

Análise de Medidas Experimentais de um Sistema MBS

Adão Silva, Susana Mota e José Fernandes

Resumo – Neste artigo apresenta-se a análise de um conjunto de medidas experimentais adquiridas com um protótipo de um sistema de comunicação rádio móvel de banda larga desenvolvido no âmbito do projecto SAMBA (System for Advanced Mobile Broadband Applications), de forma a avaliar o seu desempenho. Começa-se por apresentar uma descrição resumida da plataforma de testes construída. Seguidamente, com base em medidas de campo num ambiente urbano é feita uma análise do comportamento do sistema ao nível da cobertura e efeito de inclinação das antenas (estação base, estação móvel). Este estudo é feito a a partir da análise de parâmetros tais como: nível de potência, taxa de erro, parâmetros ajustados à distribuição de Rice para modelar o desvanecimento rápido, taxa de cruzamento de nível, duração média dos desvanecimentos e coeficiente de correlação dos sinais recebidos nas duas antenas utilizadas para diversidade.

Abstract – This article presents an analysis of a set of experimental measurements acquired with a mobile broadband radio system prototype developed in the SAMBA (System for Advanced Mobile Broadband Applications) project framework. First, a brief description of the SAMBA trial platform used in the measurement campaign is presented. Then, measurements collected in an urban environment are analysed so as to evaluate the system performance, focusing on the cell coverage and bit error rate. This study is made analysing parameters such as: power level, bit error rate, fitted parameters to the Rice distribution to model the fast fading, level crossing rate, average fade duration and correlation coefficient of the signals received in the two diversity antennas.

I. INTRODUÇÃO

Assiste-se actualmente a um rápido crescimento das comunicações móveis a nível mundial. A evolução tecnológica, a existência de regulamentação internacional e a forte competição neste sector são as razões do seu grande sucesso. As comunicações sem fios são o primeiro e importante passo no desenvolvimento das comunicações pessoais em vez do mero transporte de sinais entre terminais. A liberdade de comunicação requer também mobilidade nas redes fixas bem como personalização de serviços. Isto significa que o caminho a seguir é não só proporcionar capacidade de comunicação e transferência de informação entre pessoas, independentemente da sua localização física e do tempo, mas também acesso

imediatamente a bancos de informação distribuídos e centros de informação.

Neste contexto vários projectos e programas têm surgido e de entre os mais importantes podem-se salientar os programas RACE (*Research into Advanced Engineering*) e ACTS (*Advanced Communications Technologies and Services*) e mais recentemente o IST (*Information Societies Technology*), financiados pela UE. O projecto SAMBA, actualmente em fase de testes, integra-se no programa ACTS e tem como principal objectivo desenvolver um protótipo de um sistema rádio móvel de banda larga, permitindo assim o uso de serviços multimédia pelos utilizadores em movimento. A análise dos resultados de forma a avaliar o desempenho do sistema (comparando com o previsto teoricamente), constitui o objectivo do presente trabalho.

II. PLATAFORMA DE TESTE

Genericamente a plataforma desenvolvida no âmbito do projecto SAMBA, consiste numa rede digital celular constituída por duas estações base (EB), duas estações móveis (EM), uma unidade de controlo das EBs (BSC), um comutador ATM para a ligação com a rede ATM fixa e um servidor ATM móvel para gerir a mobilidade. Esta configuração, apesar de simples, permite estudar os aspectos básicos de um sistema de comunicações móveis, nomeadamente [1]:

- Interligação com a rede fixa de banda larga.
- Ligação entre dois terminais móveis em diferentes células.
- Testar o *handover*, quando a EM passa de uma célula para a outra.
- Partilha do canal de acesso quando dois móveis estão na mesma célula.
- Localização de cada móvel quando a chamada é originada na rede fixa.

Num ambiente típico, em que o ruído e a interferência multipercursos são uma realidade, estes objectivos são um desafio, dada a qualidade de serviço exigida e algumas limitações tecnológicas existentes. A plataforma de teste é ligada à rede fixa ATM de banda larga de 155Mbps, como se pode ver pela Fig. 1 [1].

III. MONITORIZAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Os testes efectuados com a plataforma de testes oferecem uma boa oportunidade para investigar o comportamento

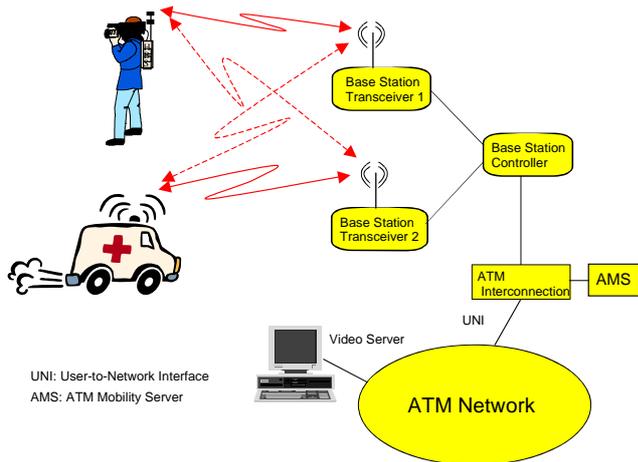


Fig. 1 – Arquitectura da plataforma de teste.

de um sistema de banda larga (MBS – *Mobile Broadband System*) num ambiente real. Para utilizar a plataforma, não só para verificar mas também para registar e validar o desempenho global, foi desenvolvido um módulo de controlo e monitorização baseado num PC (C&M-PC) – Fig. 2. Este PC serve não apenas como centro de controlo para os testes do sistema, ensaios e demonstrações mas também para monitorizar em tempo real e armazenar os diversos sinais de interesse.

