

# Alocação de Recursos em Redes Móveis Celulares Hierárquicas GSM/GPRS

G. H.S. Carvalho, R.C. M. Rodrigues, S.V.Carvalho, C. R. L. Francês, J.C.W.A.Costa.

**Resumo**—Neste artigo é proposto um modelo analítico para o estudo da alocação de recursos em redes móveis celulares hierárquicas GSM/GPRS. Ele utiliza como modelo de tráfego de dados o modelo *ON-OFF* descrito pelo *3rd Generation Partnership Project*, o qual é representado por um processo de Poisson modulado por uma cadeia de Markov. Além disso, é considerado o impacto da mobilidade dos usuários no desempenho do sistema.

**Palavras-Chave**—Alocação de Recursos, Redes GSM/GPRS, Redes Celulares Hierárquicas, Cadeia de Markov.

**Abstract**—It is proposed in this paper an analytical model to study the resource allocation in hierarchical cellular mobile networks GSM/GPRS. It uses as data traffic model the *ON-OFF* model described by *3rd Generation Partnership Project* that is represented by a Markov Modulated Poisson Process. Besides, the impact of the mobility is taking into account in the performance of the system.

**Keywords**—Resource Allocation, GSM/GPRS Networks, Hierarchical Cellular Networks, Markov Chain.

## I. INTRODUÇÃO

A alocação de recursos em redes móveis celulares exerce um papel fundamental no planejamento e no dimensionamento dessas redes. Assim, várias soluções são propostas na literatura para melhorar a utilização dos recursos da rede e ainda satisfazer os perfis de Qualidade de Serviço (QoS) dos serviços de voz e dados que geralmente caminham em direções opostas. Nesse sentido, técnicas como reserva de recursos, prioridade de serviço e uso do *buffer* com e sem *threshold* são geralmente empregadas. A reserva de recursos, como o próprio nome sugere, consiste em alocar um determinado número de canais para um dado serviço, enquanto que o restante da banda é compartilhada [11]. Na prioridade de serviço é atribuído a uma determinada classe de serviço uma prioridade sobre as demais classes. Essa prioridade normalmente é preemptiva [1]. Por fim, o *buffer* freqüentemente é empregado para acomodar uma determinada classe de serviço, a qual normalmente não é um serviço em tempo real e com baixa prioridade. O *threshold* é usado para discriminar uma dada classe de serviço em relação à outra no *buffer* [11], estabelecimento de controle de fluxo [7], alocação dinâmica de canais [8].

Uma forma de aumentar a capacidade da rede móvel celular é a utilização de uma estrutura celular hierárquica, ou seja,

Glauco Haroldo Silva de Carvalho, Carlos Renato Lisboa Francês, João Crisóstomo Weyl A. Costa, Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, E-mails: ghsc@[ufpa.br, lac.inpe.br], rfrances@ufpa.br, jweyl@ufpa.br. Rita de Cássia M. Rodrigues e Solon Venâncio de Carvalho, Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, Brasil, E-mails: rita@lac.inpe.br, solon@lac.inpe.br. Este trabalho foi financiado pelo CPNq.

células de diferentes tamanhos em uma estrutura multicamada que possibilitam uma rota alternativa para serviços que seriam bloqueados em células já congestionadas na rede [2].

Normalmente são usadas duas técnicas para modelar a alocação de recursos em uma rede móvel celular, a simulação e a cadeia de Markov. Em particular neste trabalho é usado uma cadeia de Markov de tempo contínuo (CTMC) para modelar o comportamento da alocação de recursos em uma rede GSM/GPRS hierárquica de duas camadas, com  $\psi$  microcélulas e uma macrocélula. Na metodologia proposta todo o tráfego transbordado de voz das microcélulas é atendido pela macrocélula. Na ausência de recursos de rádio na macrocélula esse serviço é bloqueado. De acordo com a literatura o serviço de voz possui prioridade preemptiva sobre o serviço GPRS. Um *buffer* é usado para acomodar os pacotes IP.

Este artigo é organizado da seguinte forma. Na seção II será feita uma pequena introdução da rede GSM/GPRS. Na seção III e IV serão apresentados uma breve revisão do estado da arte e da contribuição deste trabalho, respectivamente. Na seção V será descrito detalhadamente todo o processo de modelagem. Na seção VI serão apresentados os resultados obtidos através da modelagem proposta. Duas abordagens serão apresentadas: o efeito do aumento de usuários GPRS no sistema e o efeito do aumento de razão de chegada dos pacotes IP, enquanto que na seção VII serão mostradas as conclusões à respeito do modelo apresentado e as futuras linhas de pesquisa.

