

# Uma análise comparativa do fluxo de mensagens entre os modelos da Rede Contractual\* (RC\*) e Coalisões Baseada em Dependências (CBD)

MÁRCIA ITO<sup>1</sup>, JAIME SIMÃO SICHMAN<sup>1</sup> \*

<sup>1</sup>Laboratório de Técnicas Inteligentes  
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais  
Universidade de São Paulo, SP, Brasil  
<ito,jaime>@pcs.usp.br

**Resumo.** O objetivo da Inteligência Artificial Distribuída (IAD) é resolver problemas complexos, utilizando a união das técnicas de Inteligência Artificial e da resolução de problemas de forma distribuída [DEC87]. Dentre os diversos modelos de organizações dinâmicas, encontramos a **Rede Contractual\*** (RC\*) e as **Coalisões Baseadas em Dependência** (CBD), cuja análise comparativa do fluxo de comunicação global dos agentes será o objeto deste trabalho. O estudo consiste em analisar o número de mensagens trocadas entre os agentes, onde alguns fatores que influenciam no fluxo de comunicação global entre os agentes serão modificados a cada ciclo.

## 1 Introdução

O objetivo da Inteligência Artificial Distribuída (IAD) é resolver problemas complexos, utilizando a união das técnicas de Inteligência Artificial e da resolução de problemas de forma distribuída [DEC87].

Na IAD, um determinado problema a ser solucionado é dividido em subproblemas. Tal divisão é realizada de modo recursivo, até que se chegue a subproblemas elementares que são executados por entidades denominadas *agentes*. A interação destes agentes tem como resultado a solução do problema original. Ao conjunto de agentes dá-se o nome de *sociedade* de agentes. O modo como a sociedade de agentes é organizada para resolver o problema original é chamado de *organização*. Uma organização de agentes pode ser concebida de forma estática ou dinâmica [SIC92] [KRA93].

Numa organização estática, os agentes já possuem previamente um problema global a ser solucionado [SIC95].

Numa organização dinâmica, os agentes não possuem a priori um único problema a ser resolvido: tais agentes pré-existem a eventuais problemas que possam ser tratados pelo sistema. Como resultado de seus esforços para resolver seus próprios problemas, **coalisões dinâmicas** são formadas entre os agentes. Chamamos de coalisões esta noção de estrutura organizacional que é formada dinamicamente pelos agentes. Nenhum tipo de cooperação pré-concebida ou estrutura organizacional prévia está estabelecida [SIC95].

Dentre os diversos modelos de organizações dinâmicas, encontramos a **Rede Contractual\*** (RC\*) e as **Coalisões Baseadas em Dependência** (CBD), cujo estudo comparativo será o objeto deste trabalho.

O modelo de Coalisões Baseado em Dependência (CBD) [SIC95] [SIC94a] é um modelo de organização dinâmica e está baseado no modelo da Teoria do Poder Social [CAS90], que utiliza o conceito de relações de dependência. Neste modelo, antes de escolher o seu parceiro e iniciar as coalisões um agente deve “conhecer” os demais integrantes da sociedade, realizando o que chamamos de apresentação prévia. A cada entrada de um agente na sociedade, ele deve se apresentar aos demais, enquanto os outros também se apresentam a ele. Da mesma forma quando um agente sai da sociedade, ele deve avisar aos demais que a está deixando. Após a apresentação de todos, os ciclos de resolução se iniciam. Entende-se por ciclo de resolução o período de processamento que um agente necessita para alcançar um de seus objetivos. Não há, portanto, uma nova apresentação a cada ciclo<sup>1</sup>. O agente ativo, aquele que procura por um parceiro, escolhe um objetivo e um plano. Faz a análise do plano e verifica se ele é autônomo para tal plano, ou seja, se não necessita da ajuda de outro agente. Sendo autônomo, o agente pode executar as ações do plano sozinho; neste caso, não há processo de formação de coalisões. Caso não o seja, inicia-se o processo de formação de coalisões. Tal processo consiste em analisar primeiro as relações de dependência que existem entre ele e os outros componentes da sociedade. O parceiro escolhido é aquele cuja possibilidade de cooperar seja a maior. Tal possibilidade cresce se existem vantagens para ambas as partes. Após verificar quais os prováveis parceiros questiona a cada um deles, segundo uma ordem de preferência, pré-estabelecida, até que um deles aceite ou todos recusem a colaborar. Ao aceitar a parceria, o agente parceiro recebe

\* Financiado parcialmente pelo CNPq, processo 301041/95-4.

