

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS  
E DE TECNOLOGIAS

FRANCISCO JOSÉ LOPES RODOVALHO

**UM SITE DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS EM UMA WMAN EM 5,8 GHz  
COM DIFERENTES CENÁRIOS DE  
PROPAGAÇÃO**

PUC CAMPINAS  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**  
**GRÃO-CHANCELER**

Dom Bruno Gamberini

**MAGNÍFICO REITOR**

Prof. Pe. Wilson Denadai

**VICE-REITOR**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

**PRÓ-REITORA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DE REDES E SERVIÇOS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

*“Pro-Tempore”*

FRANCISCO JOSÉ LOPES RODOVALHO

**UM SITE DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS EM UMA WMAN EM 5,8 GHz  
COM DIFERENTES CENÁRIOS DE  
PROPAGAÇÃO**

Dissertação apresentada como exigência para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao programa de Pós-Graduação na área de concentração Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Orientador: Prof. Dr. David Bianchini

PUC-CAMPINAS  
2008



Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação - SBI - PUC-Campinas

**t621.3845 Rodvalho, Francisco José Lopes**

R695s

Um site de testes para avaliação de equipamentos em uma WMAN em 5,8 GHz com diferentes cenários de propagação / Francisco José Lopes Rodvalho. - Campinas: PUC-Campinas, 2008.

149p.

Orientador: David Bianchini.

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Inclui anexos e bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio. 2. Sistemas de telecomunicação. 3. Internet (Redes de computação). 4. Microondas. 5. Sites da Web - Desenvolvimento. 6. Sites da Web - Testes. I. Bianchini, David. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

20.ed.CDD - t621.3845

**FRANCISCO JOSÉ LOPES RODOVALHO**

**UM SITE DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS EM UMA WMAN EM 5,8 GHZ COM  
DIFERENTES CENÁRIOS DE PROPAGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviços .

Orientador: Prof. Dr. David Bianchini

Dissertação defendida e aprovada em 29 de maio de 2008 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Prof. Dr. David Bianchini  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Edson Luís Ursini  
Universidade Estadual de Campinas

Este trabalho é consagrado a Deus, que em todo o tempo esteve comigo, me ajudou e me guiou em cada passo dado, para que pudesse trilhar um caminho reto e sem muitas dificuldades.

É também dedicado aos meus queridos esposa e filhos, Adriene, Rafael e Artur, que com muito amor, paciência e compreensão, reconheceram e entenderam a necessidade de minha ausência nos compromissos sociais e familiares que deixei de participar junto a eles.

Ao meu pai (in memoriam) e a minha mãe e irmãs pelo amor, carinho e incentivo na elaboração deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus Pai,  
Pela oportunidade e força necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

A minha esposa Isabel Adriene,  
Pelas incontáveis horas de consolo em momentos de aflição e incertezas, e pelo incentivo e motivação para continuar, sem os quais eu não teria chegado ao fim deste trabalho.

Aos Profs. Dr. David Bianchini e Omar de Carvalho Branquinho,  
Respectivamente orientador e professor, incentivadores, motivadores e mestres, colaborando de forma ativa em todas as etapas de execução deste trabalho, a quem considero grandes amigos.

Ao Eng. Eduardo Pinto de Oliveira,  
Colega do mestrado e grande companheiro na solução dos problemas enfrentados, bem como nas horas de estudo e elaboração dos trabalhos.

Ao Sr. Eduardo Veiga de Araújo,  
Funcionário do Laboratório de Meios de Transmissão da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, grande colaborador com a sua experiência com circuitos eletrônicos.

À Profa. Norma Reggiani,  
Pela paciência e atenção na solução de infindáveis dúvidas.

Aos alunos de Graduação, Iniciação Científica e Estagiários,  
Pela colaboração na realização das medidas em campo.

Ao colega Alexandre Cardoso,  
Pelo auxílio no trato com as ferramentas de imagens.

À CELLPLAN  
Por ceder uma licença de uso do software CellPlanner aos alunos de graduação e pós-graduação da PUC-Campinas, o qual foi utilizado neste trabalho.

“Feliz do homem que encontrou a sabedoria,  
daquele que adquiriu a inteligência,”  
porque mais vale esse lucro que o da prata,  
e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro.”  
Provérbios de Salomão, Capítulo 3, versículos 13 e 14

## RESUMO

Este trabalho traz como hipótese a possibilidade do desenvolvimento de um método capaz de avaliar equipamentos de uma WMAN em termos de cobertura e desempenho, retratado através de sua eficiência, voltada para a tecnologia WiMAX, padrão IEEE 802.16-2004. O objetivo é apresentar os procedimentos que possibilitem utilizar um site de testes, para comparar o desempenho de equipamentos de diferentes fabricantes. Parte-se de um site, onde se obtenham os parâmetros físicos e de propagação do mesmo, sempre iguais para aqueles pontos determinados, comparar o desempenho de equipamentos diversos através de medidas de referência, em termos da eficiência da taxa de dados. O site fica caracterizado através de 51 pontos de medida. São também descritas as ferramentas utilizadas e desenvolvidas para a realização dos testes, tais como o software de predição de cobertura CellPlanner, uma ferramenta de software chamado de GetMIB desenvolvido para capturar, via SNMP, os dados armazenados nas MIBs, e um “*script*” através do software livre AutoIT para automatização das tarefas. Os resultados dos testes realizados apresentaram a Relação Sinal Ruído (SNR), os valores de BETA ( $\beta$ ), que representa o expoente de perda de percurso, as Eficiências Instantânea e Acumulada da rede de comunicação de dados, bem como a correlação entre estas variáveis obtidas, as quais foram apresentadas de forma gráfica e tabeladas. O método proposto se mostrou confiável uma vez que apresentou resultados condizentes com a expectativa de desempenho do equipamento e em conformidade com o ambiente utilizado nos testes. A partir dos resultados verificados para o equipamento testado, pode-se conceber a sua substituição por outros equipamentos de fabricantes diversos, obtendo-se resultados similares. Da confrontação destes resultados é possível obter-se informações sobre qual equipamento melhor se adapta àquelas condições de operação impostas pelo site.

Palavras chaves: WMAN, WiMAX, eficiência, área de cobertura.

## ABSTRACT

This work brings as hypothesis the possibility of the development of a method capable to evaluate WMAN's equipments in terms of coverage and performance, portrayed through its efficiency, focused on WiMAX technology, pattern IEEE 802.16-2004. The objective is to present the procedures to make possible to use a test site to compare the acting of different manufacturers' equipments. It begins with a site where its physical and propagation parameters are obtained, always the same for those certain points, to compare the performance of several equipments through reference measures in terms of the data rate efficiency. The site is characterized through 51 measure points. The tools used and developed for the test accomplishment are also described. Such tools are, for example, the coverage prediction software CellPlanner and a software tool, called GetMIB developed to capture, through the SNMP commands, the stored data in MIBs, and a script for tasks automation by the free software AutoIT. The test results presented the Signal-to-Noise-Relation (SNR), the values of BETA ( $\beta$ ), which represents the path loss exponent, the Instantaneous and Accumulated Efficiencies of data rate net communication, as well as the correlation between these obtained variables, which have been presented in graphs and tables. The proposed method has proved to be reliable once it has presented suitable results with the performance expectation of the equipment and is in accordance with the environment used in the tests. From the results verified for the tested equipment, its replacement by other equipments of several manufacturers can be conceived, with similar results. From the confrontation of these results it is possible to obtain information on which equipment better adapts to those operation conditions imposed by the site.

Key words: WMAN, WiMAX, efficiency, coverage area.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de sinal esperado (predição de RF) da área de cobertura no site de testes .....	32
Figura 2 - Morfologia da área de cobertura do site de testes .....	33
Figura 3 - Topografia do site de testes.....	33
Figura 4 Primeira Zona de Fresnel.....	36
Figura 5 - Subportadoras de um sinal OFDM.....	38
Figura 6 – Efeitos do fading seletivo em frequência com portadora simples e OFDM .....	39
Figura 7 - Sub canalização no UpLink .....	39
Figura 8 - Esquema de modulação adaptativa.....	41
Figura 9 – Utilização do espectro na Duplexação TDD.....	43
Figura 10 - Utilização do espectro na Duplexação FDD .....	44
Figura 11 - O Site de Testes Total .....	45
Figura 12 - O Site de Testes Utilizado com os pontos de testes.....	46
Figura 13 - Localização da BS na PUC Campinas.....	48
Figura 14 - Relacionamento entre Gerente, Agente e MIB .....	50
Figura 15 - Posição do ponto P09A_05A .....	52
Figura 16 - Antena e equipamentos montados no carro de testes.....	52
Figura 17 - Detalhe da estrutura de montagem da antena.....	52
Figura 18 - Detalhe dos equipamentos utilizados nos testes .....	53
Figura 19 - Detalhe da direção de propagação no ponto P09_06.....	53
Figura 20 - Detalhe das árvores ao redor do ponto P09_06 .....	54
Figura 21 - Perfil topográfico para o ponto P09_06 verificado a partir do software CellPlanner.....	54
Figura 22 - Áreas de mesmo BETA ( $\beta$ ) .....	57
Figura 23 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P08_02.....	59
Figura 24 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P08_02 .....	59
Figura 25 - Relação SNR medida para o ponto P08_02 .....	59
Figura 26 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P09_02.....	60
Figura 27 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P09_02 .....	60
Figura 28 - Relação SNR medida para o ponto P09_02 .....	60
Figura 29 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P10A_03A.....	61
Figura 30 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P10A_03A.....	61
Figura 31 - Relação SNR medida para o ponto P10A_03A .....	61
Figura 32 - Escala de valores de correlação .....	63
Figura 33 - Gráfico de Dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em LOS.....	64
Figura 34 - Gráfico de Dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em LOS.....	64
Figura 35 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em NLOS .....	66
Figura 36 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em NLOS .....	66
Figura 37 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em PLOS .....	67
Figura 38 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em PLOS .....	67



Figura 39 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em LOS.....	68
Figura 40 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em LOS.....	68
Figura 41 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em NLOS.....	69
Figura 42 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em NLOS.....	70
Figura 43 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em PLOS.....	70
Figura 44 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em PLOS.....	71
Figura 45 - Relação SNR para o ponto P08_01.....	83
Figura 46 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08_01.....	83
Figura 47 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08_01.....	83
Figura 48 - Relação SNR para o ponto P08_02.....	84
Figura 49 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08_02.....	84
Figura 50 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08_02.....	84
Figura 51 - Relação SNR para o ponto P08_03.....	85
Figura 52 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08_03.....	85
Figura 53 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08_03.....	85
Figura 54 - Relação SNR para o ponto P08_04.....	86
Figura 55 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08_04.....	86
Figura 56 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08_04.....	86
Figura 57 - Relação SNR para o ponto P08A_02A.....	87
Figura 58 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A_02A.....	87
Figura 59 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A_02A.....	87
Figura 60 - Relação SNR para o ponto P08A_03A.....	88
Figura 61 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A_03A.....	88
Figura 62 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A_03A.....	88
Figura 63 - Relação SNR para o ponto P08A_04A.....	89
Figura 64 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A_04A.....	89
Figura 65 - Gráfico para a Eficiência Acumulada para o ponto P08A_04A.....	89
Figura 66 - Relação SNR para o ponto P08A_05A.....	90
Figura 67 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A_05A.....	90
Figura 68 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A_05A.....	90
Figura 69 - Relação SNR para o ponto P09_02.....	91
Figura 70 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_02.....	91
Figura 71 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_02.....	91
Figura 72 - Relação SNR para o ponto P09_03.....	92
Figura 73 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_03.....	92
Figura 74 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_03.....	92
Figura 75 - Relação SNR para o ponto P09_04.....	93
Figura 76 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_04.....	93
Figura 77 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_04.....	93
Figura 78 - Relação SNR para o ponto P09_05.....	94
Figura 79 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_05.....	94
Figura 80 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_05.....	94
Figura 81 - Relação SNR para o ponto P09_06.....	95
Figura 82 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_06.....	95

Figura 83 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_06.....	95
Figura 84 - Relação SNR para o ponto P09_07.....	96
Figura 85 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_07.....	96
Figura 86 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_07.....	96
Figura 87 - Relação SNR para o ponto P09_08.....	97
Figura 88 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09_08.....	97
Figura 89 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09_08.....	97
Figura 90 - Relação SNR para o ponto P09A_02A.....	98
Figura 91 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09A_02A.....	98
Figura 92 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09A_02A.....	98
Figura 93 - Relação SNR para o ponto P09A_06A.....	99
Figura 94 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09A_06A.....	99
Figura 95 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09A_06A.....	99
Figura 96 - Relação SNR para o ponto P10_02.....	100
Figura 97 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10_02.....	100
Figura 98 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10_02.....	100
Figura 99 - Relação SNR para o ponto P10_03.....	101
Figura 100 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10_03.....	101
Figura 101 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10_03.....	101
Figura 102 - Relação SNR para o ponto P10_04.....	102
Figura 103 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10_04.....	102
Figura 104 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10_04.....	102
Figura 105 - Relação SNR para o ponto P10_05.....	103
Figura 106 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10_05.....	103
Figura 107 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10_05.....	103
Figura 108 - Relação SNR para o ponto P10_07.....	104
Figura 109 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10_07.....	104
Figura 110 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10_07.....	104
Figura 111 - Relação SNR para o ponto P10A_02A.....	105
Figura 112 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A_02A.....	105
Figura 113 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A_02A.....	105
Figura 114 - Relação SNR para o ponto P10A_03A.....	106
Figura 115 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A_03A.....	106
Figura 116 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A_03A.....	106
Figura 117 - Relação SNR para o ponto P10A_04A.....	107
Figura 118 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A_04A.....	107
Figura 119 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A_04A.....	107
Figura 120 - Relação SNR para o ponto P10A_06A.....	108
Figura 121 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A_06A.....	108
Figura 122 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A_06A.....	108
Figura 123 - Relação SNR para o ponto P11_03.....	109
Figura 124 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11_03.....	109
Figura 125 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11_03.....	109
Figura 126 - Relação SNR para o ponto P11A_02A.....	110
Figura 127 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A_02A.....	110
Figura 128 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A_02A.....	110
Figura 129 - Relação SNR para o ponto P11A_03A.....	111
Figura 130 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A_03A.....	111
Figura 131 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A_03A.....	111
Figura 132 - Relação SNR para o ponto P11A_04A.....	112

Figura 133 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A_04A.....	112
Figura 134 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A_04A.....	112
Figura 135 - Relação SNR para o ponto P12_01.....	113
Figura 136 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P12_01.....	113
Figura 137 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P12_01.....	113
Figura 138 - Relação SNR para o ponto P12_04.....	114
Figura 139 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P12_04.....	114
Figura 140 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P12_04.....	114
Figura 141 - Relação SNR para o ponto Pref.....	115
Figura 142 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto Pref.....	115
Figura 143 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto Pref.....	115
Figura 144 - Perfil topográfico do ponto P08_01.....	116
Figura 145 - Perfil Topográfico do ponto P08_02.....	116
Figura 146 - Perfil topográfico do ponto P08_03.....	117
Figura 147 - Perfil topográfico do ponto P08_04.....	117
Figura 148 - Perfil topográfico do ponto P09_01.....	118
Figura 149 - Perfil topográfico do ponto P09_02.....	118
Figura 150 - Perfil topográfico do ponto P09_03.....	119
Figura 151 - Perfil topográfico do ponto P09_04.....	119
Figura 152 - Perfil topográfico do ponto P09_05.....	120
Figura 153 - Perfil topográfico do ponto P09_06.....	120
Figura 154 - Perfil topográfico do ponto P09_07.....	121
Figura 155 - Perfil topográfico do ponto P09_08.....	121
Figura 156 - Perfil topográfico do ponto P09_09.....	122
Figura 157 - Perfil topográfico do ponto P10_01.....	122
Figura 158 - Perfil topográfico do ponto P10_02.....	123
Figura 159 - Perfil topográfico do ponto P10_03.....	123
Figura 160 - Perfil topográfico do ponto P10_04.....	124
Figura 161 - Perfil topográfico do ponto P10_05.....	124
Figura 162 - Perfil topográfico do ponto P10_06.....	125
Figura 163 - Perfil topográfico do ponto P10_07.....	125
Figura 164 - Perfil topográfico do ponto P10_08.....	126
Figura 165 - Perfil topográfico do ponto P11_01.....	126
Figura 166 - Perfil topográfico do ponto P11_02.....	127
Figura 167 - Perfil topográfico do ponto P11_03.....	127
Figura 168 - Perfil topográfico do ponto P11_04.....	128
Figura 169 - Perfil topográfico do ponto P11_05.....	128
Figura 170 - Perfil topográfico do ponto P12_01.....	129
Figura 171 - Perfil topográfico do ponto P12_02.....	129
Figura 172 - Perfil topográfico do ponto P12_03.....	130
Figura 173 - Perfil topográfico do ponto P12_04.....	130
Figura 174 - P08_02.....	131
Figura 175 - P08_03.....	131
Figura 176 - P08A_02A.....	132
Figura 177- P08A_03A.....	132
Figura 178 - P08A_04A.....	133
Figura 179 - P08A_05A.....	133
Figura 180 - P09_02.....	134
Figura 181 - P09_03.....	134
Figura 182 - P09_04.....	135

Figura 183 - P09_05 .....	135
Figura 184 - P09_06 .....	136
Figura 185 - P09_07 .....	136
Figura 186 - P09_08 .....	137
Figura 187 - P09A_02A.....	137
Figura 188 - P09A_04A.....	138
Figura 189 - P09A_06A.....	138
Figura 190 - P10_02 .....	139
Figura 191 - P10_05 .....	139
Figura 192 - P10_06 .....	140
Figura 193 - P10_07 .....	140
Figura 194 - P10_08 .....	141
Figura 195 - P10A_02A.....	141
Figura 196 - P10A_03A.....	142
Figura 197 - P10A_04A.....	142
Figura 198 - P10A_05A.....	143
Figura 199 - P10A_06A.....	143
Figura 200 - P11_04 .....	144
Figura 201 - P11A_02A.....	144
Figura 202 - P11A_03A.....	145
Figura 203 - P11A_04A.....	145
Figura 204 - P12_01 .....	146
Figura 205 - P12_04 .....	146
Figura 206 - Detalhe da visada do ponto P_12_04 .....	147

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Expoentes de Perda de Percurso para Ambientes Diferentes .....	29
Tabela 2. Relação entre nível de modulação, tipo de modulação e sua codificação, sensibilidade do receptor, SNR e a taxa de dados.....	41
Tabela 3 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e $E(\Delta T)\%$ para a condição de enlace LOS.....	62
Tabela 4 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação LOS .....	63
Tabela 5 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e $E(\Delta T)\%$ para a condição de enlace NLOS .....	65
Tabela 6 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação NLOS.....	65
Tabela 7 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e $E(\Delta T)\%$ para a condição de enlace PLOS .....	66
Tabela 8 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação PLOS.....	67
Tabela 9 - Planilha com dados dos pontos de teste.....	148

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação de Friis .....	26
Equação 2 – Equação da Perda de Percurso função das potências transmitida e recebida .....	27
Equação 3 – Perda de Percurso Média .....	28
Equação 4 – Perda de Percurso a uma distância aleatória $d$ .....	29
Equação 5 – Potência recebida a uma distância aleatória $d$ .....	29
Equação 6 - Relação Sinal Ruído .....	30
Equação 7 - Potência do sinal recebido.....	30
Equação 8 - Expressão do Ruído Térmico presente.....	31
Equação 9 - Expressão do Ruído Térmico em dBm .....	31
Equação 10 - Equação de Beta .....	31
Equação 11 - Fórmula do Percentual de Eficiência .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARQ	Automatic Repeat Request – Requisição de Repetição Automática
BPSK	Binary Phase Shift Keying – Chaveamento por Deslocamento em Fase Binário
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying – Chaveamento por Deslocamento em Fase em Quadratura
BS	Base Station – Estação de Usuário
BWA	Broadband Wireless Access – Acesso Banda Larga Sem Fio
CPE	Customer Premise Equipment – Equipamento de Propriedade do Cliente
DownLink	Enlace de Descida – tráfego de dados originado na Estação Base com direção à Estação de Usuário
FEC	Forward Error Correction – Correção de Erro Adiante
GPS	Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LOS	Line of Sight – Linha de Visada
MIB	Management Information Base – Base de Informações de Gerenciamento
NLOS	No Line of Sight – Sem Linha de Visada
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex – Multiplexação por Divisão de Freqüência Ortogonal
OID	Object Identifier – Identificador do Objeto
PER	Packet Error Rate
PL	Path Loss – Perda de Percurso
PLOS	Partial Line of Sight – Linha de Visada Parcial
PSK	Phase Shift Keying – Chaveamento por Deslocamento de Fase
PUCCampinas	Pontifícia Universidade Católica de Campinas
QAM 16	Quadrature Amplitude Modulation – Modulação de Amplitude em Quadratura com constelação de 16 símbolos
QAM 64	Quadrature Amplitude Modulation – Modulação de Amplitude em Quadratura com constelação de 64 símbolos
RFC	Request for Comments
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal to Noise Ratio – Relação Sinal Ruído
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol – Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet
TDD	Time Division Duplex

UDP	User Data Protocol
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UpLink	Enlace de Subida – tráfego de dados originado na Estação de Usuário com direção à Estação Base
US	User Station – Estação de Usuário
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network – Rede de Área Metropolitana Sem Fio
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	20
2	PROPAGAÇÃO DE SINAIS .....	24
2.1.	Mecanismos de Propagação .....	24
2.2.	Modelos de Propagação .....	25
2.2.1.	Modelo de Propagação no Espaço Livre .....	25
2.2.2.	Modelo de Shadowing .....	27
2.3.	O Software de Predição CellPlanner.....	31
3	Redes WMAN E O PADRÃO IEEE 802.16 .....	35
3.1.	O padrão IEEE 802.16 .....	35
3.2.	Princípios WiMAX.....	35
3.2.1.	A Tecnologia OFDM .....	37
3.2.2.	A Técnica de Subcanalização .....	39
3.2.3.	Antenas Adaptativas .....	40
3.2.4.	Diversidade de Transmissão e Recepção.....	40
3.2.5.	Modulação Adaptativa.....	40
3.2.6.	Técnicas de Correção de Erro.....	42
3.2.7.	Controle de Potência.....	42
3.2.8.	Duplexação por Divisão do Tempo - TDD.....	42
4	METODOLOGIA DE TESTES .....	45
4.1.	O site de Testes .....	45
4.2.	Ferramentas de Gerência .....	48
4.3.	Os Testes .....	50
4.4.	Coleta de Dados.....	55
5	RESULTADOS DOS TESTES .....	57
5.1.	Áreas de mesmo BETA ( $\beta$ ) .....	57
5.2.	Verificação da estabilidade da rede .....	58
5.3.	A relação entre SNR e a Eficiência da Rede .....	62
5.4.	A relação entre BETA ( $\beta$ ) e a Eficiência da Rede .....	68
6	CONCLUSÕES .....	72
7	REFERÊNCIAS.....	74
8	ANEXOS .....	77
8.1.	ANEXO A – Ferramenta GetMIB.....	77
8.2.	ANEXO B – Comandos IPERF para disparo de tráfego .....	79

8.3.	ANEXO C – Script do Autolt para coleta de medidas .....	80
8.4.	ANEXO D – Gráficos de SNR, Eficiência Instantânea e Eficiência Acumulada para os pontos de teste .....	83
8.5.	ANEXO E – Perfil Topográfico dos Pontos de Teste .....	116
8.6.	ANEXO F –Fotos das visadas dos pontos de teste .....	131
8.7.	ANEXO G – Planilha com dados dos pontos de teste .....	148

# 1 INTRODUÇÃO

---

Este trabalho traz como hipótese a possibilidade do desenvolvimento de um método capaz de avaliar equipamentos de uma WMAN<sup>1</sup> em termos de cobertura e desempenho, retratado através de sua eficiência, voltada para a tecnologia WiMAX<sup>2</sup> definida pelo IEEE<sup>3</sup> como o padrão IEEE 802.16-2004. O objetivo é, apresentar os procedimentos que possibilitem utilizar um site de testes, para comparar o desempenho de equipamentos de diferentes fabricantes.

Para este propósito um site de testes calibrado foi planejado e realizado, para desempenhar o papel de laboratório de campo, visando-se mapear, através de uma configuração de referência, as características físicas e de propagação nos pontos de testes. Este site foi projetado para 51 pontos de testes, incluindo o ponto de referência, escolhidos com critérios baseados nas suas condições locais de visada em relação à estação base, dos quais se necessita conhecer as condições de propagação em linha de visada (LOS<sup>4</sup>), sem linha de visada (NLOS<sup>5</sup>) ou ainda em linha de visada parcial (PLOS<sup>6</sup>). Ao final será discutido sobre a possibilidade de expansão destes pontos.

Os enlaces de rádio são caracterizados de acordo com os tipos de obstrução e as condições de transmissão e propagação. O Modelo de Shadowing foi usado para caracterizar cada ponto de teste de acordo com estas condições acima, bem como para cálculo do expoente de perda de percurso BETA ( $\beta$ ).

O site de testes, o qual está sendo chamado de *BenchMark WiMAX City*, está localizado entre as universidades PUCCAMPINAS (Pontifícia

---

<sup>1</sup> Wireless Metropolitan Network

<sup>2</sup> Worldwide Interoperability for Microwave Access

<sup>3</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers

<sup>4</sup> Line-of-Sight

<sup>5</sup> No-Line-of-Sight

<sup>6</sup> Partial-Line-of-Sight

Universidade Católica de Campinas) e a UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), em uma área suburbana no município de Campinas, Estado de São Paulo.

O sistema utilizado nos testes é um Pré-WiMAX<sup>7</sup>, operando em 5,8 GHz, que utiliza a técnica OFDM e possui as mesmas características de modulação e codificação de um sistema WiMAX. “As especificações deste sistema Pré-WiMAX são similares àquelas do sistema WiMAX” (BRANQUINHO, 2007, pg. 275).

A tecnologia WiMAX utiliza a modulação OFDM<sup>8</sup>, a qual representa um elemento fundamental para suportar comunicação ponto-multiponto em condições de propagação sem linha de visada (NLOS). Utiliza também, técnicas de subcanalização, antenas inteligentes, controle da diversidade na transmissão e na recepção, modulação adaptativa, técnicas de correção de erro e controle de potência.

Sendo as características do ambiente e de cada enlace variáveis, o desempenho do sistema também é variável, função de sua dependência destas condições.

Cada equipamento sob teste tem seu desempenho vinculado às variáveis de transmissão e propagação do ambiente, bem como às variáveis próprias de cada equipamento. Uma vez que o site de teste será o mesmo, com os mesmo pontos de testes e as mesmas características em todos os testes, a diferença entre o desempenho dos mesmos estará restrita às variáveis próprias de cada um, que traduzem seu desempenho e que serão aqui utilizadas nas medidas realizadas em campo.

Os equipamentos, quando em operação normal, armazenam informações úteis para gerência em bases de dados locais chamadas de MIB<sup>9</sup>. Para a coleta de dados de gerenciamento da rede, utilizou-se a ferramenta

---

<sup>7</sup> Esta tecnologia Pré-WiMAX possui características similares àquelas da tecnologia WiMAX, porém não possui o selo do WiMAX Fórum. Neste trabalho, será considerado como se WiMAX fosse.

<sup>8</sup> *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

<sup>9</sup> Management Information Base

*GetMIB*, desenvolvida neste trabalho especificamente para coletar as informações necessárias nas MIBs dos equipamentos em teste, fazendo uso do software livre editor de roteiros (*scripts*) chamado Autolt (AUTOIT, 2007). Este software procura automatizar as tarefas do Windows, buscando e armazenando informações que serão úteis na análise de desempenho da rede tais como: o número de quadros (*frames*) transmitidos e o número de quadros perdidos em cada nível de modulação.

As medidas foram realizadas em 40 pontos do site, configurando diferentes cenários com terrenos irregulares, e diferentes obstruções da linha de visada. A partir destas medidas, pôde-se calcular a eficiência da rede para o equipamento em teste em cada um destes cenários, estabelecendo-se os diversos “bolsões” de  $\beta$  diferentes.

Junto com as informações de gerenciamento foram coletadas através do GPS as informações de localização anteriormente citadas, bem como, foram observadas e anotadas as condições de visada de cada ponto individualmente, configurando cada ponto como LOS, NLOS ou PLOS.

A metodologia de medidas em campo está baseada em Erceg (1998), onde nas experiências, primeiramente são estabelecidas as categorias dos ambientes de propagação, as quais propõem um modelo geral para caracterizar cada ponto individualmente no site de testes. Estes pontos são agrupados de acordo com as características de propagação dentro de certas faixas, configurando o que se denominou de “bolsões” de valores de mesmo beta ( $\beta$  – expoente de perda de percurso), de acordo com o Modelo de *Shadowing* (RAPPAPORT, 1999).

Realizam-se inicialmente as predições de cobertura. Uma Estação de Usuário - US<sup>10</sup> - é instalada em cada ponto demarcado no site de testes e, é iniciada uma seção de tráfego de dados utilizando-se a ferramenta IPERF (NLNR, 2007) levando o equipamento a condições extremas de desempenho, ou seja, no limite de sua capacidade de tráfego, usando o protocolo UDP<sup>11</sup>. Obtêm-se, então, a partir de medidas realizadas a largura de banda utilizada, a

---

<sup>10</sup> User Station

<sup>11</sup> User Datagram Protocol

vazão (*throughput*) de dados, a variação de atraso de transmissão (conhecida como *jitter*), a relação entre os datagramas transmitidos e perdidos, o percentual de datagramas perdidos, o SNR<sup>12</sup> de descida (*downlink*) e o número de quadros transmitidos em cada nível de modulação.

Os testes realizados apresentaram a estabilidade dos enlaces em condições de propagação em linha de visada (LOS), como era esperado. Visualizou-se também que, em condições sem linha de visada (NLOS), os enlaces operam com taxas bem menores e ficam bastante instáveis em função da mudança constante dos níveis de modulação, uma vez que os equipamentos estão tentando se adequar às novas condições de propagação existentes. E em condições de visada parcial (PLOS), os enlaces estão em uma condição intermediária de instabilidade e de taxas de transmissão.

Em alguns pontos não foi possível estabelecer uma conexão com a BS devido à potência do sinal recebido ser muito pequena em função de obstruções, menor do que a sensibilidade do receptor.

O método aqui apresentado mostra que se podem utilizar estas medidas de estabilidade como forma de se comparar equipamentos de diferentes fabricantes em termos de desempenho, uma vez que as condições de propagação são as mesmas, ou praticamente as mesmas, para ambos os equipamentos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 serão discutidos os principais conceitos referentes à propagação dos sinais e os modelos de previsão de cobertura; no Capítulo 3 será vista uma revisão dos principais conceitos que tratam de uma WMAN, principalmente do WiMAX; no Capítulo 4, é apresentado o método utilizado para a realização dos testes, bem como as ferramentas utilizadas para geração do tráfego de dados e as desenvolvidas para captura dos dados; no Capítulo 5, serão descritos os resultados encontrados; no Capítulo 6, serão apresentadas as conclusões.

---

<sup>12</sup> Signal to Noise Ratio

## 2 PROPAGAÇÃO DE SINAIS

---

Serão apresentados os principais conceitos que tratam da propagação dos sinais através de ondas de rádio, bem como sobre modelos de previsão de cobertura que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

### ***2.1. Mecanismos de Propagação***

As transmissões de ondas eletromagnéticas se utilizam do ar ou do espaço como seu meio de transmissão. Segundo Bahai et al (2004) a propagação das ondas de rádio não ocorre sem obstáculos, como em transmissões por cabos uma vez que o sinal recebido não chega somente por um caminho direto do transmissor, mas através da combinação de cópias do sinal transmitido que são refletidas, difratadas e dispersas, conhecidas como propagação multipercurso.

A reflexão ocorre quando um sinal encontra em seu caminho uma superfície muito grande quando comparada ao comprimento de onda, onde parte da energia é absorvida por esta e parte é refletida. O percentual de absorção e de reflexão é determinado pelo coeficiente de reflexão, o qual depende das propriedades do material.

Já a difração tem origem quando o percurso das ondas de rádio é obstruído por superfícies que possuem irregularidades pontiagudas, tais como quinas de edifícios ou picos de morros, de onde derivam ondas secundárias em direção ao receptor.

E a dispersão, ou espalhamento, é causada quando ocorre obstrução em um sinal por objetos ou superfícies rugosas, com dimensões muito pequenas quando comparadas ao comprimento de onda, e onde o número de obstáculos por unidade de volume é grande. Exemplos práticos são folhagens, sinais de trânsito e postes de luz.

No receptor, segundo Yacoub (1993), o nível do sinal rádio desvanece rapidamente devido à propagação multipercurso, e pode atingir a faixa de 40 dB abaixo do nível do sinal principal. Desvanecimentos também ocorrem devido ao sombreamento provocado por montanhas, túneis e outros obstáculos.

Alerta-nos Yacoub (1993, pg 92) que: “A perda de percurso, o sombreamento e o desvanecimento rápido podem deteriorar o sinal propagado de maneira que, se o sistema não foi cuidadosamente projetado, pode ocorrer falha de comunicação freqüentemente”.

A maioria dos sistemas de comunicação sem fio opera em áreas urbanas ou semi-urbanas, onde o percurso da linha de visada entre o transmissor e o receptor sofre obstruções variadas e onde a presença de altos edifícios causa fortes perdas por difração.

Para que se possa determinar a taxa de dados, o alcance e a confiabilidade dos sistemas sem fio é necessário se verificar os efeitos da propagação e suas conseqüências no sinal rádio.

## **2.2. Modelos de Propagação**

### 2.2.1. Modelo de Propagação no Espaço Livre

Uma ligação rádio é estabelecida por uma onda eletromagnética transportando energia ao se propagar. O meio por onde esta onda se propaga determina as condições para a propagação do sinal, conforme visto anteriormente.

Segundo Silva (1978) o procedimento mais adequado para se estudar o mecanismo real de propagação devido às influências que o meio possa exercer sobre o sinal, consiste em se conhecer tais mecanismos em um meio ideal (o vácuo), analisando-se então as modificações introduzidas pelo meio real. Esta propagação que se realiza no vácuo, ou seja, em condições ideais, é chamada de propagação em espaço livre.



O modelo de Propagação no espaço livre é o modelo utilizado para predição da potência do sinal recebido quando existe um percurso em linha de visada (LOS)<sup>13</sup> entre o transmissor e o receptor, ou seja, não existem obstáculos entre eles.

É importante realçar aqui o que nos aponta Stallings (2002, pg 110) ao nos esclarecer que: “A potência média do sinal diminui com a distância em qualquer meio. Para os meios guiados, esta redução na potência, ou atenuação, é geralmente logarítmica e assim é tipicamente expressa como um número constante de decibéis por unidade de distância. Para meios não guiados, tais como o ar ou o espaço, a atenuação é uma função mais complexa da distância e do tipo de atmosfera.

No espaço livre, quando existe um percurso direto entre o transmissor e o receptor e não existem ondas secundárias, o sinal atenua com a distância porque o sinal está sendo espalhado sobre uma área cada vez maior. Esta forma de atenuação é conhecida como atenuação no espaço livre.

A potência recebida por uma antena receptora que está separada da antena transmissora por uma distância “ $d$ ”, é dada pela equação de Friis para o espaço livre:

$$P_r(d) = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2 \cdot L}$$

**Equação 1 – Equação de Friis**

onde  $P_t$  é a potência transmitida,  $P_r(d)$  é a potência recebida que é função da distância de separação entre Transmissor-Receptor,  $G_t$  é o ganho da antena transmissora,  $G_r$  é o ganho da antena receptora,  $d$  é a distância de separação T-R em metros,  $L$  é o fator de perda do sistema não relacionado com a propagação ( $L \geq 1$ ) e  $\lambda = c/f$  é o comprimento de onda em metros,  $c$  é a velocidade da luz dada em m/s e  $f$  é a frequência da portadora em Hertz. (RAPPAPORT, 1996, pg. 71)

A perda de percurso (PL)<sup>14</sup>, que representa a atenuação do sinal como uma quantidade positiva medida em dB, é definida como a diferença (em dB)

---

<sup>13</sup> LOS – Line of Sight

<sup>14</sup> PL – Path Loss

entre a potência efetivamente transmitida e a potência recebida, e que para o espaço livre, é dada pela equação do modelo de perda de percurso para o espaço livre:

$$PL_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \cdot \log\left[\frac{G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot d^2}\right]$$

**Equação 2 – Equação da Perda de Percurso função das potências transmitida e recebida**

onde foi feito  $L=1$  representando que não há perdas na parte física (*hardware*) do sistema, ou seja, nos filtros e nas antenas nos sistemas de comunicação.

Cabe aqui lembrar que Rappaport (1996, pg 69) nos alerta que: “Os modelos de propagação têm focado tradicionalmente na predição da potência média do sinal recebido a uma dada distância do transmissor, bem como na variabilidade da potência do sinal em um espaço próximo a um local particular”.

Os modelos de propagação que predizem a potência média do sinal para uma distância de separação arbitrária entre o transmissor e o receptor são úteis para estimar a área de cobertura do transmissor e são chamados modelos de propagação de larga-escala. Por outro lado, modelos de propagação que caracterizam as flutuações rápidas na potência do sinal recebido em pequenas distâncias ou pequenos intervalos de tempo são chamados modelos de desvanecimentos (*fadings*) ou de pequena-escala.

Dentro deste quadro: “A potência recebida (ou sua recíproca, a perda de percurso) é geralmente o parâmetro mais importante predito pelos modelos de propagação de larga escala baseados na física da reflexão, da difração e da dispersão” (*Ibidem* pg. 78).

### 2.2.2. Modelo de Shadowing

Segundo Rappaport, (1996), a maioria dos modelos de propagação rádio é deduzida usando uma combinação de métodos analíticos e empíricos, sendo este último baseado no ajuste de curvas ou expressões que recriam um conjunto dos dados medidos. Esta abordagem é relevante por já levar em

consideração, implicitamente, todos os fatores de propagação, mesmo os desconhecidos, através das atuais medidas em campo.

A perda de percurso média em larga escala para uma separação aleatória entre o transmissor e o receptor é expressa como uma função da distância através do uso do expoente de perda de percurso, denominado de BETA ( $\beta$ ), presente na Equação 3:

$$\overline{PL}(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10 \cdot \beta \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

**Equação 3 – Perda de Percurso Média**

onde  $\beta$  representa o expoente de perda de percurso o qual indica a taxa na qual a perda de percurso aumenta com a distância,  $d_0$  representa uma distância de referência próxima, a qual é determinada a partir de medidas próximas ao transmissor, e  $d$  é a distância de separação entre transmissor e receptor.

Ainda, segundo Rappaport (1996), a distância de referência  $d_0$  é escolhida para estar no campo próximo da antena, a uma distância na qual a propagação pode ser considerada como sendo próxima o suficiente ao transmissor de forma que o multipercurso e a difração sejam desprezíveis e o enlace é aproximadamente aquele do espaço livre.

O valor de  $\beta$  depende do ambiente de propagação específico. Por exemplo, Rappaport (Ibid., p.104) apresenta o valor de  $\beta$  igual a 2 para o espaço livre, e valores maiores para ambientes onde são verificadas obstruções do sinal, de acordo com a Tabela 1.

Devido às diferenças existentes ao redor de vários locais situados a uma mesma distância do transmissor, Rappaport (Ibid., p.104) afirma que os valores verificados em medidas são bastante diferentes daqueles preditos pela Equação 3. Deste modo, utiliza-se a Equação 4 para predição da Perda de Percurso  $PL(d)$  a uma distância particular, a qual é aleatória e possui uma

distribuição log-normal (normal em dB) sobre a média dos valores dependentes da distância<sup>15</sup>.

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d_0) + 10 \cdot \beta \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

**Equação 4 – Perda de Percurso a uma distância aleatória  $d$**

E, sendo a potência recebida dada pela Equação 5, temos:

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB]$$

**Equação 5 – Potência recebida a uma distância aleatória  $d$**

com os ganhos das antenas incluídos na  $PL(d)$ , e  $X_\sigma$  é uma variável aleatória Gaussiana distribuída de média zero (em dB) com desvio padrão  $\sigma$  (também em dB).

Esta variável  $X_\sigma$  será desconsiderada no desenvolvimento do problema exatamente por ser uma variável aleatória Gaussiana distribuída de média zero. Poderá ser considerada posteriormente, em medidas práticas ou através de simulações, buscando-se maior precisão na determinação dos valores de BETA ( $\beta$ ).

**Tabela 1 - Expoentes de Perda de Percurso para Ambientes Diferentes**

<b>Ambiente</b>	<b>Expoente de Perda de Percurso, <math>\beta</math></b>
Espaço Livre	2
Rádio celular em área urbana	2,7 a 3,5
Rádio celular urbano sombreado	3,5 a 5
Linha de visada interna a edifícios	1,6 a 1,8
Obstruções internas em edifícios	4 a 6
Obstruções em fábricas	2 a 3

Fonte: Rappaport (1997) adaptada.

Finalmente, Rappaport (1997) afirma que a distância de referência próxima, o expoente de perda de percurso " $\beta$ ", e o desvio padrão  $\sigma$ , descrevem estatisticamente o modelo de perda de percurso para um local arbitrário tendo uma distância de separação entre Transmissor-Receptor específica. É possível utilizar-se este modelo em simulação em computador para prover níveis de

<sup>15</sup> Nesta equação, substituiu-se o  $n$  apresentado por Rappaport pelo  $\beta$  visando-se manter uma nomenclatura única, mas ambos se referem ao mesmo expoente da perda de percurso.

potência recebida para locais aleatórios em projeto e análise de sistemas de comunicação.

E é este modelo de Shadowing que foi utilizada neste trabalho para a determinação das áreas de mesmo “BETA ( $\beta$ )”, através de medidas realizadas em campo das potências recebidas ou da relação sinal ruído – SNR. Estas áreas serão mostradas posteriormente quando da apresentação dos resultados dos trabalhos.

A Relação Sinal Ruído – SNR<sup>16</sup> – segundo nos mostra Stallings (2002, pg 27), é dada, em decibéis (dB), por:

$$SNR_{dB} = \left( \frac{S}{N} \right)_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{potência do sinal}}{\text{potência do ruído}} \right)$$

**Equação 6 - Relação Sinal Ruído**

que é a relação entre a potência do sinal e a potência contida no ruído que está presente em um ponto qualquer da transmissão.

Esta relação apresenta a quantidade, em decibéis, que o sinal pretendido excede o nível do ruído naquele ponto.

Uma SNR alta significa um sinal de alta qualidade, enquanto que uma SNR baixa implica em um sinal de baixa qualidade.

Ou em outras palavras, para a mesma quantidade de ruído no ponto uma SNR alta apresenta uma alta potência do sinal recebido e, por outro lado, uma SNR baixa significa um sinal sendo recebido com baixa potência.

Assim, podemos obter a potência do sinal recebido a partir de medidas realizadas da SNR de acordo com a Equação 7:

$$S(dBm) = SNR(dB) + N(dBm)$$

**Equação 7 - Potência do sinal recebido**

onde, S representa a potência do sinal recebido em determinado ponto, SNR é a relação sinal ruído medida naquele ponto e N, de acordo com a Equação 8

---

<sup>16</sup> SNR – Signal-to-Noise Ratio

apresentada por Stallings (2001, pg. 114), é a potência do ruído térmico em Watts presente em uma largura de banda de  $B$  [Hz],:

$$N = K.T.B$$

**Equação 8 - Expressão do Ruído Térmico presente**

ou, em dBm:

$$N(dBm) = 10 \cdot \log\left(\frac{K.T.B}{1.10^{-3}}\right)$$

**Equação 9 - Expressão do Ruído Térmico em dBm**

onde  $K$  representa a constante de Boltzmann dada por  $K = 1,3803 \times 10^{-23}$  [J/K], e  $T$  é a temperatura absoluta em graus Kelvin.

Assim, o valor de  $\beta$  pode ser calculado a partir da Equação 10:

$$\beta = \frac{P_r(d) - P_t - G_t - G_r - 20\log(\lambda) + 20\log(4\pi) + 20\log(d_0)}{10\log(d_0) - 10\log(d)}$$

**Equação 10 - Equação de Beta**

Este valor assim calculado permitiu a identificação das áreas de mesmo BETA ( $\beta$ ) apresentado na Figura 22.

### **2.3. O Software de Predição CellPlanner**

Para se obter uma predição inicial das condições de propagação em cada ponto determinado para os testes, utilizou-se do software para predição de cobertura CellPlanner (CELPLANNER, 2007).

Este software fornece a predição dos níveis de sinal esperado (Figura 1), ou seja, a predição do sinal de RF presente para toda a região ao redor da Estação Base (BS) na direção de irradiação da antena desta estação, constituindo assim, a predição do nível do sinal em cada ponto do site de testes.

Também, traça o perfil topográfico (ANEXO E) de cada ponto a partir dos dados armazenados de morfologia (Figura 2), e topografia (Figura 3) para a região em foco.

Estes dados de morfologia e topografia fazem parte da base de dados fornecida em conjunto com o software e são atualizados periodicamente pela empresa fornecedora através de medidas “*in loco*” ou por satélite.

Para a morfologia apresentada, pode-se verificar a existência de 4 (quatro) tipos diferentes de ambientes que se constituem por áreas de baixa e média vegetação, áreas suburbana e urbana, as quais, conforme visto anteriormente, determinam características de propagação diferentes.

Já no caso da topografia, verifica-se que o desnível existente entre alguns pontos e a posição geográfica da AU chega a 200 m.

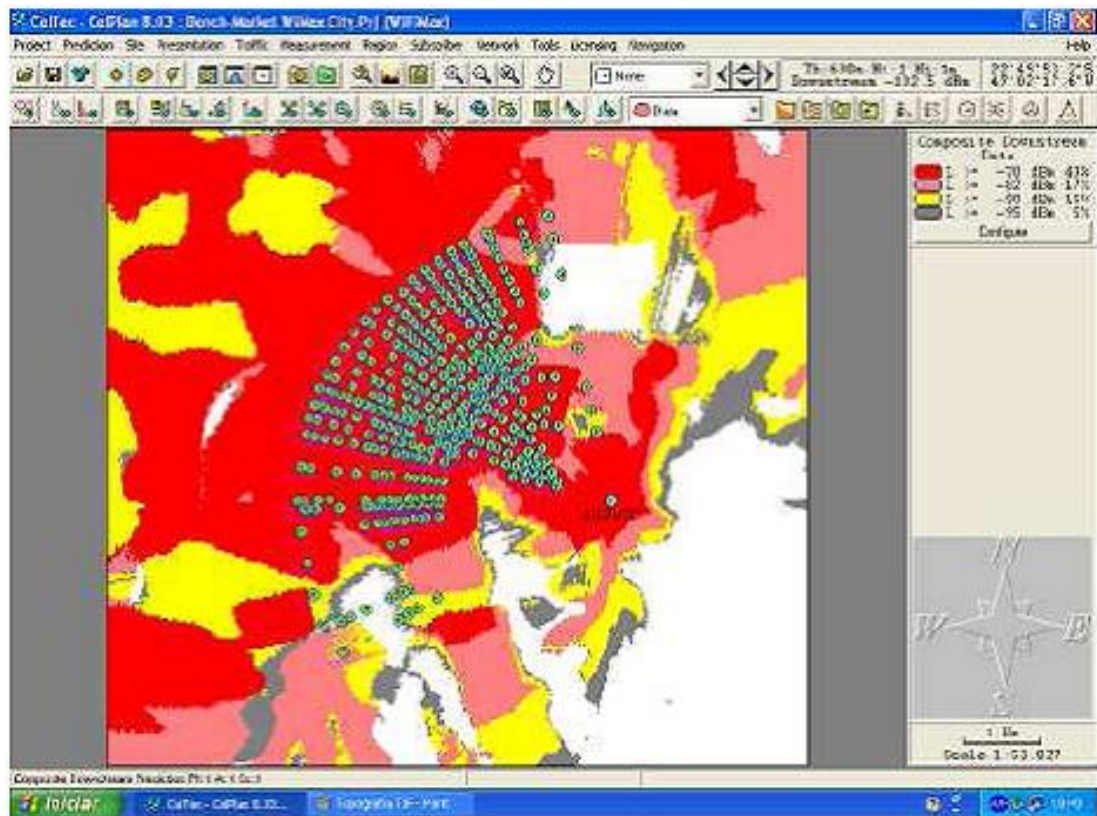
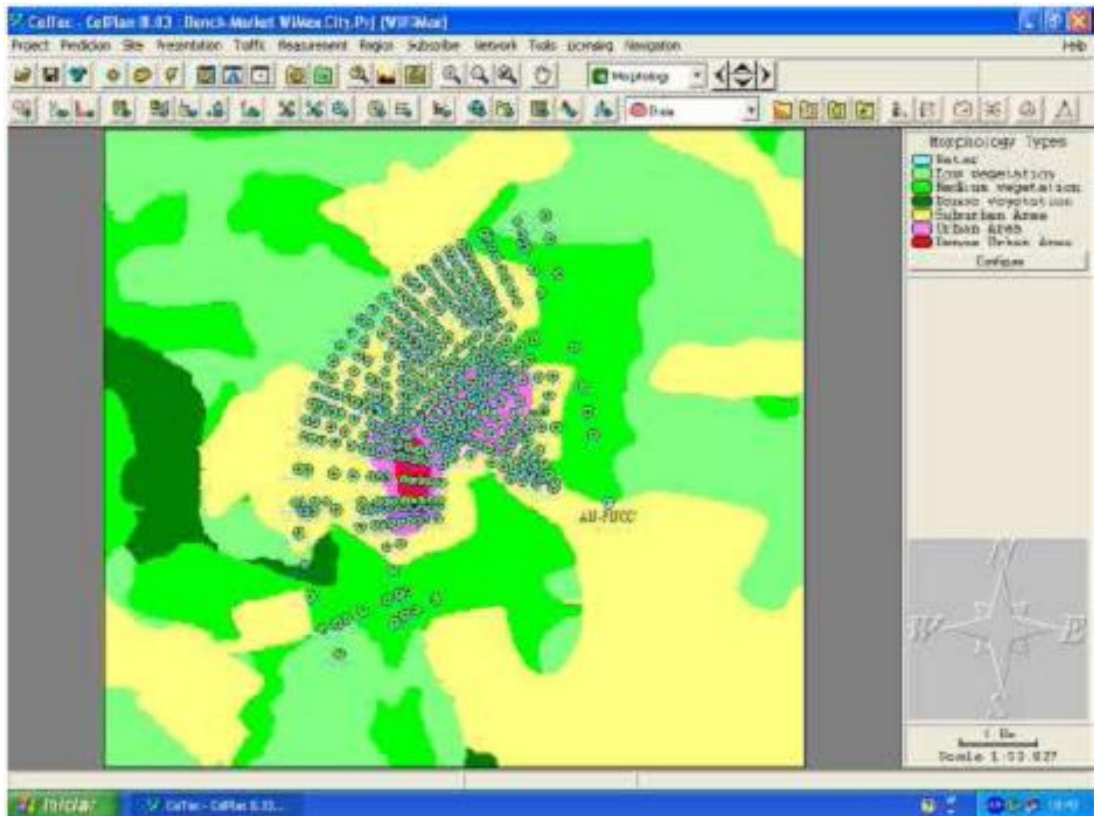
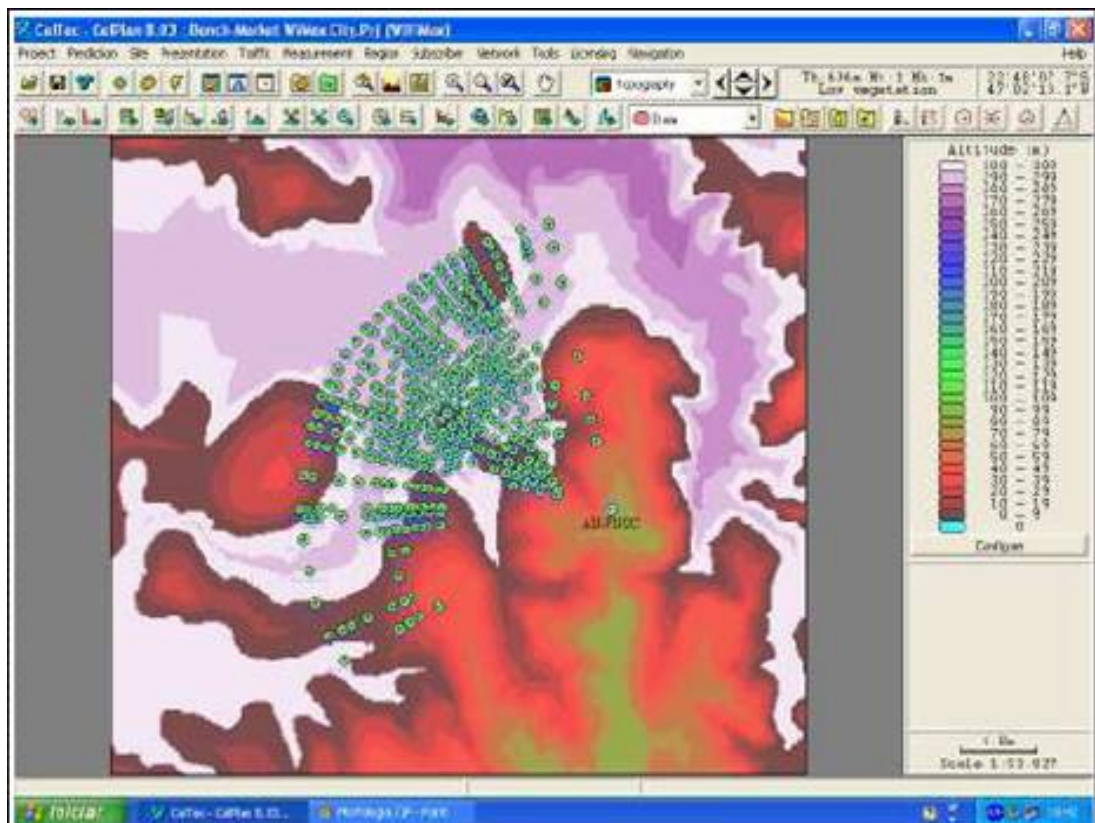


Figura 1 - Nível de sinal esperado (predição de RF) da área de cobertura no site de testes  
Fonte: CellPlanner (2007)



**Figura 2 - Morfologia da área de cobertura do site de testes**  
 Fonte: CellPlanner (2007)



**Figura 3 - Topografia do site de testes**  
 Fonte: CellPlanner (2007)



Para os pontos considerados neste trabalho, verifica-se um desnível máximo de 51 metros.

