

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



**COMPARAÇÃO DO SISTEMA CELULAR MÓVEL ATRAVÉS DO
SOFTWARE NETMONITOR E PATHLOSS ASSOCIADO AOS
MÉTODOS DE PROPAGAÇÃO OKUMURA, HATA E COST-231.**

DIEGO DE BRITO PIAU

Uberlândia
2015

DIEGO DE BRITO PIAU

**COMPARAÇÃO DO SISTEMA CELULAR MÓVEL ATRAVÉS DO
SOFTWARE NETMONITOR E PATHLOSS ASSOCIADO AOS
MÉTODOS DE PROPAGAÇÃO OKUMURA, HATA E COST-231.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais

Orientador: Prof. Pós-Dr. Gilberto Arantes Carrijo

Uberlândia

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- P583c
2015 Piau, Diego de Brito, 1987-
 Comparação do sistema celular móvel através do software
 Netmonitor e Pathloss associado aos métodos de propagação Okumura,
 Hata e Cost-231 / Diego de Brito Piau. - 2015.
 340 f. : il.
- Orientador: Gilberto Arantes Carrijo.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
 de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
 Inclui bibliografia.
1. Engenharia Elétrica - Teses. 2. Sistema global para comunicações
 móveis - Teses. 3. Telecomunicação - Teses. 4. Propagação da onda -
 Teses. I. Carrijo, Gilberto Arantes, 1948-. II. Universidade Federal de
 Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III.
 Título.

DIEGO DE BRITO PIAU

**COMPARAÇÃO DO SISTEMA CELULAR MÓVEL ATRAVÉS DO
SOFTWARE NETMONITOR E PATHLOSS ASSOCIADO AOS
MÉTODOS DE PROPAGAÇÃO OKUMURA, HATA E COST-231.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais

Uberlândia, 24 de março de 2015
Banca Examinadora

Prof. Pós - Dr.- Orientador - Gilberto Arantes Carrijo, (UFU)

Prof. Dr. Alexandre Coutinho Mateus, (UFU)

Prof. Dr. Antônio Carlos Vilanova, (IFMT)

Prof. Dr. Benedito Alencar de Arruda, (UFMT)

Prof. Dr. Paulo Sérgio Caparelli, (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais por serem sempre o meu alicerce. Aos meus irmãos por acompanharem e torcerem pelo meu sucesso. Ao meu segundo Pai, Flávio Castro, por ser o meu braço direito em todos os momentos. Ao meu Tio Braga (in memoriam) por ser um dos responsáveis nas minhas conquistas e possuir a minha admiração profissional e pessoal. Aos meus amigos por fazerem dos meus dias os melhores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me proteger e transformar todas as dificuldades em aprendizados e conquistas.

Aos meus pais e irmãos por sempre me apoiarem e estarem juntos a mim em todos momentos.

Ao meu orientador Gilberto Carrijo por compartilhar o seu conhecimento e orientar esta tese de forma extraordinária.

A todos os amigos e familiares que me apoiaram diretamente ou indiretamente na minha conclusão do doutorado.

À Universidade Federal de Uberlândia por ter dado mais uma oportunidade de seguimento ao estudo na área acadêmica em busca do meu sucesso profissional.

RESUMO

O tema abordado neste trabalho está relacionado a uma área de telecomunicações muito importante no ramo acadêmico e empresarial. A área de comunicações móveis está cada vez mais presente no dia a dia da população e esta tecnologia iniciou a partir das primeiras invenções na década de 1830 relacionado a Telecomunicações.

Os princípios das ondas eletromagnéticas fazem parte do meio de comunicação entre as partes envolvidas transmitindo as ondas de rádio de uma estação rádio-base até uma estação móvel. As ondas propagam-se na camada da troposfera e alcançam a antena receptora através da linha de visada direta ou por propagação de caminho múltiplo.

Os conceitos sobre refração atmosférica, Raio Terrestre Equivalente e Zona de Fresnel estão presentes no estudo sobre a propagação das ondas eletromagnéticas. Por meio da refração, ocorre-se a alteração da direção de uma onda incidente quando atravessa um meio diferente do atual. O conceito do Raio Terrestre equivalente na propagação é muito importante e pode ser determinante no estudo de projetos. Porém, este conceito é verificado para links que possuem distância maiores que 18 km e mas os enlaces que serão estudados nesta tese possuem uma distância inferior de 4 km.

A Zona de Fresnel também é um conceito importante na análise da onda eletromagnética, o qual a referida Zona aumenta com a diminuição da frequência por meio do comprimento de onda, possibilitando um maior alcance ao ponto desejado. Esta Zona é analisada em função da linha de visada direta em relação a garantia total do sinal através da Primeira Região de Fresnel, que é alterada de acordo com a frequência de operação.

O sistema de telefonia celular é caracterizado pela comunicação sem fio, que por meio de uma estação rádio-base realiza a cobertura da área geográfica por meio de antenas setorizadas. A readequação do sistema celular foi importante devido aos projetos que eram realizados antigamente, pois apenas um transmissor era responsável pela cobertura celular de uma grande área e assim limitando a capacidade de tráfego devido a não utilização de várias frequências no mesmo espaço geográfico. O intuito da rede celular é sempre aumentar a capacidade de

tráfego aliados aos mecanismos de reutilização de frequência, setorização e o uso de repetidora para a extensão do alcance.

O modelo de propagação no espaço livre ocorre quando o sinal incidente da antena transmissora possui visada direta em relação a antena receptora. Em sistemas móveis, isto ocorre apenas na elaboração do projeto, pois é estudado a qualidade do sinal receptor ponto a ponto. Após a implantação do sistema celular, a comunicação do sistema celular é efetuada através dos mecanismos básicos de propagação que é a reflexão, dispersão e difração.

O cálculo do Sinal Recebido na estação móvel deve estar relacionado com a diferença de azimuth entre a antena instalada e o link efetuado entre móvel e rádio-base. Esta diferença acrescenta uma atenuação no ganho da antena transmissora, além do ângulo de elevação existente no enlace ponto a ponto. Por fim, através dos modelos de propagação propostos de Okumura, Hata e Cost-231, os Sinais Recebidos são encontrados por meio da frequência de operação.

Os softwares *Google Earth* e *Pathloss* auxiliarão o estudo do relevo topográfico em conjunto com a Zona de Fresnel de acordo com a frequência em operação. O aplicativo *My Coordinates GPS* será responsável pela coleta de coordenadas geográficas e *Netmonitor* fará a coleta do Sinal Recebido.

O sistema celular utilizado nos estudos será a tecnologia GSM ou 2ª Geração, que por meio dos cálculos matemáticos relacionados aos modelos de propagação, teremos a aproximação dos valores calculados com o nível de Sinal de Recepção coletado por meio do aplicativo utilizado por engenheiros de operadoras de telecomunicações.

O aplicativo *Netmonitor* será validado através de dispositivos celulares diferentes em conjunto com o *Spectrum Analyzer*. Assim, permitindo o uso para os testes planejados.

Os testes iniciarão no Campus UFU em Patos de Minas-MG com links celulares que possuem distância acima de 1 km. Neste teste será utilizado o modelo de propagação de Okumura, Hata e Cost-231, a fim de identificar qual modelo aproxima-se dos valores coletados pelo *Netmonitor*.

Em sequência, o estudo será realizado em espaços geográficos que realizam links com distâncias menores que 1 km. Isto porque, os modelos de propagação

mencionados não podem ser utilizados na faixa de distância mencionada anteriormente e aproveitaremos para o estudo do comportamento de cada link.

Os testes iniciarão no Campus UFU em Patos de Minas-MG, em sequência em duas regiões centrais da mesma cidade e por fim em Uberlândia-MG. Associado a estes testes será estudado além dos modelos de propagação Okumura, Hata e Cost-231, também a Recomendação 1411-7.

Em resumo, o objetivo desta tese é relacionar as ondas eletromagnéticas em um sistema celular, que por meio de softwares e modelos de propagação existentes possam mostrar a veracidade do aplicativo utilizado e consequentemente analisar o método mais preciso em relação ao *Netmonitor*. Além disso, também ser utilizado para estudos onde o modelo de propagação limita-se em relação a distância entre link rádio-base e móvel.

Associado aos estudos sobre comunicações móveis, estender os conceitos e ideias a trabalhos futuros na área de antenas e propagação e enlaces de micro-ondas, a fim de melhorar os modelos de propagações propostos.

ABSTRACT

The issue addressed in this paper is related to a very important area of telecommunications in the academic and business branch. The area of mobile communications is increasingly present in everyday life of the population and this technology started from the first inventions in the 1830s related to Telecommunications.

The principles of electromagnetic waves are part of the means of communication between the parties involved transmitting radio waves from a base station to a mobile station. The waves propagate in the troposphere and reach the receiving antenna through the direct sight line or spread of multipath.

The concepts of atmospheric refraction, *Raio Terrestre Equivalente* and Fresnel Zone are present in the study of the propagation of electromagnetic waves. By refraction, is to change the direction of an incident wave as it passes through a different medium than today. The concept *Raio Terrestre Equivalente* in the spread is very important and can be decisive in the project study. However, this concept is checked for links that have distance greater than 18 km and links but that will be studied in this thesis have a lower distance of 4 km.

The Fresnel Zone is also an important concept in the analysis of electromagnetic wave, to which said region increases with decreasing frequency through wavelength, allowing a greater reach the desired point. This area is analyzed in terms of line-of-sight for full warranty signal through the First Region of Fresnel, which is changed according to the operating frequency.

The mobile system is characterized by wireless communication, through a radio base station performs the geographical area covered by sectorized antennas. The cellular system readjustment was important due to the projects that were formerly carried out, as only one transmitter was responsible for cell coverage of a large area and thus limiting the ability to traffic due to not using multiple frequencies in the same geographical space. The purpose of the cellular network is always increase traffic capacity combined with the frequency reuse mechanisms, sectorization and the use of repeater to extend the range.

The propagation model in free space occurs when the incident signal from the transmitting antenna has targeted directly towards the receiving antenna. In mobile

systems, this occurs only in project design, it is studied the signal quality receiver point to point. After implantation of the cellular system, the mobile communication system is made using the basic propagation mechanisms is the reflection, dispersion and diffraction.

The calculation of Signal Received in the mobile station must be related to the azimuth difference between installed antenna and the link made between mobile and base. This difference adds an attenuation in the gain of the transmitting antenna, in addition to the existing elevation angle at the link point to point. Finally, using the proposed propagation models Okumura, Hata and COST-231, the received signals are found by means of the operating frequency.

The Google Earth and Pathloss software will help the study of topographic relief in conjunction with the Fresnel Zone according to the frequency in operation. My Coordinates GPS application is responsible for collecting geographical and Netmonitor coordinates the collection will sign Received.

The mobile system used in the studies will be the GSM or 2nd generation technology, which through mathematical calculations related to propagation models, we have the approach of calculated values with the Receive Signal level collected through the application used by engineers of operators telecommunications.

The Netmonitor application is validated by different wireless devices in conjunction with the spectrum analyzer. Thus allowing the use for the planned tests.

The tests will begin in the Campus UFU in Patos de Minas-MG with cellular links have distance greater than 1 km. In this test will use the model of spreading Okumura, Hata and COST-231 in order to identify which model approaches the values collected by Netmonitor.

In sequence, the study will be conducted in geographic areas that carry links with distances less than 1 km away. This is because the aforementioned propagation models can not be used within a distance range mentioned above and we will take to the study of the behavior of each link.

The tests will begin in the Campus UFU in Patos de Minas-MG in sequence in two central regions of the same city and finally in Uberlândia, MG. Associated with these tests will be studied beyond Okumura propagation models, Hata and COST-231, also Recommendation 1411-7.

In short, the objective of this thesis is to relate the electromagnetic waves in a cellular system, which spread through existing software and models to show the truth on your application and thus analyze the most accurate method in relation to Netmonitor. Furthermore, also be used for studies where the propagation model is limited relative to the distance between the link and the mobile radio base.

Associated with the mobile communication studies, extend the concepts and ideas for further work in the field of antennas and propagation and microwave links, in order to improve the proposed propagation models.

SUMÁRIO

Capítulo 1	25
Introdução	25
1.1 História da Telecomunicações	26
1.2 Ondas Eletromagnéticas	28
1.3 Regulamentação e Alocação de Frequência	33
1.4 Meios de Comunicações	34
1.5 Tipos de Propagações	35
1.6 Refração Atmosférica	37
1.7 Raio Terrestre Equivalente	39
1.8 Região de Fresnel	43
1.9 Propagação de Caminho Múltiplo	49
Capítulo 2	51
Desenvolvimento Teórico	51
2.1 Sistemas de Telefonia Celular	52
2.2 Características sobre Projeto do Sistema de Telefonia Celular	54
2.2.1 Reutilização de Frequência	55
2.2.2 Melhorando a cobertura e a capacidade nos sistemas celulares	56
2.3 Propagação de rádio móvel	58
2.3.1 Modelo de Propagação no Espaço Livre	59
2.3.2 Mecanismos Básicos de Propagação	60
2.4 Modelo de Propagação de Okumura	61
2.5 Modelo de Propagação de Hata	64
2.6 Modelo de Propagação Cost-231	65
2.7 Teoria dos Dois Raios	66
2.8 Métodos de Predição de Campos em Pequenas Distâncias na Faixa de 300 MHz até 100 GHz – Recomendação ITU-R P. 1411-7 [13]	68
2.8.1 Definições de Situações de Propagação	68
2.8.2 Modelo de Propagação dentro de Rua com Cânion	71
2.9 Evolução das Redes Celulares	82
Capítulo 3	85

Materiais e Métodos	85
Capítulo 4	101
Resultados e Discussão – Okumura, Hata e Cost-231.....	101
4.1 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto A.....	107
4.1.1 Modelo de Okumura.....	111
4.1.2 Modelo COST-231.....	113
4.2 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto B.....	115
4.2.1 Modelo de Okumura.....	119
4.2.2 Modelo HATA	120
4.3 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto C	122
4.3.1 Modelo de Okumura.....	125
4.3.2 Modelo HATA	127
4.4 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto D	128
4.4.1 Modelo de Okumura.....	131
4.4.2 Modelo COST-231.....	133
4.5 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto E.....	135
4.5.1 Modelo de Okumura.....	138
4.5.2 Modelo HATA	139
4.6 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto F.....	141
4.6.1 Modelo de Okumura.....	144
4.6.2 Modelo COST-231.....	146
4.7 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto G	147
4.7.1 Modelo de Okumura.....	150
4.1.2 Modelo COST-231.....	152
4.8 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto H	153
4.8.1 Modelo de Okumura.....	156
4.8.2 Modelo COST-231.....	157
4.9 Resultados	159
Capítulo 5	163
Resultados e Discussão – Modelo Okumura	163
5.1 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 1	167
5.2 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 2	173
5.3 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 3	179
5.4 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 4.....	185

5.5 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 5	191
5.6 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 6	197
5.7 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 7	203
5.8 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 8	209
5.9 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 9	215
5.10 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 10	221
5.11 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 11	227
5.12 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 12	232
5.13 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 13	237
5.14 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 14	242
5.15 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 15	247
5.16 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 16	252
5.17 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 17	257
5.18 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 18	262
5.19 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 19	267
5.20 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 20	272
5.21 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 21	277
5.22 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 22	282
5.23 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 23	287
5.24 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 24	292
5.25 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 25	297
5.26 Resultados	302
Capítulo 6	304
Resultados e Discussão – Modelo Okumura	304
Capítulo 7	308
Resultados e Discussão – Modelo Okumura	308
Capítulo 8	312
Resultados e Discussão	312
Capítulo 9	319
Conclusões, contribuições deste trabalho e trabalhos futuros	319
Referências	321
ANEXO 1 – FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS	324
ANEXO 2 – HBXX-6516DS-VTM	325
ANEXO 3 – 800 10293/APX15 – 800/065 3T	328

ANEXO 4 – TBXLHA-6565B-VTM.....	330
ANEXO 5 – TBXLHB-6565A-VTM.....	334
APÊNDICE A.....	338

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Direção de propagação	29
Figura 2 - Onda deslocando-se na direção x [6].....	32
Figura 3 - Campo elétrico variando com t [6]	33
Figura 4 - Ondas com reflexão ionosférica [8]	36
Figura 5 - Onda em visada direta (acima de 30 MHz) [8].....	36
Figura 6 - Propagação por obstáculo (gume de faca) [8].....	37
Figura 7 - Divisão da troposfera em camadas [8].....	38
Figura 8 - Curvatura do feixe na atmosfera [5]	39
Figura 9 - Raio equivalente da Terra [8]	39
Figura 10 - Variação do $k_{\text{mínimo}}$ com a distância (Valor de K Excedido para 99,9% do Tempo no pior mês do ano) [8]	41
Figura 11 - Diferentes casos de refração [5].....	42
Figura 12 - Zona de Fresnel na superfície da Terra [6].....	43
Figura 13 - Zona de Fresnel vistas do ponto B [6]	44
Figura 14 - Raio da zona de Fresnel [6].....	45
Figura 15 - Perfil Topográfico entre Patrocínio - Serra do Salitre - Fator $k=4/3$ – 100% Liberada.....	47
Figura 16 - Perfil Topográfico entre Patrocínio - Serra do Salitre - Fator $k=0,72$ – 60% Liberada.....	48
Figura 17 - Propagação Caminho Múltiplo	50
Figura 18 - Células com ERB's do sistema de telefonia móvel celular [5].....	52
Figura 19 - Ilustração do conceito de reutilização de frequência celular [11].....	56
Figura 20 - Ilustração da divisão de células	57
Figura 21 - Setorização em 120°	58
Figura 22 - Atenuação mediana relativa ao espaço livre [7].....	62
Figura 23 - Fator de correção $G_{\text{ÁREA}}$ para diferentes tipos de terreno	63
Figura 24 - Geometria para configuração de dois raios	66
Figura 25 - Situações descritas de propagação em regiões urbanas.....	68
Figura 26 - Propagação sobre telhados tipo multi-screen sem linha de visada (NLoS1).....	69
Figura 27 - Situação de propagação em ruas tipo cânion e difração (NLoS2).....	70
Figura 28 - Evolução das Tecnologias Celulares	82
Figura 29 - Arquitetura do Sistema GSM.....	83
Figura 30 - Interface de apresentação do Google Earth [14]	86
Figura 31 - Interface inicial do software PathLoss [15].....	87
Figura 32 - Página Anatel Recuperação de Frequência [16]	90
Figura 33 - Arquivo extraído via Página Anatel - Recuperação de Frequência [16] ..	90
Figura 34 - Interface do software My GPS Coordinates.....	92
Figura 35 - Página de Consulta de Produtos Homologados e Cetificados [17]	93
Figura 36 - Produtos de acordo com o código de homologação inserido [17]	93
Figura 37 - Extração do manual referente ao código de homologação inserido [17] ..	94
Figura 38 - Interface do software Netmonitor.....	95
Figura 39 - Interface do software Pathloss para inserção das informações em estudo	96
Figura 40 - Representação do ângulo de elevação	96