<sup>1</sup> Considera-se neste trabalho que a entrada de todos os agentes se dá no início do processamento.

uma confirmação do acordo estabelecido.

A Rede Contractual (RC) [SMI80] [SMI81] [DAV83] é um modelo de organização dinâmica, cujo objetivo principal é realizar alocações adaptativas de tarefas numa sociedade de agentes, baseada na teoria do mercado econômico, utilizando o conceito de negociação. A sua estrutura é baseada em anúncio de tarefas, lances e “contratos fechados” [BON88]. Este foi o primeiro trabalho que utilizou o processo de negociação para a formação de coalisão entre agentes [SAN93]. No modelo RC\* (uma variante do modelo RC original), o agente não necessita ter conhecimento sobre os componentes da sociedade. Portanto, neste modelo não há uma apresentação prévia e as coalisões podem se iniciar de imediato. O agente ativo, aquele que procura por um parceiro, escolhe um objetivo e um plano. Faz a análise do plano e verifica se ele é autônomo para aquele plano, ou seja, não necessita da ajuda de outro agente. Sendo autônomo, o agente pode executar as ações do plano sozinho; neste caso, não há processo de formação de coalisão. Caso não o seja, o agente envia a todos os agentes da sociedade uma mensagem de anúncio da ação que ele necessita que seja executada. Os agentes que sabem realizar a ação e se enquadram nas exigências do anúncio respondem enviando uma mensagem de lance ao agente ativo. O agente ativo recebe os lances, faz uma análise e escolhe um parceiro. A escolha pode ocorrer após o fim de um tempo limite (time out) ou se um parceiro ideal for encontrado. Entende-se como parceiro ideal aquele que envia um lance em que as exigências são totalmente respeitadas. Se um parceiro ideal não foi encontrado e o tempo expirou (time out), então escolhe-se o parceiro mais próximo às exigências do anúncio. O parceiro escolhido recebe uma mensagem de contrato, indicando que ele foi o escolhido.

## 2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo uma análise comparativa do fluxo de comunicação global dos agentes de uma sociedade que segue estes dois modelos de organização de SMA: RC\* e CBD. O estudo consiste em analisar o número de mensagens trocadas entre os agentes, onde alguns fatores que influenciam no fluxo de comunicação global entre os agentes serão modificados a cada ciclo.

## 3 Análise Matemática dos Modelos

Para a análise matemática, vamos supor uma sociedade composta por  $n$  agentes, com  $n \in \mathbb{N}$  e  $n \geq 3$ . Nesta sociedade há uma quantidade  $m$ , tal que  $m < n$ , de agentes candidatos a parceiros, ou seja, que sabem realizar uma determinada ação requisitada. O agente ativo, responsável por encontrar parceiros, deve tentar alcançar  $g$  objetivos. O agente gasta 1 ciclo para tentar alcançar um objetivo, conseqüentemente teremos  $g$  ciclos de resolução.