Tais dados serão utilizados apenas como uma estimativa inicial dos valores que se espera obter para o sinal em cada um dos pontos de teste, bem como da condição de visada do mesmo para a Estação Base (BS<sup>17</sup>).

Verifica-se, da Figura 1 que em quase todo o site de testes, o nível de sinal esperado situava-se na faixa: maior que  $-70$  [dBm].

---

<sup>17</sup> Base Station – Estação Base

## 3 REDES WMAN E O PADRÃO IEEE 802.16

---

Uma das questões principais no estudo de sistemas sem fio (*wireless*) é a área de cobertura do sinal. Esta questão se torna crítica quando trabalhamos com sistemas cujo objetivo é fornecer acesso sem fio em banda larga, conhecidos como BWA<sup>18</sup>, uma vez que tais sistemas trabalham em condições de enlaces sem visibilidade (NLOS)<sup>19</sup> devido às características do ambiente onde serão utilizados.

Será feita aqui apenas uma revisão objetiva dos principais conceitos envolvidos na utilização da tecnologia WiMAX<sup>20</sup> como uma BWA, como forma de nortear os trabalhos e conclusões desenvolvidos neste trabalho.

### 3.1. O padrão IEEE 802.16

Nesta seção, procura-se descrever as principais características e os fundamentos da tecnologia WiMAX utilizada neste trabalho. Serão apresentadas as principais funcionalidades utilizadas nos enlaces sem linha de visada (NLOS), de acordo com o padrão de interface aérea IEEE 802.16-2004 definido pelo IEEE<sup>21</sup>, o qual é a base da tecnologia WiMAX.

### 3.2. Princípios WiMAX

Muitas aplicações atualmente disponíveis para banda larga fixa sem fio provêm somente cobertura em linha de visada. Os sistemas rádios de espectro espalhado e os de portadora única típicos, por exemplo, são projetados para operarem em uma configuração em linha de visada (LOS). De acordo com WiMAX Forum (2007a), a tecnologia WiMAX foi otimizada para prover cobertura

---

<sup>18</sup> BWA – Broadband Wireless Access – Rede Metropolitana de Acesso Sem Fio em Banda Larga

<sup>19</sup> NLOS – Non-Line-Of-Sight

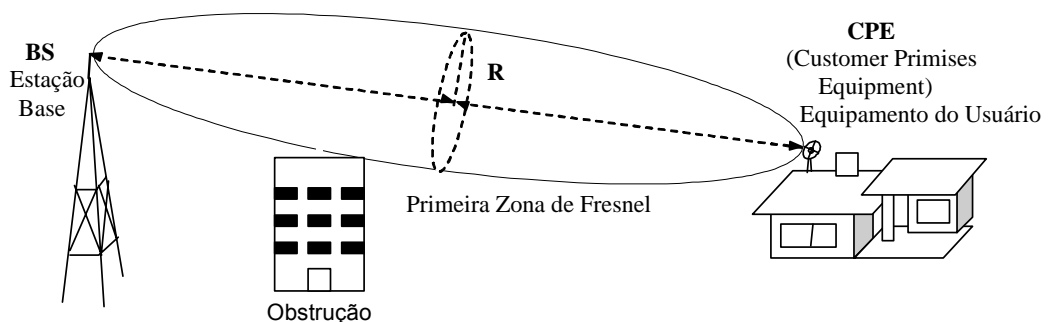
<sup>20</sup> WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

<sup>21</sup> IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

sem linha de visada. Esta tecnologia WiMAX provê distâncias de cobertura de até 50 km em condições de LOS e raios de células típicos de 5 a 8 km em condições NLOS.

O padrão 802.16d do IEEE especifica um protocolo que pode suportar aplicações típicas de transferência de arquivos de dados, aplicações de pequena latência como voz e vídeo, bem como prover conectividade em banda larga sem a necessidade de existir uma linha de visada entre os terminais de assinantes e a Estação Base (BS)<sup>22</sup>. De acordo com o WiMAX (2007b), este padrão poderá suportar centenas, podendo atingir em determinadas condições favoráveis até milhares de assinantes em uma simples BS.

Para obter-se a desobstrução em linha de visada (LOS), o caminho a ser percorrido pela onda de rádio deve estar livre de qualquer tipo de obstrução, necessitando que o enlace tenha esta característica não somente ao longo desta linha direta, mas necessita também que o enlace permaneça livre de obstrução em uma distância expandida chamada de Zona de Fresnel. Esta Zona de Fresnel tem a forma de uma elipsóide em torno da linha de visada conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4 Primeira Zona de Fresnel**

O sistema WiMAX foi projetado para prover transmissão sem fio em banda larga com cobertura de rádio frequência sem linha de visada, ou NLOS.

<sup>22</sup> BS – Base Station

Silva (1978, pg. 53) e (SOLECTEK, 2007) consideram um sistema em linha de visada (LOS) assim caracterizado quando tendo pelo menos 60% da primeira zona de Fresnel desobstruída.

Em um sistema sem linha de visada, não há um caminho direto entre o receptor e o transmissor, e os sinais que atingem o receptor o fazem através de reflexões, difrações e dispersões, possuindo amplitudes e retardos diferentes devido aos vários comprimentos percorridos por cada um destes sinais.

Para obter eficiência na transmissão operando em condições sem linha de visada, os sistemas WiMAX utilizam as seguintes técnicas:

- Tecnologia OFDM:
- Sub-Canalização:
- Antenas Adaptativas
- Diversidade de Transmissão e Recepção
- Modulação Adaptativa:
- Técnicas de Correção de Erro
- Controle de Potência
- Duplexação por Divisão do Tempo - TDD<sup>23</sup>

Estas técnicas serão apresentadas de forma breve, mas suficiente para sua compreensão dentro dos objetivos que compreendem este trabalho.

### 3.2.1. A Tecnologia OFDM

Num sistema convencional de transmissão, os símbolos são enviados seqüencialmente em uma única portadora (que estará sendo modulada pela mesma taxa de símbolos de informação), e o seu espectro ocupa toda a faixa de

---

<sup>23</sup> Time Division Duplex

freqüências disponível. Já na técnica OFDM a transmissão de dados se dá de forma paralela, não mais em uma única portadora, mas em um conjunto de subportadoras com modulação QAM<sup>24</sup> ou PSK<sup>25</sup>, e com taxas de transmissão menores por subportadora.

A utilização desta técnica implica na diminuição da sensibilidade do canal aos efeitos de desvanecimentos seletivos em freqüência causados por propagação multipercurso, porque estes efeitos ficam restritos a um subconjunto destas portadoras, permitindo uma equalização relativamente mais fácil do que em uma única portadora.

Conforme descrito por Pinto (2002), esta técnica de transmissão OFDM consiste na transmissão paralela de dados em diversas subportadoras com modulação QAM ou PSK e taxas de transmissão por subportadora tão baixas quanto maior o número destas. Esta redução na taxa de transmissão, que significa um aumento na duração dos símbolos transmitidos em cada subportadora, implica em diminuição da sensibilidade à seletividade em freqüência (dispersão no tempo) causada por multipercurso, conforme pode ser observado na Figura 6.

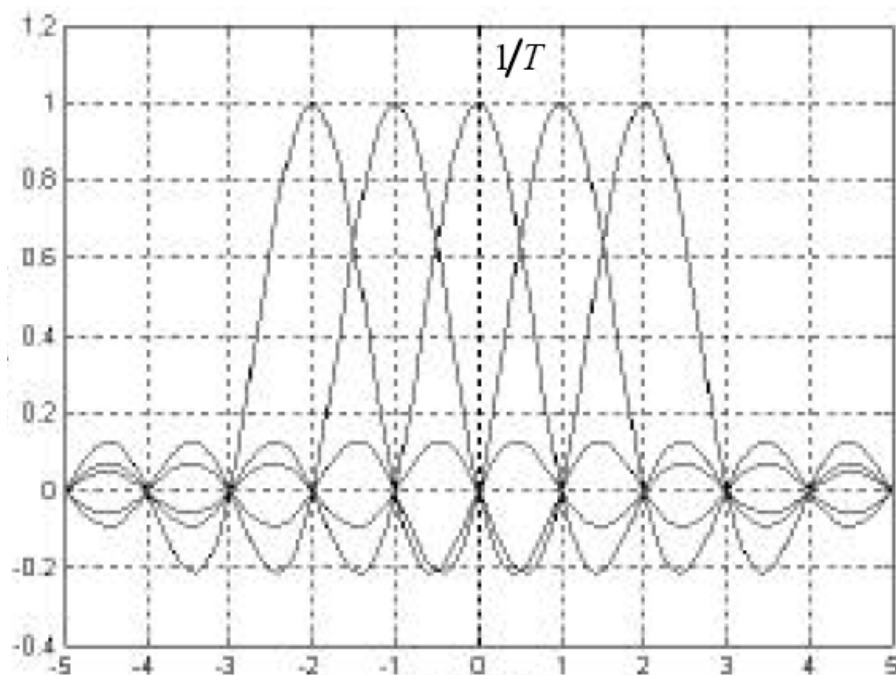
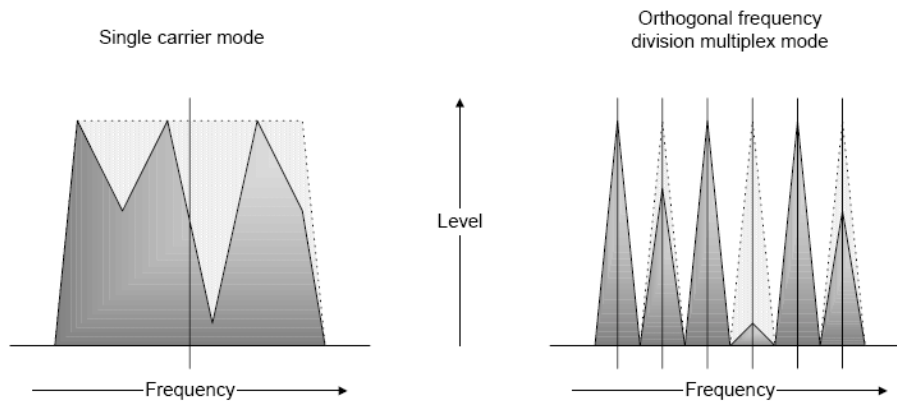


Figura 5 - Subportadoras de um sinal OFDM

Fonte: Pinto, 2002

<sup>24</sup> Quadrature Amplitude Modulation

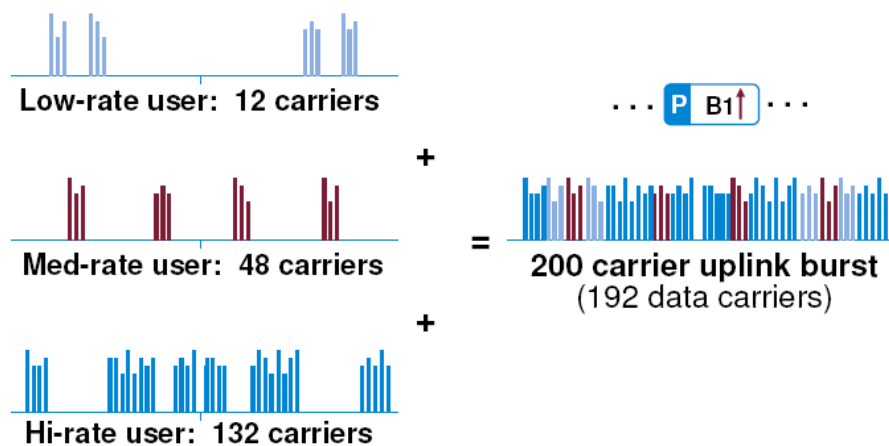
<sup>25</sup> Phase Shift Keying



**Figura 6 – Efeitos do fading seletivo em frequência com portadora simples e OFDM**  
 Fonte: WiMAX Fórum White Paper

### 3.2.2. A Técnica de Subcanalização

Esta técnica concentra a potência transmitida em poucas portadoras OFDM no UpLink, permitindo o balanceamento entre o UpLink<sup>26</sup> e o DownLink<sup>27</sup>. Isto não ocorre sem o uso desta técnica, e também devido a restrições regulatórias e a necessidade de custo efetivo dos CPE<sup>28</sup> o que geralmente torna assimétricos os enlaces entre BS e SU de UpLink e DownLink.



**Figura 7 - Sub canalização no UpLink**

Fonte: Agilent

<sup>26</sup> UpLink – Enlace de subida, ou seja, da estação de usuário em direção à estação base.

<sup>27</sup> DownLink – Enlace de descida, ou seja, da estação base em direção à estação de usuário.

<sup>28</sup> CPE – Customer Premise Equipment – Equipamento de Propriedade do Cliente.

### 3.2.3. Antenas Adaptativas

São antenas que podem alterar o foco para a transmissão do sinal em uma direção, enquanto altera o foco para o sinal sendo recebido em outra direção visando melhorar sua recepção. Isto ajuda também a eliminar, ou minimizar, as interferências indesejadas (co-canal, por exemplo) vindas de outras direções. (INTEL, 2004).

### 3.2.4. Diversidade de Transmissão e Recepção

Segundo INTEL (2004) esquemas de diversidade são usados para se obter vantagem dos sinais refletidos e em multipercurso existentes em ambientes sem linha de visada (NLOS). Consiste na utilização de redundância na transmissão e/ou na recepção do sinal conseguida por múltiplas antenas. Está associada à utilização de combinação das diversas réplicas recebidas, visando-se obter um sinal melhor do que o que seria recebido de qualquer destes sinais individualmente.

### 3.2.5. Modulação Adaptativa

Adota-se um esquema de modulação adaptativa, ou seja, de seleção da modulação a ser utilizada (QAM-64<sup>29</sup>, QAM-16<sup>30</sup>, QPSK<sup>31</sup> ou BPSK<sup>32</sup>) dependendo do nível da Relação Sinal Ruído (SNR) percebida no receptor. Para uma SNR alta, utilizar-se-á o nível de modulação 8, com modulação QAM-64. Ao contrário, com uma SNR baixa, utilizar-se-á o nível 1, com modulação BPSK (ver Figura 8). A cada nível de modulação, tem-se associada a taxa de transmissão do rádio, de acordo com a Tabela 2.

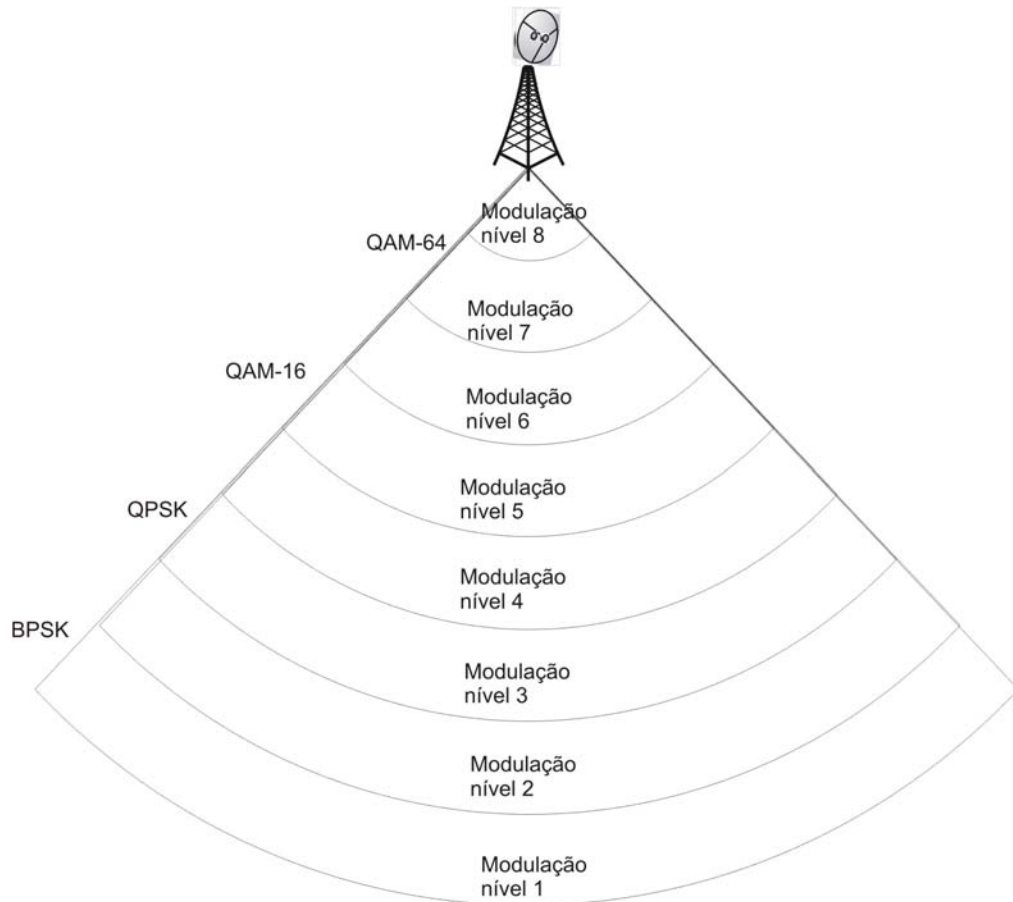
---

<sup>29</sup> Quadrature Amplitude Modulation 64 – Modulação de Amplitude em Quadratura com constelação de 64 símbolos.

<sup>30</sup> Idem com constelação de 16 símbolos

<sup>31</sup> Quadrature Phase Shift Keying – Chaveamento por Deslocamento de Fase em Quadratura

<sup>32</sup> Binary Phase Shift Keying – Chaveamento por Deslocamento de Fase Binária



**Figura 8 - Esquema de modulação adaptativa**  
 Fonte: GOES, 2006 adaptada

**Tabela 2. Relação entre nível de modulação, tipo de modulação e sua codificação, sensibilidade do receptor, SNR e a taxa de dados.**

Nível de Modulação	8	7	6	5	4	3	2	1
Modulação	QAM-64		QAM-16		QPSK		BPSK	
Codificação	3/4	2/3	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2
RX (dBm)	-71	-73	-77	-81	-84	-86	-88	-89
SNR	23	22	18	14	11	9	7	6
Unidade de Usuário	Taxa De Dados (Mbps)							
1	3,00	2,25	1,50	1,13	0,75	0,56	0,38	0,28
2	6,00	4,50	3,00	2,25	1,50	1,13	0,75	0,56
3	54,00	40,50	27,00	20,25	13,50	10,13	6,75	5,06
$P_{m\%}$	100,00	75,00	50,00	37,50	25,00	18,75	12,50	9,38

Fonte: Branquinho, (2007)



### 3.2.6. Técnicas de Correção de Erro

Busca-se detectar e corrigir erros nos quadros (*frames*) causados por *fadings* seletivos e/ou rajadas de erros, visando aumentar a vazão (*throughput*) de dados. Os principais métodos são o FEC<sup>33</sup>, a codificação convolucional e algoritmos intercalados. Quando não se consegue corrigir os erros, utiliza-se o ARQ<sup>34</sup> para se repetir os quadros errados.

### 3.2.7. Controle de Potência

São utilizados algoritmos que visam manter o nível de potência recebida na estação base em um nível pré-determinado, de forma a melhorar o desempenho geral do sistema. A estação base envia informações de controle às estações de usuários para que estas regulem a potência transmitida, mantendo-se o nível da potência recebida na estação base dentro do limite anteriormente estabelecido.

### 3.2.8. Duplexação por Divisão do Tempo - TDD

Em todo sistema de comunicação bi-direcional é necessário separar os canais para transmitir informação em cada direção. Isto é chamado duplexação. Em sistemas móveis isto é feito separando-se os canais ou em frequência ou em tempo.

Existem duas técnicas para se dividir os canais de comunicação direta e reversa sobre o mesmo meio físico:

- ◆ Duplexação por Divisão do Tempo (TDD)
- ◆ Duplexação por Divisão da Frequência (FDD)

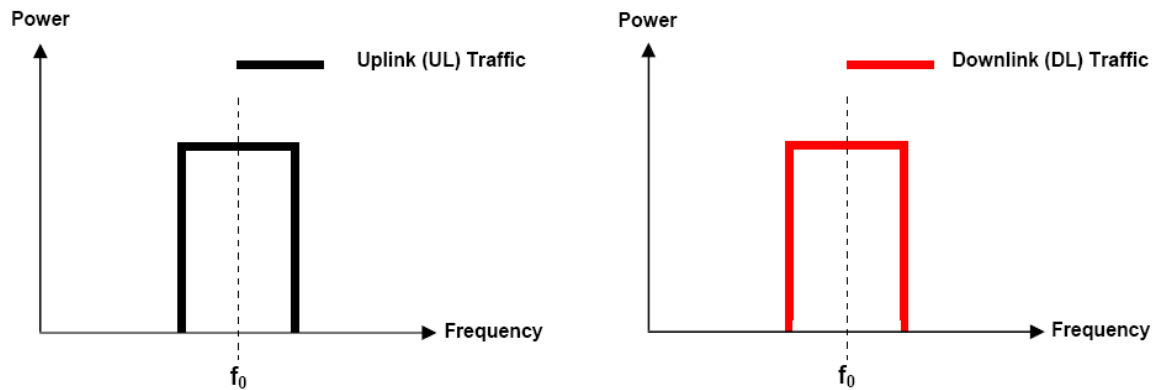
Duplexação por Divisão do Tempo (TDD) é a técnica onde a mesma banda de frequência é usada pela estação base e pelas estações móveis

---

<sup>33</sup> *Forward Error Correction*

<sup>34</sup> *Automatic Repeat Request*

(downlink e uplink), mas em intervalos de tempo diferentes, ou seja, um canal de frequência único é designado para uso tanto do transmissor como do receptor. O tráfego de DownLink (DL) e de UpLink (UP)<sup>35</sup> usam a mesma frequência  $f_0$ , mas em diferentes intervalos de tempo (Figura 9)

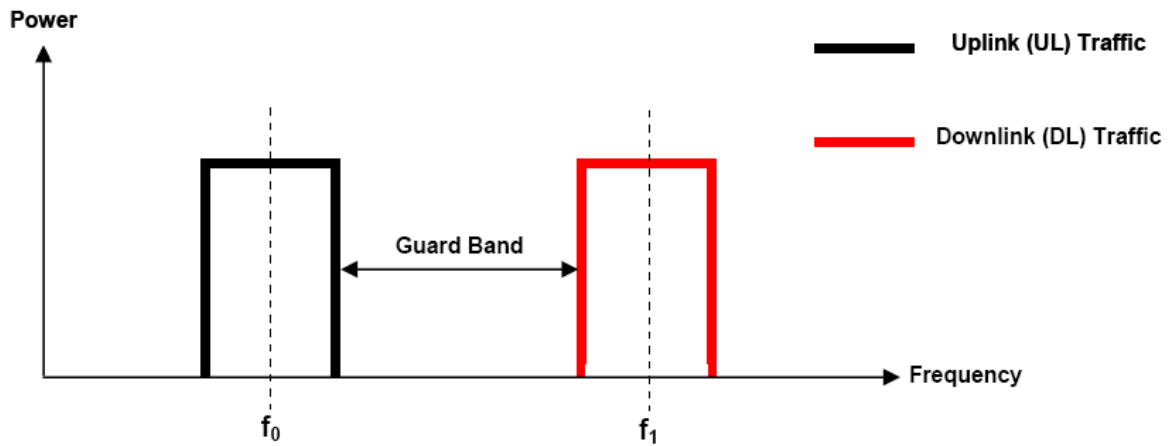


**Figura 9 – Utilização do espectro na Duplexação TDD**  
 Fonte: PROXIM, 2007

No TDD, quando está no tempo de se transmitir, o dispositivo usa a frequência  $f_0$  para o tráfego no enlace de subida (uplink), enquanto que no tempo de receber, o dispositivo usa a mesma frequência  $f_0$  para o tráfego do enlace de descida (downlink).

Duplexação por Divisão da Frequência (FDD) é a técnica onde o mesmo intervalo de tempo é usado por ambas, a Estação Base (BS) e as Estações de Usuário (US), para transmissão nos dois sentidos, mas com frequências diferentes, ou seja, um canal de frequência é designado para o transmissor, e outro distinto para o receptor. Assim, em qualquer instante de tempo, o tráfego de UL usa a frequência  $f_0$  que é diferente da frequência  $f_1$  usada pelo tráfego de DL (PROXIM, 2007).

<sup>35</sup> Define-se tráfego de UL aquele originado na Unidade de Assinante (SU) em direção à Estação Base (BS), e tráfego de DL aquele originado na BS com destino à SU.



**Figura 10 - Utilização do espectro na Duplexação FDD**  
Fonte: PROXIM, 2007

O experimento em questão, utilizar-se-á de equipamentos Pré-WiMax, com tecnologia OFDM, modulação adaptativa de oito níveis nas modulações BPSK, QPSK 16QAM e 64QAM, duplexação por divisão do tempo (TDD), na faixa de frequência de 5,8 [GHz], com largura de banda de  $B = 20$  [MHz].

## 4 METODOLOGIA DE TESTES

---

Serão detalhados aqui o site de teste, as ferramentas de software que foram desenvolvidas para a realização dos testes, bem como o método utilizado na coleta e análise dos dados.

### 4.1. O site de Testes

O site de testes *BenchMark WiMAX City* é apresentado na Figura 11 onde pode ser visto em sua totalidade como foi idealizado, cobrindo toda a área da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) e parte do bairro de Barão Geraldo em Campinas – SP. O objetivo era obter um site contendo todos os tipos de terrenos e obstáculos encontrados em situações cotidianas.

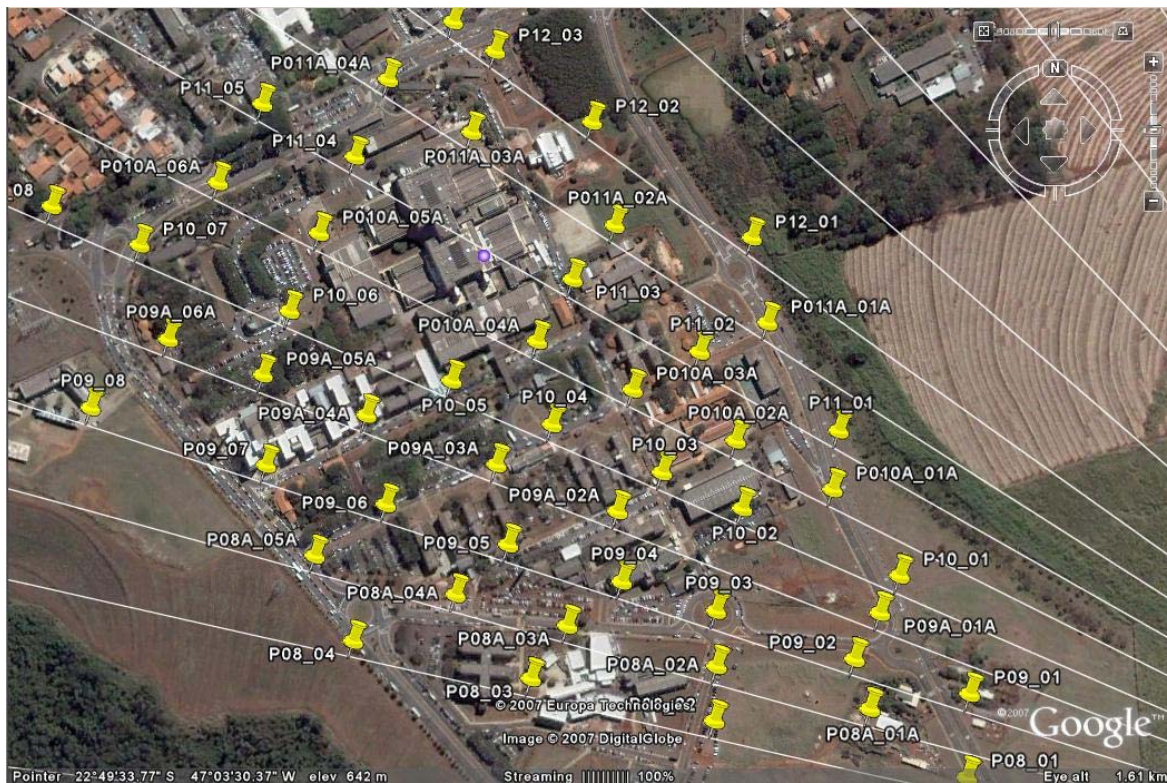


Figura 11 - O Site de Testes Total

Porém, para viabilizar a realização dos testes iniciais e visando validar a metodologia, o site utilizado neste trabalho é o apresentado na Figura 12, que



engloba apenas uma parte da UNICAMP. Verificam-se neste site todas as características buscadas para o teste, de acordo com as condições de propagação e do ambiente descritas conforme utilizadas por Erceg, (1998).



**Figura 12 - O Site de Testes Utilizado com os pontos de testes**

O que Erceg, (1998) buscava em seus experimentos era, a partir dos dados recebidos por um equipamento conhecido, determinar as principais características da perda de percurso em vários locais de testes através de seus dois principais parâmetros: o expoente de perda de percurso, “ $\gamma$ ” (ou, neste trabalho, “ $\beta$ ”), e o desvio padrão, “ $\sigma$ ”, em torno deste valor. E afirmava que a essência de um modelo verdadeiramente útil é ser hábil para caracterizar estes parâmetros mesmo para células nas quais nenhuma medida é feita.

Neste trabalho, a intenção é, partindo-se de um site onde se obtenha os parâmetros do mesmo, sempre iguais para aqueles pontos determinados, comparar o desempenho de equipamentos diversos através de medidas de referência, em termos da eficiência da taxa de dados de acordo com a Equação 11, realizadas sobre objetos gerenciados comuns a todos, definidos por padrões.

$$E(\Delta T)\% = \frac{\sum_{m=1}^M \left[ \left( \sum_{n=1}^{N_m} NF_{mn} \right) * Pr_m \right]}{\sum_{i=1}^M NF_i}$$

**Equação 11 - Fórmula do Percentual de Eficiência**

Nesta equação,  $E(\Delta T)\%$  é o Percentual de Eficiência em um intervalo  $\Delta T$ ,  $M$  é o número total de níveis de modulação da tecnologia WMAN,  $N_m$  é o número total de frames transmitido no nível de modulação  $m$ ,  $NF_{mn}$  é o número de frames transmitido no nível de modulação  $m$ ,  $Pr_m$  é um fator que pondera a taxa de dados em relação à mais alta taxa de dados do sistema e,  $NF_i$  é o número total de frames transmitidos no intervalo  $\Delta T$  considerando os  $M$  níveis de modulação. (BRANQUINHO, 2007), e que podem ser vistos na Tabela 2.

Pode-se variar o intervalo de tempo  $\Delta T$  buscando-se refletir a eficiência para aquele determinado intervalo. Isto foi feito neste trabalho dando origem aos dois valores de eficiência apresentados nos resultados: o primeiro considerando-se a eficiência instantânea como sendo aquela verificada em cada instante de medida; e o segundo como sendo a eficiência acumulada para todo o intervalo de medidas utilizado em cada ponto, ou seja, para o intervalo de tempo correspondente às 500 medidas realizadas em cada ponto.

Nesse sentido, a eficiência instantânea representa as variações pontuais na variação da eficiência da rede, enquanto que a eficiência acumulada representa as variações de longo prazo da eficiência, demonstrando a tendência desta.

No site de testes, foram selecionados os pontos para testes de acordo com suas localizações geográficas, distâncias e condições de visada para a BS<sup>36</sup>, a qual fora instalada em um local elevado nas dependências da PUC Campinas, conforme pode ser visto na Figura 13. Foram contempladas, dentre estes pontos, as três condições buscadas, isto é, LOS, NLOS e PLOS.

<sup>36</sup> BS – Base Station – Estação Base

Esta posição mostrada na Figura 13 também foi utilizada como Ponto de Referência, conforme preconiza Rappaport (1996), localizado a uma distância próxima  $d_0$  de 126 m.

A partir desta seleção, buscou-se através da utilização do software livre *GoogleEarth* (GOOGLE, 2007), levantar os dados relativos aos pontos demarcados na Figura 12, tendo sido os mesmos armazenados em planilha Microsoft Excel™ (ANEXO G).



Figura 13 - Localização da BS na PUC Campinas

#### **4.2. Ferramentas de Gerência**

Experimentos práticos determinam que dados sejam coletados e armazenados para posterior análise. Nos experimentos deste trabalho foi utilizado o protocolo de gerência de rede SNMP<sup>37</sup> na coleta dos dados.

---

<sup>37</sup> SNMP – Single Network Management Protocol

O SNMP é um protocolo de gerência definido ao nível de aplicação, cuja especificação está contida na RFC 1157<sup>38</sup>, e é utilizado para obter informações de servidores SNMP, através de agentes, espalhados em uma rede baseada na pilha de protocolos TCP/IP<sup>39</sup>. Os dados são obtidos através de requisições de um gerente a um ou mais agentes utilizando os serviços do protocolo de transporte UDP<sup>40</sup> para enviar e receber suas mensagens através da rede.

O conceito de MIB pode ser entendido a partir da definição de objetos gerenciados. Um objeto gerenciado é a visão abstrata de um recurso real do sistema, ou seja, os recursos do sistema que devem ser gerenciados e que são modelados, resultando em estruturas de dados. Estes objetos gerenciados podem ter permissão para serem lidos ou escritos, sendo que cada leitura representará o estado real do recurso e, cada alteração também será refletida no próprio recurso LOPES (2003).

Dessa forma, a MIB é o conjunto dos objetos gerenciados, que procura abranger todas as informações necessárias para a gerência da rede.

Na RFC1213 pode-se encontrar a especificação da MIB II, bem como quais os tipos de equipamentos que devem implementá-la, fornecendo informações gerais de gerenciamento sobre determinado equipamento gerenciado. Através dela podem-se obter informações como: número de pacotes transmitidos, estado da interface, entre outras. Existe também a MIB privada que é aquela em que seus componentes fornecem informações específicas dos equipamentos gerenciados, como configuração, colisões e também é possível reinicializar, desabilitar uma ou mais portas de um roteador, e outras.

O funcionamento do SNMP é baseado em dois dispositivos: o gerente e o agente. Cada máquina gerenciada é vista como um conjunto de variáveis que representam informações referentes ao seu estado atual. Estas informações ficam disponíveis ao gerente através de consulta, e também podem ser alteradas por ele através de comandos.

---

<sup>38</sup> RFC – Request For Comments

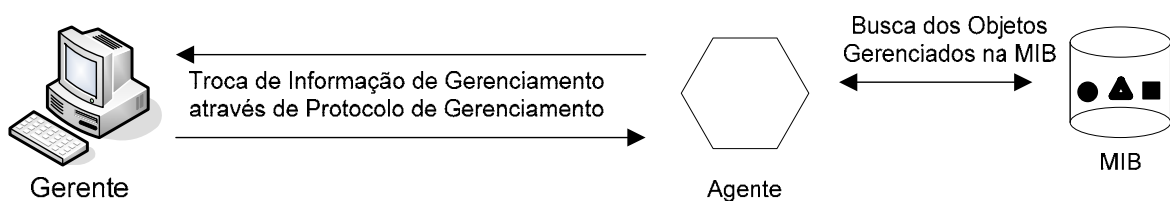
<sup>39</sup> TCP/IP – Transport Control Protocol/Internet Protocol

<sup>40</sup> UDP – User Data Protocol



Agente é um processo executado na máquina gerenciada, responsável pela manutenção das informações de gerência da máquina. Suas funções principais são: - atender as requisições enviadas pelo gerente; - enviar automaticamente informações de gerenciamento ao gerente, quando previamente programado.

Gerente é um programa executado em uma estação servidora que permite a obtenção e o envio de informações de gerenciamento junto aos dispositivos gerenciados mediante a comunicação com um ou mais agentes (DIAS, 2002).



**Figura 14 - Relacionamento entre Gerente, Agente e MIB**

Desenvolveu-se então, uma ferramenta baseada no SNMP, chamada de *GetMIB*, para obter os dados necessários aos trabalhos. Tais dados foram determinados após consulta à RFC 1213 e à documentação da MIB privada do equipamento em teste, identificando quais as OIDs<sup>41</sup> serão utilizadas em função dos parâmetros necessários para avaliação do desempenho da rede.

Esta ferramenta utiliza comandos do SNMP para acessar a MIB remota e obter as informações desejadas, através das OIDs selecionadas anteriormente.

Esta ferramenta *GetMIB*, está apresentada no ANEXO A, onde também estão apresentadas as OIDs selecionadas.

### 4.3. Os Testes

Para a realização dos testes, utilizou-se de uma estrutura montada em um carro, como forma de sustentação e elevação do equipamento em teste, uma

<sup>41</sup> OID – Object Identifier

vez que era necessário manter-se a mesma altura da antena em relação ao solo para os testes em cada ponto demarcado. Tal estrutura e os detalhes desta e dos equipamentos estão apresentados nas Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Os testes foram realizados da seguinte forma: primeiro, determinava-se, através do GPS<sup>42</sup>, o ponto correto para a realização das medidas, de acordo com as coordenadas levantadas previamente no “*Google Earth*”. Após, estabelecia-se uma conexão entre a Estação Base (BS) e a Estação de Usuário (US) de forma que se obtivesse o melhor nível de sinal possível. Foi considerada para isto, a condição de cada ponto, se LOS, NLOS ou PLOS, identificado visualmente pelo executante do teste, e ajustava-se a antena para a melhor recepção possível.

Em alguns casos, não se conseguia estabelecer conexão entre a SU e a BS devido ao nível do sinal recebido na SU ser fraco, a ponto de não superar a sensibilidade mínima do receptor, mesmo considerando todos os tipos de sinais chegando ao equipamento, ou seja, sinais refletidos, difratados e refratados próprios da condição de propagação sem linha de visada – NLOS. Um exemplo pode ser verificado nas Figura 19 e Figura 20, onde se observa a direção de propagação do sinal no sentido da BS (Figura 19), e a grande quantidade de árvores ao redor do ponto P09\_06 que prejudicam a propagação de sinais. Este foi um dos pontos onde não se conseguiu intensidade de sinal suficiente para a obtenção dos dados de tráfego, conforme já previsto pelo Perfil Topográfico apresentado na Figura 21 e obtido do software CellPlanner.

Enquadram-se nesta situação os pontos P09A\_03A, P09A\_04A, P10\_06, P10\_08, P10A\_05A, P11\_04 e P11\_05 todos sem nível de sinal suficiente para o estabelecimento de uma conexão com a BS, conseqüentemente sem condições de realização dos testes. No ponto P09A\_05A não houve nem a possibilidade de instalação dos equipamentos para início dos procedimentos de teste, haja vista, a grande quantidade de árvores em torno do ponto conforme pode ser verificado na Figura 15, posição demarcada pelas setas.

---

<sup>42</sup> Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global



**Figura 15 - Posição do ponto P09A\_05A**



**Figura 16 - Antena e equipamentos montados no carro de testes**



**Figura 17 - Detalhe da estrutura de montagem da antena**





**Figura 18 - Detalhe dos equipamentos utilizados nos testes**

A partir de então, iniciava-se a fase de testes propriamente, com o disparo de tráfego e coleta de dados.



**Figura 19 - Detalhe da direção de propagação no ponto P09\_06**



Figura 20 - Detalhe das árvores ao redor do ponto P09\_06

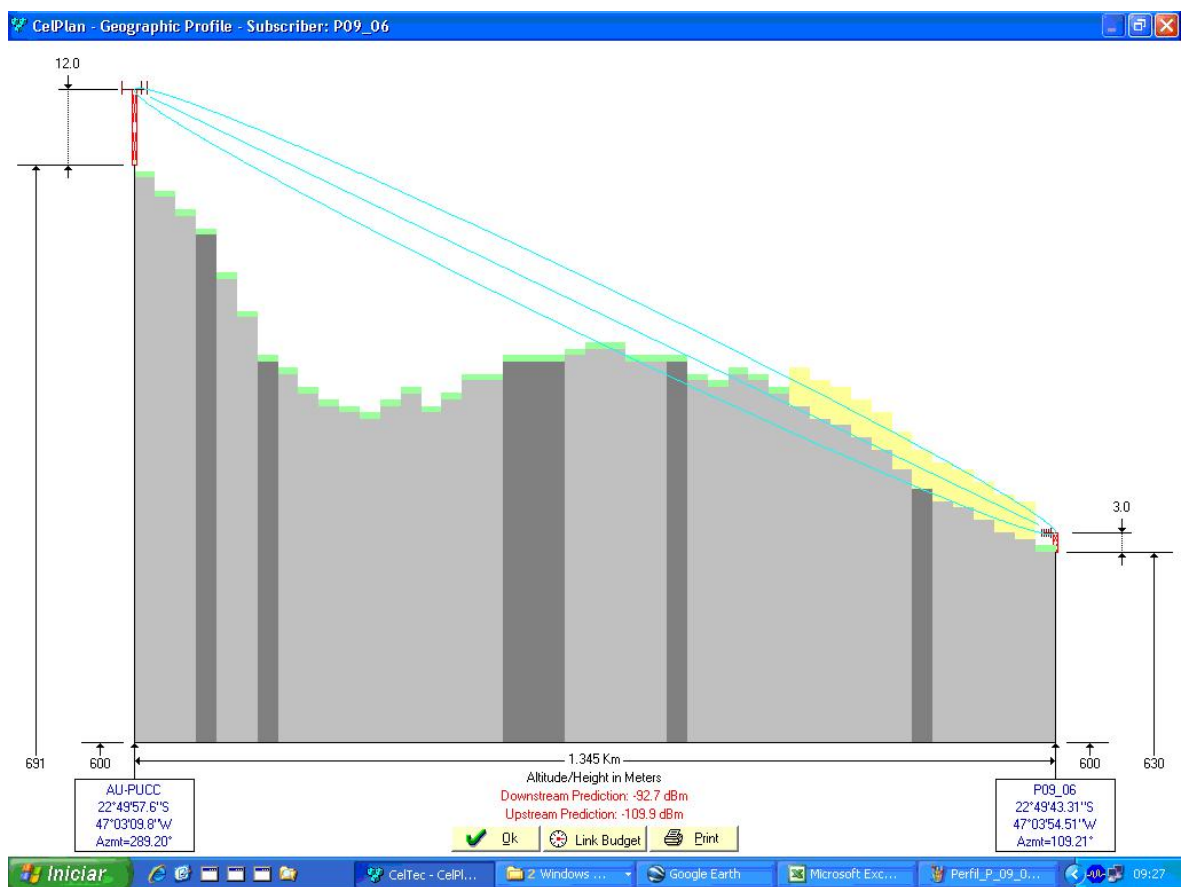


Figura 21 - Perfil topográfico para o ponto P09\_06 verificado a partir do software CellPlanner

#### **4.4. Coleta de Dados**

Utilizando-se da ferramenta de software Iperf (IPERF, 2007), iniciava-se uma seção de tráfego em condições estressantes para o equipamento, isto é, no limite de suas capacidades de transmissão e recepção sem erros, ou até mesmo com poucos erros. Esta condição era verificada através de testes com pequenas durações com taxas de transmissão de dados diferentes, aumentando-as de 1 Mbps em 1 Mbps até que o equipamento apresentasse taxas de erro de pacotes (PER)<sup>43</sup> maiores do que 10%. Tais testes eram realizados em cada ponto de maneira a se obter a menor taxa de erro possível.

Constatou-se que, em quase todos os pontos, esta taxa média de 10% de erros era a menor. Decidiu-se, então por utilizá-la nas medidas. Era então utilizada a taxa anterior à elevação dos erros para a realização dos testes.

A partir de então inicializava-se o arquivo executável, compilado através do software AutoIt (AUTOIT, 2007), que automatizava as tarefas de coleta de dados através do protocolo SNMP anteriormente descritas.

Estas duas ferramentas de software estão apresentadas nos ANEXO B e ANEXO C.

Os dados coletados eram armazenados em planilhas Microsoft Excel™, anteriormente preparadas para receber os dados e elaborar os gráficos utilizados para análise.

Foram realizados os testes em 40 dos 51 pontos previstos por impedimentos de acesso local, sendo que em oito destes 40, já citados anteriormente, não foram obtidos dados de tráfego e eficiência em função da baixa intensidade do sinal recebido.

É relevante esclarecer que estes 11 pontos onde não foram realizados os testes (P08\_01, P08A\_01A, P09\_01, P09A\_01A, P10\_01, P10A\_01A, P11\_01, P11\_02, P11A\_01A, P12\_02 e P12\_03), não o foram por motivos operacionais diversos, tais como pontos localizados no interior de escolas onde não havia

---

<sup>43</sup> PER – Packet Error Rate

autorização para a entrada. Outros por motivo de segurança, pois alguns pontos estavam localizados em posições de intenso tráfego de veículos ou locais em que era impedido o acesso de veículos motorizados nos horários em que os testes poderiam ser realizados.

Tal fato não prejudica o resultado do trabalho, uma vez que, para os 31 pontos onde se obteve dados, estão presentes todas as variáveis previstas no início deste, e necessárias para a avaliação pretendida.



## 5 RESULTADOS DOS TESTES

Serão apresentados dados selecionados dentre aqueles obtidos no desenvolvimento do trabalho, cujas características evidenciam os parâmetros mencionados. O objetivo é corroborar a hipótese levantada de utilização de um site de testes para comparação de equipamentos de fabricantes diversos, através de medidas práticas e do cálculo da eficiência de rede, desenvolvida por Branquinho (2007).

### 5.1. Áreas de mesmo BETA ( $\beta$ )

A Figura 22 apresenta as áreas de mesmo BETA ( $\beta$ ) obtidas a partir das medidas da Relação Sinal Ruído – SNR em cada ponto de testes do site.

