

Formação dos Preços de Recursos Baseado no Equilíbrio das Expectativas dos Consumidores e Fornecedores em um Desktop Grid

Lourival A. Gois¹, Walter da C. Borelli²

¹Departamento de Informática, Universidade Tecnológica Federal do Paraná

²Departamento de Telemática, FEEC, Universidade de Campinas (UNICAMP)
gois@utfpr.edu.br, borelli@dt.fee.unicamp.br

Abstract. This paper proposes a dynamic approach for price adjustment of computational resources marketed by a Desktop Grid. The adopted strategies were based on offer and demand law commonly applied in the traditional markets of goods and services. This strategy made possible the prices modification based on services submitted by consumers and resources shared by suppliers. The analyses of the results obtained with the experiments show how the balance of the member's expectations was preponderant in the processes of obtaining fairer values in their negotiations. The individual satisfactions reached based on the well succeed sharing were appraised in order to determine their influences in the continuity of the market.

Resumo. Este artigo propõe uma abordagem dinâmica para o ajuste de preços dos recursos computacionais comercializados por um ambiente Desktop Grid. As estratégias adotadas foram baseadas na lei da oferta e demanda comumente aplicada nos mercados tradicionais de bens e serviços. Isto possibilitou a modificação adaptativa dos preços baseada nos históricos de serviços submetidos pelos consumidores e de recursos disponibilizados pelos fornecedores. As análises dos resultados obtidos com os experimentos mostram como o equilíbrio das expectativas dos integrantes deste ambiente foi preponderante nos processos de obtenção de valores mais justos em suas negociações. As satisfações individuais alcançadas em função dos compartilhamentos bem sucedidos foram avaliadas visando determinar suas influências na continuidade do mercado.

Keywords: Desktop Grid, mercado de recursos, formação de preços, expectativas dos participantes.

1. Introdução

A crescente utilização de computadores pessoais independentes e interconectados, bem como o grande número de redes locais de uso privado, possibilitou a geração de novas plataformas computacionais destinadas à execução de aplicações distribuídas. No cenário atual, a Internet ocupa grande parte do interesse dos pesquisadores

envolvidos por ser formada de sistemas totalmente heterogêneos, fracamente acoplados, geograficamente distribuídos e com uma grande quantidade de máquinas ociosas em determinados períodos [1]. Localmente, estes recursos computacionais podem ser agregados em clusters, construídos para resolver problemas de uma forma mais rápida em função do seu poder de distribuição de tarefas.

No entanto, é fato que certas aplicações já não podem mais ser resolvidas dentro destes ambientes por necessitarem de recursos não disponíveis nos mesmos, mas também, os residentes em localidades remotas. O uso de recursos dispersos em redes geograficamente distribuídas pode proporcionar abordagens para diversos ambientes promissores para o processamento de alto desempenho. A viabilização destes ambientes requer componentes responsáveis por cuidar, de forma transparente, de questões como sincronização de tarefas, gerenciamento de recursos, transferências de dados, protocolos de comunicação, troca de mensagens, segurança, compensações financeiras, entre outros.

A computação em grade [2] é uma das abordagens que explora as potencialidades das redes de computadores visando disponibilizar ambientes que permitam aos usuários, o desenvolvimento e execução de aplicações com altas exigências computacionais. Estes ambientes diferem da computação distribuída convencional por possibilitarem o compartilhamento coordenado de recursos em larga escala (como processadores, sistemas de armazenamento de dados, instrumentos, entre outros) e, portanto, necessitam de sistemas complexos para o gerenciamento deste compartilhamento.

Desktop Grids [3][4] são considerados um tipo de grade, entretanto se distinguem por conter um grande número de microcomputadores pessoais interconectados através da Internet ou de uma rede proprietária. Diferem também na forma como gerenciam e compartilham seus recursos. A complexidade consiste em proporcionar aos usuários subsídios para que os mesmos possam definir claramente, quais recursos poderão ser compartilhados, a quem será permitido compartilhar e as condições em que o compartilhamento será mantido.

Várias linhas de pesquisas buscam soluções para estes problemas. Algumas propostas recomendam o uso de conceitos microeconômicos para regulamentar o compartilhamento, e com isto, propiciar ambientes onde os recursos possam ser disponibilizados e utilizados de forma justa pelos integrantes da grade [5][6]. Estes estudos visam à concepção de mercados virtuais de recursos computacionais, baseados em compensações financeiras obtidas através de procedimentos análogos aos existentes nos modelos econômicos tradicionais.