Figura 41 – Diagrama de Irradiação HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) [18]....	97
Figura 42 - Spectrum Analyzer GwINSTEK GSP-830.....	98
Figura 43 - Dispositivos Celulares x Spectrum Analyzer	99
Figura 44 - Terreno de Construção da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas via Google Earth.....	102
Figura 45 - Terreno de Construção da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas.....	102
Figura 46 - Distância entre Campus Patos de Minas versus cidade.....	103
Figura 47 - Foto tirada do campus em direção à cidade.....	104
Figura 48 - Seis pontos de estudos visualizados via Google Earth	105
Figura 49 - Pontos em relação à cidade	105
Figura 50 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta A	108
Figura 51 - Análise das altitudes dos pontos para a formação do triângulo retângulo	108
Figura 52 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto A	109
Figura 53 - Sinal Recebido no Ponto A.....	109
Figura 54 - Diagrama de irradiação da Antena HBXX-6516DS-VTM (1710-1880 MHz)	111
Figura 55 - Enlace PMS-N SRA FÁTIMA x Ponta B.....	116
Figura 56 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-N SRA FÁTIMA em relação ao Ponto B	116
Figura 57 - Sinal Recebido no Ponto B.....	117
Figura 58 - Diagrama de irradiação da Antena 800 10293/APX15 – 800/065 3 (880-960 MHz).....	118
Figura 59 - Formulário de Coleta de dados – Ponta C.....	122
Figura 60 - Enlace PMS-N SRA FATIMA x Ponta C.....	123
Figura 61 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto C	123
Figura 62 - Sinal Recebido no Ponto C.....	124
Figura 63 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta D.....	129
Figura 64 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto D	129
Figura 65 - Sinal Recebido no Ponto D.....	130
Figura 66 - Enlace PMS-N SRA FÁTIMA x Ponta E.....	136
Figura 67 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-N SRA FÁTIMA em relação ao Ponto E	136
Figura 68 - Sinal Recebido no Ponto E.....	137
Figura 69 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta F	142
Figura 70 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto F.....	142
Figura 71 - Sinal Recebido no Ponto F.....	143
Figura 72 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta G.....	148
Figura 73 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto G.....	148
Figura 74 - Sinal Recebido no Ponto G	149
Figura 75 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta H.....	154
Figura 76 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto H.....	154
Figura 77 - Sinal Recebido captado no Ponto H	155

Figura 78 - Valores Sinal Recebido Software x Okumura	159
Figura 79 - Valores Sinal Recebido Software x Hata.....	160
Figura 80 - Valores Sinal Recebido Software x Cost-231.....	160
Figura 81 - Valores Sinal Recebido Software x Okumura x Hata.....	161
Figura 82 Valores Sinal Recebido Software x Okumura x Cost-231.....	161
Figura 83 - Visualização via Google Earth de 25 pontos	165
Figura 84 - Estação PMS-DIVINO JOSE.....	165
Figura 85 - Rua Major Gote (Localização dos Pontos)	166
Figura 86 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 1	168
Figura 87 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 1.....	168
Figura 88 - Sinal Recebido no Ponto 1	169
Figura 89 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	170
Figura 90 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 2	174
Figura 91 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 2.....	174
Figura 92 - Sinal Recebido no Ponto 2	175
Figura 93 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	176
Figura 94 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 3	180
Figura 95 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 3.....	180
Figura 96 - Sinal Recebido no Ponto 3	181
Figura 97 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	182
Figura 98 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 4.....	186
Figura 99 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 4.....	186
Figura 100 - Sinal Recebido no Ponto 4	187
Figura 101 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	188
Figura 102 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 5.....	192
Figura 103 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 5.....	192
Figura 104 - Sinal Recebido no Ponto 5	193
Figura 105 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	194
Figura 106 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 6.....	198
Figura 107 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 6.....	198
Figura 108 - Sinal Recebido no Ponto 6	199
Figura 109 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	200
Figura 110 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 7	204
Figura 111 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 7.....	204
Figura 112 - Sinal Recebido no Ponto 7	205
Figura 113 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	206

Figura 114 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 8.....	210
Figura 115 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 8.....	210
Figura 116 - Sinal Recebido no Ponto 8.....	211
Figura 117 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	212
Figura 118 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 9.....	216
Figura 119 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 9.....	216
Figura 120 - Sinal Recebido no Ponto 9.....	217
Figura 121 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	218
Figura 122 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 10.....	222
Figura 123 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 10.....	222
Figura 124 - Sinal Recebido no Ponto 10.....	223
Figura 125 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	224
Figura 126 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 11.....	228
Figura 127 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 11.....	228
Figura 128 - Sinal Recebido captado no Ponto 11.....	229
Figura 129 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	230
Figura 130 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 12.....	233
Figura 131 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 12.....	233
Figura 132 - Sinal Recebido no Ponto 12.....	234
Figura 133 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	235
Figura 134 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 13.....	238
Figura 135 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 13.....	238
Figura 136 - Sinal Recebido no Ponto 13.....	239
Figura 137 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	240
Figura 138 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 14.....	243
Figura 139 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 14.....	243
Figura 140 - Sinal Recebido no Ponto 14.....	244
Figura 141 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	245
Figura 142 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 15.....	248
Figura 143 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 15.....	248
Figura 144 - Sinal Recebido no Ponto 15.....	249
Figura 145 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	250
Figura 146 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 16.....	253

Figura 147 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 16	253
Figura 148 - Sinal Recebido captado no Ponto 16.....	254
Figura 149 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	255
Figura 150 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 17.....	258
Figura 151 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 17	258
Figura 152 - Sinal Recebido no Ponto 17.....	259
Figura 153 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	260
Figura 154 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 18.....	263
Figura 155 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 18	263
Figura 156 - Sinal Recebido no Ponto 18.....	264
Figura 157 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	265
Figura 158 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 19.....	268
Figura 159 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 19	268
Figura 160 - Sinal Recebido no Ponto 19.....	269
Figura 161 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	270
Figura 162 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 20.....	273
Figura 163 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 20	273
Figura 164 - Sinal Recebido captado no Ponto 20.....	274
Figura 165 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	275
Figura 166 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 21.....	278
Figura 167 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 21	278
Figura 168 - Sinal Recebido no Ponto 21.....	279
Figura 169 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	280
Figura 170 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 22.....	283
Figura 171 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 22	283
Figura 172 - Sinal Recebido no Ponto 22.....	284
Figura 173 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	285
Figura 174 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 23.....	288
Figura 175 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 23	288
Figura 176 - Sinal Recebido no Ponto 23.....	289
Figura 177 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	290
Figura 178 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 24.....	293
Figura 179 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 24	293

Figura 180 - Sinal Recebido no Ponto 24.....	294
Figura 181 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	295
Figura 182 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 25.....	298
Figura 183 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 25	298
Figura 184 - Sinal Recebido no Ponto 25.....	299
Figura 185 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz).....	300
Figura 186 - Comparação de 25 amostras em links com distância menor que 1 km	302
Figura 187 - 40 Pontos no Centro de Patos de Minas-MG.....	304
Figura 188 - Diagrama de irradiação da Antena HBXX-6516DS-VTM (1710-1880 MHz).....	306
Figura 189 - 20 pontos no centro de Uberlândia - MG	308
Figura 190 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHB-6565A-VTM (1710-1880 MHz).....	310
Figura 191 - Campo Elétrico calculado para vários modelos para $f=1,8\text{GHz}$	313
Figura 192 - Campo Elétrico calculado para vários modelos para $f=0,8\text{GHz}$	314
Figura 193 – Potência Recebida para vários modelos e medido.	318
Figura 194 - Noção de campo elétrico [5].....	338
Figura 195 - Noção do campo magnético [5]	338

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação Fator K vs Zona de Fresnel.....	46
Tabela 2 - Parâmetros de perda, para 9 percurso em 3.705 GHz	81
Tabela 3 - Dados Cadastrais Estações BTS Algar Telecom	88
Tabela 4 - Canais Algar Telecom - CTBC	89
Tabela 5 - Dados da Estação PMS-ALVORADA	91
Tabela 6 - Dados da Estação PMS-N SRA FÁTIMA	91
Tabela 7- Formulário de Coleta de dados – Ponta A.....	107
Tabela 8 - Formulário de Coleta de dados – Ponta B	115
Tabela 9 - Formulário de Coleta de dados – Ponta C	122
Tabela 10 - Formulário de Coleta de dados – Ponta D	128
Tabela 11 - Formulário de Coleta de dados – Ponta E	135
Tabela 12 - Formulário de Coleta de dados – Ponta F	141
Tabela 13 - Formulário de Coleta de dados – Ponta G	147
Tabela 14 - Formulário de Coleta de dados – Ponta H	153
Tabela 15 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 1.....	167
Tabela 16 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 2.....	173
Tabela 17 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 3.....	179
Tabela 18 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 4.....	185
Tabela 19 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 5.....	191
Tabela 20 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 6.....	197
Tabela 21 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 7.....	203
Tabela 22 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 8.....	209
Tabela 23 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 9.....	215
Tabela 24 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 10	221
Tabela 25 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 11	227
Tabela 26 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 12	232
Tabela 27 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 13	237
Tabela 28 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 14	242
Tabela 29 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 15	247
Tabela 30 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 16	252
Tabela 31 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 17	257
Tabela 32 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 18	262
Tabela 33 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 19	267
Tabela 34 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 20	272
Tabela 35 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 21	277
Tabela 36 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 22	282
Tabela 37 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 23	287
Tabela 38 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 24	292
Tabela 39 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 25	297
Tabela 40- Estação PMS-CENTRO	305
Tabela 41 - Resultados de 40 pontos (Sinal Coletado vs Sinal Calculado).....	307
Tabela 42 - Estação rádio-base	309
Tabela 43 - Resultados de 20 pontos (Sinal Coletado vs Sinal Calculado).....	311
Tabela 44 - Valores de 40 pontos	315
Tabela 45 - Formulário de Coleta de Dados	324

Tabela 46 - Serviços de Telecomunicações associados ao espectro de frequência [8]	
.....	339

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	–	Agência Nacional de Telecomunicações
BSS	–	Subsistema da Estação Rádio-base
BTS	–	Base Transceiver Station
CDMA	–	Acesso Múltiplo por Divisão de Código
CEPT	–	Conference of European Postal and Telecommunications
CELLID	–	Identificação da célula
CONTEL	–	Conselho Nacional de Telecomunicações
DENTEL	–	Departamento nacional de Telecomunicações
ECT	–	Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
EHF	–	Extremely High Frequency (Frequência Extramamente Elevada)
EMBRATEL	–	Empresa Brasileira de Telecomunicações S.A.
ERB	–	Estação Rádio Base
LAC	–	Location Area Code
FNT	-	Fundo Nacional de Telecomunicações
GHz	–	Gigahertz
GSM	–	Sistema Global para Comunicações Móveis
IETF	–	Internet Engineering Task Force
INTELSAT	-	Consórcio Internacional de Comunicações por Satélite
ITU	–	União Internacional de Telecomunicações
ITU-R	–	International Telecommunications union Radiocomunication Group
ITU-T	–	International Telecommunications Union
MHz	–	Megahertz
PSTN	–	Rede Telefônica Pública Comutada
RF	–	Radiofrequência
SHF	-	Super High Frequency (Frequência Super Elevada)
SNR	–	Signal Noise Ratio (Relação Sinal Ruído)
UHF	-	Ultra High Frequency (Frequência Ultra Elevada)

Capítulo 1

Introdução

O objetivo desta tese é o estudo de temas da área de comunicações móveis apoiado aos modelos de propagação existentes. O desenvolvimento teórico abordado iniciou-se através da evolução da área das telecomunicações, os conceitos e equações sobre as ondas eletromagnéticas até as características do sistema de telefonia celular.

O estudo aprofundado sobre os tipos de propagação, refração atmosférica, reflexão e propagação de multi-percurso serão destacados e abordados devido a importância e associação desses temas aos experimentos.

A teoria sobre Raio Terrestre Equivalente foi exposta devido a importância deste conceito em enlaces ponto a ponto com distâncias superiores a 20 km. Porém, os experimentos realizados nesta tese não associarão a este conceito, pois os links possuem uma distância inferior a 4 km.

Zona de Fresnel é um conceito de grande relevância quando é vinculado as comunicações que utilizam ondas eletromagnéticas, relacionado a importância do tema na projeção de um link diretamente proporcional a distância e a frequência em operação. Portanto, a referida Zona será útil ao engenheiro na prospecção do sistema em questão a ser implantado. Porém nesta tese, os links móveis existentes serão estudados em conjunto com os modelos de propagação existentes Okumura, Hata e COST-231.

Os softwares serão utilizados em conjunto com os cálculos matemáticos desenvolvidos nos modelos de propagação. Pathloss é usado na formação do link ponto a ponto, onde indica-se as coordenadas geográficas, frequência de operação, altura das antenas e através dessas informações visualiza-se o perfil topográfico ao longo do enlace, a atenuação no espaço livre, a distância, o azimuth e a Zona de Fresnel.

Os aplicativos *Netmonitor* e *My GPS Coordinates* proporcionam aos usuários o Sinal Recebido e a identificação do CELLID referente ao link no instante

observado e o segundo software, identifica as coordenadas geográficas captadas através do modelo de celular *Galaxy S4*. A veracidade do software *Netmonitor* é comprovada em teste através de dois diferentes aparelhos celulares em conjunto com o Spectrum Analyzer GSP – 830 *GWINSTEK*.

Esta tese tem o objetivo da continuação dos estudos em temas sobre comunicações móveis, antenas e propagação, desenvolvendo outros métodos de cálculo de propagação e realização de testes em laboratórios para a otimização de equipamentos e sinal de recepção.

1.1 História da Telecomunicações

A partir da década de 1830, marcou-se o início das telecomunicações por meio do envio de mensagens codificadas em impulsos elétricos, possibilitando a transmissão de mensagens à distância através de uma rede constituída por condutores elétricos e estações telegráficas onde eram recebidas e transmitidas [1].

Alexander Graham Bell (1847-1922) criou o primeiro sistema telefônico com transmissão elétrica inteligível da voz através de fio. Após este marco histórico, estudiosos foram criando e desenvolvendo sistemas relacionados a telecomunicações [2].

Poucos anos depois após a descoberta do telefone, realizou-se em Portugal entre Lisboa a Carcavelos, e depois de 5 anos, iniciava as primeiras redes públicas [1].

Marchese Guglielmo Marconi (1874-1937) era um inventor italiano conhecido como o pioneiro do rádio, o qual em 1897 fez demonstrações chegando a enviar sinais a 12 milhas de distância [2].

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1905) em 1898 desenvolveu um sistema de comunicações via rádio para navios russos [2].

Hernrich Rudolph Hertz (1857-1894) foi responsável pelo desenvolvimento das comunicações sem fio através de estudos em ondas eletromagnéticas, ondas de rádio ou ondas hertzianas [2].

A União Internacional de Telecomunicações-ITU e Agência Nacional de Telecomunicações-ANATEL são órgãos fundamentais na área de telecomunicações. A primeira é uma organização que reúne governos e setores

privados em um Sistema Unido de Nações para coordenar as comunicações globais em redes e serviços, já a segunda é responsável pela fiscalização do uso dos meios de comunicações pelas operadoras brasileiras. A ITU é um órgão subdividido em três partes, como segue abaixo [2]:

- ITU-R: comunicações rádio e registro de frequências;
- ITU-T: padronização das telecomunicações em telefonia, telegrafia e dados;
- ITU-D: desenvolvimento em telecomunicações.

Em 1852 no Brasil, destacam-se as primeiras linhas telegráficas, após a criação do telégrafo nos Estados Unidos por Samuel Morse. Em 1855 foram criadas 20.000 km de linhas telegráficas e a primeira linha de longa distância foi ativada em 1856 entre Rio de Janeiro a Porto Alegre [3].

No início do ano de 1914, Brasil possuía 39.183 telefones, onde 1.165 pertenciam ao governo e o restante era de propriedade de companhias privadas. Porém, os Estados Unidos estavam em um momento avançado na telefonia com 9.542.017 telefones, representando 64,09% de todos telefones mundiais [3].

A Lei 4117 foi a base da legislação atual sobre comunicações responsável pela criação do Conselho Nacional de Telecomunicações–CONTEL que elaborou o Plano Nacional de Telecomunicações. A Empresa Brasileira de Telecomunicações–EMBRATEL foi criada em 1965 e teve como objetivo implantar e explorar os serviços. Por fim, o Fundo Nacional de Telecomunicações–FNT como fonte de recursos para que a Embratel implantasse os troncos nacionais de micro-ondas [3].

Em 1950, o Brasil obtinha 550 mil linhas de telefones, após uma década este número passou para 1 milhão e 25 mil devido ao acerto da política de planejamento para o setor neste período. Em 1965, o país obteve o pioneirismo no Consórcio Internacional de Comunicações por Satélite–Intelsat [3].

No início da década de 1980, houve a criação da Sociedade Brasileira de Telecomunicações–SBrT e da Sociedade Brasileira de Micro-ondas–SBMO, promovendo a divulgação da pesquisa em comunicações no Brasil [3].

Na década de 1990 no Brasil, houve pequeno investimento em telecomunicações, porém a maior parte em comunicações móveis celulares. O processo de privatização do sistema nacional de telecomunicações iniciou-se com a

venda das licenças para a utilização da telefonia celular, conhecida como Banda B. A Banda A celular teve um modelo semelhante a venda da Banda B, porém a venda de empresas existentes também estavam em torno do leilão [3].

Em 1995, a telefonia fixa contava com 14,3 milhões de acessos e o governo organizou-se para que houvesse um crescimento para 24,7 milhões em 1999. Em conjunto, a telefonia móvel alcançava uma marca de 1,9 milhões de acessos em 1995, com uma previsão de crescimento de 9,6 milhões em 1999. A grande inovação no mundo celular, ocorreu com a criação de telefones pré-pagos, porém a diminuição deste serviço será mais presente devido a baixa rentabilidade por parte da operadora de telecomunicações [3].

1.2 Ondas Eletromagnéticas

Michael Faraday (1791-1867) foi um grande pesquisador na área do Eletromagnetismo. Este permitiu o desenvolvimento da Engenharia de Telecomunicações [4].

As ondas de rádio que propagam-se em um meio através de uma antena transmissora até uma antena receptora é denominada de ondas eletromagnéticas. Estas estão associadas diretamente aos campos elétrico e magnético [5] [ver Apêndice A].

As ondas eletromagnéticas originadas por esses dois campos são representadas por ondas senoidais, onde possui como característica os parâmetros: amplitude, frequência, fase e comprimento de onda. A velocidade de propagação das ondas é determinada pelo comprimento de onda (λ) e à frequência (f), conforme a equação $V=\lambda \times f$. A velocidade será constante igual a 3×10^8 m/s para a propagação no vácuo e não depende da fonte geradora [5].

Os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares entre si e estão em fase no tempo, o qual tem-se os máximos e mínimos das ondas ocorrendo simultaneamente, conforme pode-se observar pela Figura 3. [5].

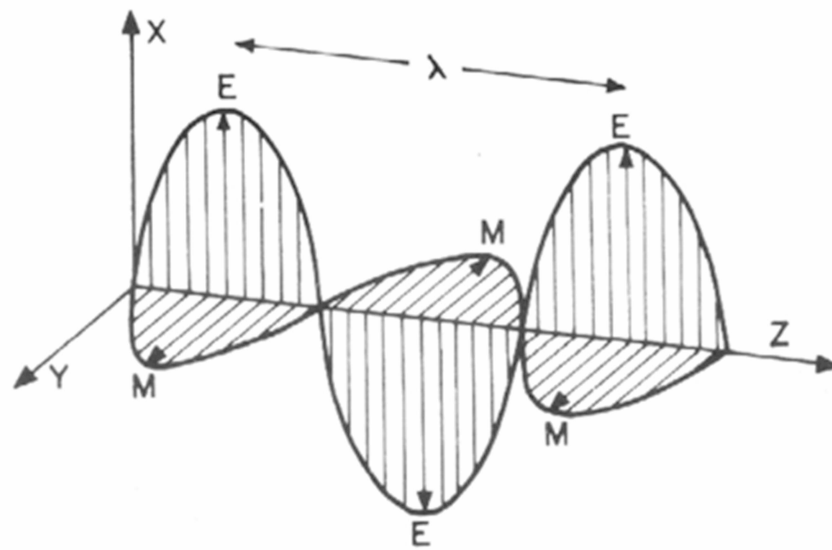


Figura 1 - Direção de propagação

- \vec{E} : Campo Elétrico;
- \vec{M} : Campo Magnético;
- X : Plano de Excitação do Campo Elétrico;
- Y : Plano de Excitação do Campo Magnético;
- Z : Direção de Propagação da Onda Eletromagnética;
- λ : Comprimento de onda.

