

Avaliação de Desempenho do Padrão IEEE 802.11a em Ambiente *Outdoor*

J. F. Pimentel, R. L. de Lacerda Neto, W. C. Freitas Jr., F. R. P. Cavalcanti e J. C. M. Mota

Resumo—Neste trabalho, o desempenho do padrão IEEE 802.11a é analisado quando opera em um ambiente tipicamente *outdoor* na banda de frequência de 5GHz. O estudo foi dividido em duas etapas de análise, nas quais são verificados os resultados de vazão gerados pela camada física e pela integração da mesma com a camada de acesso ao meio em um ambiente limitado por ruído.

Palavras-Chave—IEEE 802.11a, OFDM, ambiente *outdoor*, ferramenta de simulação de camada física, ferramenta de simulação sistêmico.

Abstract—In this paper, the performance of the physical layer (PHY) and MAC layer of the IEEE 802.11a standard is evaluated in terms of throughput in a noise-limited scenario. The evaluation has been addressed in a typical outdoor environment in a 5GHz band.

Keywords—IEEE 802.11a, OFDM, outdoor environment, link layer simulator, system simulator.

I. INTRODUÇÃO

A família de padrões IEEE 802.11, mais conhecidas como WLANs (*Wireless Local Area Networks*), foi criada para substituir as antigas redes corporativas cabeadas. Possuindo um alcance limitado, o uso dessas redes era restrito a ambientes de escritórios ou domésticos. Desde o seu surgimento, as redes WLANs têm apresentado um grande desenvolvimento e conseqüente popularização mundial. Toda a família é composta por duas camadas fundamentais: a camada de controle de acesso ao meio (MAC) e a camada física (PHY). Em 1997, a primeira versão do padrão IEEE 802.11 [1] foi lançada e especificava um padrão na faixa de operação de 2,4GHz alcançando taxas de até 2Mbps. Em 1999, o padrão recebeu uma atualização, passando a contar com duas novas PHY, IEEE 802.11a [2] e IEEE 802.11b. O padrão IEEE 802.11a, que opera na faixa de 5GHz, especifica uma PHY baseada em OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), alcançando taxas de até 54Mbps.

Atualmente, os usuários almejam serviços multimídia e altas taxas de comunicação. Para atingir estes objetivos, as redes de comunicações móveis 3G devem evoluir para alcançar taxas mais altas, utilizando novas tecnologias de acesso de rádio [3]. Uma solução a curto prazo seria a incorporação de WLANs, que, apesar de sua limitação nos quesitos mobilidade e área de cobertura, conseguem prover taxas bastante superiores às das redes 3G.

Desde o lançamento dos padrões, diversos estudos foram realizados. A maioria deles focou no IEEE 802.11b, uma

vez que este teve os primeiros produtos comercializados no mercado. No entanto, verificou-se nos últimos anos um crescente interesse pelo IEEE 802.11a e a pesquisa sobre este tema está sendo estendida.

Neste trabalho é proposta uma avaliação de desempenho em termos de vazão e taxa de erro de pacote (PER) por razão sinal-ruído (SNR) em um ambiente *outdoor*. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta de simulação da PHY e da camada MAC de acordo com o padrão IEEE 802.11a [2].

Este trabalho é organizado da seguinte maneira. A seção II descreve o padrão IEEE 802.11a. Na seção III são apresentadas as ferramentas de simulação implementadas. Na seção IV são apresentadas as curvas de validação das ferramentas de simulação. A seção V apresenta as características do canal *outdoor*. Os resultados finais são apresentados na seção VI. Na seção VII uma breve análise é feita sobre a influência do efeito captura em redes WLAN. A seção VIII sintetiza as conclusões do trabalho.

II. WLAN PADRÃO 802.11a

A. IEEE 802.11a Camada Física (PHY)

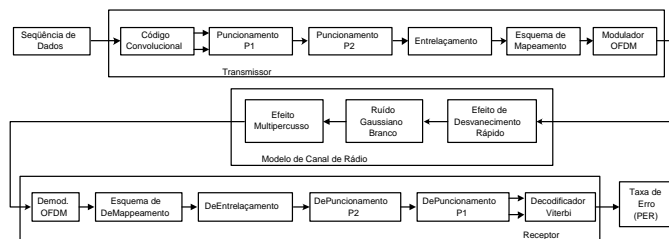


Fig. 1. Diagrama de blocos da estrutura da PHY do padrão IEEE 802.11a.