Os sinais a armazenar são adquiridos pela unidade de controlo (CU) da BSC. Estes sinais são obtidos em cada *frame*, nomeadamente de um *slot* preenchido, formando assim uma amostra por *frame* – Fig. 3.

Para além dos sinais internos do sistema (RSSI, BitErrors, ByteErrors, TransmitActivity, etc.), é criado, no móvel, um sinal de informação de distância com a ajuda de uma roda de Peiseler. Este sinal é transferido para o C&M-PC usando uma portadora de 170 MHz. A resolução deste sinal pode ser escolhido entre os seguintes: 0.1 m, 1 m e 10 m.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados que se apresentam foram obtidos na Rua Nova: é uma rua urbana típica numa área residencial. O pavimento é de asfalto, com passeios, áreas de relva e algumas árvores nas bermas. Os edifícios num dos lados têm 4 pisos e no outro variam entre 4 a 8 pisos. Neste cenário a EM foi usada numa carrinha sendo portanto, a altura do móvel constante e igual a 2.5 m.

Os resultados obtidos foram processados com uma ferramenta de *software* construída para o efeito, de forma a automatizar o referido processamento. Em [2] é explicado o desenvolvimento desse software, bem como a sua utilização e os seus resultados.

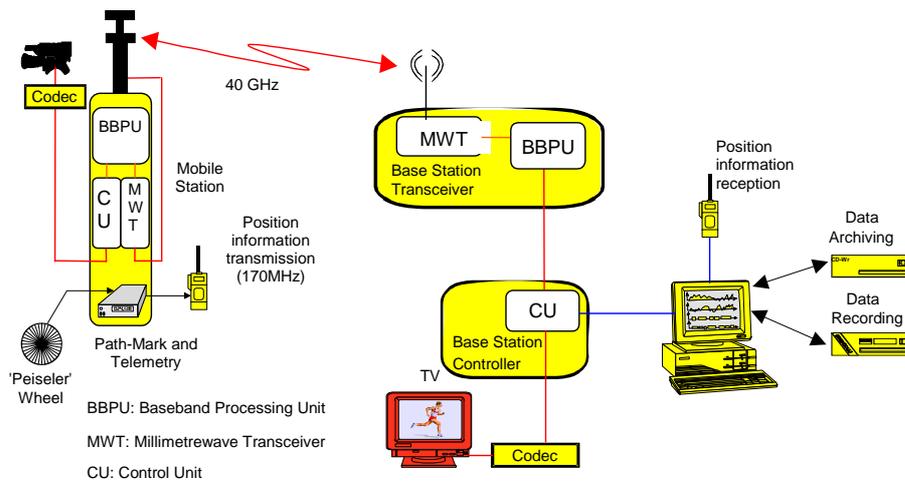


Fig. 2 – Plataforma de teste [1].

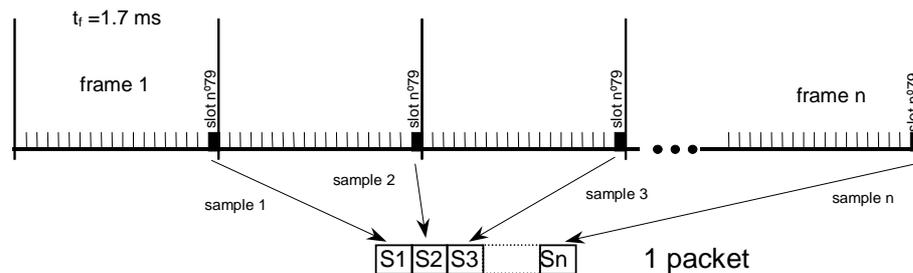


Fig. 3 – Amostragem.

Estudo Completo dos resultados de um percurso

As medidas deste percurso foram adquiridas sem inclinação, quer na EB quer na EM, com a EB a 11.2 m de altura e velocidade da EM de aproximadamente 10 Km/h. Os parâmetros usados no processamento destes dados foram: $n_f=[1 \ 100]$, $d_l=0.8$ m, $blkmin=1000$ e $gd=1$ dB [2].

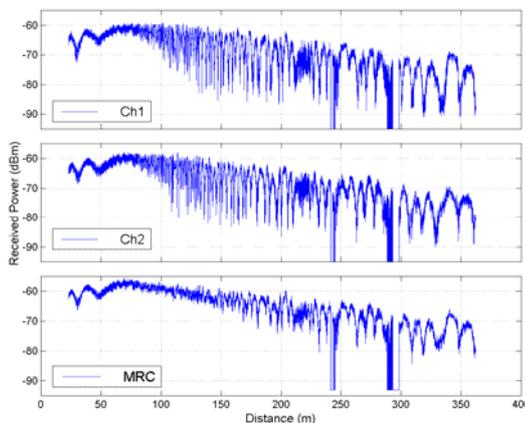
Na Fig. 4 apresenta-se a potência recebida em função da distância (à esquerda) e respectiva média por 100 frames (à direita). Observando a Fig. 4, verifica-se que o sinal MRC mantém-se acima dos -80 dBm. O nível de potência à entrada do receptor, em função dos parâmetros do sistema, pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$P_r = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log R_b + KT + F \quad (\text{dBW})$$