As ondas transmitidas por uma antena são caracterizadas como ondas não guiadas, pois apesar que a antena fornece uma determinada direção preferencial de irradiação, não exerce influência sobre o trajeto da onda no espaço [5].

A polarização é uma característica fundamental da onda eletromagnética, onde pode ser definida como o desenho que o vetor campo elétrico descreve em um plano perpendicular à direção de propagação, à medida que a onda se propaga [4].

As Equações de Maxwell foram desenvolvidas através das leis fundamentais do eletromagnetismo. Estas podem ser representadas pelas Equações (1.2.1), (1.2.2), (1.2.3) e (1.2.4). [6]

- Lei de Ampere:

$$\nabla \times \vec{M} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.2.1)$$

- Lei de Faraday:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} \quad (1.2.2)$$

- Lei de Gauss:

$$\nabla \cdot (\varepsilon \vec{E}) = \rho \quad (1.2.3)$$

- Lei de Gauss do Campo Magnético:

$$\nabla \cdot (\varepsilon \vec{M}) = 0 \quad (1.2.4)$$

Tem-se que:

- \vec{M} : campo magnético;
- \vec{E} : campo elétrico;
- μ : permeabilidade;
- ε : permissividade;
- σ : condutividade.

As equações de Maxwell mostram que um campo elétrico variando no tempo gera um campo magnético variante no tempo, que por sua vez cria-se um campo elétrico que induz outro campo magnético e assim sucessivamente. Isto permite que, a energia propaga-se sob a forma de onda eletromagnética.

Nas equações fundamentais do eletromagnetismo destaca-se as operações $\nabla \times \vec{E}$ e $\nabla \cdot \vec{E}$, que representam o rotacional do campo elétrico e o divergente do campo elétrico, respectivamente. O rotacional do campo elétrico pode ser expresso como [6]:

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \vec{i}_x + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \vec{i}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \vec{i}_z \quad (1.2.5)$$

O divergente do campo elétrico pode ser expresso como [6]:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) \quad (1.2.6)$$

Ao considerar uma onda que desloca-se na direção x com um campo elétrico na direção z e o campo magnético na direção y, tem-se a seguir [6]:

$$\vec{E} = E_z \vec{i}_z \quad (1.2.7)$$

$$\vec{M} = M_y \vec{i}_y \quad (1.2.8)$$

Sendo assim, temos que $E_x = E_y = M_x = M_y = 0$. O rotacional de \vec{E} e \vec{M} segue abaixo [3]:

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \vec{i}_y \quad (1.2.9)$$

$$\nabla \times \vec{M} = \left(\frac{\partial M_y}{\partial x} \right) \vec{i}_z \quad (1.2.10)$$

Deve-se lembrar que devido a onda ser plana, temos que $\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{\partial M_y}{\partial z} = 0$, onde as ondas planas são perturbações eletromagnéticas bem definidas para as quais os vetores de campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si, ambos formam um ângulo de 90° com a direção de propagação da onda. Substituindo as Equações (1.2.7), (1.2.8) nas Equações (1.2.1) e (1.2.2) e considerando o caso $E_x = E_y = M_x = M_y = 0$ tem-se:

$$\frac{\partial M_y}{\partial x} = \sigma E_z + \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} \quad (1.2.11)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = -\mu \frac{\partial M_y}{\partial t} \quad (1.2.12)$$

Considera-se uma corrente que passa em um fio for senoidal, tem-se que o campo elétrico e magnético também serão senoidais. Uma possível solução destas equações acima seria quando σ fosse igual a zero, como segue abaixo [6]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t - \frac{x}{u} \right) = E_0 \cos (wt - \beta x) \quad (1.2.13)$$

Em que, $\beta = w/u$, t é o tempo, x a distância e u a velocidade de deslocamento. Uma onda eletromagnética plana deslocando-se na direção x , possui componentes na direção perpendicular a x (E_y ou E_z), e não irá variar com y e z , ou seja são constantes para estas variáveis. Considerando um instante de tempo $t = t_0$, a Equação é mostrada a seguir [6]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t_0 - \frac{x}{u} \right) \quad (1.2.14)$$

Observa-se através da Equação (1.2.14), uma função apenas relacionado a x . O gráfico abaixo mostra a variação do campo elétrico para vários valores de wt [6].

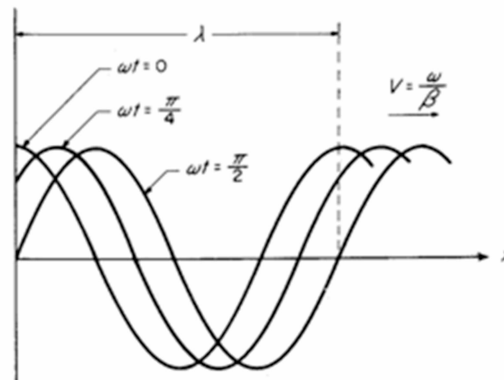


Figura 2 - Onda deslocando-se na direção x [6]

Através da Equação (1.2.14), calcula-se o comprimento de onda λ ($\lambda = x_2 - x_1$) [6].

$$w \left(t_0 - \frac{x_2}{u} \right) - \left(t_0 - \frac{x_1}{u} \right) = -2\pi ; \quad (1.2.15)$$

$$w \frac{x_2}{u} - w \frac{x_1}{u} = 2\pi ; \quad (1.2.16)$$

$$\lambda = (x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\frac{w}{u}} = 2\pi / (2\pi f / u) = \frac{u}{f} \quad (1.2.17)$$

Adota-se um ponto fixo x_0 , o campo elétrico varia apenas com o tempo [6]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t - \frac{x_0}{u} \right) \quad (1.2.18)$$

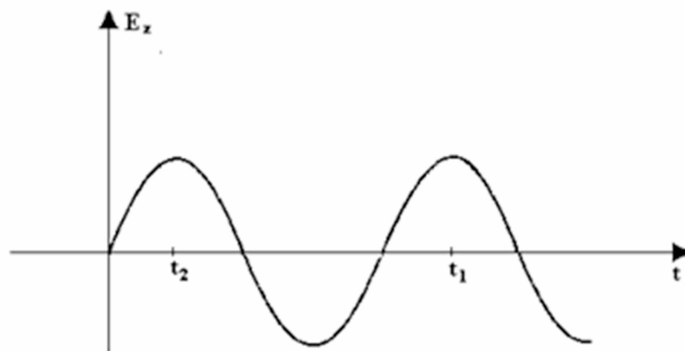


Figura 3 - Campo elétrico variando com t [6]

O período $T = t_2 - t_1$ pode-se ser calculado como [6]:

$$w \left(t_2 - \frac{x_0}{u} \right) - w \left(t_1 - \frac{x_0}{u} \right) = -2\pi \quad (1.2.19)$$

$$w(t_2 - t_1) = 2\pi \quad (1.2.20)$$

$$wT = 2\pi \quad T = 2\pi/w \quad (1.2.21)$$

1.3 Regulamentação e Alocação de Frequência

A Agência Nacional de Telecomunicações-Anatel define o espectro de frequência como um bem público, de fruição limitada, onde este uso é regulamentado através da agência, que corresponde a uma parte do espectro eletromagnético abaixo de 3.000 GHz [7].

Devido a utilização simultânea do mesmo espectro e de forma desorganizada, o qual pode ocasionar interferência entre sistemas, houve a necessidade de criação de um órgão que realizasse a supervisão e administração do espectro de frequência disponível. Esta administração permite-se que o usuário possa utilizar a frequência em questão em período determinado e em certa região [7].

A frequência de operação é um fator responsável no desempenho de um sistema de comunicações, pois relaciona-se com as características do serviço oferecido e a tecnologia apropriada para o objetivo final.

Em 1932 foi criada a União Internacional de Telecomunicações–ITU, uma organização com o intuito de supervisionar o uso de frequências no mundo, por meio da alocação de frequências aos respectivos serviços de telecomunicações no mundo incluindo serviços terrestres, satélites e intersatélite [8].

A frequência é uma característica fundamental em uma onda eletromagnética, observa-se no Apêndice A, o espectro de frequência dividido em faixas. Este espectro representa a disponibilidade de frequência que uma onda eletromagnética pode-se assumir [8].

1.4 Meios de Comunicações

A transmissão do sinal para o provimento de serviços de telecomunicações, principalmente para a comunicação de voz, vídeo e dados necessita de meios de comunicação para o envio da informação até o destino desejado.

Os meios de comunicações utilizados nas transmissões de sinais de informações são as seguintes [8]:

- O espaço (livre, troposfera, ionosfera);
- cabo coaxial;
- fibra óptica;
- par trançado e etc.

O espaço livre é o meio usado pela onda para a propagação sem nenhuma interferência, como a presença dos gases atmosféricos, chuvas, prédios, árvores,

montanhas, nuvens, neblina ou qualquer outro meio que possa interferir nas comunicações [8].

A troposfera é uma camada adjacente à superfície terrestre e estende-se até 10 km de altura. Esta camada é constituída de gases como: nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, vapor de água e entre outros. Esses gases atmosféricos contribuem na atenuação e no traçado do raio de um sinal. Nesta camada considera-se a influência da chuva, umidade do ar e nas perdas do sinal, sendo que a chuva é um efeito de grande importância na atenuação do sinal em enlaces que utilizam uma frequência de operação acima de 10 GHz [8].

A camada ionosfera é atrativa para os enlaces de onda que utilizam a frequência de operação abaixo de 30 MHz, como na propagação de onda de rádio AM e rádio amador em HF. Esta camada varia de 50 km até 350 km e tem como característica ser uma camada ionizada devido ao seu constante bombardeamento por partículas provenientes do Sol, além de raios cósmicos. Esta camada varia de acordo com a hora, estação do ano e a atividade solar. No período do dia a incidência solar é maior, portanto aumenta a densidade eletrônica da ionosfera [8].

O cabo coaxial, fibra óptica e o par trançado também são utilizados para a transmissão de informações, porém com meios físicos, ao contrário da propagação do sinal através da atmosfera, o qual será o foco deste trabalho.

1.5 Tipos de Propagações

As ondas de rádio são classificadas de acordo com a propagação realizada na atmosfera como: propagação de ondas de superfície, ionosféricas, diretas ou visada direta, difratadas e espalhadas. Porém, as ondas de superfície propagam-se acompanhando a superfície da Terra e percorrem uma distância elevada, por serem caracterizadas com uma frequência menor que 2 MHz, onde este tipo de propagação não enquadra-se nas comunicações celulares. As ondas espalhadas alcançam grandes distâncias devido o espalhamento nas camadas ionosfera e troposfera [8].

As ondas de rádio com frequências menores que 30 MHz são refletidas e absorvidas pelas camadas da ionosfera D, E e F e as ondas superiores à 30 MHz, propaga-se através da ionosfera, onde suas propriedades variam-se de acordo com a frequência, localização geográfica, horário e dia. As ondas mencionadas de 3 GHz

não percebem os efeitos da ionosfera. A Figura 4 ilustra o comportamento das ondas ionosféricas, sendo que o raio 4 e 5 não são refletidos e escapam, este fenômeno ocorre devido a frequência superior a 30 MHz. Para os raios 1, 2, 3 e 6 a onda retorna á superfície da Terra, pois utiliza frequência menor que 30 MHz [8].

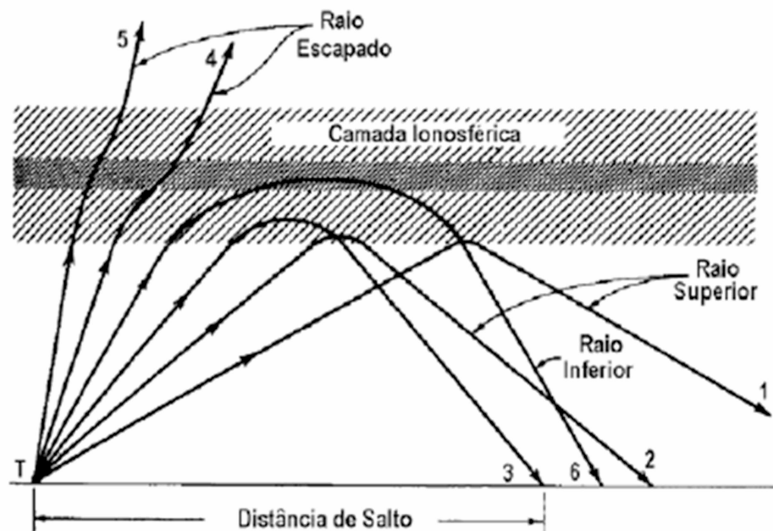


Figura 4 - Ondas com reflexão ionosférica [8]

As ondas diretas ou conhecida como visada direta, conforme a Figura 5, são transmissões que ocorrem em enlaces de micro-ondas, onde a antena transmissora através de uma “linha reta” alcança a antena receptora [8].

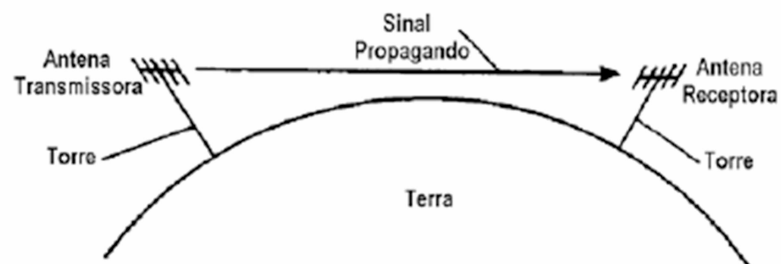


Figura 5 - Onda em visada direta (acima de 30 MHz) [8]

As ondas de visada direta podem não atuar quando há a presença de um obstáculo no caminho de uma onda, mas as ondas difratadas através da teoria de

difração de Fresnel, permite que uma onda enviada de uma antena transmissora passando por um obstáculo consiga alcançar uma antena receptora [8].

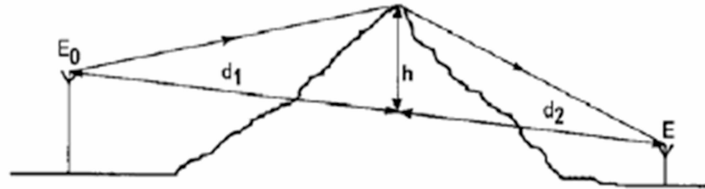


Figura 6 - Propagação por obstáculo (gume de faca) [8]

1.6 Refração Atmosférica

O fenômeno de alteração de direção de uma onda quando atravessa outro meio é denominado de refração [8]. Considera-se que uma onda eletromagnética incidindo sobre uma superfície, esta será dividida em refletida e outra refratada [5].

O fenômeno de refração não ocorre quando a onda incidente formar um ângulo de 90° com a superfície, porém em outros casos, o raio é inclinado em relação a normal quando penetra em um meio mais denso e será inclinado novamente quando dela se afastar após ser refratado [8].

O ângulo de refração é formado pelo ângulo entre a normal e o raio refratado, o qual está relacionado ao ângulo de incidência por uma grandeza denominada de índice de refração (n). Esta relação constitui a Lei de Snell. A refração ocorre porque as ondas viajam a velocidades ligeiramente diferentes em meios variados, e isto se aplica a todas as formas de radiação [8].

Lei de Snell:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.6.1)$$

Onde:

- $n = c/v$ (c = velocidade da luz no vácuo e v = velocidade da luz no meio a ser estudado)

As ondas de rádio para a faixa de frequência de *UHF* e *SHF* propagam-se na troposfera, assim há uma necessidade em estudos sobre o índice de refração da atmosfera dentro da troposfera [8].

A partir de que a densidade do ar decresce com a altitude e o índice de refração do ar também varia da mesma forma tem-se que toda onda de rádio (*UHF* e *SHF*) enviada na atmosfera realiza um arco descendente. Isto porque a onda tende a voltar para um meio com índice de refração maior. Observa-se através da Figura 7, a troposfera dividida em várias camadas, assim torna-se mais claro este fenômeno [8].

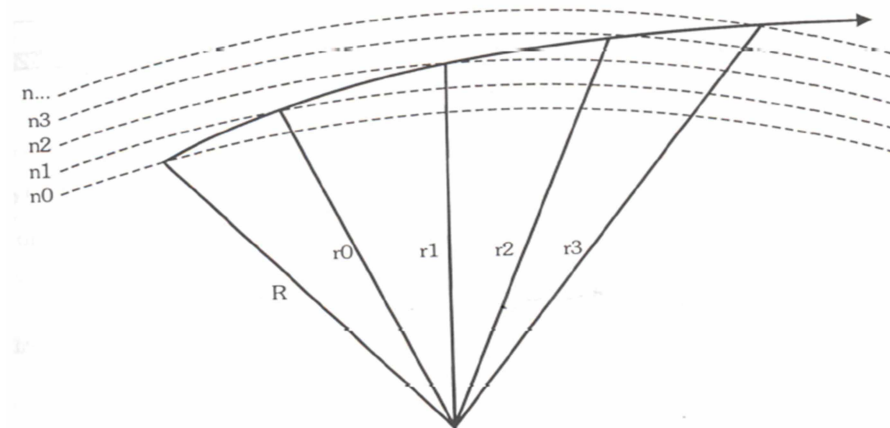


Figura 7 - Divisão da troposfera em camadas [8]

A trajetória de uma onda eletromagnética passando de uma camada inferior para uma superior é desviada e tende a retornar à camada inferior, a qual possui um índice de refração maior. Consequentemente, o raio sofre um desvio na separação de cada camada [4].

Na propagação da onda eletromagnética através da atmosfera, observa-se uma curvatura do feixe de micro-ondas no plano vertical, conforme a Figura 8, devido a sucessivas refrações do sinal. Essas refrações possui uma tendência a se

entortar o feixe quando o mesmo atravessa camadas de densidades diferentes da atmosfera [5].

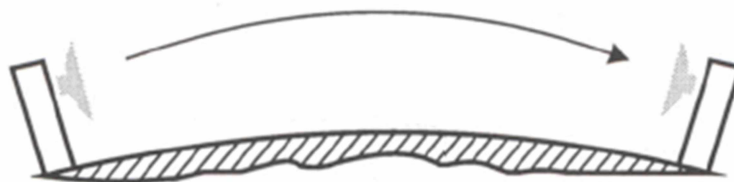


Figura 8 - Curvatura do feixe na atmosfera [5]

1.7 Raio Terrestre Equivalente

As variações do índice de refração do ar com altura, associado ao clima, devido às alterações nas condições de temperatura, pressão e umidade, ocasiona a refração atmosférica na propagação das ondas de rádio [8].

