

# Análise da vazão em redes de rádios cognitivos usando *Slotted Aloha*

Afonso José de Faria e José Marcos Câmara Brito

**Resumo**—Este artigo apresenta uma extensão de uma metodologia para o cálculo da vazão em redes de rádios cognitivos com infraestrutura e que usam a técnica *Slotted Aloha* para acesso ao meio. Essa extensão inclui no modelo os efeitos da taxa de erros de pacotes devido às interferências na rede, efeito este não considerado no modelo original.

**Palavras-Chave**—Rádio Cognitivo, Múltiplo Acesso, Vazão, Análise de desempenho.

**Abstract**— This paper introduces an extension of a methodology for calculating the throughput in cognitive radio networks with infrastructure and using the technique *Slotted Aloha* for medium access. This extension to the model includes the effects of packet error rate due to interference on the network, an effect not considered in the original model.

**Keywords**—Cognitive Radio, Multiple Access, Throughput, Performance analysis.

## I. INTRODUÇÃO

As aplicações emergentes nas redes de comunicação sem fio que demandam maiores taxas de transmissão, e o aumento do tráfego nestas redes, devido ao aumento exponencial do número de usuários, resultam em aumento significativo da demanda por espectro, levando à necessidade de se fazer um uso mais eficiente deste recurso de modo a evitar a escassez do mesmo [1].

De acordo com [1] e [2], a maioria do espectro de frequências disponível já foi licenciado de forma fixa para os usuários primários (UP). Uma pequena porção deste espectro pode ser usada pelas chamadas aplicações emergentes. Um estudo realizado pela *Spectrum Policy Task Force* (STPF), ligada ao *Federal Communications Commission* (FCC), mostrou que algumas bandas do espectro são muito usadas pelos usuários licenciados em determinados locais e durante alguns intervalos de tempo e que existem muitas bandas que são parcialmente ocupadas ou quase não são usadas [1]. De acordo com o FCC, a utilização do espectro licenciado varia entre 15 e 85%, dependendo da região geográfica e do instante de tempo [2].

Uma forma de contornar estas limitações é promover alterações no modelo de licenciamento ou concessão atual, de forma a tornar mais flexível o acesso ao espectro de frequências, permitindo que os usuários secundários (US) possam acessar de forma oportunista os *buracos espectrais*, definidos em termos de tempo, localização e frequência, sem causar interferências ou prejudicar as comunicações dos UPs e obedecendo a certas regras e restrições de operação. Acredita-se que isso melhoraria a eficiência e a utilização do espectro de

rádios frequências, de forma a suportar a demanda requerida. Os sistemas legados de comunicações foram projetados para operar numa banda dedicada de frequências e eles não são capazes de aproveitar da flexibilidade permitida no novo modelo de licenciamento. Logo, para tornar viável esta flexibilização no acesso ao espectro é necessária uma nova tecnologia [1].

De acordo com [1], Rádio Cognitivo (CR) é um novo conceito no desenvolvimento dos sistemas de comunicação sem fios que visa uma melhor utilização do espectro de radiofrequências e, portanto, é forte candidato como solução tecnológica para as futuras redes sem fio.

Em [2], CR é definido como um rádio que pode mudar seus parâmetros de transmissão com base na interação com o ambiente no qual ele está operando. As principais funções dos rádios cognitivos são a detecção espectral, o gerenciamento espectral, a mobilidade espectral e o compartilhamento espectral [2] e o seu principal objetivo é prover adaptabilidade aos sistemas de transmissão sem fios através de Acesso Dinâmico ao Espectro (*Dynamic Spectrum Access - DSA*), de forma a otimizar o desempenho da transmissão e a melhorar a utilização do espectro [1].

Segundo [3], na rede primária, os protocolos para controle e múltiplo acesso ao meio (MAC) são importantes para organizar o acesso ao canal dos diferentes usuários primários. Na rede secundária, os protocolos MAC têm a responsabilidade de organizar o acesso dos usuários secundários aos canais livres da rede primária e evitar ou tornar tolerável a interferência na rede licenciada.