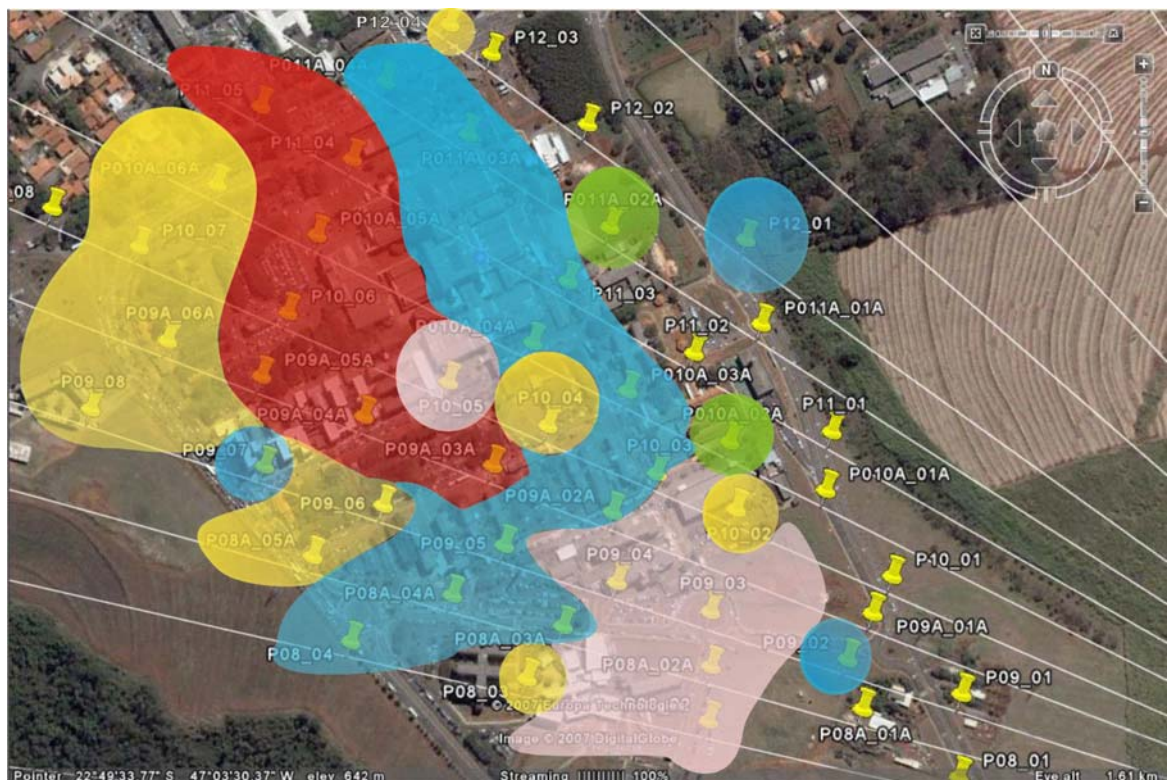


Figura 22 - Áreas de mesmo BETA ( $\beta$ )

onde: Áreas em Rosa  $\rightarrow 2 < \beta \leq 3$   
Áreas em Verde  $\rightarrow 3 < \beta \leq 4$



Áreas em Laranja	→ $4 < \beta \leq 5$
Áreas em Azul	→ $5 < \beta \leq 6$
Área em Vermelho	→ sem sinal

Essas formas das áreas foram identificadas a partir de segmentos de retas traçadas, juntando-se os pontos com os valores de BETA ( $\beta$ ) dentro de cada uma das faixas descritas acima, e identificadas por cores.

Quando o ponto estava isolado em valor dentro de outra área, representou-se este valor através de círculos.

A idéia era mostrar como se distribuía, no site, os valores do expoente da perda de percurso BETA ( $\beta$ ) em função dos diferentes obstáculos encontrados pelo sinal trafegando, bem como do entorno do ambiente.

Os pontos plotados somente com o marcador identificam aqueles onde não foram realizadas as medidas, conforme mencionado anteriormente, não participando da delimitação das áreas citadas.

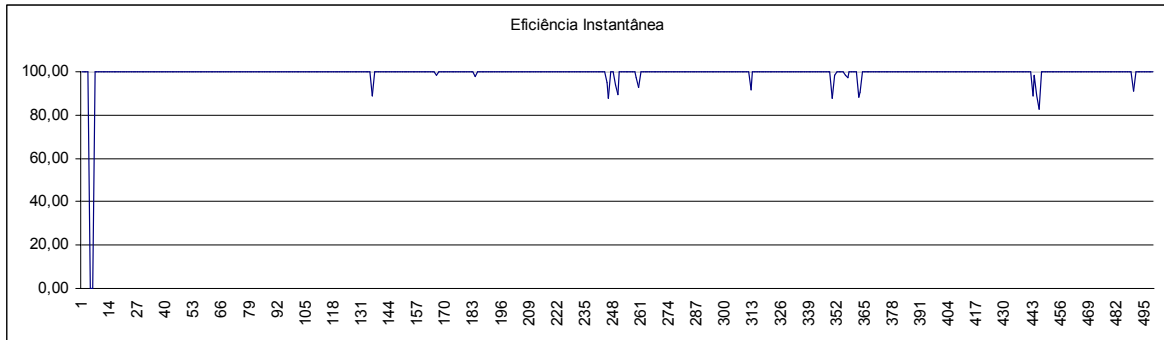
## **5.2. Verificação da estabilidade da rede**

Através da medida da eficiência da rede pode-se avaliar a estabilidade da mesma nos três cenários de propagação.

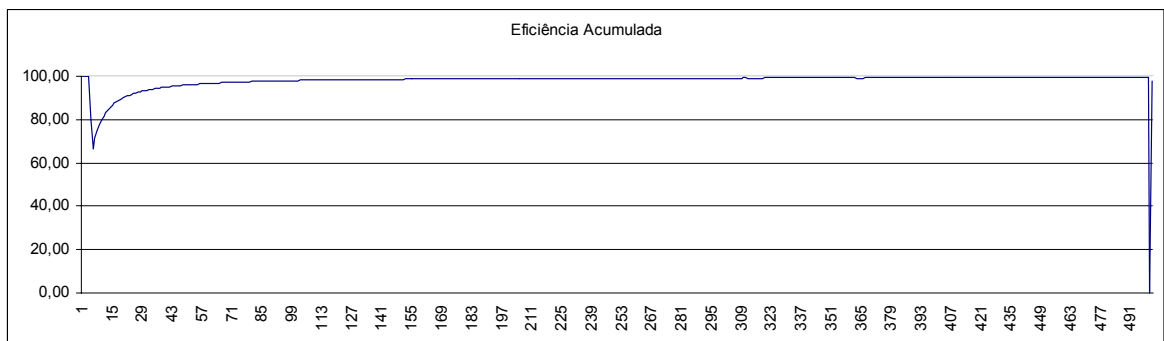
Um exemplo da eficiência obtida (instantânea e acumulada) para a condição do enlace com propagação em linha de visada – LOS, bem como a SNR medida, pode ser verificado nas Figura 23, Figura 24 e Figura 25 que apresentam os resultados dos testes para o ponto P08\_02.

Nota-se que para um SNR médio na faixa de 41,6 [dB] com desvio padrão de 0,65 [dB], a eficiência instantânea e a eficiência acumulada da rede permanecem bastante estáveis em torno de 99,28% com desvio padrão de 6,54% e 98,01% com desvio padrão de 3,38%, respectivamente.

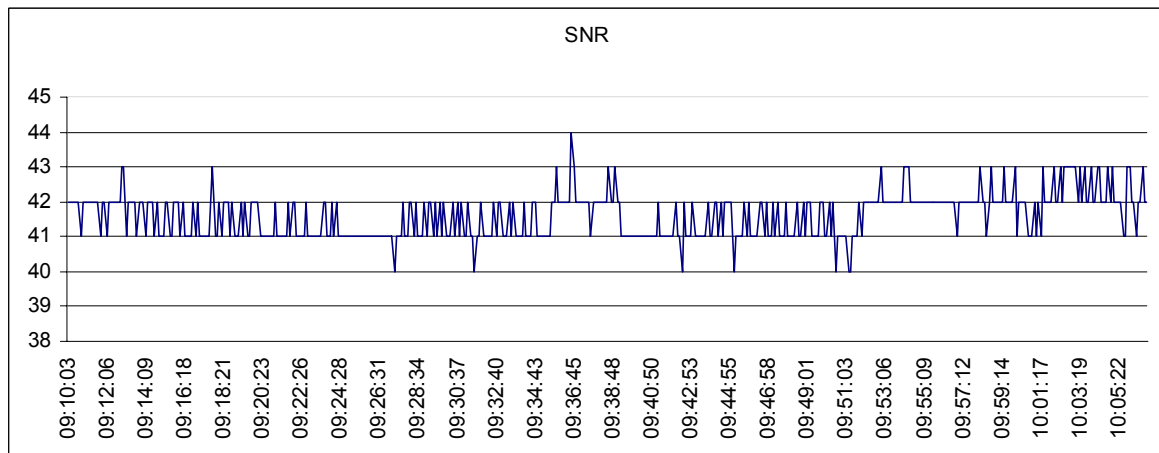
Destaque-se ainda que, este desvio padrão verificado está influenciado por alguma instabilidade no início do testes deste ponto conforme pode ser verificado nas Figura 23 e Figura 24.



**Figura 23 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P08\_02**



**Figura 24 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P08\_02**



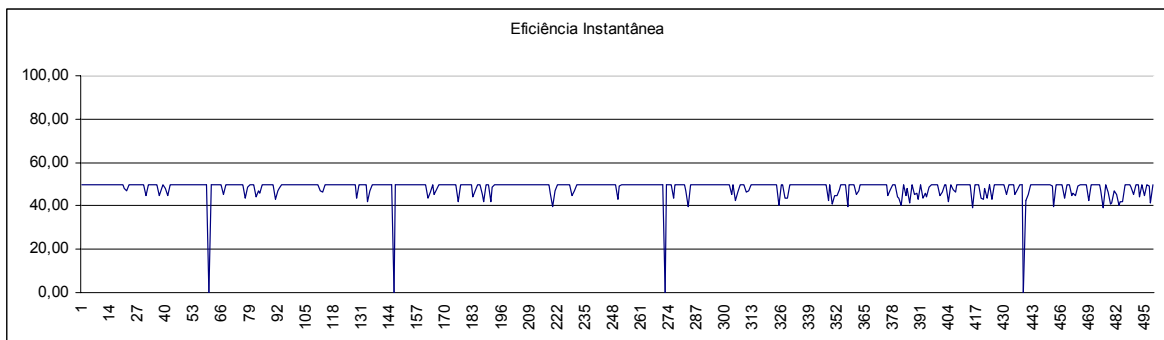
**Figura 25 - Relação SNR medida para o ponto P08\_02**

Para o caso em que a condição de propagação do enlace é em linha de visada parcial (PLOS), pode-se utilizar o ponto P09\_02 como exemplo, para os quais são apresentados os gráficos de eficiência instantânea e acumulada e o de SNR respectivamente nas Figura 26, Figura 27 e Figura 28.

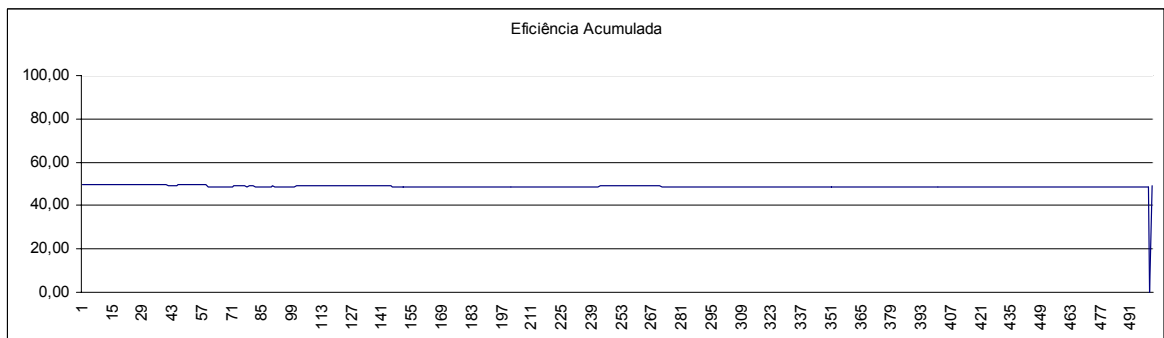
A escolha destes dois pontos para exemplificação deveu-se ao fato de os mesmos se encontrarem praticamente na mesma distância da BS, porém em radiais diferentes, e condições de propagação distintas, mas próximas.

Neste caso já se verifica um SNR menor, na faixa de 13,32 [dB] com desvio padrão de 0,72 [dB], estando a rede ainda bastante estável, enquanto que a eficiência instantânea da rede já caiu para 48,40% com desvio padrão de 5,03% e a eficiência acumulada para 48,89% e desvio padrão de 0,35%.

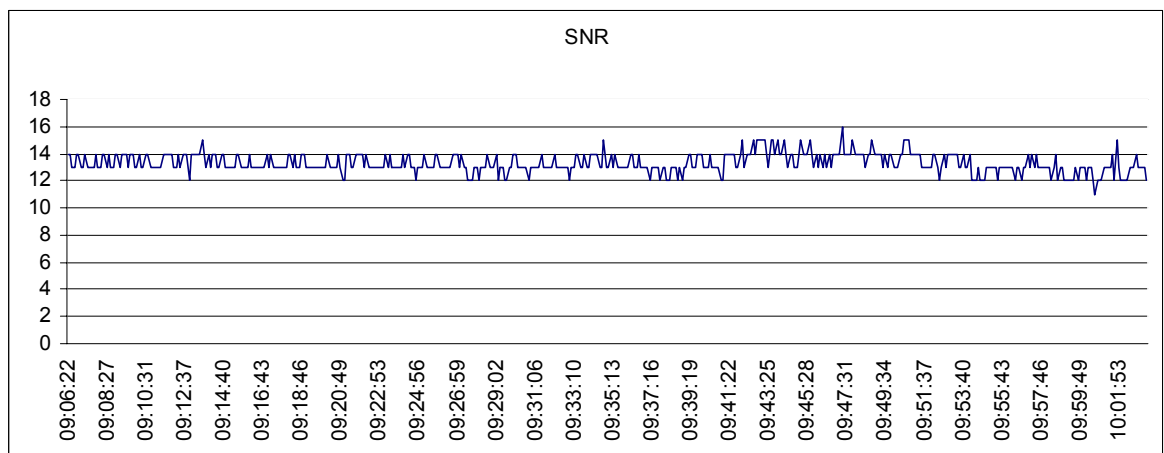
Ambas as eficiências continuam estáveis, porém apresentam queda acentuada em função de possíveis obstruções na primeira zona de Fresnel.



**Figura 26 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P09\_02**



**Figura 27 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P09\_02**

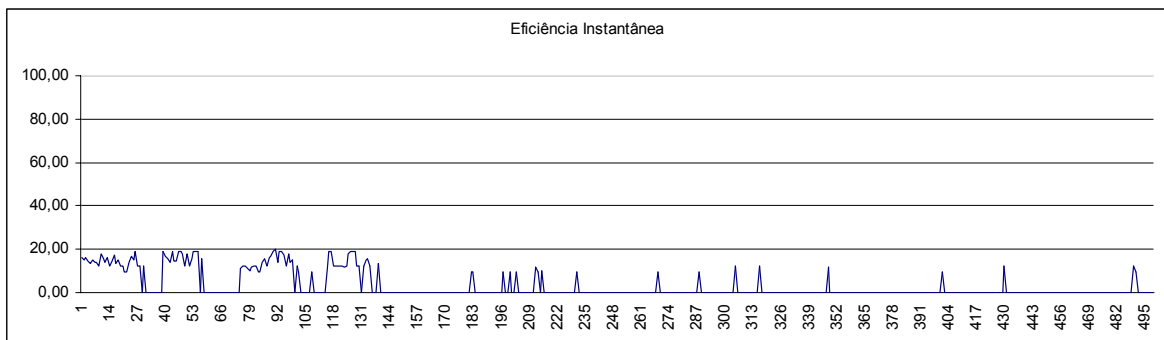


**Figura 28 - Relação SNR medida para o ponto P09\_02**

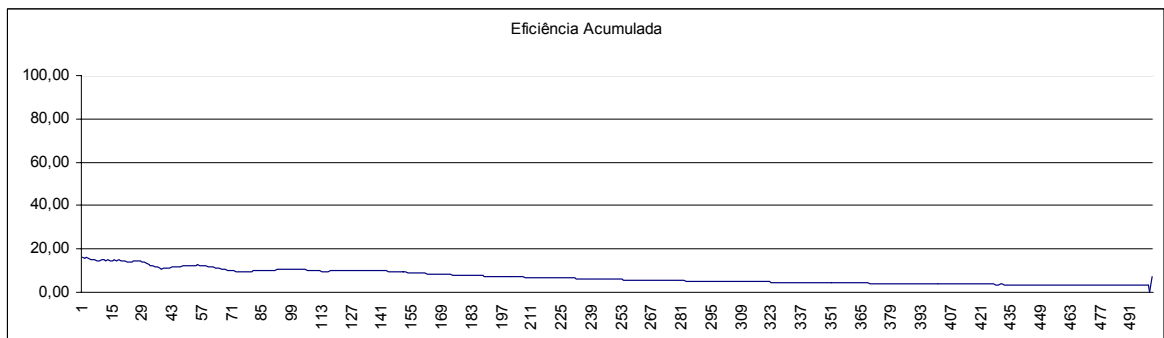
Para o terceiro cenário, ou seja, condição do enlace com propagação sem linha de visada – NLOS será exemplificado através do ponto P10A\_03A,

onde também são apresentados os gráficos de eficiência instantânea, acumulada e da relação SNR respectivamente nas Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

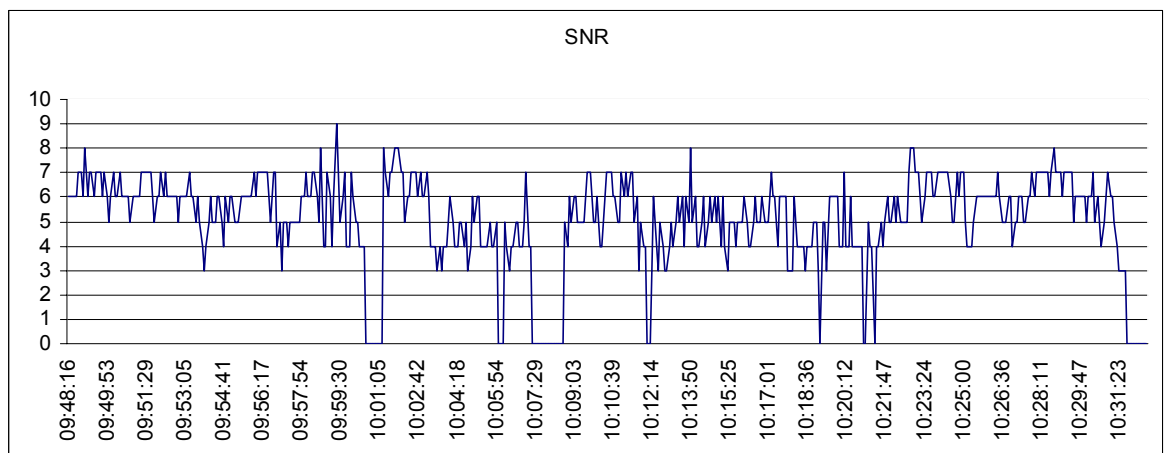
Observa-se agora que, temos uma baixa relação SNR, na faixa de 5,04 [dB] com desvio padrão grande de 1,91 [dB], enquanto que a eficiência instantânea caiu para a o entorno de 3,18% com desvio padrão de 6,03% e a eficiência acumulada estando em torno de 7,02% com desvio padrão de 3,34%.



**Figura 29 - Eficiência Instantânea obtida para o ponto P10A\_03A**



**Figura 30 - Eficiência Acumulada obtida para o ponto P10A\_03A**



**Figura 31 - Relação SNR medida para o ponto P10A\_03A**

Pode-se constatar também a instabilidade verificada na eficiência deste enlace sem linha de visada, causada pelas obstruções no percurso e pelos efeitos da propagação multipercurso.

Todos os gráficos de Eficiência Instantânea, Eficiência Acumulada e da relação SNR resultantes dos testes realizados nos diversos pontos de teste do site, estão apresentados no ANEXO D.

### **5.3. A relação entre SNR e a Eficiência da Rede**

Em diversas investigações quantitativas deseja-se avaliar a relação entre duas medidas obtidas de variáveis distintas. Em geral, busca-se, dentre outros objetivos, verificar se as variáveis estão correlacionadas, isto é, se os valores de uma delas tendem a crescer (ou decrescer) à medida que os valores da outra crescem; prever o valor de uma variável a partir de um valor conhecido da outra; ou mesmo, descrever a relação entre as variáveis, ou seja, a partir de um aumento específico em uma variável, conhecer qual o crescimento médio esperado para a outra variável.

Objetiva-se aqui demonstrar a relação existente entre a Relação Sinal-Ruído (SNR) presente em cada ponto de medidas, para o equipamento em teste, e a Eficiência da Rede  $[E(\Delta T)\%]$  calculada através da Equação 11 de acordo com Branquinho (2007).

Para isto foram utilizados os valores médios medidos da SNR em cada ponto de acordo com a condição do enlace verificado, isto é, se LOS, NLOS ou PLOS, bem como os valores médios da Eficiência da Rede  $[E(\Delta T)\%]$  e que estão apresentados nas Tabela 3, Tabela 5 e Tabela 7 respectivamente.

**Tabela 3 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e  $E(\Delta T)\%$  para a condição de enlace LOS**

Ponto	Distância	SNR	Beta ( $\beta$ )	Efic. Inst.	Efic. Acum.	Condição
				Média	Média	Link
P08_02	976	41,60	2,31	99,28	98,01	LOS
P11A_02A	1240	27,45	3,49	99,59	99,69	LOS
P12_04	1490	19,14	4,01	66,61	67,58	LOS
P08_03	1140	21,55	4,24	75,14	75,04	LOS
P10_02	1000	21,95	4,47	80,24	83,98	LOS

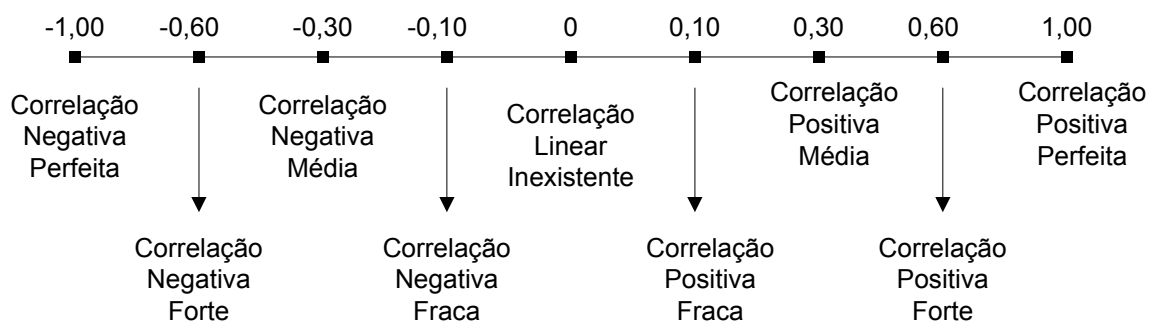
**Tabela 4 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação LOS**

	<i>Distância</i>	<i>SNR</i>	<i>Beta (<math>\beta</math>)</i>	<i>Efic. Inst. Média</i>	<i>Efic. Acum. Média</i>
Distância	1				
SNR	-0,57	1			
Beta ( $\beta$ )	0,29	-0,95	1		
Efic. Inst. Média	-0,53	0,81	-0,74	1	
Efic. Acum. Média	-0,56	0,77	-0,68	0,99	1

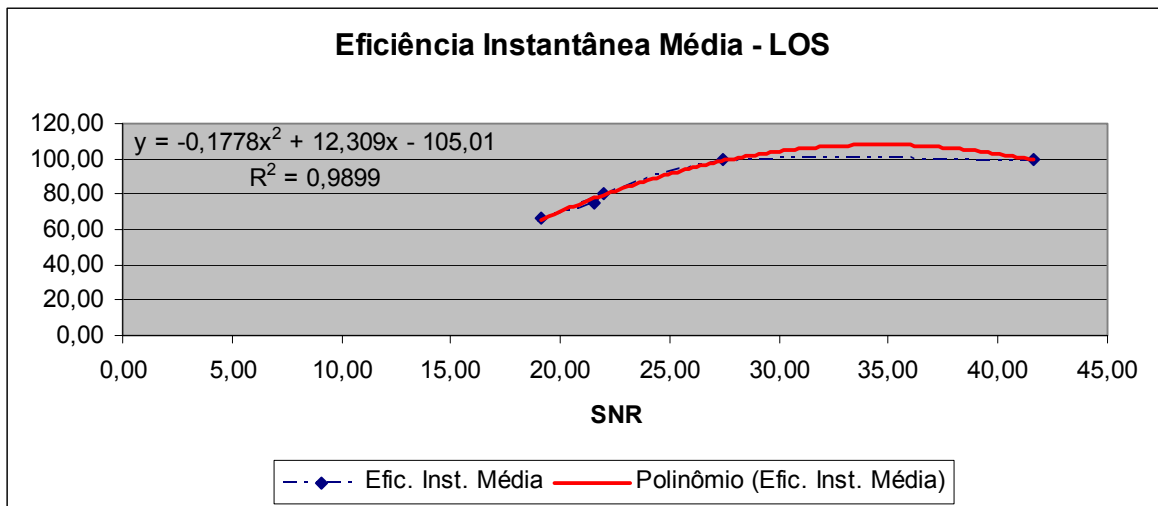
As Figura 33 e Figura 34 apresentam respectivamente os gráficos de dispersão entre a relação SNR e a Eficiência Instantânea e também entre a SNR e a Eficiência Acumulada. Apresenta ainda a Equação da Regressão para estas variáveis e o Coeficiente de Determinação, aqui denotado por  $R^2$ , o qual fornece uma idéia de quão bem a Linha de Tendência (em vermelho nas figuras) se ajusta aos dados. Neste caso, consideram-se somente os enlaces em condição de propagação com linha de visada – LOS.

A Tabela 4 nos fornece a correlação existente entre a SNR e as Eficiências Instantânea e Acumulada para estes enlaces em LOS.

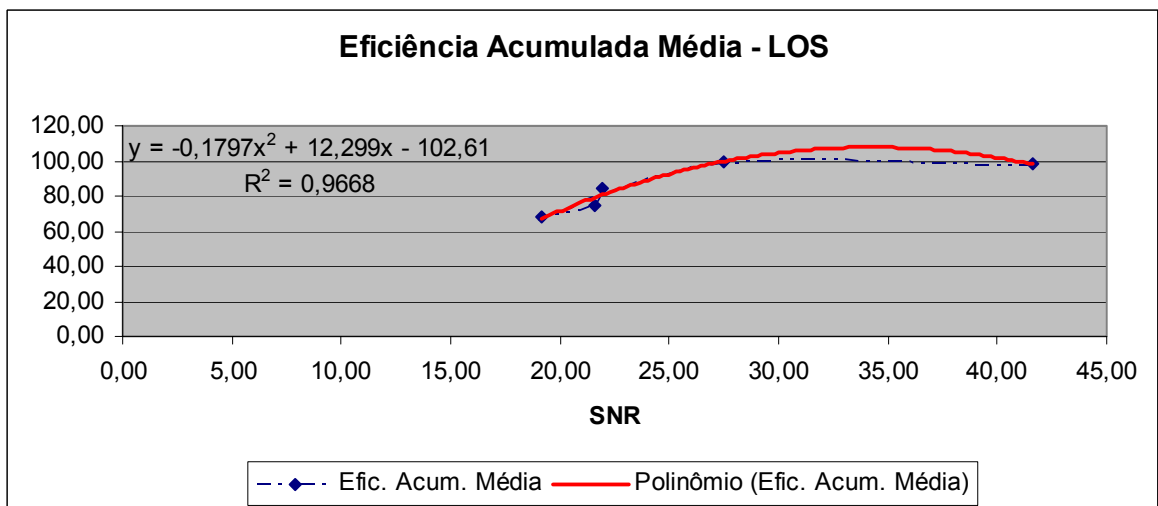
Para análise dos valores de correlação verificados, utiliza-se a escala apresentada na Figura 32, cujos valores variam entre -1,0 até +1,0, significando desde uma correlação negativa perfeita até uma correlação positiva perfeita.



**Figura 32 - Escala de valores de correlação**  
 Fonte: Levin (2004) adaptado



**Figura 33 - Gráfico de Dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em LOS**



**Figura 34 - Gráfico de Dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em LOS**

Da mesma forma, as Figura 35 e Figura 36 demonstram estes mesmos gráficos entre as variáveis mencionadas, vislumbrando-se apenas os enlaces com condição de propagação sem linha de visada – NLOS, enquanto a Tabela 6 fornece a correlação entre a SNR e as Eficiências Instantânea e Acumulada para os enlaces em condição de visada NLOS.

E as Figura 37 e Figura 38 exibem os gráficos já citados para os enlaces com condição de propagação do enlace em linha de visada parcial – PLOS, tendo na Tabela 8 a correlação entre a SNR e as Eficiências Instantânea e Acumulada para estes enlaces.

**Tabela 5 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e E( $\Delta T$ )% para a condição de enlace NLOS**

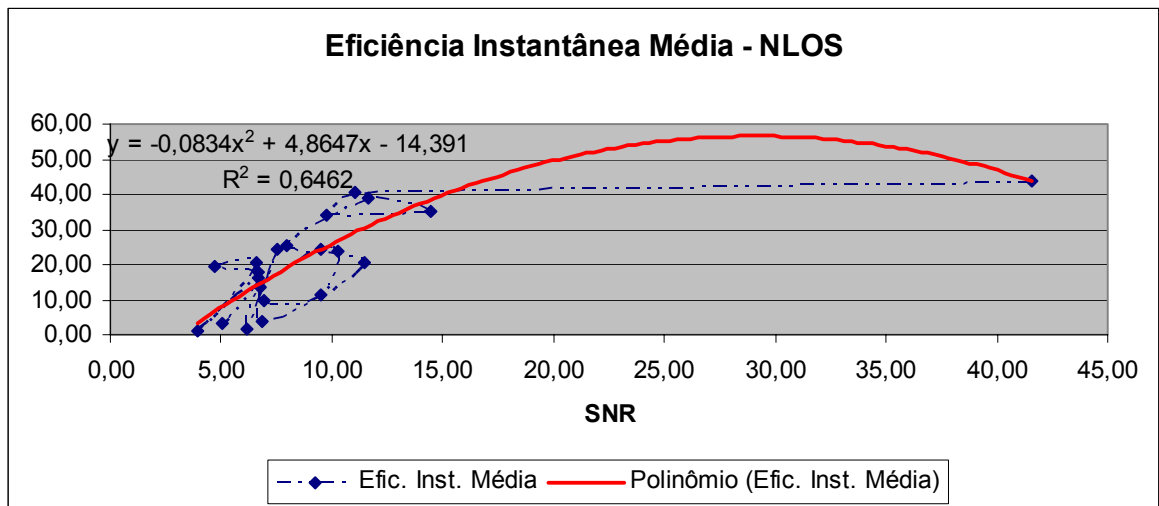
Ponto	Distância	SNR	Beta ( $\beta$ )	Efic. Inst.	Efic. Acum.	Condição
				Média	Média	Link
P10_05	1310	41,60	2,02	43,76	44,65	NLOS
P09A_06A	1600	11,06	4,63	40,43	42,38	NLOS
P09_08	1630	9,75	4,71	33,94	32,81	NLOS
P10_04	1210	14,43	4,86	35,35	35,09	NLOS
P08A_05A	1360	11,60	4,89	38,92	39,16	NLOS
P10A_06A	1610	7,93	4,90	25,18	25,15	NLOS
P09_06	1360	11,45	4,91	20,42	22,00	NLOS
P10_07	1650	6,84	4,95	3,79	2,93	NLOS
P11A_04A	1500	7,56	5,07	24,25	24,35	NLOS
P09_07	1460	6,19	5,26	1,51	1,68	NLOS
P11A_03A	1420	6,76	5,26	13,50	19,95	NLOS
P08A_04A	1220	9,51	5,34	24,17	24,55	NLOS
P10_03	1090	10,30	5,53	23,61	22,91	NLOS
P12_01	1120	9,47	5,55	11,22	7,25	NLOS
P11_03	1210	6,93	5,62	9,76	8,51	NLOS
P09_05	1180	6,69	5,71	18,02	18,53	NLOS
P08_04	1280	4,67	5,71	19,72	19,39	NLOS
P08A_03A	1160	6,58	5,76	20,47	19,56	NLOS
P10A_04A	1260	3,93	5,82	0,97	1,87	NLOS
P09A_02A	1120	6,71	5,84	15,96	16,46	NLOS
P10A_03A	1160	5,04	5,92	3,18	7,02	NLOS

**Tabela 6 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação NLOS**

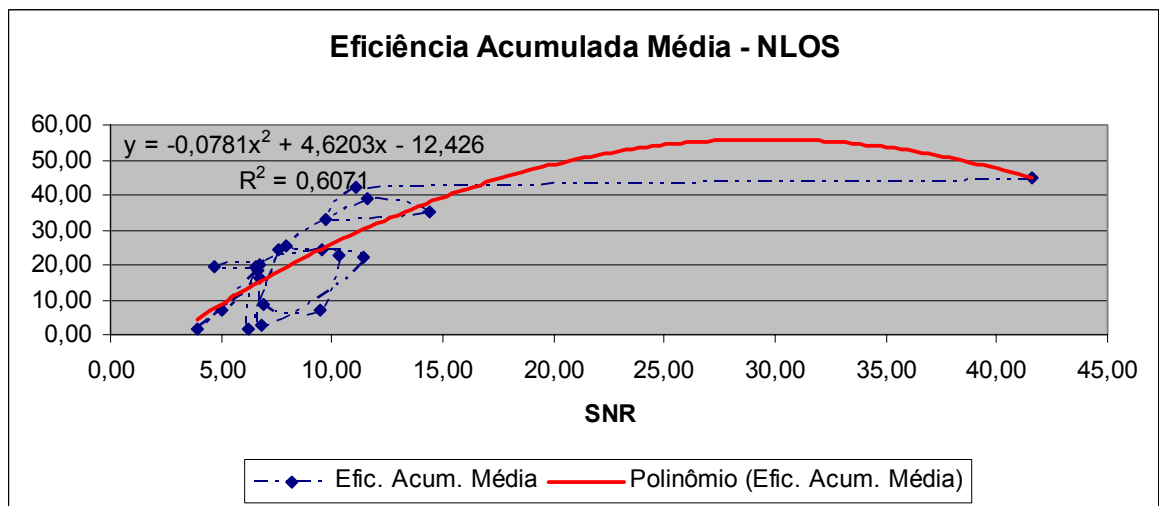
	<i>Distância</i>	<i>SNR</i>	<i>Beta (<math>\beta</math>)</i>	<i>Efic. Inst. Média</i>	<i>Efic. Acum. Média</i>
Distância	1				
SNR	0,00	1			
Beta ( $\beta$ )	-0,36	-0,93	1		
Efic. Inst. Média	0,19	0,62	-0,64	1	
Efic. Acum. Média	0,21	0,62	-0,65	0,99	1

Pode-se verificar que, para os enlaces com condição de propagação em linha de visada – LOS tem-se uma correlação positiva forte, na ordem de 0,81 e 0,77 entre a Relação Sinal Ruído e as Eficiências Instantânea e Acumulada, respectivamente, como era esperado, uma vez que não há obstrução do sinal. Os valores médios verificados para as eficiências são de 84% apresentando uma rede estável e eficiente.





**Figura 35 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em NLOS**



**Figura 36 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em NLOS**

Este é o caso também verificado para os enlaces com condição parcial de visada – PLOS, onde a correlação positiva forte (quase perfeita) é da ordem de 0,97 para ambas as Eficiências, Instantânea e Acumulada, o que também era esperado, já que as obstruções sofridas pelo sinal são pequenas. Nota-se uma rede também estável e bastante eficiente, com valores médios de eficiência em torno de 89%.

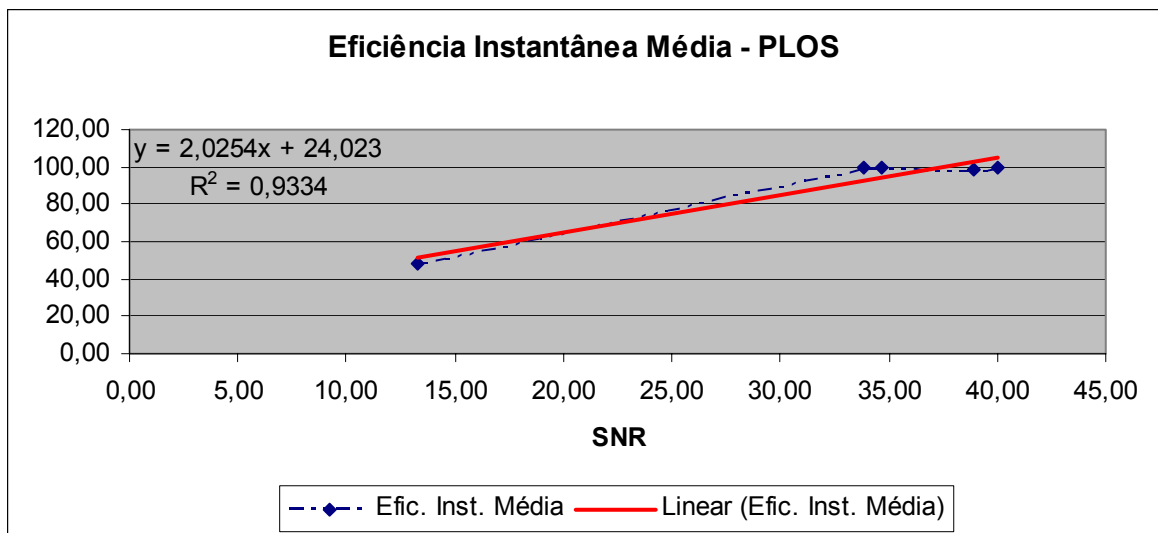
**Tabela 7 - Valores médios de SNR, Beta ( $\beta$ ) e  $E(\Delta T)\%$  para a condição de enlace PLOS**

Ponto	Distância	SNR	Beta ( $\beta$ )	Efic. Inst.	Efic. Acum.	Condição Link
				Média	Média	
P08A_02A	977	40,06	2,48	99,18	99,70	PLOS
P09_03	951	38,92	2,65	98,93	99,11	PLOS
P09_04	1090	34,64	2,94	99,31	99,54	PLOS
P10A_02A	1030	33,83	3,10	99,91	99,96	PLOS
P09_02	860	13,31	5,85	48,40	48,89	PLOS

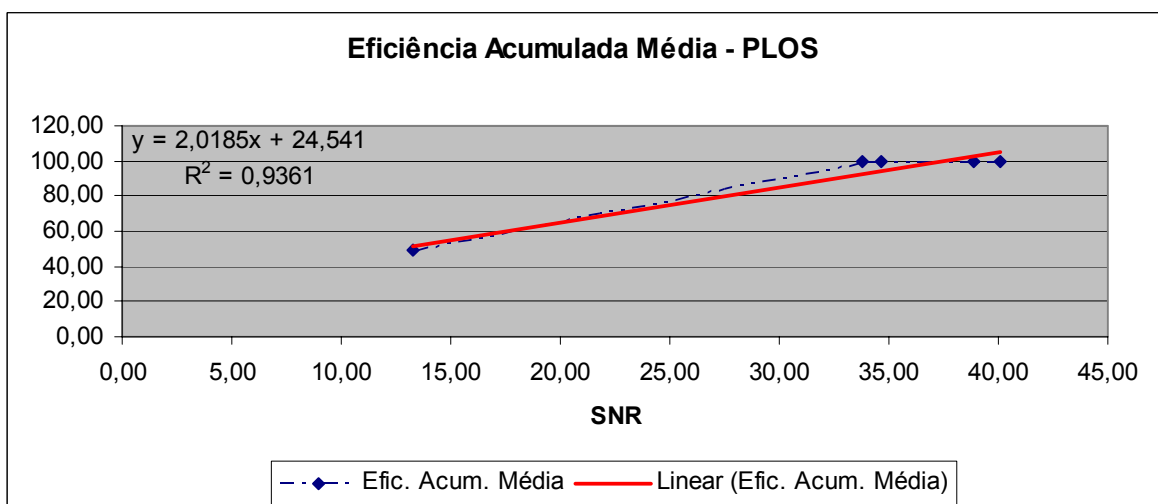
**Tabela 8 - Correlação verificada entre Distância, SNR, Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para condição de propagação PLOS**

	<i>Distância</i>	<i>SNR</i>	<i>Beta (<math>\beta</math>)</i>	<i>Efic. Inst. Média</i>	<i>Efic. Acum. Média</i>
Distância	1				
SNR	0,64	1			
Beta ( $\beta$ )	-0,70	-1,00	1		
Efic. Inst. Média	0,79	0,97	-0,98	1	
Efic. Acum. Média	0,79	0,97	-0,98	1,00	1

Porém, para os enlaces sem linha de visada – NLOS, os valores verificados são da ordem de 0,62 em ambos os casos, demonstrando uma correlação positiva forte entre a SNR e as Eficiências citadas, em função das obstruções e dos multipercursos ocorridos nos enlaces (inferior às demais). Para estes enlaces, têm-se a eficiência média da ordem de 20% em ambos os casos.



**Figura 37 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em PLOS**



**Figura 38 - Gráfico de dispersão entre SNR e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em PLOS**

#### 5.4. A relação entre BETA ( $\beta$ ) e a Eficiência da Rede

Busca-se aqui também, avaliar como a variação do parâmetro  $\beta$  se relaciona com as eficiências da rede calculadas pela expressão já citada.

A Tabela 3, a Tabela 5 e a Tabela 7, já citadas, apresentam ainda os valores das distâncias, medidas com o GPS, entre a BS e cada um dos pontos de teste, bem como o valor de Beta ( $\beta$ ) para cada ponto, calculado segundo a Equação 10, de acordo com a condição de visada dos enlaces, se LOS, NLOS ou PLOS, respectivamente.

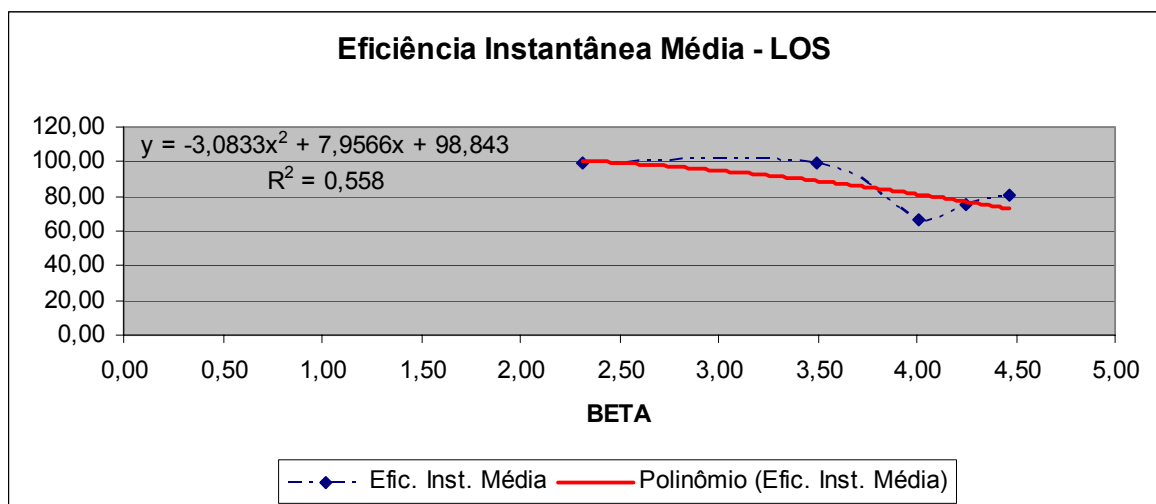


Figura 39 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em LOS

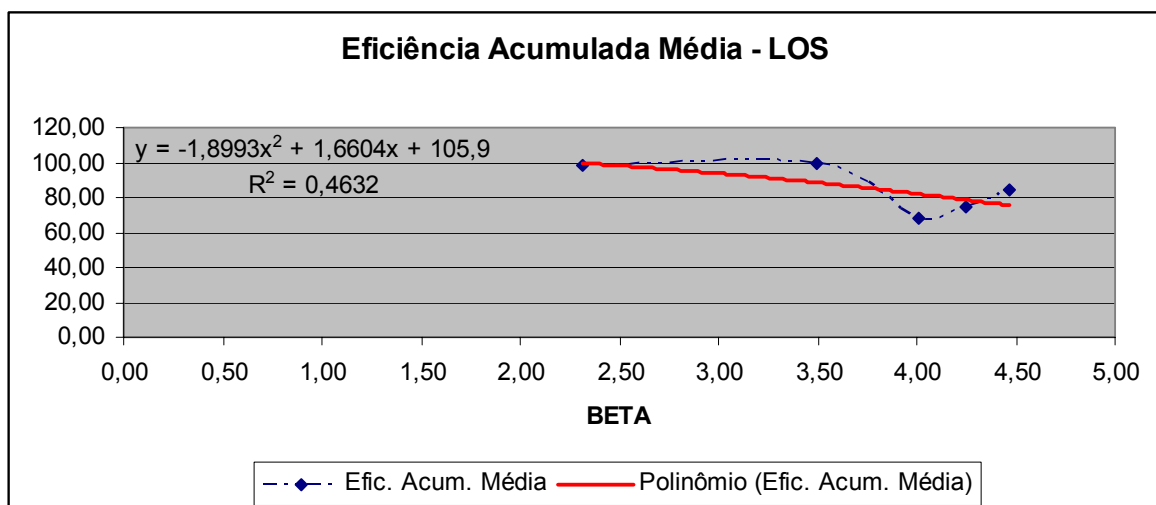


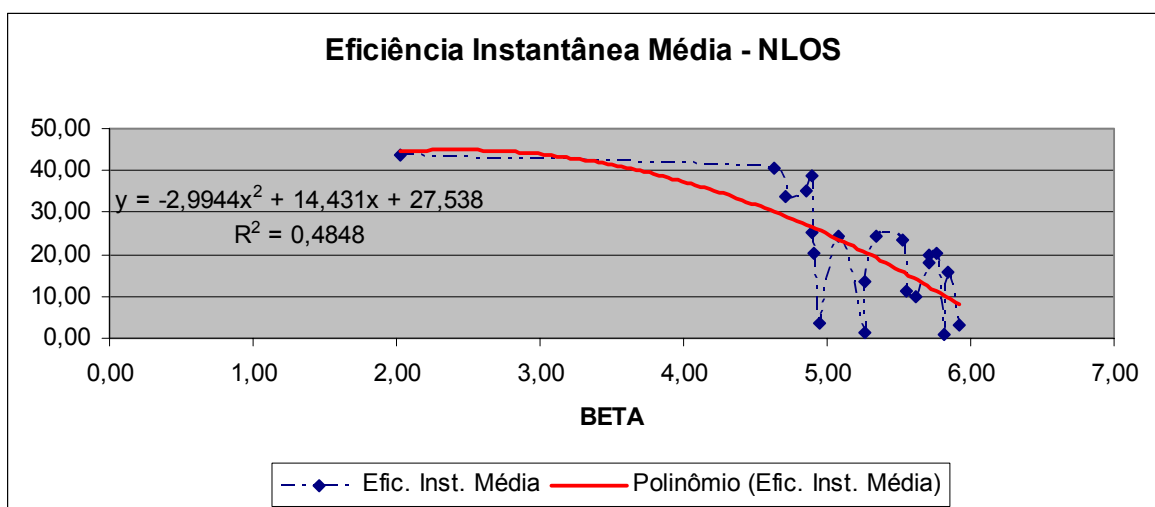
Figura 40 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em LOS

Também, a Tabela 4, a Tabela 6 e a Tabela 8 apresentam as correlações existentes entre os valores de Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada para as mesmas condições de visada dos enlaces, ou seja, LOS, NLOS ou PLOS, respectivamente.

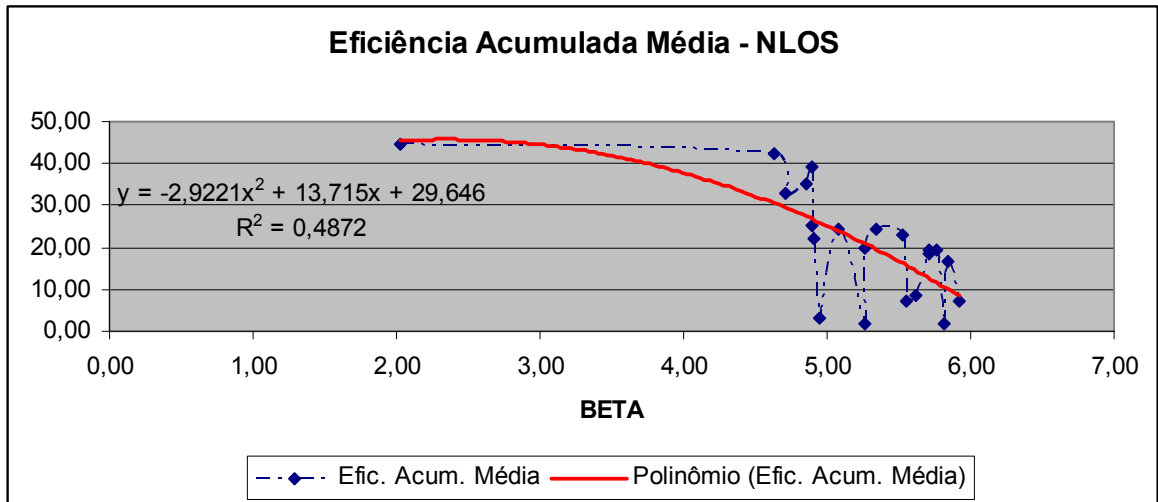
Para os enlaces com propagação em linha de visada – LOS, constata-se da Tabela 4 que existe uma correlação negativa forte entre o Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada, respectivamente, de -0,74 e -0,68.

As Figura 39 e Figura 40 apresentam respectivamente os gráficos de dispersão entre o BETA ( $\beta$ ) e a Eficiência Instantânea e também entre o BETA ( $\beta$ ) e a Eficiência Acumulada. Apresenta ainda a Equação da Regressão para estas variáveis e o Coeficiente de Determinação, aqui denotado por  $R^2$ , o qual fornece uma idéia de quanto as variações da Eficiência são explicadas pelo BETA ( $\beta$ ), ou seja, quão bem a Linha de Tendência (em vermelho nas figuras) se ajusta aos dados. Neste caso, consideram-se somente os enlaces em condição de propagação com linha de visada – LOS.

Em relação aos enlaces com propagação sem linha de visada – NLOS, constata-se da Tabela 6 que existe uma correlação negativa e forte entre o Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada, de -0,64 e -0,65, respectivamente.