O Raio Terrestre Equivalente é importante na área de propagação de ondas, devido a análise da propagação na atmosfera. Isto porque utiliza-se a técnica que o feixe não possui curvatura, assim aumenta-se o raio da Terra. Na Figura 9, tem-se o feixe representado em linha reta e a curvatura da Terra diminuída [8]:

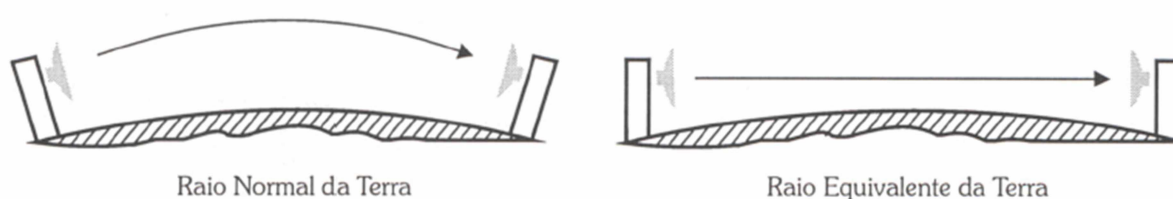


Figura 9 - Raio equivalente da Terra [8]

De acordo com a Recomendação (RECOMMENDATION ITU-R P.310-9, 2011)[9] e a Recomendação (RECOMMENDATION ITU-R P.530-15, 2011)[10], retiram-se os valores usados para considerar o raio equivalente. A aplicação do fator k é necessário, pois adota-se a correção da curvatura da Terra ou Raio Equivalente na análise de prospecção de um enlace [8].

O fator K pode ser definido como a gradiente vertical (dn/dh) do índice de refração (n) e ao raio da Terra (a), conforme a Equação (1.7.1):

$$k = \frac{1}{1 + a \frac{dn}{dh}} \quad (1.7.1)$$

Onde $\frac{dn}{dh}$, refere-se ao valor médio do gradiente de refratividade próximo da superfície terrestre:

$$\begin{aligned} \bullet \quad \frac{dn}{dh} &= \frac{dM}{dh} \cdot 10^{-6} - \frac{1}{a} \\ \bullet \quad a &= \text{raio da Terra } 6,37 \cdot 10^6 \\ \bullet \quad \frac{dM}{dh} &= 0,118 \text{ M. U./m} \end{aligned} \quad (1.7.2)$$

Através da Equação (1.7.2) encontra-se o valor de $\frac{dn}{dh}$:

$$= 0,118 \cdot 10^{-6} - \frac{1}{6,37 \times 10^6} \cong -0,039 \times 10^{-6}$$

Associando esses termos na Equação (1.7.1), tem-se que k é aproximadamente 4/3:

$$k = \frac{1}{1 + [6,37 \times 10^{-6} \cdot (-0,039 \times 10^{-6})]} \approx 1,33 \approx \frac{4}{3} \quad (1.7.3)$$

O $k_{\text{médio}}$ é o fator k igual a 4/3, cujo valor definido para a atmosfera padrão como uma média no índice de refração na atmosfera. Devido a atmosfera sofrer variações como pressão, umidade e temperatura, assim o índice de refração também pode ser alterado, variando o valor de k [8].

A prospecção de um link deve sempre permitir a correção do perfil da Terra, associados aos fatores de correções $k_{\text{médio}}$ e o $k_{\text{mínimo}}$. O valor $k_{\text{médio}}$ é utilizado para atmosfera padrão no valor de 4/3 e o $k_{\text{mínimo}}$ adota-se o valor pela recomendação 530-09 do ITU-R [10], em que o valor de correção da curvatura da Terra-k varia de

acordo com o comprimento do enlace considerado para 99,9% do tempo no pior mês do ano (mês em que as variações climáticas são maiores) [8].

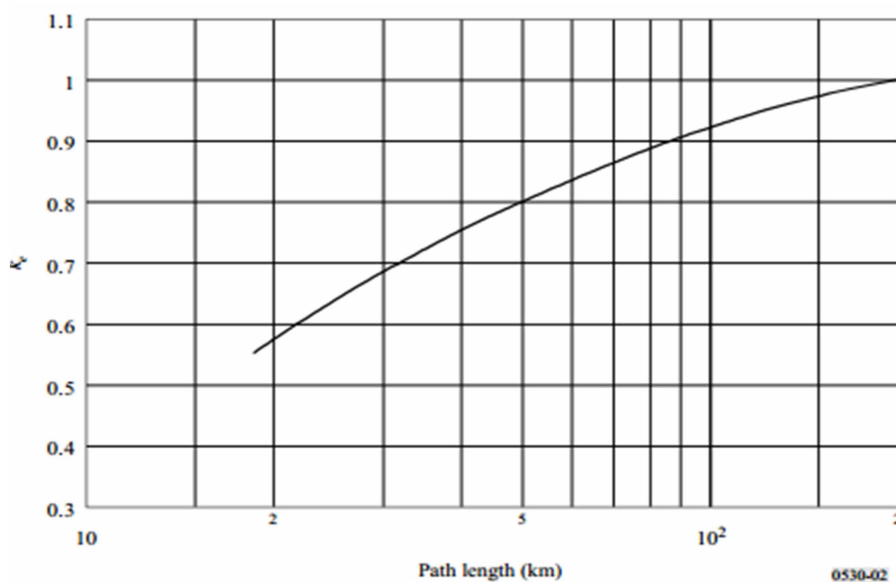


Figura 10 - Variação do $k_{\text{mínimo}}$ com a distância (Valor de K Excedido para 99,9% do Tempo no pior mês do ano) [8]

O $k_{\text{mínimo}}$ é utilizado devido às alterações na atmosfera produzirem em alguns casos o fenômeno conhecido como sub-refração, onde o gradiente de refratividade é positivo. Portanto, a curvatura das ondas sofre um efeito contrário ao da atmosfera normal, tendendo a fazer um arco ascendente. Sendo assim, aplica-se um fator de correção que solucione este fenômeno. Para isso, deve-se corrigir o fator de correção da curvatura da Terra para $k < 1$, ao contrário de aumentarmos o raio da Terra, como a Figura 11 [5].

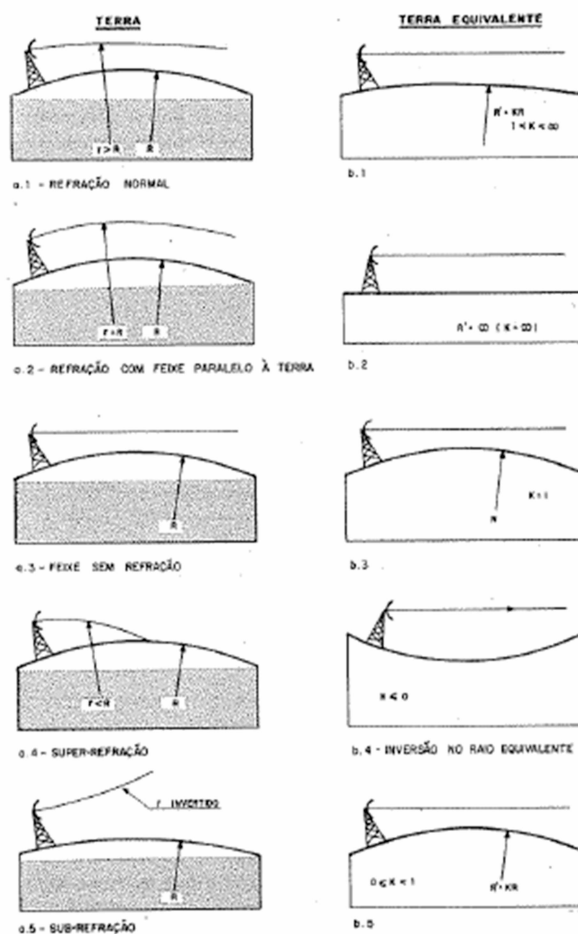


Figura 11 - Diferentes casos de refração [5]

O Engenheiro responsável pelo projeto de um enlace de micro-ondas sempre deverá aplicar os dois valores para o fator k , pois avalia-se a solução na situação mais crítica do projeto.

Ao ter-se projetos com enlaces longos, o fator k determinante sempre será o $k_{\text{mínimo}}$, devido as ondas passarem por vários meios distintos em que os índices de refração são variados e neste caso a aplicação do $k_{\text{mínimo}}$ aproxima-se mais da realidade, ao contrário do $k_{\text{médio}}$.

Nos projetos de prospecção celular, a correção do Raio Terrestre Equivalente deve ser realizado para links entre estação rádio-base e estação móvel acima de 17 km aproximadamente, pois em distâncias menores conforme a Figura 10, o relevo topográfico não é influenciado quanto para enlaces longos.

1.8 Região de Fresnel

Define-se a zona de Fresnel como a energia do sinal que é propagada no espaço livre em torno da linha de visada direta. A obstrução total ou parcial da Região de Fresnel através de árvores, prédios, montanhas entre outros obstáculos podem ocasionar a degradação do sinal por meio da reflexão, difração, absorção ou espalhamento espectral.

De acordo com a Figura 12, considera-se uma superfície esférica S onde tem-se a intensidade do campo. Através do Princípio de Huygens, determina-se qual parte da frente de onda S contribui de maneira significativa para calcular o campo no ponto B [6].

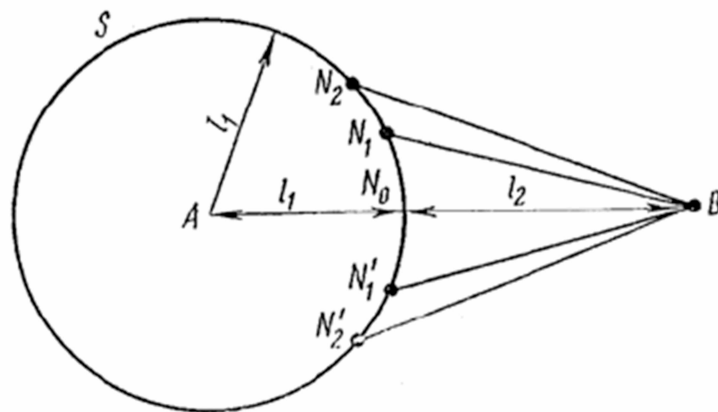


Figura 12 - Zona de Fresnel na superfície da Terra [6]

Seja l_2 pertencente a distância ao longo da reta AB , medida da superfície da esfera até o ponto B . Pode-se desenhar um conjunto de curvas a partir do ponto B tal que elas cortam a superfície S nos pontos de distância $\left(l_2 + \frac{\lambda}{2}\right)$ do ponto B .

$$BN_1 = l_2 + \frac{\lambda}{2} \quad (1.8.1)$$

$$BN_2 = l_2 + 2 \frac{\lambda}{2} \quad (1.8.2)$$

$$BN_n = l_2 + n \frac{\lambda}{2} \quad (1.8.3)$$

Na Figura 13, tem-se círculos que são mostrados vistos do ponto B, onde os segmentos limitados pelos círculos adjacentes são denominados de zona de Fresnel [6].

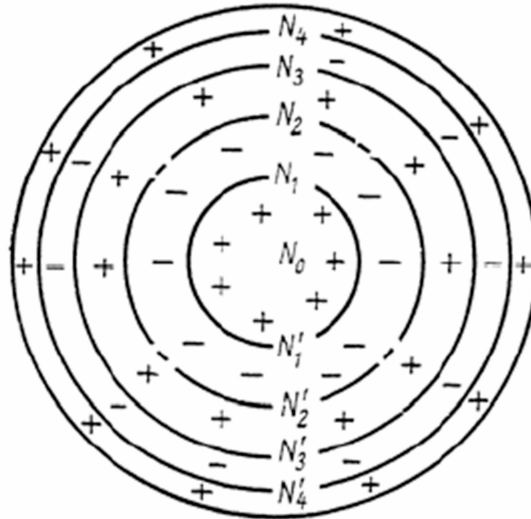


Figura 13 - Zona de Fresnel vistas do ponto B [6]

A primeira zona de Fresnel é a porção do primeiro círculo, enquanto as zonas de mais alta ordem são as outras porções da superfície da esfera [6].

A zona imaginária ou fontes secundárias, localizados dentro da primeira zona de Fresnel são tais que a diferença de fase entre as ondas secundárias no ponto B e a onda devido ao emissor virtual no ponto N_0 não excede 180° , porque o trecho não ultrapassa meio comprimento de onda. Os pontos de frente de ondas dentro da segunda zona são de fase de 180° até 360° da fase do ponto N_0 . Podemos dizer que a primeira zona difere de 180° da segunda zona, assim como a segunda zona difere de 180° da terceira zona. Em física pode se mostra que zonas de mais alta ordem se anulam umas com as outras, sendo este cancelamento mais perfeito para zonas de mais alta ordem. O efeito agregado deste cancelamento é equivalente a metade da primeira zona Sendo assim, a contribuição principal para o campo no ponto B é devido a primeira zona. CARRIJO.,p. 74).

Através da Figura 14, calcula-se o raio das Regiões de Fresnel [6]:

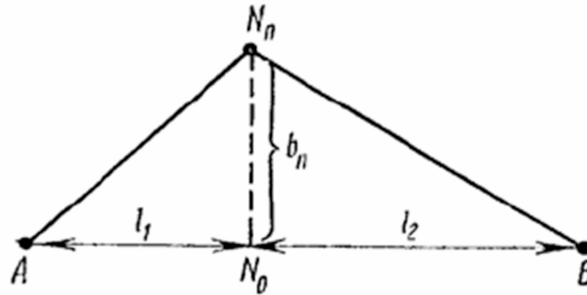


Figura 14 - Raio da zona de Fresnel [6]

$$AN_n + BN_n = l_1 + l_2 + n \frac{\lambda}{2} \quad (1.8.4)$$

$$AN_n = \sqrt{l_1^2 + b_n^2} \cong l_1 + \frac{b_n^2}{2l_1} \quad (1.8.5)$$

$$BN_n = \sqrt{l_2^2 + b_n^2} \cong l_2 + \frac{b_n^2}{2l_2} \quad (1.8.6)$$

Considerando que $b_n \ll l_1$ e $b_n \ll l_2$:

$$\frac{b_n^2}{2} \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) = n \frac{\lambda}{2} \quad (1.8.7)$$

$$b_n = \sqrt{\frac{l_1 l_2 n \lambda}{l_1 + l_2}} \quad (1.8.8)$$

O raio da Primeira Zona é dado por:

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} \text{ (m)} \quad (1.8.9)$$

Nota-se que a fórmula encontrada para delinear o raio da Primeira Zona de Fresnel é dependente da distância total do link, da distância da antena transmissora/receptora até a referência a ser calculada e da frequência em operação através do comprimento de onda.

O conceito de Região de Fresnel pode ser notado através da associação do Raio Terrestre Equivalente–Fator k por meio de um software licenciado, conhecido como Pathloss [13]. Neste software são inseridas as informações das duas estações em estudos como as coordenadas geográficas, altura das antenas e a frequência central de operação.

O conceito de Zona de Fresnel deve ser associado ao Raio Terrestre Equivalente, onde a região de estudo necessita estar liberada totalmente ou parcial, de acordo com o valor do Fator k em conjunto com a frequência de operação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Relação Fator K vs Zona de Fresnel

< 1 GHz	Entre 1 e 3 GHz	Acima de 3 GHz
30% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{médio}}$	60% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{médio}}$	100% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{médio}}$
10% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{mínimo}}$	30% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{mínimo}}$	60% do raio de Fresnel para $k=k_{\text{mínimo}}$

O link em estudo será realizado entre as cidades de Patrocínio e Serra do Salitre no estado de Minas Gerais–Brasil. Em Patrocínio uma torre de 26 metros está hipoteticamente instalada nas coordenadas geográficas $18^{\circ} 56' 03.40''$ S – $46^{\circ} 59' 40.36''$ W e na cidade Serra do Salitre uma torre de 13 metros de altura de coordenadas $19^{\circ} 06' 32.42''$ S – $46^{\circ} 40' 40.74''$ W. Este enlace possui uma distância de aproximadamente 38 km e utiliza-se uma frequência de 8,5 GHz, conforme a Figura 15. A Região de Fresnel está delimitada pelo arco em cor azul e em análises de prospecção, a zona de Fresnel deve-se estar 100% desobstruída para um Fator K no valor de $4/3$ em frequências acima de 3 GHz.

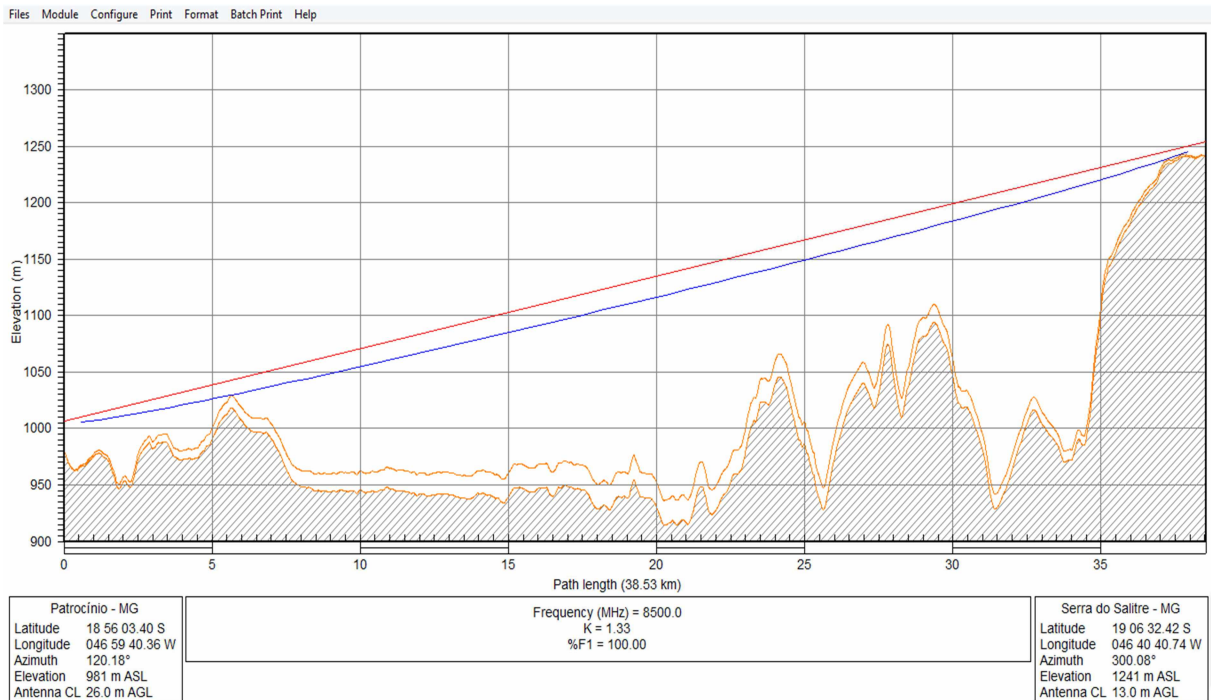


Figura 15 - Perfil Topográfico entre Patrocínio - Serra do Salitre - Fator $k=4/3$ – 100% Liberada

Em consequência dos conceitos mencionados anteriormente sobre o Raio Terrestre Equivalente, analisa-se o perfil topográfico para fatores de correção da Terra nos piores casos como o $K_{\text{mínimo}}$. De acordo com a Figura 16 e em relação a distância do link em estudo, o valor do $K_{\text{mínimo}}$ deverá ser aproximadamente 0,72. A Zona de Fresnel em uma frequência de operação acima de 3 GHz para o uso do $K_{\text{mínimo}}$ deve estar 60% liberada.

