta  $\beta_{15}$ : “*t* is rápido” com grau 0.75 e “*t* is médio” com grau 0.25, “*ct* is barato” com grau 0.44 e “*ct* is médio” com grau 0.22. Avaliando-se com esses valores as regras aplicáveis da Tabela 2, tem-se que o valor fuzzy da satisfação de  $\beta_{15}$  é calculado como na Eq. 5, obtendo-se: “*s* <sub>$\beta_\alpha$</sub>  is satisfatório” com grau  $\max\{0.44, 0.22, 0.25\} = 0.44$  e “*s* <sub>$\beta_\alpha$</sub>  is médio” com grau 0.22, gerando a região fuzzy da Fig. 7. O valor *crisp* de saída, calculado através do método do centróide, é 2.866667.

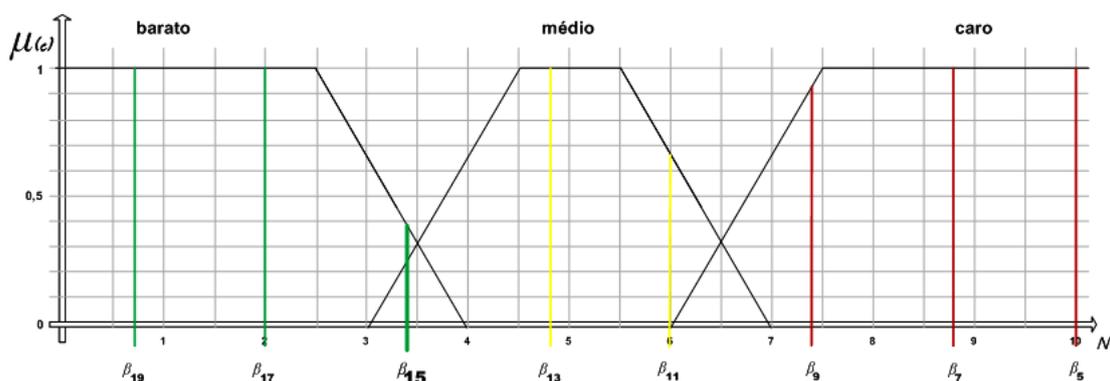


Figura 5. Fuzzificação do Atributo Custo

#### 4.6. Análise das Equações de Equilíbrio Material Fuzzy

Com os resultados obtidos no estudo de caso apresentado nas seções anteriores, é possível avaliar o equilíbrio material no primeiro estágio de um processo de troca entre os agentes  $\alpha$  e  $\beta$ , que é dado pela primeira igualdade da regra **Regra I** <sub>$\alpha,\beta$</sub> , dada na Eq. 1. A base de regras para a avaliação fuzzy do equilíbrio material é dada pela Tab. 3. Nesta