Em [3], o desempenho de redes de rádios cognitivos (CRN - *Cognitive Radio Network*) são analisadas para vários protocolos de acesso ao meio, incluindo uma análise considerando o uso de *Slotted Aloha* nas redes primária e secundária, levando em conta o efeito de captura [3].

As análises apresentadas em [3], no entanto, não consideram os erros de detecção devido às interferências entre estações primárias e secundárias. Neste artigo, estendemos as análises apresentadas em [3], levando em conta a taxa de erro de pacotes (PER - *Packet Error Rate*) devida às interferências existentes [4] e seu efeito sobre a vazão da CRN.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II apresentamos o modelo original utilizado em [3] para a análise de desempenho. Um novo modelo de sistema é apresentado na seção III e o seu desempenho é investigado considerando a PER. Na seção IV são apresentados e comparados os resultados analíticos para ambos os modelos e as nossas conclusões pode ser vistas na seção V.

## II. MODELO ORIGINAL DO SISTEMA

O modelo utilizado em [3], ilustrado na Figura 1, considera duas redes com infraestrutura, uma primária e outra secundária, coexistindo na mesma região geográfica e faixa de frequência. A rede secundária contém  $N_s$  usuários, que disputam as oportunidades de espectro com os  $N_p$  usuários primários. Destes, há  $I_p$  e  $J_s$  usuários primários e secundários tentando transmitir em um dado *time slot*. O modelo considera que qualquer usuário, primário (UP) ou secundário (US), pode transmitir seus pacotes de dados para suas respectivas estações rádio base.

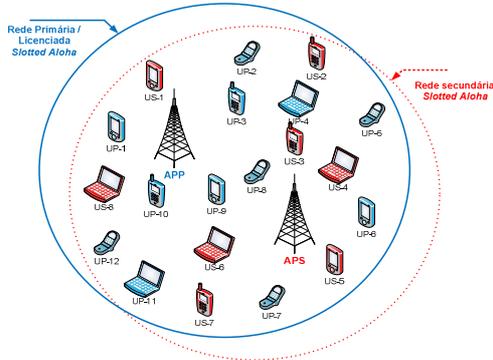


Fig. 1. Modelo de rede primária e secundária com *slotted Aloha*.

O modelo considera que, em um dado *time slot*, não havendo pacotes a serem retransmitidos pelos UPs ou USs, cada um deles poderá gerar um novo pacote com probabilidade  $\sigma_p$  ou  $\sigma_s$ . Consequentemente, a probabilidade de um UP ou US não gerar nenhum novo pacote em um dado *time slot* será  $(1 - \sigma_p)$  ou  $(1 - \sigma_s)$ , respectivamente. Caso um novo pacote de dados seja gerado na rede, seja por um UP ou US, ele será transmitido imediatamente. Se o pacote não for transmitido com sucesso, ele será retransmitido nos *time slots* subsequentes com probabilidade  $\sigma_p$  ou  $\sigma_s$ , até obter sucesso nesta tarefa. Se um dado UP ou US está em estado de retransmissão, não poderá gerar um novo pacote [3].

### A. Modelo de desvanecimento para as redes primária e secundária

As análises consideram um modelo de desvanecimento quase estático [4], segundo o modelo estatístico de Rayleigh em que a potência instantânea do sinal recebido segue uma distribuição exponencial [3].

Seja  $\xi$  um símbolo de um pacote de dados com potência média  $P$  na rede primária ou na rede secundária e  $s$  o sinal recebido nesse canal. Temos então que a relação entre entrada e saída do canal pode ser escrita por [4]:

$$s = h\sqrt{P}\xi + n_0 \quad (1)$$

Onde  $n_0$  representa o ruído Gaussiano complexo com densidade espectral de potência dada por  $N_0$  e  $h$  é o coeficiente instantâneo de desvanecimento ou ganho do canal com valor médio quadrático igual à unidade. De acordo com [4], num modelo de desvanecimento quase estático é assumido que  $h$  permanece constante sobre toda a duração correspondente ao comprimento de um pacote, mas varia de forma independente de um pacote para outro.