## II. A REDE GSM/GPRS

A arquitetura da rede GSM/GPRS é ilustrada na Fig.(1). Uma nova classe de nós de redes, denominada de *GPRS Support Nodes (GSN)*, foi desenvolvida para integrar o GPRS em uma rede GSM. Eles são responsáveis pelo roteamento e entrega dos pacotes de dados entre as estações móveis e as redes de dados. O *Serving GSN (SGSN)* é responsável pela entrega dos pacotes de dados originados e destinados às estações móveis dentro de sua área de serviço. Suas principais tarefas incluem roteamento de pacote, transferência de pacote, gerência da localização, gerência do enlace lógico, autenticação e funções de bilhetagem. O *Gateway GSN (GGSN)* atua como uma interface entre a rede GPRS e as redes de dados externas. O GGSN também realiza autenticação e funções de bilhetagem. MS (*mobile station*) é o equipamento do usuário (telefone celular, laptop, etc.). BTS (*Base Transceiver Station*) age como uma interface entre a rede e o usuário. BSC (*Base Station Controller*) monitora e controla as BTSs [5]. O GPRS utiliza os esquemas de codificação

CS-1 (9,05 Kbit/s), CS-2 (13,4 Kbit/s), CS-3 (15,6 Kbit/s) e CS-4 (21,4 Kbit/s), para garantir a integridade dos dados transmitidos através da interface aérea.

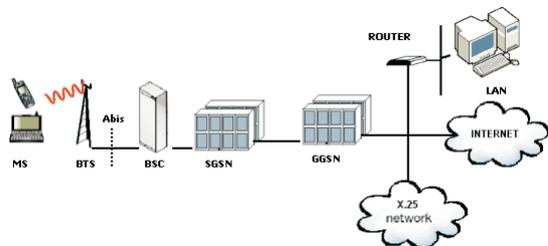


Fig. 1. Arquitetura da rede GPRS

### III. TRABALHOS RELACIONADOS

Vários trabalhos têm sido publicados na literatura estudando a alocação de recursos em redes GSM/GPRS. A melhoria na utilização dos recursos de rádio causada pela introdução do GPRS foi estudado em [9]. Mecanismos como prioridade de serviço, *threshold*, canal de reserva foram estudados em [11]. O impacto causado pelo aumento da rajada da fonte de tráfego ou da carga de voz no desempenho do GPRS foi estudado em [10]. Foi proposto em [7] um modelo analítico para estudar quantos canais devem ser alocados para o GPRS para manter um dado perfil de QoS. A alocação dinâmica de canal foi estudada em [3][4]. Foi analisado em [8] o desempenho de uma rede hierárquica GSM/GPRS.

### IV. CONTRIBUIÇÃO DESTE TRABALHO

Entre os artigos citados os mais relacionados a este são [7] e [8]. A diferença entre este trabalho e [8] é que nesse último a modelagem atua no nível de blocos de rádio, isto é, o *buffer* armazena os blocos de rádio resultantes da fragmentação dos pacotes IP, ao invés de armazenar pacotes IP como é feito neste trabalho. Com essa consideração procura-se evitar usar aproximações para representação de uma distribuição de cauda pesada a qual é característica dessa fragmentação.

O modelo analítico descrito neste trabalho é baseado no modelo proposto em [7]. As principais diferenças entre eles são: Em [7] não foi considerado um ambiente celular hierárquico, ao passo que neste trabalho essa consideração é feita. Além disso, em [7] o tempo de serviço de um canal é dado pela razão de dados do esquema de codificação de canal usado. Neste trabalho, esse parâmetro é calculado em função do tempo no qual um pacote IP é escoado por um canal usando uma dada codificação.

### V. MODELAGEM ANALÍTICA

#### A. Considerações

1) *Modelo de tráfego de voz*: De acordo com a literatura os processos de chegada das novas chamadas de voz e sessões GPRS são processos de Poisson mutuamente independentes com médias iguais a  $\lambda_{n,GSM}$  e  $\lambda_{n,GPRS}$ , respectivamente [7]. Da mesma forma, os processos de chegada de *handovers* GSM

e GPRS são processos de Poisson mutuamente independentes com médias iguais a  $\lambda_{h,GSM}$  e  $\lambda_{h,GPRS}$ . Assim, os tráfegos oferecidos de voz e dados são também processos de Poisson com médias dadas por:

$$\lambda_{GSM} = \lambda_{n,GSM} + \lambda_{h,GSM}. \quad (1)$$

$$\lambda_{GPRS} = \lambda_{n,GPRS} + \lambda_{h,GPRS}. \quad (2)$$

Os tempos médios de residência de uma estação móvel GSM e GPRS, assim como, os tempos de duração de uma chamada de voz e uma sessão GPRS são v.a. distribuídas exponencialmente com médias  $1/\mu_{h,GSM}$  e  $1/\mu_{d,GSM}$ , para o GSM, e  $1/\mu_{h,GPRS}$  e  $1/\mu_{d,GPRS}$  para o GPRS, respectivamente. Na macrocélula essas distribuições também são exponenciais com médias  $1/\mu_{h,GSM}^M$  e  $1/\mu_{d,GSM}^M$  para o GSM. Isso resulta em tempos de serviço distribuídos exponencialmente com médias dadas por Eq.(3) e Eq.(4) na microcélula, e Eq.(5) na macrocélula.

$$1/\mu_{GSM} = 1/(\mu_{h,GSM} + \mu_{d,GSM}). \quad (3)$$

$$1/\mu_{GPRS} = 1/(\mu_{h,GPRS} + \mu_{d,GPRS}). \quad (4)$$

$$1/\mu_{GSM}^M = 1/(\mu_{h,GSM}^M + \mu_{d,GSM}^M). \quad (5)$$

2) *Modelo de tráfego GPRS*: Para descrever o tráfego GPRS é usado o modelo de tráfego Internet *ON-OFF* definido pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), o qual consiste em uma sequência de *packet calls* e *reading times* como mostra a Fig.(2) [6]. O usuário inicia uma *packet call* quando solicita uma determinada informação. Durante uma *packet call* vários pacotes IP podem ser gerados, caracterizando o comportamento em rajada desses pacotes dentro de uma *packet call*. Dependendo da aplicação, uma *packet session* possui uma ou várias *packet calls*. Assim, por exemplo, em uma sessão de *WWW browsing* uma *packet call* corresponde ao *downloading* de um documento *WWW*. Após esse *download*, o usuário consumirá algum tempo lendo o documento solicitado (*reading time*). Também é possível que uma *packet session* tenha apenas uma única *packet call* o qual é o caso de um *FTP*. De acordo com [6] o número de *packet call* dentro de uma *packet session* pode ser descrito por uma v.a. distribuída geometricamente.

De acordo com [6] o número de *packet calls* dentro de uma *packet session* é distribuído geometricamente com média  $N_{pc}$ . O *reading time* é uma v.a. distribuída exponencialmente com média dada por  $D_{pc}$ . O número de pacotes IP dentro de uma *packet call* é distribuído geometricamente com média  $N_d$ , enquanto que o tempo entre chegadas desses pacotes é também distribuído exponencialmente com média  $D_d$ <sup>1</sup>. É importante observar que a utilização de distribuições exponenciais e geométricas é de fundamental importância para a construção de modelos Markovianos, uma vez que, elas possuem a propriedade do esquecimento.

<sup>1</sup>Em [6] as distribuições temporais apresentadas são consideradas geométricas pois foi usada uma escala de tempo discreta.

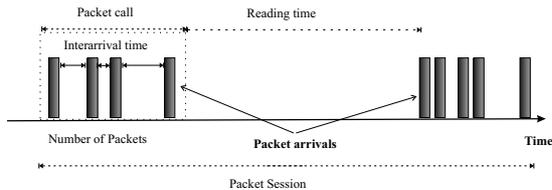


Fig. 2. Modelo de trafego GPRS

O modelo de tráfego descrito anteriormente pode ser representado por um processo *Markov Modulated Poisson Process* (MMPP) de dois estados como mostrado na Fig.(3). Onde o estado *ON* corresponde a uma *packet call* ativa e o estado *OFF* representa o *reading time*. Durante o estado *ON*, os pacotes IP são gerados de acordo com uma distribuição exponencial com parâmetro  $\lambda_{packet} = 1/D_d$ . No estado *OFF* não há geração de pacotes. Os tempos de permanência nos estados *ON* e *OFF* são distribuídos exponencialmente com parâmetros  $\alpha = 1/(N_d D_d)$  e  $\beta = 1/D_{pc}$ . O tempo de serviço de uma sessão GPRS é distribuído exponencialmente com média  $1/\mu_{d,GPRS} = N_{pc}(D_{pc} + N_d D_d)$ .

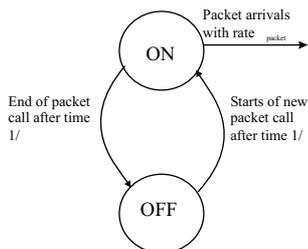


Fig. 3. Modelo de trafego GPRS [7]

Sendo o serviço de Internet o serviço predominante em uma rede GSM/GPRS, todo o tráfego GPRS considerado será relacionado a esse serviço. Então, para simplificar, uma *packet call* será chamada de um documento *Web* e uma *packet session* será chamada de uma sessão GPRS.