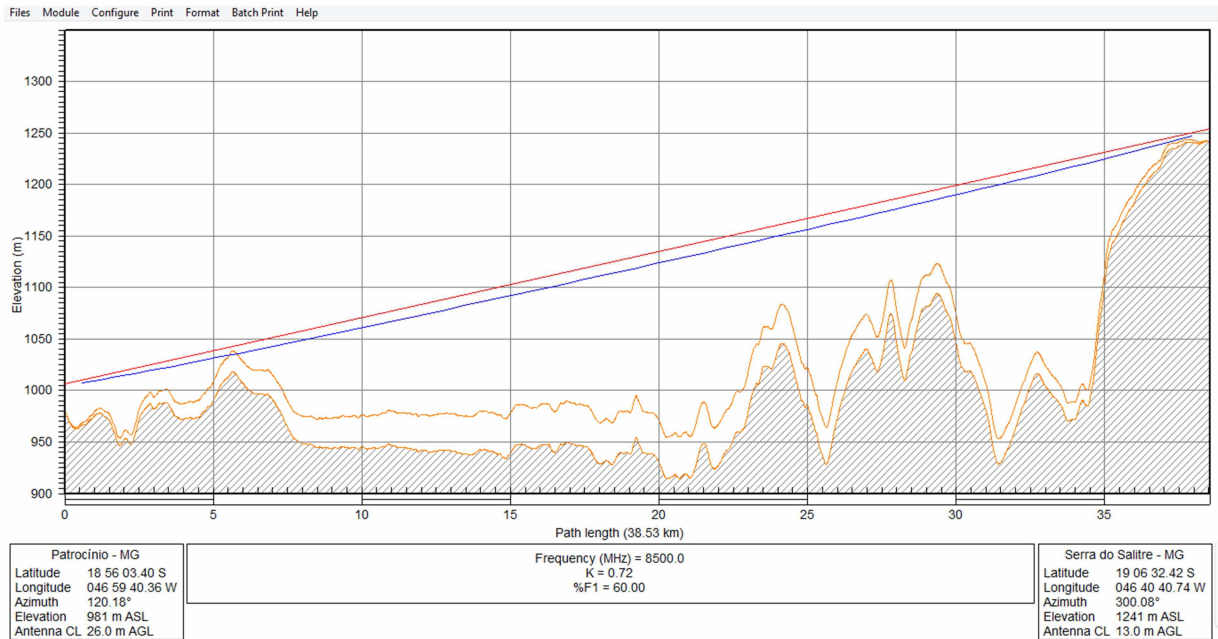


Figura 16 - Perfil Topográfico entre Patrocínio - Serra do Salitre - Fator k=0,72 – 60% Liberada

A partir da Figura 16, conclui-se que o enlace torna-se mais severo em relação ao relevo topográfico quando há a alteração do fator de correção de 4/3 para 0.72, pois nesta alteração pode-se ocasionar obstruções na região de Fresnel, conforme o exemplo anterior.

Conclui-se que o projeto de enlace de rádio deverá ser realizado considerando o valor de k igual a 4/3 e 100% da Zona de Fresnel desobstruída, caso esta relação seja atendida, o próximo passo é analisar a referida Zona para $k_{\text{mínimo}}$ em conjunto com 60% da mesma liberada. Essas duas condições deverá ser atendida, caso há alguma obstrução em uma dessas etapas, as antenas deverão ser instaladas em alturas maiores.

A partir da Equação (1.8.9), calcula-se a região em uma distância de 6 km da cidade de Patrocínio:

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} \text{ (m)}$$

Sabe-se que o comprimento de onda é encontrado através da fórmula $\lambda = C/f$, a velocidade da luz no vácuo C é $3 \cdot 10^8$ e a frequência é necessária ser utilizada em Hz tem-se:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{8,5 \cdot 10^9} = 0,033529 \text{ m}$$

- Para $l_1 = 6.000$ metros e $l_2 = 32.530$ metros

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{6.000 \times 32.530 \times 0,033529}{6.000 + 32.530}} = 13,03 \text{ metros}$$

De acordo com o perfil topográfico na Figura 16, a linha de visada está em uma altitude de 1.042 metros e o pico do perfil está 1.035 metros no mesmo ponto, analisado nos cálculos acima relacionado a abscissa 6. Assim, subtraindo o valor do raio da Zona de Fresnel neste ponto pela linha de visada, conclui-se que nesta parte a Zona de Fresnel está obstruída, o qual necessita que o engenheiro realize a prospecção com altura de antenas maiores do que as propostas neste exemplo.

1.9 Propagação de Caminho Múltiplo

Reflexão é o processo de alteração da direção de propagação de uma onda incidente na superfície, porém retorna para o meio original como onda refletida [8].

Neste tipo de propagação, ocorre a dissipação de energia do sinal em amplitude, fase e tempo devido a existência de prédios, montanhas, objetos em geral que refletem e dispersam as ondas eletromagnéticas. Assim, o Sinal Recebido na antena receptora é resultado de vários sinais transmitidos deslocados em relação um ao outro na orientação temporal e espacial [11].

Assim, a fase e as amplitudes aleatórias das diferentes componentes de caminho múltiplo são responsáveis pelas flutuações na intensidade do sinal, ocasionando atenuação e distorção do sinal [11].

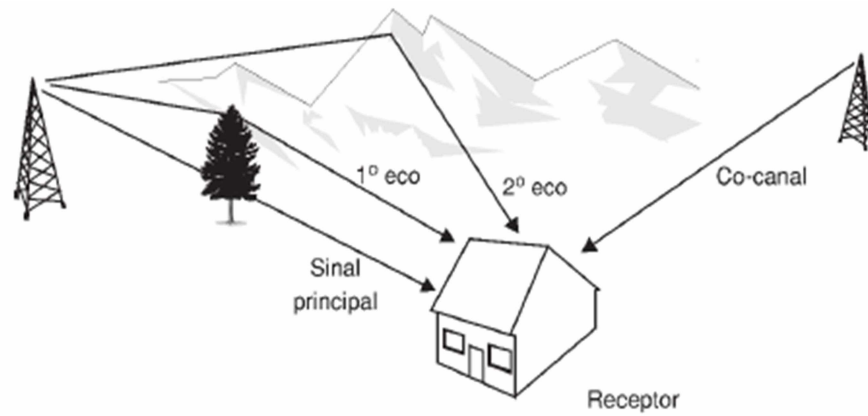


Figura 17 - Propagação Caminho Múltiplo

Em sistemas de comunicações celulares, o receptor móvel recebe o sinal transmitido através da onda de visada direta e também pelo efeito de multi-percurso, conforme a Figura 17.

Capítulo 2

Desenvolvimento Teórico

Desde 1897, novos métodos e serviços de comunicações sem fio têm sido adotados em todo o mundo. Isto devido a capacidade de se comunicar com pessoas em movimento, desde que Guglielmo Marconi demonstrou a capacidade do rádio de fornecer contato contínuo com navios navegando pelo canal inglês [11].

O setor de comunicações móveis via rádio cresceu nos últimos dez anos devido as melhorias na fabricação de circuitos digitais e de radiofrequência (RF), em conjunto com a nova integração de circuitos em grande escala e outras tecnologias de miniaturização que tornaram os equipamentos portáteis de rádio bem menores, mais baratos e mais confiáveis [11].

Os laboratórios de Bell em 1960 e 1970 foram os responsáveis para tornar possível a capacidade de fornecer comunicações sem fio a uma população. Nos anos de 1970, iniciava a era das comunicações sem fio devido ao desenvolvimento de hardwares de radiofrequência altamente confiáveis, em miniatura e estado sólido [11].

Alocações do espectro de rádio, decisões reguladoras, necessidades do consumidor e avanços da tecnologia nas áreas de processamento de sinais, acesso e rede serão responsáveis pelo crescimento futuro dos sistemas de comunicações móveis e portáteis com base no consumidor [9].

No âmbito nacional, segundo Paulo Bernardo, Ministro das Comunicações do governo atual (2010-2014), afirmou em 14 de maio de 2014 em Brasília, que as empresas brasileiras de telecomunicações precisam realizar investimentos em construção, ampliação e modernização de redes para assegurar o crescimento de setores como o de comunicações máquina-a-máquina, conhecido tecnicamente como M2M, esses são sistemas de comunicação que operam dispositivos que utilizam redes de telecomunicações para transmitir dados a aplicações remotas para

monitorar, medir e controlar o próprio dispositivo, o ambiente ao seu redor, ou sistemas a ele conectados [12].

2.1 Sistemas de Telefonia Celular

Desde 1921 na polícia de Detroit (EUA) existiam sistemas rádio móveis, porém os primeiros sistemas comerciais foram utilizados a partir da 2ª Guerra Mundial, apesar do crescimento muito lento devido o preço dos dispositivos. Na década de 90, através do avanço tecnológico e a normalização, associados à massificação, criaram-se dispositivos menores com baixo consumo de energia e custos, por outro lado, aumentando as funcionalidades para os usuários [1].

Os primeiros sistemas celulares baseavam-se à difusão de televisão, onde um emissor com uma potência elevada realizava a cobertura de uma grande área. Sendo assim, quando um terminal utilizava um canal rádio para comunicar, nenhum outro terminal o podia partilhar [1].

O sistema de telefonia celular corresponde ao sistema de comunicações sem fio associado a estações móveis e estações rádio-base. Por meio da ERB, um radio-móvel comunica com outro radio-móvel ou com qualquer telefone da rede fixa por uma central telefônica à qual a ERB está ligada, conforme a Figura 18 [5].

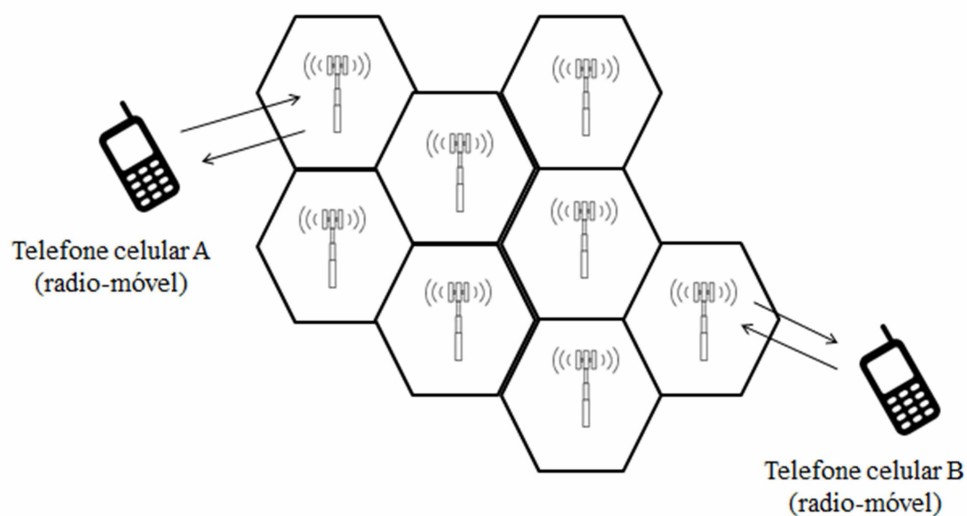


Figura 18 - Células com ERB's do sistema de telefonia móvel celular [5]

O sistema de telefonia celular está em crescente evolução devido o oferecimento de diversos serviços como voz, vídeo, mensagens alfanuméricas, troca de imagens e acesso à internet. As áreas ou células neste sistema são cobertas por ERB's, nas quais cada antena cobre uma região diferente, não sendo necessariamente obrigatório a cobertura de espaços iguais. De acordo com a exigência e a necessidade são instaladas diversas ERB's para o atendimento de áreas urbanas, rurais, rodovias e etc [5].

As ERB's são constituídas de transmissores, receptores e antenas, onde essas últimas são instaladas no alto da torre ou mastros. As frequências operacionais são reutilizadas, porém necessita de um estudo aprofundado para que não ocasione interferências entre estações radio-base [5].

Os serviços de telecomunicações via rádio foram proveniente devido a invenção do rádio, passando por estágios de regulamentação e evolução tecnológica. A evolução do sistema de telefonia celular está associada tanto a regulamentação, quanto a implementação de novas tecnologias devido à grande demanda por serviços de telecomunicações móveis [8].

Um sistema de telefonia celular basicamente é uma conexão sem fio à PSTN (Rede Telefônica Pública Comutada) para usuários de qualquer local dentro do alcance de rádio do sistema [5]. A Rede Telefônica Pública Comutada (RTPC ou PSTN) é a rede telefônica mundial através da comutação de circuitos destinada ao serviço telefônico. Antigamente, a rede foi projetada como uma rede de linhas fixas e analógicas e atualmente inclui a telefonia celular e é uma rede digital. A utilização da comutação por circuitos provê a qualidade de serviço necessária para a transmissão de voz, pois este circuito será reservado durante o início, meio e até o término da ligação, mas havendo algum período em silêncio por parte do usuário [13].

Os sistemas celulares são responsáveis pela comunicação de inúmeros usuários em uma grande área geográfica através de um espectro de frequência limitado. Este sistema possui alguns termos utilizados como Estação-base, Canal de controle, Canal direto, Transferência, Estação móvel, Central de comutação móvel, Canal reverso, Visitante, Assinante, Transceptor e entre outros [11]. A seguir tem-se os conceitos:

- Estação-base: uma estação fixa em um sistema de rádio móvel usada para comunicação por rádio com estações móveis. Consistem em canais de rádio e antenas transmissoras/receptoras montadas em uma torre;
- Canal de controle: canal de rádio usado para transmissão de configuração, solicitação, início de chamada, e outras finalidades de orientação ou controle;
- Canal direto: canal de rádio usado para transmissão de informações da estação-base para a móvel;
- Transferência: o processo de transferir uma estação móvel de um canal ou estação-base para outra;
- Estação móvel: uma estação no serviço de radio-celular destinada para uso enquanto estiver em movimento em locais não especificados. Podem ser unidades pessoais de mão (portáteis) ou instaladas em veículos (dispositivos móveis);
- Central de comutação móvel (Mobile Switching Center (MSC)): central de comutação que coordenada o roteamento de chamadas em uma área grande de serviço. Em um sistema de radio-celular, a MSC conecta as estações-base de celular e os dispositivos móveis à PSTN;
- Canal reverso: canal de rádio usado para transmissão de informações de estação móvel para a estação-base;
- Visitante: uma estação móvel que opera em uma área de serviço diferente daquela onde o serviço que foi assinado com a operadora;
- Assinante: um usuário que paga taxas de assinatura para usar um sistema de comunicações móvel;
- Transceptor: um dispositivo capaz de transmitir e receber sinais de rádio simultaneamente;
- Cluster: é um conjunto de células que utilizam os espectros disponíveis pela tecnologia operada.

2.2 Características sobre Projeto do Sistema de Telefonia Celular

O projeto do sistema de telefonia celular sofreu diversas alterações em relação aos primeiros sistemas de rádio móvel, pois antigamente o objetivo era através um único transmissor de alta potência realizar a cobertura de uma área

muito grande. Apesar do alcance do objetivo proposto, esta técnica não permite a reutilização da frequência para o aumento da capacidade [11].

A solução deste problema tornou-se realidade sem grandes mudanças tecnológicas, apenas na adequação do sistema, alterando a cobertura de uma área muito grande por espaços menores denominado de células que serão atendidas por um transmissor de baixa potência. Ao invés da instalação de um transmissor, serão vários transmissores, sendo cada um oferecendo cobertura para somente uma célula, isto oferecia ao sistema capacidade alta em uma alocação de espectro limitada [11].

As estações-base próximas uma das outras recebem parte do número total de canais disponíveis ao sistema inteiro, onde que estações vizinhas são alocadas com diferentes grupos de canais, de modo que todos os canais disponíveis são alocados a um número de células relativamente pequeno de estações-base vizinhas. Sendo assim, as estações-bases e seus grupos de canais poderão ser reutilizados de forma que a interferência entre as estações de co-canal seja mantida abaixo dos níveis aceitáveis [11].

2.2.1 Reutilização de Frequência

Os sistemas de telefonia celular são responsáveis por alocação e reutilização inteligente de canais em uma região de cobertura. A reutilização de frequência é atribuída ao conceito em que cada estação-base de celular recebe um grupo de canais de rádio a ser usados dentro de uma pequena área geográfica denominada de célula. As estações-base em células adjacentes recebem grupos de canais com canais completamente diferentes das células vizinhas [11].

O reuso de frequência corresponde à utilização de uma mesma frequência em dois grupos diferentes de células. A distância de reuso é limitada pela máxima interferência co-canal permitida no sistema.

A Figura 19 a seguir demonstra o conceito de reutilização celular, onde as células designadas pela mesma letra representa o mesmo grupo de canais. O modelo clássico utilizado é demonstrar as células através de hexágonos, onde antenas omnidirecionais são posicionadas no centro da célula e antenas direcionais

setorizadas são colocadas nas bordas das células em três dos seis vértices da célula [11].

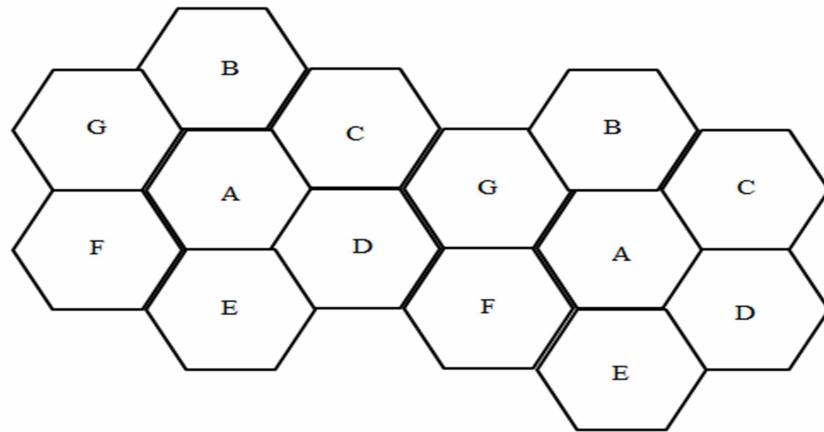


Figura 19 - Ilustração do conceito de reutilização de frequência celular [11].

2.2.2 Melhorando a cobertura e a capacidade nos sistemas celulares

Técnicas de projeto de celular são utilizadas à medida que a demanda por serviços aumentam, pois os canais que foram atribuídos a uma célula seriam insuficiente para alocar o número de usuários. Essas técnicas compreendem na divisão de células, setorização e técnica de zona de cobertura. A divisão celular tem o objetivo de crescimento ordenado do sistema celular e a setorização utiliza antenas direcionais para controlar melhor a reutilização de frequência dos canais e a interferência [11].

2.2.2.1 Divisão de Células

Este é um processo a fim de aumentar a capacidade de um sistema celular. Esta técnica é realizada subdividindo uma célula em células menores, cada uma com sua própria estação-base e uma redução correspondente na altura da antena e na potência do transmissor. Ao definir novas células com um raio menor que as células existentes e instalando células menores na mesma região, a capacidade aumenta devido ao número adicional de canais por unidade de área [11].

A partir da Figura 20, tem-se um exemplo de divisão celular, onde as estações-base são posicionadas nos centros das células, e a área atendida por uma estação-base é considerada saturada com tráfego. Assim, a inserção de novas estações rádio-base, são necessárias na região para aumentar o número de canais na área e reduzir a área atendida pela única ERB.