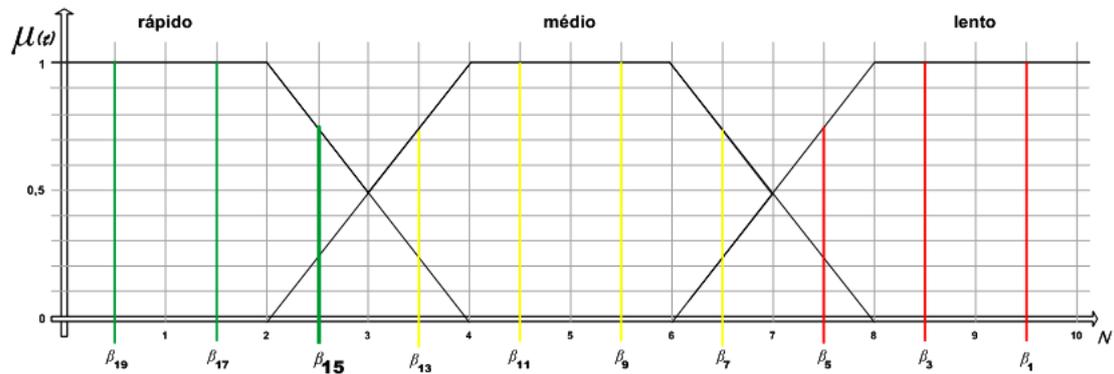


Figura 6. Fuzzificação do Atributo Tempo

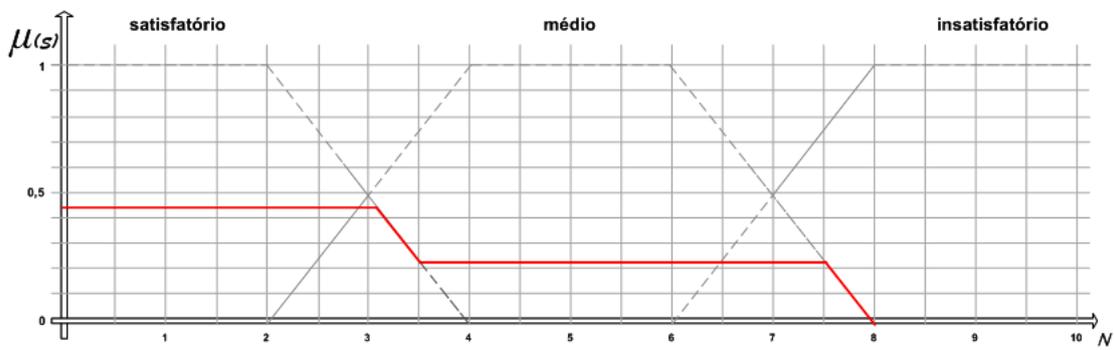


Figura 7. Valor de Satisfação do Agente  $\beta_{15}$

tabela, pode-se observar a noção fuzzy de equilíbrio (caso em que o investimento da pizzaria e a satisfação do cliente se “igualem” com certo grau) ou as noções fuzzy de desequilíbrio (casos em que o investimento da pizzaria é “menor” ou “muito menor” que a satisfação do cliente com certo grau, ou vice-versa).

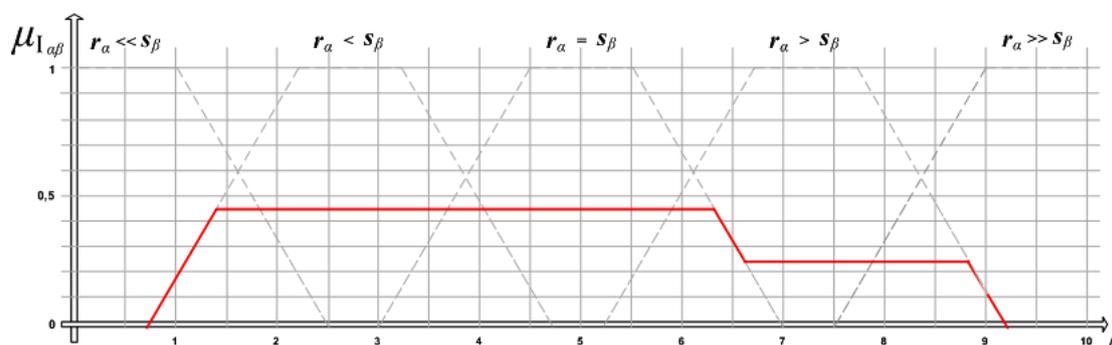
Tabela 3. Equações de equilíbrio material no estágio  $I_{\alpha\beta}$  ( $r_{\alpha\beta} \times s_{\beta\alpha}$ )

$I_{\alpha\beta}$	insatisfatório	médio	satisfatório
pouco	$r_{\alpha\beta} = s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} < s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} \ll s_{\beta\alpha}$
médio	$r_{\alpha\beta} > s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} = s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} < s_{\beta\alpha}$
alto	$r_{\alpha\beta} \gg s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} > s_{\beta\alpha}$	$r_{\alpha\beta} = s_{\beta\alpha}$

Dados os valores fuzzy de investimento e satisfação obtidos respectivamente como “ $r_{\alpha\beta}$  is médio” com grau 0.66 e “ $r_{\alpha\beta}$  is alto” com grau 0.66, e “ $s_{\beta\alpha}$  is satisfatório” com grau 0.44 e “ $s_{\beta\alpha}$  is médio” com grau 0.22. Avaliando-se com esses valores as regras aplicáveis da Tabela 3, tem-se que o valor fuzzy da equação de equilíbrio material da etapa  $I_{\alpha\beta}$  é calculado como na Eq. 5, obtendo-se: “ $I_{\alpha\beta}$  is  $r_{\alpha\beta} < s_{\beta\alpha}$ ” com grau 0.44 e “ $I_{\alpha\beta}$  is  $r_{\alpha\beta} = s_{\beta\alpha}$ ” com grau  $\max\{0.22, 0.44\} = 0.44$  e “ $I_{\alpha\beta}$  is  $r_{\alpha\beta} > s_{\beta\alpha}$ ” com grau 0.22, gerando a região fuzzy da Fig. 8.