em que E_b/N_0 é o quociente entre a energia de bit e a densidade espectral de potência, R_b o ritmo de transmissão (64 Mbps), K a constante de Boltzman (-228.6 dB), T a temperatura (293 K) e F a figura de ruído do receptor (6 dB), donde:

$$P_r = \frac{E_b}{N_0} - 90 \quad (\text{dBm})$$

O nível do ruído é obtido para $E_b/N_0 = 0$ dB, ou seja P_r ,



igual a -90 dBm. Na prática verifica-se que este nível é cerca de -92 dBm (ver sinal MRC na Fig. 4), isto significa que no pior caso temos uma E_b/N_0 de 12 dB ao longo de todo o percurso. No entanto, existem dois casos em que se registaram níveis de potência claramente abaixo dos -80 dBm, devido à obstrução temporária do feixe por obstáculos. Analisando o comportamento dos sinais ao longo do percurso, verifica-se que estes apresentam variações muito rápidas e de pequena amplitude aproximadamente até aos 100 m e variações mais lentas e de maior amplitude daí para a frente. Este comportamento pode ser explicado tendo em conta que na primeira parte do percurso a componente de LOS (*Line of Sight*) domina o nível médio da potência e as restantes componentes multipercurso impõem no sinal as variações de pequena amplitude observadas. Na segunda parte do percurso o comportamento do sinal pode ser razoavelmente aproximado pelo modelo de dois raios, i. e., dominam a componentes LOS e a reflexão de primeira ordem no chão.

Da Fig. 5 (esquerda), verifica-se que a taxa de erro (BER) aumenta com a profundidade de desvanecimento e também com a diminuição do valor médio da potência – Fig. 7. No entanto, mesmo nas zonas onde o nível de potência é elevado e a profundidade de desvanecimento é pequena (troço inicial até aos 100 m), a taxa de erro é

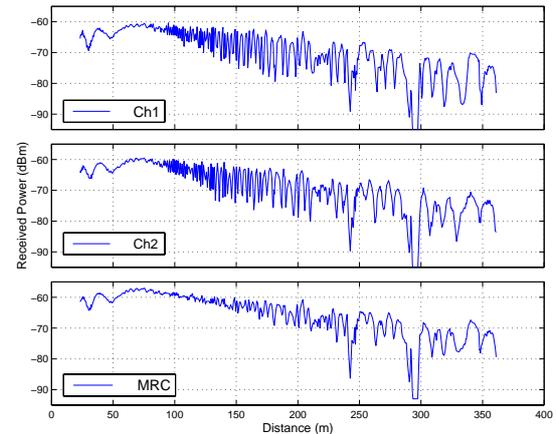


Fig. 4 - Potência recebida em função da distância (à esquerda) e respectiva média por 100 frames (à direita).

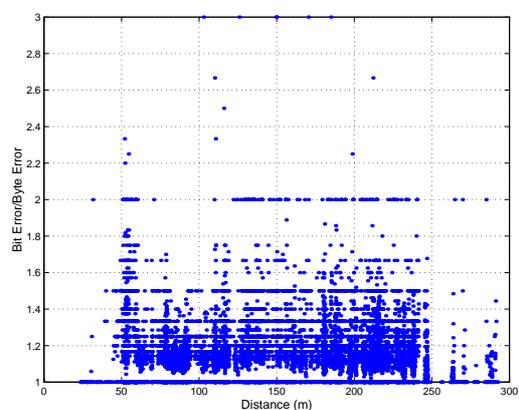
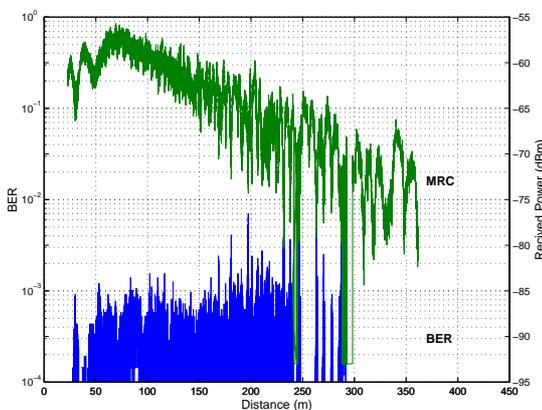


Fig. 5 - Potência MRC recebida e BER em função da distância (à esquerda) e Bit Error dividido pelo Byte Error (à direita).

pouco inferior 10^{-3} , porque nesta zona o canal é mais dispersivo. A BER apresenta-se abaixo de 4×10^{-4} para cerca de 90% dos casos – Fig. 6 (direita). É possível verificar na Fig. 5 (direita) que, em geral, ao nível da *frame* temos, em média, no máximo 3 bits errados por byte, mas na maior parte dos casos temos apenas 1, o que resulta num BitErr/ByteErr médio de 1.054. Isto permite-nos concluir que ao nível da *frame* não temos ocorrência de erros em rajadas.

De entre os nove troços seleccionados para fazer ajuste à distribuição de Rice teórica, apresentam-se apenas dois. Estes troços apresentados foram escolhidos de forma a ilustrar o desempenho da diversidade em duas situações distintas: profundidade de desvanecimento moderada (44.6 – 55.4m) e elevada profundidade de desvanecimento (117.4 – 124.6m). Da Fig. 8 e também da Fig. 11 (esquerda), verifica-se que o ganho de diversidade é muito maior no segundo caso do que no primeiro. De referir que os coeficientes de correlação dos troços seleccionados são 0.50 e -0.68 respectivamente. Admitindo o nível de potência para o qual o sinal se encontra em 90% dos casos acima deste temos no primeiro caso um ganho de diversidade de cerca de 3.5 dB e no segundo caso de cerca de 9 dB. Relativamente ao primeiro caso, o ganho de diversidade é muito modesto pelo facto da flutuação da envolvente do sinal também o ser.