A dificuldade desta abordagem está em modelar sistemas de gerenciamento que promovam o compartilhamento de recursos [7], maximizando os benefícios esperados por seus participantes. Estes benefícios estão relacionados aos valores pelos quais estes recursos foram negociados, de tal forma que justifiquem a satisfação do proprietário em vender pelo maior preço que conseguir, e em contrapartida, a satisfação do consumidor em comprar pelo menor preço possível [8][9]. A ponderação entre estas visões justifica a necessidade de novos estudos para que sejam estabelecidas estratégias que possibilitem a criação e a continuidade destes mercados virtuais.

O objetivo do artigo é propor e analisar estratégias para a definição de um mecanismo para formação de preços de recursos computacionais, fundamentado nos

princípios microeconômicos que regulamentam os mercados tradicionais de bens e serviços. As analogias utilizadas foram derivadas da lei de oferta e demanda, o que permitiu a modelagem focada nas expectativas dos fornecedores e consumidores, de tal forma que a satisfação alcançada mantenha a motivação dos mesmos em contribuir para a continuidade do *Desktop Grid*.

2. Modelagem do Mecanismo Dinâmico de Ajuste de Preços

Considerando as exigências existentes em um mercado comum de bens e serviços [10], o mecanismo de ajuste de preços foi proposto para um mercado de recursos computacionais (cpu, memória, entre outros) constituído a partir de uma plataforma *Desktop Grid* com as seguintes características:

- d : diretor do mercado;
- C : cooperativa;
- g : gerente de recursos;
- c : consumidor de recursos;
- f : fornecedor de recursos;
- r : recurso tipo r (CPU, disco, memória, etc...) pertencente a um fornecedor f ;
- s : ordem de serviço número s de um consumidor c .

Portanto, $f = \{r_1, \dots, r_{TR}\}$ sendo TR o total de recursos compartilhados pelo fornecedor, $C_i = \{g_i, f_1, \dots, f_{TF}, c_1, \dots, c_{TC}\}$ sendo TF o total de fornecedores e TC o total de consumidores afiliados à cooperativa C_i e gerenciados por g_i tal que $i = (1..TC)$ e $d = \{C_1, \dots, C_{TC}\}$ sendo TC o número de cooperativas controladas pelo diretor. Neste modelo assume-se que $C_a \cap C_b = \{\}$ para qualquer $a \neq b$.

No mecanismo de formação de preços utilizado pelo gerente da cooperativa, cada fornecedor recebe um preço por seu recurso baseado no desempenho computacional e na disponibilidade do mesmo. Por outro lado, um serviço é submetido por um consumidor ao gerente com uma expectativa máxima de pagamento pela utilização dos recursos.

O preço de venda *Patual* atribuído a um fornecedor para um de seus recursos poderá ser modificado no instante t baseado no seu valor anterior em $t-1$ através da equação

$$Patual_{r,f}(t) = Patual_{r,f}(t-1) + \Delta P_f \quad (1)$$

De forma similar, o valor esperado *VM* por um consumidor na aquisição de um recurso poderá ser modificado no instante t baseado no seu valor anterior em $t-1$ através da equação

$$VM_{r,c}(t) = VM_{r,c}(t-1) + \Delta P_c \quad (2)$$

onde o valor de ΔP determina quanto um preço será incrementado ou decrementado. Para alterar o preço de acordo com a oferta e demanda no sistema, ΔP é definido baseado no histórico de utilização do recurso em um fornecedor f ou por um consumidor c , de tal forma que

$$\Delta P_f = \alpha(u(t) - uR) \times P_{r,f}(t-1) \quad (3)$$

$$\Delta P_c = \beta(uS - u(t)) \times VM_{r,c}(t-1) \quad (4)$$

sendo α e β os coeficientes que controlam a taxa de alteração do preço. uR e uS podem ser interpretados como o índice de participação de um fornecedor (equação 5) ou de um consumidor (equação 6) em relação a todos os seus pares dentro da cooperativa, de tal forma que

$$uR_f(t) = \left(\sum_{i=t_0}^t R_{i,f} \right) / \left(\sum_{i=t_0}^t R_i \right) \quad (5)$$

onde uR representa o índice de participação do fornecedor f no instante t e R_i um recurso disponibilizado e alocado no intervalo (t_0, t) e

$$uS_c(t) = \left(\sum_{i=t_0}^t S_{i,c} \right) / \left(\sum_{i=t_0}^t S_i \right) \quad (6)$$

onde uS representa o índice de participação do consumidor c no instante t e S_i um serviço submetido e concluído com sucesso no intervalo (t_0, t) .