### B. Relações entre os níveis de potência das redes

Considere que  $X_p$ , e  $X_s$ , são os valores médios da potência instantânea do sinal de interesse da rede primária e da rede

secundária e que  $Y$  e  $Z$  são os valores esperados das potências dos sinais interferentes da rede primária e da secundária, respectivamente. Tem-se  $X_p = Y$  e  $X_s = Z$  [3]. Sabendo que UPs e USs praticam níveis de potência de transmissão diferentes, de forma de minimizar a interferência sobre os usuários primários e sendo essa relação representada por  $\gamma$ , temos que [3]:

$$\frac{X_p}{Z} = \frac{Y}{X_s} = \gamma \quad (2)$$

### C. Análise do efeito de captura nos usuários das redes

Em sistemas *Slotted Aloha*, os pacotes que chegam ao receptor possuem níveis de potência diferentes devido à distância entre os transceptores, ao nível de potência de transmissão praticada e ao sombreamento ou ao desvanecimento. Se a diferença entre o nível de potência de um dado pacote em relação aos demais pacotes recebidos exceder um determinado nível, denominado de razão de captura ( $R$ ), o pacote com maior potência poderá ser ainda detectado pelo receptor, enquanto que os outros falharão no acesso ao meio [5]. Em [3], considera-se o modelo de captura no qual o sinal interferente corresponde à soma de todas as potências recebidas dos UPs e dos USs e que se a potência de um pacote principal ou de interesse é maior que a potência interferente total e atende ao limiar da razão de captura, o pacote principal *captura* o receptor e é recebido corretamente pelo Ponto de Acesso Primário (APP) ou pelo Ponto de Acesso Secundário (APS). Se o pacote principal é gerado por um UP, a probabilidade de captura,  $P_{pcap \rightarrow APP}$ , é calculada por [3]:

$$P_{pcap \rightarrow APP}(I_p, J_s) = \Pr \left( \frac{x_p}{\sum_{i=1}^{I_p-1} y_i + \sum_{j=1}^{J_s} z_j} > R \right) \quad (3)$$

Onde  $I_p$  e  $J_s$  são os números de UPs e USs que desejam transmitir com probabilidades  $\sigma_p$  ou  $\sigma_s$ , respectivamente, em um dado *time slot*,  $x_p$  é a potência instantânea de um pacote de interesse gerado por um UP,  $R$  é a razão de captura e  $y_i$  e  $z_j$  são as potências instantâneas de pacotes interferentes gerados por UPs e USs, respectivamente.

Se o pacote de interesse é originado por um US, então a probabilidade de captura,  $P_{scap \rightarrow APS}$ , é calculada como [3]:

$$P_{scap \rightarrow APS}(I_p, J_s) = \Pr \left( \frac{x_s}{\sum_{i=1}^{I_p} y_i + \sum_{j=1}^{J_s-1} z_j} > R \right) \quad (4)$$

Onde,  $x_s$  é a potência instantânea de um pacote de interesse gerado por um US.

### D. Cálculo da vazão das redes primária e secundária

Considerando que todos os UPs ou USs são independentes entre si, as funções densidades de probabilidades conjuntas para os sinais de interesse das redes primária e secundária em relação à interferência são, respectivamente [3]:

$$f(x_p, y_1, \dots, y_{I_p-1}, z_1, \dots, z_{J_s}) = \frac{1}{X_p} e^{-\frac{x_p}{X_p}} \times \prod_{i=1}^{I_p-1} \frac{1}{Y} e^{-\frac{y_i}{Y}} \prod_{j=1}^{J_s} \frac{1}{Z} e^{-\frac{z_j}{Z}} \quad (5)$$

$$f(x_s, y_1, \dots, y_{I_p}, z_1, \dots, z_{J_s-1}) = \frac{1}{X_s} e^{-\frac{x_s}{X_s}} \times \prod_{i=1}^{I_p} \frac{1}{Y} e^{-\frac{y_i}{Y}} \prod_{j=1}^{J_s-1} \frac{1}{Z} e^{-\frac{z_j}{Z}} \quad (6)$$