Analisando os gráficos da Fig. 9, podemos concluir que para um dado nível de potência a duração média dos desvanecimentos é maior no segundo troço do que no primeiro. Pelos gráficos da Fig. 10 verifica-se que a taxa de cruzamentos de nível é aproximadamente igual para o MRC em ambos os troços e maior no primeiro troço do que no segundo para os sinais Ch1 e Ch2.

A Fig. 11 (esquerda) sumaria os resultados dos nove troços seleccionados neste percurso. Em todos os troços seleccionados o valor absoluto do coeficiente de correlação está abaixo de 0.7, donde podemos concluir que o sinais estão suficientemente descorrelacionados. No entanto, a diversidade tem um maior impacto nos troços onde a profundidade de desvanecimento é mais elevada. Estas afirmações podem ser confirmadas pela Fig. 11, onde se podem observar pontos em que, apesar do coeficiente de correlação ser próximo de zero, a diversidade tem um efeito pouco significativo porque a profundidade de desvanecimento também não é significativa. No entanto existem pontos em que, apesar do coeficiente de correlação ser mais elevado (mas inferior a 0.7) o efeito da diversidade é notório porque a profundidade de desvanecimento é elevada. Na Fig. 11 (direita) apresenta-se o coeficiente de correlação entre o canal 1 e o canal 2 ao longo de todo o percurso.

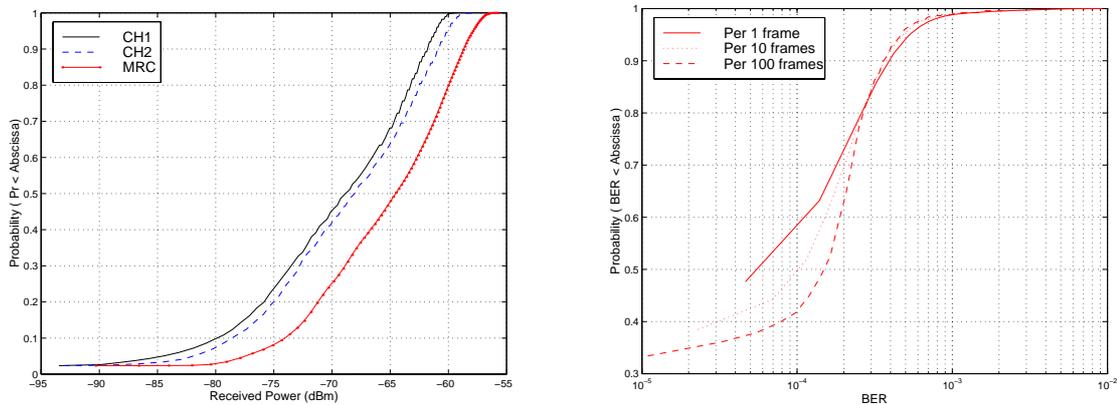


Fig. 6 - Curvas cumulativas da potência (à esquerda) e da BER (à direita).

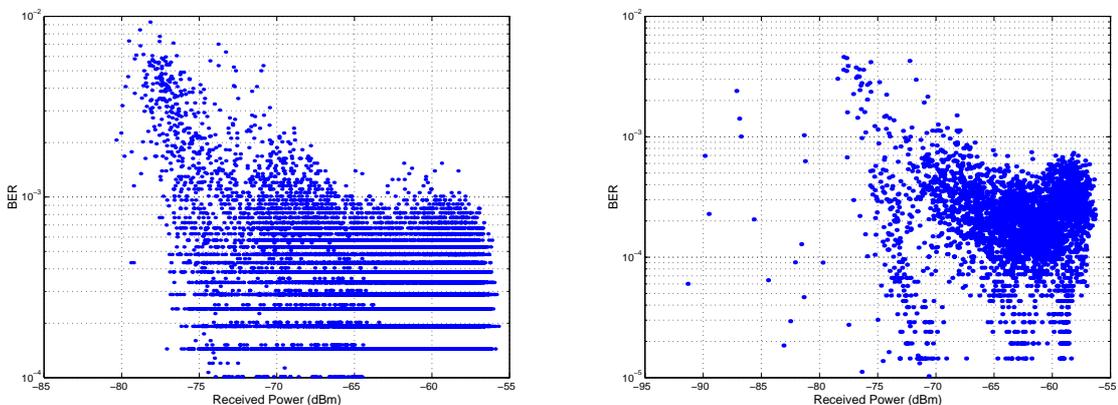


Fig. 7 - BER em função da potência MRC recebida (à esquerda) e respectiva média por 10 *frames* (à direita).