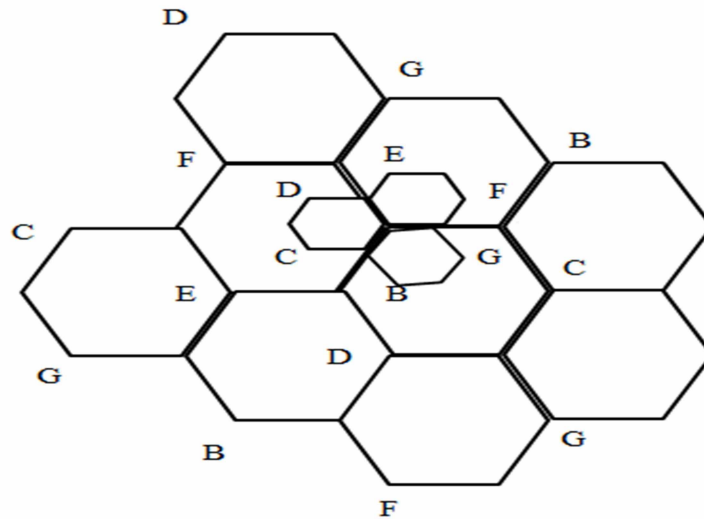


Figura 20 - Ilustração da divisão de células

2.2.2.2 Setorização

Através da divisão celular tem-se melhorias de capacidade redimensionando o sistema. A setorização é uma das técnicas para aumentar a capacidade a partir do raio inalterado e diminuindo a razão D/R , onde D significa a distância de reuso e R o raio da célula. Esta técnica aumenta a SNR, de modo que o tamanho do cluster seja diminuído [11].

A setorização aumenta a SNR através do uso de antenas direcionais e em seguida consegue o aumento da capacidade reduzindo-se o número de células em um cluster, aumentando assim a reutilização de frequência, mas necessita-se a redução da interferência relativa sem diminuir a potência transmitida [11].

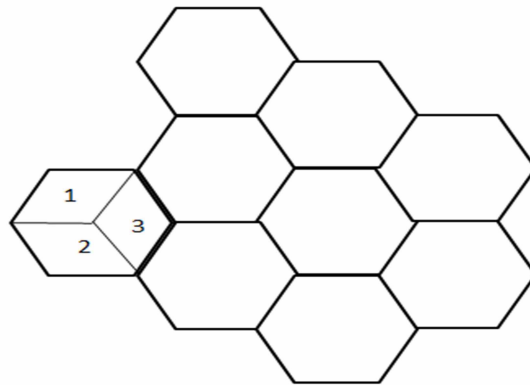


Figura 21 - Setorização em 120°

2.3 Propagação de rádio móvel

A propagação do sinal entre o transmissor e o receptor pode ocorrer variações desde a simples linha de visada até o caminho que seja severamente obstruído por prédios, montanhas e folhagens [11].

A reflexão, difração e dispersão são os principais mecanismos em relação a propagação da onda eletromagnética. Nas áreas urbanas não ocorre a propagação por visada direta entre transmissor e receptor devido a presença de prédios altos. Assim, as ondas eletromagnéticas trafegam por diferentes caminhos de tamanhos variáveis causando uma diminuição da intensidade à medida que a distância entre os pontos aumenta [11].

Os modelos de propagação são divididos em larga escala e pequena escala, sendo que o primeiro é caracterizado devido a previsão da intensidade média do sinal para uma distância de separação entre transmissor-receptor qualquer para a estimativa da área de cobertura de rádio de um transmissor e caracterizam a intensidade do sinal para grandes distâncias de separação. Porém, os modelos de propagação que caracterizam as flutuações rápidas de intensidade do sinal recebido para distâncias muito curtas devido ao deslocamento do móvel, alguns comprimentos de ondas ou para curtas durações na ordem de segundos, são chamados de modelos em pequena escala ou modelos de atenuação [11].

2.3.1 Modelo de Propagação no Espaço Livre

Supondo que um transmissor irradia uma potência P_t através de uma antena isotrópica (a qual irradia igualmente em todas as direções) e que um receptor está situado em uma distância r metros do transmissor, como o transmissor irradia igualmente através de uma superfície esférica em volta da antena, a densidade do fluxo de potência ou vetor de Poynting à uma distância r é dada por:

$$S = \frac{P_t}{4\pi r^2} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.3.1.1)$$

O vetor de Poynting também poderá ser dado pela Equação (2.3.1.2), onde E_{rms} é a intensidade rms do campo elétrico:

$$S = E_{rms} \cdot H_{rms} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.3.1.2)$$

A relação entre campo elétrico e magnético é dada por:

$$H_{rms} = \frac{E_{rms}}{120\pi} \text{ (A/m)} \quad (2.3.1.3)$$

Substituindo a Equação (2.3.1.3) na Equação (2.3.1.2), tem-se:

$$S = \frac{E_{rms}^2}{120\pi} \quad (2.3.1.4)$$

Substituindo a Equação (2.3.1.4) na Equação (2.3.1.1), calcula-se o campo elétrico:

$$E_{rms} = \frac{\sqrt{30 P_t}}{r} \text{ (V/m)} \quad (2.3.1.5)$$

O cálculo da potência recebida utiliza-se a fórmula de Friss dada por:

$$P_r = \frac{P_t G_T G_R}{L_b} \quad (2.3.1.6)$$

Sendo P_r a potência de recepção, P_t a potência de transmissão, G_t o ganho da antena transmissora, G_r o ganho da antena receptora e L_b a perda básica de transmissão no espaço livre que é dada por:

$$L_b = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \quad (2.3.1.7)$$

A potência recebida em dBW é dada por:

$$P_{R,dBW} = P_{T,dbW} + G_{T,dBi} + G_{R,dBi} - L_{b,dB} \quad (2.3.1.8)$$

$$L_{b,dB} = 20 \log(d_{km}) + 20 \log(f_{MHz}) + 32,44 \quad (2.3.1.9)$$

Para a situação em que não há propagação no espaço livre, haverá necessidade de calcular a perda envolvida em todo o processo de propagação e a expressão para o cálculo da potência é dada por:

$$P_{R,dBW} = P_{T,dbW} + G_{T,dBi} + G_{R,dBi} - (L_{b,dB} + L_{outras\ perdas,dB}) \quad (2.3.1.10)$$

$$L_{outras\ perdas,dB} = \text{Perdas de difração} + \text{Perdas por superposição de sinal} + \text{Perdas nos cabos} + \text{Perdas devido a chuva} + \text{etc.} \quad (2.3.1.11)$$

2.3.2 Mecanismos Básicos de Propagação

O sistema de comunicação móvel pode ser influenciado por três mecanismos de propagação: reflexão, difração e dispersão. As reflexões ocorrem na superfície da terra, nos prédios e paredes, quando uma onda eletromagnética em propagação colide com um objeto que tenha dimensões muito grandes em comparação com o comprimento de onda que se propaga [11]. A reflexão é a alteração da direção de propagação de uma onda incidente em uma superfície que distingui dois meios diferentes e retorna para o meio inicial quando o segundo meio é um condutor perfeito [8].

No percurso entre a antena transmissora e receptora se existir um obstáculo, a onda no caminho de propagação realizará o mecanismo de propagação denominado por difração. A difração permite que ondas de rádio realizam a propagação em torno da superfície da terra, além do horizonte, e por trás de obstruções. Caso o receptor efetuar um deslocamento em direção à região obstruída tem-se que a força do campo recebido diminui, mas o campo de difração existirá e ainda produzirá um sinal útil [11].

O princípio de Huygen afirma que todos os pontos em uma frente de onda podem ser considerados como fontes pontuais para a produção de ondas secundárias, e essas ondas se combinam para produzir uma nova frente de onda na direção da propagação [11].

Por último, tem-se o mecanismo de propagação conhecido como dispersão, que é causado quando a onda propaga-se em um meio onde consiste objetos com dimensões pequenas em relação com o comprimento de onda e também onde tem-se que o número de obstáculos por volume unitário é grande, por exemplo, folhagens, sinais de trânsito e postes de iluminação [11].

2.4 Modelo de Propagação de Okumura

O modelo de propagação desenvolvido por Okumura é utilizado para links na faixa de frequência 150 MHz a 1.920 MHz, embora pode ser extrapolado até 3.000 MHz e distâncias de 1km até 100km e altura de instalação da antena da estação BTS de 30m a 1.000m [11]. O modelo pode ser expresso conforme a Equação (2.4.1):

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \quad (2.4.1)$$

L_{50} é o valor do percentil 50 (ou seja, mediana) da perda no caminho de propagação, A_0 é a perda de propagação no espaço livre, A_{mu} é a atenuação mediana relativa ao espaço livre, $G(h_{te})$ é o fator de ganho da altura da antena na estação-base, $G(h_{re})$ é o fator de ganho da altura da antena na estação móvel, e G_{AREA} é o ganho devido ao tipo de ambiente.

- Perda no Espaço Livre

A perda no espaço livre entre duas estações envolvidas é calculada de acordo com a distância entre os pontos e a frequência em operação. O comprimento de onda é calculado através da divisão entre a velocidade da luz no vácuo e a frequência em Hz.

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \quad (2.4.2)$$

- Curvas de Okumura

A atenuação mediana relativa ao espaço livre $A_{mu}(f,d)$ é encontrada através da Figura 22, de acordo com a frequência em operação em conjunto com a distância do link entre as duas estações. Em um link que utiliza a frequência de 1.800 MHz correspondente a uma distância de 3,27 km, tem-se uma atenuação mediana relativa ao espaço livre de 27 dB.

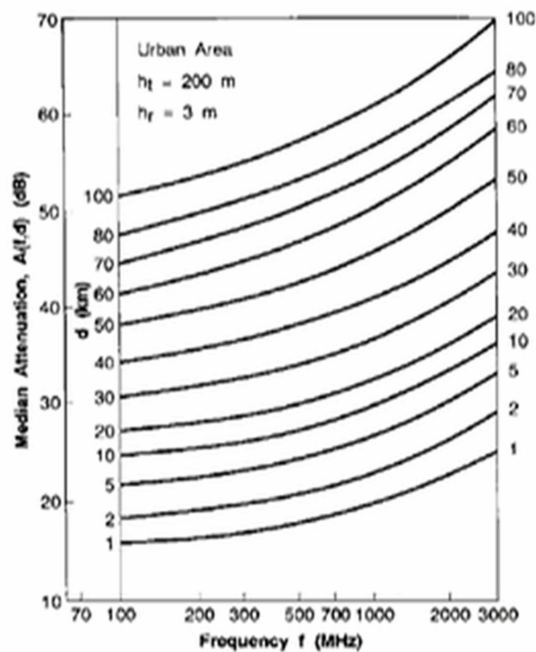


Figura 22 - Atenuação mediana relativa ao espaço livre [7]

Okumura desenvolveu também um fator de correção $G_{\text{ÁREA}}$ devido ao terreno aplicado diferenciando entre área aberta, área quase aberta e área suburbana associado também a frequência em operação conforme a Figura 23. A região estudada é considerada uma área suburbana, pois está localizada aos redores da cidade e nos centros urbanos de Patos de Minas-MG e Uberlândia-MG, onde não há existência de prédios em grandes quantidades e possui uma vegetação menos densa. Em um link que utiliza a frequência de operação 1.800 MHz e em área suburbana, tem-se o fator de correção $G_{\text{ÁREA}}$ de 12 dB.

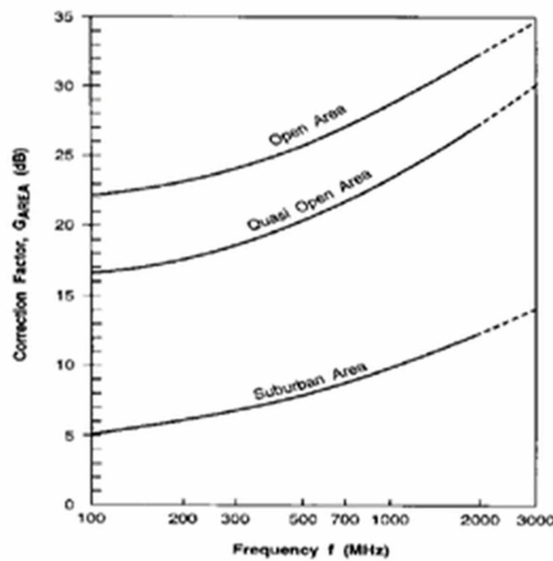


Figura 23 - Fator de correção G_{AEA} para diferentes tipos de terreno

Os fatores de ganho da altura na estação-base e estação móvel podem ser descritos com segue:

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000 \text{ m} > h_{te} > 30 \text{ m} \quad (2.4.3)$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3 \text{ m} \quad (2.4.4)$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10 \text{ m} > h_{re} > 3 \text{ m} \quad (2.4.5)$$

- A Potência Média Recebida

O valor do Sinal Recebido na estação móvel é calculado de acordo com: a potência de transmissão informada pela operadora de telecomunicações no site da Anatel, o ganho final da antena transmissora subtraindo as perdas devido ao ângulo de elevação e azimuth, o ganho da antena receptora do móvel que é aproximadamente 0,1 dBi, a mediana da perda no caminho de propagação e também a perda referente ao comprimento de cabo utilizado na instalação da BTS conectando a parte indoor com a outdoor do sistema celular.

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \quad (2.4.6)$$

2.5 Modelo de Propagação de Hata

O modelo de propagação desenvolvido por Hata é uma formulação empírica dos dados de perda no caminho fornecidos por Okumura, porém é aplicado apenas em sistemas celulares na faixa de frequência de 150 MHz a 1.500 MHz [11].

Hata propôs uma fórmula para propagação em área urbana e desenvolveu equações de correção para aplicações em outros tipos de áreas [11].

A fórmula padrão para a perda média no caminho em áreas urbanas depende da frequência em operação, da altura das antenas das estações BTS e móvel, distância e também o fator de correção da antena móvel de acordo com o tamanho da cidade.

- Fórmula-padrão perda média no caminho em áreas urbanas

$L_{50}(\text{urbano}) =$

$$69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d \quad (2.5.1)$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

O fator de correção para a altura efetiva da antena móvel é uma função do tamanho da área de cobertura da mesma, sendo a equação aplicada para cidade de pequeno a médio porte.

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7).h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad (2.5.2)$$

Esse fator de correção também varia de acordo com a frequência no caso do tamanho da cidade ser considerada como grande, por exemplo para frequências menores que 300 MHz é aplicado a equação a seguir.

$$a(h_{re}) = 8,29(\log 1,54 h_{re})^2 - 1,1 \text{ dB} \quad (2.5.3)$$

Nos casos em que a frequência é superior a 300 MHz em cidades grandes aplica-se a equação a seguir.

$$a(h_{re}) = 3,2(\log 11,75 h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB} \quad (2.5.4)$$

- Perda no Caminho em uma Área Suburbana

A perda no caminho em uma área suburbana utiliza-se a equação a seguir e também existe a fórmula para perda no caminho em áreas rurais.

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4 \quad (2.5.5)$$

- Perda no Caminho em Áreas Rurais Abertas

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 4,78(\log f_c)^2 + 18,33 \log f_c - 40,94 \quad (2.5.6)$$

- A Potência Média Recebida

Da mesma forma, a potência média recebida pela estação móvel é calculada de acordo com a Equação (2.4.6):

$$P_r(\text{dBm}) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

2.6 Modelo de Propagação Cost-231

O modelo de propagação desenvolvido pela European Cooperativa for Scientific and Technical (EURO-COST) formou o comitê COST-231 para desenvolver um novo modelo de propagação com base no HATA devido a faixa de frequência não abordada entre 1.500 MHz a 2.000 MHz. Portanto, utiliza-se equações base do modelo de HATA aplicada a perda no caminho referente a equação seguir do modelo de COST-231.

$$\begin{aligned} L_{50}(\text{urbano}) &= \\ &= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})). \log + C_M \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

Onde C_M é definido 0 dB para cidade de tamanho médio e áreas suburbanas e 3 dB para centros metropolitanos.

A atenuação devido ao comprimento do cabo utilizado na conexão entre o transmissor e a antena deve ser adicionado para ao cálculo da potência recebida nos três métodos. A utilização do cabo da BTS possui um diâmetro 7/8" permitindo uma frequência de operação até 5.200 MHz. De acordo com informações retiradas do livro Projetos de Sistemas de Rádio, a atenuação do sinal em uma frequência de 1.000 MHz é de 4.2 dB/100m e 2.000 MHz é de 6.26 db/100m. Considera-se sempre o comprimento do cabo na torre e também o caminho percorrido do cabo até o equipamento transmissor dentro da estação [8].

2.7 Teoria dos Dois Raios

O problema a ser resolvido se resume em calcular a intensidade do campo elétrico em um ponto B, dados o ganho da antena transmissora G_t , o ganho da antena receptora G_r , a potência do transmissor P_t , a altura da antena transmissora h_1 , a altura da antena receptora h_2 e a distância entre o transmissor e receptor r . A geometria do problema é dada na Figura 24.

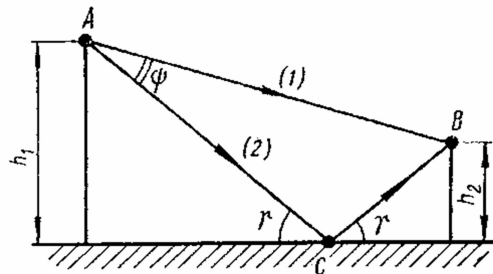


Figura 24 - Geometria para configuração de dois raios

Para um transmissor com potência P_t e ganho da antena transmissora G_t , o campo no receptor é dado por:

$$E_{\text{rms}} = \frac{\sqrt{30P_t G_t}}{r} \sqrt{1 + 2|R|\cos\left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r\right) + |R|^2} \text{ (V/m)} \quad (2.7.1)$$

Ou o campo elétrico máximo é:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{r} \sqrt{1 + 2|R|\cos\left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r\right) + |R|^2} \text{ (V/m)} \quad (2.7.2)$$

Ou,

$$E_{rms} = \frac{173\sqrt{P_{tkw}G_t}}{r_{km}} \sqrt{1 + 2|R|\cos\left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r\right) + |R|^2} \text{ (mV/m)} \quad (2.7.3)$$

Sendo R o coeficiente de reflexão do solo, h_1 e h_2 as alturas das antenas transmissora e receptora, θ a fase do coeficiente de reflexão e Δh a diferença de percurso entre os raios (1) e (2). Demonstra-se que:

$$\Delta r \cong \frac{2h_1 h_2}{r} \quad (2.7.4)$$

Definindo o fator F por:

$$F = \sqrt{1 + 2|R|\cos\left(\theta + \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r\right) + |R|^2} \quad (2.7.5)$$

Para o caso de $R \cong -1$, demonstra-se que:

$$F \cong 2 \left| \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta r \right| = 2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda r} \right| \quad (2.7.6)$$

Para $\lambda r \gg 2\pi h_1 h_2$,

Tem-se:

$$F \cong \left| \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda r} \right| \quad (2.7.7)$$

Finalmente, pode-se escrever:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{r} F \text{ (V/m)} \quad (2.7.8)$$

Ou,

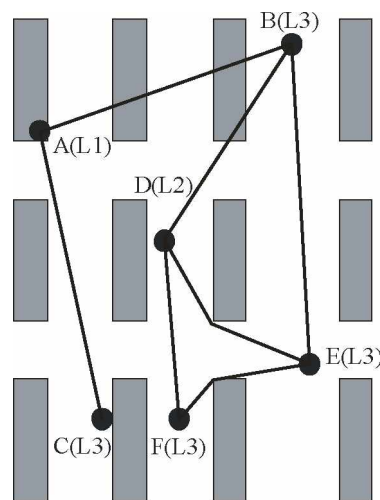
$$E_{rms} = \frac{173\sqrt{P_{tkw}G_t}}{r_{km}} F \text{ (mV/m)} \quad (2.7.9)$$

2.8 Métodos de Predição de Campos em Pequenas Distâncias na Faixa de 300 MHz até 100 GHz – Recomendação ITU-R P. 1411-7 [13]

Propagação em percursos de tamanho menor do que 1 km é afetada principalmente por árvores, edifícios, carros, etc. O efeito dos edifícios é predominante, desde que enlaces curtos são existentes em regiões urbanas e rurais.