A PHY do padrão IEEE 802.11a [2] é constituída por estruturas de codificação, punção, entrelaçamento e modulação, como ilustrado na Figura 1. O padrão utiliza modulação OFDM, que, devido a sua robustez em canais seletivos em frequência, é um forte candidato para as futuras redes de comunicação sem fio [3]. A PHY é constituída por 8 modos de operação, como descrito na Tabela I, podendo alcançar taxas de transmissão de até 54Mbps.

O modulador OFDM do padrão IEEE 802.11a utiliza 52 subportadoras, dentre as quais 4 são portadoras piloto e as outras 48 são utilizadas para a transmissão de informação útil. As portadoras piloto são utilizadas para transmitir sinais de referência com o objetivo de perceber e minimizar os efeitos gerados por variações que ocorram na frequência e/ou na fase do sinal. Para eliminar a interferência intersimbólica (ISI), é inserido um tempo de guarda entre os símbolos OFDM adjacentes. Utilizando uma propriedade da transformada de

TABELA I
PARÂMETROS DE TAXA DO PADRÃO IEEE 802.11a.

Vazão (Mbps)	Modulação	Taxa de Código (R)	Bits Codificados por Subportadora (N_{BPSK})	Bits Codificados por Símbolo OFDM (N_{CBPS})	Bytes por Símbolo OFDM (BpS)
6	BPSK	1/2	1	48	3
9	BPSK	3/4	1	48	4,5
12	QPSK	1/2	2	96	6
18	QPSK	3/4	2	96	9
24	16 QAM	1/2	4	192	12
36	16 QAM	3/4	4	192	18
48	64 QAM	2/3	6	288	24
54	64 QAM	3/4	6	288	27

Fourier para garantir a ortogonalidade entre as subportadoras, o modulador OFDM transmite parte do próximo símbolo OFDM durante o tempo de guarda (prefixo cíclico).

B. IEEE 802.11a Camada de Acesso ao Meio (MAC)

A camada MAC se comunica com a PHY através de uma unidade de dados denominada PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*), como mostrada na Figura 2. A PPDU é composta por três partes: o preâmbulo, o sinal e os dados. O preâmbulo é utilizado para a estimação do canal, o sinal identifica algumas características do pacote transmitido e os dados são constituídos por informação útil.

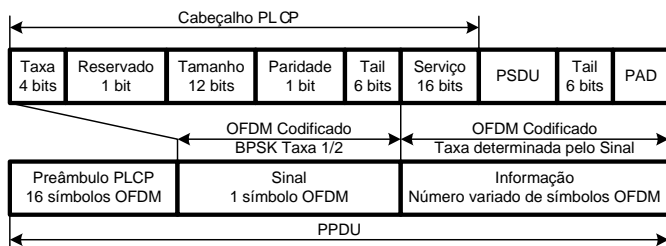


Fig. 2. Diagrama de blocos da estrutura da PHY do padrão IEEE 802.11a.

Para acessar o meio de comunicação a família IEEE 802.11 provê dois mecanismos de acesso: PCF (*Point Coordination Function*) e DCF (*Distributed Coordination Function*). O PCF é baseado em um protocolo MAC centralizado promovendo o acesso ao meio sem contenção. O DCF é o mecanismo de acesso ao meio fundamental do IEEE 802.11. Este último consiste de um esquema de acesso aleatório baseado no protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*). O DCF permite duas técnicas para a transmissão de pacotes: o método de acesso básico e o RTS/CTS. O método de acesso básico é caracterizado pela transmissão de uma confirmação (ACK) positiva logo depois da recepção bem sucedida de um pacote. De maneira adicional, a técnica conhecida como RTS/CTS (*Request-to-Send/Clear-to-Send*) permite que o terminal que pretende transmitir “reserve” o meio para si, enviando um pacote de requisição (RTS). O terminal de destino confirma o recebimento do RTS, enviando de volta um CTS. Em seguida, ocorre a transmissão do pacote de dados e o terminal receptor confirma a boa recepção deste enviando um ACK positivo.