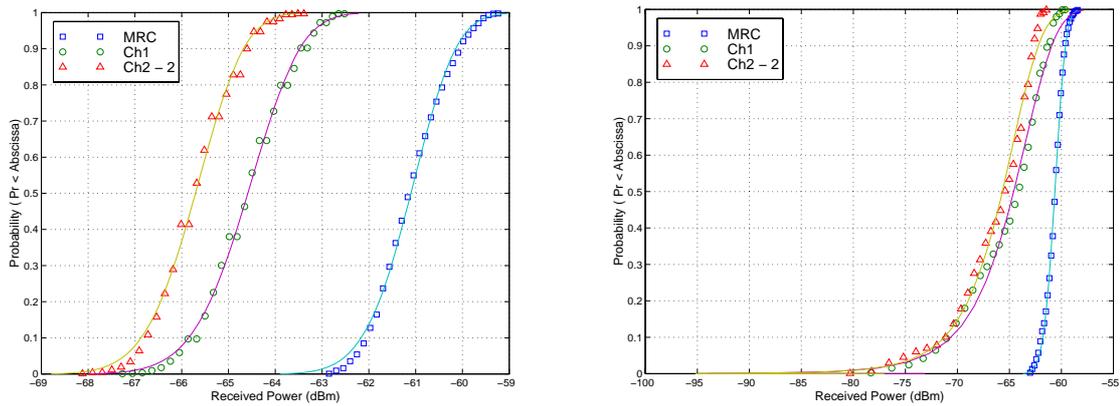


Fig. 8 - Curvas cumulativas da potência recebida (experimentais e teóricas) para os percursos: 44.6 – 53.4 m (à esquerda) e 117.4 – 124.6 m (à direita).

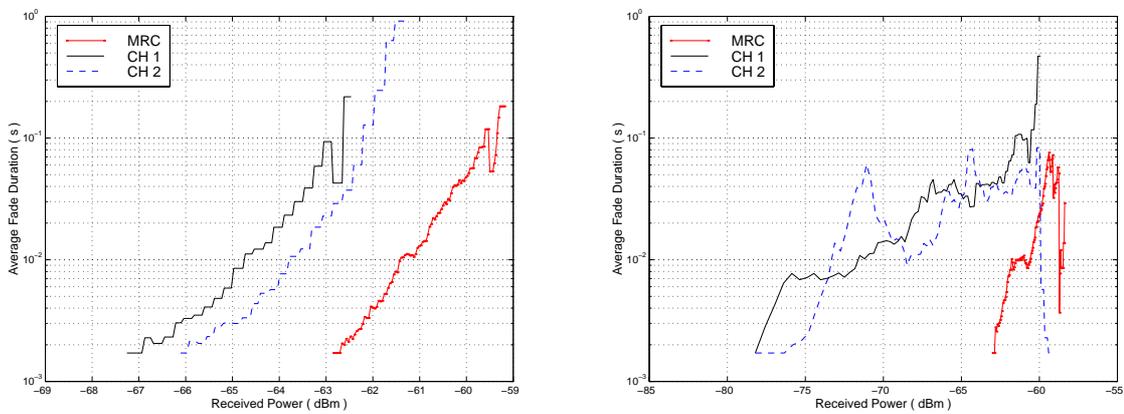


Fig. 9 - AFD em função da potência recebida (*threshold*) para os percursos: 44.6 – 53.4 m (à esquerda) e 117.4 – 124.6 m (à direita).

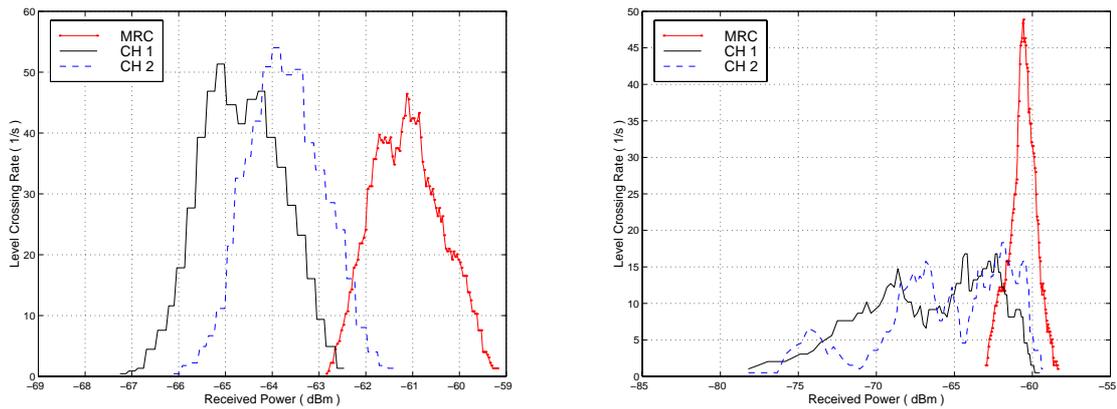


Fig. 10 - LCR em função da potência recebida para os percursos: 44.6 – 53.4 m (à esquerda) e 117.4 – 124.6 m (à direita).

Tabela 1 - Resultados dos ajustes à distribuição teórica (Rice) para os percursos: 44.6 – 55.4 m e 117.4 – 124.6 m.

Percurso (m)	Ch 1			Ch 2			MRC		
	Média	K (dB)	σ	Média	K (dB)	σ	Média	K (dB)	σ
44.6 – 55.4	-64.54	16.4	2.0E-6	-63.53	17.1	2.0E-6	-61.04	17.8	2.5E-6
117.4 – 124.6	-64.56	3.5	7.9E-6	-63.65	4.3	8.2E-6	-60.60	17.2	2.9E-6