2.8.1 Definições de Situações de Propagação

Quatro situações de Estação Base (BS) e Estação Móvel (MS) são mostradas na Figura 25. Nessa ilustração, qualquer ponto como A(L1), CL(3) e entre outros, podem ser consideradas como estação base ou estação móvel.



P1411-01

Figura 25 - Situações descritas de propagação em regiões urbanas

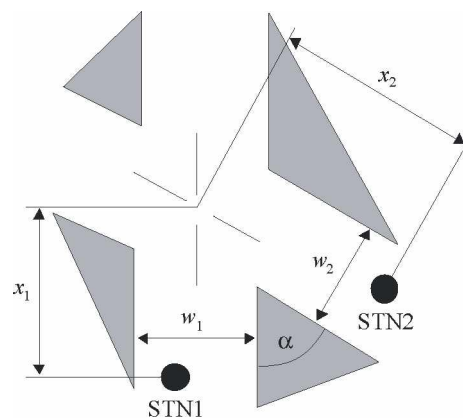
Os enlaces podem ser classificados como :

- A(L1)–B(L3): propagação sobre telhados sem linha de visada (NLoS), descrito na Figura 26;
- A(L1)–C(L3): propagação em um cânion ou seja entre edifícios com linha de visada(LoS);
- D(L2)–F(L3): propagação em cânion (LoS);
- D(L2)–E(L3): propagação em cânion com difração sem linha de visada(NLoS);
- D(L2)–B(L3): propagação sobre telhados sem linha de visada(NLoS);

- h_2 : altura da antena da estação 2 (m);
- l : comprimento do percurso coberto por edifícios (m);
- d : distância da estação 1 a estação 2.

2.8.1.2 Propagação ao Longo de Rua Tipo Cânion NLoS

O percurso D(L2)–E(L3) caracteriza uma propagação em cânion sem linha de visada(NLoS), que pode-se identificar através dos parâmetros da Figura 27. Esta configuração é chamada de NLoS2.



P.1411-03

Figura 27 - Situação de propagação em ruas tipo cânion e difração (NLoS2)

Os parâmetros relevantes para esta situação são:

- w_1 : largura da rua na posição da estação 1 (m);
- w_2 : largura da rua na posição da estação 2 (m);
- x_1 : distância da estação 1 ao cruzamento da rua(m);
- x_2 : distância da estação 2 a rua do cruzamento (m);
- α : é no ângulo da esquina (rad).

NLoS2 é o percurso predominante em regiões urbanas para todos os tipos de células e ocorre frequentemente em micro e pico células .

2.8.1.3 Percurso com Linha de Visada (LoS)

Os percursos A-C, D-F e B-E na Figura 25, são exemplos de situações de linha de visada. Os mesmos modelos podem ser aplicados este tipo de percurso do tipo LoS.

2.8.2 Modelo de Propagação dentro de Rua com Cânion

Pela teoria dos dois raios o campo elétrico é dado pela Equação (2.7.8):

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{r} F \text{ (V/m)}$$

De forma análoga, o campo elétrico para situações diferentes da teoria dos dois raios é dado por:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{L} \text{ (V/m)} \quad (2.8.2.1)$$

Sendo que as perdas são definidas pelo parâmetro L que será calculada de acordo com a Recomendação ITU-R P.1411.

2.8.2.1 Situação LoS

Esta situação é mostrada como o percurso entre A e C, D e F ou B e E na Figura 25.

- Propagação UHF

Nesta faixa de UHF, a perda básica de transmissão, como definida pela ITU-R P.341, pode ser caracterizada por duas situações e um breakpoint. Um valor aproximado para o limite inferior $L_{LoS,l}$ é dado por:

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad (2.8.2.1.1)$$

Sendo R_{bp} a distância do breakpoint em metros dada por:

$$R_{bp} \approx \frac{4h_1h_2}{\lambda} \quad (2.8.2.1.2)$$

Sendo λ o comprimento de onda. O limite inferior é baseado na teoria dos dois raios com terra plana. Uma aproximação para o limite superior $L_{LoS,u}$, é dada por:

$$L_{LoS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad (2.8.2.1.3)$$

Sendo L_{bp} o valor da perda básica de transmissão no breakpoint, definida por:

$$L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right) \right| \quad (2.8.2.1.4)$$

O limite superior tem uma margem de desvanecimento de 20 dB. De acordo com a curva de atenuação no espaço livre, o valor mediano $L_{LoS,m}$ é dado por:

$$L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad (2.8.2.1.5)$$

2.8.2.2 Modelo de Propagação sobre Telhados

Sinais de NLoS podem chegar na estação pela difração ou por múltiplas reflexões, conforme Figura 26, que podem ser uma combinação de difração e reflexão. Nesta seção desenvolveremos o modelo que relaciona com o mecanismo de difração.

Propagação para área urbana

Modelos são definidos pelos percursos $A(h_1)$ - $B(h_2)$ e $D(h_1)$ - $B(h_2)$ como mostrado na Figura 25. O modelo é válido para:

- h_1 : 4 a 50 m;
- h_2 : 1 a 3 m;
- f : 800 a 5 000 MHz
2 a 16 GHz para $h_1 < h_r$ e $w_2 < 10$ m (passeio);
- d : 20 to 5 000 m.

Propagação para área suburbana

Modelo é definido para percurso $A(h_1)$ - $B(h_2)$ como mostrado na Figura 25. O modelo é válido para:

- h_r : qualquer altura em metros;
- Δh_1 : 1 a 100 m;
- Δh_2 : 4 a 10 (menor que h_r) (m);
- h_1 : $h_r + \Delta h_1$ (m);
- h_2 : $h_r - \Delta h_2$ (m);
- f : 0,8 a 20 GHz;
- w : 10 a 25 m;
- d : 10 a 5 000 m.

2.8.2.2.1 Área Urbana

O modelo de difração multi-screen dado abaixo é válido para telhados com mesma altura. Assumindo a altura dos telhados diferem pela quantidade do raio da primeira zona de Fresnel, conforme Figura 26, sobre um percurso de L metros. A altura dos telhados para ser usada neste modelo é a altura média dos telhados. Se a altura dos telhados é muito maior do que o raio da primeira zona de Fresnel, o

método preferido é usar o edifício mais ao longo do percurso usando o cálculo do método do gume de faca da Recomendação ITU-R P,256, para substituir o modelo de difração multi-screen.

No modelo de perda por transmissão em N_{LoS1} (Figura 26) para telhados com alturas similares, a perda entre antenas isotrópicas é expressa pela soma da perda no espaço livre, L_{bf} , e a perda por difração dos telhados para a rua L_{rts} e a redução devido a difração ao multi screen da fila de edifícios anteriores, L_{msd} .

Neste modelo L_{bf} e L_{rts} são independentes da altura da estação, enquanto L_{msd} é dependente da posição da antena da estação, abaixo ou acima dos edifícios.

$$L_{NLoS,1} = \begin{cases} L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} & \text{para } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{bf} & \text{para } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.1)$$

A perda no espaço livre é dada por:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.8.2.2.1.2)$$

Sendo:

- d : tamanho do percurso (m);
- f : frequência (MHz).

O termo L_{rts} descreve o acoplamento das ondas propagando ao longo do multi-screen em uma rua onde a estação está localizada. Considera-se a largura da rua e a orientação.

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(\Delta h_2) + L_{ori} \quad (2.8.2.2.1.3)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi & \text{para } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35) & \text{para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4,0 - 0,114(\varphi - 55) & \text{para } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.4)$$

Sendo:

$$\Delta h_2 = h_r - h_2 \quad (2.8.2.2.1.5)$$

L_{ori} é o fator de correção da orientação da rua, o qual considera-se o efeito da difração topo do telhado-rua que não está perpendicular a direção de propagação, conforme Figura 26.

A perda por difração devido a propagação na fila de edifícios depende da altura da antena e do ângulo de incidência. O critério para o ângulo de incidência é a distância d_s :

$$d_s = \frac{\lambda d^2}{\Delta h_1^2} \quad (2.8.2.2.1.6)$$

Conforme Figura 25, tem-se:

$$\Delta h_1 = h_1 - h_r \quad (2.8.2.2.1.7)$$

Para o cálculo de L_{msd} , d_s é comparado com a distância l , sobre a qual os edifícios estendem. O cálculo de L_{msd} , usa o seguinte procedimento para remover qualquer descontinuidade entre os diferentes modelos usados, quando o comprimento dos edifícios são maiores do que d_s . O modelo de difração para difração de multi-screen é dado pela Equação (2.8.2.2.1.8) a seguir:

$$L_{msd} = \begin{cases} -\tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{x}\right) \cdot (L1_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{para } l > d_s \text{ e } dh_{bp} > 0 \\ \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{x}\right) \cdot (L2_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{para } l \leq d_s \text{ e } dh_{bp} > 0 \\ L2_{msd}(d) & \text{para } dh_{bp} = 0 \\ L1_{msd}(d) - \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{upp} - L_{mid}) - L_{upp} + L_{mid} & \text{para } l > d_s \text{ e } dh_{bp} < 0 \\ L2_{msd}(d) + \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{mid} - L_{low}) + L_{mid} - L_{low} & \text{para } l \leq d_s \text{ e } dh_{bp} < 0 \end{cases}$$

Sendo:

$$dh_{bp} = L_{upp} - L_{low} \quad (2.8.2.2.1.9)$$

$$\zeta = (L_{upp} - L_{low}) \cdot v \quad (2.8.2.2.1.10)$$

$$L_{mid} = \frac{(L_{upp} + L_{low})}{2} \quad (2.8.2.2.1.11)$$

$$L_{upp} = L1_{msd}(d_{bp}) \quad (2.8.2.2.1.12)$$

$$L_{low} = L2_{msd}(d_{bp}) \quad (2.8.2.2.1.13)$$

$$d_{bp} = |\Delta h_1| \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \quad (2.8.2.2.1.14)$$

$$v = [0,0417] \quad (2.8.2.2.1.15)$$

$$x = [0,1] \quad (2.8.2.2.1.16)$$

Sendo que no modelo de perdas individuais, $L1_{msd}(d)$ e $L2_{msd}(d)$, são definidos como segue:

- Cálculo de $L1_{msd}$ para $l > d_s$:

(Note que este método é mais preciso quando $l \gg d_s$)

$$L1_{msd}(d) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} \left(\frac{d}{1000} \right) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b) \quad (2.8.2.2.1.17)$$

Sendo:

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + \Delta h_1) & \text{para } h_1 > h_r \\ 0 & \text{para } h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.18)$$

É um termo de perda que depende da altura da antena:

$$k_a = \begin{cases} 71,4 & \text{para } h_1 > h_r \text{ e } f > 2000 \text{ MHz} \\ 73 - 0,8\Delta h_1 & \text{para } h_1 \leq h_r, f > 2000 \text{ MHz e } d \geq 500 \text{ m} \\ 73 - \frac{1,6\Delta h_1 d}{1000} & \text{para } h_1 \leq h_r, f > 2000 \text{ MHz e } d < 500 \text{ m} \\ 54 & \text{para } h_1 > h_r, f \leq 2000 \text{ MHz} \\ 54 - 0,8\Delta h_1 & \text{para } h_1 \leq h_r, f \leq 2000 \text{ MHz e } d \geq 500 \text{ m} \\ 54 - \frac{1,6h_1 d}{1000} & \text{para } h_1 \leq h_r, f \leq 2000 \text{ MHz e } d < 500 \text{ m} \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.19)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_1 > h_r \\ 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_1}{h_r} & \text{para } h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.20)$$

$$k_f = \begin{cases} -8 & \text{para } f > 2000 \text{ MHz} \\ -4 + 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para cidade de tamanho médio e centros suburbano} \\ & \text{com densidade média de árvores e } f \leq 2000 \text{ MHz} \\ -4 + 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanos e } f \leq 2000 \text{ MHz} \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.21)$$

- Cálculo de $L2_{msd}$ para $l > d_s$

Neste caso, uma futura distinção tem que ser feita de acordo com a altura relativa da antena e a altura do telhado:

$$L2_{msd}(d) = -10 \log_{10}(Q_M^2) \quad (2.8.2.2.1.22)$$

Sendo:

$$Q_M = \begin{cases} 2,35 \left(\frac{\Delta h_1}{d} \sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right)^{0,9} & \text{para } h_1 > h_r + \delta h_u \\ \frac{b}{d} & \text{para } h_1 \leq h_r + \delta h_u \text{ e } h_1 \geq h_r + \delta h_l \\ \frac{b}{2\pi d} \sqrt{\frac{\lambda}{\rho}} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right) & \text{para } h_1 < h_r + \delta h_l \end{cases} \quad (2.8.2.2.1.23)$$

e

$$\theta = \arctang\left(\frac{\Delta h_1}{b}\right) \quad (2.8.2.2.1.24)$$

$$\rho = \sqrt{\Delta h_1^2 + b^2} \quad (2.8.2.2.1.25)$$

$$\delta h_u = 10^{-\log_{10}\left(\sqrt{\frac{b}{\lambda}}\right) - \frac{\log_{10}(d)}{9} + \frac{10}{9}\log_{10}\left(\frac{b}{2,35}\right)} \quad (2.8.2.2.1.26)$$

$$\delta h_l = \frac{0,00023b^2 - 0,1827b - 9,4978}{(\log_{10}(f))^{2,938}} \quad (2.8.2.2.1.27)$$

2.8.2.2.2 Área Suburbana

O modelo de propagação para o caso NLoS1 é baseado na óptica geométrica conforme Figura 26. Esta figura indica que a composição da onda que chega na estação 2 muda de acordo com a distância entre as estações 1 e estação 2.

A onda direta alcança a estação 2 somente quando a estação 1 e 2 estiverem bastante próximas. As ondas provenientes de várias reflexões, que possui uma relativa intensidade, podem chegar a estação 2 quando as duas estações estão relativamente próximas. Quando a estação 1 e estação 2 estiverem bastante separadas, as várias reflexões não conseguem alcançar o destino e somente poucas ondas refletidas, que são de baixa intensidade, conseguem este objetivo, além que ondas difratadas pelos telhados chegam na estação 2. Baseado neste mecanismo de propagação, a perda devido a distância entre duas antenas pode ser dividida em regiões em termos de onda dominante no alcance na estação 2.

Estas perdas nas regiões são expressas em termos de óptica geométrica.

$$L_{NLoS,1} = \begin{cases} 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{para } d < d_0 & \text{(região de onda direta dominante)} \\ L_{0n} & \text{para } d_0 \leq d < d_{RD} & \text{(região de onda refletida dominante)} \\ 32,1 \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_{RD}}\right) + L_{d_{RD}} & \text{para } d \geq d_{RD} & \text{(região de onda difratada dominante)} \end{cases} \quad (2.8.2.2.2.1)$$

Sendo:

$$L_{0n} = \begin{cases} L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{quando } d_k \leq d < d_{k+1} < d_{RD} \\ & (k = 0, 1, 2 \dots) \\ L_{d_k} + \frac{L_{d_{RD}} - L_{d_k}}{d_{RD} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{quando } d_k \leq d < d_{RD} < d_{k+1} \end{cases} \quad (2.8.2.2.2.2)$$

$$d_k = \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \sqrt{B_K^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (2.8.2.2.2.3)$$

$$L_{d_k} = 20 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{4\pi d_{kp}}{0,4^k \cdot \lambda} \right\} \quad (2.8.2.2.2.4)$$

$$d_{RD}(f) = 0,625 \cdot (d_3 - d_1) \cdot \log_{10}(f) + 0,44 \cdot d_1 + 0,5 \cdot d_2 + 0,06 \cdot d_3 \text{ para } 0,8\text{GHz} \leq f \leq 20\text{GHz} \quad (2.8.2.2.2.5)$$

$$L_{d_{RD}} = L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d_{RD} - d_k) \quad (d_k \leq d_{RD} \leq d_{k+1}) \quad (2.8.2.2.2.6)$$

$$d_{kp} = \frac{1}{\sin \varphi_k} \cdot \sqrt{A_k^2 + (h_1 + h_2)^2} \quad (2.8.2.2.2.7)$$

$$A_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k+1)}{2 \cdot (h_r - h_2)} \quad (2.8.2.2.2.8)$$

$$B_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k+1)}{2 \cdot (h_r - h_2)} - k \cdot w \quad (2.8.2.2.2.9)$$

$$\varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{B_k}{A_k} \cdot \tan \varphi \right) \quad (2.8.2.2.2.10)$$

2.8.2.3 Propagação em Rua com Cânion para Frequências de 800 a 2000 MHz (NLoS2)

Para situações NLoS2, onde ambas as antenas estão abaixo do nível do telhado, ondas difratadas e refletida nos cantos das esquinas das ruas consideradas na Figura 27.

$$L_{NLoS2} = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{L_r}{10}} + 10^{-\frac{L_d}{10}} \right) \text{dB} \quad (2.8.2.3.1)$$

Sendo:

L_r : perda no percurso de reflexão definida por:

$$L_r = 20 \log_{10}(x_1 + x_2) + x_1 x_2 \frac{f(\alpha)}{w_1 w_2} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \text{dB} \quad (2.8.2.3.2)$$

Sendo:

$$f(\alpha) = \frac{3,86}{\alpha^{3,5}} \text{dB} , \text{sendo } 0,6 < \alpha(\text{rad}) < \pi \quad (2.8.2.3.3)$$

L_d : perda no percurso por difração definida por:

$$L_d = 10\log_{10}[x_1 x_2 (x_1 + x_2)] + 2D_a - 0,1 \left(90 - \alpha \frac{180}{\pi} \right) + 20\log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad (2.8.2.3.4)$$

$$D_a = \left(\frac{40}{2\pi} \right) \left[\arctan \left(\frac{x_2}{w_2} \right) + \arctan \left(\frac{x_1}{w_1} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \text{ dB} \quad (2.8.2.3.5)$$

Para esta situação não simulamos o cálculo dos campos, pois na nossa situação prática nenhuma medição se enquadra no caso.

2.8.2.4 Método Estatístico

Este método é descrito na ITU-R P.1411, e faz predição de campo baseando em métodos estatísticos. A perda usando este modelo é dada por:

$$PL = PL_0 + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d) + S \text{ dB} \quad (2.8.2.4.1)$$

$$PL_0 = -27,5 + 20 \cdot \log_{10}(f) \text{ dB} \quad (2.8.2.4.2)$$

Sendo n a perda exponencial. S é uma variável aleatória representando um espalhamento em torno da linha de regressão com distribuição normal, e desvio padrão de S dado por σ_s , dados na Tabela 2. As unidades de f e d são MHz e metros, respectivamente.