**B. Modelo de uma microcélula**

O sistema de fila usado para representar o comportamento de uma microcélula GSM/GPRS é mostrado na Fig.(4). Duas classes de serviços acessam esse sistema, são elas: serviços de voz e de Internet. A primeira classe de serviço é transmitida usando o princípio de comutação por circuito, enquanto que a segunda classe utiliza a comutação por pacotes. As chamadas de voz chegam no sistema de acordo com uma distribuição de Poisson com razão dada pela Eq.(1), e são atendidas imediatamente se existirem recursos de rádio disponíveis na microcélula, caso contrário são direcionadas para a macrocélula. O número de canais disponíveis para escoar o tráfego GSM/GPRS é *N*. O serviço de voz possui prioridade preemptiva sobre o serviço GPRS, assim, o seu desempenho pode ser medido através da fila M/M/N/N. As sessões GPRS chegam no sistema de acordo com um processo de Poisson com média dada pela Eq.(2). Após essas chegadas, têm-se início a geração dos pacotes IP. No *buffer*

são armazenados os pacotes IP pertencentes a um documento *Web*. O *buffer* possui uma capacidade de armazenamento igual a *B<sub>s</sub>*.

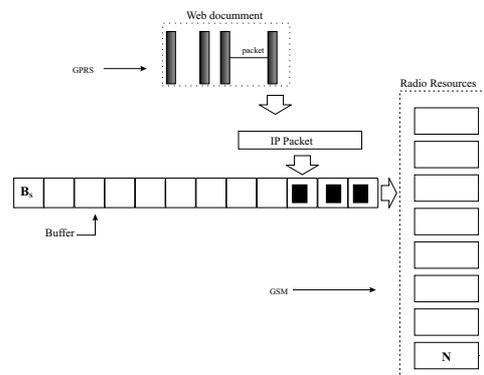


Fig. 4. Sistema de fila usado para representar o comportamento da microcélula

O tráfego GPRS, como citado anteriormente, é descrito por uma fonte *ON-OFF*. Assim, durante o *downloading* do documento *Web*, tempo gasto no estado *ON*, são consumidos recursos de rádio da rede, enquanto que durante o *reading time*, tempo gasto no estado *OFF*, nenhum recurso é usado pois o usuário estará lendo as informações solicitadas. Os pacotes IP que não podem ser imediatamente transmitidos são armazenados em um *buffer* com capacidade *B<sub>s</sub>*.

O sistema de fila correspondente à microcélula é modelado por uma CTMC com o seguinte estado  $S = (v, k, m, r)$ , onde:

- 1) *v*: número de chamadas de voz em serviço, *v* varia de 0 a *N*;
- 2) *k*: número de pacotes IP no *buffer*, *k* varia de 0 a *B<sub>s</sub>*;
- 3) *m*: número de sessões GPRS ativas, *m* varia de 0 a *M*;
- 4) *r*: número de sessões GPRS no estado *OFF*, *r* varia de 0 a *m*. Isso significa que existem *m* sessões GPRS ativas onde *r* estão no estado *OFF* e *m - r* no estado *ON*;

Na Tabela I são mostradas as possíveis transições da CTMC a partir do estado  $S = (v, k, m, r)$ , juntamente com as condições, as razões e os eventos que ocasionam as transições dos estados.

O valor da razão de chegada de *handover*, é calculado através do equilíbrio do fluxo de chegada e saída dos usuários GSM e GPRS, os quais são dados por Eq.(6) e Eq.(7) [8][7].

$$\lambda_{h,GSM} = \mu_{h,GSM} \sum_{v=1}^N \sum_{k=0}^{B_s} \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m v \pi_{v,k,m,r} \quad (6)$$

$$\lambda_{h,GPRS} = \mu_{h,GPRS} \sum_{v=0}^N \sum_{k=0}^{B_s} \sum_{m=1}^M \sum_{r=0}^m m \pi_{v,k,m,r} \quad (7)$$

onde  $\pi_{v,k,m,r}$  são as probabilidades do estado de equilíbrio da CTMC.

Todo o tráfego transbordado de voz das microcélulas será escoado pela macrocélula se existirem recursos para escoá-los. O tráfego de transbordo das microcélulas para a macrocélula

TABELA I  
POSSÍVEIS TRANSIÇÕES A PARTIR DO ESTADO  $S = (v, k, m, r)$  DA MICROCÉLULA SEM O *threshold*.