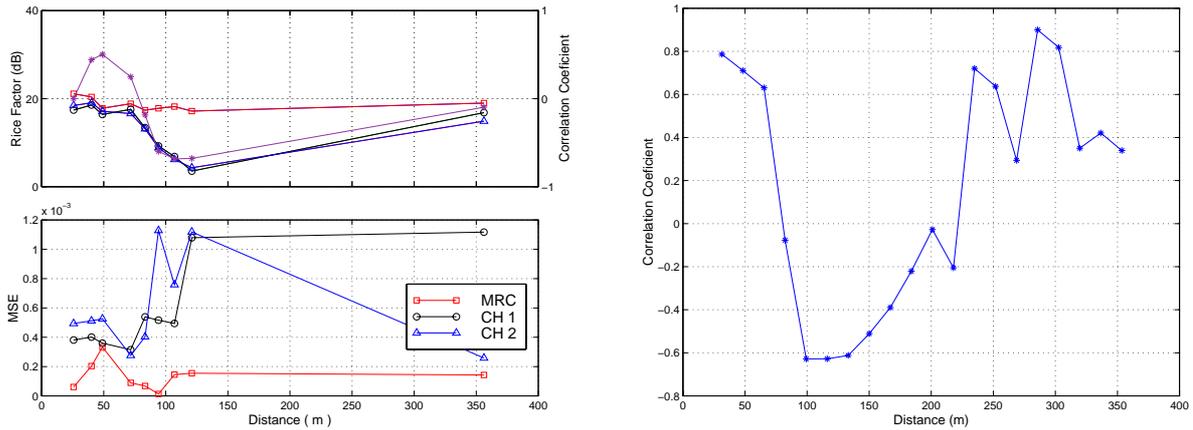


Fig. 11 - K, MSE e coeficiente de correlação em função da distância (à esquerda) e coeficiente de correlação em função da distância (à direita).

Efeito da Inclinação na EB

As medidas destes percursos foram adquiridas com altura da EB a 7 m e velocidade do móvel de aproximadamente 10 Km/h. Os parâmetros usados no processamento destes dados foram: $nf=[1 \ 100]$, $d1=0.8 \text{ m}$, $blkmin=800$ e $gd=1.2 \text{ dB}$.

Comparando, na Fig. 12 (esquerda), as curvas de 0°, 2° e 6°, verifica-se que o nível médio da potência, para distâncias superiores a 50 m, decresce com o aumento da inclinação na EB.

Sabendo que o móvel parte de 32 m, o que corresponde a um ângulo do raio directo com a vertical de aproximadamente 82° e analisando, mais em pormenor, a curva do diagrama de radiação da EB – Fig. 13 (direita) verifica-se que esta apresenta, dos 82° aos 86.5°, um aumento gradual do ganho. Para 0° de inclinação este último ângulo corresponde a uma distância de 74 m. De facto, para 0°, o nível médio da potência recebida aumenta até este ponto. A partir daí (até aos 300 m, o que corresponde a um ângulo de 89°) a potência recebida desce com um declive moderado. Do diagrama de radiação, conclui-se que neste ponto (300 m) a atenuação devida à formatação do feixe é de apenas 3 dB em relação ao ponto de máximo ($\cong 86.5^\circ$).

Nas medidas relativas à inclinação de 6° o ponto de partida foi de 23 m, o que corresponde a um ângulo com a vertical de 79°. Uma vez que a antena da EB apresenta uma rotação de 6°, no ponto de partida o ganho fornecido pela antena deve ser lido na abcissa 85°. O ponto de máximo (86.5°) corresponde, neste caso, a 27 m, o que coincide aproximadamente com o ponto de máximo de potência na curva de 6°. O diagrama de radiação apresenta dos 88° aos 93° uma descida abrupta do ganho (aproximadamente 18 dB), mais uma vez este facto pode ser confirmado na curva de potência que apresenta também uma descida abrupta do nível médio de potência entre os 32 m (88°) e os 86 m (93°). Daí até aos 300 m (95°) a curva de potência apresenta um declive menos abrupto.

Comparando os resultados experimentais com as simulações (Fig. 12), confirma-se o impacto da inclinação quando se muda a inclinação de 0° para 6°. No entanto, para as inclinações estudadas (principalmente para 0°), os sinais teórico e experimental, apresentam um comportamento ligeiramente diferente: o sinal experimental apresenta um decaimento mais abrupto e mais profundo. De notar que os resultados simulados para 2° não são confirmados na prática, i. e., teoricamente esta curva deveria ter um comportamento próximo da de 0°, no entanto, na prática o seu comportamento aproxima-se mais da curva de 6°, o que pode indiciar que a inclinação não foi de 2° mas sim superior. Tendo como referência o ponto de potência média máxima (aproximadamente 34 m) pode-se estimar facilmente que a inclinação da antena terá sido aproximadamente 4°.

Para a LCR e AFD foram comparados os valores registados para o nível médio de potência de alguns troços idênticos (mesma posição aproximada), assim como a gama de sinal (largura). Com base neste procedimento, não foram verificadas variações significativas destes parâmetros com a inclinação na EB.

Efeito da inclinação na EM

As medidas destes percursos foram adquiridas com altura da EB a 7 m e velocidade do móvel de aproximadamente 10 Km/h. Os parâmetros usados no processamento destes dados foram: $nf=[1 \ 100]$, $d1=0.8 \text{ m}$, $blkmin=1000$ e $gd=1.2 \text{ dB}$.

Comparando os resultados obtidos sem inclinação com os de -20° verifica-se que no último caso o nível médio de potência é ligeiramente superior (Fig. 14) e a taxa de erro é ligeiramente inferior, isto explica-se a partir das características do diagrama de radiação da EM, representado na Fig. 15. Comparando ambos resultados (-20° e 0°) com os de +20° verifica-se uma diminuição do nível de potência média ao longo de todo o percurso e, também, um aumento da taxa de erro (sobretudo para níveis de potência baixos).