### 3.1 Coalisões Baseadas em Dependência (CBD)

O modelo CBD, a apresentação prévia é realizada através de uma troca de mensagens entre os agentes. Cada agente envia **mensagens de apresentação** aos demais integrantes da sociedade (broadcast). Supondo  $n$  agentes se apresentando uns aos outros tem-se que cada agente deve enviar  $(n - 1)$  mensagens de apresentação. A soma das mensagens na apresentação na fase de apresentação (Figura 1) segue a seguinte função:

$$S_{apresentacao} = n(n - 1), \text{ onde } n \geq 3$$

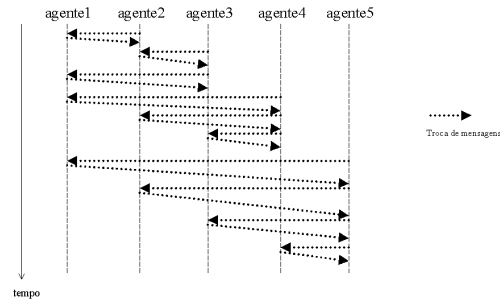


Figura 1: Esquema de troca de mensagens de apresentação no modelo CBD

A cada ciclo, toda a comunicação entre os agentes é realizada através de troca de mensagens (figura 2). O agente ativo envia **mensagens de proposta de coalisão** até que encontre um parceiro ou que não existam mais possíveis parceiros. O possível parceiro sempre responde à proposta de coalisão enviando-lhe uma **mensagem de aceite** ou **de recusa** ou **de revisão** [SIC95]. Quando o agente ativo recebe uma mensagem de aceite, ele envia uma **mensagem de coalisão**, fechando o acordo com o agente parceiro. Se nenhum parceiro for encontrado a mensagem de coalisão não é enviada.

Vamos supor uma sociedade com  $n$  agentes, onde  $m$  agentes podem realizar a ação desejada, e que são enviadas mensagens de proposta de coalisão para  $k$  agentes<sup>2</sup>. Num ciclo podemos ter os seguintes casos:

- Encontra-se o parceiro em algum ponto do processo de coalisão. O fluxo de comunicação neste caso ( $S_{ciclo}$ ) deve obedecer a seguinte função:

$$S_{ciclo} = 2k + 1, \text{ onde } 0 < k \leq m \quad (1)$$

<sup>2</sup>Isto quer dizer que  $k - 1$  agentes enviaram mensagens de recusa ou revisão.

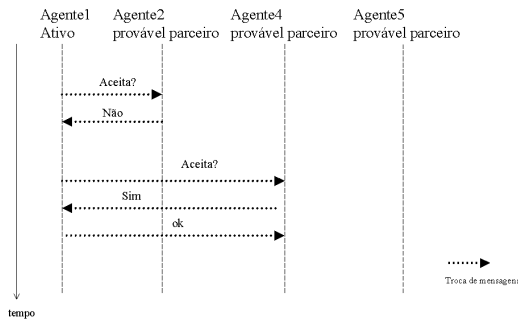


Figura 2: Esquema da troca de mensagens no processo de formação de coalisão no modelo CBD

- Nenhum parceiro foi encontrado. O fluxo de comunicação neste caso ( $S_{ciclo}$ ) deve obedecer a seguinte função:

$$S_{ciclo} = 2m$$

- agente é autônomo ou não há possíveis parceiros na sociedade. O fluxo de comunicação neste caso ( $S_{ciclo}$ ) deve obedecer a seguinte função:

$$S_{ciclo} = 0$$

Considerando uma ocorrência de  $g$  ciclos, o número total de mensagens trocadas entre agentes após todos os ciclos realizados ( $S_{CBD}$ ) é:

$$\begin{aligned} S_{CBD} &= S_{apresentacao} + \sum_{i=1}^g S_{ciclo_i} \\ &= n(n-1) + \sum_{i=1}^g S_{ciclo_i}, \text{ onde} \end{aligned} \quad (2)$$

$$S_{ciclo_i} = \begin{cases} 2m_i & \text{se não encontrou parceiro} \\ 2k_i + 1 & \text{se encontrou parceiro} \\ & \text{com } 0 < k_i \leq m \\ 0 & \text{se o agente é autônomo} \end{cases}$$

Quando um agente se retira da sociedade, este deve avisar da sua saída aos demais agentes da sociedade. Assim deve-se acrescentar à somatória final  $n-1$  mensagens para cada agente que se retira da sociedade. Entretanto, não trataremos este aspecto neste trabalho.