Uma participação muito pequena demonstra que o fornecedor está satisfeito com o baixo uso de seus recursos ou então, que o consumidor está satisfeito com a baixa taxa de execução de suas tarefas. Caso seja alta, os mesmos estão ofertando ou demandando mais recursos por estarem satisfeitos com o mercado.

A equação (3) utiliza o índice $u(t)$, o qual representa a relação existente entre a quantidade de recursos comprados pela quantidade de recursos requisitados por um consumidor no intervalo (t_0, t) , enquanto que a equação (4), utiliza este índice representando a relação existente entre a quantidade vendida de recursos pela quantidade ofertada por um fornecedor no intervalo (t_0, t) . Portanto, tem-se que

$$u(t) = \left(\sum_{i=t_0}^t n(i) \right) / \left(\sum_{i=t_0}^t N(i) \right) \quad (7)$$

sendo n o numero total de recursos comprados ou vendidos no período (t_0, t) e N o número total de recursos requisitados ou ofertados no período (t_0, t) .

Segundo a lei da oferta e demanda, um recurso tende a aumentar de preço quando a oferta diminui e diminuir o preço quando a oferta aumenta [10]. O conhecimento sobre este fato é fornecido ao mecanismo de ajuste de preços através da equação 7. A Fig. 1 apresenta o comportamento do preço para um recurso segundo a visão de mercado do consumidor.

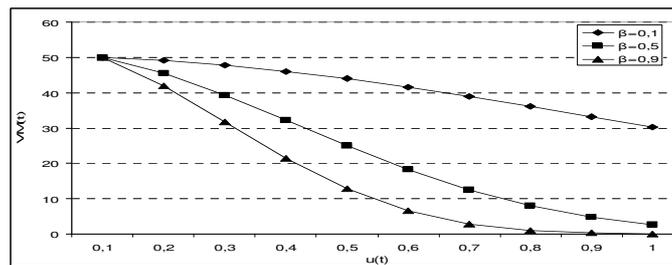


Fig. 1 - Expectativa do preço de um recurso ($VM_{r,c}$) de acordo com sua condição de oferta

Quanto maior o valor de $u(t)$ para o consumidor, maior será a oferta do recurso no instante t . Esta percepção altera sua estratégia fazendo com que o mesmo diminua sua expectativa de preço ($VM_{r,c}$) através da equação (1). O valor de β determina se o ajuste será efetuado de forma conservadora ($\beta=0,1$) ou agressiva ($\beta=0,9$).

A Fig. 2 apresenta o comportamento do preço para um recurso segundo a visão de mercado do fornecedor.

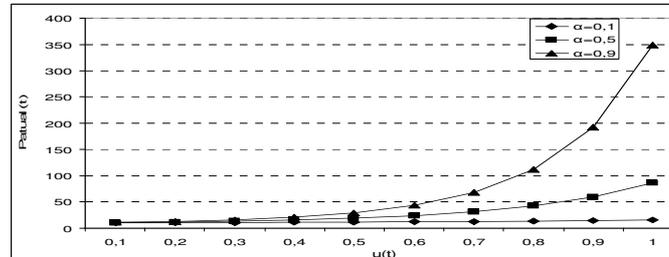


Fig. 2 - Ajuste do preço de um recurso ($P_{f,g}$) de acordo com sua condição de demanda

Quanto maior o valor de $u(t)$ do fornecedor, maior será a demanda pelo recurso no instante t . Esta percepção altera a estratégia do gerente fazendo com que o mesmo reajuste o preço ($P_{f,g}$) para o recurso do fornecedor através da equação (1). O valor de α determina se o aumento e será efetuado de forma conservadora ($\beta=0,1$) ou agressiva ($\beta=0,9$).