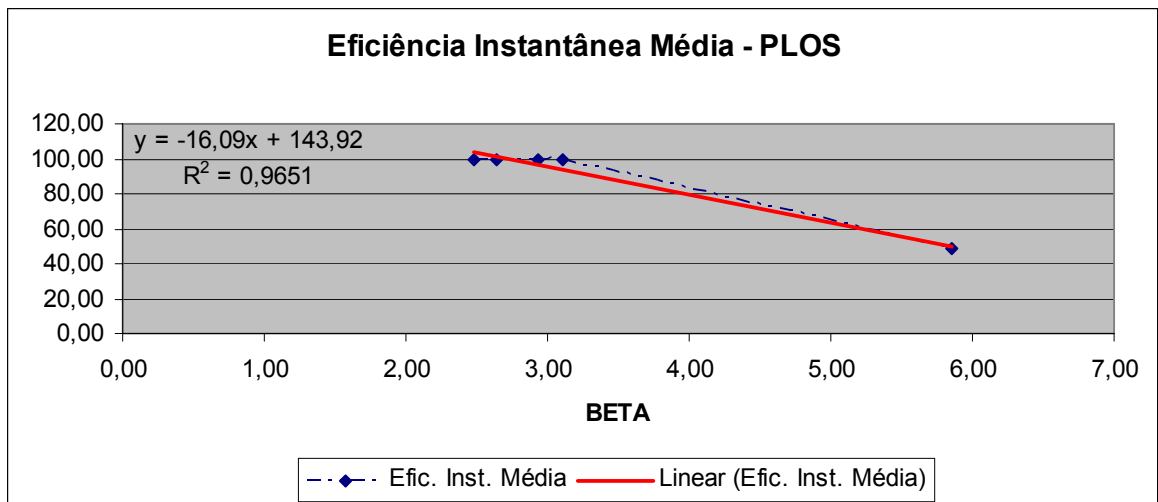


**Figura 41 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em NLOS**

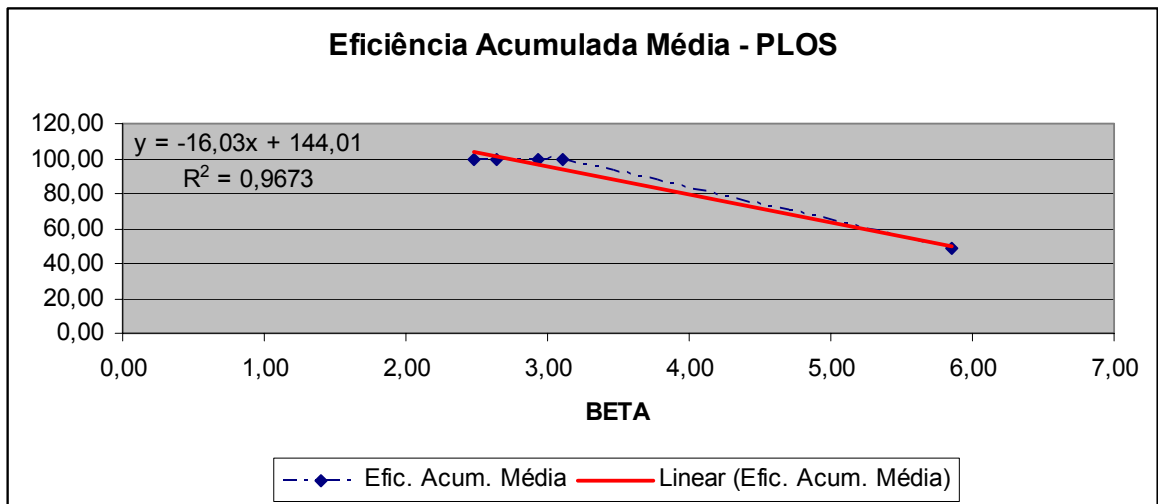


**Figura 42 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em NLOS**

As Figura 41 e Figura 42 apresentam respectivamente os gráficos de dispersão entre o BETA ( $\beta$ ) e a Eficiência Instantânea e Acumulada, bem como a Equação da Regressão para estas variáveis e o Coeficiente de Determinação, para o caso dos enlaces em condição de propagação sem linha de visada – NLOS.



**Figura 43 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Instantânea Média para os enlaces em PLOS**



**Figura 44 - Gráfico de dispersão entre BETA e a Eficiência Acumulada Média para os enlaces em PLOS**

Em relação aos enlaces com propagação em linha de visada parcial – PLOS, constata-se da Tabela 8 que existe uma correlação negativa bastante forte (quase perfeita) entre o Beta ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada, em ambos os casos de -0,98.

Já as Figura 43 e Figura 44 mostram os gráficos de dispersão entre o BETA ( $\beta$ ) e as Eficiências Instantânea e Acumulada, respectivamente, para os enlaces com linha de visada parcial – PLOS, ambas na faixa de 89%.

Os resultados verificados mostram que é possível obter-se o desempenho do equipamento sob teste, sob o ponto de vista de sua eficiência, para aquelas diferentes condições de propagação mencionadas.

Todos estes resultados foram obtidos sempre nos mesmos horários (entre 09h00min. e 15h00min.) e para as mesmas condições climáticas (sol e temperatura entre 22° e 27°).

## 6 CONCLUSÕES

---

Dado que o objetivo deste trabalho consistia na possibilidade do desenvolvimento de um método capaz de avaliar equipamentos de uma WMAN<sup>44</sup> em termos de cobertura e desempenho, retratado através de sua eficiência, ficou comprovado através dos resultados aqui apresentados como verdadeira a hipótese levantada.

O método proposto se mostrou confiável uma vez que apresentou resultados condizentes com a expectativa de desempenho do equipamento e em conformidade com o ambiente utilizado nos testes.

A partir dos resultados verificados para o equipamento testado, pode-se conceber o teste de outros equipamentos de fabricantes diversos, obtendo-se resultados similares.

Da confrontação destes resultados é possível obter-se informações sobre qual equipamento melhor se adapta às aquelas condições de operação impostas pelo site.

A importância deste trabalho neste momento se deve à proximidade da licitação das licenças para exploração dos serviços de banda larga sem fio através da tecnologia WiMAX.

Neste contexto, o site se apresenta como alternativa para as empresas interessadas na utilização desta tecnologia de realizarem testes em equipamentos de diferentes fabricantes buscando a melhor opção dentre eles.

Como proposta de novos trabalhos a serem desenvolvidos, pode-se cogitar na realização dos novos testes , aumentando-se a quantidade de pontos, ou mesmo através de simulações computacionais, cujo objetivo seja determinar

---

<sup>44</sup> Wireless Metropolitan Network

com maior precisão o valor de BETA ( $\beta$ ), e conseqüentemente as áreas delimitadas por faixas.

Outra possibilidade está na utilização de equipamentos voltados para mobilidade, uma vez que seus padrões estão em definição pelo IEEE.



## 7 REFERÊNCIAS

---

Agilent Technologies, *RF measurements for WiMAX (802.16-2004)*, Disponível em <http://www.agilent.com> , Acesso em: 20/03/2007

AUTOIT, *AutoIt Script*. disponível em: <http://www.autoitscript.com/> , acesso em 20/03/2007.

BAHAI, A. R. S., *et al*, *Multi-Carrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM*, New York: Springer Science, 2004. 411p.

BRANQUINHO, O. C. *et al*, *Efficiency Evaluation of WMAN Network Operating in 5,8 GHz*. Proceedings of The International Workshop on Telecommunications – IWT07, 2007 pg. 275-281.

CELPLANNER, *CelPlan® Wireless Global Technologies*. disponível em: <http://www.celplan.com.br/home.htm> , acesso em 20/03/2007.

DIAS, B. Z. *Protocolo de Gerenciamento SNMP*, CBPF-NT-006/01 de 09/07/2002, Disponível em: <http://mesonpi.cat.cbpf.br/naj> ou em: <http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00601.pdf> , Acesso em: 20/03/2002.

ERCEG, V. *et al*, *An Empirically-Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments*, IEEE Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 7, 1999.

GOES, A. A.; *et al*, *Qualidade de Serviços (QoS) com os Produtos da ALVARION para Rádio Enlace WiMAX (IEEE 802.16d – 5,8 GHz)*, Trabalho de Iniciação Científica da PUC Campinas, 2006, 74p.

GOOGLE, *Google Earth*. Disponível em <http://earth.google.com/intl/pt-br> , acessado em 20/03/2007,

IPERF, *NLANR Distributed Applications Support Team*. disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/lperf/> , acesso em 20/03/2007.

LEVIN, J.; FOX, A. J., *Estatística para Ciências Humanas*. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 497p.

LOPES, R. Q. *et all. Melhores Práticas para Gerência de Redes de Computadores*. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 373p.

PINTO, E. L.; ALBUQUERQUE, C. P.; *A Técnica de Transmissão OFDM*, Rio de Janeiro, Revista Científica Periódica – Telecomunicações, 2002, 10p.

PROXIM Wireless Position Paper, *Advantages of Time Division Duplex (TDD) for Broadband Wireless in Last-Mile Applications*, Disponível em <http://www.proxim.com> , Acesso em 20/03/2007.

RAPPAPORT, T. S. *Propagation and System Design Issues in Mobile Radio Systems for the GloMo Project*. IEEE, 1997

RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications – Principles and Practice*. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 641p.

SILVA, G. e BARRADAS, O., *Sistemas Radiovisibilidade*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978. 848p.

SOLECTEK White Paper, *Non-Line of Sight: Technology & Implementation*. Disponível em: <http://www.tessco.com/yts/customerservice/techsupport/whitepapers/pdf/205nlos.pdf> , acesso em 20/03/2007.

STALLINGS, W. *Wireless Communications and Networking*, New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 584p.

WiMAX Forum, *IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access*, Disponível em: <http://www.wimaxforum.com> , Acesso em: 20/03/2007a.

WiMAX Fórum Whitepaper, *WiMAX's technology for LOS and NLOS environments*, Disponível em <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf> , Acesso em: 20/03/2007b.

WiMAX Forum, *WiMAX's technology for LOS and NLOS environments*. Disponível em: <http://www.wimaxforum.com>. Acesso em: 20/03/2007c.

YACOUB, M. D. *Foundations of Mobile Radio Engineering*, London: CRC Press, 1993. 481p.

## 8 ANEXOS

---

### 8.1. ANEXO A – Ferramenta GetMIB

```
cd \  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.1.10.0 >>  
C:\alvarion\OID3.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.1.8.0 >>  
C:\alvarion\OID4.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.1 >>  
C:\alvarion\OID5.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.2 >>  
C:\alvarion\OID6.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.3 >>  
C:\alvarion\OID7.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.4 >>  
C:\alvarion\OID8.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.5 >>  
C:\alvarion\OID9.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.6 >>  
C:\alvarion\OID10.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.7 >>  
C:\alvarion\OID11.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.3.8 >>  
C:\alvarion\OID12.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.1 >>  
C:\alvarion\OID13.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.2 >>  
C:\alvarion\OID14.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.3 >>  
C:\alvarion\OID15.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.4 >>  
C:\alvarion\OID16.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.5 >>  
C:\alvarion\OID17.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.6 >>  
C:\alvarion\OID18.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.7 >>  
C:\alvarion\OID19.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.2.1.4.8 >>  
C:\alvarion\OID20.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.5.3.0 >>  
C:\alvarion\OID21.txt
```

```
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.1.0 >>  
C:\alvarion\OID22.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.3.1.4.0 >>  
C:\alvarion\OID23.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.3.2.0 >>  
C:\alvarion\OID24.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.3.4.0 >>  
C:\alvarion\OID25.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.11.2.3.7.0 >>  
C:\alvarion\OID26.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.6.23.0 >>  
C:\alvarion\OID27.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.4.1.12394.1.1.6.24.0 >>  
C:\alvarion\OID28.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.2.1.2.2.1.10.1 >>  
C:\alvarion\OID29.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.2.1.2.2.1.10.2 >>  
C:\alvarion\OID30.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.2.1.2.2.1.16.1 >>  
C:\alvarion\OID31.txt  
snmpget -Ovq -v 1 -c public 10.2.2.201 .1.3.6.1.2.1.2.2.1.16.2 >>  
C:\alvarion\OID32.txt
```

## **8.2. ANEXO B – Comandos IPERF para disparo de tráfego**

Comando para configuração do servidor, considerando-se um tráfego UDP, tempo de disparo de tráfego de 4000 segundos, com intervalos de disparo de 1 segundo. Os dados resultantes serão armazenados no arquivo .txt no final.

```
c:\iperf>iperf -s -u -t 4000 -i 1 >> c:\iperf\ponto_data_hora_direção.txt
```

Comando para configuração da estação cliente, considerando-se o endereço IP da máquina onde se encontrava o servidor, para estabelecimento da seção de tráfego, sendo este tráfego UDP, o tempo de disparo de tráfego de 4000 segundos com intervalos de 1 segundo e uma banda de 6 Mbps.

```
c:\iperf>iperf -c 10.2.2.245 -u -b 6m -t 4000 -i 1
```

### 8.3. ANEXO C – Script do Autolt para coleta de medidas

```

#include <Process.au3>
#include <Date.au3>

;#####

$NUMERO_MEDIDAS = InputBox ("Teste Alvarion", "Entre com o numero de
medidas de teste", "", "")
$PONTO = InputBox ("Teste Alvarion", "Entre com o ponto de teste", "", "")
$DATA = InputBox ("Teste Alvarion", "Entre com a data do teste", "", "")
$HORA = InputBox ("Teste Alvarion", "Entre com a hora do teste", "", "")
$SENTIDO = InputBox ("Teste Alvarion", "Entre com o sentido do teste", "", "")

;#####

$i = 1
While $i <= $NUMERO_MEDIDAS

    $file = FileOpen("C:\alvarion\Data.txt", 1)
    If $file = -1 Then
        MsgBox(0, "Error", "Unable to open file.")
        Exit
    EndIf
    FileWriteLine($file, _NowDate())
    FileClose($file)

    $file = FileOpen("C:\alvarion\Hora.txt", 1)
    If $file = -1 Then
        MsgBox(0, "Error", "Unable to open file.")
        Exit
    EndIf
    FileWriteLine($file, _NowTime())
    FileClose($file)

    RunWait ("C:\alvarion\SNMPGet_Nomade.bat", "", @SW_HIDE)
    $i = $i + 1
WEnd

;#####

$i = 1
While $i <= $NUMERO_MEDIDAS
    $j = 1
    Dim $med[1][64]
    While $j <= 32

```

```

if $j = 1      Then
    $file = FileOpen("C:\alvarion\Data.txt",0)
    If $file = -1 Then
        MsgBox (0, "Error", "Unable to open file.")
        Exit
    EndIf
;sleep (50)
$med[0][$j] = FileReadLine ($file,$i)
    If @error = -1 Then
        MsgBox (0, "Line read:", $med[0][$j])
    EndIf
EndIf
FileClose ($file)

if $j = 2      Then
    $file = FileOpen("C:\alvarion\Hora.txt",0)
    If $file = -1 Then
        MsgBox (0, "Error", "Unable to open file.")
        Exit
    EndIf
;sleep (50)
$med[0][$j] = FileReadLine ($file,$i)
    If @error = -1 Then
        MsgBox (0, "Line read:", $med[0][$j])
    EndIf
EndIf
FileClose ($file)

if $j > 2      Then
    $file = FileOpen("C:\alvarion\OID" & $j & ".txt",0)
    If $file = -1 Then
        MsgBox (0, "Error", "Unable to open file.")
        Exit
    EndIf
;sleep (50)
$med[0][$j] = FileReadLine ($file,$i)
    If @error = -1 Then
        MsgBox (0, "Line read:", $med[0][$j])
    EndIf
EndIf
FileClose ($file)
$j = $j + 1
WEnd

```

```

;#####

```

```

if $i = 1 then
    Run ("C:\alvarion\abrepasta.bat", "", @SW_HIDE)
endif
WinActivate("Microsoft Excel - teste", "")

```



```

WinWaitActive ("Microsoft Excel - teste")
$j = 1
While $j <= 32
    send ($med[0][$j] & "{RIGHT}")
    $j = $j + 1
WEnd
send ("{ENTER}" & "{HOME}")
$i = $i + 1
WEnd

;#####

Send("!a")
Send("c")
WinWaitActive("Salvar como")
Send($PONTO & "_" & $DATA & "_" & $HORA & "_" & $SENTIDO)
Send("{Enter}")
WinActivate("Microsoft Excel - " & $PONTO & "_" & $DATA & "_" & $HORA & "_"
& $SENTIDO, "")
WinWaitActive("Microsoft Excel - " & $PONTO & "_" & $DATA & "_" & $HORA &
"_" & $SENTIDO)
Send("!a")
Send("r")
sleep (1000)
;#####

RunWait("C:\alvarion\apaga_txt.bat", "", @SW_HIDE)

MsgBox(0, "Teste Alvarion", "O Script foi executado com sucesso!!!")

```

### 8.4. ANEXO D – Gráficos de SNR, Eficiência Instantânea e Eficiência Acumulada para os pontos de teste

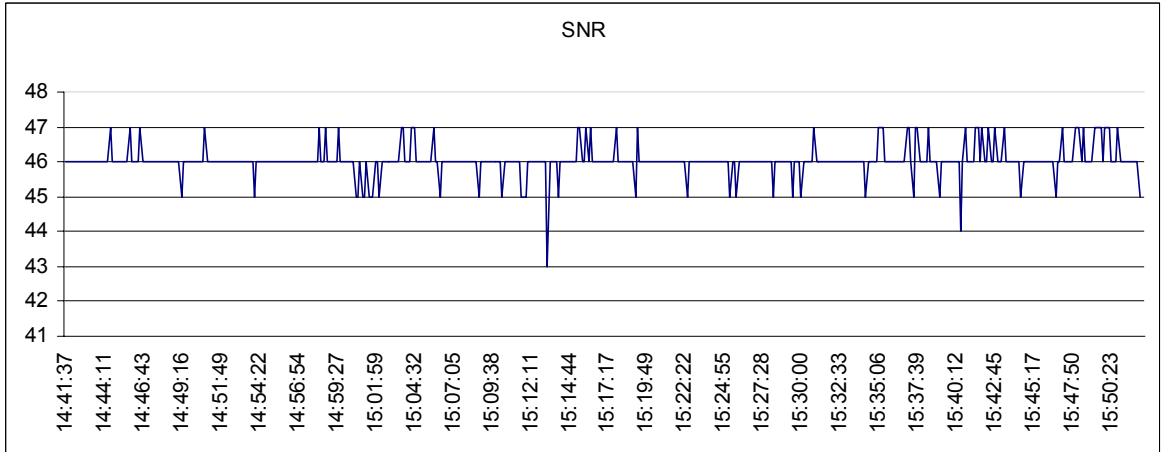


Figura 45 - Relação SNR para o ponto P08\_01

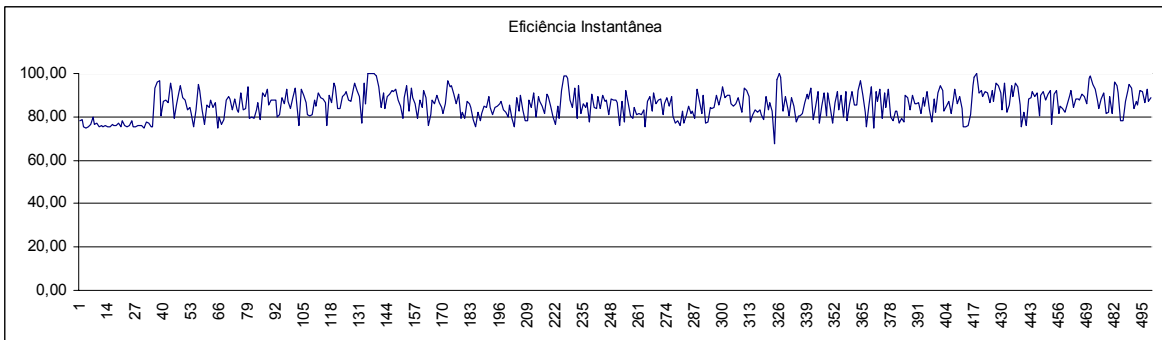


Figura 46 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08\_01

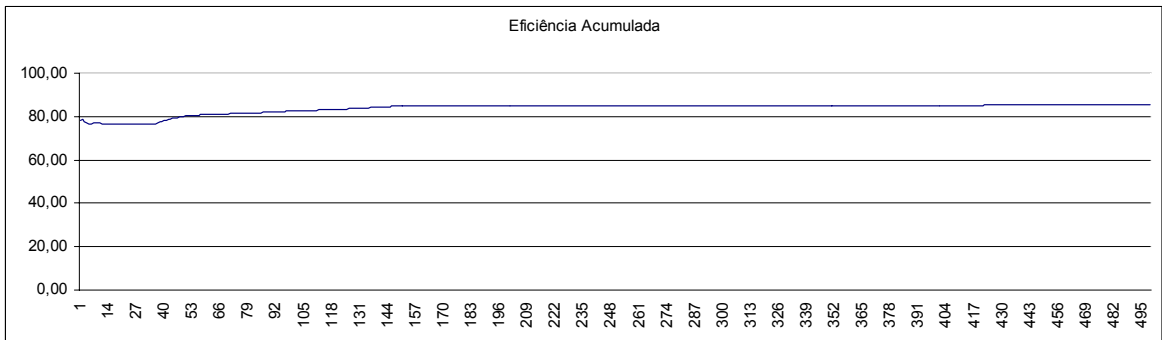
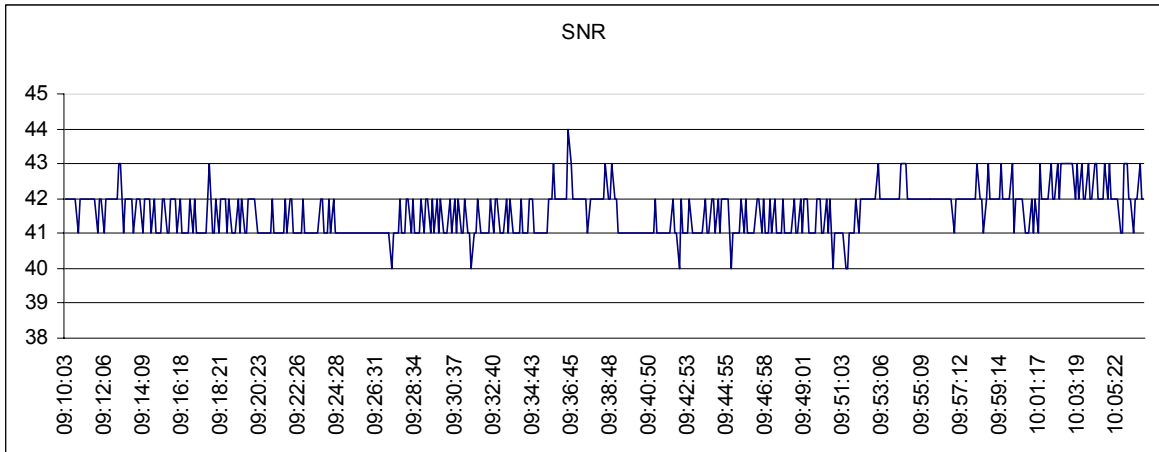
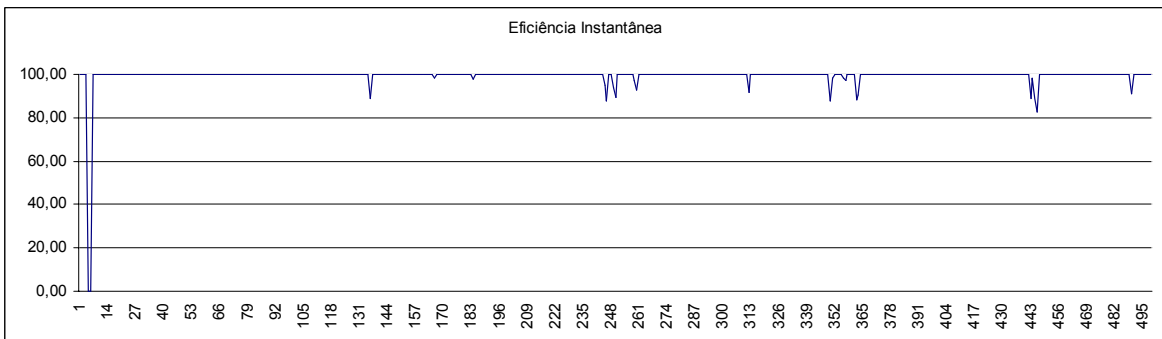


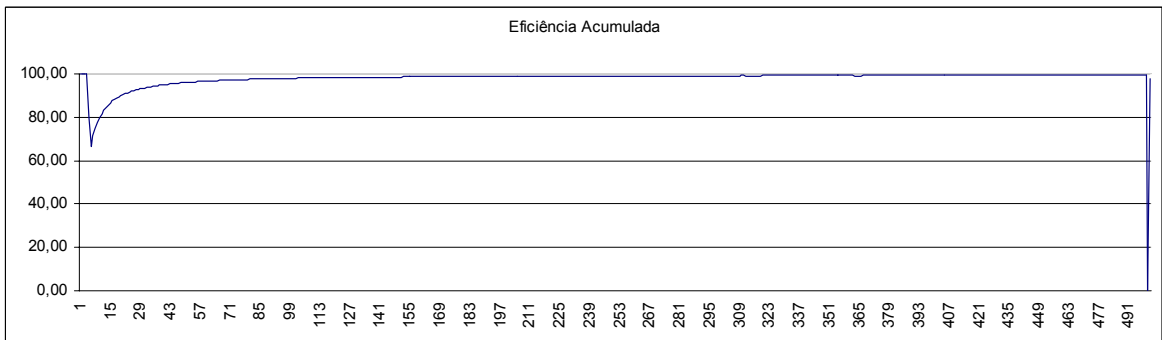
Figura 47 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08\_01



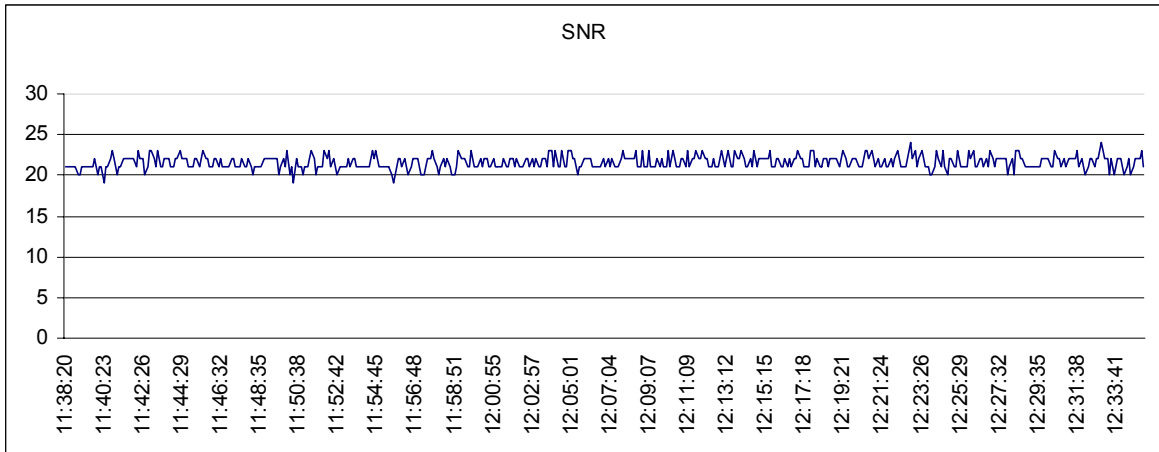
**Figura 48 - Relação SNR para o ponto P08\_02**



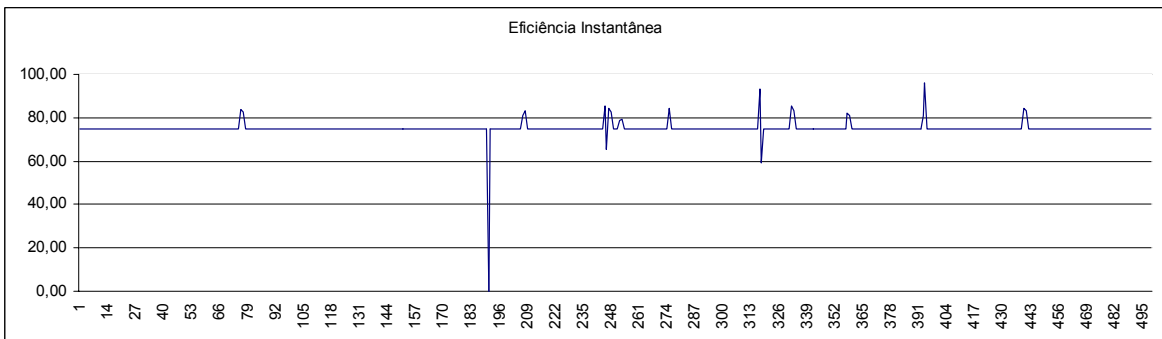
**Figura 49 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08\_02**



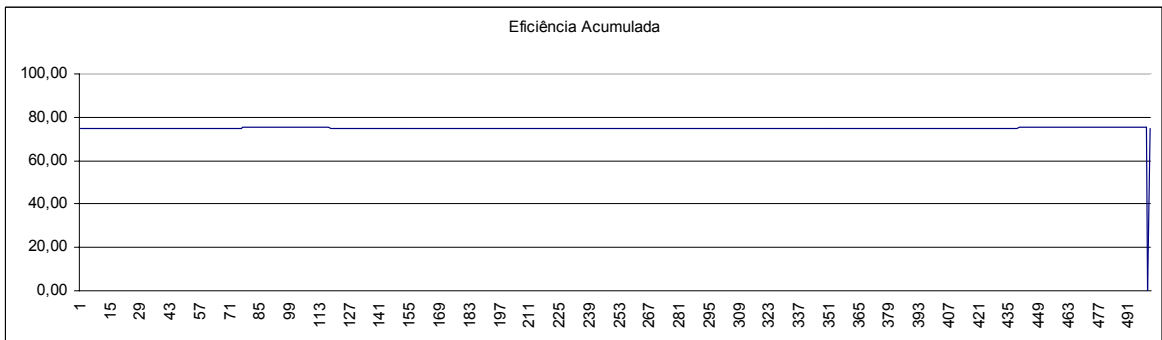
**Figura 50 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08\_02**



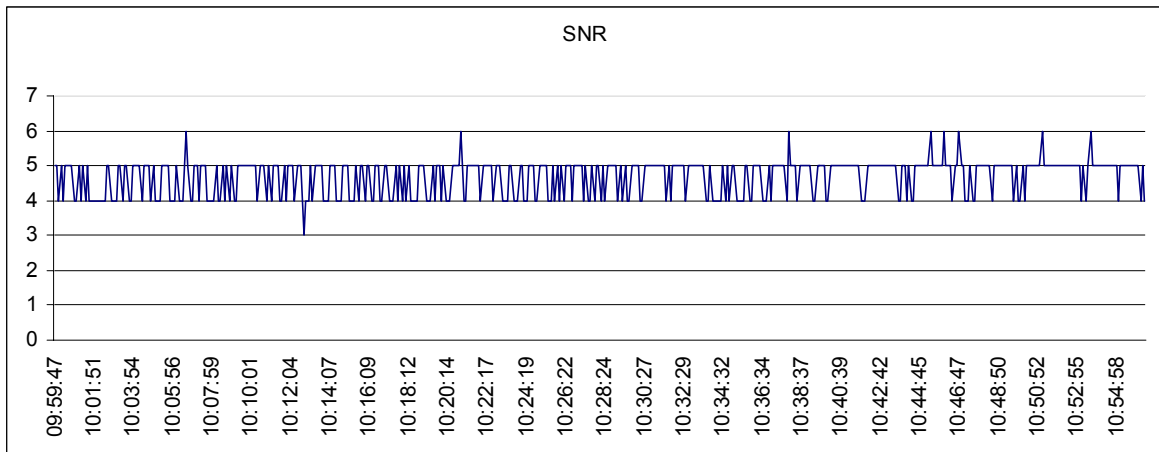
**Figura 51 - Relação SNR para o ponto P08\_03**



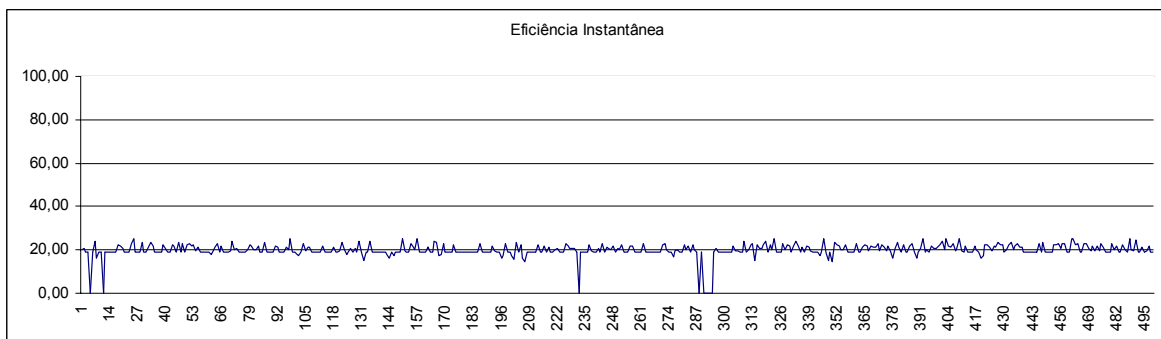
**Figura 52 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08\_03**



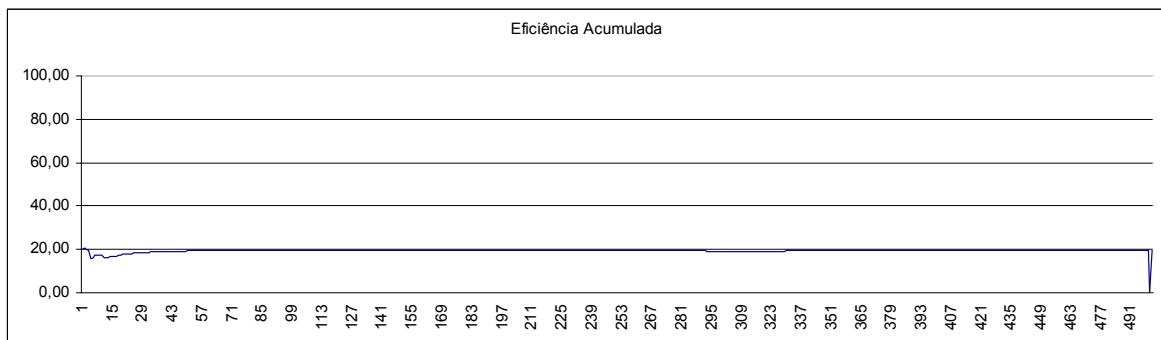
**Figura 53 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08\_03**



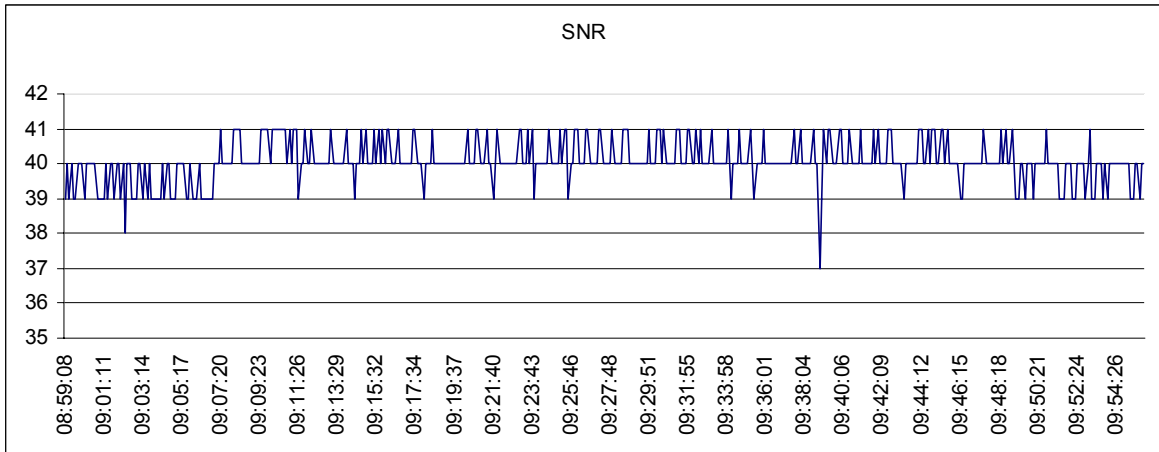
**Figura 54 - Relação SNR para o ponto P08\_04**



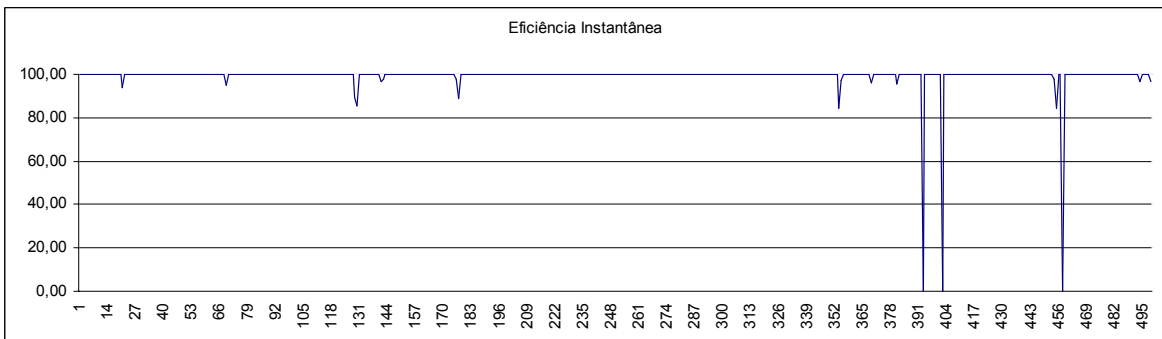
**Figura 55 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08\_04**



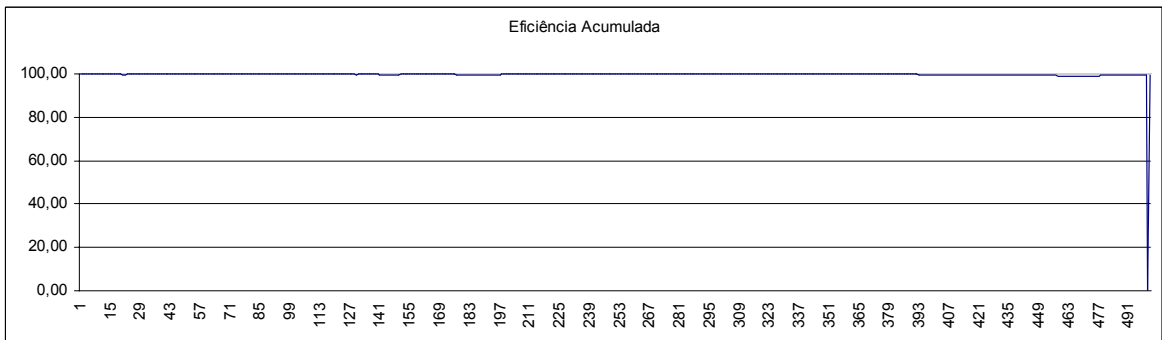
**Figura 56 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08\_04**



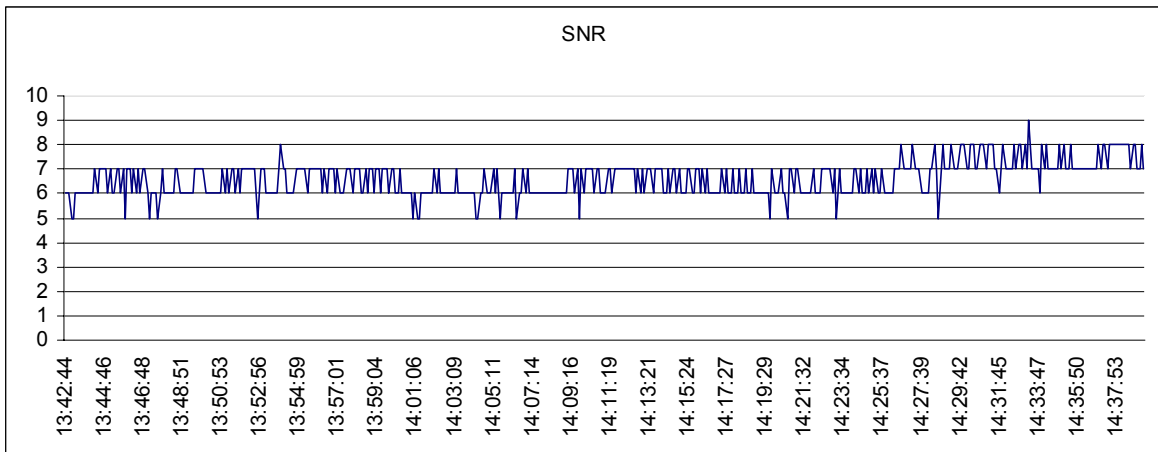
**Figura 57 - Relação SNR para o ponto P08A\_02A**



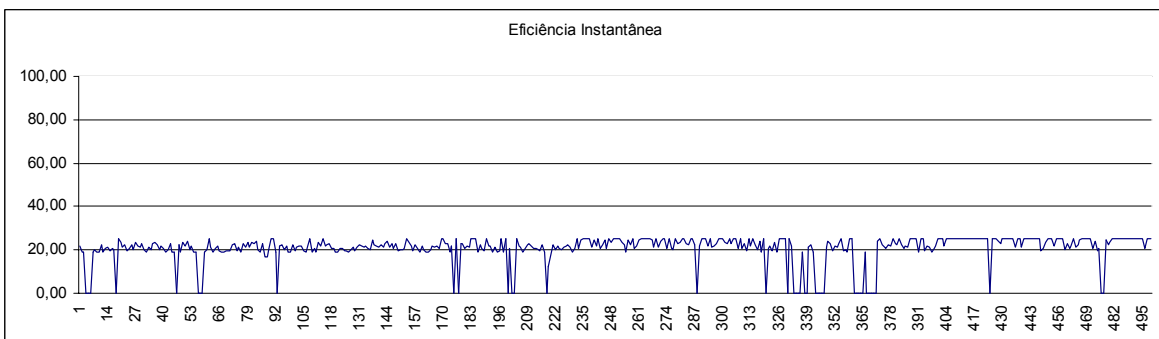
**Figura 58 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A\_02A**



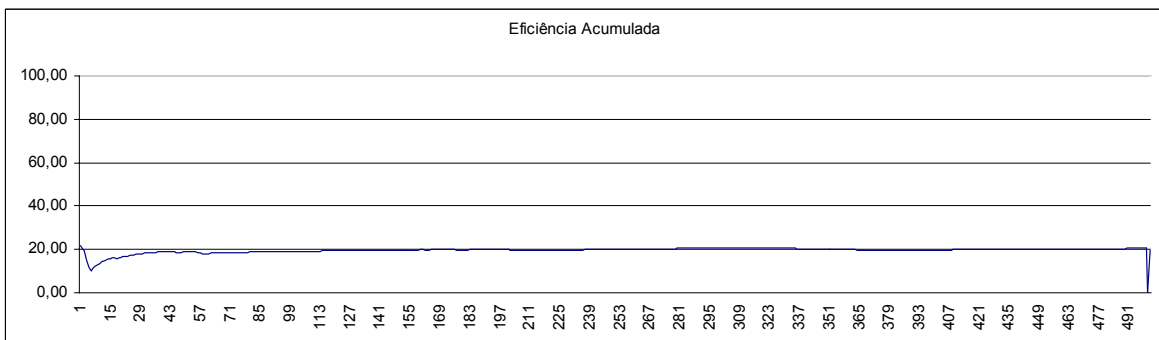
**Figura 59 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A\_02A**



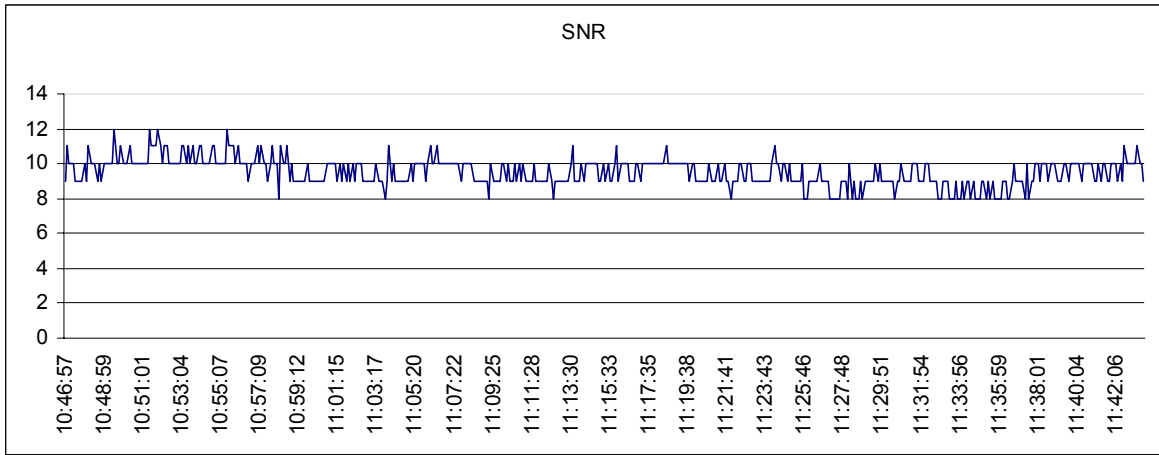
**Figura 60 - Relação SNR para o ponto P08A\_03A**



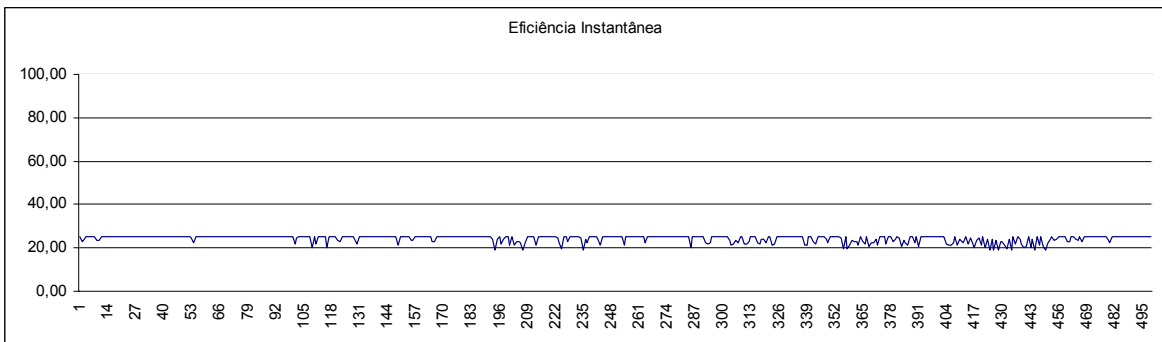
**Figura 61 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A\_03A**



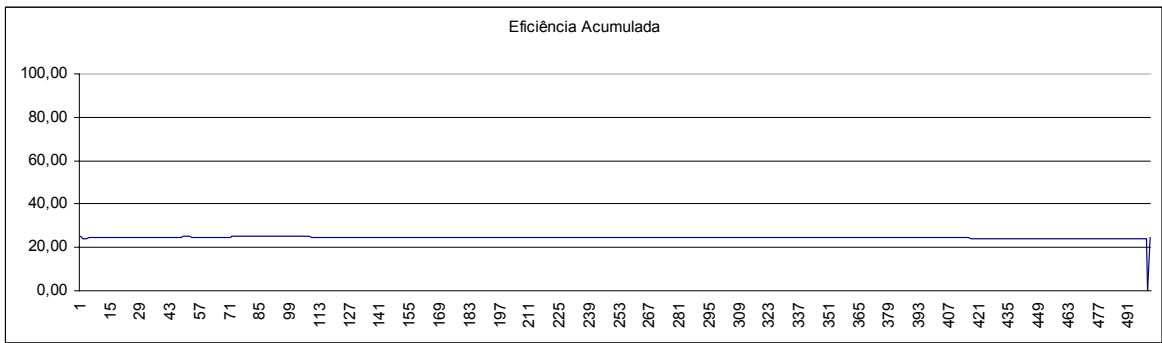
**Figura 62 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A\_03A**