Os estudos apresentados neste artigo focam apenas no método de acesso básico suportado pelo DCF do IEEE

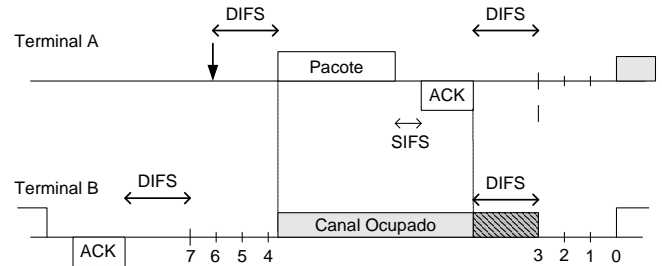


Fig. 3. Mecanismo de Acesso Básico.

802.11a. Desta forma, um terminal com um pacote pronto para ser transmitido monitora a atividade do canal e se este estiver livre por um intervalo de tempo igual ou superior a um DIFS (*Distributed Interframe Space*), o terminal transmite. Caso o canal esteja ocupado, o monitoramento continua até que este esteja livre por um DIFS. Neste momento, o terminal gera um tempo de espera aleatório, conhecido como *backoff*, para minimizar a probabilidade de colisão com pacotes transmitidos por outros terminais.

É importante salientar que o mecanismo de *backoff* empregado pelo DCF é o fator determinante da eficiência do sistema. Após o DIFS, o tempo de espera é discretizado e um terminal só pode transmitir no início de um *slot* de tempo. O contador do tempo de *backoff* é decrementado enquanto o meio estiver livre, “congelado” quando uma transmissão é detectada no meio e reativado quando o meio é detectado livre novamente por pelo menos um DIFS. O terminal transmite quando o contador de *backoff* atinge zero.

O DCF adota um esquema de *backoff* exponencial. A cada tentativa de transmissão, o intervalo de *backoff* é escolhido uniformemente no intervalo $(0, w - 1)$, onde w é chamada de janela de contenção e seu valor depende do número de tentativas de transmissão do pacote. Inicialmente, w assume o valor da janela de contenção mínima, CW_{min} . Após cada transmissão mal sucedida w é dobrada até que seja atingida a janela de contenção máxima $CW_{max} = 2^m CW_{min}$. Os valores de CW_{min} e CW_{max} para o padrão IEEE 802.11a são mostrados na Tabela II.

Um exemplo de operação do método de acesso básico é apresentado na Figura 3. Ao final da transmissão do pacote, o terminal B espera o período de um DIFS e escolhe um valor aleatório para o *backoff* antes de transmitir o próximo pacote (*backoff* = 7, no exemplo). No instante de tempo indicado pela seta o primeiro pacote é gerado no terminal A. Este espera por um DIFS e transmite. Neste instante o contador de *backoff* do terminal B “congela” em 4, só voltando a ser decrementado quando o meio permanece livre por um DIFS.

III. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

A. IEEE 802.11a PHY

Para a análise do desempenho do padrão IEEE 802.11a, foi desenvolvida uma ferramenta de simulação de camada física do padrão com a utilização da ferramenta computacional Matlab®. Baseando-se na norma do padrão IEEE 802.11a a ferramenta foi implementada segundo foi descrito na seção II-A.

A primeira etapa da estrutura de simulação consiste na geração das PPDU's que são entregues à PHY para serem transmitidas. Em seguida os dados são computados pela estrutura lógica do transmissor, que prepara a sequência de dados para ser transmitida.

O canal é modelado de acordo com a taxa de símbolo do padrão IEEE 802.11a, dessa forma, as componentes de multipercurso vistas pela ferramenta de simulação estão espaçadas de tempos de atraso proporcionais ao tempo de símbolo do sistema. Para caracterizar o desvanecimento foi adicionado um desvanecimento com distribuição Rayleigh decorrelacionado em cada um das componentes de atraso do canal discretizado. O canal é considerado quase estático, i.e., o canal é estático durante a transmissão de uma PPDU, e a cada nova PPDU são sorteados novos valores de desvanecimento. Ao final da transmissão do símbolo pelo canal, é adicionado um ruído gaussiano branco.

