

# Controle de Admissão de Chamadas em Redes Sem Fio Multi-Serviço com Prioridade Preemptiva

G. H.S. Carvalho, R. S. da Cruz, B.A. Silva, C. R. L. Francês, J. C. W. A. Costa, S. V. Carvalho.

**Resumo**— Neste artigo é avaliado o desempenho de um Controle de Admissão de Chamadas em redes sem fio multi-serviço com prioridade preemptiva. Através de uma abordagem markoviana, as métricas de Qualidade de Serviço são derivadas e comparadas com as de um esquema sem prioridade preemptiva. Os resultados mostram que o esquema com prioridade preemptiva apresentou melhores resultados que o sem prioridade; porém, dependendo do custo atribuído à preempção este método pode se tornar oneroso do ponto de vista sistêmico.

**Palavras-Chave**— Controle de Admissão de Chamadas, Prioridade Preemptiva, Markov, Redes Multi-Serviços.

**Abstract**— In this paper we evaluate the performance of a Call Admission Control with preemptive priority on multi-services wireless network. By presenting its Markovian model and Quality of Service (QoS) metrics, we conduct a performance comparison study with a CAC without preemptive priority. The results show that the scheme with preemptive priority outperforms the systems without it; however, depending on the preemption cost, that mechanisms may be too costly from the system point of view.

**Keywords**— Call Admission Control, Preemptive Priority, Markov, Multi-Services Networks.

## I. INTRODUÇÃO

Através do controle do número de chamadas admitidas no sistema, o Controle de Admissão de Chamadas (CAC) exerce um papel fundamental no projeto de redes sem fio de Quarta Geração (4G), caracterizada pela presença de múltiplas classes de serviço com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) [1], [2], [3].

Nesse espectro de serviços estão: a nova chamada de voz, o *handoff* de voz, a nova chamada de dados, o *handoff* de dados. Uma nova chamada é aquela originada na própria célula da estação base em consideração, enquanto que chamadas de *handoff* representam usuários que migram entre células devido à mobilidade. Existem, atualmente, dois tipos de *handoff*: horizontal e vertical. O *handoff* horizontal ocorre quando um usuário que está sendo atendido dentro de uma célula migra para uma outra entre redes da mesma tecnologia. Quando o usuário migra para uma célula de uma rede de tecnologia diferente, tem-se o *handoff* vertical [1], [3]. O *handoff* vertical é uma questão chave em redes 4G, pois através dele requisitos como conexão ininterrupta e mobilidade global entre redes heterogêneas podem ser contemplados [1].

Glauco Haroldo Silva de Carvalho, Rodrigo Sousa da Cruz, Bruno A. da Silva, Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, Universidade Federal do Pará, Santarém, Pará, Brasil, E-mails: ghsc@ufpa.br, rodrigossousa.stm@yahoo.com.br, brunostm@gmail.com. Carlos Renato Lisboa Francês, João Crisóstomo Weyl A. Costa, Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, E-mails: {rfrances, jweyl}@ufpa.br. Solon Venâncio de Carvalho, Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, Brasil, E-mails: solon@lac.inpe.br.

## A. Revisão Bibliográfica e Contribuição

Diferentes proposições de CAC são encontradas na literatura para dar suporte às características distintas das chamadas de voz e dados. Dentre estas, podem-se citar: Partição Completa (Complete Partition-CP) e Compartilhamento Completo (Complete Sharing-CS).

No CP, os recursos de rádio são divididos entre as classes de serviço. Ele é simples e pode ser rapidamente implementado em sistemas reais, mas não resulta em bom desempenho quando o tráfego não se molda a partição [4]. Em CS todos os recursos de rádio são compartilhados entre todas as classes de serviço. Em CS, o CAC não diferencia as chamadas de *handoff* das novas chamadas, o que é indesejável do ponto de vista do usuário. Como forma de remediar tal limitação, um conjunto de métodos tem sido propostos favorecendo chamadas de *handoff* [5] [6] [7] [8] [9]. O mais usado é o canal de guarda, onde são reservados alguns recursos de rádio para as chamadas de *handoff*. Neste método, uma nova chamada de dados é admitida pelo CAC somente se a ocupação dos recursos de rádio estiver abaixo de um *threshold*; caso contrário, ela será bloqueada. Por outro lado, uma chamada de *handoff* será bloqueada somente se não existirem recursos de rádio disponíveis. Desta forma, o método canal de guarda atua em favor das chamadas de *handoff* degradando a QoS das novas chamadas de voz.