Utilizando as funções de densidades dadas em (5) e (6), as probabilidades de captura de um UP e US são calculadas por [3]:

$$P_{pcap \rightarrow APP}(I_p, j_s) = \left( \frac{1}{R+1} \right)^{I_p-1} \left( \frac{\gamma}{R+\gamma} \right)^{j_s} \quad (7)$$

$$P_{scap \rightarrow APS}(I_p, j_s) = \left( \frac{1}{R\gamma+1} \right)^{I_p} \left( \frac{1}{R+1} \right)^{j_s-1} \quad (8)$$

Durante a ocorrência de um *time slot* podem ocorrer quatro possíveis eventos, a saber [3]:

Evento {E}: tanto APP quanto APS recebem com sucesso pacotes gerados por UP e US.

Evento {E<sub>p</sub>}: APP recebe com sucesso pacote de um UP.

Evento {E<sub>s</sub>}: APS recebe pacote de um US com sucesso.

Evento {T<sub>i,j</sub>}: existem *i* usuários primários e *j* usuários secundários tentando transmitir.

É possível calcular as probabilidades condicionais relacionadas a estes eventos, como dado a seguir [3].

$$\begin{aligned} \Pr(E_p | T_{i,j}) &= iP_{pcap \rightarrow APP}(I_p, J_s) \\ \Pr(E_s | T_{i,j}) &= jP_{scap \rightarrow APS}(I_p, J_s) \\ \Pr(E | T_{i,j}) &= \Pr(E_p | T_{i,j}) + \Pr(E_s | T_{i,j}) \\ &= iP_{pcap \rightarrow APP}(I_p, J_s) + jP_{scap \rightarrow APS}(I_p, J_s) \end{aligned} \quad (9)$$

A vazão total,  $S_{ot}$ , é definida em [3] como o número total de pacotes transmitidos pelos UPs e USs que são recebidos corretamente pelos APP e APS, respectivamente, durante um *time slot*. Abaixo são então apresentadas as expressões obtidas em [3] para as vazões primária,  $S_{op}$ , secundária,  $S_{os}$ , e a vazão total.

$$S_{op} = \sum_{i=0}^{N_p} \sum_{j=0}^{N_s} \binom{N_p}{i} \sigma_p^i (1-\sigma_p)^{N_p-i} \binom{N_s}{j} \sigma_s^j (1-\sigma_s)^{N_s-j} \cdot i \left( \frac{1}{R+1} \right)^{i-1} \left( \frac{\gamma}{R+\gamma} \right)^j \quad (10)$$

$$S_{os} = \sum_{i=0}^{N_p} \sum_{j=0}^{N_s} \binom{N_p}{i} \sigma_p^i (1-\sigma_p)^{N_p-i} \binom{N_s}{j} \sigma_s^j (1-\sigma_s)^{N_s-j} \cdot j \left( \frac{1}{R\gamma+1} \right)^i \left( \frac{1}{R+1} \right)^{j-1} \quad (11)$$

$$S_{ot} = \sum_{i=0}^{N_p} \sum_{j=0}^{N_s} \binom{N_p}{i} \sigma_p^i (1-\sigma_p)^{N_p-i} \binom{N_s}{j} \sigma_s^j (1-\sigma_s)^{N_s-j} \cdot \left\{ i \left( \frac{1}{R+1} \right)^{i-1} \left( \frac{\gamma}{R+\gamma} \right)^j + j \left( \frac{1}{R\gamma+1} \right)^i \left( \frac{1}{R+1} \right)^{j-1} \right\} \quad (12)$$

Os resultados obtidos por meio das equações (10), (11) e (12) foram validados, por comparação, com os resultados de simulação da referência [3].