No receptor, o sinal é processado de forma a minimizar o efeito de perturbação gerado pelo canal e desfazer a sequência de alterações que foram feitas no transmissor. Como previsto no padrão 802.11a, cada subportadora possui controles automáticos de ganho (CAGs) para desfazer o efeito gerado pelo canal. Os ganhos gerados por estes CAGs são selecionados no início de transmissão de cada PPDU utilizando os símbolos de preâmbulo nele contidos.

É considerado, no início da transmissão de cada PPDU, a estimação perfeita no canal, não sendo objetivo deste trabalho analisar o grau de precisão na estimação do canal.

A ferramenta de simulação IEEE 802.11a PHY foi desenvolvida para analisar a performance do padrão IEEE 802.11a em alguns ambientes e fornecer as curvas de vazão por razão sinal-ruído (SNR) para as simulações de camada MAC.

B. IEEE 802.11a MAC

A ferramenta de simulação sistêmica implementado tem como função principal emular o método DCF de acesso básico segundo o padrão IEEE 802.11 [1]. Nas redes WLAN o protocolo de acesso ao meio é fator determinante na eficiência do sistema.

Para efeito de simplificação o retardo de propagação foi considerado constante para todos os terminais e é calculado tomando por base seu valor limite, i.e., o retardo visto pelo terminal que se encontra na borda da célula. Pelo mesmo motivo computacional considerou-se que todos os pacotes de ACK são recebidos corretamente (sejam eles positivos ou negativos).

De acordo com [6], sob a hipótese de canal ideal e no regime de saturação (assintótico), i.e., quando todos os terminais sempre possuem pacotes na fila de transmissão, a vazão (razão entre a quantidade de bits de informação útil e o tempo necessário à sua transmissão) máxima alcançável pelo sistema pode ser expressa por:

$$S = \frac{P_s P_{tr} E}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \quad (1)$$

,onde E é o tamanho do pacote de dados, considerado constante para todos os terminais. P_{tr} é a probabilidade de

existir pelo menos uma transmissão em um determinado slot de tempo; P_s é a probabilidade de uma transmissão ser bem sucedida, dado que existe apenas uma estação transmitindo no canal; e σ é a duração de um slot de tempo vazio. T_s é o tempo médio que o canal permanece ocupado devido a uma transmissão bem sucedida, e T_c é o tempo médio que o canal permanece ocupado devido a uma colisão.

Em [6] encontramos as expressões para o cálculo de P_{tr} , P_s , T_s e T_c . No entanto, estas duas últimas dizem respeito exclusivamente ao padrão IEEE 802.11b. As expressões para T_s e T_c adaptadas ao IEEE 802.1a são mostradas a seguir:

$$\begin{aligned} T_s &= T_{DATA} + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\ T_c &= T_{DATA} + DIFS + \delta \end{aligned} \quad (2)$$

Assumindo que todas as taxas de transmissão especificadas na Tabela I são disponíveis, e que a sinalização de controle pode se dar a qualquer taxa, pode-se então obter a duração de cada pacote.

$$\begin{aligned} T_{DATA} &= PLCP\text{Preamble} + PLCP\text{Header} \\ &+ MAC\text{Header} + E + FCS + Tailbits + PadBits \\ &= 20\mu s + \left[\frac{28 + (16 + 6)/8 + E}{BpS} \right] .4\mu s \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} ACK &= PLCP\text{Preamble} + PLCP\text{Header} \\ &+ MAC\text{Header} + FCS \\ &= 20\mu s + \left[\frac{14 + (16 + 6)/8}{BpS} \right] .4\mu s \end{aligned} \quad (4)$$

A Tabela II apresenta os demais parâmetros específicos da camada física do IEEE 802.11a.

TABELA II
IEEE 802.11a - PARÂMETROS DA CAMADA FÍSICA.