Um outro método que objetiva minimizar o término forçado das chamadas já aceitas é o enfileiramento das chamadas de *handoff* quando não existirem recursos de rádio disponíveis. Este método é totalmente possível devida à existência da área de *handoff* (região entre as células adjacentes) [6] [7] [9]. Tendências recentes no planejamento de redes sem fio com múltiplos serviços apontam para a utilização de múltiplos *thresholds*, onde os canais de rádios são divididos em blocos, que são, baseados na prioridade de cada classe de serviço, compartilhados entre as chamadas. [4] [1] [10] apresentam abordagens similares para este tipo de CAC, tendo seus trabalhos diferenciados principalmente no que tange a consideração da elasticidade do tráfego de dados. Nesses trabalhos o serviço de voz possui uma prioridade em relação ao de dados haja vista que o sistema tolera mais chamadas dessa classe de serviço. Porém, em nenhum deles a prioridade preemptiva dos serviços de voz sobre dados é avaliada. Neste artigo é apresentada uma abordagem analítica, usando a teoria de cadeia de Markov, que visa preencher tal lacuna e permitir a análise dessa prioridade no desempenho do sistema.

Assim, as principais contribuições deste trabalho são:

- De acordo com os trabalhos relacionados, nota-se que a prioridade preemptiva não tem sido efetivamente consid-

TABELA I  
CAC MULTI-THRESHOLD. TABELA DE TRANSIÇÃO DOS ESTADOS DE  $\phi = (v, d)$ .

Próximo Estado	Condição	Taxa	Evento
$(v, d + 1)$	$v + d < K_d$	$\lambda_d$	chegada de chamada de dados (handoff ou nova chamada)
$(v, d + 1)$	$K_d \leq v + d < K_{hd}$	$\lambda_{hd}$	chegada de handoff de dados
$(v + 1, d)$	$v + d < K_v$	$\lambda_v$	chegada de chamada de voz (handoff or nova chamada)
$(v + 1, d)$	$K_v \leq v + d < N$	$\lambda_{hv}$	chamada de handoff de voz
$(v - 1, d)$	$v > 0$	$v\mu_v$	partida de chamada de voz
$(v, d - 1)$	$d > 0$	$d\mu_d$	partida de chamada de dados

erada no CACs em redes multi-serviços como 4G; nesse sentido, a primeira contribuição deste trabalho é atender a tal demanda através de um estudo sobre o impacto desse mecanismo de fila no desempenho de sistemas multi-serviços.

- A segunda contribuição deste trabalho está no modelo de CAC proposto que utiliza o atual conceito de múltiplos *thresholds*[4] [1] [10]; porém, adicionando ao mesmo a prioridade preemptiva. Os resultados mostram que o uso dessa prioridade melhora o desempenho dos serviços de voz (novas chamadas e *handoff*) em detrimento a uma pequena diminuição da utilização dos recursos de rádio; contudo, eles mostram ainda que se o custo associado a preemptão for elevado, então ela pode se tornar onerosa do ponto de vista sistêmico.

O restante desse artigo é organizado como segue: Na próxima sessão, II, são mostradas as características da rede móvel celular e uma visão geral sobre o modelo de CAC proposto, bem como algumas considerações sobre o tráfego. Posteriormente são mostradas em III as considerações estocásticas que norteiam os eventos que controlam a dinâmica do sistema, assim como a confecção dos modelos e as métricas de QoS usadas para quantificar o seus desempenhos. Em seguida, os resultados são apresentados na sessão IV e, finalmente, na sessão V são apresentadas as conclusões e sugestões.

## II. MODELAGEM

### A. Considerações sobre a Rede e CAC Proposto

Neste trabalho, considera-se uma rede móvel celular com células provendo acesso sem fio para usuários móveis através de Estação Radio Base. Do ponto de vista da modelagem, considera-se que o sistema é homogêneo, o que simplifica a modelagem permitindo centrar a avaliação em uma única célula. Cada célula tem  $N$  canais de rádio divididos em quatro zonas pelos *thresholds*:  $K_v$ ,  $K_{hd}$  e  $K_d$ .