### III. NOVO MODELO PARA O SISTEMA

O cálculo de vazão apresentado em [3] não considera o efeito dos erros de transmissão devidos aos sinais interferentes. Nesta seção, apresentamos uma extensão deste modelo, considerando no cálculo da vazão apenas os pacotes recebidos sem erro. Esta abordagem torna o modelo mais realista, pois na maioria das aplicações de comunicação de dados os pacotes recebidos com erro são descartados e retransmitidos.

#### A. Taxa de erros de pacotes nas redes

O conhecimento da taxa de erros de pacotes (PER) em sistemas de comunicação é importante, uma vez que na maioria destes sistemas os dados são transmitidos em pacotes. Além disso, o desempenho deles, em termos de vazão, é determinado pela PER ao invés da taxa de erros de bits (BER) ou símbolos [4]. A ligação entre a PER com o sistema de comunicação do modelo é feita pela relação sinal/(interferência + ruído) (SNIR). Porém, conforme [6], o ruído Gaussiano pode ser negligenciado em canais limitados pela interferência, logo é definido e usado neste artigo o modelo *Signal-to-Interference Ratio* (SIR).

Há vários modelos propostos na literatura para cálculo da PER em canais com desvanecimento. As referências de [7] a [15] têm como objetivo principal ou secundário a análise e a apresentação de métodos para calcular a PER em canais de comunicação sem fios, com desvanecimento dado por Rayleigh. Tal cálculo é bastante complexo e não pode ser generalizado para um grande número de situações físicas reais. Devido à grande demanda de recursos computacionais, em vários casos são apresentadas formas analíticas ou empíricas aproximadas para a obtenção da PER. De [7] a [15], os canais de comunicação são modelados por uma cadeia de Markov, onde a faixa total da relação sinal-ruído é particionada em um número finito de estados variando de dois (modelo Gilbert-Elliott) a vários. Usando o número provável de vezes que tais limiares são cruzados, o intervalo de tempo que as condições do canal permanecem em cada estado da cadeia de Markov e calculando a taxa de erros de bits destes estados, pode se calcular a PER para o canal modelado. As dificuldades com os modelos markovianos residem em ajustar as probabilidades de transição dos estados de modo a refletir o comportamento real do canal considerado.

Neste artigo optou-se por utilizar a metodologia apresentada em [4], que permite o cálculo da PER em função da SIR, de maneira relativamente simples, através do uso de um limitante superior bastante preciso para o sistema considerado.

Supondo que a rede licenciada possui  $I_p$  usuários primários tentando transmitir e a rede secundária  $J_s$  usuários em tentativa

de transmissão de pacotes, sabendo que  $X_p = Y$  e  $X_s = Z$  e aplicando (2), obtemos o valor médio da SIR,  $\Delta_p$  e  $\Delta_s$ , respectivamente, nestas redes, como:

$$\Delta_p = \frac{1}{(I_p - 1) + \frac{J_s}{\gamma}} \quad (13)$$

$$\Delta_s = \frac{1}{I_p \gamma + J_s - 1} \quad (14)$$

Seja agora uma função  $f(\delta)$  que relaciona a PER com a SIR instantânea na recepção ( $\delta$ ) em um canal com ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN) e  $p(\delta)$  a função de densidade de probabilidade da SIR no receptor, com distribuição exponencial. Segundo [4], a PER representada por  $P_{ave}(\Delta)$ , pode ser calculada pela integral a seguir:

$$P_{ave}(\Delta) = \int_0^{\infty} f(\delta) p(\delta) d\delta \quad (15)$$

$$P_{ave}(\Delta) = \frac{1}{\Delta} \int_0^{\infty} f(\delta) e^{-\delta/\Delta} d\delta \quad (16)$$