Parâmetro	Valor	Definição
SlotTime	9 μ s	Duração do Slot
SIFS	16 μ s	Duração do SIFS
DIFS	34 μ s	DIFS=SIFS+2.SlotTime
CWmin	15	Janela de Contenção Mínima
CWmax	1023	Janela de Contenção Máxima
PLCPpreamble	16 μ s	Duração do Preâmbulo PLCP
PLCPsig	4 μ s	Duração do Campo PLCP SIGNAL
tSymbol	4 μ s	Intervalo de Símbolo OFDM

IV. RESULTADOS DE VALIDAÇÃO

A. Simulador IEEE 802.11a PHY

Para a validação da ferramenta de simulação, é utilizado um dos canais dentre os cinco propostos pela BRAN [7] para caracterizar um ambiente tipicamente *indoor*. Este canal, denominado Canal A, é uma representação estatística de um ambiente típico de escritório (antena omnidirecional e com a AP sem linha de visada) cujo tempo de coerência é de 50ns. A Figura 4 apresenta a taxa de erro de pacotes (PER) em relação à SNR para a transmissão de PSDUs de 512 bytes em todos os 8 modos de operação do padrão IEEE 802.11a, como mostrado em [11].

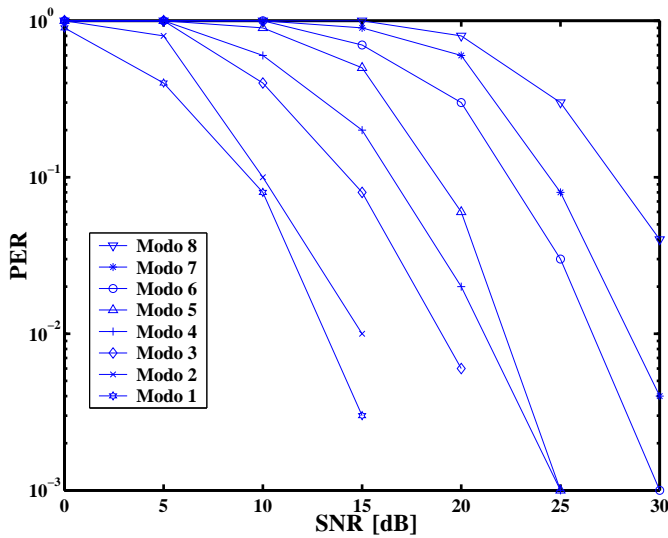


Fig. 4. Taxa de erro para pacotes de tamanho 512 bytes.

B. Simulador IEEE 802.11a MAC

Para efeito de validação da ferramenta de simulação, foi considerado o canal como sendo ideal, tráfego de saturação e todos os terminais operando no mesmo modo, ou seja, transmitindo à mesma taxa. Foi utilizado um pacote de tamanho $E=1024$ bytes.

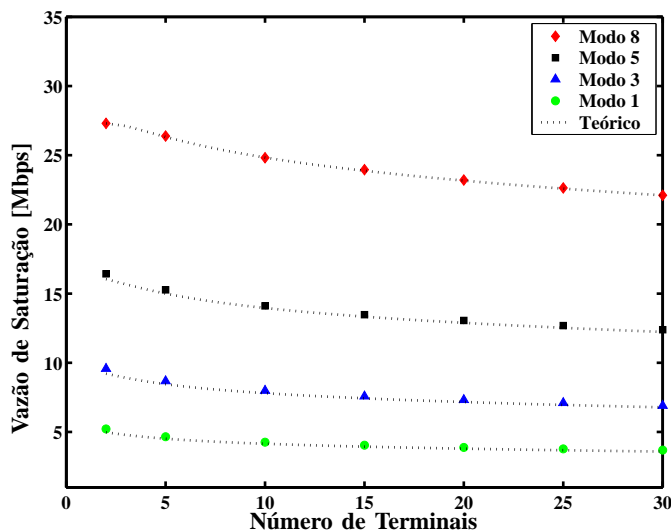


Fig. 5. Curvas de Validação: Teórico (pontilhado) versus Simulado (símbolos).