Uma nova chamada de dados é aceita no sistema se a ocupação dos recursos de rádio for menor que  $K_d$ . Uma chamada de *handoff* de dados é aceita no sistema se a ocupação dos recursos de rádio for menor que  $K_{hd}$ . Uma nova chamada de voz é aceita no sistema se a ocupação dos recursos de rádio for menor que  $K_v$ . Finalmente, uma chamada de *handoff* de voz é aceita enquanto existirem canais disponíveis. A prioridade preemptiva é usada em períodos de sobrecarga, quando não existem canais disponíveis para

as solicitações de voz (novas chamadas ou *handoff*). Neste caso, uma chamada de dados sofrerá preemptão, de maneira que mesmo sob congestionamento uma nova chamada de voz será bloqueada somente se o número de chamada de voz já aceitas (*handoff* e novas chamadas) for maior ou igual a  $K_v$ . Da mesma forma, uma chamada de *handoff* será bloqueada somente se o número de chamadas já aceitas (*handoff* e novas chamadas) for igual a  $N$ .

### B. Considerações sobre o Tráfego

As seguintes concepções foram feitas para a confecção do modelo de Markov do sistema. As chegadas das chamadas de voz seguem um processo de Poisson com uma taxa média de  $\lambda_v$ . O tráfego de voz é formado por novas chamadas e chamadas de *handoff*; assim  $\lambda_v = \lambda_{hv} + \lambda_{nv}$ . O tempo de serviço de chamadas de voz é distribuído exponencialmente com uma média de  $1/\mu_v$ . O processo de chegada de chamadas de dados segue uma distribuição de Poisson com taxa média de  $\lambda_d$ . Assim como no tráfego de voz, o de dados é formado pelas novas chamadas e de *handoff*; sendo que estas podem ser vertical ou horizontal (ou a soma das duas), assim  $\lambda_d = \lambda_{hd} + \lambda_{nd}$ . O tempo de serviço de dados é distribuído exponencialmente com uma média de  $1/\mu_d$ .

## III. MODELO MARKOVIANO E MÉTRICAS DE QOS

### A. CAC Multi-Threshold

A Cadeia de Markov proposta para o modelo CAC Multi-Threshold é definida como:  $\phi = (v, d)$ , onde  $v$  é o número de chamadas de voz (novas e/ou *handoff*);  $d$  é o número de chamadas de dados (novas e/ou *handoff*). Os eventos que norteiam o comportamento do sistema com suas condições e taxas são descritos na Tabela I.

O desempenho do modelo foi avaliado baseado nas seguintes métricas de QoS: probabilidade de bloqueio de novas chamadas de voz ( $P_{nv}$ ), probabilidade de bloqueio de *handoff* de voz ( $P_{hv}$ ), probabilidade de bloqueio de novas chamadas de dados ( $P_{nd}$ ), e probabilidade de bloqueio de *handoff* de dados ( $P_{hd}$ ). Essas medidas são computadas como segue:

$$P_{nv} = \sum_{v+d \geq K_v}^N \pi(v, d), \quad (1)$$

$$P_{hv} = \sum_{v+d=N} \pi(v, d), \quad (2)$$

TABELA II

CAC MULTI-THRESHOLD COM PRIORIDADE PREEMPTIVA PARA CHAMADAS DE VOZ. TABELA DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS DE  $\omega = (v, d)$ .

Próximo Estado	Condição	Taxa	Evento
$(v, d + 1)$	$v + d < K_d$	$\lambda_d$	chegada de chamada de dados (handoff ou novas chamadas)
$(v, d + 1)$	$K_d \leq v + d < K_{hd}$	$\lambda_{hd}$	chegada de handoff de dados
$(v + 1, d)$	$v + d < K_v$	$\lambda_v$	chegada de chamada de voz (handoff ou novas chamadas)
$(v + 1, d)$	$(K_v < v + d < N \vee v = K_v \wedge d = 0) \wedge K_v < N$	$\lambda_{hv}$	chegada de handoff de voz
$(v - 1, d)$	$v > 0$	$v\mu_v$	partida de chamada de voz
$(v, d - 1)$	$d > 0$	$d\mu_d$	partida de chamada de dados
$(v+1, d-1)$	$v + d = K_v \wedge d > 0$	$\lambda_v$	chegada de chamada de voz (handoff ou novas chamadas) e preempção de chamada de dados

$$P_{nd} = \sum_{v+d \geq K_d}^N \pi(v, d), \quad (3)$$

$$P_{hd} = \sum_{v+d \geq K_{hd}}^N \pi(v, d), \quad (4)$$

onde  $\phi = (v, d)$  é a distribuição do estado de equilíbrio da cadeia de Markov a tempo contínuo.