Considerando as técnicas de modulação empregadas, comprimentos de pacotes e esquemas de codificação, a resolução de (16), para o caso geral, é difícil. É proposta então uma aproximação por limitante superior para a PER, conforme a desigualdade a seguir [4]:

$$P_{ave}(\Delta) \leq 1 - e^{-w_0/\Delta} \quad (17)$$

A taxa de sucesso na transmissão dos pacotes (PSR) é então dada pela equação abaixo:

$$PSR(\Delta) \geq e^{-w_0/\Delta} \quad (18)$$

Onde  $w_0$  é um valor constante para o canal com desvanecimento por Rayleigh e seu valor pode ser calculado pela integral dada abaixo [4]:

$$w_0 = \int_0^{\infty} f(\delta) d\delta \quad (19)$$

Para técnica de modulação *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK) com detecção coerente, sem o uso de codificação no canal e com pacotes de  $n$  bits,  $f(\delta)$  pode ser obtida da seguinte maneira [4]:

$$f(\delta) = \{1 - [1 - b(\delta)]^n\} \quad (20)$$

Onde  $b(\delta)$  é a Taxa de erro de bits para canais AWGN (BER) e pode ser calculada conforme a equação abaixo [4]:

$$b(\delta) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\delta}) \quad (21)$$

Em [4] é apresentada a resolução analítica do limitante superior da PER e simulação para os valores esperados para PER em função da SNR média. Pelos resultados apresentados em [4], pode-se observar que o limitante apresenta um valor preciso para a PER para a modulação BPSK com detecção coerente, sem codificação de canal e com pacotes maiores que 127 [bits]. Diante das considerações acima, neste artigo, considera-se que a PER e a PSR são obtidas de forma aproximada pelas equações abaixo.

$$P_{ave}(\Delta) \cong 1 - e^{-w_0/\Delta} \quad (22)$$

$$PSR(\Delta) \cong e^{-w_0/\Delta} \quad (23)$$

Usando o MATLAB e comparando os resultados de [4], os valores obtidos para  $w_0$  são os exibidos na Tabela I.

TABELA I. VALORES DE  $w_0$  PARA MODULAÇÃO BPSK COERENTE

Tamanho do pacote $n$ [bits]	Constante $w_0$
Uncoded 31	2,2364
Uncoded 127	3,4467
Uncoded 1023	5,3361

#### B. Cálculo da vazão da rede do novo modelo

A vazão total da rede no novo modelo para o sistema, denotada por  $S_{nt}$ , é definida como o número total de pacotes gerados por UPs e USs e que são recebidos corretamente pelo APP e APS, respectivamente, durante um *time slot*. Considerando apenas os pacotes recebidos corretamente, a vazão da rede primária,  $S_{np}$ , a da rede secundária,  $S_{ns}$  e a vazão total, em função da PER, são dadas por:

$$\begin{aligned} S_{np} &\cong S_{op} \cdot PSR(\Delta_p) \cong S_{op} \cdot e^{-w_0(I_p - 1 + J_s/\gamma)} \\ S_{ns} &\cong S_{os} \cdot PSR(\Delta_s) \cong S_{os} \cdot e^{-w_0(I_p \gamma + J_s - 1)} \\ S_{nt} &\cong S_{np} + S_{ns} \end{aligned} \quad (24)$$

#### IV. RESULTADOS OBTIDOS

Seja  $m$  a relação entre as probabilidades de transmissão de cada rede, obtida como:

$$m = \frac{\sigma_s}{\sigma_p} \quad (25)$$

Os gráficos para a vazão da rede primária e secundária e a vazão total da rede são apresentados nas figuras 2, 3 e 4 e foram traçados considerando: (1) Modelo original e (2) Novo modelo. Foi levada em conta modulação BPSK coerente, sem codificação de canal e com pacotes de 127 bits. Para comparação dos resultados entre o novo modelo e o original, foram considerados os mesmos parâmetros de [3]:  $N_p = N_s = 30$ ,  $\gamma = 10$ ,  $R = 3$  dB e  $m = 1, 2$  e  $5$ . Pela observação dos gráficos, verifica-se que a PER interfere muito na vazão da rede e, portanto, não deveria ser descartada nestes cálculos, como ocorre em [3]. No novo modelo de sistema, que leva em conta a PER, houve uma grande redução da vazão das redes primária e secundária e da vazão total.