## 5. Conclusão e Considerações Finais

Valores de trocas sociais têm sido utilizados em diversos contextos de aplicações em SMA [Dimuro et al. 2005, Dimuro et al. 2007, Grimaldo et al. 2007,



**Figura 8. Equilíbrio Material Fuzzy no Estágio  $I_{\alpha\beta}$**

Rodrigues and Luck 2006, Rodrigues and Luck 2007]. Entretanto, como valores qualitativos representam conceitos subjetivos, a representação computacional de valores de trocas sociais não é trivial. Por exemplo, em [Rodrigues and Luck 2007, Rodrigues and Luck 2006] foi apresentada uma metodologia para avaliação de serviços em processos de trocas sociais, visando uma sistemática para a seleção de parceiros e interações cooperativas no contexto de serviços em bioinformática. Em [Grimaldo et al. 2007], valores de trocas foram utilizados para incorporação de sociabilidade como meio de melhorar mecanismos de coordenação em um ambiente de um bar virtual. Em ambos os trabalhos, não há uma representação qualitativa, subjetiva, para os valores materiais gerados nas avaliações das trocas realizadas.

Já em [Dimuro et al. 2005] foi apresentada uma abordagem para a representação dos valores de trocas através de técnicas da Matemática Intervalar [Moore 1979], e em [Dimuro et al. 2007] foram considerados processos de trocas sociais em sistemas multiagentes baseados em personalidades. Embora a representação baseada na Matemática Intervalar possa ser considerada um meio termo entre uma representação puramente qualitativa e puramente quantitativa, ela não é capaz de capturar a subjetividade da avaliação realizada por agentes baseados em personalidades.

Por outro lado, a Teoria dos Conjuntos Fuzzy [Zadeh 1965] traz uma proposta para representação de informação subjetiva que tem sido largamente utilizada em diversas áreas [Mitra and Pal 2005], sendo um teoria já bastante consolidada.

Este trabalho introduziu uma abordagem baseada na Lógica fuzzy para a avaliação dos valores de trocas materiais (investimento e satisfação) gerados no primeiro estágio de trocas sociais, com aplicação em sistemas multiagentes baseados em personalidades. Analisou-se também a equação de equilíbrio material fuzzy associada a este estágio. Um estudo de caso bastante simplificado possibilitou avaliar a potencialidade da proposta. Observa-se, entretanto, que vários outros atributos poderiam ser considerados, tanto para avaliação do investimento como da satisfação, mostrando a flexibilidade da proposta. Além disso, a abordagem pode ser aplicada na avaliação subjetiva, imprecisa ou vaga, de qualquer outro tipo de serviço realizável por agentes.

Como trabalhos futuros tem-se: (i) avaliação do balanço fuzzy de trocas em um processo envolvendo diversos estágios de trocas consecutivos no tempo, (ii) avaliação dos valores de troca virtuais (débito e crédito), o que poderá ser realizado através de modificadores lingüísticos [Ross 2004], e análise fuzzy das três equações de equilíbrio.

**Agradecimentos.** Este trabalho é financiado pelo CNPq (Proc. 473201/2007-0). Os autores agradecem as sugestões dos revisores.

## **Referências**

- Dimuro, G. P., Costa, A. C. R., Gonçalves, L. V., and Hübner, A. (2007). Centralized regulation of social exchanges between personality-based agents. In Noriega, P., Vázquez-Salceda, J., Boella, G., Boissier, O., Dignum, V., Formara, N., and Matson, E., editors, *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Agent Systems II*, n. 4386 in LNAI, pages 326–343, Berlin.
- Dimuro, G. P., Costa, A. C. R., and Palazzo, L. A. M. (2005). Systems of exchange values as tools for multi-agent organizations. *JBCS*, 11(1):31–50.
- Grimaldo, F., Lozano, M., and Barber, F. (2007). Coordination and sociability for intelligent virtual agents. In Sichman, J., Noriega, P., Padget, J., and Ossowski, S., editors, *Coord., Organizations, Institutions, and Norms in Agent Systems III*, n. 4870 in LNAI, pages 58–70, Berlin.
- Mitra, S. and Pal, S. K. (2005). Fuzzy sets in pattern recognition and machine intelligence. *Fuzzy Sets and Systems*, 156:381–386.
- Moore, R. E. (1979). *Methods and Applications of Interval Analysis*. SIAM, Philadelphia.
- Piaget, J. (1995). *Sociological Studies*. Routledge, London.
- Rodrigues, M. R. and Luck, M. (2006). Analysing partner selection through exchange values. In Antunes, L. and Sichman, J., editors, *Proc. of VI Work. on Agent Based Simulations, MABS'05, Utrecht, 2005*, n. 3891 in LNAI, pages 24–40, Berlin. Springer.
- Rodrigues, M. R. and Luck, M. (2007). Cooperative interactions: an exchange values model. In Noriega, P., Vázquez-Salceda, J., Boella, G., Boissier, O., Dignum, V., Formara, N., and Matson, E., editors, *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Agent Systems II*, n. 4386 in LNAI, pages 16–23, Berlin. Springer.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic, with Engineering Applications*. John Wiley, West Sussex.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multi-Agent Systems*. Wiley, New York.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353.