Os consumidores submetem seus serviços juntamente com as quantidades necessárias de recursos com as devidas expectativas de preços para o gerente. Este por sua vez, busca pelos recursos solicitados e efetua as negociações. Entretanto, uma negociação somente será concretizada no instante t caso $VM_{r,c}(t) \leq Patual_{r,j}(t)$. O $Patual_{r,j}(t)$ utilizado neste processo é definido como preço de transação.

3. Validação da Abordagem Proposta

Para exemplificar o mecanismo proposto, foram realizados experimentos em uma cooperativa com cinquenta equipamentos de diferentes capacidades computacionais, atuando como consumidores, fornecedores ou ambos. Nestes experimentos, os recursos dos fornecedores são iniciados com preços entre 10 e 30 créditos, atualizando-os de acordo com os históricos de ofertas e demandas armazenados no gerente da cooperativa.

Durante os experimentos cada fornecedor disponibiliza um recurso de CPU e cada consumidor submete um serviço. A cada instante, baseado na carga de trabalho do equipamento e nos recursos ociosos, o simulador cria uma tarefa e ativa um consumidor ou cria um recurso e ativa o fornecedor. O experimento foi realizado sob três tipos de mercado na cooperativa:

- *Mercado balanceado (MB)*: mercado contendo aproximadamente, o mesmo número de serviços e recursos;
- *Mercado com muitos serviços (MS)*: mercado com mais serviços do que recursos;
- *Mercado com muitos recursos (MR)*: mercado com mais recursos do que tarefas.

3.1 Análise da Influência de α e β na Alteração dos Preços

O objetivo destes experimentos é mostrar como os consumidores e fornecedores decidem, respectivamente, a alteração do preço esperado ou do preço atribuído, assim como a avaliação da eficiência do mecanismo em função da utilização de recursos e no sucesso na alocação das tarefas com a variação dos parâmetros α e β sob os três tipos de mercado. Estes parâmetros determinam a taxa na qual os preços serão modificados. Os parâmetros uS e uR foram configurados com valor 0,9 para todos os consumidores e fornecedores, significando que os mesmos possuem o mesmo nível de participação na cooperativa.

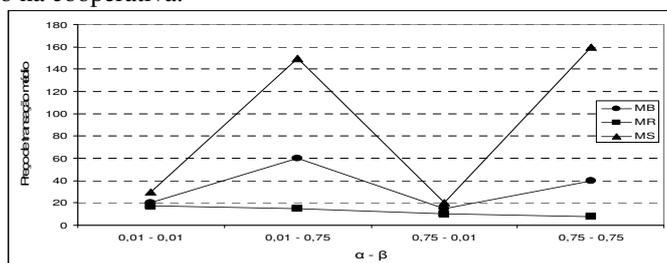


Fig. 3 - Preço de transação médio com a variação de α e β em diferentes mercados

O preço de transação médio é analisado a partir do impacto decorrente da variação de α e β sob as três condições de mercado. Como visto na Fig. 3, a baixa dos preços pode ser observada no mercado do tipo *MR*. Em um mercado deste tipo, existem mais vendedores do que compradores e os preços baixos são resultados do excesso de oferta. O preço de transação médio tem seu valor aumentado no mercado do tipo *MS* em comparação com os outros. Este mercado tem mais compradores do que vendedores e os altos preços são resultantes do excesso de demanda. Em mercados balanceados a oferta é próxima a demanda, condição onde os preços não sofrem alterações significativas.

No mercado do tipo *MS*, os valores altos de α e β aumentaram o preço de transação, apresentando em média 160 créditos. Isto é o esperado em virtude da escassez de recursos, fazendo com que os consumidores incrementem suas expectativas de preços em uma estratégia competitiva ou agressiva, e conseqüentemente, provocando o aumento dos preços de transação. A prevenção para este problema é a aplicação de uma restrição pelo consumidor através da exigência de um orçamento antes da alocação de seu serviço.

3.2 Eficiência do Mecanismo de Ajuste de Preços

A eficiência do sistema foi avaliada nos três tipos de mercado com a variação dos valores de α e β , verificando o número de alocações bem sucedidas, a quantidade de recursos utilizados em cada situação e o tempo médio de espera de um serviço ou recurso. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 4 e 5.