A Figura 5 demonstra a precisão do simulador implementado. Para os quatro modos de operação verificados, os resultados de simulação (símbolos) praticamente coincidem com os valores teóricos (linhas pontilhadas) de [6].

V. CENÁRIO Outdoor

Após a análise e validação das ferramentas de simulação do padrão IEEE 802.11a, iremos discutir nesta seção um pouco sobre as características dos canais *outdoor*.

Para representar o cenário *Outdoor* na banda de 5GHz estão sendo utilizadas as medições de propagação descritas em [9]. Neste cenário, no qual o padrão IEEE 802.11a não foi projetado para operar, é necessário analisar de forma bastante

cuidadosa o canal para que possa satisfazer os requerimentos do padrão, i.e., espalhamento de atrasos menores ou iguais a $1\mu s$. De acordo com [10] e levando em conta parâmetros de sensibilidade, distância entre obstáculos e a taxa de amostragem do sistema, pode-se observar que os canais *outdoor* que satisfazem todas as características de operação do padrão são planos em frequência.

Na figura 6 é apresentada a vazão de dados dos diferentes modos do IEEE 802.11a versus a SNR média no canal *outdoor*. Pode-se perceber que o modo 3 não oferece uma opção eficiente de vazão, tornando-se nesse cenário um modo não escolhido pela adaptação de enlace. A partir de 30dB, a vazão do sistema é máxima, como era de se esperar.

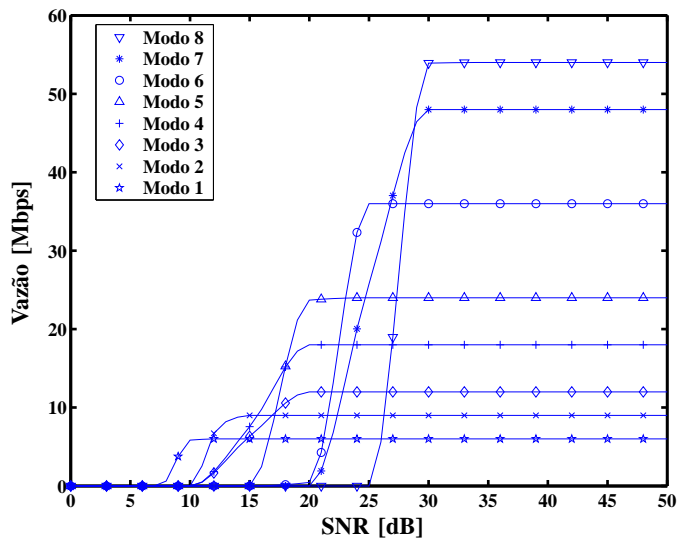


Fig. 6. Resultado de vazão do simulador IEEE 802.11a PHY.

Para a ferramenta de simulação IEEE 802.11a MAC, no ambiente *outdoor* a perda de percurso do sinal transmitido é estimada segundo um modelo clássico de propagação proposto em [4]. O modelo leva em conta a perda de percurso que aumenta exponencialmente com a distância e o sombreamento que segue uma distribuição log-normal. O desvanecimento rápido não foi implementado visando reduzir o esforço computacional da simulação sistêmica mas foi levado em conta na simulação da PHY.

20 terminais são distribuídos uniformemente sobre uma região circular de raio igual a 100m em torno do ponto de acesso e passam a disputar o meio de transmissão comum. A adaptação de enlace, i.e., a determinação da taxa com a qual cada terminal vai transmitir, é feita a partir da razão sinal ruído observada pelo ponto de acesso para cada um dos terminais. A partir da SNR, é selecionado o modo que oferece a melhor vazão de dados para o terminal, de acordo com a Figura 6.

Os parâmetros utilizados no cálculo da SNR foram extraídos de [4] e [5] e estão listados na Tabela III.

VI. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema neste ambiente (cenário descrito na seção anterior) verificou-se a vazão em função da carga oferecida comparando o canal *outdoor* proposto, limitado por ruído, com um canal ideal

TABELA III
PARÂMETROS DE PROPAGAÇÃO.