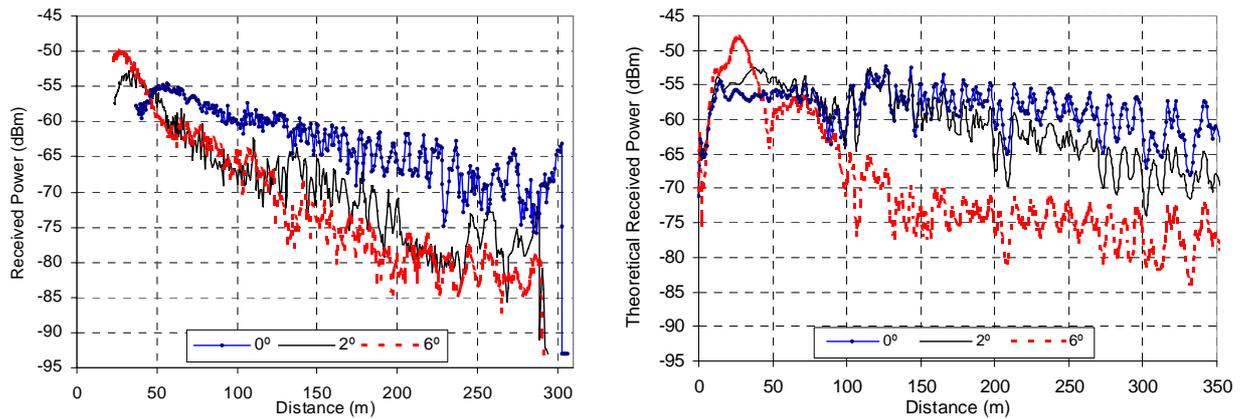


Fig. 12 - Comparação da potência recebida em função da distância com inclinações na EB de 0°, 2° e 6°: esquerda – curvas experimentais (média ao longo de 100 frames); direita – média deslizante de 5 pontos de simulações efectuadas com pontos distanciados de 1 m.

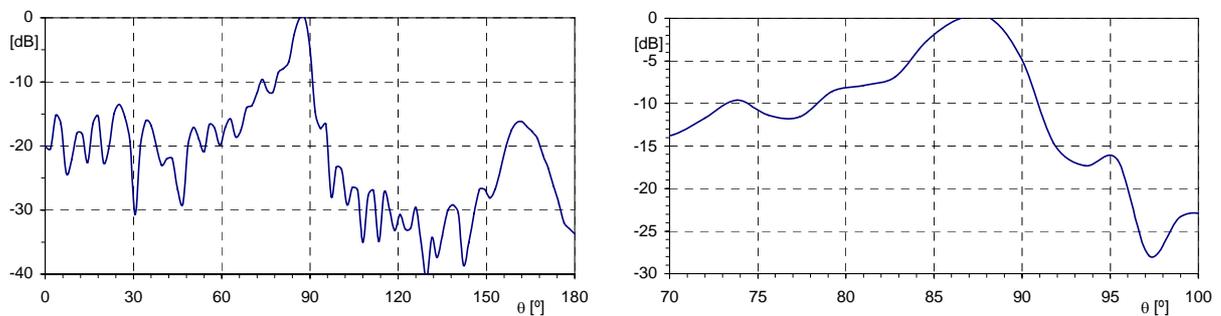


Fig. 13 - Diagrama de radiação das antenas da EB para a célula larga: esquerda – completo, direita – apenas para 70° - 100°.

Tendo em conta as posições de partida (32 m para 0° e 23 m para -20° e +20°) e finais (aproximadamente 300 m) a zona percorrida pelo raio directo no diagrama de radiação (Fig. 15) é: 82° - 89°; 59° - 69° e 89° - 109°, respectivamente para 0°, -20° e +20° de inclinação. Analisando estas zonas verifica-se a primeira (0°) e a segunda (-20°) são bastante idênticas (atenuação máxima aproximadamente 2dB), embora a primeira seja decrescente e a segunda crescente. A zona correspondente aos -20° é decrescente com uma inclinação mais abrupta (atenuação máxima aproximadamente 8dB no final do percurso). Estes factos, por si só, justificam o comportamento relativo das curvas experimentais. Comparando os resultados experimentais com as simulações (Fig. 14), confirma-se o impacto da inclinação quando se muda a inclinação de 0° para -20° ou +20°. No entanto, para as inclinações estudadas, o sinais teórico e experimental, apresentam um comportamento ligeiramente diferente: o sinal experimental apresenta um decaimento mais abrupto e mais profundo.

Verifica-se que a profundidade de desvanecimento é menor para a inclinação de +20°, isto porque inclinando a antena para a frente o raio reflectido no chão é mais atenuado: esta componente percorre neste caso uma zona mais próxima dos 180° (em relação aos outros dois casos), concretamente, toma ângulos que vão de

aproximadamente 132° na partida (23 m) a 112° na chegada (300 m).

Para a LCR e AFD foram comparados os valores registados para o nível médio de potência de alguns troços idênticos (mesma posição aproximada), assim como a gama de sinal (largura). Com base neste procedimento, não foram verificadas variações significativas destes parâmetros com a inclinação na EM.

Medidas noutra ambiente

De forma a estudar o desempenho do sistema em ambientes interiores, foram feitas medidas num pavilhão desportivo (Pavilhão Aristides Hall). Devido à limitação de espaço, esses resultados não são apresentados. Contudo, o leitor mais interessado pode consultar [3] e constatar que o sistema revela também um bom desempenho nesse tipo de ambientes.