**Figura 63 - Relação SNR para o ponto P08A\_04A**

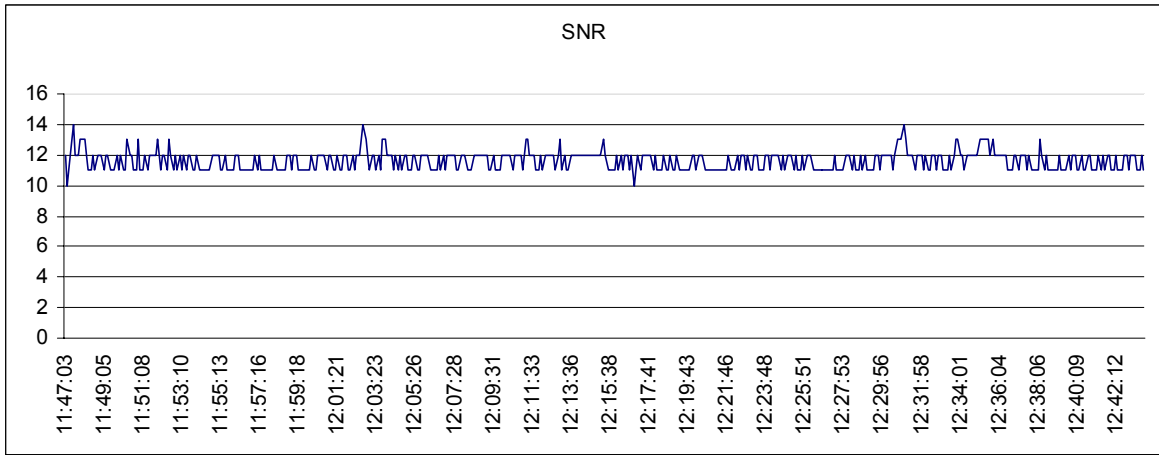


**Figura 64 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A\_04A**

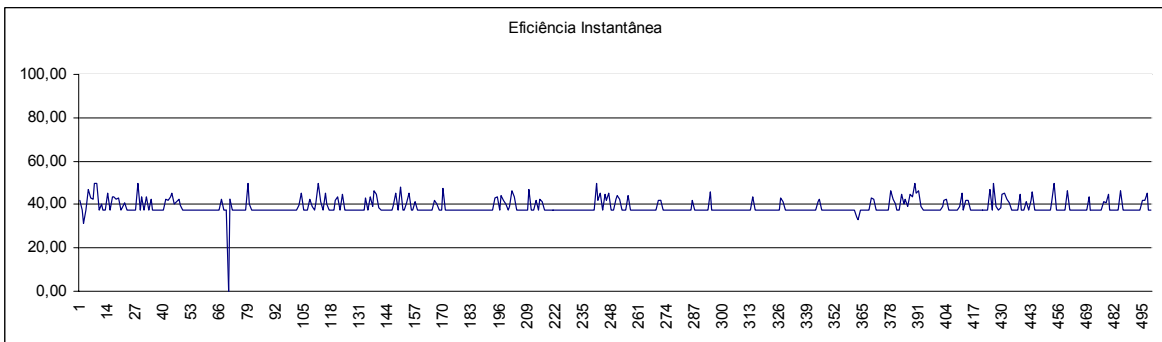


**Figura 65 - Gráfico para a Eficiência Acumulada para o ponto P08A\_04A**

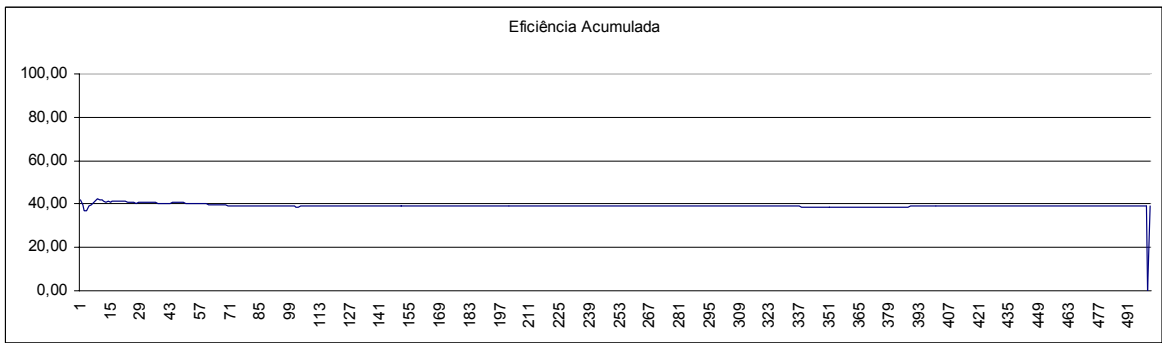




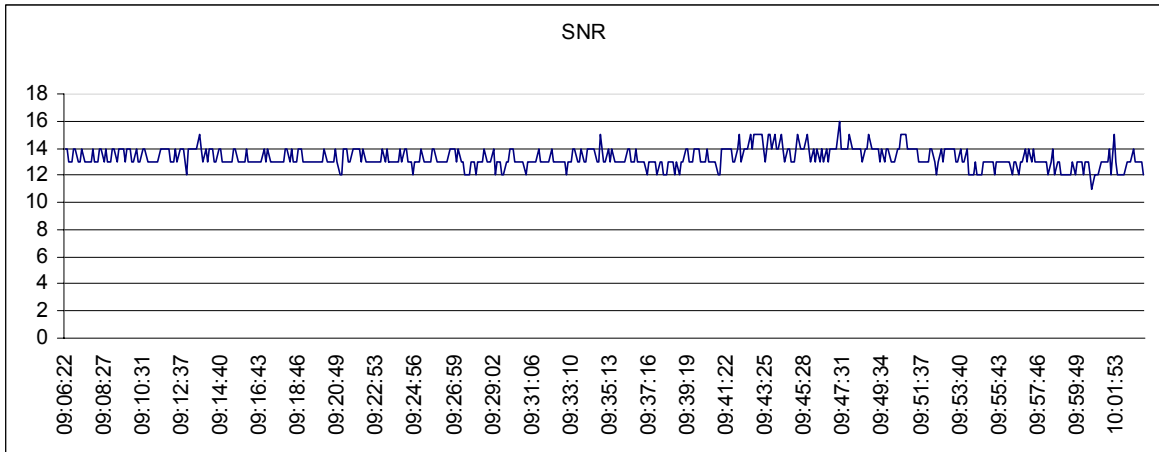
**Figura 66 - Relação SNR para o ponto P08A\_05A**



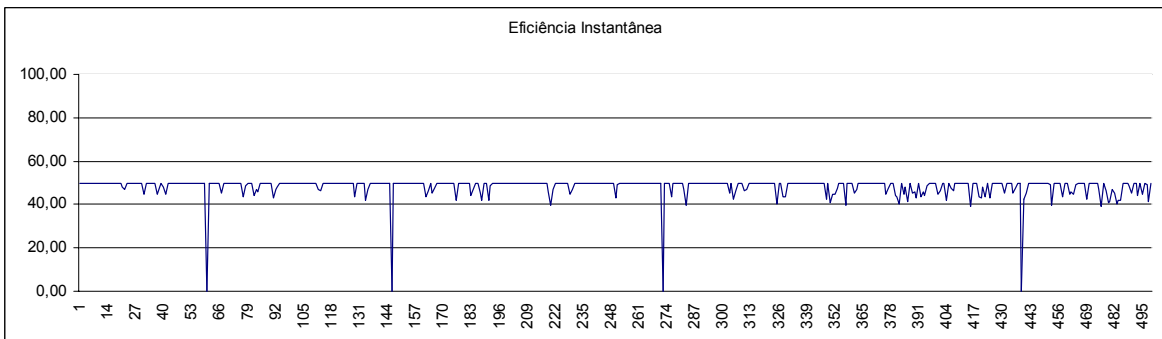
**Figura 67 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P08A\_05A**



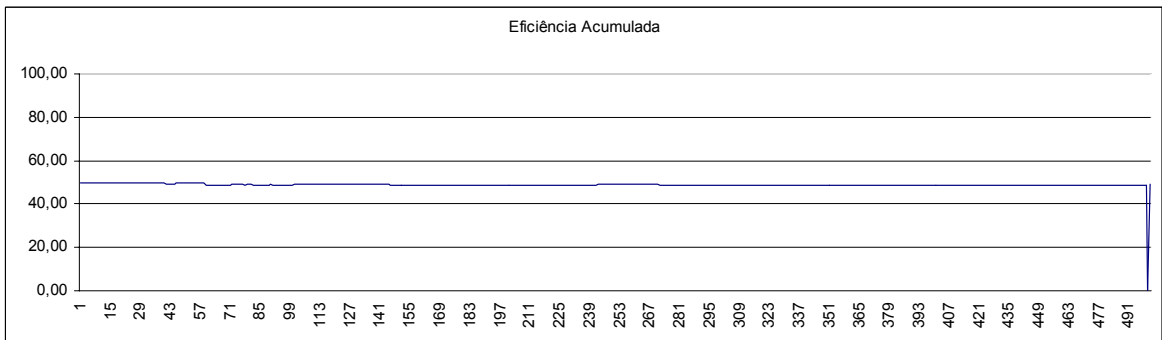
**Figura 68 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P08A\_05A**



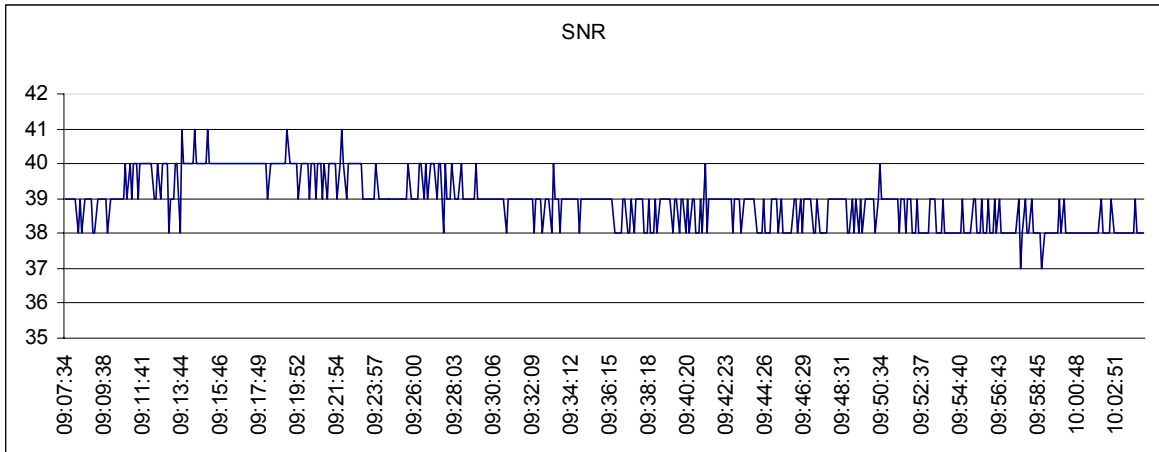
**Figura 69 - Relação SNR para o ponto P09\_02**



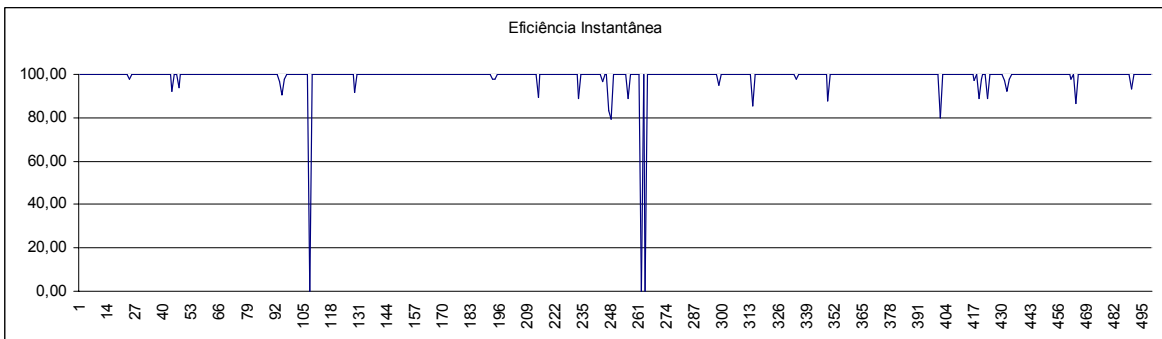
**Figura 70 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_02**



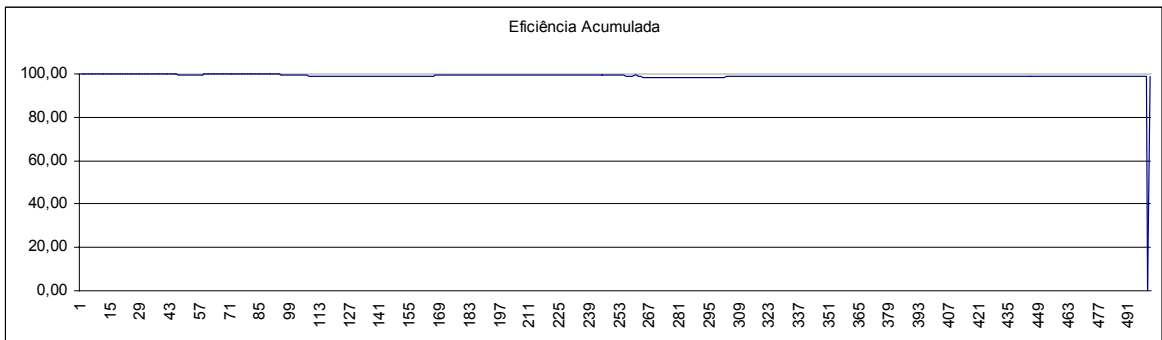
**Figura 71 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_02**



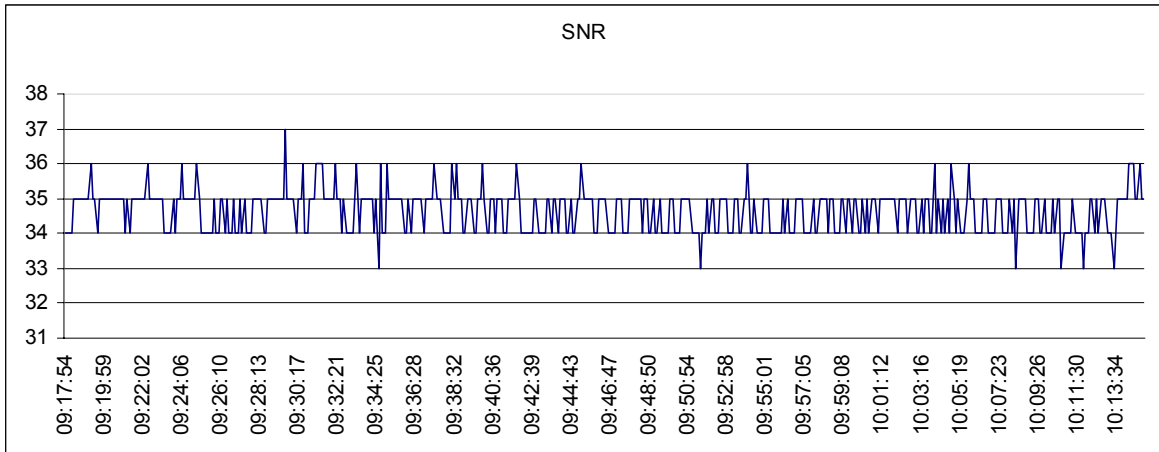
**Figura 72 - Relação SNR para o ponto P09\_03**



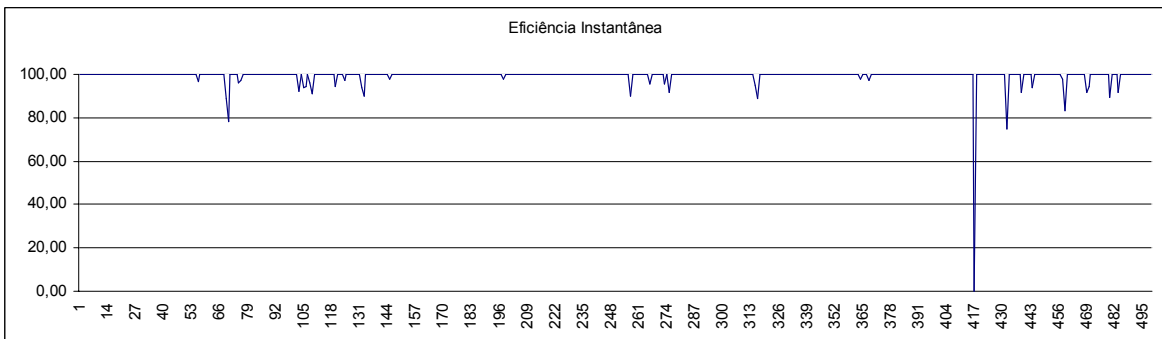
**Figura 73 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_03**



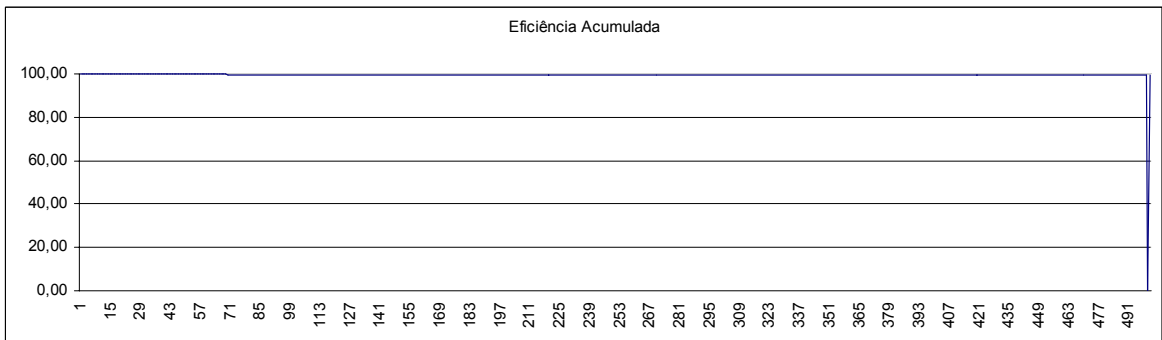
**Figura 74 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_03**



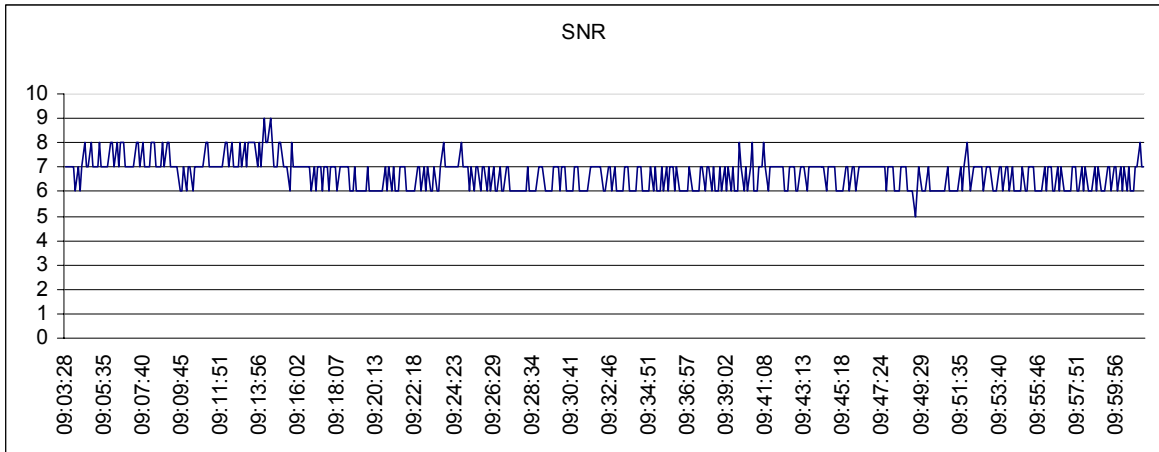
**Figura 75 - Relação SNR para o ponto P09\_04**



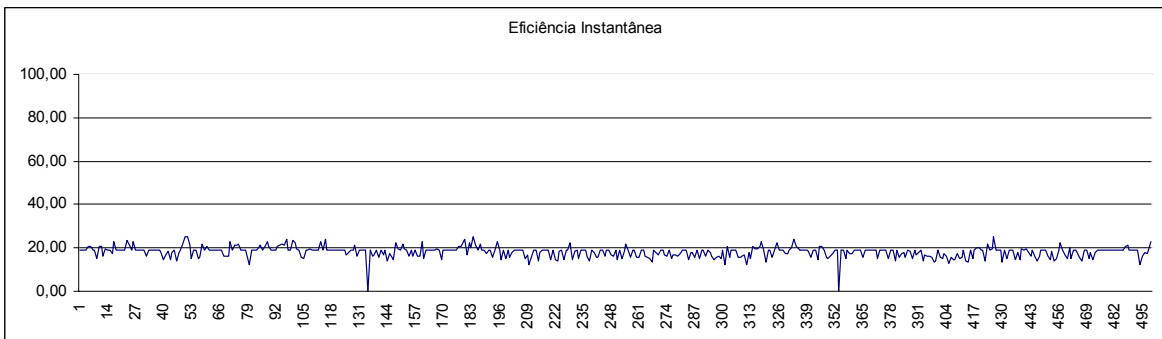
**Figura 76 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_04**



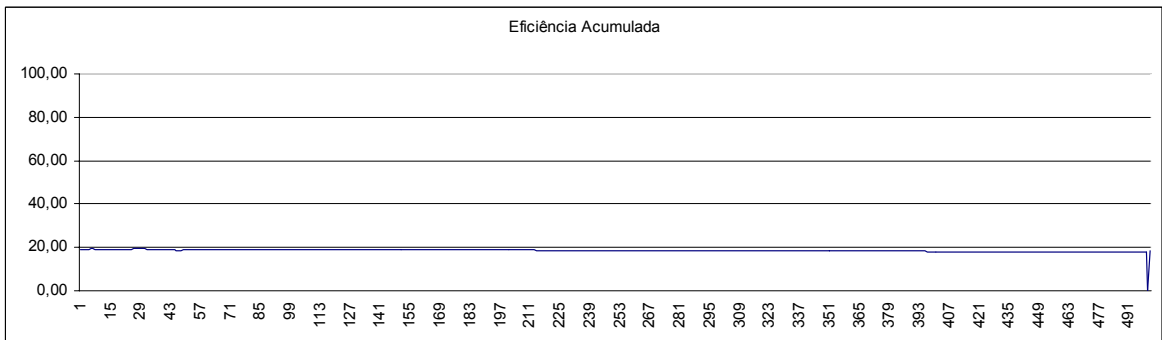
**Figura 77 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_04**



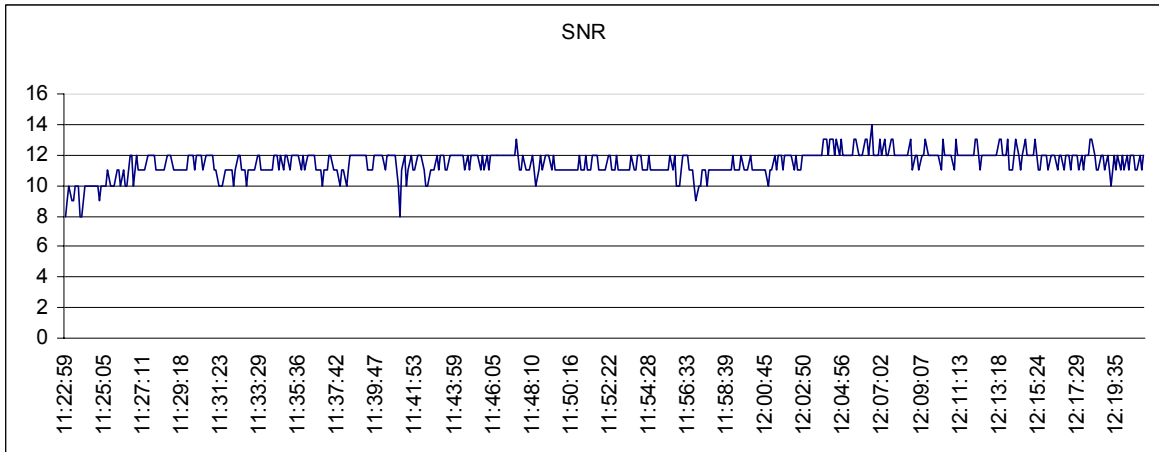
**Figura 78 - Relação SNR para o ponto P09\_05**



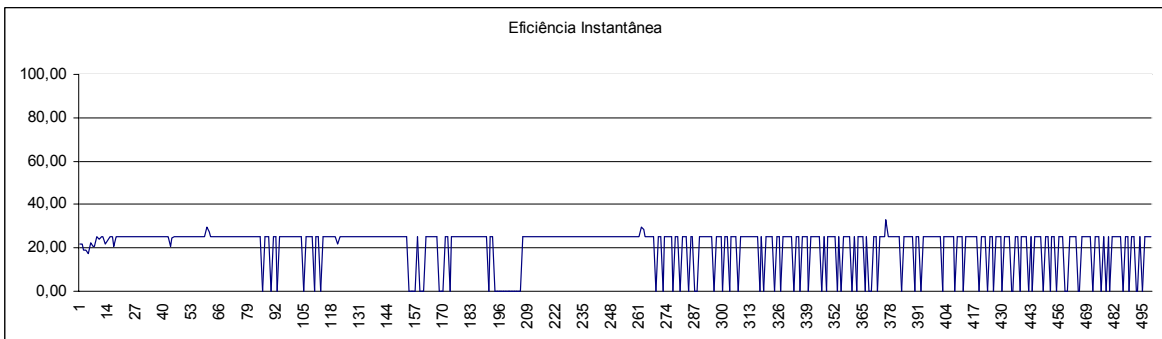
**Figura 79 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_05**



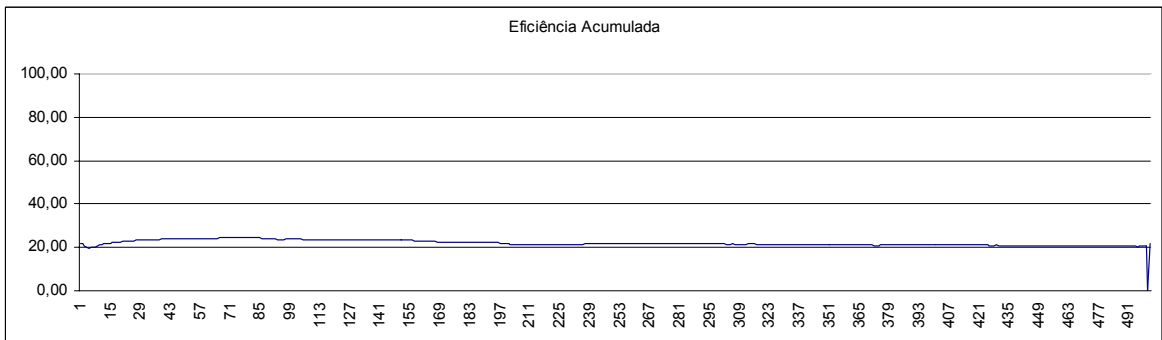
**Figura 80 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_05**



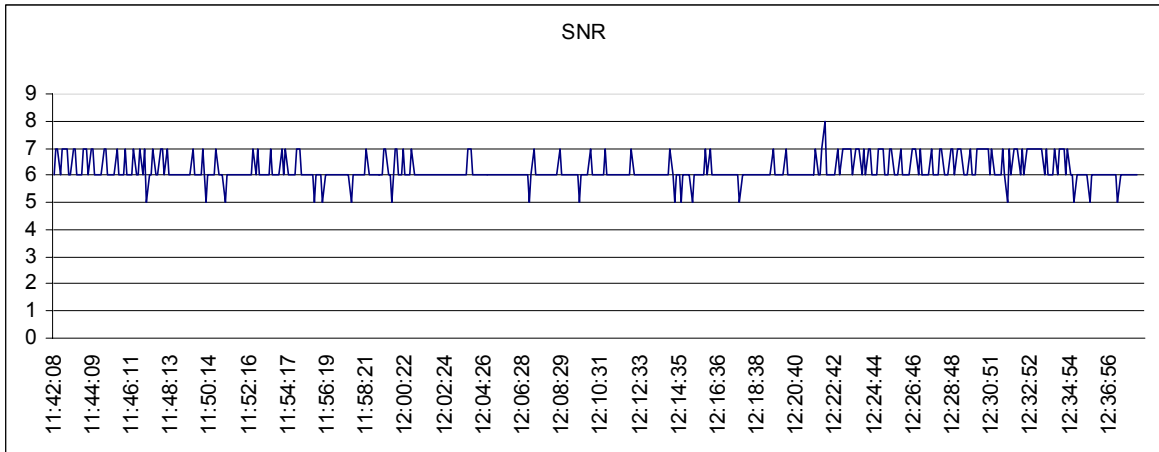
**Figura 81 - Relação SNR para o ponto P09\_06**



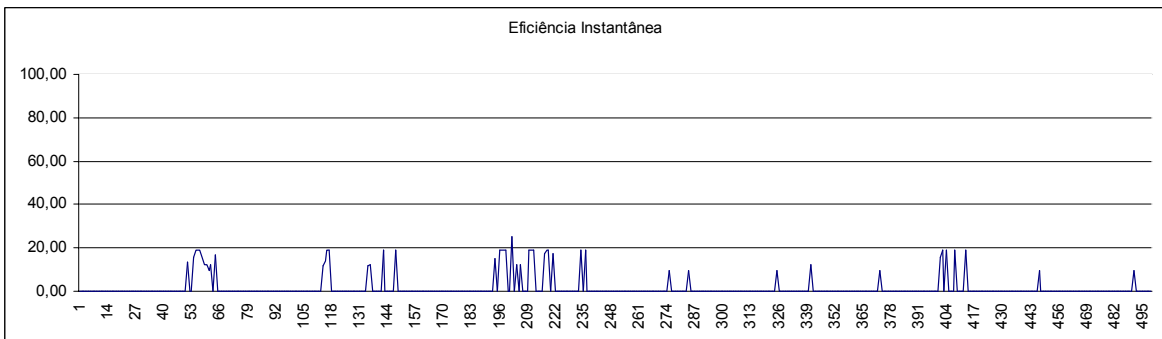
**Figura 82 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_06**



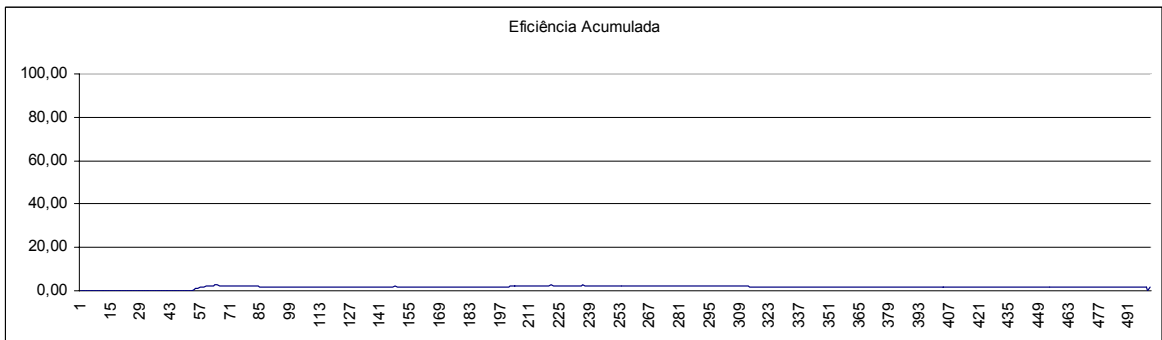
**Figura 83 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_06**



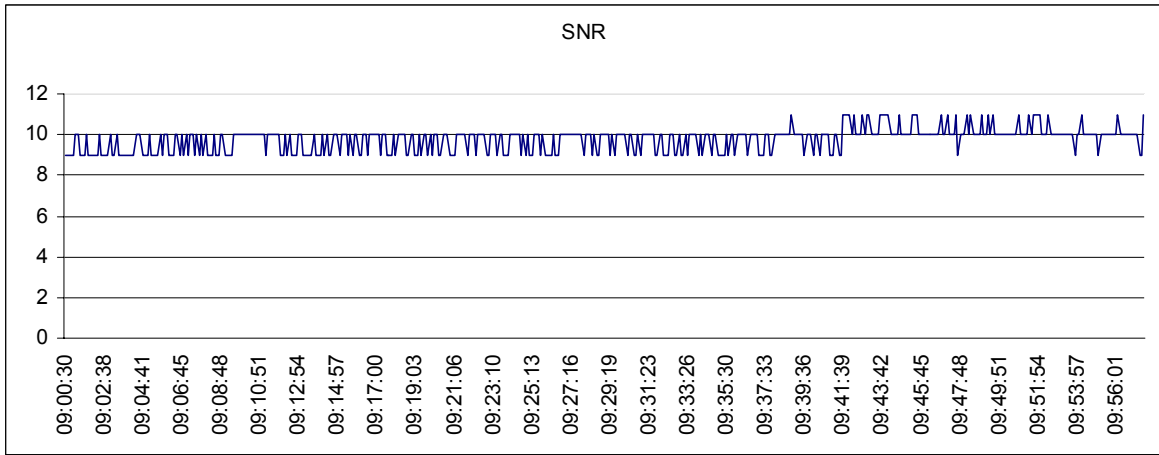
**Figura 84 - Relação SNR para o ponto P09\_07**



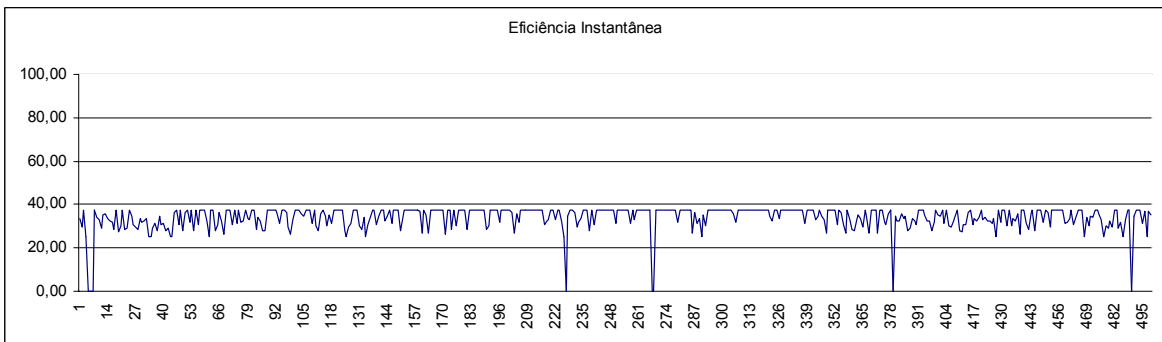
**Figura 85 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_07**



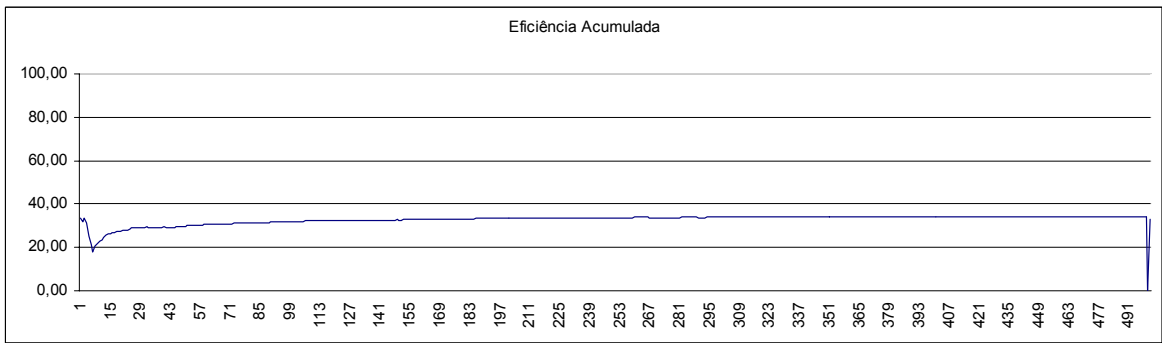
**Figura 86 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_07**



**Figura 87 - Relação SNR para o ponto P09\_08**

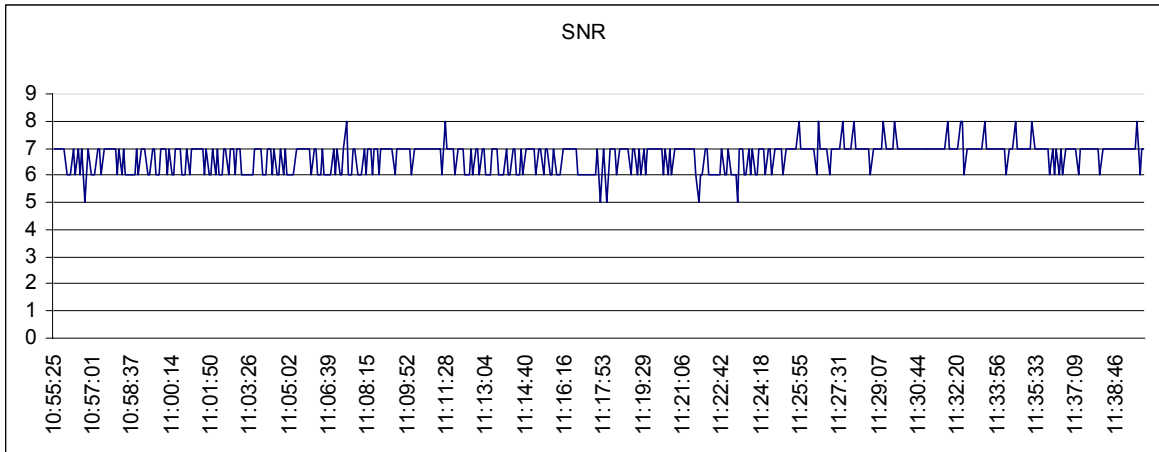


**Figura 88 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09\_08**

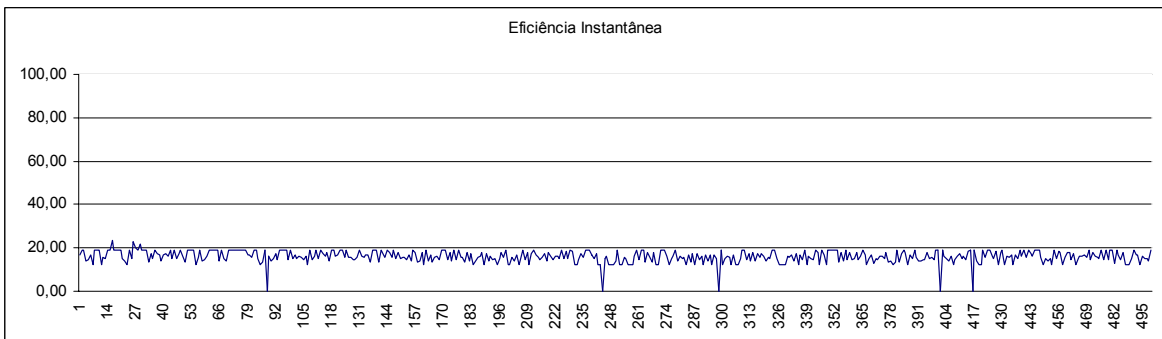


**Figura 89 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09\_08**

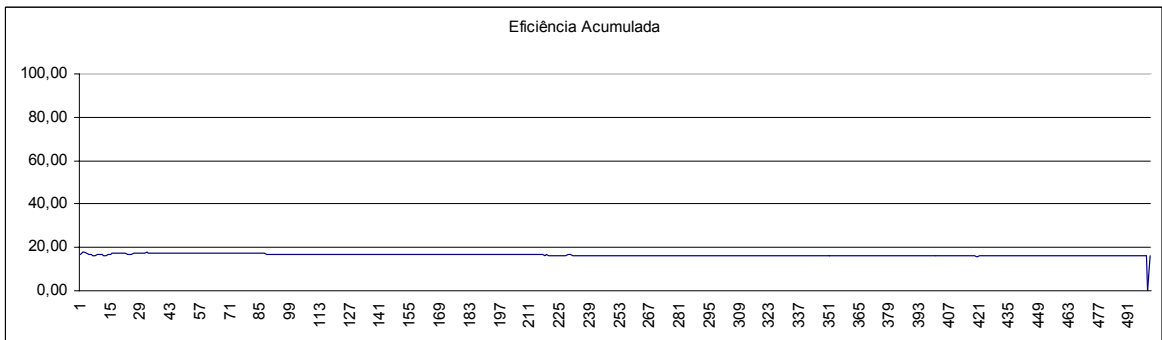




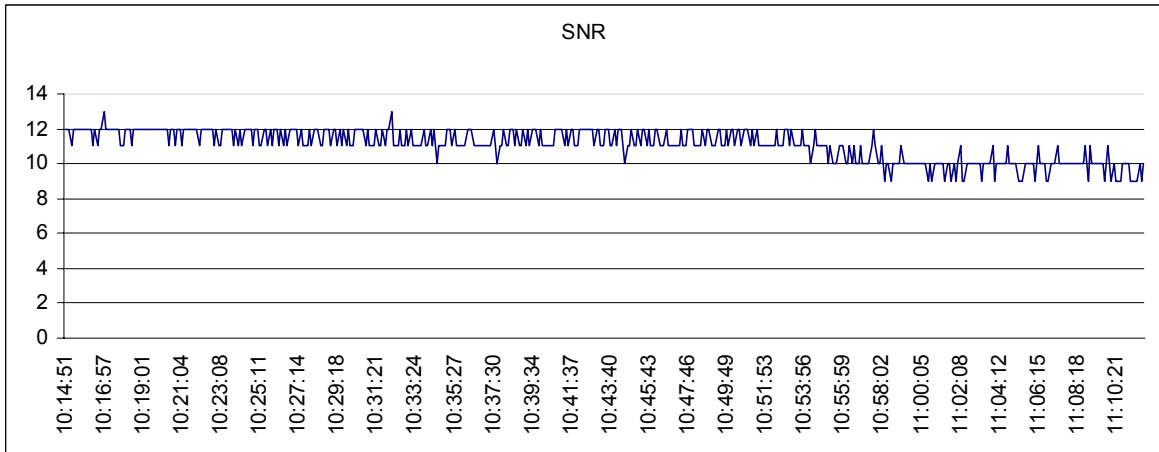
**Figura 90 - Relação SNR para o ponto P09A\_02A**



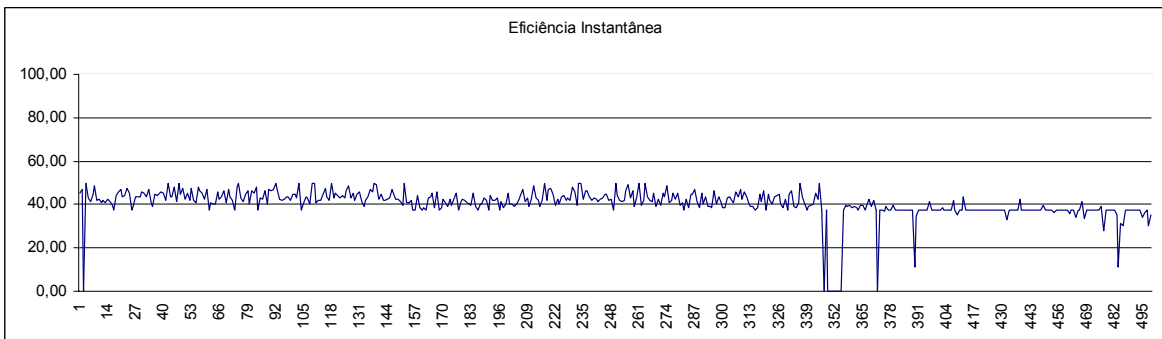
**Figura 91 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09A\_02A**



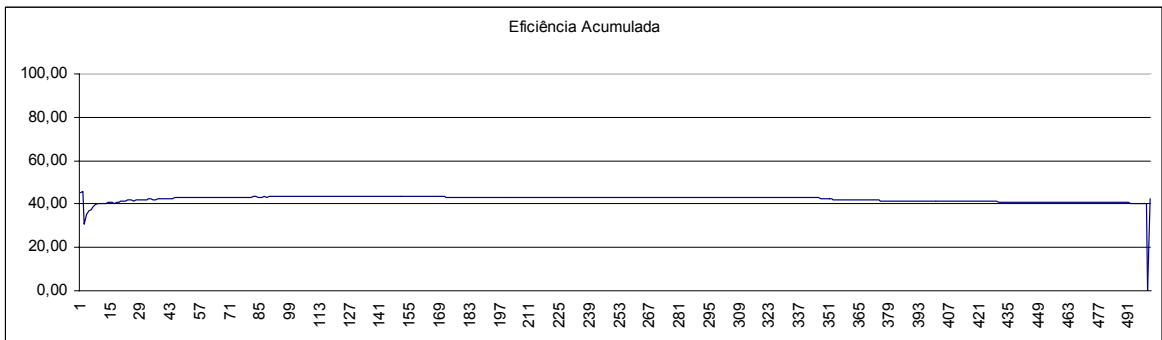
**Figura 92 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09A\_02A**



**Figura 93 - Relação SNR para o ponto P09A\_06A**



**Figura 94 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P09A\_06A**



**Figura 95 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P09A\_06A**

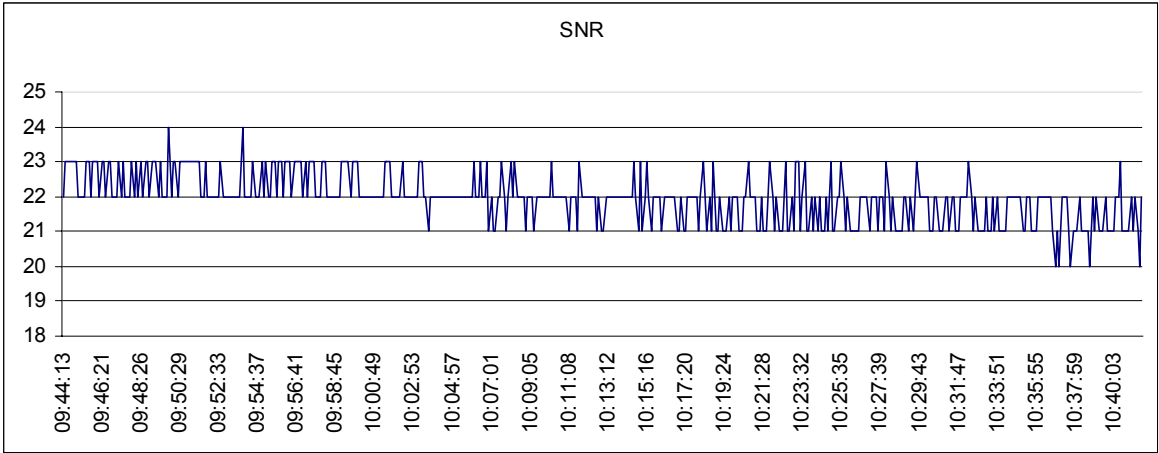


Figura 96 - Relação SNR para o ponto P10\_02

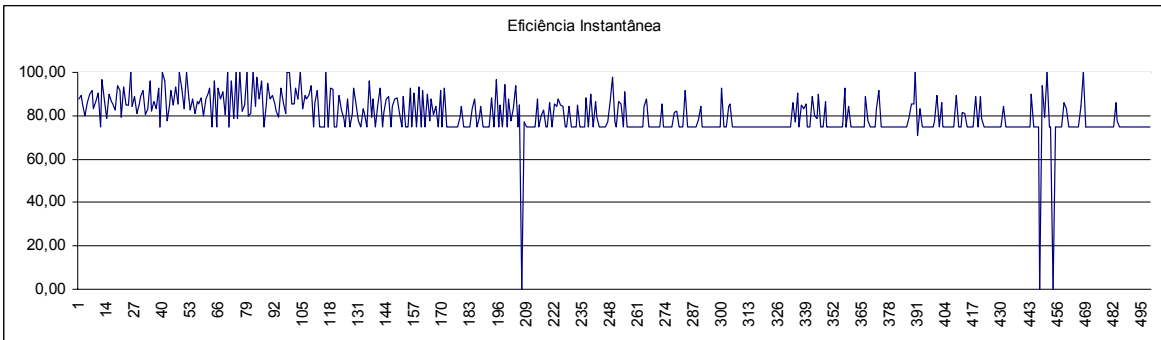


Figura 97 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10\_02

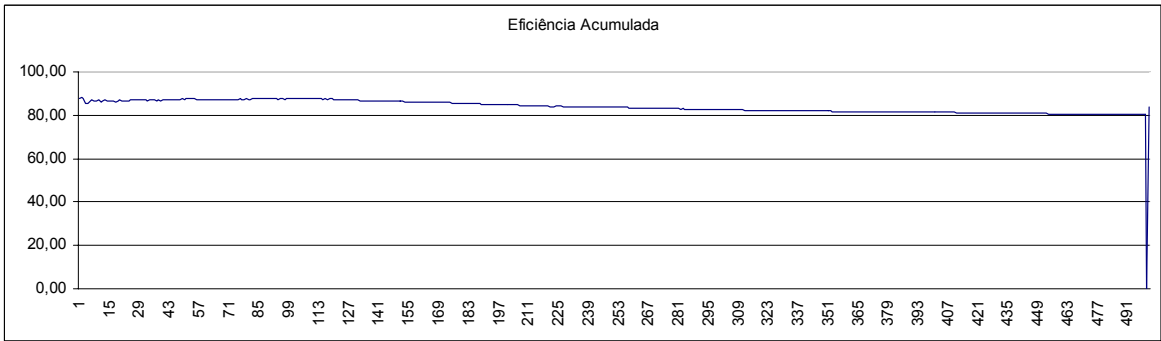
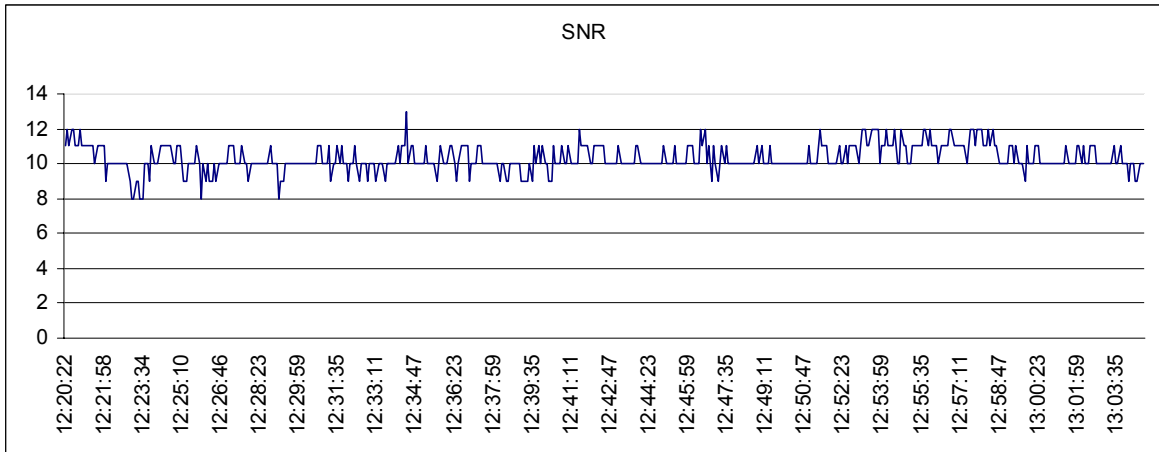
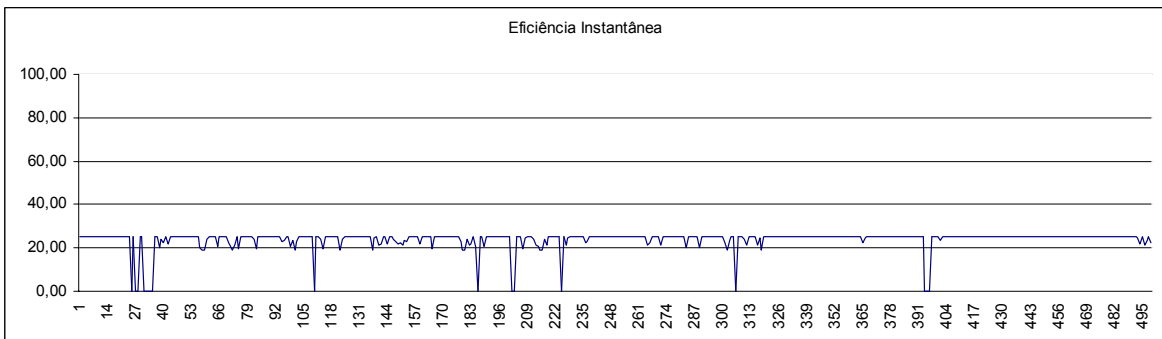


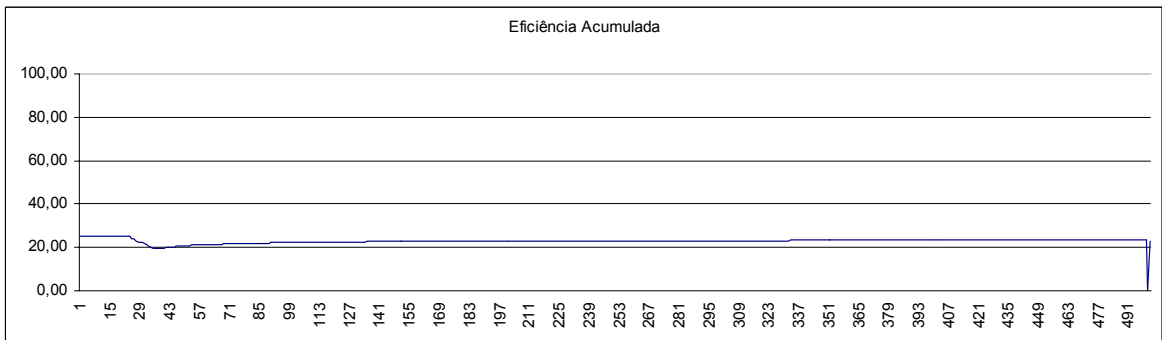
Figura 98 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10\_02