### 3.2 Rede Contractual (RC\*)

O modelo RC\* dispensa apresentações, e portanto não há um fluxo inicial de comunicação entre os agentes. Desse modo, a cada ciclo o agente ativo envia **mensagens**

**de anúncio** aos integrantes da sociedade, caso não seja autônomo para o objetivo a ser alcançado. O total de mensagens enviadas após o anúncio de uma ação ( $S_{anuncio}$ ) é:

$$S_{anuncio} = n - 1$$

Supondo que  $m$  agentes podem realizar a ação e que somente  $b$  agentes conseguiram responder (**mensagem de lance**) ao anúncio antes de expirar o prazo de envio dos lances podemos ter os seguintes casos:

- Um parceiro foi escolhido ( $b > 0$ ).

$$S_{lance} = b + 1, \text{ onde } 0 < b \leq m$$

- Não houve lances ( $b = 0$ ).

$$S_{lance} = 0$$

Assim numa sociedade com  $n$  agentes,  $m$  possíveis parceiros, temos que o total de mensagens enviadas após cada ciclo é (figura 3):

$$\begin{aligned} S_{ciclo} &= S_{anuncio} + S_{lance} \\ &= n - 1 + S_{lance}, \text{ onde} \end{aligned} \quad (3)$$

$$S_{lance} = \begin{cases} b + 1 & \text{se } 0 < b \leq m \\ 0 & \text{se } b = 0 \end{cases}$$

No modelo RC\*, a troca de mensagens ocorre exclusivamente durante o processo de formação de coalisões. O número total de mensagens trocadas entre agentes após todos os ciclos realizados ( $S_{RC*}$ ) é:

$$S_{RC*} = \sum_{i=1}^g S_{ciclo_i}, \text{ onde} \quad (4)$$

$$S_{ciclo_i} = \begin{cases} n - 1 & \text{se não encontrou parceiro} \\ n + b_i & \text{se encontrou parceiro com} \\ & 0 < b_i \leq m \\ 0 & \text{se o agente é autônomo} \end{cases}$$

## 4 Caso Particular

Pela análise matemática apresentada, encontram-se que no modelo CBD as variáveis que influenciam o fluxo de mensagens são: número total de agentes na sociedade ( $n$ ), número total de objetivos a alcançar ( $g$ ), quantidade de possíveis parceiros ( $m$ ) e total de agentes que respondem à proposta ( $k$ ). Por outro lado no modelo RC\* as variáveis são: número total de agentes na sociedade ( $n$ ), número total de objetivos a alcançar ( $g$ ), quantidade de

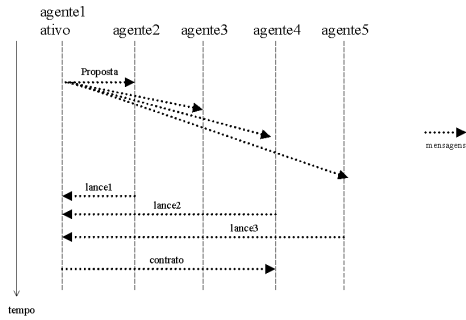


Figura 3: Esquema de troca de mensagens no processo de formação de coalisão no modelo RC\*

possíveis parceiros ( $m$ ), total de agentes que sabem realizar as ações e enviam lances ( $b$ ) e o tempo que expira o anúncio.

Com os fatores acima mencionados, vamos supor para uma análise inicial um caso particular com uma sociedade composta de  $n$  agentes, com  $g$  objetivos que necessitem da mesma ação<sup>3</sup>. Vamos supor ainda que  $n - 1$  agentes possam executar esta ação<sup>4</sup>. Nesta sociedade os agentes nunca são autônomos<sup>5</sup> e sempre encontram pelo menos um parceiro<sup>6</sup>. Para este estudo particular a ordenação dos convites, tempo em que se expira o anúncio, total de agentes que sabem realizar as ações e enviam lances ( $b$ ), total de agentes que respondem à proposta ( $k$ ), quantidade de possíveis parceiros ( $m$ ) são constantes em todos os ciclos. Ao contrário, o total de agentes na sociedade ( $n$ ), total de objetivos a alcançar ( $g$ ) variam a cada novo ciclo. Desta forma o total de mensagens trocadas ao final de todos os ciclos é uma simplificação das equações (2) e (4), conforme temos abaixo:

**CBD** Sendo  $n$  a quantidade de agentes na sociedade,  $m$  a quantidade de possíveis parceiros,  $k$  o total de agentes que respondem à proposta e  $g$  o total de ciclos, temos:

$$S_{CBD} = n(n - 1) + g(2k + 1), \quad (5)$$

onde  $0 < k \leq m$

**RC\*** Sendo  $n$  a quantidade de agentes na sociedade,  $m$  a quantidade de possíveis parceiros,  $b$  a quantidade

<sup>3</sup>Tal hipótese destina-se a simplificar as análises posteriores.

<sup>4</sup>Isto equivale a tomar o caso limite onde  $m = n - 1$ .

<sup>5</sup>Neste caso, as terceira definições das equações (2) e (4) nunca ocorrem.

<sup>6</sup>Neste caso, as primeiras definições das equações (2) e (4) nunca ocorrem.

de agentes que enviaram o lance antes do término do prazo e  $g$  o total de ciclos, temos:

$$S_{RC^*} = g(n + b), \quad \text{onde } 0 < b \leq m \quad (6)$$

Pelo que foi definido anteriormente, a quantidade de agentes que respondem à propostas ( $k$ ) e agentes que enviam os lances ( $b$ ) são fixos em todos os ciclos. Desta forma podemos fixá-los no seguintes valores:

i. Valores para  $k$ :

- $k = 1$ , ou seja, o melhor caso no modelo CBD—limite inferior de  $k$ ;
- $k = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$ , ou seja, caso intermediário no modelo—um valor intermediário para  $k$ ;
- $k = n - 1$ , ou seja, o pior caso no modelo CBD—limite superior de  $k$ .

ii. Valores para  $b$ :

- $b = 1$ , ou seja, o agente contratante recebe somente um lance—limite inferior de  $b$ ;
- $b = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$ , ou seja, o agente contratante recebe lance de metade dos agentes compõem a sociedade—um valor intermediário para  $b$ ;
- $b = n - 1$ , ou seja, o agente contratante recebe lance de todos os possíveis parceiros—limite superior de  $b$ .

Com a finalidade de analisar graficamente estes casos de interesse, vamos supor uma sociedade composta por 10 agentes ( $n = 10$ ). Neste caso, os casos de interesse<sup>7</sup> para os valores de  $k$  e  $b$  são 1, 5 e 9. O resultado comparativo obtido encontra-se nas figuras 4, 5, 6.

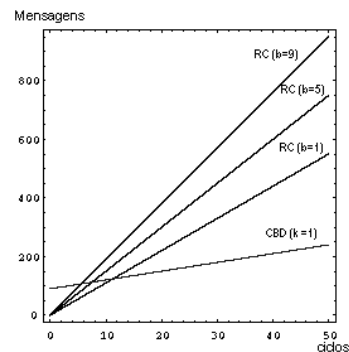


Figura 4: Comparação entre os modelos RC\* e CBD para  $n=10$ ,  $k=1$  e para  $b=1$ ,  $b=5$  e  $b=9$

<sup>7</sup>Por concisão não apresentamos aqui tais equações derivadas das equações (5) e (6).

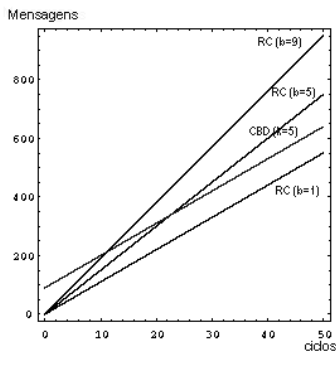


Figura 5: Comparação entre os modelos RC\* e CBD para  $n=10$ ,  $k=5$  e para  $b=1$ ,  $b=5$  e  $b=9$