### B. CAC Multi-Threshold com Prioridade Preemptiva para as Chamadas de Voz

A prioridade preemptiva para as chamadas de voz é incluída neste modelo. Ela acontece somente em períodos de sobrecarga do sistema, quando não existem mais canais disponíveis no sistema. Assim, quando uma chamada de voz chega ao sistema e a ocupação dos recursos é igual a  $K_v$ , esta tomará o lugar de uma chamada de dados já aceita no sistema, caso exista uma. O modelo markoviano desse CAC foi desenvolvido e tem seus estados definidos como:

$$\omega = \{(v, d) \mid 0 \leq v \leq N, 0 \leq d \leq K_{hd}\}, \quad (5)$$

onde novamente  $v$  é o número de chamadas de voz (novas chamadas e *handoff*) e  $d$  é o número de chamadas de dados (novas chamadas e *handoff*). Na Tabela II tem-se os possíveis estados sucessores juntamente com suas taxas e as condições para que as transições aconteçam; a última coluna indica o tipo de evento a que as transições se referem. Neste modelo há alguns estados impossíveis que devem ser eliminados. Sua condição de existência é dada por:  $v+d > K_v$  e  $d > 0$ . É fácil visualizar esta situação, pois quando a ocupação dos recursos é igual a  $K_v$  e existem chamadas de dados no sistema, estas sofrerão preempção enquanto as requisições de chamadas de voz chegarem ao sistema, de maneira que o próximo estado não é possível.

As métricas de QoS usadas para quantificar o desempenho desse modelo são as mesmas apresentadas anteriormente com a adição da probabilidade de preempção ( $P_p$ ). Assim, tem-se  $\pi(\omega)$  como a distribuição de estado de equilíbrio da Cadeia de Markov a Tempo Contínuo para este modelo. As

probabilidades de bloqueios das novas chamadas de voz e *handoff* de voz, ( $P_{nv}$ ) e ( $P_{hd}$ ), respectivamente, são medidas de acordo com as fórmulas abaixo:

$$P_{nv} = \sum_{v \geq K_v}^N \pi(v, d) \quad (6)$$

$$P_{hv} = \sum_{v=N}^N \pi(v, d) \quad (7)$$

Por outro lado, as probabilidades de bloqueio das novas chamadas de dados e *handoff* de dados, ( $P_{nd}$ ) e ( $P_{hd}$ ), respectivamente, são as mesmas do modelo anterior e são dadas pelas equações (3) e (4). A probabilidade de preempção ( $P_p$ ) é dada por  $P_p = \alpha\beta$ , onde  $\alpha$  e  $\beta$  são, respectivamente, computados como:

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_{hd}(1 - P_{hd})}, & \text{if } K_d < K_{hd} \\ \frac{1}{\lambda_d(1 - P_{hd})}, & \text{if } K_d = K_{hd} \end{cases} \quad (8)$$

e

$$\beta = \sum_{v+d=K_v \wedge d>0 \wedge K_v \leq N} \lambda_v \pi(v, d) \quad (9)$$

Na equação (8),  $\alpha$  corresponde ao tipo de fluxo de dados que leva aos estados onde a preempção ocorre. Entretanto, não pode-se afirmar qual tipo de chamada de dados, novas chamadas ou *handoff*, que sofrerá a preempção devido à propriedade de ausência de memória. Por outro lado, na equação (9),  $\beta$  corresponde à condição na qual a preempção acontece. Assim, o somatório corresponde àqueles estados no qual uma chegada de uma chamada de voz (nova chamada e *handoff*) levará a preempção da chamada de dados.

## IV. RESULTADOS

Para avaliar o método proposto, seu desempenho será comparado com um CAC sem prioridade preemptiva. Nessa avaliação, os seguintes parâmetros serão usados:  $N = 40$ ,  $K_v = 37$ ,  $K_{hd} = 35$ ,  $K_d = 33$ ,  $\mu_v = 1/120$ ,  $\mu_d = 1/1000$  (16,6 minutos),  $\lambda_d = 0.01$ . A porcentagem de

chamadas de *handoff* de dados foi configurada para ser 30% de  $\lambda_d$ . Da mesma forma, para voz a porcentagem das chamadas de *handoff* de voz foi configurada para ser 30% de  $\lambda_v$ .