**Figura 99 - Relação SNR para o ponto P10\_03**



**Figura 100 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10\_03**



**Figura 101 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10\_03**

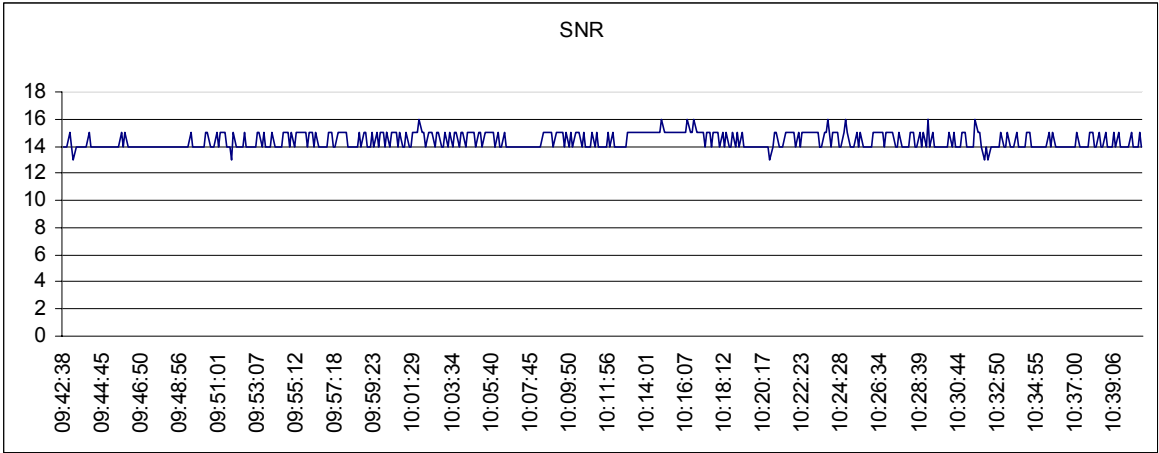


Figura 102 - Relação SNR para o ponto P10\_04

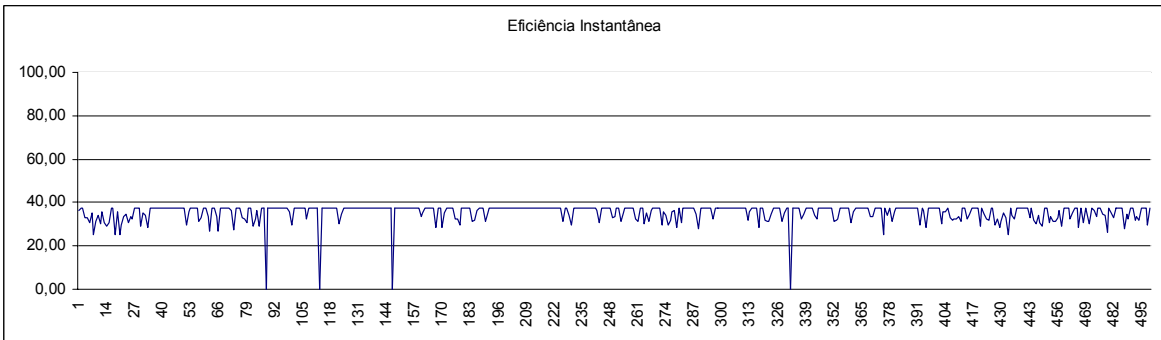


Figura 103 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10\_04

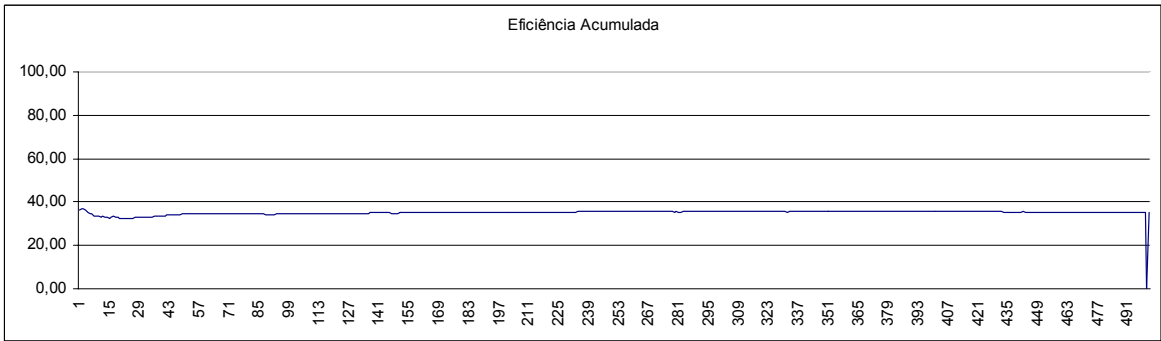
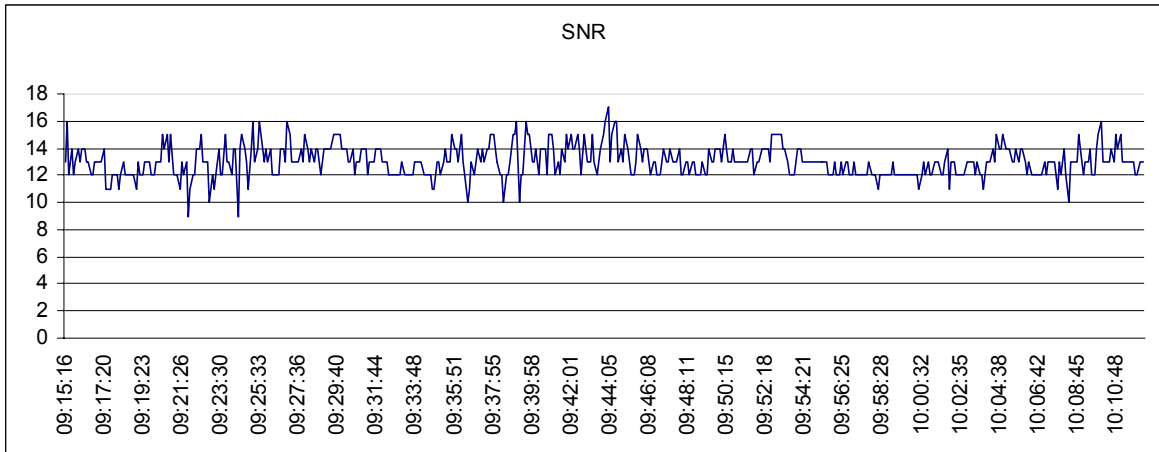
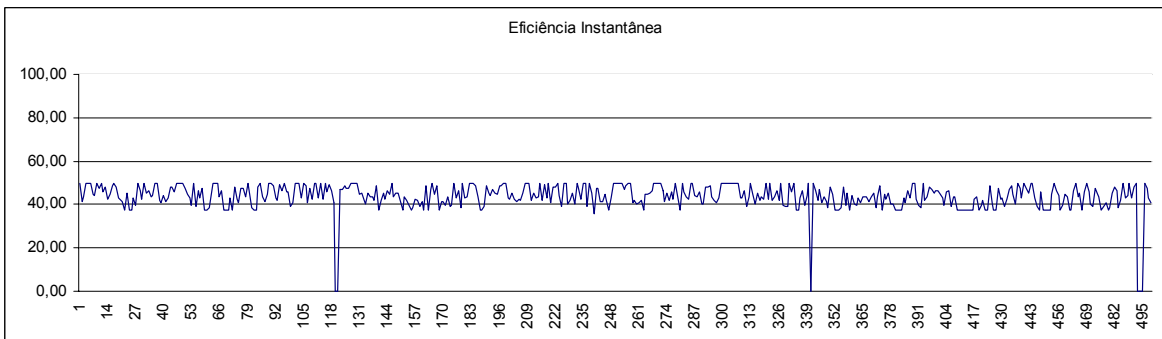


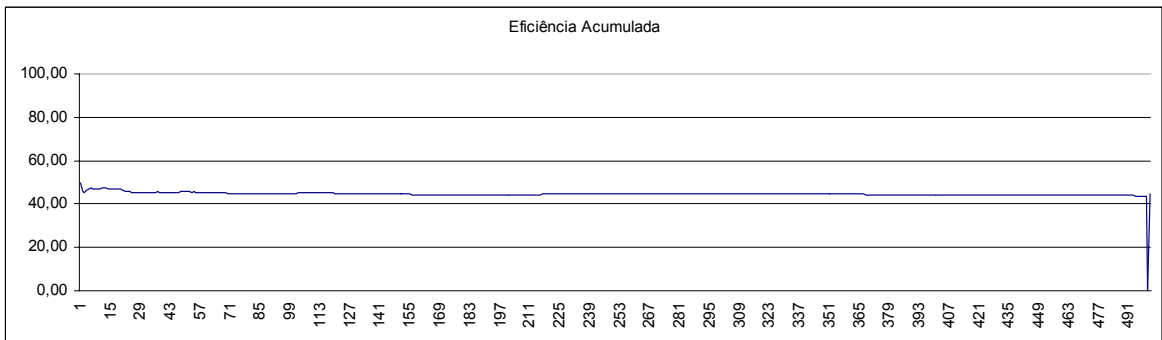
Figura 104 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10\_04



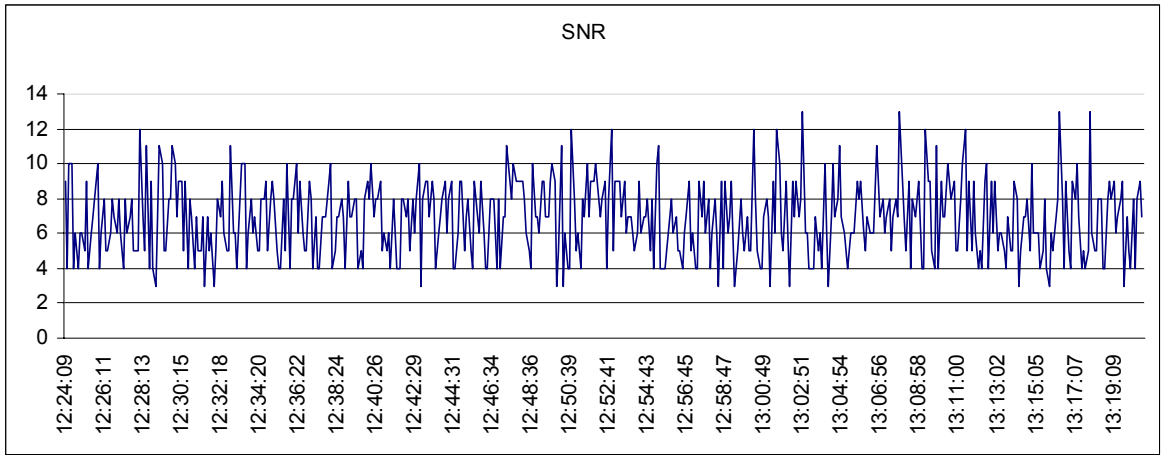
**Figura 105 - Relação SNR para o ponto P10\_05**



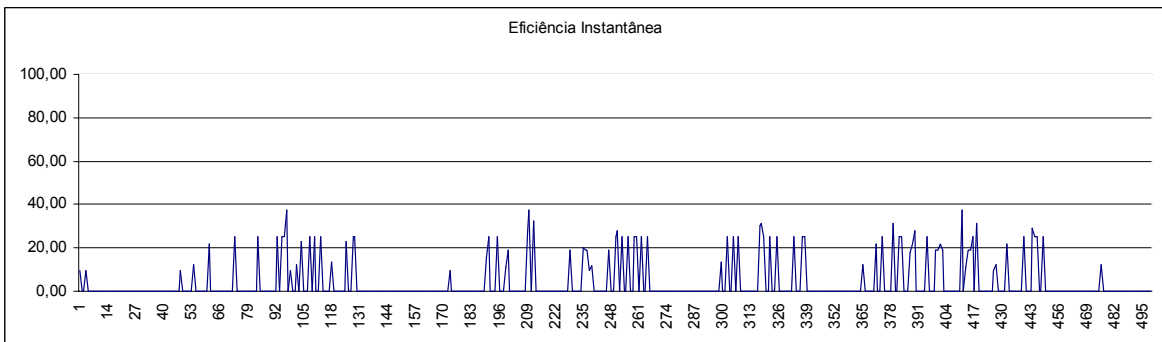
**Figura 106 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10\_05**



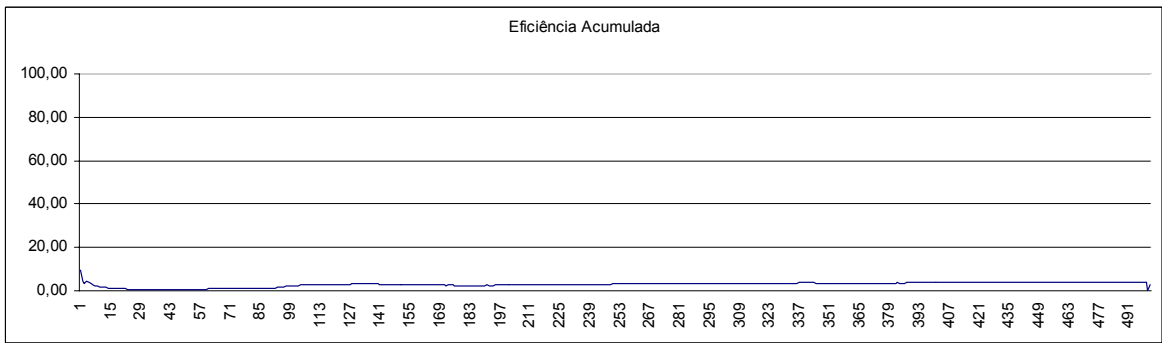
**Figura 107 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10\_05**



**Figura 108 - Relação SNR para o ponto P10\_07**



**Figura 109 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10\_07**



**Figura 110 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10\_07**

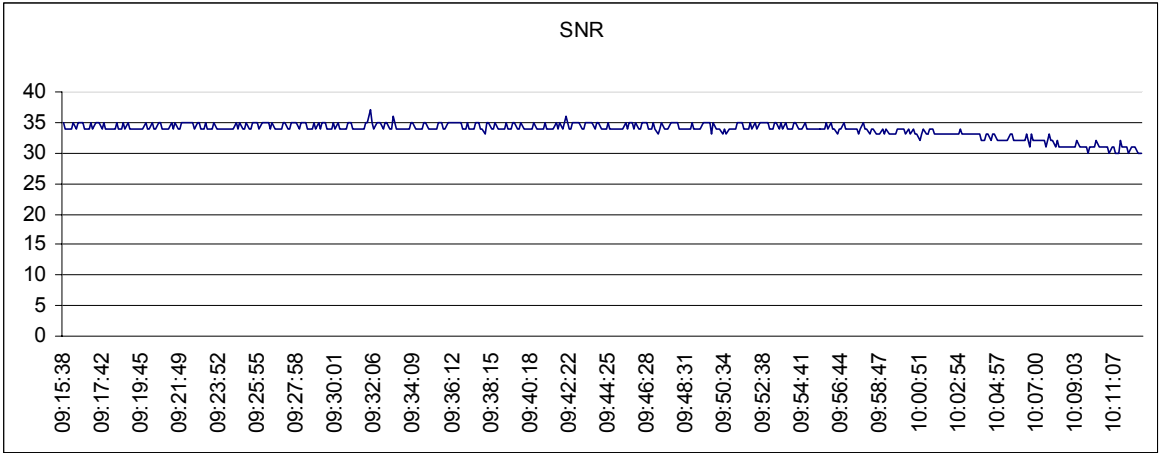


Figura 111 - Relação SNR para o ponto P10A\_02A

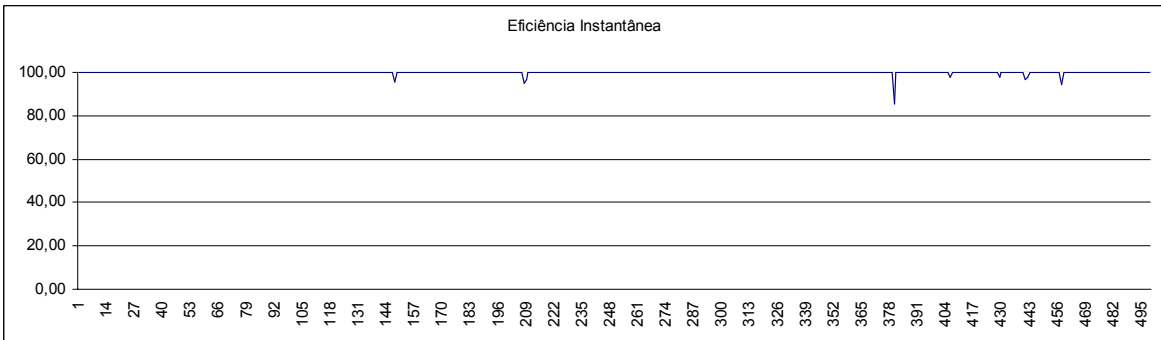


Figura 112 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A\_02A

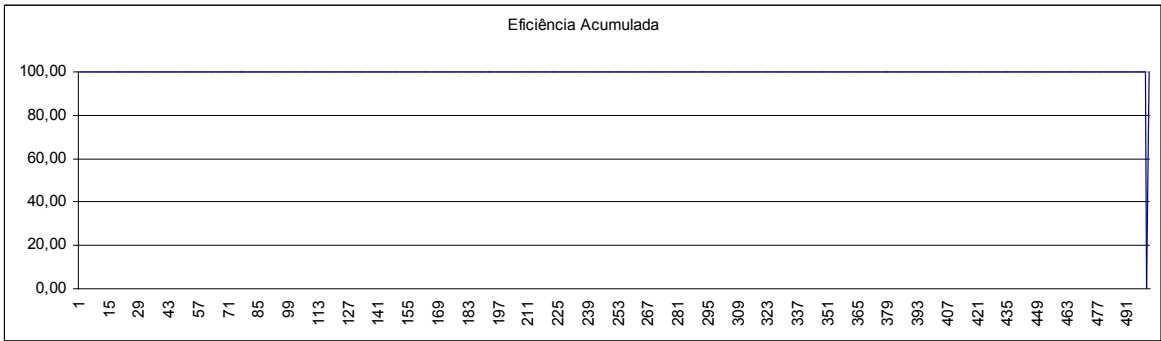


Figura 113 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A\_02A



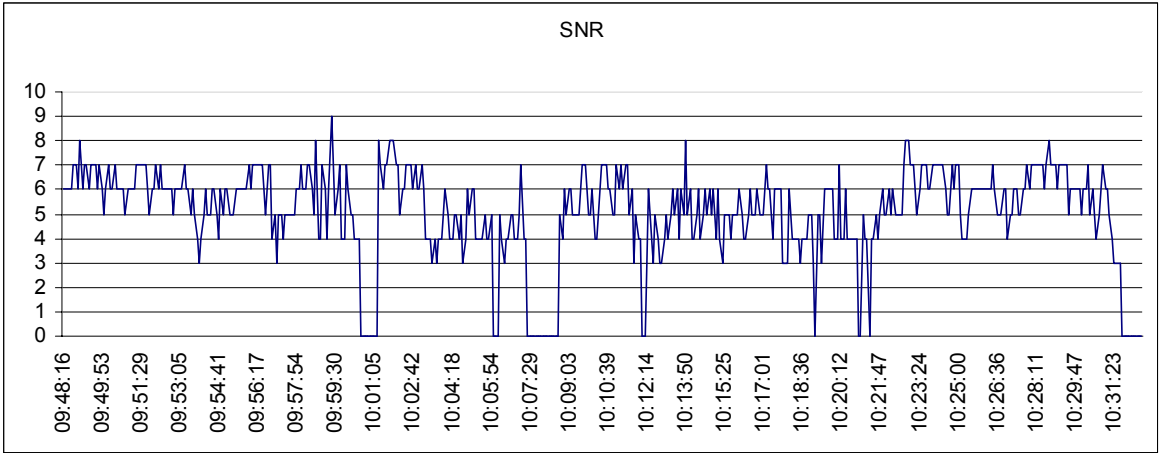


Figura 114 - Relação SNR para o ponto P10A\_03A

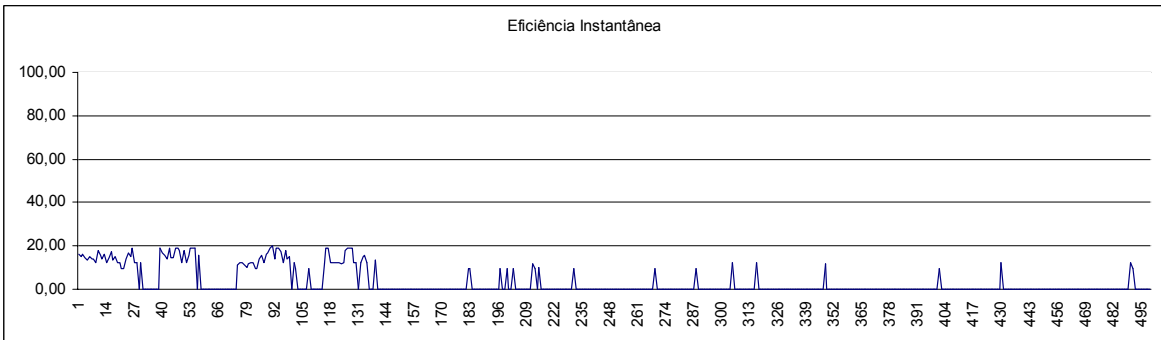


Figura 115 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A\_03A

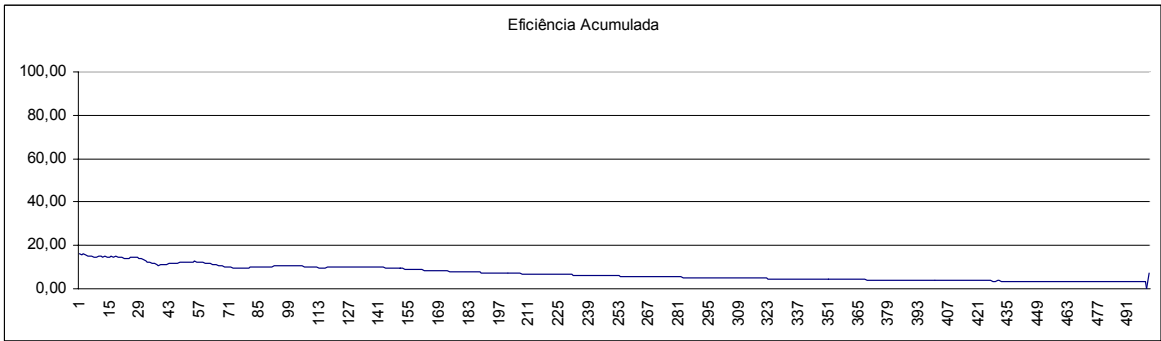
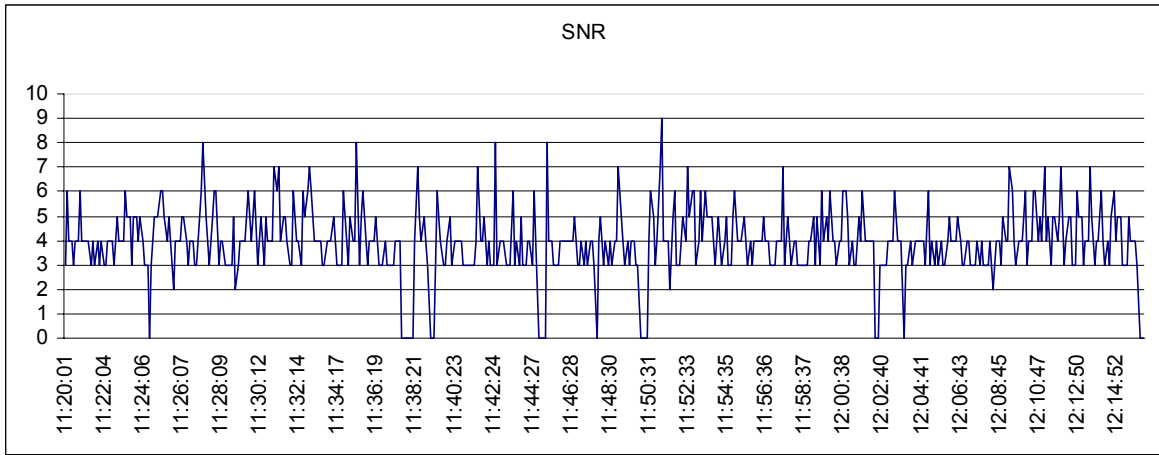
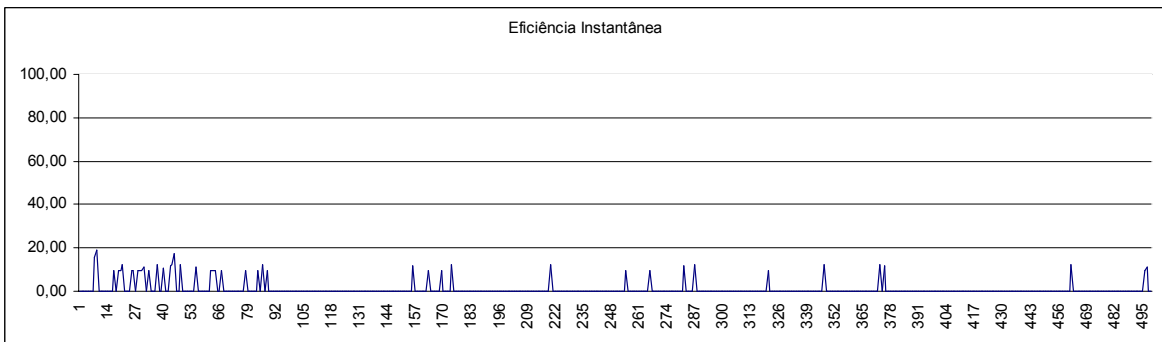


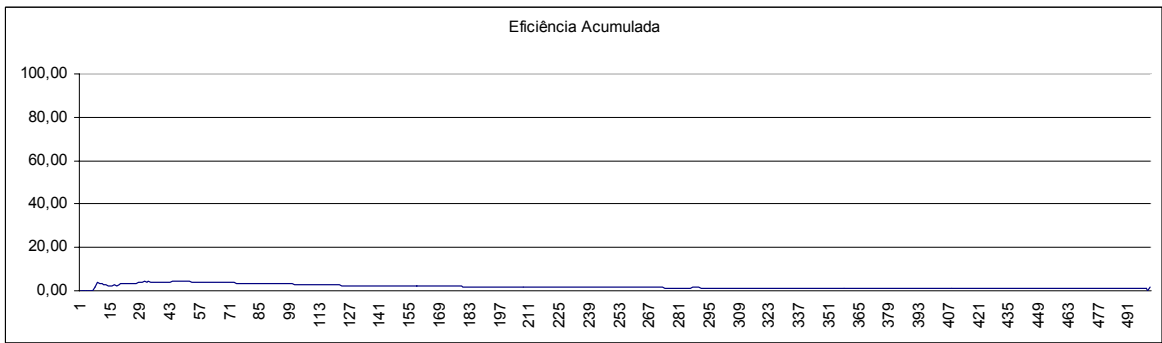
Figura 116 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A\_03A



**Figura 117 - Relação SNR para o ponto P10A\_04A**



**Figura 118 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A\_04A**



**Figura 119 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A\_04A**

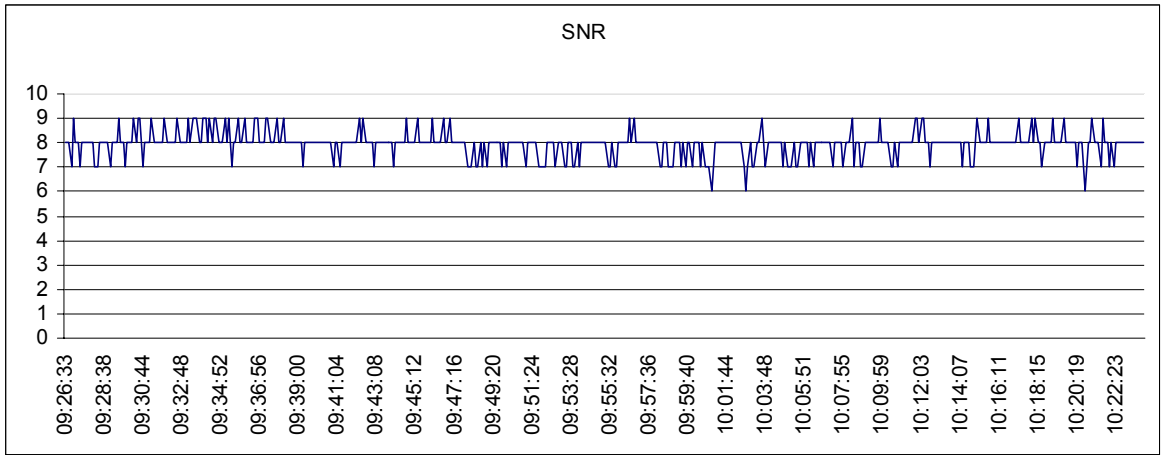


Figura 120 - Relação SNR para o ponto P10A\_06A

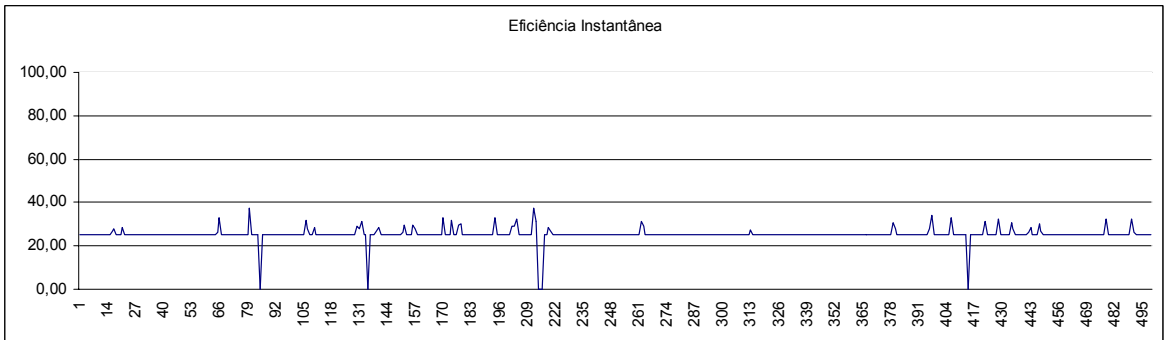


Figura 121 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P10A\_06A

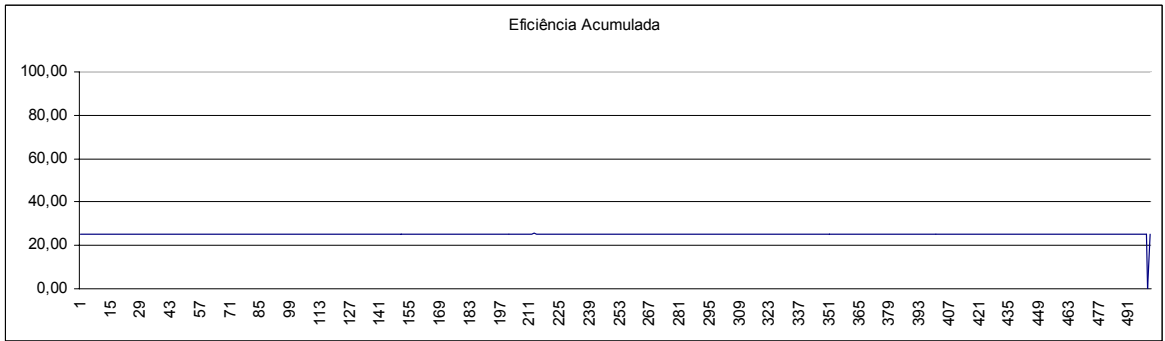


Figura 122 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P10A\_06A

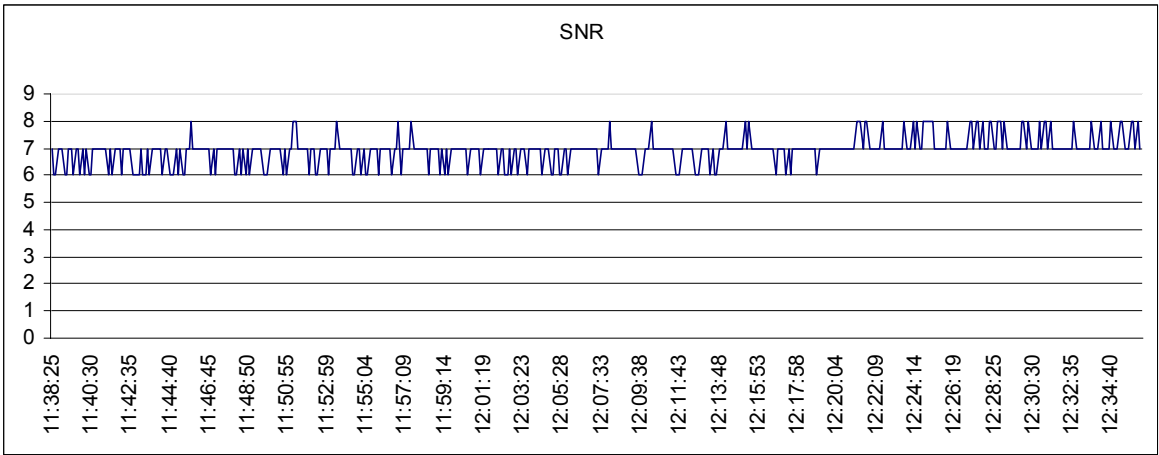


Figura 123 - Relação SNR para o ponto P11\_03

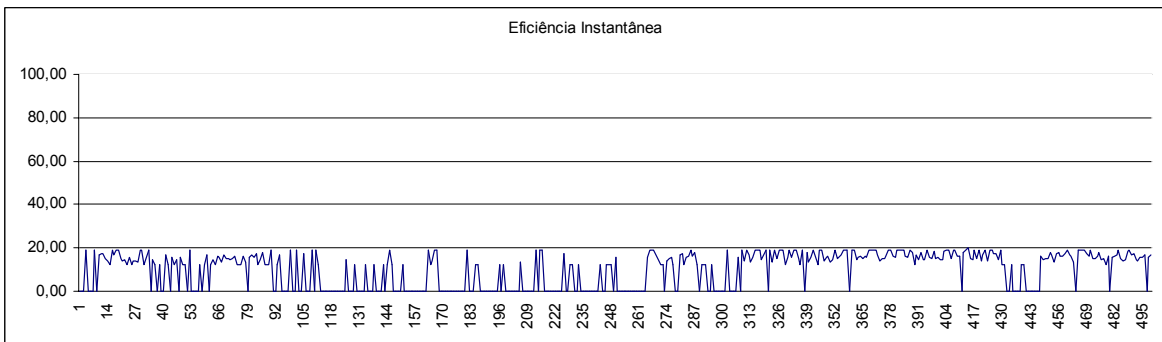


Figura 124 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11\_03

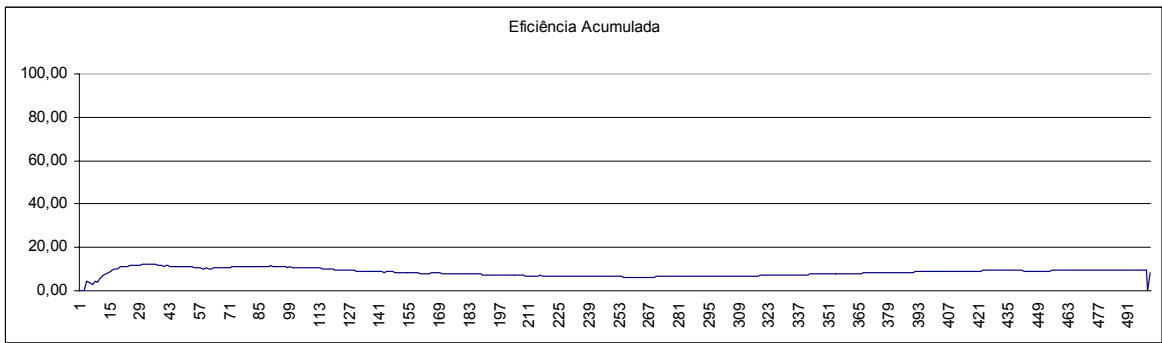
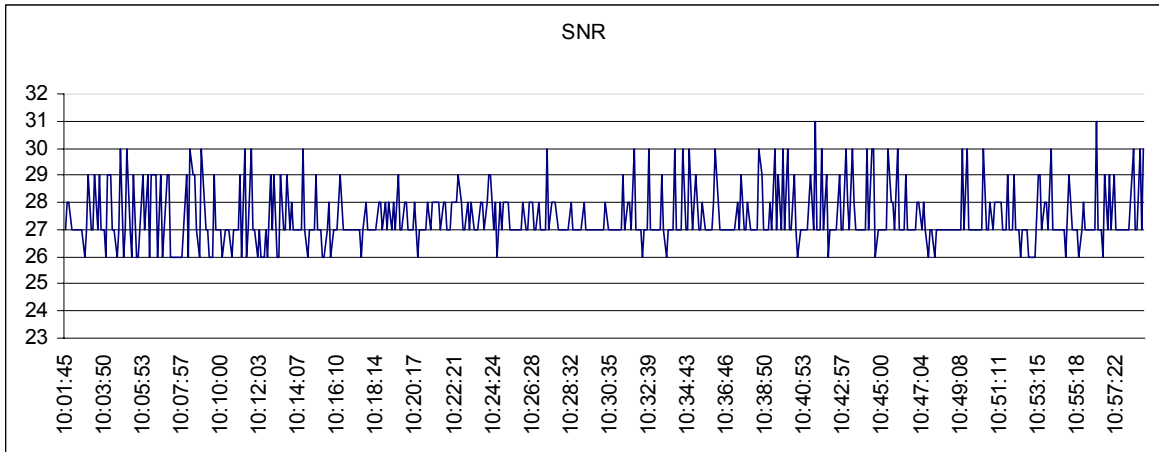
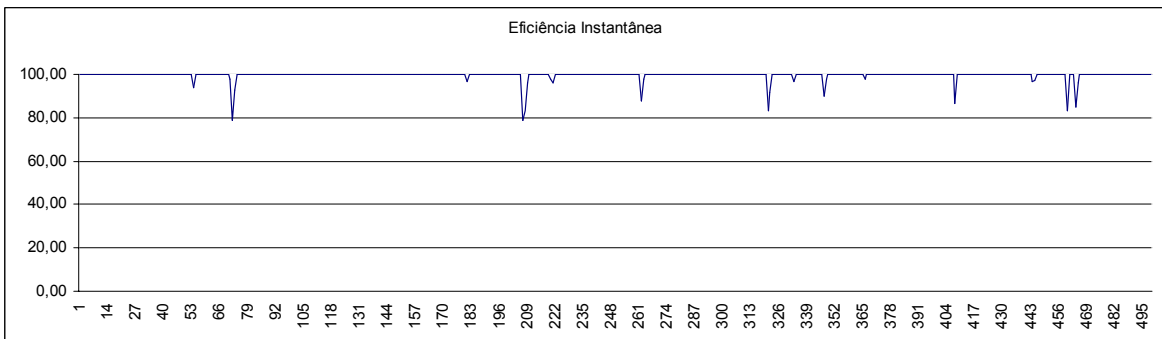


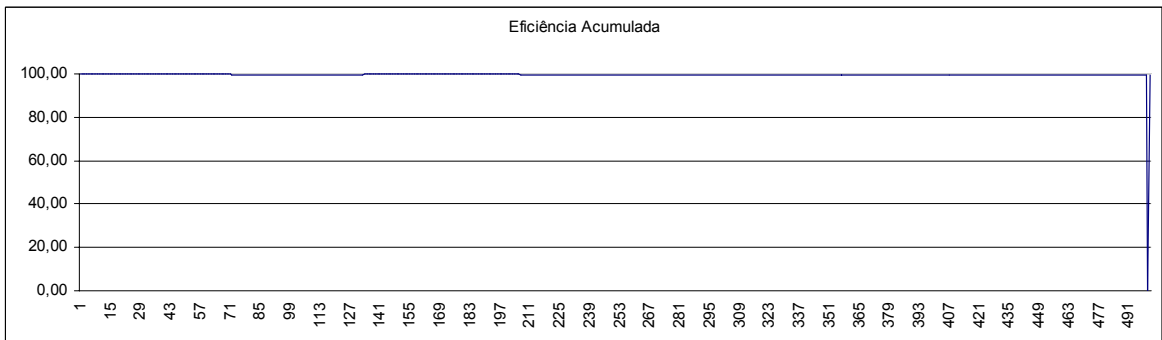
Figura 125 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11\_03



**Figura 126 - Relação SNR para o ponto P11A\_02A**



**Figura 127 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A\_02A**



**Figura 128 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A\_02A**

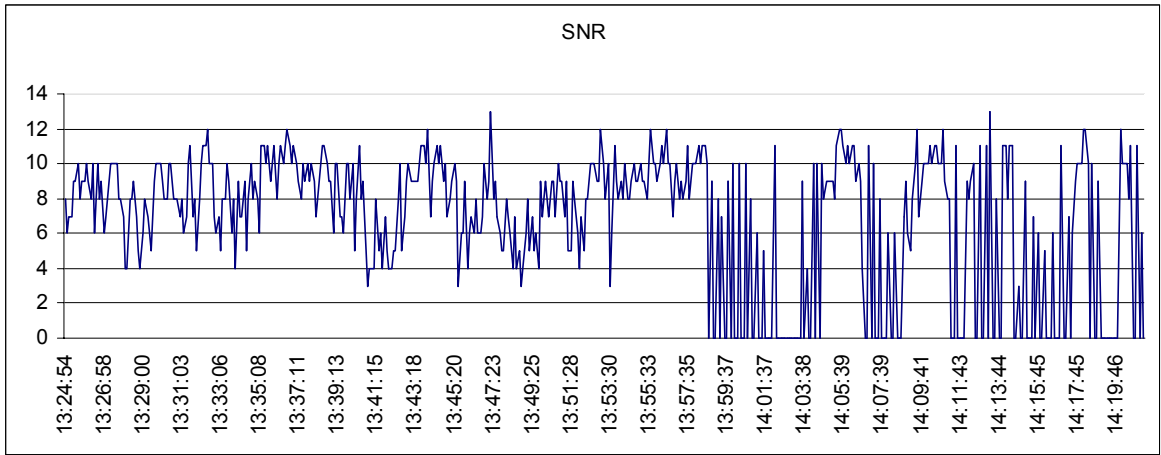


Figura 129 - Relação SNR para o ponto P11A\_03A

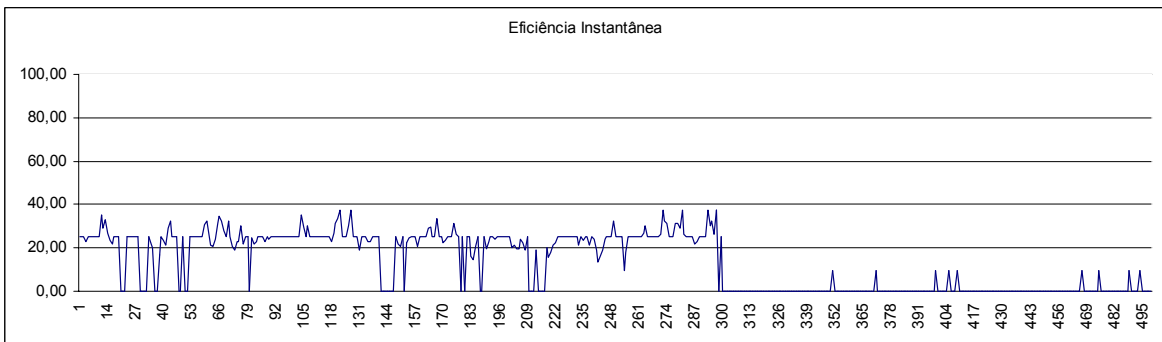


Figura 130 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A\_03A

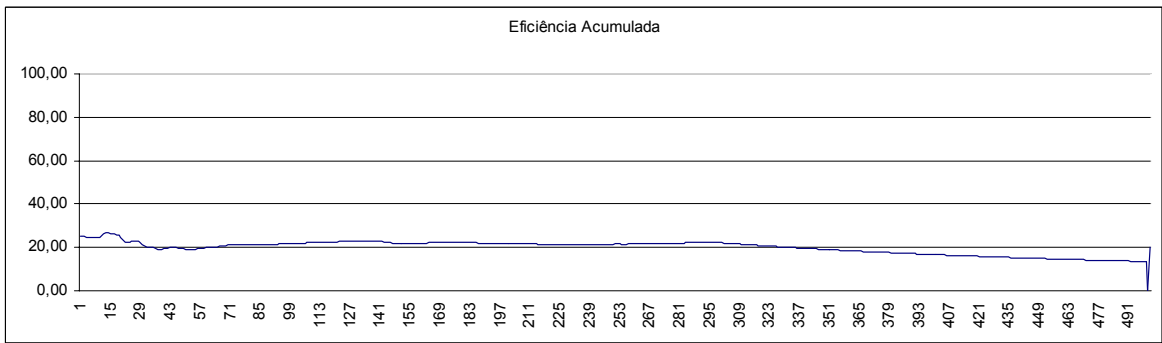


Figura 131 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A\_03A

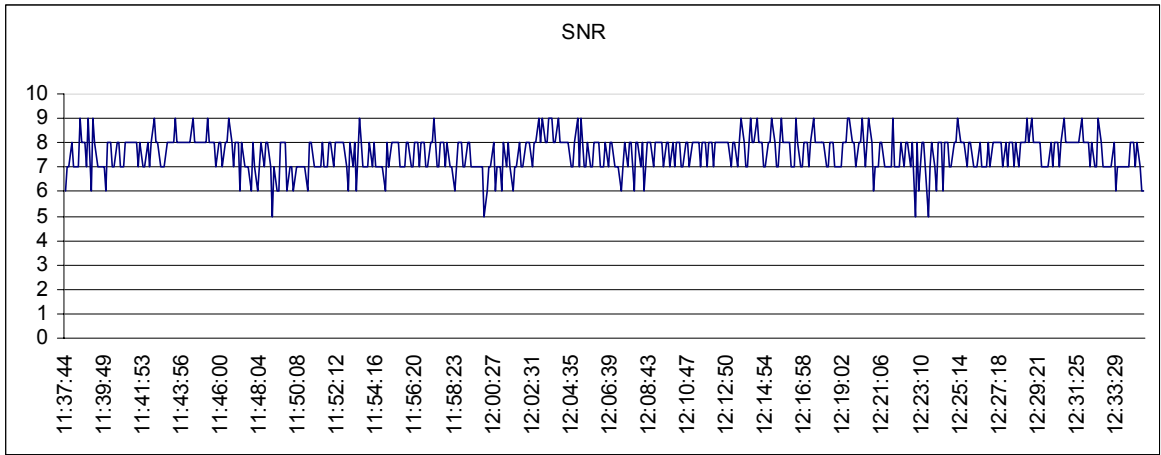


Figura 132 - Relação SNR para o ponto P11A\_04A

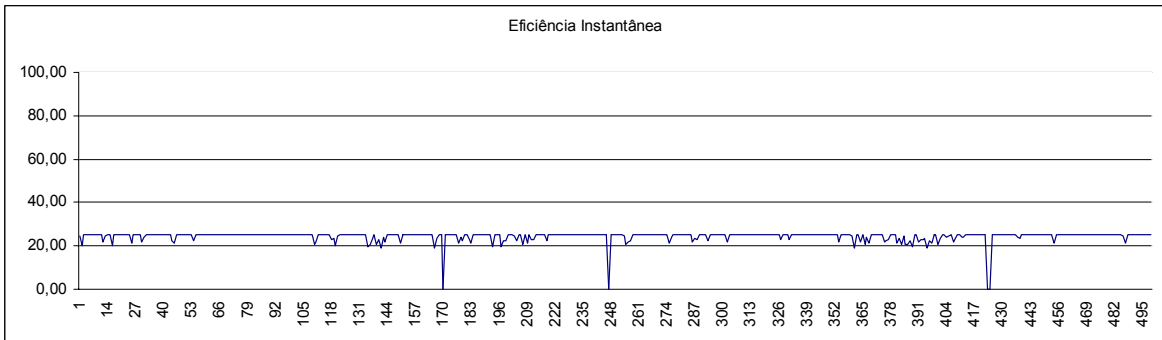


Figura 133 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P11A\_04A

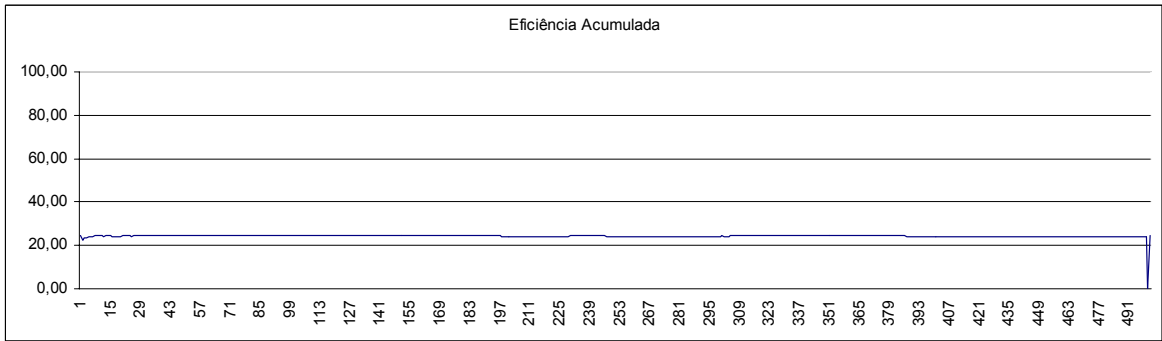
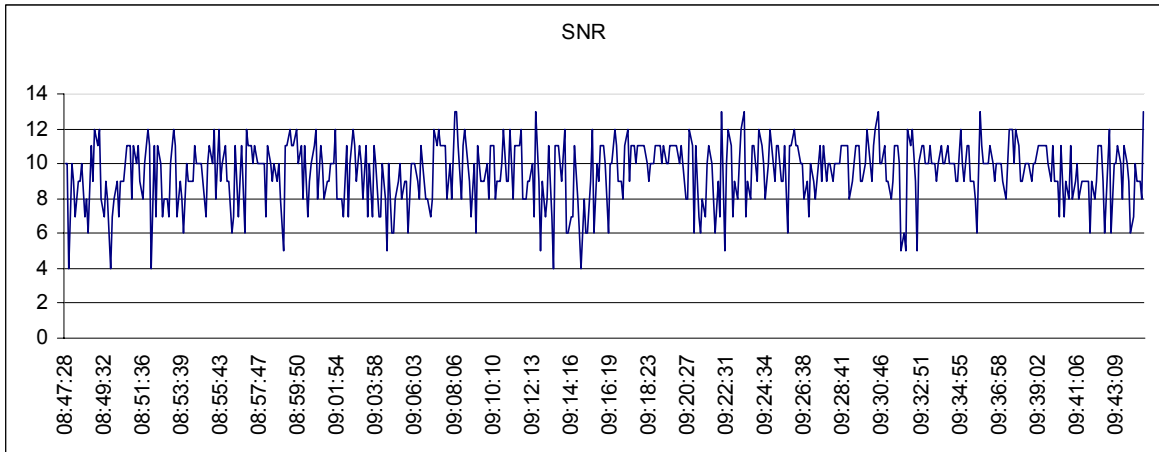
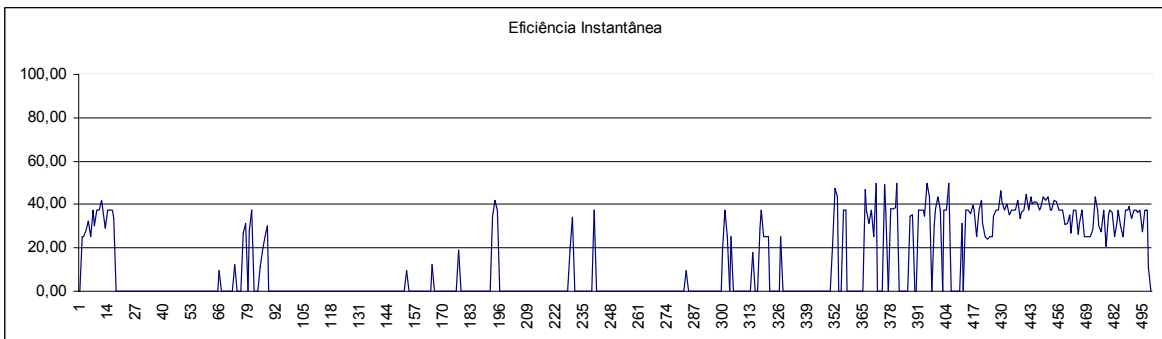