V. CONCLUSÃO

De uma forma geral, os resultados experimentais são concordantes com os esperados teoricamente ou obtidos em simulações.

Dos resultados obtidos, verifica-se que a potência média é aproximadamente uniforme (desde que as antenas não

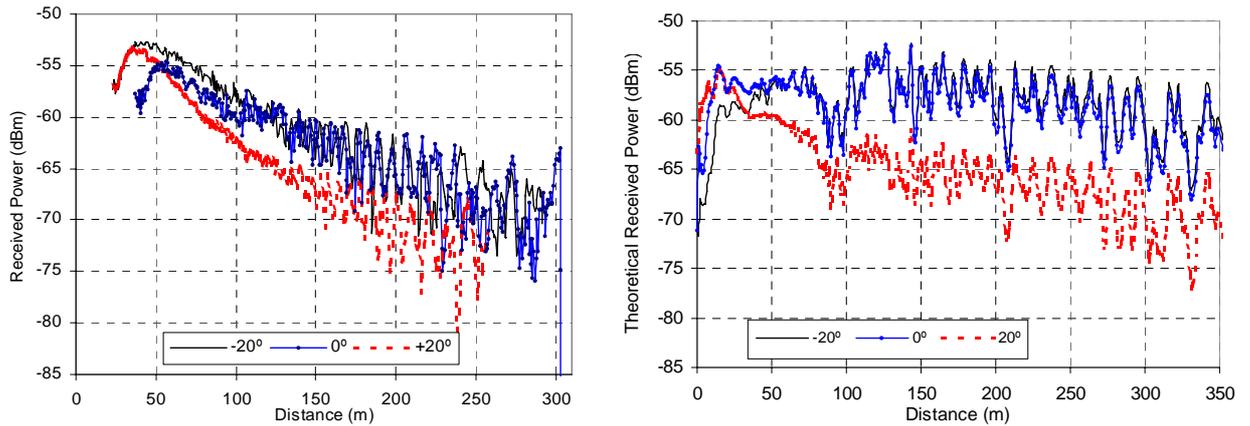


Fig. 14 - Comparação da potência recebida em função da distância com inclinações na EM de -20°, 0° e 20°: esquerda – curvas experimentais (média ao longo de 100 frames); esquerda – média deslizante de 5 pontos de simulações efectuadas com pontos distanciados de 1 m.

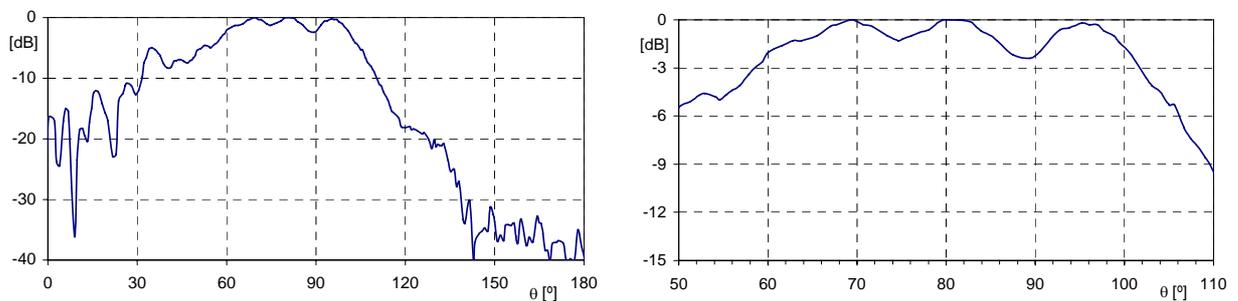


Fig. 15 - Diagrama de radiação das antenas da EM para a célula larga: esquerda – completo, direita – apenas para 50° - 110°.

estejam inclinadas, sobretudo a da EB), conforme previsto nas simulações [4], devido à formatação da antena da EB.

Da análise dos gráficos do factor de Rice em função da distância verifica-se que existe uma zona em que este se mantém mais ou menos constante, diminuindo depois à medida que a distância aumenta, uma vez que a componente dominante se torna menos significativa. O ajuste à distribuição teórica é, em geral, bom como se pode confirmar pelos gráficos do respectivo MSE (Mean Square Error). Os piores ajustes (maior MSE) verificam-se para os troços que apresentam média pouco constante. A diversidade tem um maior impacto (ganho) nos troços em que a profundidade de desvanecimento é mais elevada.

Em suma, os resultados revelam que o sistema apresentam um bom desempenho demonstrando assim que é possível implementar um sistema de rádio móvel de banda larga com taxas de transmissão de algumas dezenas de Mbps, mesmo com a tecnologia existente.

REFERÊNCIAS

[1] Dinis, M.; Fernandes, J.; Prögler, M. e Herzig, W. – “The SAMBA Trial Platform in the Field”, 4th ACTS Mobile Telecom Summit, Sorrento, Italy Junho de 1999.
 [2] Silva, Adão; Mota, Susana; Fernandes, José – “Processamento de Medidas Experimentais de um Sistema MBS”, neste número.

[3] Silva, Adão; Mota, Susana – “Análise de Medidas Experimentais de um Sistema de Comunicações Móveis de Banda Larga”, Relatório de Projecto de 5º Ano, Departamento de Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro, Setembro de 1999
 [4] Fernandes, J.; Marques, A. e Garcia, J. – “Cell Coverage using the antennas designed for the trial platform”, SAMBA Internal Report, IT211052, Março de 1998