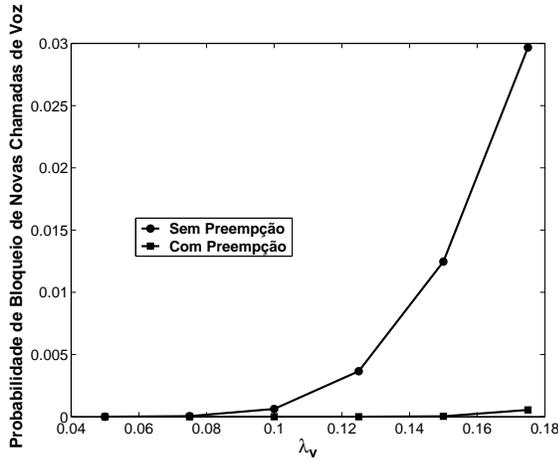


Fig. 1. Probabilidade de Bloqueio de Novas Chamadas de Voz

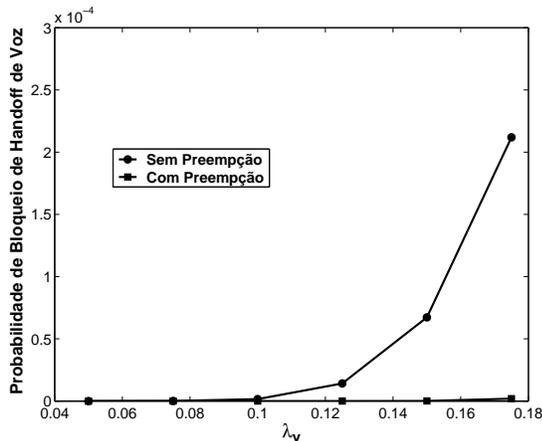


Fig. 2. Probabilidade de Bloqueio de *handoff* de Voz

As Fig. 1 e 2 mostram que as probabilidades de bloqueio das novas chamadas de voz e de *handoff* de voz, respectivamente, podem ser significativamente reduzidas com o uso da prioridade preemptiva. O ganho em desempenho se torna mais evidente à medida que o tráfego aumenta. Um ganho similar se observa para dados, Fig. 3 e 4; porém, com o aumento do tráfego as chamadas de dados sofrerão preempção e deixarão o sistema.

Observa-se na Fig. 5 uma similaridade na utilização dos canais de rádio que diminui com o aumento do tráfego para os sistemas com e sem prioridade preemptiva. Isto acontece porque o tempo de permanência no sistema dos serviços de dados é maior que o dos serviços de voz. Assim, quando uma chamada de dados sofre preempção e dá lugar a uma chamada de voz a utilização dos canais torna-se menor, pois este serviço passa na média menos tempo no sistema.

Na Fig. 6 é mostrado que à medida que o tráfego aumenta, a probabilidade de uma chamada de dados já aceita sofrer preempção também aumenta, diminuindo a probabilidade