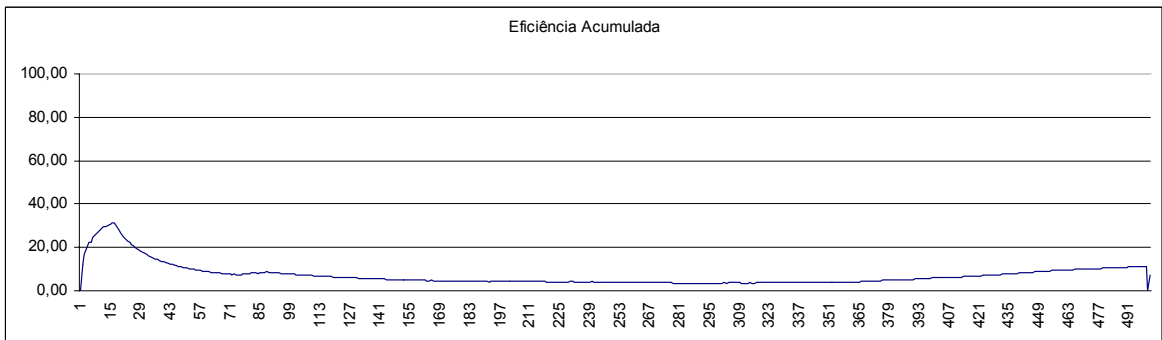
Figura 134 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P11A\_04A



**Figura 135 - Relação SNR para o ponto P12\_01**



**Figura 136 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P12\_01**



**Figura 137 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P12\_01**



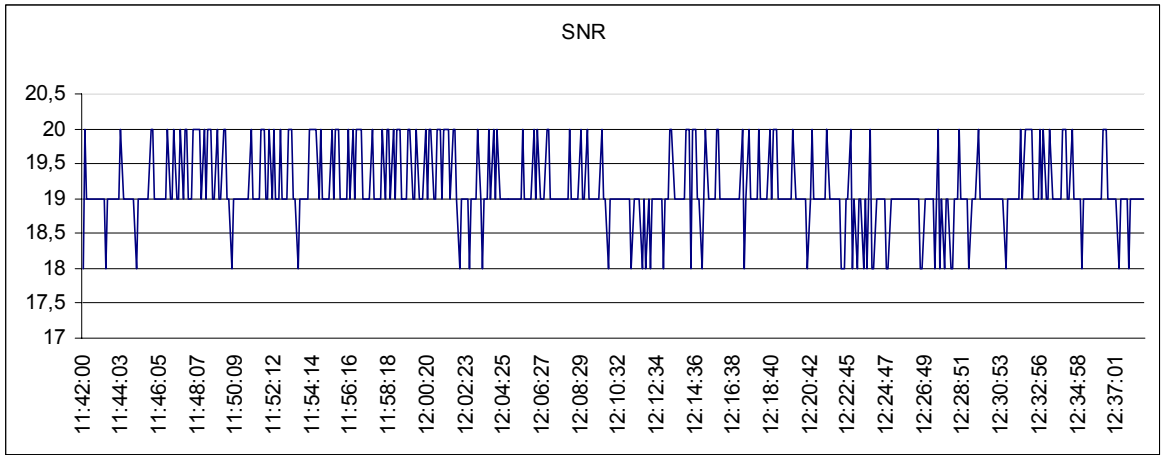


Figura 138 - Relação SNR para o ponto P12\_04

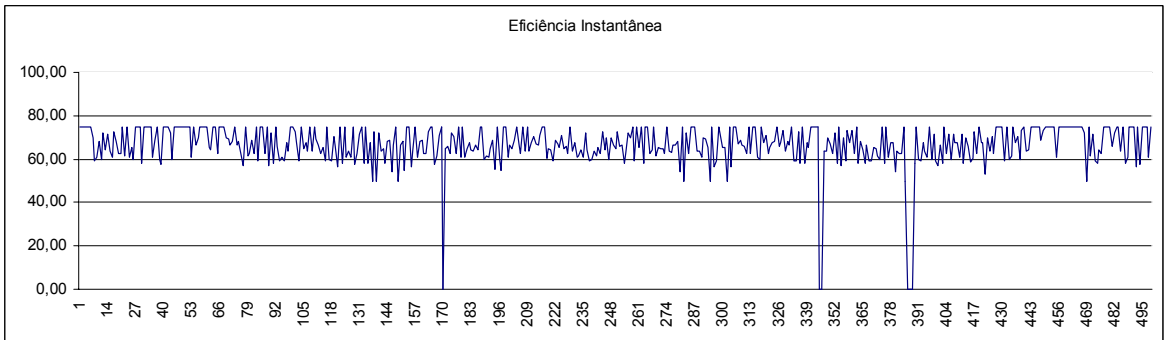


Figura 139 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto P12\_04

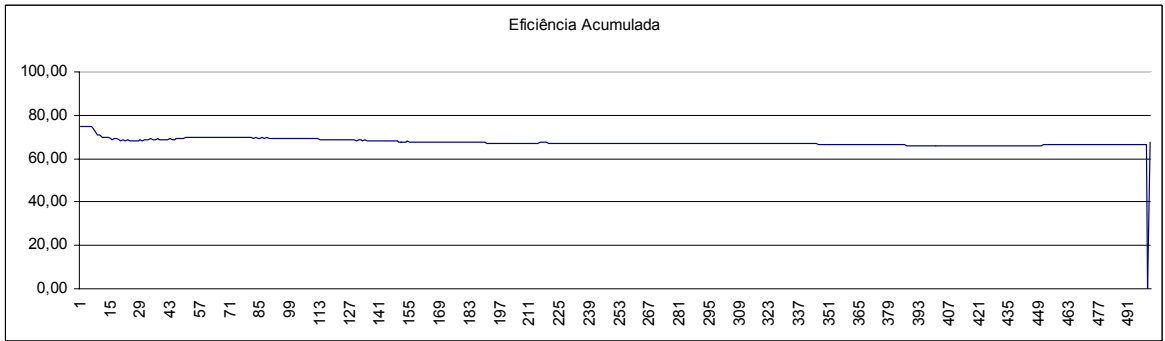
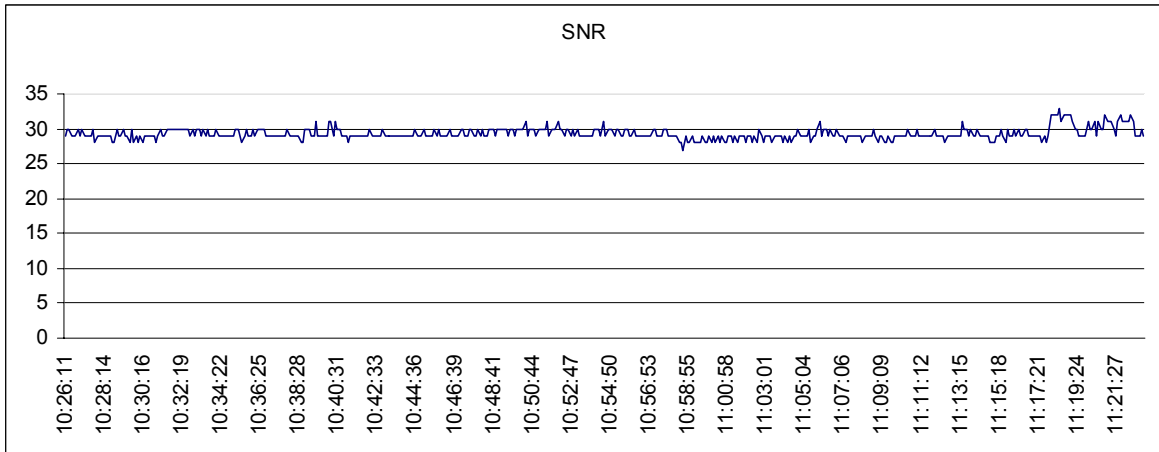
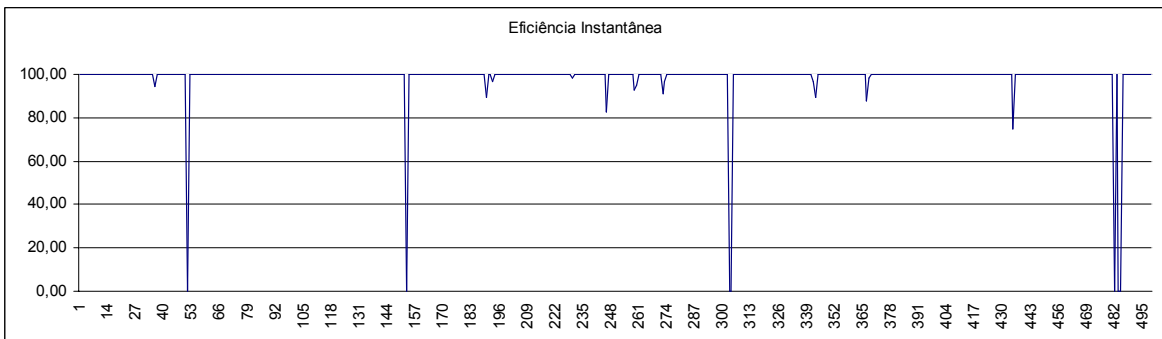


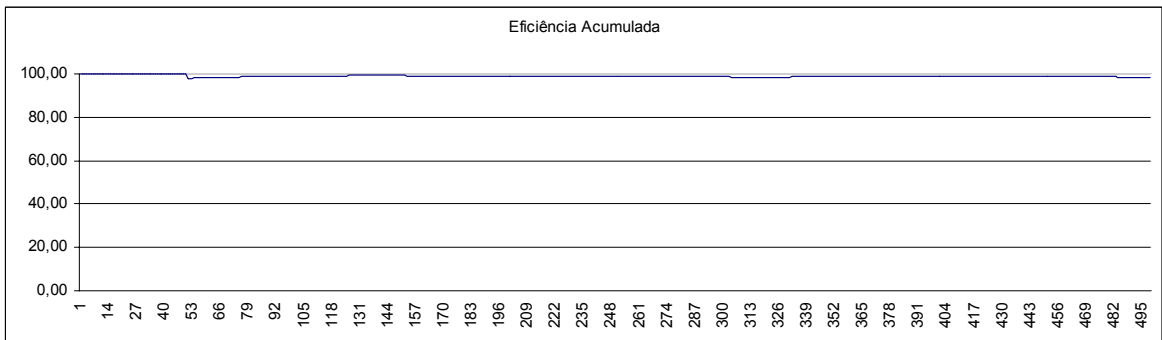
Figura 140 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto P12\_04