Estado Sucessor	Condição	Razão	Evento
$(v+1, k, m, r)$	$v < N$	$\lambda_{GSM}$	Chegada de uma chamada de voz
$(v-1, k, m, r)$	$v > 0$	$v\mu_{GSM}$	Partida de uma chamada de voz
$(v, k, m+1, r)$	$m < M$	$\frac{\beta}{\alpha+\beta}\lambda_{GPRS}$	Chegada de uma sessão GPRS no estado ON
$(v, k, m+1, r+1)$	$m < M$	$\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\lambda_{GPRS}$	Chegada de uma sessão GPRS no estado OFF
$(v, k, m-1, r)$	$(m > 0) \wedge (r = 0)$	$m\mu_{GPRS}$	Partida de uma sessão GPRS
$(v, k, m-1, r-1)$	$(m > 0) \wedge (r = m)$	$m\mu_{GPRS}$	
$(v, k, m-1, r-1)$	$(m > 0) \wedge (0 < r < m)$	$\frac{r}{m}m\mu_{GPRS}$	
$(v, k, m-1, r)$	$(m > 0) \wedge (0 < r < m)$	$\frac{m-r}{m}m\mu_{GPRS}$	
$(v, k+1, m, r)$	$(k < B_s) \wedge (m > 0) \wedge (r < m)$	$(m-r)\lambda_{packet}$	Chegada de um Pacote IP
$(v, k-1, m, r)$	$(\min(\theta, k) > 0) \wedge (k > 0)$ $\theta = \min(N-v, 7)$	$\min(\theta, k)\mu_{service}$	Transmissão de um Pacote IP
$(v, k, m, r+1)$	$r < m$	$(m-r)\alpha$	Diminuição da rajada
$(v, k, m, r-1)$	$r > 0$	$r\beta$	Aumento da rajada

é dado por:

$$\lambda_{tof} = \psi \lambda_{GSM} \sum_{k=0}^{B_s} \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m \pi_{N, k, m, r} \quad (8)$$

onde  $\psi$  é o número de microcélulas.

A probabilidade de um pacote IP não ser aceito pelo sistema devido ao transbordo do *buffer* é dada por:

$$P_D = \sum_{v=0}^N \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m \pi_{v, B_s, m, r} \quad (9)$$

O *throughput* de pacotes IP na microcélula é dado por Eq.(10), enquanto que o tempo médio de espera por serviço de um pacote IP no *buffer* é dado por Eq.(11):

$$X = \sum_{v=0}^N \sum_{k=0}^{B_s} \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m \min(\min(N-v, 7), k) \mu_{service}. \quad (10)$$

$$W_q = \frac{\sum_{v=0}^N \sum_{k=1}^{B_s} \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m k \pi_{v, k, m, r}}{X}. \quad (11)$$

### C. Modelo da macrocélula

A macrocélula somente escoar o tráfego transbordado de voz. Assim, seu comportamento pode ser modelado por uma fila  $M/M/N^M/N^M$  como mostrado na Fig.(5). Dessa forma, a probabilidade de uma chamada de voz ser bloqueada é dada pela fórmula de Erlang-B, e a probabilidade de uma chamada de voz ser bloqueada na microcélula e não conseguir serviço na macrocélula é dada por:

$$P_B = \sum_{k=0}^{B_s} \sum_{m=0}^M \sum_{r=0}^m \pi_{N, k, m, r} P_{bv}^M. \quad (12)$$

onde  $P_{bv}^M$  é a probabilidade de bloqueio da macrocélula.

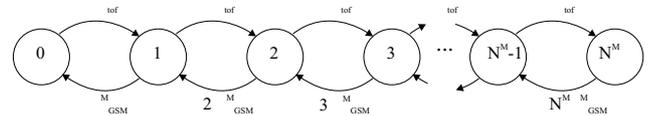


Fig. 5. Diagrama de transição de estados da macrocélula

## VI. RESULTADOS

Na Tabela II são dados os valores usados para a obtenção dos resultados que serão mostrados a seguir. Dois pontos devem ser destacados nessa tabela. O *Reading time* entre documentos *Web* foi reduzido de 412s para 41.2s de forma que se tenha um tráfego GPRS mais intenso. O Tempo médio de serviço do pacote IP é dado como o tempo no qual um pacote IP é escoado por um canal usando um dado esquema de codificação de canal. Assim, ele é dado por:

$$t_{service} = \frac{1}{\mu_{service}} = \frac{480 \cdot 8}{1024} \frac{(kbits)}{th_{CS}(kbits/s)}. \quad (13)$$

onde,  $th_{CS}$  é a razão de dados do esquema de codificação de canal usado, que neste caso é 13,4 kbits/s (CS-2). Os demais parâmetros são dados em [6][7][8]