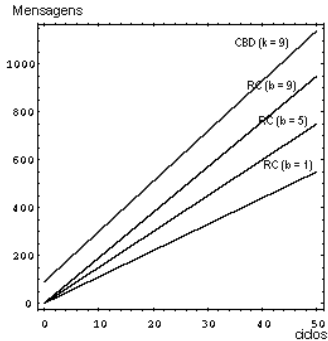


Figura 6: Comparação entre os modelos RC\* e CBD para  $n=10$ ,  $k=9$  e para  $b=1$ ,  $b=5$  e  $b=9$

Desta forma podemos elaborar um gráfico com os limites superiores e inferiores para ambos os modelos numa sociedade com 10 agentes, como mostra a figura 7.

Através deste estudo inicial, pode-se verificar que um ponto de análise interessante é a intersecção entre as retas obtidas pelas equações (5) e (6), pois percebe-se que a partir deste ponto utilizar o modelo CBD se torna mais vantajoso ( $S_{CBD} < S_{RC^*}$ ). Isto ocorre a partir de um ciclo específico que vamos chamar de  $g_{critico}$ .

## 5 Estudo sob o Aspecto do $g_{critico}$

O  $g_{critico}$  é obtido igualando-se as equações (5) e (6), assim temos:

$$g_{critico} = \left\lceil \frac{n(n-1)}{n+b-2k-1} \right\rceil, \quad (7)$$

$$\text{onde } n + b - 2k - 1 > 0$$

As equações do  $g_{critico}$  nas diversas situações de interesse para  $k$  e  $b$ , a partir da equação (7), estão representadas na tabela 1.

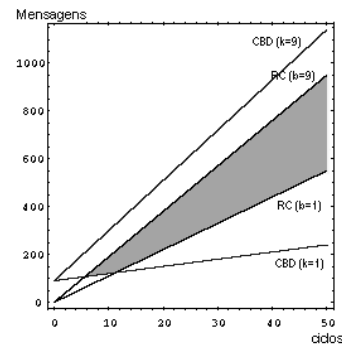


Figura 7: Limite superior e inferior dos modelos CBD e RC\* numa sociedade com 10 agentes

## 6 Conclusões

Pelas figuras 4 e 5 observamos que, para determinados valores de  $k$  e  $b$  há um ciclo ( $g_{critico}$ ) a partir do qual o total de mensagens trocadas entre os agentes do modelo CBD é sempre menor que no modelo RC\*. Percebe-se ainda que a medida que o número de agentes, os quais respondem à proposta ( $k$ ), aumentam é necessário um número cada vez maior de ciclos para que este possa ter um número de mensagens inferior ao modelo RC\*. Este fato independe do número de lances ( $b$ ) enviados no modelo RC\*. Assim, num determinado momento torna-se impossível para o modelo CBD ter um número de mensagens menor que o modelo RC\*.

Tal situação pode ser entendida lembrando-se das equações de formação de coalisção dos modelos:

$$S_{RC^*} = \sum_{i=1}^g S_{ciclo_{RC^*_i}}$$

e

$$S_{CBD} = S_{apresentacao} + \sum_{i=1}^g S_{ciclo_{CBD_i}}$$

Como ambas as funções  $S_{ciclo_{CBD}}$  e  $S_{ciclo_{RC^*}}$  são lineares em relação a  $g$ , se o coeficiente linear do modelo RC\* ( $n+b$ ) for menor do que o do modelo CBD ( $2k+1$ ), então sempre teremos  $S_{ciclo_{RC^*}} < S_{ciclo_{CBD}}$  e sempre teremos  $S_{RC^*} < S_{CBD}$ .

De uma forma geral, podemos concluir que dado um certo número total de agentes  $n$ , sempre existirá um intervalo para os valores  $k$  e  $b$  (área hachurada na figura 7) no qual sempre o modelo CBD conseguirá em algum momento ter um número menor de mensagens que o modelo RC\*.