**Figura 141 - Relação SNR para o ponto Pref**



**Figura 142 - Gráfico da Eficiência Instantânea para o ponto Pref**



**Figura 143 - Gráfico da Eficiência Acumulada para o ponto Pref**

### 8.5. ANEXO E – Perfil Topográfico dos Pontos de Teste

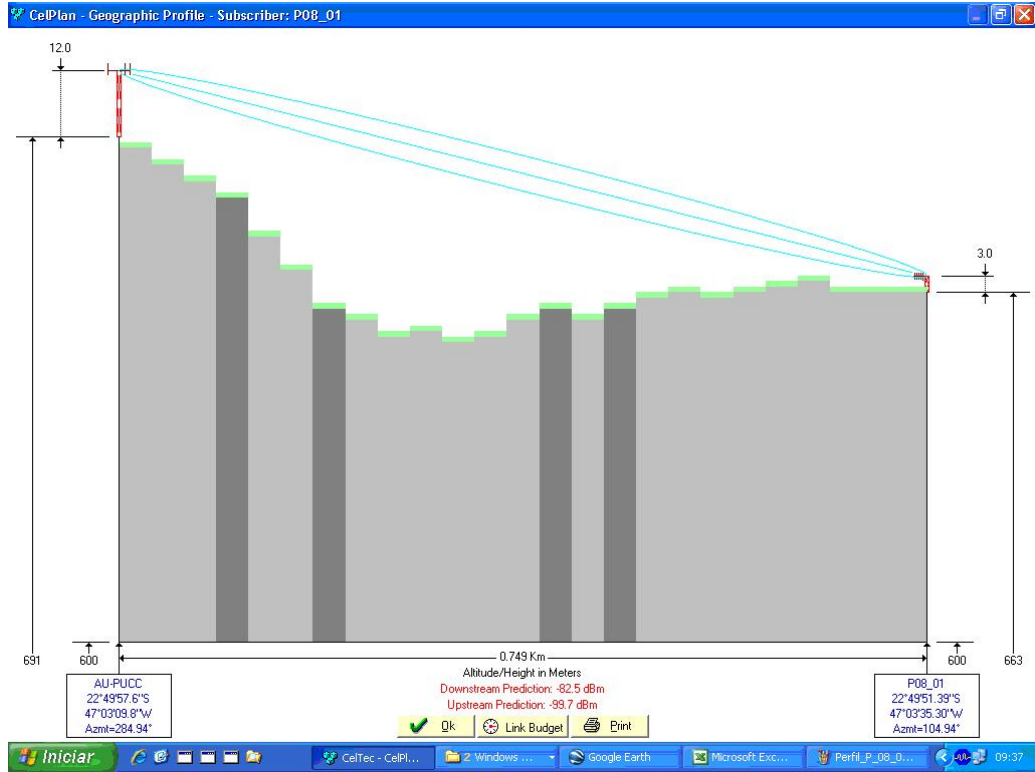


Figura 144 - Perfil topográfico do ponto P08\_01

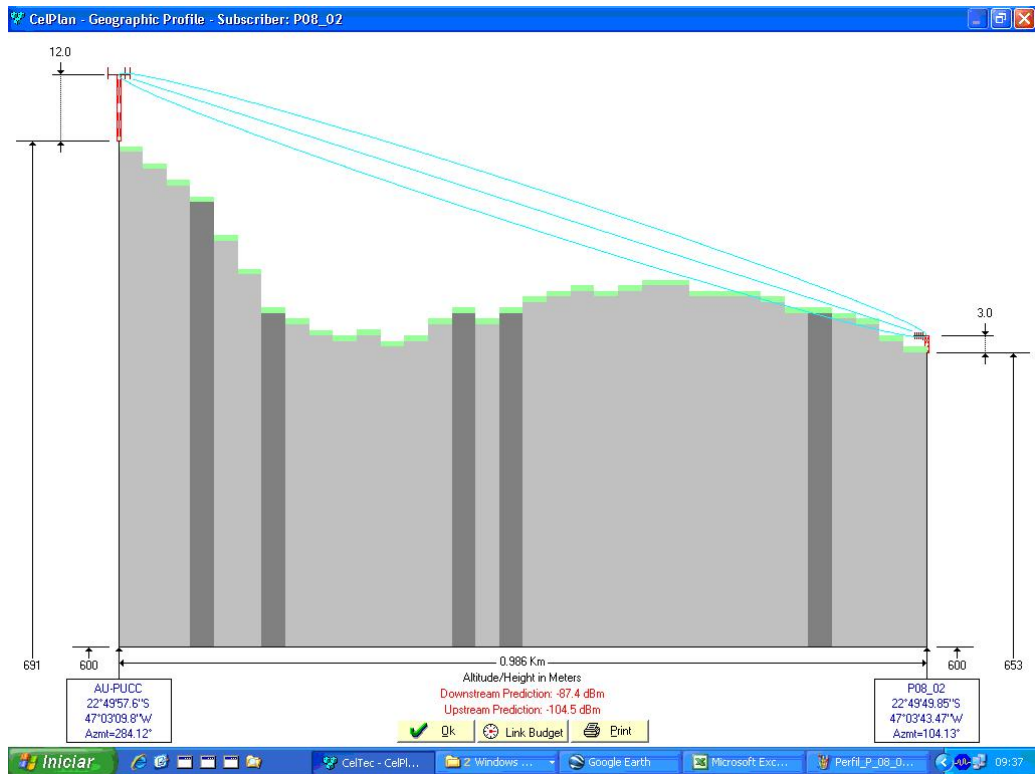


Figura 145 - Perfil Topográfico do ponto P08\_02

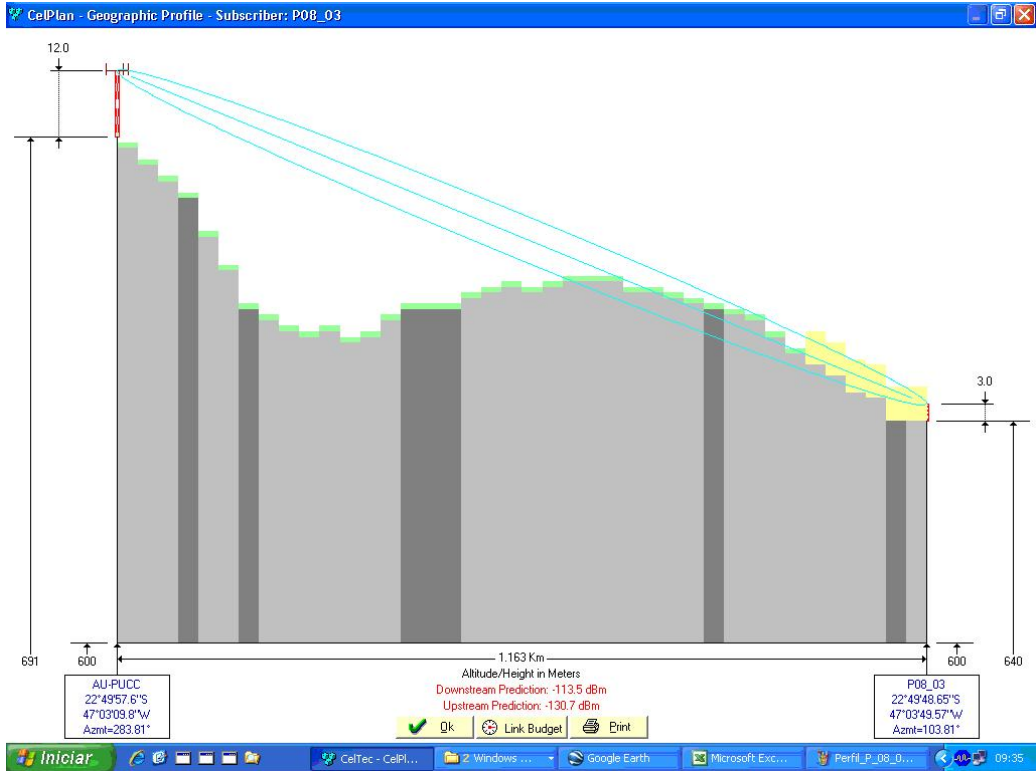


Figura 146 - Perfil topográfico do ponto P08\_03

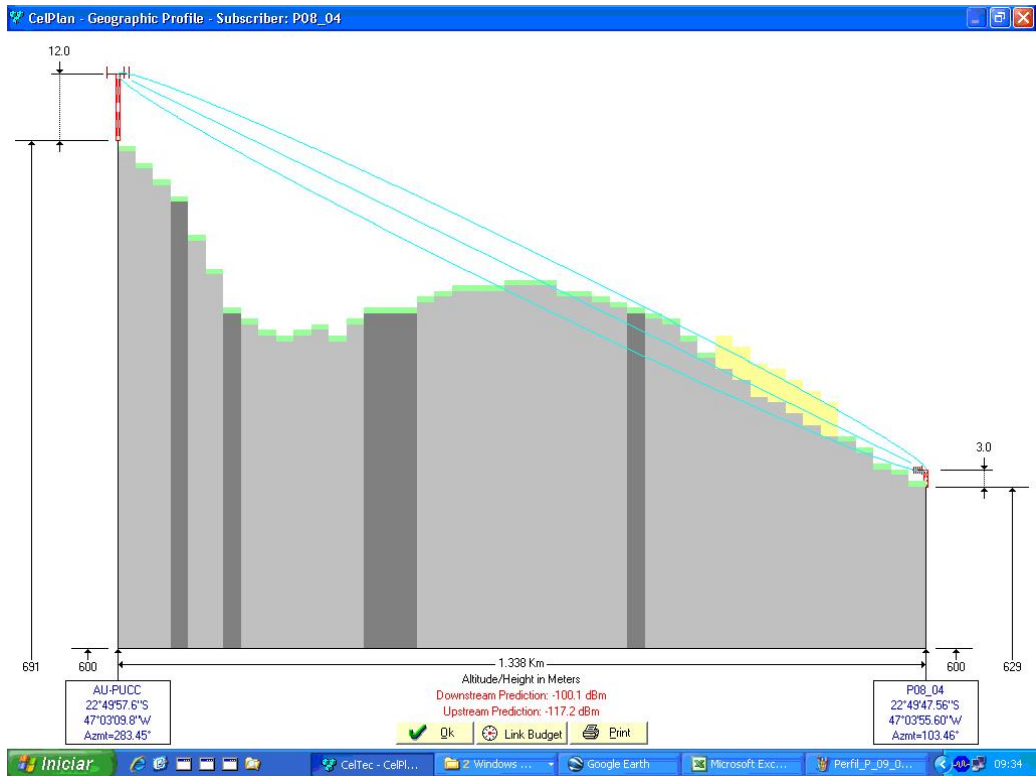


Figura 147 - Perfil topográfico do ponto P08\_04

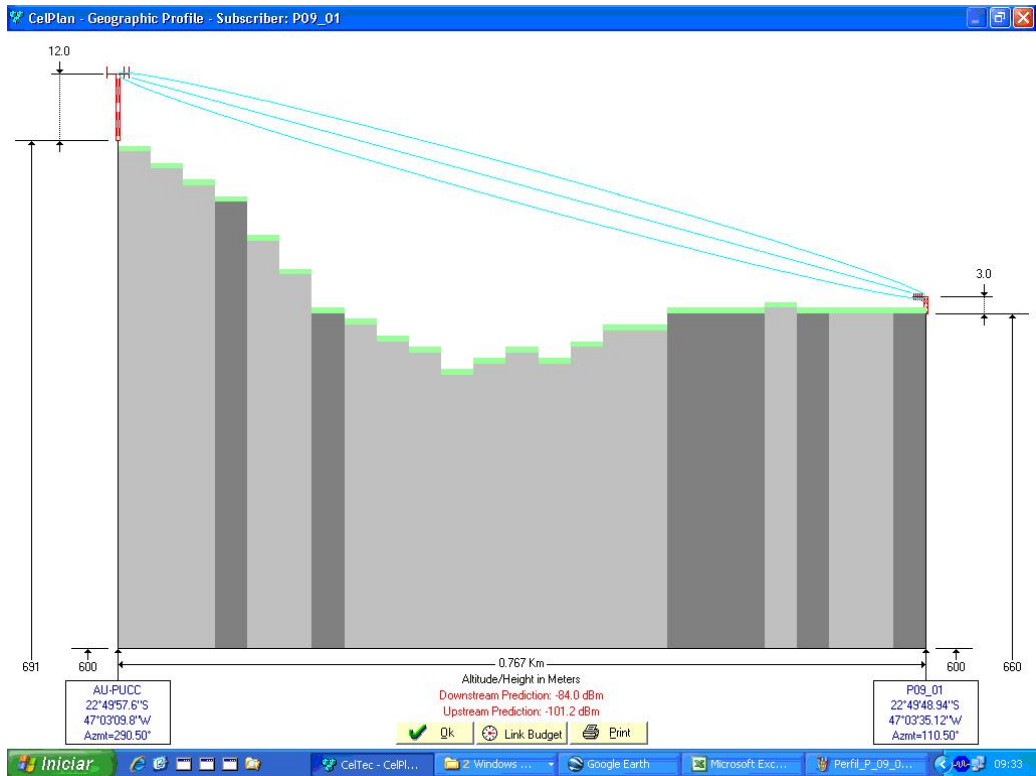


Figura 148 - Perfil topográfico do ponto P09\_01

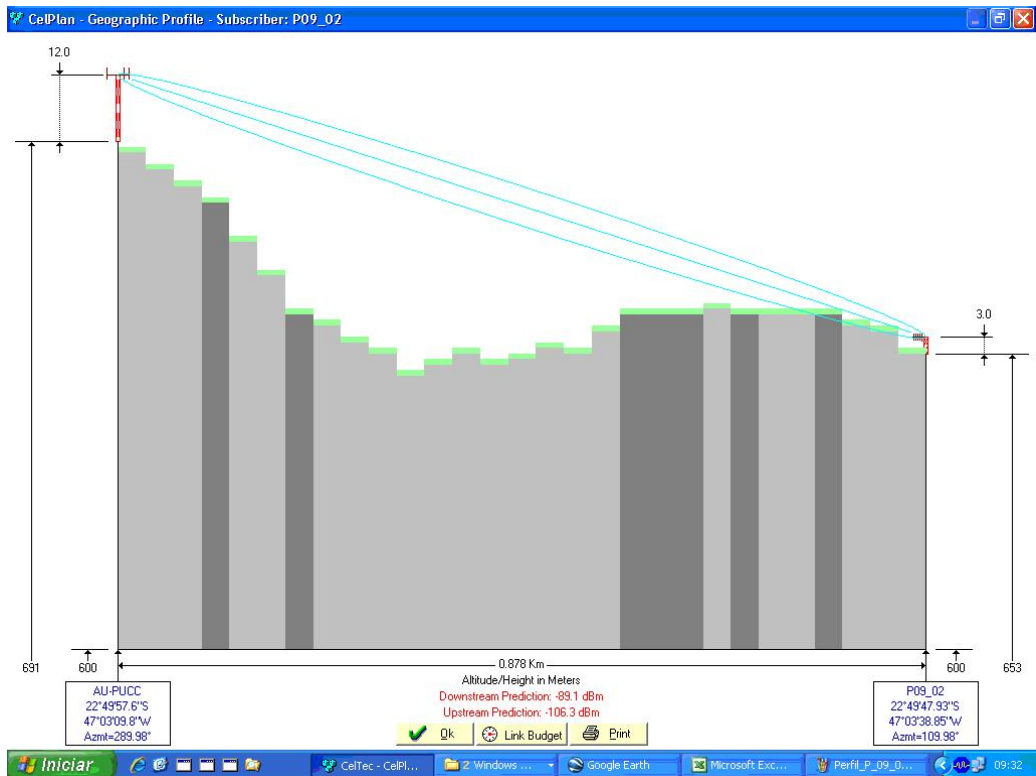


Figura 149 - Perfil topográfico do ponto P09\_02

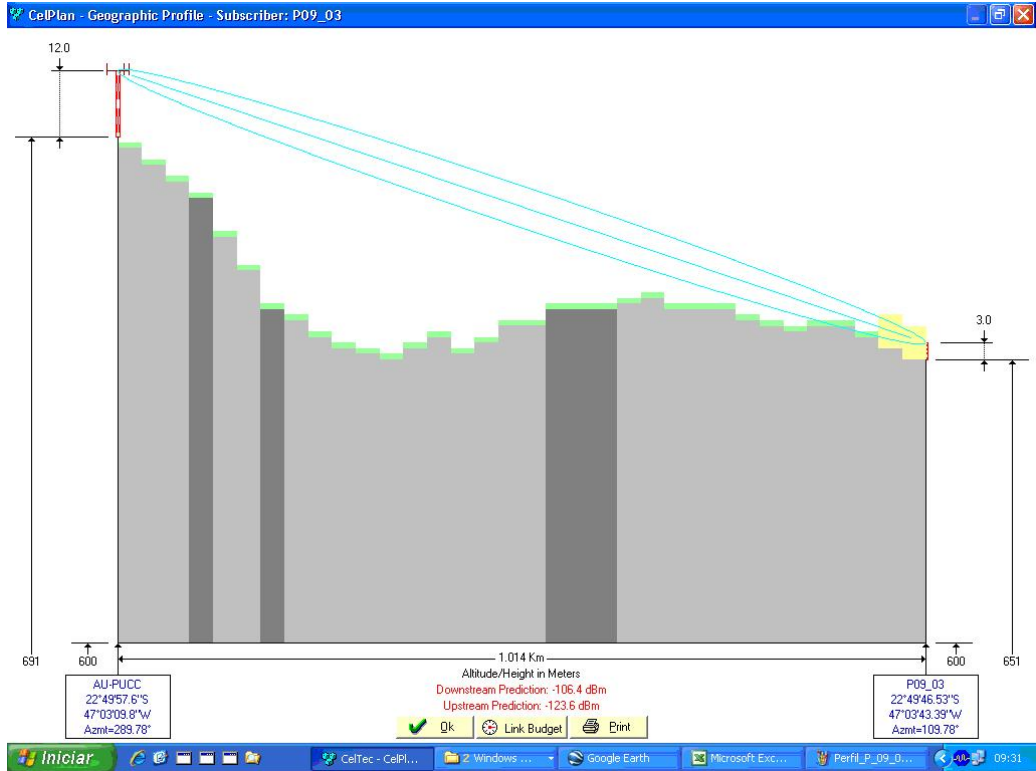


Figura 150 - Perfil topográfico do ponto P09\_03

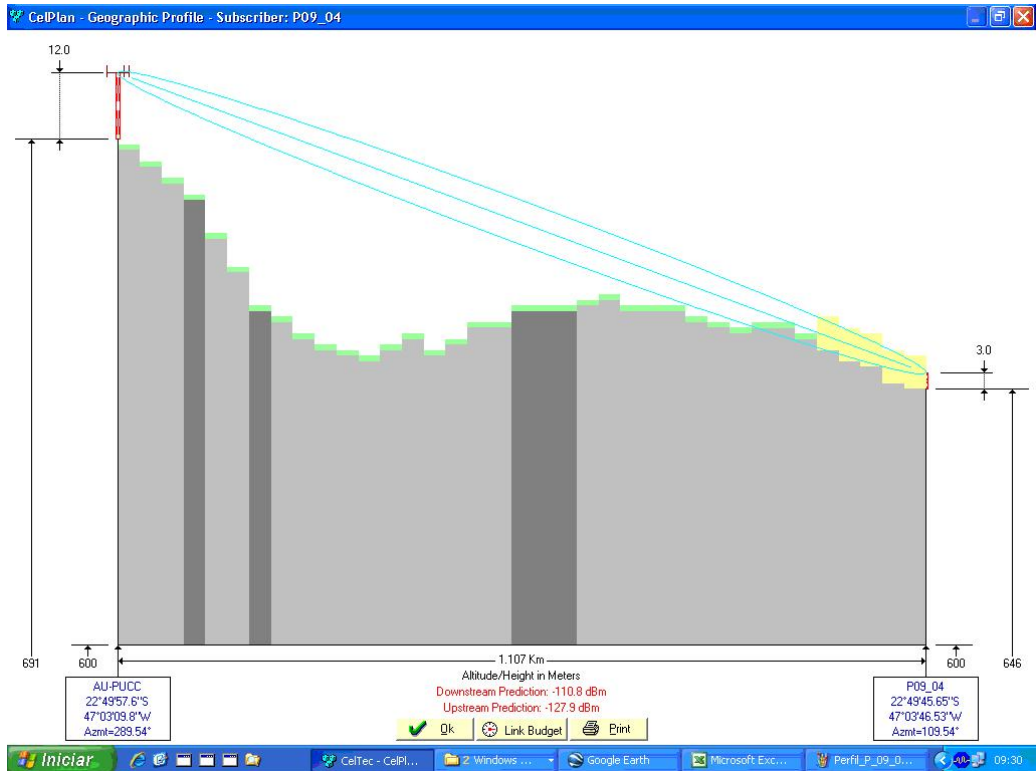


Figura 151 - Perfil topográfico do ponto P09\_04

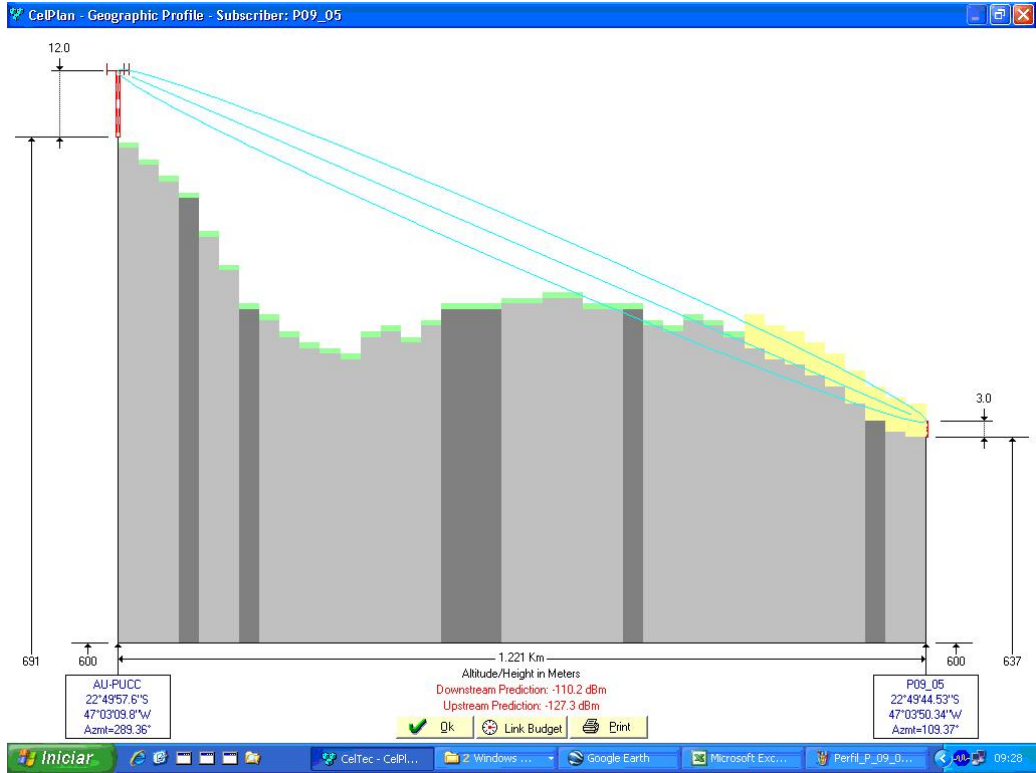


Figura 152 - Perfil topográfico do ponto P09\_05

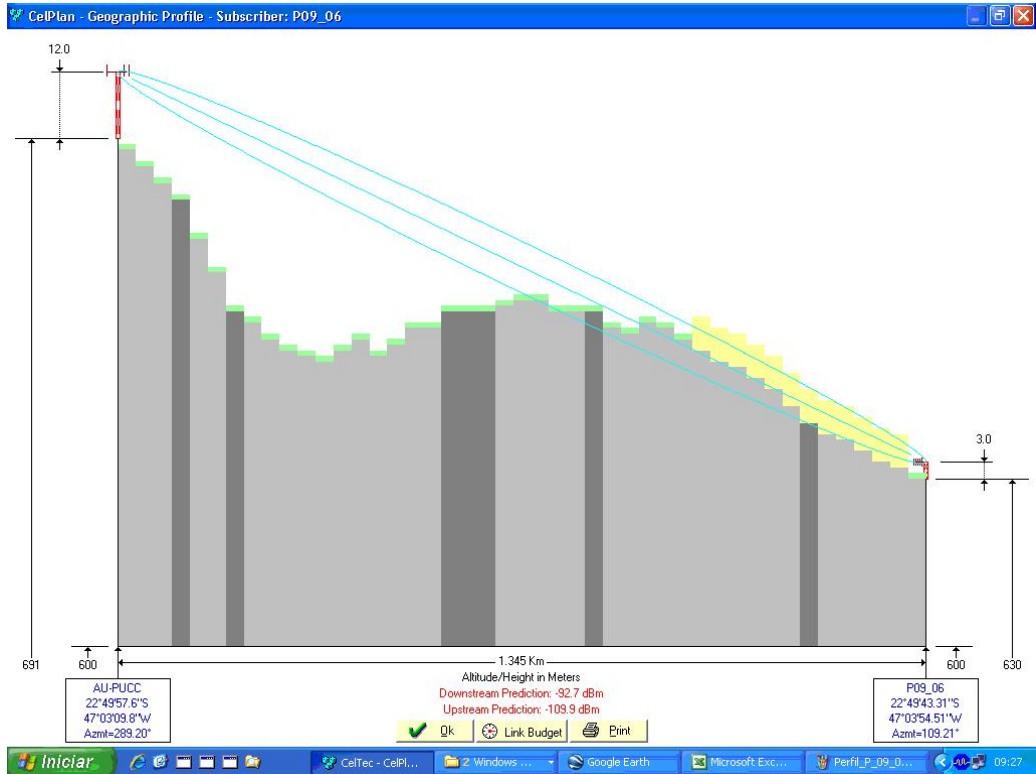


Figura 153 - Perfil topográfico do ponto P09\_06

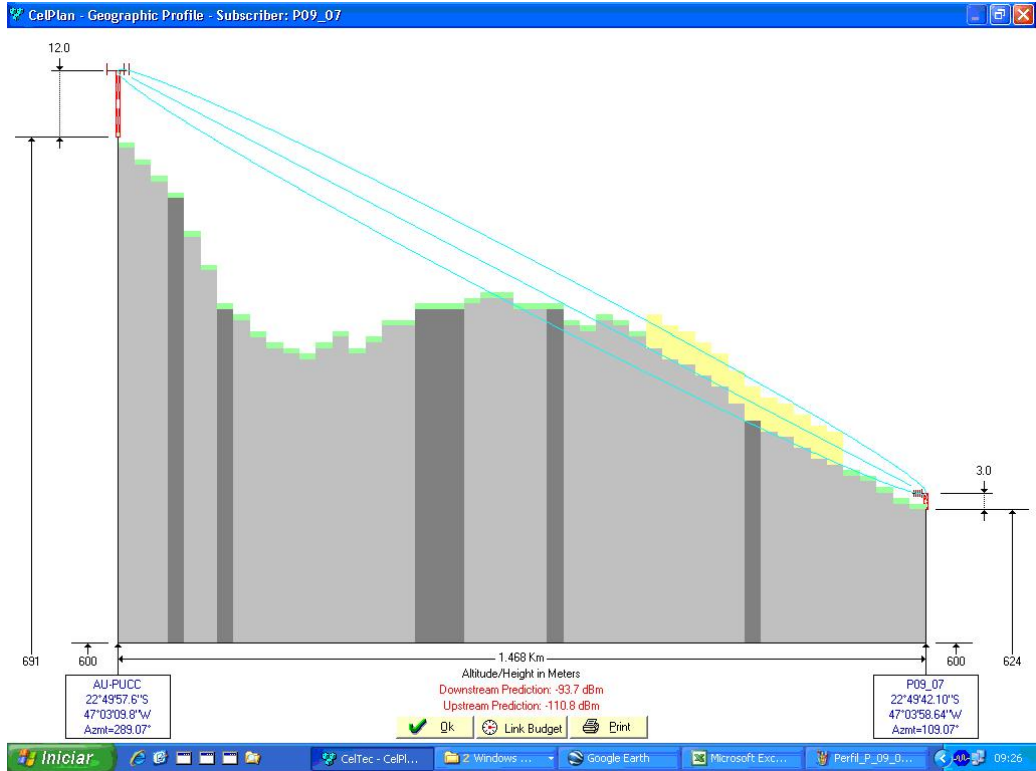


Figura 154 - Perfil topográfico do ponto P09\_07

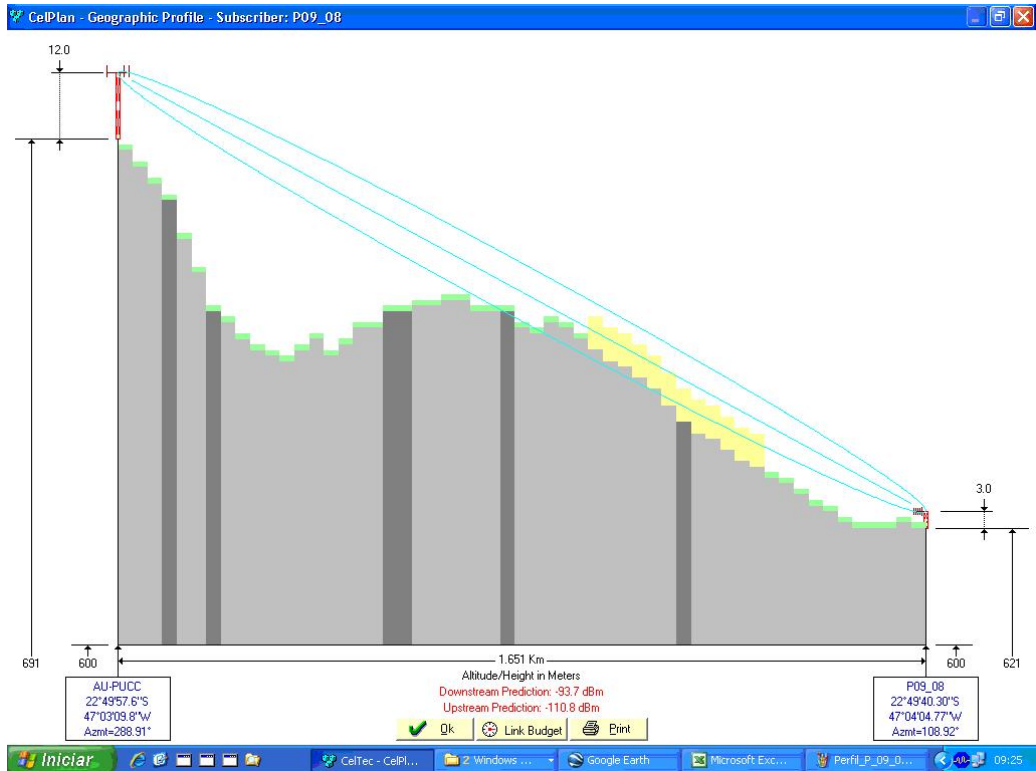


Figura 155 - Perfil topográfico do ponto P09\_08



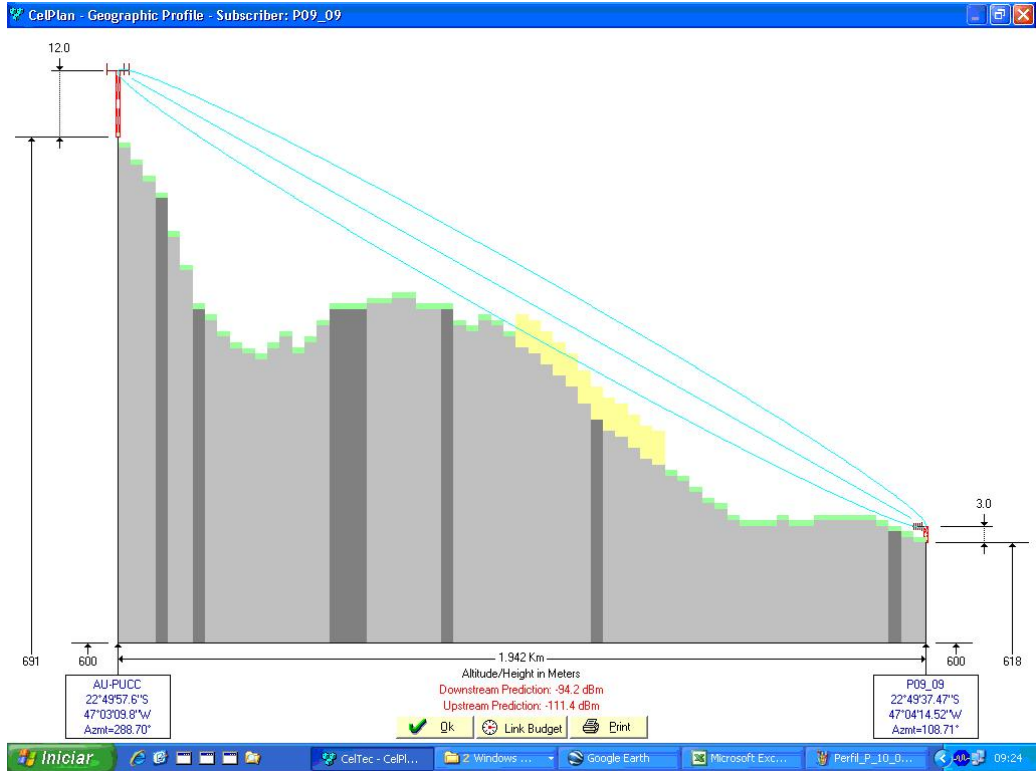


Figura 156 - Perfil topográfico do ponto P09\_09

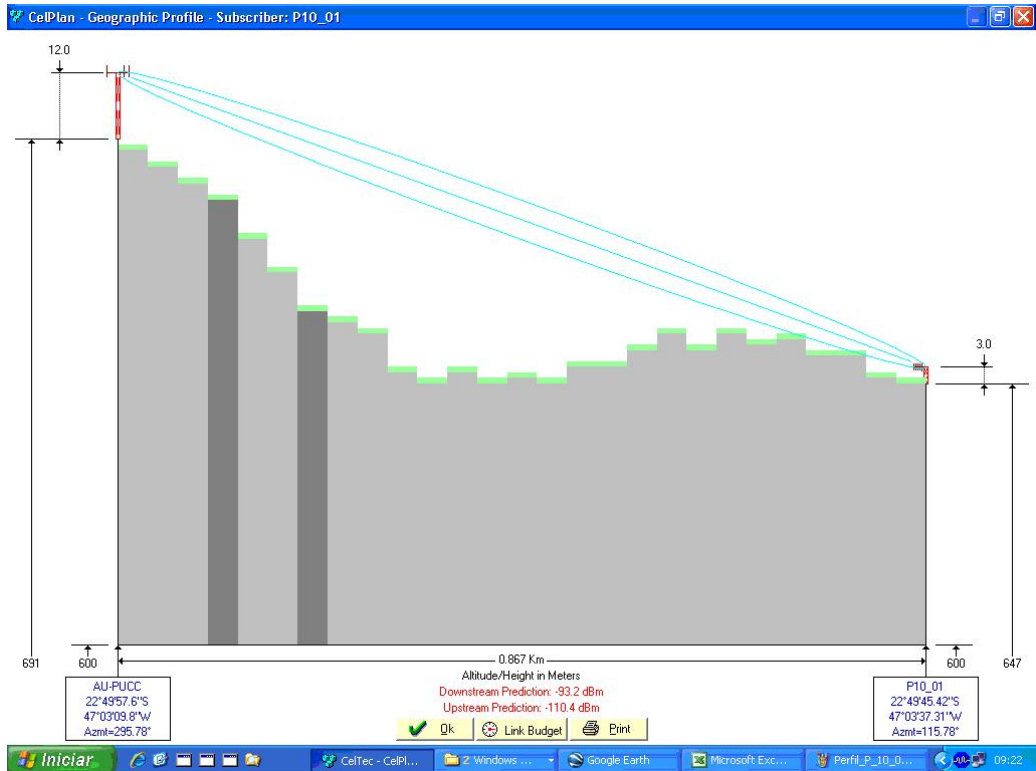


Figura 157 - Perfil topográfico do ponto P10\_01

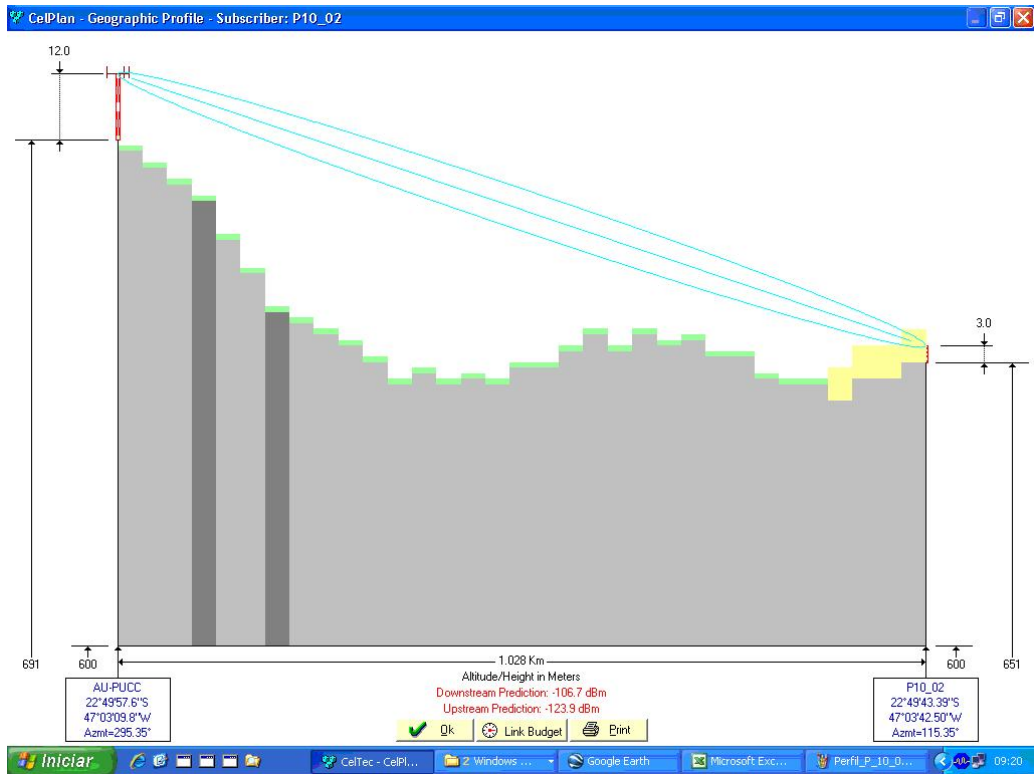


Figura 158 - Perfil topográfico do ponto P10\_02

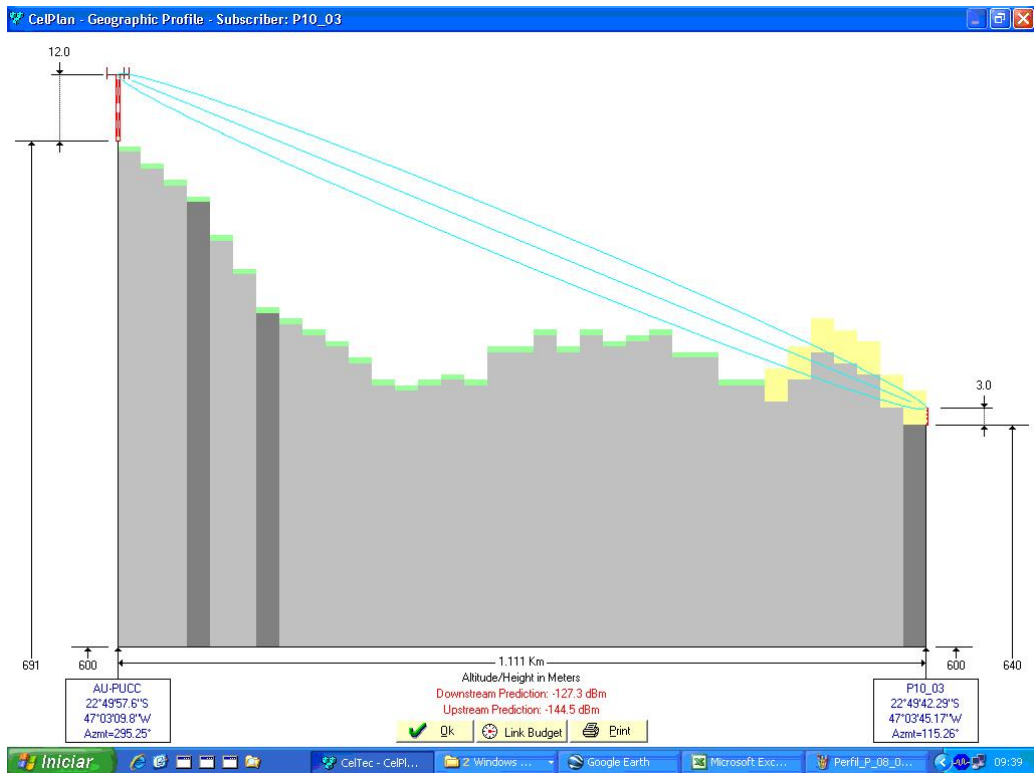


Figura 159 - Perfil topográfico do ponto P10\_03

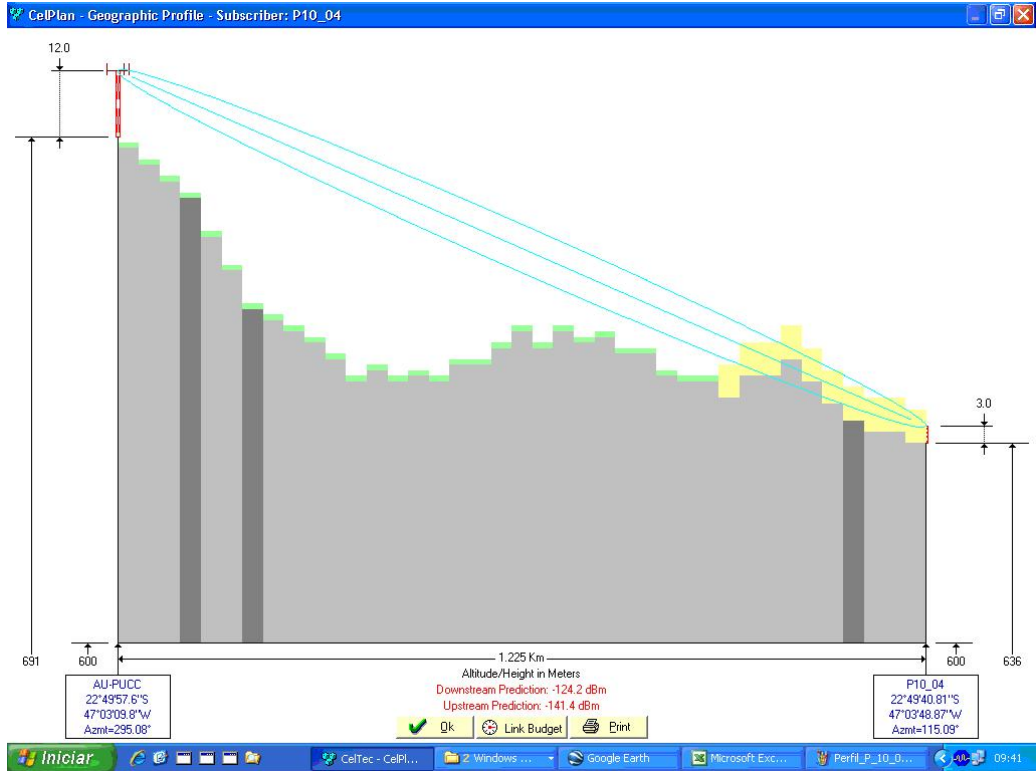


Figura 160 - Perfil topográfico do ponto P10\_04

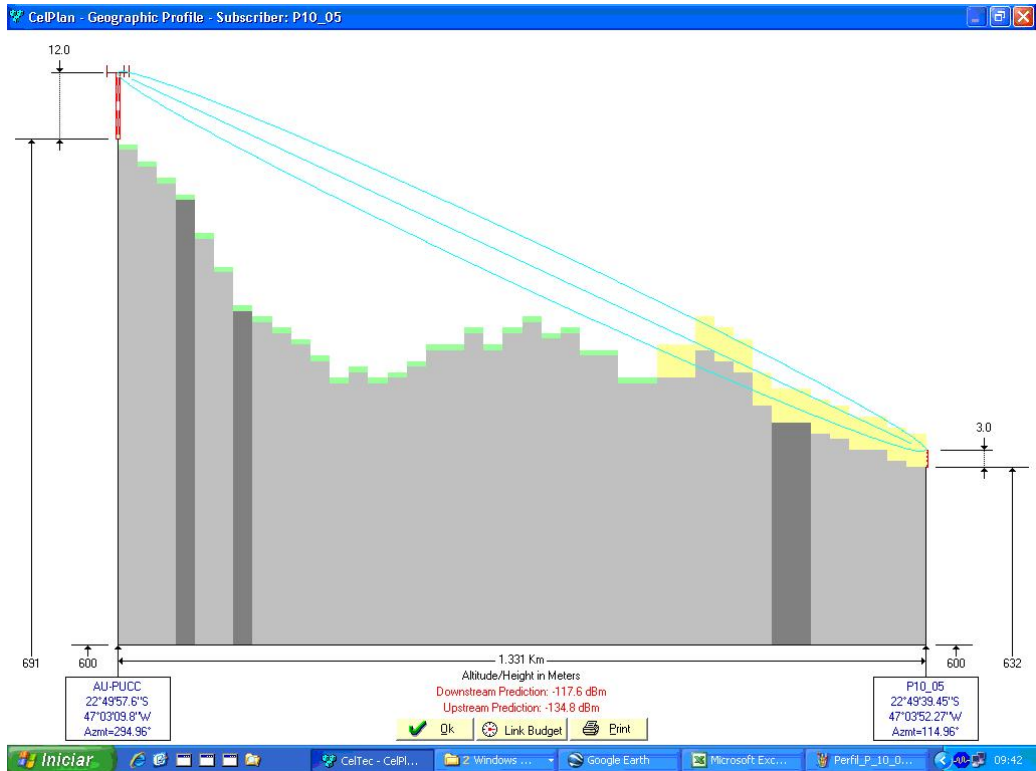


Figura 161 - Perfil topográfico do ponto P10\_05

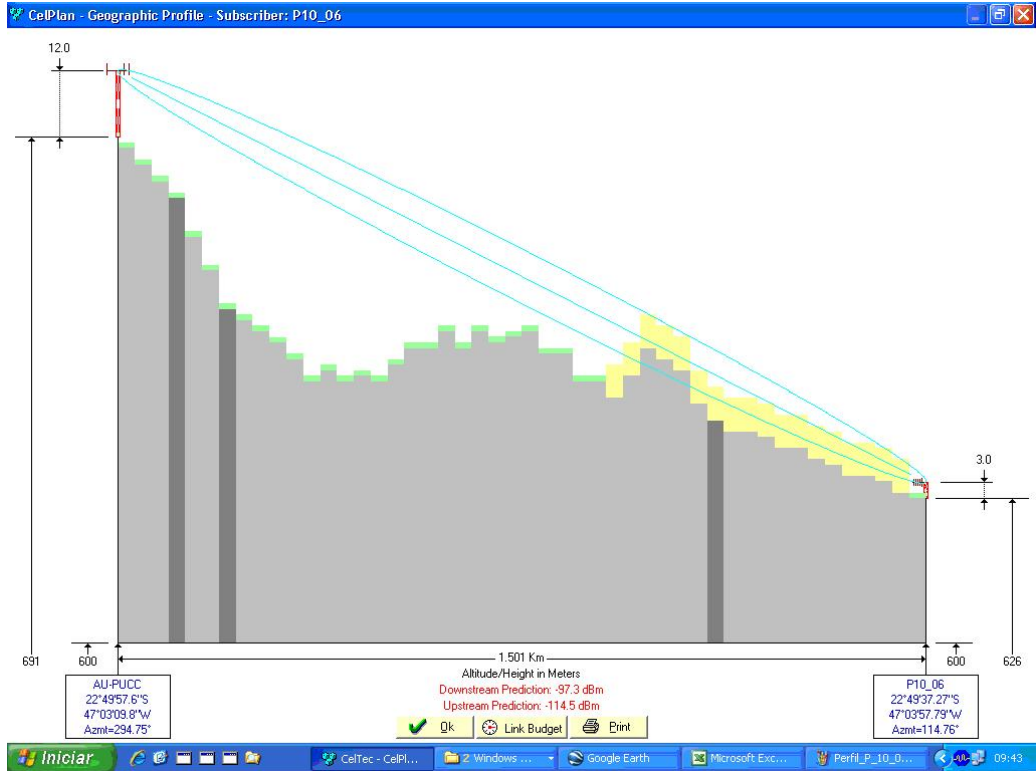


Figura 162 - Perfil topográfico do ponto P10\_06

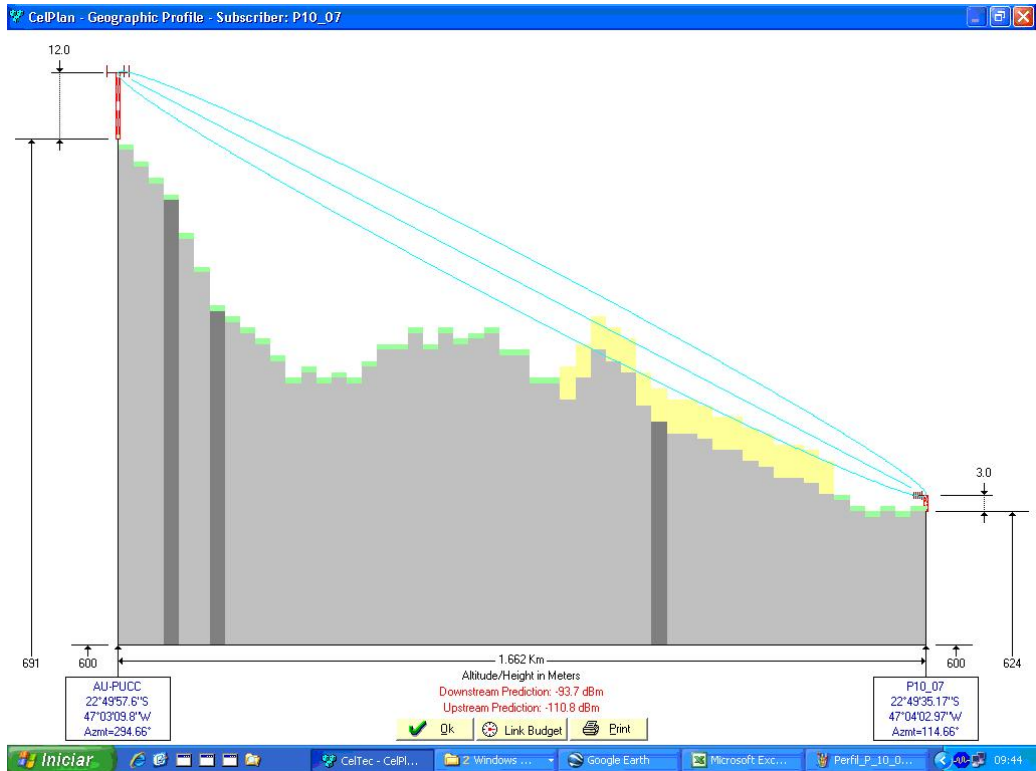


Figura 163 - Perfil topográfico do ponto P10\_07

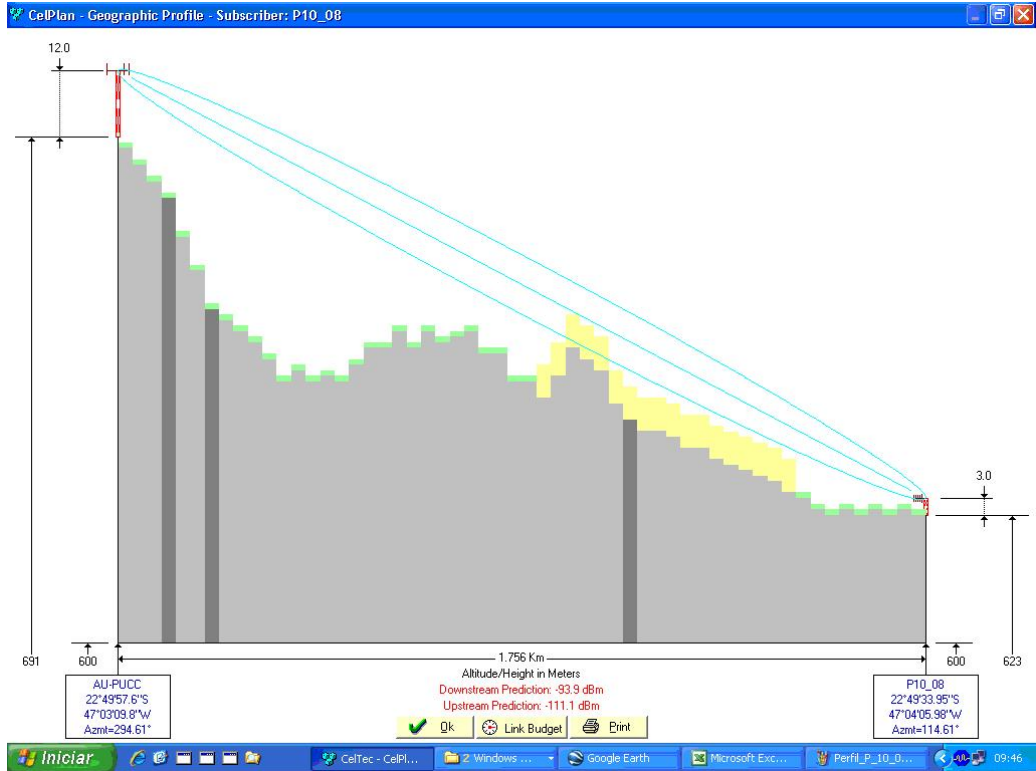


Figura 164 - Perfil topográfico do ponto P10\_08

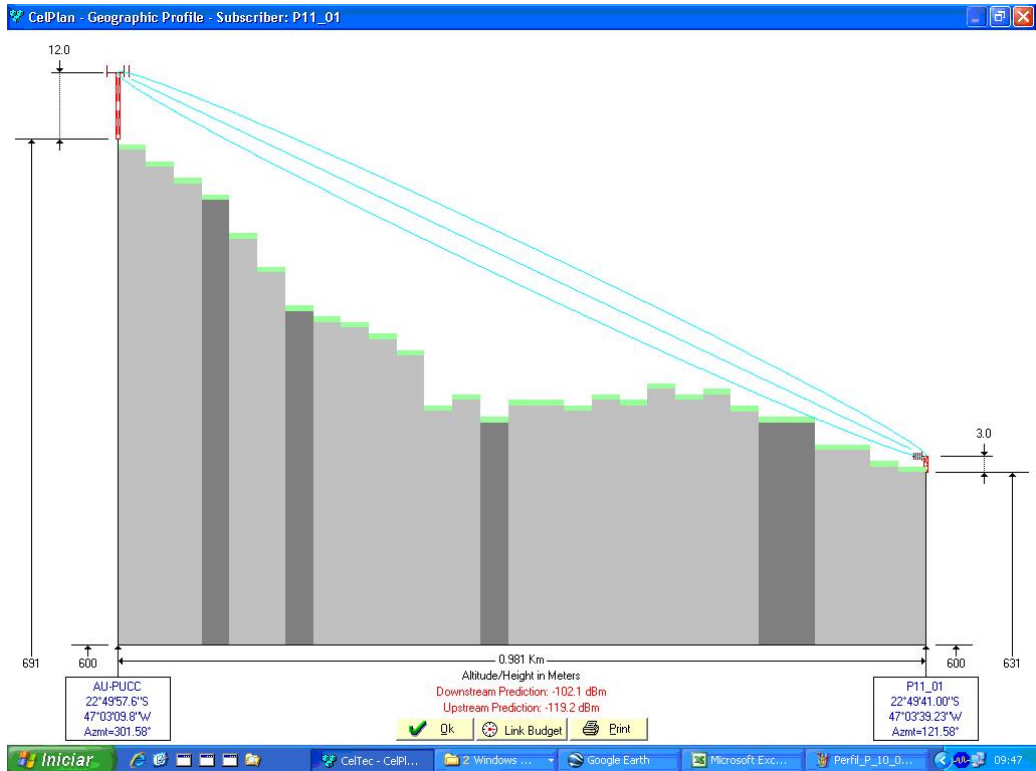


Figura 165 - Perfil topográfico do ponto P11\_01

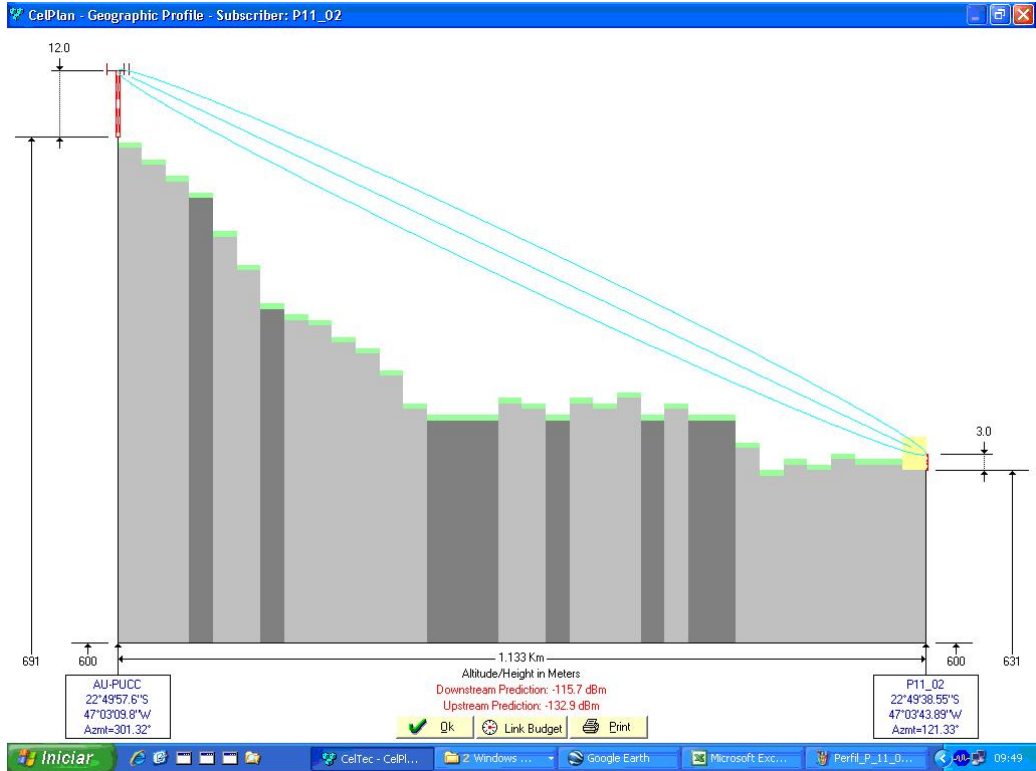


Figura 166 - Perfil topográfico do ponto P11\_02

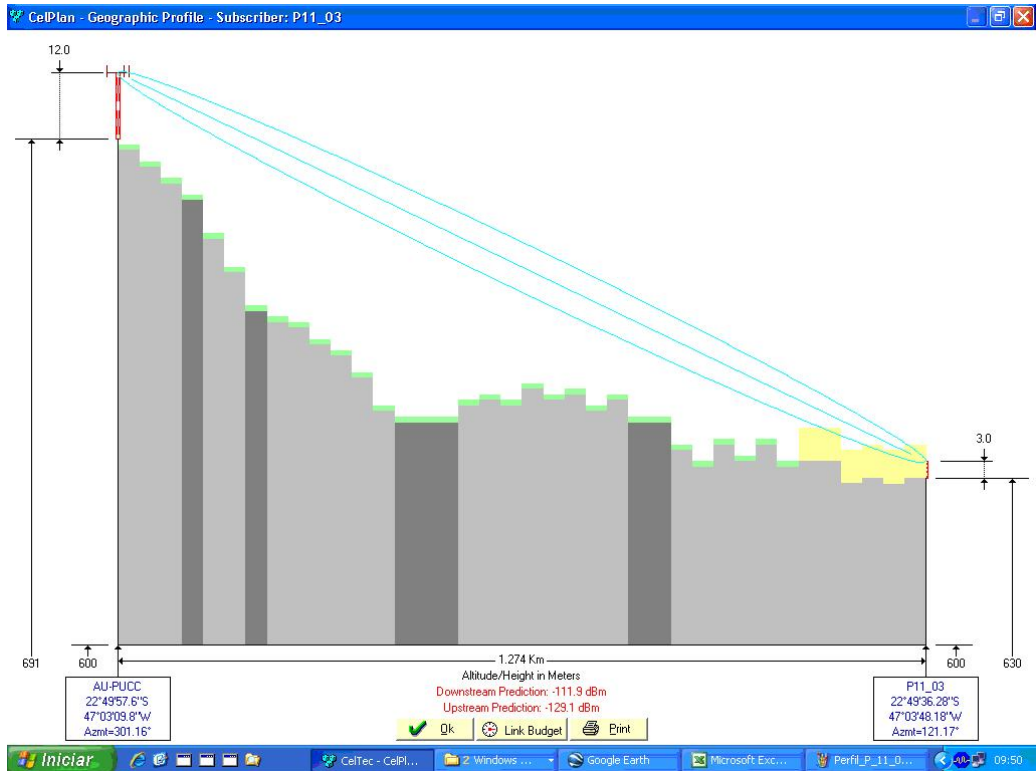


Figura 167 - Perfil topográfico do ponto P11\_03

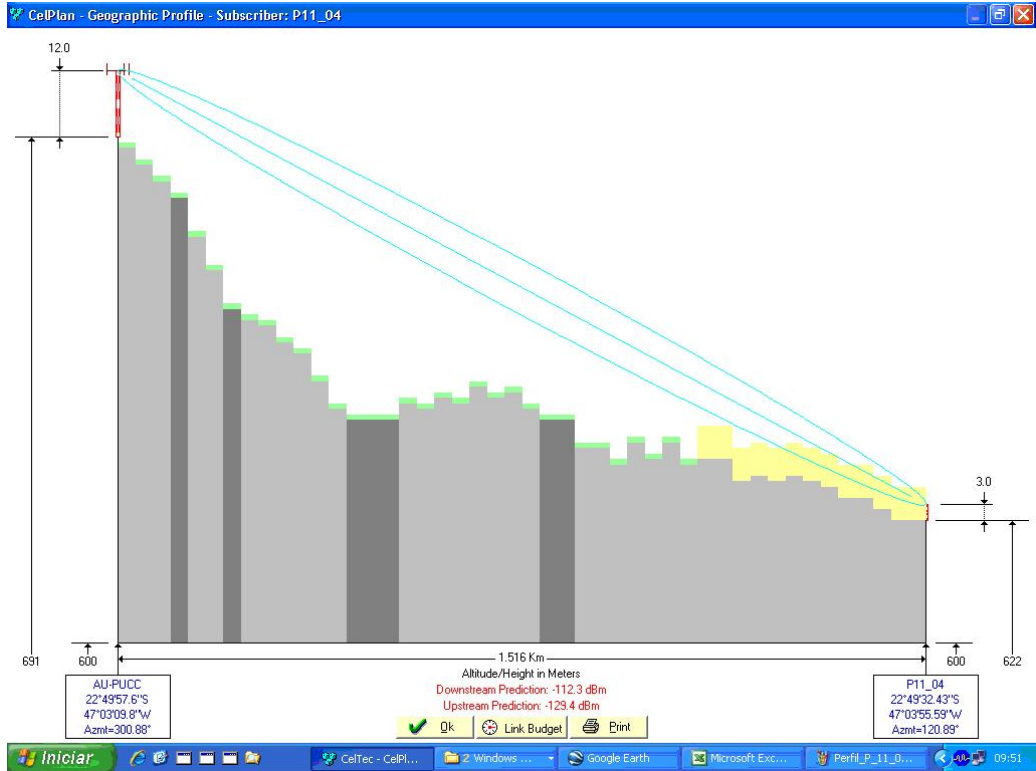


Figura 168 - Perfil topográfico do ponto P11\_04

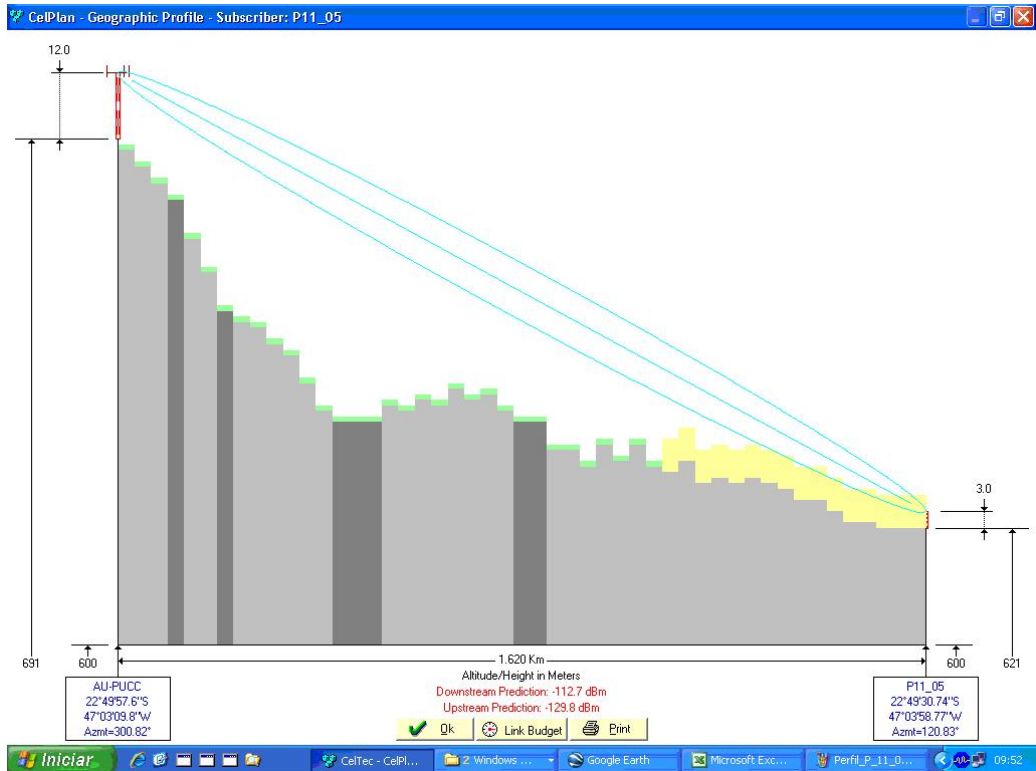


Figura 169 - Perfil topográfico do ponto P11\_05



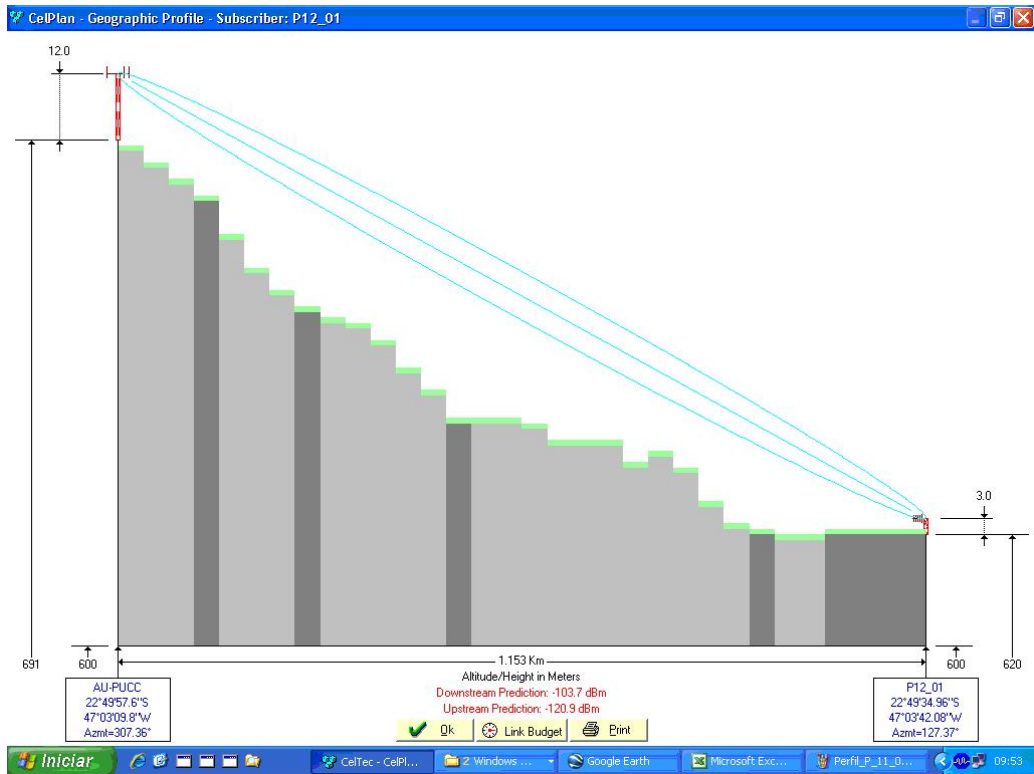


Figura 170 - Perfil topográfico do ponto P12\_01

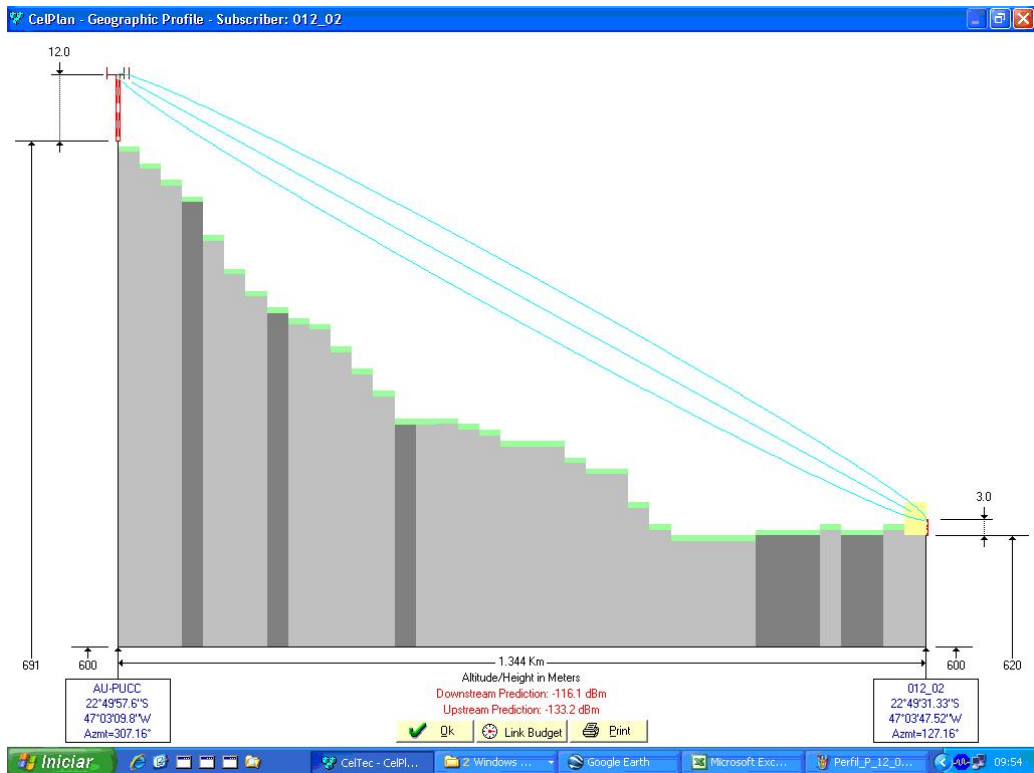


Figura 171 - Perfil topográfico do ponto P12\_02



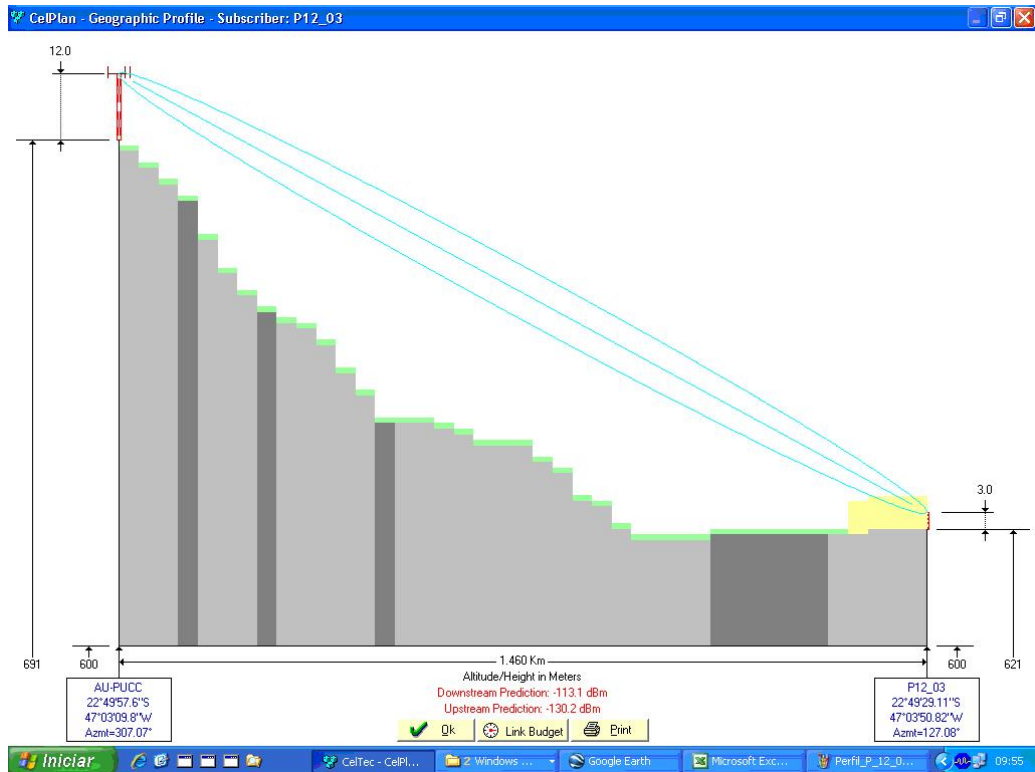


Figura 172 - Perfil topográfico do ponto P12\_03

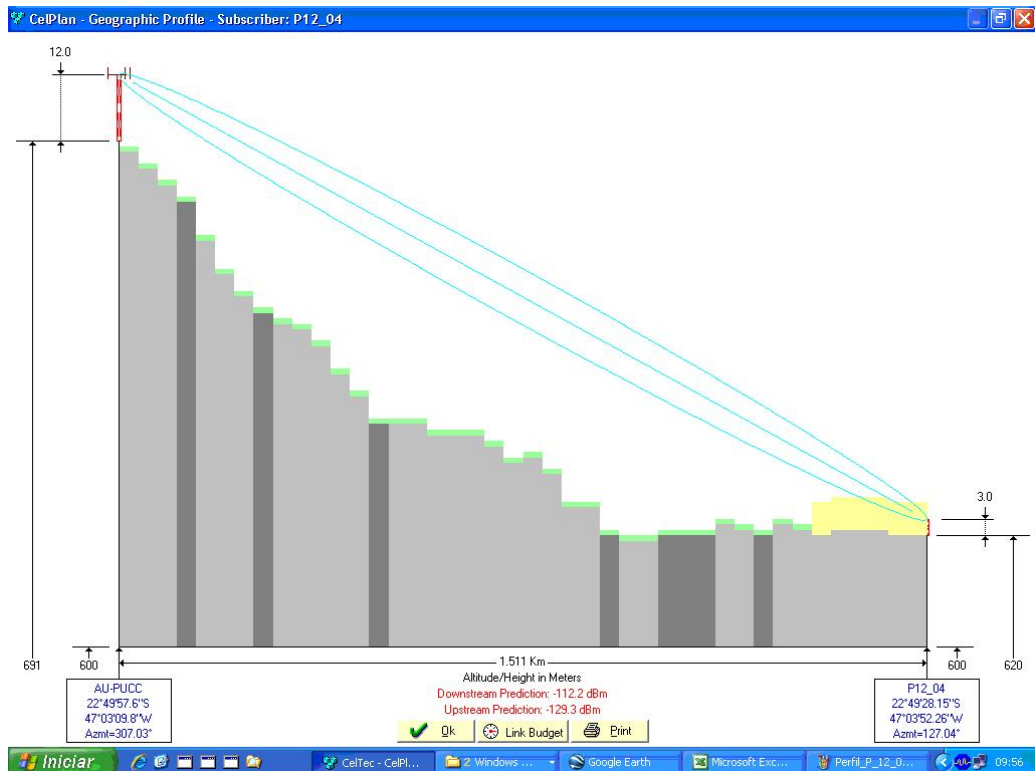


Figura 173 - Perfil topográfico do ponto P12\_04

**8.6. ANEXO F –Fotos das visadas dos pontos de teste**



**Figura 174 - P08\_02**



**Figura 175 - P08\_03**



Figura 176 - P08A\_02A



Figura 177- P08A\_03A





Figura 178 - P08A\_04A



Figura 179 - P08A\_05A



Figura 180 - P09\_02



Figura 181 - P09\_03





Figura 182 - P09\_04

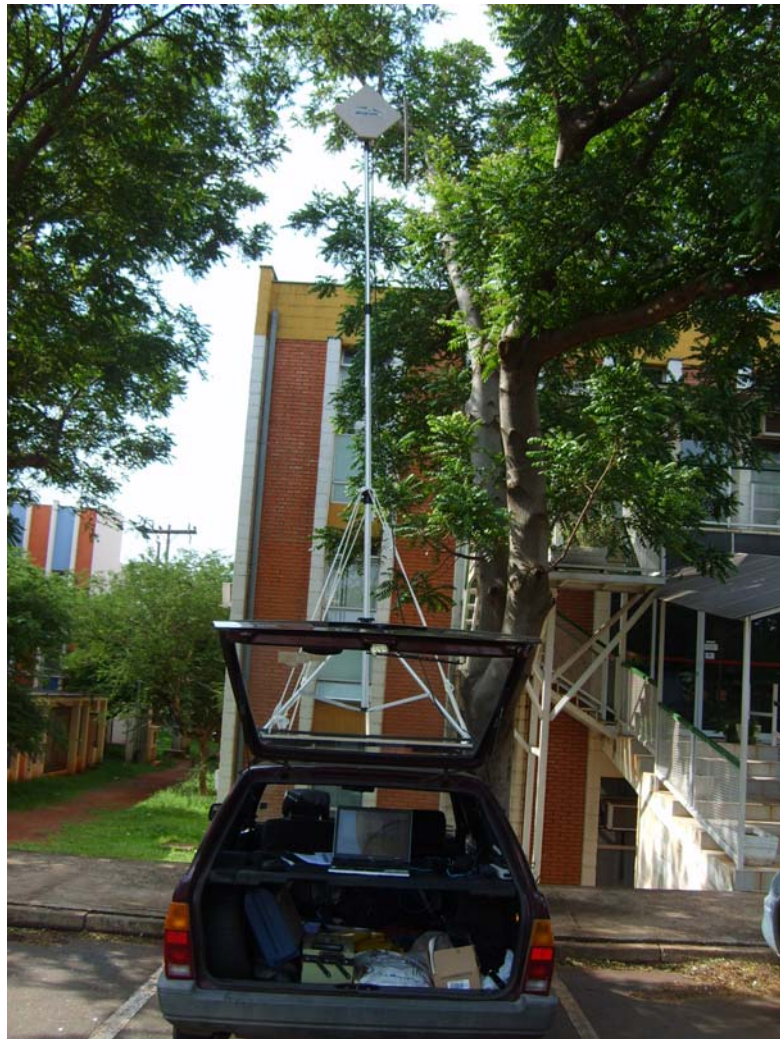


Figura 183 - P09\_05



Figura 184 - P09\_06



Figura 185 - P09\_07





Figura 186 - P09\_08



Figura 187 - P09A\_02A





Figura 188 - P09A\_04A



Figura 189 - P09A\_06A



Figura 190 - P10\_02



Figura 191 - P10\_05





Figura 192 - P10\_06



Figura 193 - P10\_07



**Figura 194 - P10\_08**



**Figura 195 - P10A\_02A**





**Figura 196 - P10A\_03A**



**Figura 197 - P10A\_04A**



Figura 198 - P10A\_05A



Figura 199 - P10A\_06A





**Figura 200 - P11\_04**



**Figura 201 - P11A\_02A**



**Figura 202 - P11A\_03A**



**Figura 203 - P11A\_04A**





Figura 204 - P12\_01



Figura 205 - P12\_04



**Figura 206 - Detalhe da visada do ponto P\_12\_04**

### 8.7. ANEXO G – Planilha com dados dos pontos de teste

Tabela 9 - Planilha com dados dos pontos de teste

PONTOS	PELO GOOGLE EARTH				PELO APAREHO GPS				Condição Link
	LATITUDE	LONGITUDE	DISTÂNCIA (m)	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE	DISTÂNCIA (m)	ALTITUDE (m)	
P08_01	22°49'51.39"S	47° 3'35.30"W	726	668					
P08_02	22°49'49.85"S	47° 3'43.47"W	963	653	22°49'49.9"S	47°03'43.6"W	976	651,8	LOS
P08_03	22°49'48.65"S	47° 3'49.57"W	1140	642	22°49'49.4"S	47°03'49.4"W	1140	642,2	LOS
P08_04	22°49'47.56"S	47° 3'55.60"W	1315	634	22°49'47.6"S	47°03'54.0"W	1280	631,1	NLOS
P08A_01A	22°49'49.41"S	47° 3'38.39"W	824	660					
P08A_02A	22°49'48.20"S	47° 3'43.38"W	970	650	22°49'48.2"S	47°03'43.2"W	977	641,7	PLOS
P08A_03A	22°49'47.01"S	47° 3'48.35"W	1117	643	22°49'46.5"S	47°03'49.4"W	1160	642,2	NLOS
P08A_04A	22°49'46.09"S	47° 3'52.12"W	1228	637	22°49'45.7"S	47°03'51.4"W	1220	633,7	NLOS
P08A_05A	22°49'44.93"S	47° 3'56.95"W	1370	628	22°49'44.8"S	47°03'56.3"W	1360	630,3	NLOS
P09_01	22°49'48.94"S	47° 3'35.12"W	739	662					
P09_02	22°49'47.93"S	47° 3'38.85"W	849	657	22°49'47.1"S	47°03'38.5"W	860	644,3	PLOS
P09_03	22°49'46.53"S	47° 3'43.39"W	986	647	22°49'46.8"S	47°03'41.8"W	951	642,7	PLOS
P09_04	22°49'45.65"S	47° 3'46.53"W	1080	644	22°49'45.8"S	47°03'46.4"W	1090	640,1	PLOS
P09_05	22°49'44.53"S	47° 3'50.34"W	1193	639	22°49'44.6"S	47°03'49.5"W	1180	630,9	NLOS
P09_06	22°49'43.31"S	47° 3'54.51"W	1318	624	22°49'43.3"S	47°03'55.7"W	1360	626,6	NLOS
P09_07	22°49'42.10"S	47° 3'58.64"W	1441	625	22°49'42.1"S	47°03'59.0"W	1460	623,5	NLOS
P09_08	22°49'40.30"S	47° 4'4.77"W	1624	617	22°49'40.3"S	47°04'04.5"W	1630	622,8	NLOS
P09A_01A	22°49'46.54"S	47° 3'38.00"W	840	655					
P09A_02A	22°49'43.49"S	47° 3'46.67"W	1104	642	22°49'43.4"S	47°03'46.7"W	1120	639	NLOS
P09A_03A	22°49'42.05"S	47° 3'50.74"W	1228	637	22°49'42.1"S	47°03'52.6"W	1290	630	NLOS
P09A_04A	22°49'40.52"S	47° 3'55.17"W	1363	631	22°49'40.6"S	47°03'54.8"W	1370	625	NLOS
P09A_05A	22°49'39.26"S	47° 3'58.73"W	1471	626	22°49'39.3"S	47° 3'58.8"W	1472	624	NLOS
P09A_06A	22°49'38.14"S	47° 4'2.01"W	1571	623	22°49'38.3"S	47°04'02.4"W	1600	623,4	NLOS

PELO GOOGLE EARTH					PELO APAREHO GPS				Condição Link
PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	DISTÂNCIA (m)	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE	DISTÂNCIA (m)	ALTITUDE (m)	
P10_01	22°49'45.42"S	47° 3'37.31"W	836	651					
P10_02	22°49'43.39"S	47° 3'42.50"W	996	644	22°49'43.5"S	47°03'42.3"W	1000	632,3	LOS
P10_03	22°49'42.29"S	47° 3'45.17"W	1080	640	22°49'42.3"S	47°03'45.0"W	1090	640	NLOS
P10_04	22°49'40.81"S	47° 3'48.87"W	1194	637	22°49'40.6"S	47°03'48.9"W	1210	638	NLOS
P10_05	22°49'39.45"S	47° 3'52.27"W	1300	634	22°49'39.5"S	47°03'52.2"W	1310	620	NLOS
P10_06	22°49'37.27"S	47° 3'57.79"W	1471	629	22°49'37.2"S	47°03'57.8"W	1490	624,5	NLOS
P10_07	22°49'35.17"S	47° 4'2.97"W	1632	623	22°49'34.5"S	47°04'03.0"W	1650	625,1	NLOS
P10_08	22°49'33.95"S	47° 4'5.98"W	1725	623	22°49'34.7"S	47°04'05.2"W	1710	614,8	NLOS
P010A_01A	22°49'42.81"S	47° 3'39.47"W	925	643					
P010A_02A	22°49'41.31"S	47° 3'42.70"W	1026	640	22°49'41.0"S	47°03'42.2"W	1030	632,8	PLOS
P010A_03A	22°49'39.73"S	47° 3'46.15"W	1137	636	22°49'38.8"S	47°03'46.1"W	1160	627	NLOS
P010A_04A	22°49'38.22"S	47° 3'49.38"W	1239	633	22°49'38.1"S	47°03'49.4"W	1260	611	NLOS
P010A_05A	22°49'34.83"S	47° 3'56.79"W	1475	629	22°49'34.4"S	47°03'57.3"W	1510	625,1	NLOS
P010A_06A	22°49'33.22"S	47° 4'0.27"W	1585	626	22°49'32.7"S	47°04'00.5"W	1610	621,4	NLOS
P11_01	22°49'41.00"S	47° 3'39.23"W	944	639					
P11_02	22°49'38.55"S	47° 3'43.89"W	1096	635					
P11_03	22°49'36.28"S	47° 3'48.18"W	1237	630	22°49'37.2"S	47°03'47.1"W	1210	621	NLOS
P11_04	22°49'32.43"S	47° 3'55.59"W	1479	628	22°49'32.5"S	47° 3'55.6"W	1481	618	NLOS
P11_05	22°49'30.74"S	47° 3'58.77"W	1583	624	22°49'30.6"S	47° 3'58.8"W	1585	620	NLOS
P011A_01A	22°49'37.64"S	47° 3'41.59"W	1055	633					
P011A_02A	22°49'34.58"S	47° 3'46.75"W	1230	629	22°49'34.6"S	47°03'46.6"W	1240	623,1	LOS
P011A_03A	22°49'31.68"S	47° 3'51.61"W	1394	630	22°49'31.0"S	47°03'51.6"W	1420	628,4	NLOS
P011A_04A	22°49'29.99"S	47° 3'54.46"W	1490	627	22°49'29.0"S	47°03'53.9"W	1500	627,1	NLOS
P12_01	22°49'34.96"S	47° 3'42.08"W	1113	627	22°49'34.9"S	47°03'41.6"W	1120	619	NLOS
P12_02	22°49'31.33"S	47° 3'47.52"W	1304	627					
P12_03	22°49'29.11"S	47° 3'50.82"W	1420	627					
P12_04	22°49'28.15"S	47° 3'52.26"W	1470	625	22°49'28.0"S	47°03'52.1"W	1490	630,1	LOS
Pref	22°49'55.02"S	47° 3'14.03"W	126	668	22°49'55.0"S	47°03'14.0"W	126	668,2	LOS



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)