Frequência de Operação	5GHz
Potência de Transmissão (EIRP)	20dBm
Piso de Ruído	-110dBm
Expoente de Perda de Percurso (n)	3
Desvio Padrão do Sombreamento (σ)	6dB

livre de erros. A taxa de transmissão é determinada a partir da relação sinal ruído medida no ponto de acesso para cada terminal. Cada pacote tem o tamanho fixo de 1024 bytes com tempo de chegada seguindo um modelo de tráfego de Poisson. A carga oferecida ao sistema é medida em bits por segundo.

Como esperado, a Figura 7 mostra que a vazão cresce linearmente com a variação da carga oferecida até que o sistema atinja o regime de saturação descrito em [6].

No caso do canal limitado por ruído, a vazão máxima alcançada se mostrou um pouco inferior (menos de 1Mbps) àquela de um canal ideal livre erros, para o mesmo cenário.

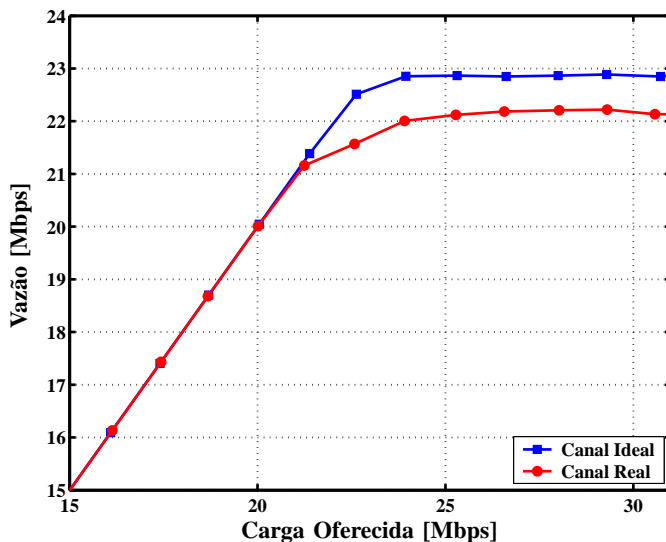


Fig. 7. Comparação de vazão entre o canal proposto e um canal ideal.

VII. AVALIAÇÃO DO EFEITO CAPTURA

O efeito captura ocorre quando um dos pacotes consegue “sobreviver” à colisão durante transmissões simultâneas entre múltiplos terminais. O receptor captura um pacote se a potência recebida for suficientemente elevada para exceder a potência dos demais pacotes interferentes por um certo limiar chamado de razão de captura (z_0).

No que diz respeito à vazão do sistema, a influência do efeito captura é insignificante sob condições de baixas ou mesmo moderadas cargas de tráfego [12]. Já no caso de tráfego de saturação sua influência é bastante significativa.

Nesta seção o efeito captura é avaliado para o esquema de acesso básico do DCF IEEE 802.11a em um cenário limitado por ruído. O meio é disputado por 20 terminais sujeitos a um tráfego de saturação. A Figura 8 mostra que para uma razão de captura $z_0 = 1$, a vazão máxima é estimada em pouco mais de 26 Mbps. Este valor é reduzido a aproximadamente 22 Mbps

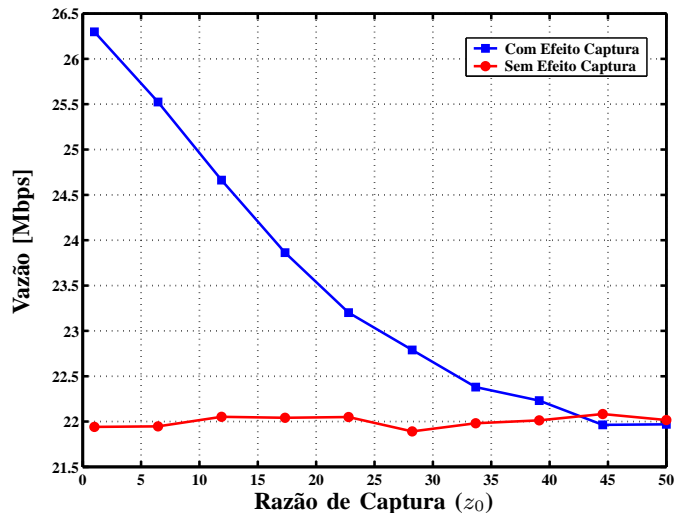


Fig. 8. Avaliação do efeito captura.

quando o efeito captura é desconsiderado ($z_0 \rightarrow \infty$) para o mesmo cenário.