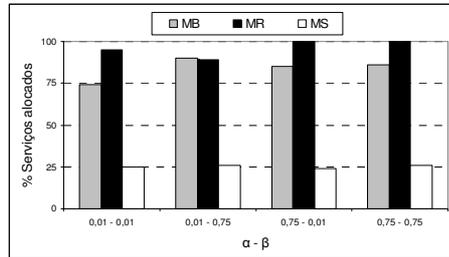


Fig. 4 - Alocação de serviços em cada tipo de mercado

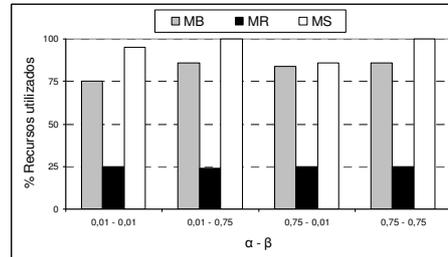


Fig. 5 - Utilização de recursos em cada tipo de mercado

As análises foram realizadas a partir das alocações bem sucedidas de serviços nos fornecedores, bem como sobre a utilização dos recursos requisitados.

Em um mercado balanceado, os índices de alocações serviços e utilização de recursos permaneceram em torno de 90%, exceto onde α e β são muito baixos. Para $\alpha=0,01$ e $\beta=0,01$, estes índices foram próximos a 75% e com isto, determinam aos fornecedores e consumidores que alterem seus preços em uma taxa mais baixa em virtude da baixa atividade na cooperativa.

Em um mercado do tipo MR, observa-se um alto índice de sucesso nas alocações de serviços, ficando em muitos casos por volta de 100%, entretanto, somente 25% dos recursos ofertados foram utilizados por estes serviços, um comportamento esperado em virtude do excesso de recursos oferecidos pela cooperativa. Um fato comum para os três tipos de mercados são os altos índices de alocação de serviços e utilização de recursos quando $\alpha=0,75$.

No caso de alta competição entre os consumidores, se os fornecedores alterarem seus preços em uma taxa mais alta, eles terão mais sucesso na venda de seus recursos em função do aumento de seus lucros. Isto pode ser constatado com a verificação do mercado do tipo MS, onde a utilização dos recursos chegou a 100% enquanto que a alocação de tarefas ficou próximo a 25%. Estes resultados são decorrentes do alto número de serviços submetidos à cooperativa. A utilização de recursos pelos serviços é otimizada configurando-se β com valores altos, como constatada em $\beta=0,75$.

As Figuras 6 e 7 mostram os resultados obtidos a partir da análise dos tempos de espera de um serviço durante a localização dos recursos necessários, bem como, os tempos que os fornecedores aguardam pela utilização de seus recursos.

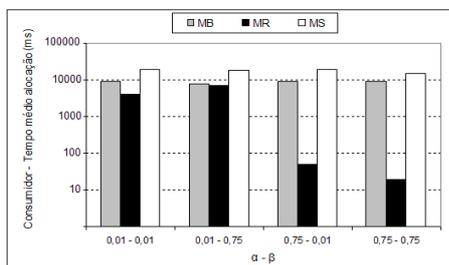


Fig. 6 - Tempo médio para a alocação de recursos por um serviço (Escala logarítmica no eixo Y)

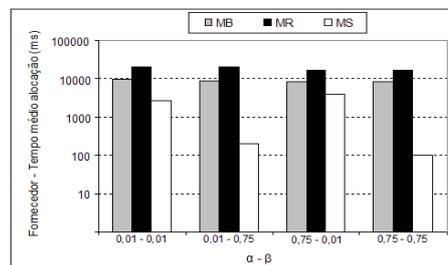


Fig. 7 - Tempo médio para um recurso ser alocado por um serviço (Escala logarítmica no eixo Y)

No mercado do tipo *MR*, observa-se que o tempo médio para que os fornecedores aloquem serviços para seus recursos foi no mínimo quatro vezes mais do que os consumidores esperam por recursos. Uma consequência esperada por existirem muito mais recursos disponíveis do que serviços a serem submetidos.