Ainda de acordo com os gráficos, para os usuários da rede primária, a vazão diminuiu com o aumento de  $m$  e seu valor máximo ocorre para valores cada vez menores da carga na rede primária, à medida que  $m$  aumenta. Para os usuários da rede secundária, a vazão máxima desta rede aumenta à medida que  $m$  cresce. No caso da vazão total da rede, ela cresce com o aumento de  $m$  e o valor máximo depende do fator  $m$  e da carga da rede primária.

Para trabalhos futuros ficam duas questões a serem investigadas. Como a vazão total depende de  $m$  e do nível de tráfego na rede primária, um protocolo adaptativo poderia ser analisado para otimização da vazão. Além disso, técnicas de modulação e codificação de canal poderiam ser consideradas e analisadas com o objetivo de reduzir a PER.

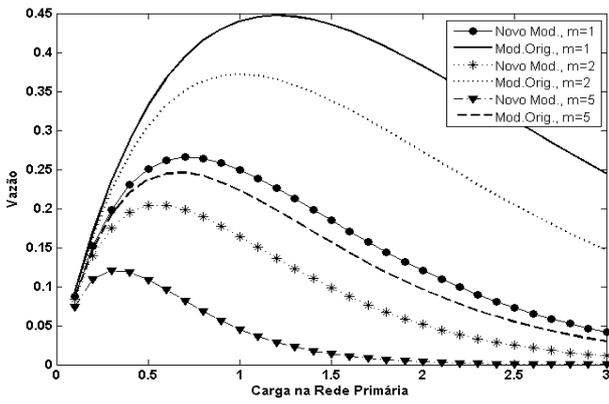


Fig. 2. Gráfico da vazão devido aos UPs ( $N_p=N_s=30$ ,  $\gamma=10$ ,  $R=3\text{dB}$ )

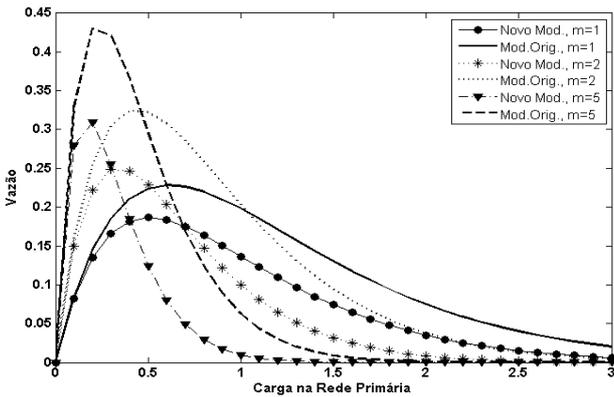


Fig. 3. Gráfico da vazão devido aos USs ( $N_p=N_s=30$ ,  $\gamma=10$ ,  $R=3\text{dB}$ )

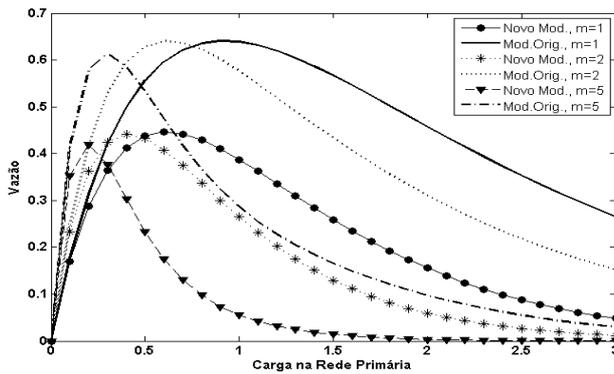


Fig. 4. Gráfico da vazão total das redes primária e secundária ( $N_p=N_s=30$ ,  $\gamma=10$ ,  $R=3\text{dB}$ ).