Observa-se que com o efeito captura, para altas cargas oferecidas ao sistema, implica em ganhos de vazão.

VIII. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Este trabalho apresentou a modelagem da ferramenta de simulação utilizada para avaliar o desempenho de redes WLAN IEEE 802.11a. Após a validação da ferramenta de simulação, como caso particular de estudos, avaliou-se o desempenho da rede em um cenário *outdoor* e com o chamado efeito captura.

Com os resultados obtidos nas simulações, torna-se evidente a eficiência do padrão IEEE 802.11a para suprir as necessidades de altas taxas para cenários *outdoors*. Certamente, o IEEE 802.11a é uma solução a curto prazo para prover taxas bastante superiores às das redes 3G.

Como perspectiva de trabalhos futuros, é previsto o estudo do impacto do uso de antenas inteligentes e sistemas MIMO na vazão da rede WLAN.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da cooperação técnico-científica entre Ericsson e UFC por meio do grupo de pesquisa em telecomunicações sem-fio, GTEL (ERBB/UFC.08 - URL:<http://www.ericsson.ufc.br>). W. C. Freitas Jr. teve suporte financeiro da FUNCAP - Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE 802.11, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, Standard, IEEE, Aug. 1999.
- [2] IEEE 802.11a, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer Extension in the 5GHz Band*, supplement to IEEE 802.11 Standard, Sept. 1999.
- [3] Doufexi, A.; Tameh, E.; Nix, A.; Armour, S.; Molina, A.; *Hotspot wireless LANs to enhance the performance of 3G and beyond cellular networks* Communications Magazine, IEEE, Volume: 41, Issue: 7, July 2003 Pages:58 - 65

- [4] Durgin, G.; Rappaport, T.S.; Xu, H; *5.85-GHz Radio Path Loss and Penetration Loss Measurements in and Around Homes and Trees*; Communications Letters, IEEE , Volume: 2 , Issue: 3 , March 1998 Pages:70 - 72.
- [5] Kamenetsky, M.; Unbehaun, M.; *"Coverage Planning for Outdoor Wireless LAN Systems"*, 2002 International Zurich Seminar on Broadband Communications Access Transmission Networking, 49-1, Feb. 2002.
- [6] G. Bianchi, *Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function* IEEE Std 802.16-2001, Vol., 2002 Pages: 0 1-322 URL: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 18, No. 3, March 2000.
- [7] J. Medbo, P. Schramm, *"Channel Models for HIPERLAN/2"*, ETSI/BRAN document no. 3ERI085B, Mar. 1998.
- [8] M. Ergen, P. Varaiya, *"Throughput Analysis and Admission Control in IEEE 802.11a"*, ACM-Kluwer MONET Special Issue on WLAN Optimization at the MAC and Network Levels.
- [9] P. Karlsson et al, *"Wideband Spatial Propagation in the 3 GHz and 5GHz Bands for Evaluation of WLL and RLAN Systems"*, in Proceedings of WPMC'00, Bangkok, Thailand, 12-15 Nov. 2000.
- [10] ADAMAS consortium, *"Radio Channel and RF Devices Models for Outdoor Fixed Broadband Wireless transmission"*, 3D1 Deliverable, ADAMAS Project, Mar. 2001.
- [11] A. Doufexi, S. Armour, M. Butler, A. Nix, D. Bull, *"A study of the performance of HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a physical layers "*, Vehicular Technology Conference (VTC 2001 Spring), May 2001.
- [12] Hadzi-Velkov, Z.; Spasenovski, B.; *The influence of flat Rayleigh fading channel with hidden terminals and capture over the IEEE 802.11 WLANs* Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th , Volume: 2 , 7-11 Oct. 2001 Pages:972 - 976 vol.2