O tempo médio de espera dos consumidores foi no mínimo cinco vezes maior do que os fornecedores aguardam por requisições no mercado do tipo *MS*. Isto ocorre pela falta de recursos neste tipo de mercado. Entretanto, um baixo tempo de negociação gasto pelos consumidores no mercado do tipo *MR* foi obtido quando $\alpha=0,75$ e o menor tempo de negociação gasto pelos fornecedores no mercado do tipo *MS* foi conseguido com $\beta=0,75$, demonstrando a configuração destes parâmetros de forma condizente com a alta utilização de recursos pelo grande número de serviços submetidos.

Em mercados balanceados, não foi observado muita diferença no tempo médio para consumidores e fornecedores. Entretanto, o tempo gasto nos processos de negociação foi maior para ambos quando $\alpha=0,1$ e $\beta=0,1$ em função da baixa alteração de preços dos por parte dos mesmos, o que aumentou o número de requisições e o tempo necessário para analisá-las.

Os estudos envolvendo a eficiência do mecanismo mostram que o alto índice de sucesso na submissão de serviços, a alta utilização de recursos e o baixo tempo de negociação sob as diferentes condições de mercado são decorrentes dos altos valores atribuídos a α e β . Portanto, a questão está em como os consumidores e fornecedores poderiam reconhecer a condição corrente do mercado?

A abordagem adotada no mecanismo para sanar este problema foi a análise constante do comportamento evolutivo dos preços pelos consumidores e fornecedores. Por exemplo, quando os preços estão aumentando, os consumidores identificam a escassez de recursos na cooperativa e mudam suas estratégias, configurando β com valores mais altos e submetendo seus serviços após reajustarem suas expectativas de preços. Por outro lado, quando os preços estiverem decrescendo e assinalando uma baixa demanda por recursos, os fornecedores mudarão suas estratégias de reajuste de preços adotando valores mais baixos para α .

3.3 Adaptação dos Níveis de Participação dos Consumidores e Fornecedores

Os próximos experimentos mostram como os consumidores e fornecedores adaptam suas estratégias de formação de preços e acordo com seus papéis dentro da cooperativa. Se um participante disponibiliza mais recursos do que submete serviços, o mesmo é conhecido pelo gerente como um fornecedor ativo ou um consumidor ocioso. Baseado nisso, é necessário representar esta informação e incorporá-la no conhecimento do gerente.

Como definido pelas equações (5) e (6), uS e uR definem o quanto um consumidor ou fornecedor contribuem para a cooperativa em um determinado período. Sendo assim, os próximos experimentos mostram a influência da variação destes índices nos processos de negociação por recursos. Os resultados foram obtidos em um mercado balanceado com $uS=uR$ e $\alpha=\beta=0,75$.

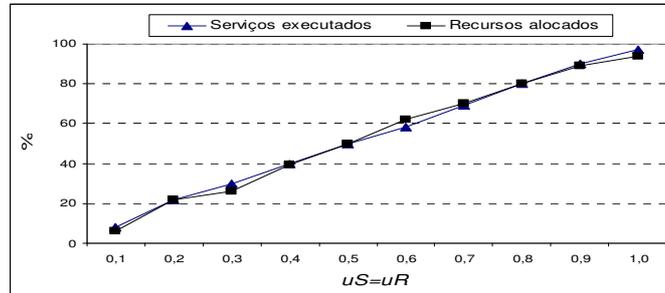


Fig. 8 - Negociações realizadas entre consumidores e fornecedores

Foram estudadas as negociações realizadas com sucesso considerando diferentes valores para uS e uR . Os resultados apresentados na Fig. 8 mostram que o número de serviços completados e a quantidade de recursos utilizados são proporcionais aos índices de participação dos consumidores e fornecedores. Quanto maior o valor destes índices, maior será o número de negócios realizados pelo gerente e conseqüentemente, maior a satisfação dos integrantes do mercado.

Outra informação analisada com a variação de uS e uR , foi a diminuição do tempo médio gasto nas negociações entre participantes ativos.