### V. CONCLUSÕES

Neste artigo estendemos o modelamento apresentado em [3] para cálculo da vazão em redes de rádios cognitivos com protocolo de múltiplo acesso *Slotted Aloha* nas redes primária e secundária. Na extensão apresentada levou-se em conta o efeito da taxa de erros de pacotes na vazão da rede, que foi contabilizada considerando apenas os pacotes recebidos sem erro.

Os resultados apresentados mostraram que a vazão reduz significativamente quando se considera o efeito dos erros de transmissão devido às interferências existentes, mostrando que este efeito não pode ser desprezado, como originalmente apresentado em [3].

Como trabalho futuro, podem-se investigar mecanismos de controle de erro para minimizar o efeito da taxa de erros de pacotes e aumentar a vazão da rede no cenário considerado.

289506050

### REFERÊNCIAS

- [1] HOSSAIN, E.; NIYATO, D.; HAN, Z. Introduction to Cognitive Radio. Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2009. P.39-73.
- [2] AKYILDIZ, I.F.; LEE, W.; VURAN, M.C.; MOHANTY, S. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey. *Computer Networks*, n.50, p. 2127-2159, maio 2006.
- [3] YANG, Z. *Investigations of Multiple Access Protocols in Cognitive Radio Networks*, 2010. 138f. Tese (Doutorado). Department of Electrical and Computer Engineering, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ. 2010.
- [4] XI, Y.; BURR, A.; WEI, J.; GRACE, D. A General Upper Bound to Evaluate Packet Error Rate over Quasi-Static Fading Channels. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v.10, n.5, p. 1373-1375, maio 2011.
- [5] ONOZATO, Y.; LIU, J.; NOGUCHI, S. Stability of a Slotted Aloha system with Capture Effect. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v.38, n.1, p. 31-36, fevereiro 1989.
- [6] KUCERA, S.; AISSA, S.; YOSHIDA, S. Adaptive channel allocation for enabling target SINR achievability in power-controlled wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v.9, n.2, p. 833-843, fevereiro 2010.
- [7] BAI, H.; ATIQUZZAMAN, M. Error Modeling Schemes for Fading Channels in Wireless Communication: A Survey. *IEEE Communications Survey & Tutorials*, v.5, n.2, 4º trimestre de 2003.
- [8] FRITZCHMAN, B.D. A Binary Channel Characterization Using Partitioned Markov Chains. *IEEE Transactions on Information Theory*, v.13, n.2, p.221-227, abril de 1967.
- [9] YEE, J.R.; WELDON, E.J. Evaluation of the Performance of Error-Correcting Codes on a Gilbert Channel. *IEEE Transactions on Communications*, v.43, n.6, p.2316-2323, agosto de 1995.
- [10] ARAÚZ, J.R. Discrete Rayleigh Fading Channel Modeling. Department of Information Sciences and Telecommunications, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, março de 2002.
- [11] EBERT, J.P.; WILLY, A. A Gilbert-Elliott Bit Error Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation. *TKN Technical Report 99-002*, Technical University Berlin, Berlin, março de 1999.
- [12] TAN, C.C.; BEAULIEU, N.C. On First-Order Markov Modeling for the Rayleigh Fading Channel. *IEEE Transactions on Communications*, v.41, n.12, p.2032-2040, dezembro de 2000.
- [13] BISCHL, H.; LUTZ, E. Packet Error Rate in the Non-Interleaved Rayleigh Channel. *IEEE Transactions on Communications*, v.43, n.2/3/4, p. 1375-1382, fevereiro/março/abril de 1995.
- [14] SHARMA, G.; DHOLAKIA, A.; HASSAN, A. Simulation of Error Trapping Decoders on a Fading Channel. In: Proc *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1996, Atlanta, GA, v.2, p. 1361-1365.
- [15] LABIOD, H. Performance of Reed Solomon Error-Correcting Codes On Fading Channels. Université de Versailles, Institut Eurecom.