### A. Efeito do aumento de usuários GPRS no sistema

Nas Fig(6)-Fig(8) são mostrados os resultados para o estudo do efeito do aumento do número de usuários GPRS na microcélula. Esse aumento é proporcional a diminuição do número de usuários GSM. Assim, para 10% de usuários GPRS existem 90% usuários GSM e assim por diante. Na Fig.(6) é mostrada a probabilidade de uma chamada de voz GSM não conseguir serviço na microcélula, ser transbordada para a macrocélula e não obter serviço, sendo assim bloqueada. Como já esperado, quanto menor o número de usuários GSM, menor será a probabilidade de bloqueio de uma chamada de voz. Dessa forma, o sistema com 70% de usuários GSM possui uma probabilidade de bloqueio menor que aquele com 90%. Observa-se na Fig.(7) que a probabilidade de bloqueio de um pacote IP aumenta com o aumento do número de usuários GPRS

TABELA II  
VALORES USADOS PARA A OBTENÇÃO DOS RESULTADOS.

Parâmetro		Valor
Número de canais na Microcélula	$N$	7
Número de canais na Macrocelula	$N^M$	7
Número médio de sessões GPRS	$M$	10
Tamanho do <i>buffer</i>	$B_s$	50
Número de Microcélulas	$\psi$	19
Tempo médio de duração de uma chamada GSM (s)	$1/\mu_{d,GSM}$	120
Tempo médio de residência de uma estação móvel GSM (s)	$1/\mu_{h,GSM}$	60
Tempo médio de residência de uma estação móvel GPRS (s)	$1/\mu_{h,GPRS}$	120
Tempo médio de duração de uma chamada GSM na Macrocelula (s)	$1/\mu_{d,GSM}^M$	120
Tempo médio de residência de uma estação móvel GSM na Macrocelula (s)	$1/\mu_{h,GSM}^M$	960
Tamanho médio do pacote IP (bytes)		480
Tempo médio entre chegadas dos Pacotes IP (s)	$D_d$	0.5, 0.0277
Número médio de documentos <i>Web</i> por sessão GPRS	$N_{pc}$	5
<i>Reading time</i> médio entre documentos <i>Web</i> (s)	$D_{pc}$	41.2
Número médio pacotes IP por documento <i>Web</i>	$N_d$	25

na microcélula e com o aumento do tráfego GSM/GPRS. De forma contraditória, o tempo médio de espera no *buffer* de um pacote IP diminui com o aumento do número de usuários GPRS como mostra a Fig.(8). Deve ser lembrado que esse aumento é inversamente proporcional a diminuição dos usuários GSM. Então, quanto mais usuários GSM em serviço, menor é o número de canais disponíveis para o escoamento dos pacotes IP, fazendo com que os pacotes esperem mais pelo atendimento.

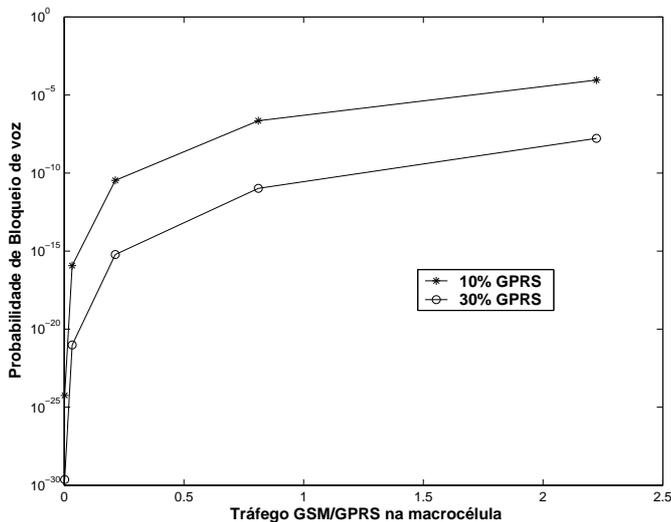


Fig. 6. Probabilidade de Bloqueio de uma chamada de voz *versus* aumento do tráfego GSM/GPRS na macrocélula

#### B. Efeito do aumento de razão de chegada dos Pacotes IP

Nesta seção se investiga o efeito do aumento da razão de chegada dos pacotes IP no desempenho da rede GSM/GPRS. A proporção entre o tráfego GSM/GPRS é de 90% para o