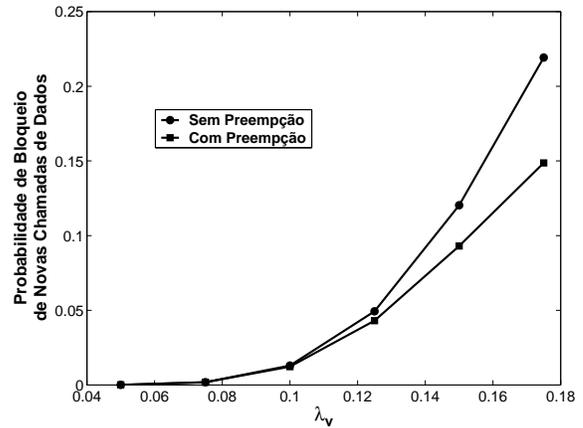


Fig. 3. Probabilidade de Bloqueio de Novas Chamadas de Dados

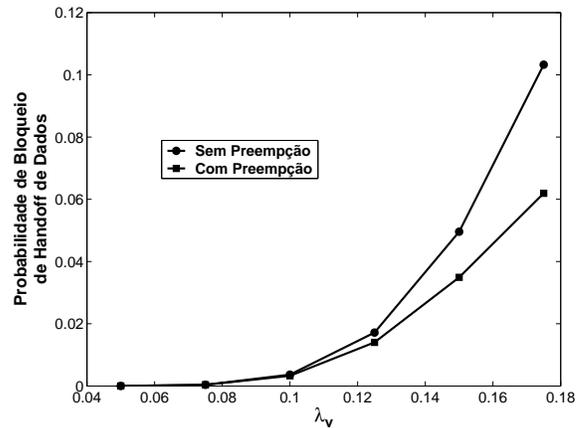


Fig. 4. Probabilidade de Bloqueio de *handoff* de Dados

desta terminar seu serviço.

Para avaliar como a prioridade preemptiva influencia no desempenho do sistema, a seguinte função de custo é apresentada:  $w_{hv}P_{hv} + w_{nv}P_{nv} + w_{hd}P_{hd} + w_{nd}P_{nd} + w_pP_p$ , onde  $w_i$  é um peso associado ao bloqueio de  $i$ -ésima classe de serviço ( $i = hv, nv, hd, nd$ ), e, particularmente,  $w_p$  é o peso relacionado à preempção de uma chamada de dados. A Fig. 7 mostra uma avaliação do impacto da prioridade preemptiva no custo sistema para diferentes valores de  $w_p$ ; isto é para diferentes graus de importância da preempção de uma chamada de dados. Assim, consideram-se os seguintes pesos:  $w_{hv} = 4$ ,  $w_{nv} = 2$ ,  $w_{hd} = 1$ ,  $w_{nd} = 0.5$ , e  $w_p = 0, 0.125, 0.25$  e  $0.5$ . Desse modo, observa-se na Figura supracitada que do ponto de vista do desempenho do sistema, a prioridade preemptiva pode ser utilizada quando o seu custo não é elevado, e.g.,  $w_p = 0$  e  $0.125$ . Em outras palavras, para um custo nulo ou 1/8 do custo de bloqueio de uma nova chamada de dados. Um possível cenário para a sua aplicação seria uma célula com uma alta demanda de serviço de voz e baixa de dados. A prioridade preemptiva deixa de ser recomendada quando o seu custo  $w_p$  é elevado, isto é, 1/2 ou igual ao custo de bloqueio de uma nova chamada de dados. Ou seja, em células onde há grande demanda de serviços de dados a preempção pode se torna onerosa para o sistema.

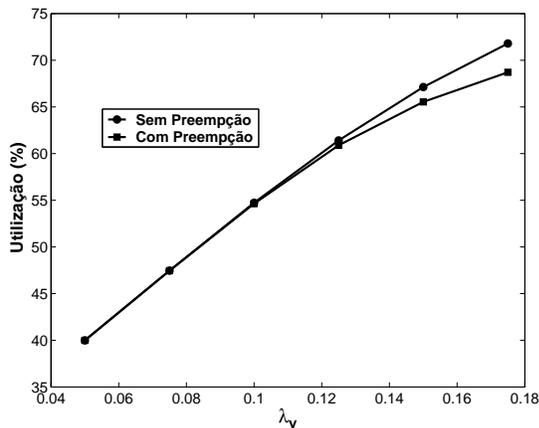


Fig. 5. Utilização(%)