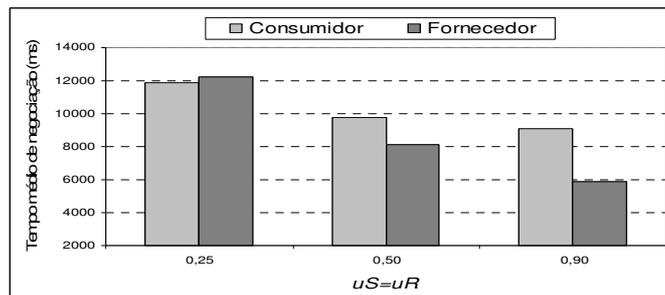


Fig. 9 – Tempo médio de negociação de acordo com a atividade dentro da cooperativa

O aumento do índice de participação possibilita aos integrantes do mercado, uma priorização de suas atividades dentro da cooperativa, ou seja, uma diminuição dos tempos necessários para que um serviço seja atendido ou para que um recurso seja alocado, conforme mostrado na Fig. 9. Isto é decorrente da otimização por parte do gerente na busca pelos melhores pares nos processos de negociação, se comparados aos tempos representados nas Figuras 6 e 7.

4. Conclusões

Em condições de alta demanda, os negociadores empregam estratégias visando desencorajar novas entradas de recursos, mantendo assim, o equilíbrio entre as quantidades ofertadas e demandadas. O mecanismo proposto foi modelado sob três condições de mercados: mercados com grande quantidade de recursos, mercados com grande quantidade de serviços e mercados balanceados. A abordagem sugere quatro

parâmetros a serem manipuladas pelos consumidores e fornecedores: α , β , uR e uS . Os dois primeiros representam a estratégia dos fornecedores ou consumidores para no decréscimo ou acréscimo do preço do recurso de acordo com seus pontos de vista sobre o mercado a que pertencem, enquanto que os dois últimos, determinam o grau de atividade ou de participação individual em relação ao total de negócios analisados pelo gerente.

Os experimentos mostram que mercados com muitos recursos são mais influenciados por α , fazendo com que o gerente diminua os preços utilizados pelos fornecedores utilizando uma estratégia mais conservadora no incremento deste parâmetro. No entanto, mercados com muitos serviços são mais influenciados por β , fazendo com que os consumidores diminuam suas expectativas de preços utilizando uma estratégia conservadora no incremento deste parâmetro. Os mercados balanceados são afetados de forma similar por estes parâmetros. Os negociadores recuperam através do gerente, suas participações no mercado através de uR e uS . Quanto maior a atividade desempenhada, maiores serão seus benefícios por participarem da cooperativa e menores os tempos de espera por recursos ou de espera por serviços.

Referências

1. Foster, I., Kesselman, C. e Tueke S.: The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. *International Journal of Supercomputing Applications*, p. 200-222 (2001).
2. Baker, M., Buyya, R. e Laforenza, D.: The Grid: International Efforts in Global Computing. *International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science, and Education on the Internet* (2000).
3. Choi, S. J., Kim, H. S., Byun, E. J., Baik, M. S., Kim, S. S., Park, C. Y. e Hwang, C. S.: Characterizing and Classifying Desktop Grid. *Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, CCGRID 2007, Rio de Janeiro, Brasil* (2007).
4. Kondo, D., Taufer, M., Brooks, C. L., Casanova H. e Chien, A. A.: Characterizing and evaluating desktop grids: an empirical study. *18th International Symposium Parallel and Distributed Processing (IPDPS 2004), Estados Unidos* (2004).
5. Buyya, R., Abramson, D. e Venugopal, S.: The Grid Economy. *Proc. of the IEEE*, Volume 93, Número. 3, pp. 698-714, IEEE Press, New York, Estados Unidos (2005).
6. Buyya, R. e Vazhkudai, S.: Compute Power Market: towards a market oriented grid. *First IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid'01)*, p. 574-581, Brisbane, Australia (2001).
7. Wolski, R., Plank, J. S., Brevik, J. e Bryan, T.: Analyzing Market-Based Resource Allocation Strategies for the Computational Grid. *International Journal of High Performance Computing Applications*, vol. 15, no. 3, p. 258-281 (2001).
8. Kenyon, C. e Cheliotis, G.: Grid resource commercialization: economic engineering and delivery scenarios. *Grid resource management: state of the art and future trends*. Norwell, MA, USA, Kluwer Academic Publishers, pp. 465-478 (2004).
9. Lai, K. e Rasmusson, L.: Tycoon: An implementation of a distributed, market-based resource allocation system. *Journal of Multiagent and Grid Systems*, pp. 169-182 (2005).
10. Leftwich, R. H.: *O Sistema de Preços e a Alocação de Recursos*. 6ª Edição, Editora Bisordi (1983).