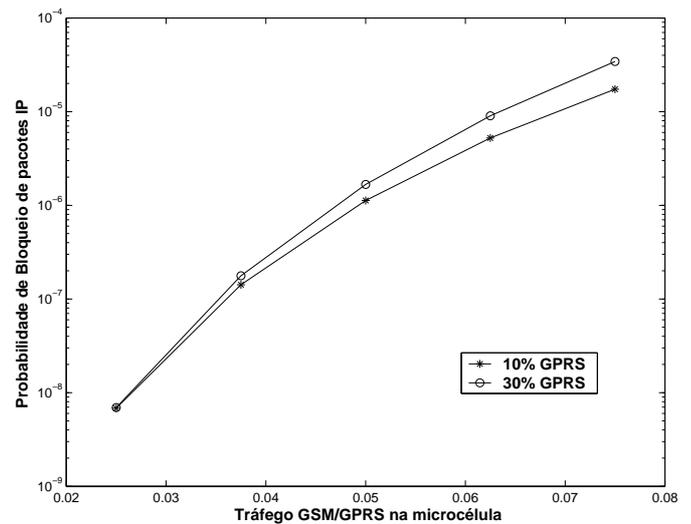


Fig. 7. Probabilidade de Bloqueio de um pacote IP *versus* aumento do tráfego GSM/GPRS na microcélula

GSM e 10% para o GPRS. Desde que não haja reserva de recursos para o escoamento do tráfego de dados e seja mantida a prioridade preemptiva dos serviços de voz, o desempenho do GSM não é afetado pelo serviço GPRS. Assim, a probabilidade de bloqueio de uma chamada de voz permanece inalterada e igual a da Fig(6).

Na Fig(9) se observa que com o aumento na razão de chegada dos pacotes IP (diminuição dos tempos entre chegadas), ocorre um aumento na probabilidade de bloqueio dos pacotes. Esse mesmo efeito é observado no tempo de espera no *buffer* de um pacote IP como mostra a Fig(10).

## VII. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um modelo analítico para o estudo da alocação de recursos em redes móveis celulares

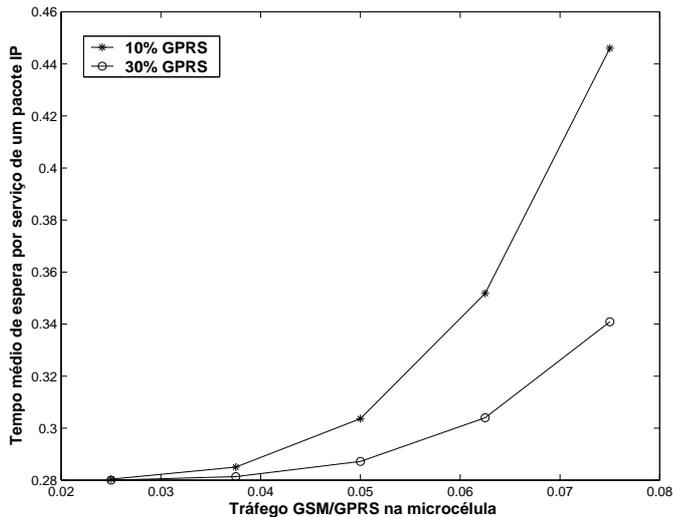


Fig. 8. Tempo médio de espera por serviço de um pacote IP versus aumento do tráfego GSM/GPRS na microcélula

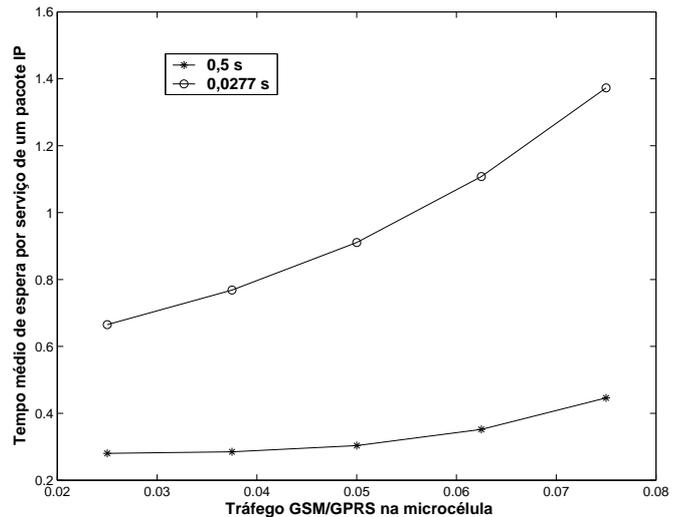


Fig. 10. Tempo médio de espera por serviço de um pacote IP versus aumento do tráfego GSM/GPRS na microcélula