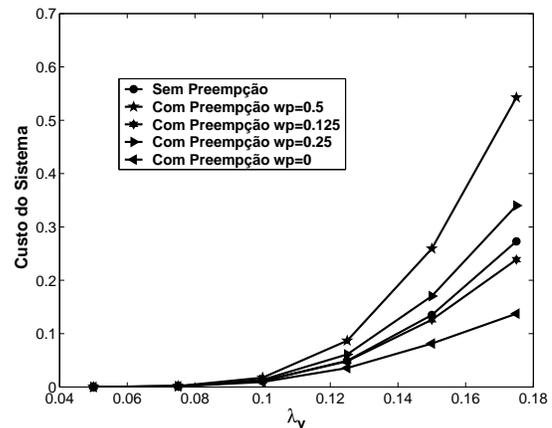


Fig. 7. Custo do Sistema

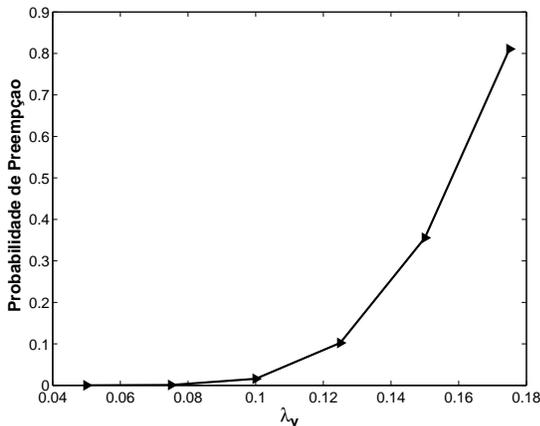


Fig. 6. Probabilidade de Preempção

## V. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto um novo CAC para redes sem fio multi-serviço, o qual é fundamentado na atual tendência de controles de admissão com múltiplos *thresholds*. O novo esquema introduz a prioridade preemptiva dos serviços de voz sobre dados o que até então não havia sido estudado. A abordagem apresentada para a avaliação da proposição foi analítica e usa a teoria de Cadeia de Markov.

No estudo de viabilidade do modelo, compararam-se os seus resultados com os de um modelo sem preempção. Para a configuração usada onde o tempo de duração média de uma chamada de dados (e.g., acesso sem fio à Internet) é oito vezes maior que o de voz, os resultados mostraram um ganho de desempenho nos serviços de voz, seja para novas chamadas ou *handoff* em detrimento a uma pequena queda na utilização dos recursos de rádio. Porém, observou-se também que a prioridade preemptiva pode se torna onerosa para o sistema quando o seu custo passa a ser significativo quando comparado com a rejeição de novos acessos de dados.

Uma forma de resolver esse problema é o emprego de um *buffer* para acomodar as chamadas de dados que sofreram preempção. Esse estudo está em andamento e seus resultados serão submetidos para análise em trabalhos futuros. Uma outra sugestão para trabalhos futuros é o estudo de otimalidade no

uso da prioridade preemptiva em redes sem fio 4G. Nesse sentido, pode-se usar o processo markoviano de decisão a tempo contínuo para controlar o uso dessa prioridade em diferentes cenários de rede.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é patrocinado pelo Programa de Auxílio ao Recém Doutor (PARD-UFPA), e parcialmente pelo CNPq.

## REFERÊNCIAS

- [1] Niyato, D. e Hossain, E., "Call Admission Control for QoS Provisioning in 4G Wireless Network: Issues and Approaches", *IEEE Network*, No. 4, pp. 5-11, Setembro/Octubro, 2005.
- [2] S. Frattasi et al., "Defining 4G technology from the Users Perspective", *IEEE Network*, pp.35-41, Janeiro/Fevereiro, 2006.
- [3] W. Song et al., "Resource Management for QoS Support in Cellular/WLAN Interworking", *IEEE Network*, pp. 12-18, Setembro / Outubro, 2005.
- [4] Li, B., Li, L., Li, B., Sivalingam, K. M. e Cao, X.R "Call Admission Control for Voice/Data Integrated Cellular Networks: Performance Analysis and Comparative Study", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, pp. 706-718, Maio, 2004.
- [5] Chen, W.Y., Wu, J.L.C. e Liu, H. H., "Performance Analysis of Radio Resource Allocation in GSM/GPRS Networks", *Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC2002)*, pp. 24-28, 2002.
- [6] Cgung, S.-P e Chien, S.C., "Analysis of multi-service cellular networks with asymmetrical traffic and handoff queue". *Computer Communications* 28, pp. 864 - 879, 2005.
- [7] Wey, Y., Lin, C., Ren, F., Raad, R. e Dutkiewicz, E., "Dynamic handoff Scheme in Differentiated QoS wireless multimedia networks", *Computer Communications*, pp. 1001-1011, 2004.
- [8] Yavuz, E.A. e Leung, V. C. M., "A Practical Method For Estimating Performance Metrics of Call Admission Control Schemes in Wireless Mobile Networks", *Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2005)*, pp. 1254-1259, 2005.
- [9] Diederich, J. e Zitterbart, M., "handoff Prioritization Schemes Using Early Blocking", *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Segundo Quarto, pp. 26 - 45, 2005.
- [10] Ogbonmwan, S. E. e Li, W., "Multi-threshold bandwidth reservation scheme of an integrated voice/data wireless network", *Elsevier J. Computer Communications*, vol. 29, pp. 1504-1515, 2006.