Pela tabela 1 podemos notar ainda que se o agente souber escolher um parceiro que responda de forma afirmativa numa primeira tentativa ( $k=1$ ) no modelo CBD, de qualquer forma em algum momento terá o número de

	$k = 1$
$b = 1$	$g_{critico} = \left\lceil n \left( \frac{n-1}{n-2} \right) \right\rceil$
$b = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$	$g_{critico} = \left\lceil \frac{2n}{3} \left( \frac{n-1}{n-2} \right) \right\rceil$
$b = n - 1$	$g_{critico} = \left\lceil \frac{n}{2} \left( \frac{n-1}{n-2} \right) \right\rceil$
	$k = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$
$b = 1$	<b>Impossível</b>
$b = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$	$g_{critico} = \left\lceil 2n \left( \frac{n-1}{n-2} \right) \right\rceil$
$b = n - 1$	$g_{critico} = \left\lceil n \left( \frac{n-1}{n-2} \right) \right\rceil$
	$k = n - 1$
$b = 1$	<b>Impossível</b>
$b = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$	<b>Impossível</b>
$b = n - 1$	<b>Impossível</b>

Tabela 1: Equações do  $g_{critico}$  nas situações de interesse para  $k$  e  $b$

mensagens inferior ao modelo RC\*, não importando o número de agentes na sociedade. Por outro lado à medida que o agente ativo no modelo CBD receber um número maior de recusas o número de ciclos deve ser cada vez mais alto para que o modelo CBD possa ter um número total de mensagens menor que o modelo RC\* em número totais de mensagens, até um limite no qual este fato é impossível.

Podemos concluir inicialmente que o modelo CBD demonstra-se melhor nos casos em que o número de recusas for baixo e que se torna inviável à medida que as recusas aumentam.

## Referências

- [BON88] BOND, A.H.; GASSER, L. Readings in Distributed Artificial Intelligence. Palo Alto, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1988.
- [CAS90] CASTELFRANCHI, C. Social Power. A point Missed in Multi-Agent, DAI and HCI. In: Demazeau, Y; Müller, J.P. editors, Decentralized A.I. — First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, England, 1990. Proceedings. Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V., 1990, v.1, p. 49–62.

- [DAV83] DAVIS, R.; SMITH, R. G. Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. Artificial Intelligence, v.20, p.63–109, 1983. apud [KRA93]
- [DEC87] DECKER, K. Distributed problem-solving techniques: a survey. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, v.17, p.729–740, 1987. apud [MAR92]
- [KRA93] KRAUS, S. Agents Contracting Tasks in Non-Collaborative Environments. In: 11th National Conference on Artificial Intelligence. Washington, 1993. Proceedings. Menlo Park, AAAI Press, 1993, p. 243–248.
- [MAR92] MARTIAL, F.V. Coordinating Plans of Autonomous Agents. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992. (Lecture Notes in Artificial Intelligence - Subseries of Lecture Notes in Computer Science)
- [SAN93] SANDHOLM, T. An Implementation of the Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations. In: 11th National Conference on Artificial Intelligence, Washington, 1993. Proceedings. Menlo Park, AAAI Press, 1993. p. 256–262.
- [SIC92] SICHMAN, J. S.; DEMAZEAU, Y. When can knowledge-based systems be called agents?. In: 9th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence. Rio de Janeiro, 1992. Proceedings. Rio de Janeiro, SBIA, 1992. p. 172–185.
- [SIC94a] SICHMAN, J.S.; DEMAZEAU, Y.; CONTE, R.; CASTELFRANCHI, C. A Social Reasoning Mechanism Based on Dependence Network. In: 11th European Conference on Artificial Intelligence, Amsterdam, 1994. Proceedings. Chichester, John Wileys & Sons, 1994. p.188–192.
- [SIC95] SICHMAN, J. S. Du Raisonment Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance. Grenoble, 1995. 282 p. Tese (Doutorado) — Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [SMI80] SMITH, R.G. The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. IEEE Transactions on Computers, v.29, n.12, p. 1104–1113, 1980.
- [SMI81] SMITH, R.G.; DAVIS, R. Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v.11, n.1, p. 61–70, 1981.