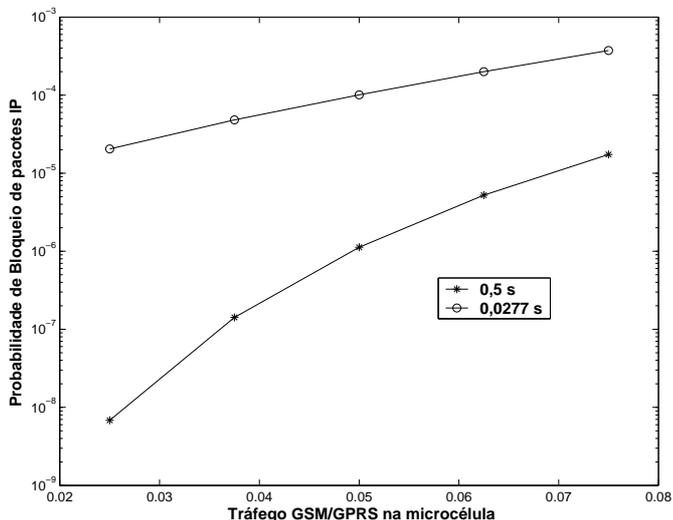


Fig. 9. Probabilidade de Bloqueio de um pacote IP versus aumento do tráfego GSM/GPRS na microcélula

hierárquicas GSM/GPRS. Ele utiliza uma CTMC para representar o comportamento dos usuários de voz GSM e de dados GPRS. Além disso, é considerado no modelo um tráfego de dados *ON-OFF*, o qual é representado por um processo MMPP. A mobilidade dos usuários na micro e macrocélula também são considerados nesse modelo.

Observou-se que a utilização de estruturas celulares hierárquicas resultam em uma boa alternativa para a garantia da QoS dos serviços de voz, uma vez que a macrocélula oferece uma rota alternativa para o escoamento do tráfego bloqueado nas microcélulas. Em relação ao desempenho do GPRS deve ser notado que uma variação de 20% no número de usuários GPRS resulta em uma pequena variação na probabilidade de bloqueio dos pacotes IP, mas em um considerável aumento no tempo de atendimento desses pacotes. Isso acontece porque o processo de atendimento dos pacotes IP é governado pelo serviço de voz. Pode-se constatar ainda que o padrão de

chegada dos pacotes IP é um dos responsáveis pela degradação da QoS do serviço de Internet.

Como alvo de futuras investigações, pretende-se identificar outros responsáveis pela degradação da QoS dos serviços de dados. Outro caminho que será tomado é a modelagem de redes de 3G como *Enhanced Data for Global Evolution (EDGE)* ou ainda *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*, visto que essas redes são evoluções naturais da rede GSM/GPRS.

#### AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é financiado pelo CNPq

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. Mahdavi, R. Tafazolli, *Analysis of integrated voice and data for GPRS, International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*, 2000.
- [2] K. Yeo and C.H. Jun, *Modeling and analysis of hierarchical cellular networks with general distributions of call and cell residence times, IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 51, no.6, p.1361 - 1374, Nov. 2002.
- [3] P.Lin and Y.B.Lin, *Channel Allocation for GPRS, IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol.50, no.2, p. 375-387, March 2001
- [4] W.Y.Chen, J. Lien, L.L. Lu, *Performance Comparison of Dynamic Resource Allocation With/Without Channel De-Allocation in GSM/GPRS Networks, IEEE Communication Letters*, vol.7, no.1, January 2003.
- [5] M. D. Yacoub, *Wireless Technology: Protocols, Standards, and Techniques, CRC Press*, 2002.
- [6] *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS (UMTS 30.03 version 3.2.0)*.
- [7] C. Lindermann, and Thummler, *Performance analysis of the general packet radio service, Computer Networks*, Vol. 41, no. 1, p. 1-17, January 2003.
- [8] M. Meo and M. A. Marsan, *Resource management policies in GPRS systems, Performance Evaluation*, Vol. 56, Issues 1-4, p. 73-92, March 2004.
- [9] M.Ermel, T. Muller, J. Schuler, M. Schweigel, K. Begain, *Performance of GSM networks with general packet radio services, Performance Evaluation*, Vol. 48, Issues 1-4, p. 285-310, May 2002.
- [10] X.Fang and D. Ghosal, *Performance modeling and QoS evaluation of MAC/RLC layer in GSM/GPRS networks, ICC '03*, 2003.
- [11] H.W. Ferng, Y.C.Tsai, *Channel allocation and performance study for the integrated GSM/GPRS system, WCNC 2003*, March 2003.