Tabela 2 - Parâmetros de perda, para 9 percurso em 3.705 GHz

Path morphology	Transmitting antenna height (m)	Average building density (%)	n	σ_s
HRHD	50	40	3.3	9.3
HRMD	50	30	2.9	6.3
HRLD	50	20	2.5	3.6
MRHD	30	40	2.8	4.7
MRMD	30	30	2.6	4.9
MRLD	30	20	2.3	2.7
LRHD	20	40	2.4	1.3
LRMD	20	30	2.3	1.8
LRLD	20	20	2.2	1.8

HRHD = high rise and high density, density > 35%

HRMD = high rise e midlle density density, 20 a 35%

HRLD = high rise e low density, density < 20%

2.9 Evolução das Redes Celulares

Desde a década de 1990, o serviço de comunicação celular tem crescido de forma extraordinária. A evolução desta tecnologia passou de 600 milhões de assinantes em 2001 para 2 bilhões no final de 2006. A crescente evolução do sistema celular demonstra que a comunicação sem fio é um tendência robusta e viável na transmissão de serviços de voz e dados, onde o objetivo é alta velocidade na transferência de dados e além das chamadas de voz [11].

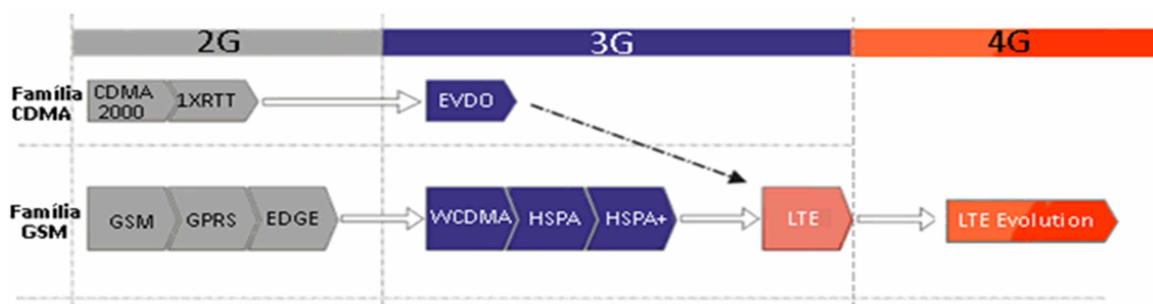


Figura 28 - Evolução das Tecnologias Celulares

A evolução das tecnologias são fundamentais devido a exigência do usuário móvel ter maior velocidade de dados e capacidade. O desenvolvimento das tecnologias celulares iniciou-se através de duas linhas distintas, Família GSM e Família CDMA conforme visto na Figura 28.

O padrão GSM foi criado no início da década de 1980 através das administrações ligadas à Conference of European Postal and Telecommunications – CEPT com o objetivo de unificar os múltiplos sistemas que eram utilizados na Europa [3].

A arquitetura desta tecnologia consiste em três subsistemas interconectados entre si: Subsistema da Estação Rádio-base (BSS - Base Station Subsystem), Subsistema de Comutação e de Rede (NSS – Network and Switching Subsystem) e o Subsistema de Suporte e Operação (OSS – Operation Support Subsystem) conforme a Figura 29 [3].

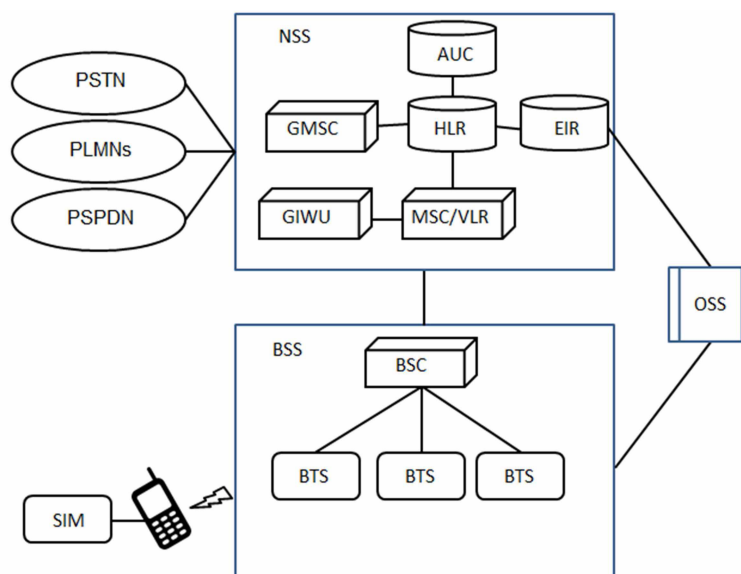


Figura 29 - Arquitetura do Sistema GSM

O BSS é responsável por prover e gerenciar as transmissões entre as estações móveis e a central de comutação de serviços móveis, CCC (MSC). Cada BSS consiste em um conjunto de controladores de estações rádio-base (BSCs – Base Station Controllers) que realizam a conexão do terminal móvel ao NSS, via MSCs. O BSS pode ser dividido entre Estação Rádio-base (BTS) e Controlado de Estações Rádio-base BSC) [3].

A BTS é responsável pela interface do móvel com a rede, onde corresponde aos transceptores e antenas usados em cada célula da rede e está localizada na parte central de uma célula [3].

O NSS é responsável pela função central em toda rede móvel, onde os vários elementos assumem a responsabilidade pelo conjunto complexo das funções de controle e banco de dados necessárias para a realização de conexões de chamadas usando criptografia, autenticação e roaming [3].

O subsistema OSS permite a operação e manutenção da tecnologia GSM realizando a monitoração de falhas de qualquer tipo dentro do sistema. Este sistema possui 3 funções básicas e essenciais: manter a operação de todo “hardware” e de toda a rede de telecomunicações de uma determinada área, gerenciar todo o processo de tarifação e gerenciar todos os terminais móveis no sistema [3].

A Estação Móvel (MS) é a parte mais conhecida em um sistema celular e composta pelo equipamento móvel e Módulo de Identificação do Assinante (SIM).

Os aparelhos celulares diferenciam-se pela potência e suas aplicações e o SIM fornece a identificação ao equipamento móvel. O SIM é um cartão que possui um processador e um *chip* de memória e necessitam ser instalados no aparelho celular antes do uso do mesmo [3].

Capítulo 3

Materiais e Métodos

Os softwares *Google Earth* e o *Pathloss 4.0* serão utilizados na elaboração do relevo topográfico dos enlaces de rádios. Isto é realizado a partir da inserção de informações essenciais para o estudo do link celular. O aplicativo *My GPS Coordinates* é responsável pela obtenção das coordenadas geográficas e o *Netmonitor* tem a função de captação do sinal recebido e localizar a estação rádio-base de comunicação no instante da pesquisa.

“O Google Earth permite ir para qualquer lugar na Terra e ver imagens de satélite, mapas, terrenos, construções em 3D, o oceano e até mesmo galáxias no espaço sideral.”[14]

“O Google Earth é uma espécie de navegador com o qual você pode visualizar todo o planeta. As imagens são capturadas de satélites, com uma qualidade impressionante. O programa é totalmente gratuito, mas requer máquina potente e conexão rápida à Internet.” [14]

O *Google Earth* é responsável pela análise prévia do relevo topográfico inserindo as coordenadas geográficas das duas estações do link e possibilita analisar obstáculos em conjunto com a distância do link celular.

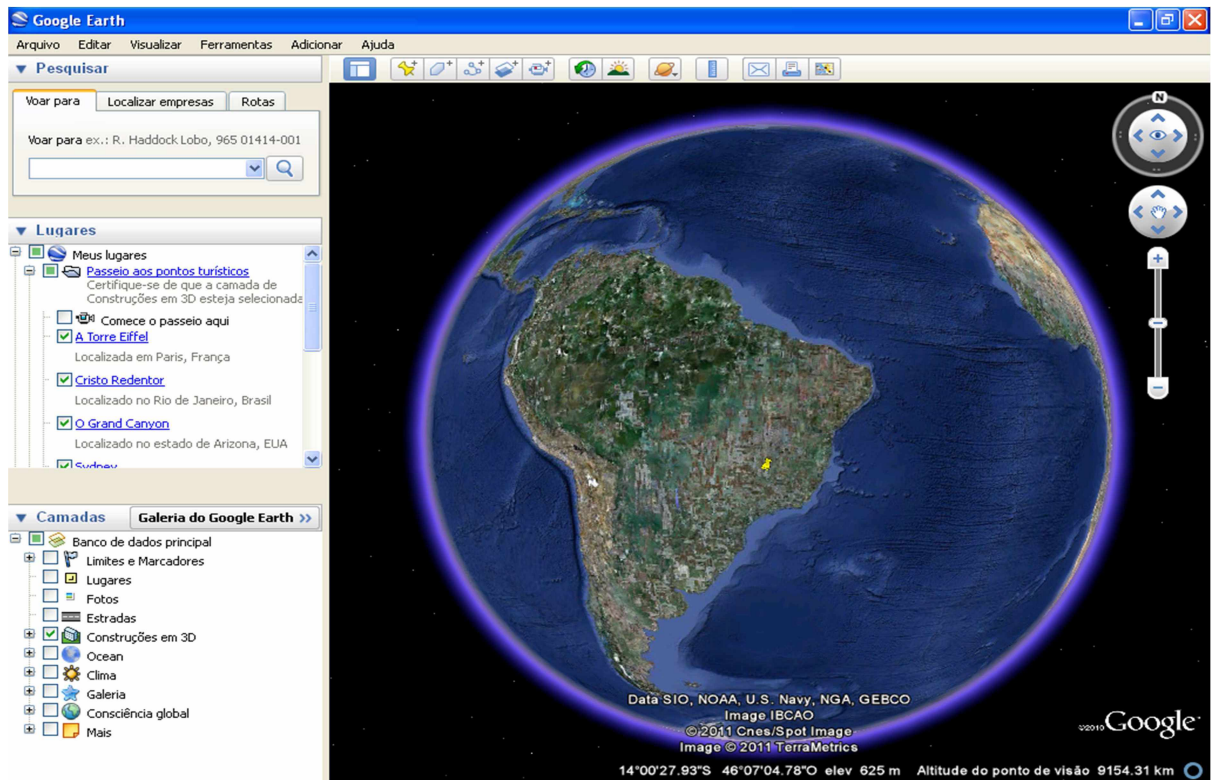


Figura 30 - Interface de apresentação do Google Earth [14]

O programa *Pathloss* é um software que projeta um link ponto a ponto na faixa de frequência de 30 MHz a 100 GHz [15].

O *Pathloss* que é um software licenciado realiza a prospecção do perfil de um enlace. Portanto, pode-se através desse software, efetuar diversos testes de perfis, onde analisa-se o relevo através dos obstáculos que podem influenciar na liberação total ou parcial da Zona de Fresnel em conjunto com o valor do Fator K para atmosfera padrão e $K_{\text{mínimo}}$. A interface inicial do *PathLoss* permite que o usuário insira informações como nome das estações, coordenadas geográficas, altura das antenas e frequência de operação conforme a Figura 31.

The screenshot shows the Pathloss 4.0 software interface. It has a menu bar with 'Files', 'Module', 'Configure', 'Equipment', 'SDB', 'Application', 'Report', and 'Help'. The main window is divided into two columns for 'Site 1' and 'Site 2'. The 'Site 1' column contains fields for Site Name, Call Sign, Station Code, State, Owner Code, Latitude, Longitude, True azimuth (°), Calculated Distance (km), Profile Distance (km), Datum (set to WGS 1984), Elevation (m), Tower Height (m), TR Antenna Height (m) (set to 0.00), Code, TX loss (dB) (set to 0.00), and RX loss (dB) (set to 0.00). The 'Site 2' column has corresponding empty fields. To the right of these columns are fields for Operator code, Radio model, Code, Emission designator, Traffic code, TX power (dBm), Frequency (MHz) (set to 1500.00), Polarization (set to Horizontal), Free space loss (dB), EIRP (dBm), RX signal (dBm), and Radio configuration. A 'Pathloss' logo is in the bottom right. At the bottom of the window, there are status indicators for 'km-m', 'Microwave', and 'TR-TR' with a red 'X' icon.

Figura 31 - Interface inicial do software PathLoss [15]

O Formulário de Coleta de Dados conforme Anexo 1, tem o objetivo de facilitar a coleta de dados em campo de forma organizada e simplificada. Este formulário deverá ser preenchido de acordo com as informações inseridas da operadora Algar Telecom no sistema da ANATEL via “Recuperação de Frequência”, tabelas disponibilizadas pela operadora de telecomunicações em relação ao CELLID com o setor em operação (Tabelas 3 e 4) e informações coletadas em campo através do aplicativo *Netmonitor*.

Informações sobre o nome da estação BTS, a identificação do setor, o canal de operação identificado, o código de identificação do setor (CELLID), LAC que determina o grupo de células com configurações semelhantes e o Azimute de instalação da antena de rf são encontradas na Tabela 3. A identificação do canal encontrado na Tabela 3 será utilizado em conjunto com a Tabela 4 para a determinação da frequência de transmissão e recepção do link celular e o CELLID será identificado através do software *Netmonitor*.

Tabela 3 - Dados Cadastrais Estações BTS Algar Telecom

Empresa Algar Telecom	ID	CANAL	FREQUÊNCIA				CELLI D	LAC	AZM NV
PMS- ALVORA DA	PMALG -1	850	850	862	874	838	7916	4134	100
	PMALG -2	88	88	98	95	-	7917	4134	216
	PMALG -3	884	884	860	872	848	7918	4134	345
	PMA2G -2	837	837	849	861	873	7941	4134	226
	PMA2G -3	882	882	846	858	870	7942	4134	326
PMS – N SRA FÁTIMA	PMNSG -1	876	876	864	852	-	7935	4134	95
	PMNSG -2	880	880	868	844	-	7936	4134	235
	PMNSG -3	96	96	87	92	-	7937	4134	325
PMS-RD	PMRD G-0	90	94	90	99	97	7910	4134	Omni
	PMRD G-1	878	878	866	854	842	7926	4134	220
	PMRD G-2	880	880	856	868	844	7943	4134	15
PMS- CAIÇAR AS	PMCAG -1	839	839	851	863	875	7912	4134	130
	PMCAG -1	843	843	855	867	879	7913	4134	226
	PMCAG -1	847	847	859	871	883	7914	4134	336

Tabela 4 - Canais Algar Telecom - CTBC

Canal	Freq. TX EM	Freq. TX BTS	Operadora
837	1775,2	1870,2	CTBC
838	1775,4	1870,4	CTBC
839	1775,6	1870,6	CTBC
840	1775,8	1870,8	CTBC
841	1776,0	1871,0	CTBC
842	1776,2	1871,2	CTBC
843	1776,4	1871,4	CTBC
844	1776,6	1871,6	CTBC
845	1776,8	1871,8	CTBC
846	1777,0	1872,0	CTBC
847	1777,2	1872,2	CTBC
848	1777,4	1872,4	CTBC
849	1777,6	1872,6	CTBC
850	1777,8	1872,8	CTBC
876	1783,0	1878,0	CTBC
878	1783,4	1878,4	CTBC
880	1783,8	1878,8	CTBC
882	1784,2	1879,2	CTBC
884	1784,6	1879,6	CTBC

As informações inseridas no “Formulário de Coleta de Dados” relacionado a equipamentos de transmissão e antenas são retiradas via página da Anatel no link sobre “Recuperação de Frequência” [16].

Na página de recuperação de frequência, analisa-se os itens inseridos pela operadora de telecomunicação para o devido licenciamento de equipamentos e estações, onde as informações retiradas serão de acordo com o azimuth e a faixa de frequência de operação em relação aos estudos realizados. De acordo com a Figura 32, insere-se as informações do município e a faixa de frequência a ser pesquisada e assim tem-se o resultado extraído conforme a Figura 33.

Acesso à Informação **BRASIL**

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações

Sistemas Interativos

Menu Principal STEL » Consultas » Freqüências » Recuperação de Freqüências (210) menu ajuda

Recuperação de Freqüências

Opções de consulta

Recuperar dados por:

- ☐ UF
- ☐ Município
- ☐ Coordenadas geográficas
- ☐ Modalidade de Serviço
- ☐ Geral

Apresentar dados por:

- ☐ A) Município e Entidade
- ☐ B) Município e Freqüência
- ☐ C) Entidade e Município
- ☐ D) Entidade e Freqüência
- ☐ E) Modalidade e Freqüência
- ☐ F) Modalidade e Entidade
- ☐ G) Modalidade e Município
- ☐ H) Freqüência e Município
- ☐ I) Freqüência e Coordenadas
- ☐ J) Freqüência e Entidade
- ☐ L) Coordenadas e Freqüência

Faixa de Freqüência

Inicial: Final:

Sigla da UF: Unidade: Unidade:

Município Inicial: Município Final:

Opções para consulta diferenciada

Grupo de Estações:

- ☐ Somente Terrenas
- ☐ Somente Terrestres (exceto SCM, SMP e Trunking)
- ☐ Somente Trunking
- ☐ Somente Móvel Pessoal e SCM
- ☐ Todos (Consolidado)

Figura 32 - Página Anatel Recuperação de Freqüência [16]

recup freq patos.xlsx - Microsoft Excel

AGS	A	B	H	I	J	M	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AD	AF	AG	AH	AI
	Longitude	Latitude	Transmissão	Recepção	Estação	Potência	Cód.Antena	Ganho	F/C	%Pot.	Elevac	Azimt	Pol.	Altur.	Cód.Equipamento				
2	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	0013021293 - 572	20,5	25	33	0	110	V	70	0294051171 - 10885				
3	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	1916095344 - 29503	18	30	65	6,5	110	X	70	0294051171 - 10885				
4	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	0121021293 - 4968	17,5	30	67	2	270	X	70	0294051171 - 10885				
5	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	1916095344 - 29503	18	30	65	6,5	270	X	70	0294051171 - 10885				
6	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	0013021293 - 572	20,5	25	33	0	340	V	70	0294051171 - 10885				
7	46W305777	18S340177	1805 MHz	1710 MHz	684572931	46 W	1916095344 - 29503	18	30	65	6,5	340	X	70	0294051171 - 10885				
8	46W272098	18S340598	1805 MHz	1710 MHz	691430900	46 W	1332071705 - 19548	11,8	23	65	2	200	X	40	0294051171 - 10885				
9	46W272098	18S340598	1805 MHz	1710 MHz	691430900	46 W	1916095344 - 29503	18	30	65	6,5	350	X	40	0294051171 - 10885				

Figura 33 - Arquivo extraído via Página Anatel - Recuperação de Freqüência [16]

Através do arquivo extraído do site da Anatel com informações detalhadas sobre a instalação de equipamentos da operadora Algar Telecom, tem-se os conteúdos necessários sobre as estações PMS-ALVORADA e PMS-N SRA DE FÁTIMA para serem utilizadas nos estudos posteriormente.

Tabela 5 - Dados da Estação PMS-ALVORADA

Nome:	PMS-ALVORADA
Latitude:	18°33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22"W
Tecnologia:	GSM
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM 1710-2180 MHz
Código de Certificação/Homologação:	18922/0983071705
Azimuth:	326°
Altura:	67
Potência:	46,02 dBm

Tabela 6 - Dados da Estação PMS-N SRA FÁTIMA

Nome:	PMS-N SRA DE FÁTIMA
Latitude:	18°33' 18.02" S
Longitude:	46° 31' 47.68" W
Tecnologia:	GSM
Modelo da antena:	APX15-880/065 DAT
Código de Certificação/Homologação:	2374/0729021293
Azimuth:	325°
Altura:	50
Potência:	46,64 dBm

As coordenadas geográficas da estação rádio-base podem ser obtidas via página Anatel conforme a Figura 33 e as coordenadas do ponto móvel são obtidas através do software *My GPS Coordinates*, conforme Figura 34.

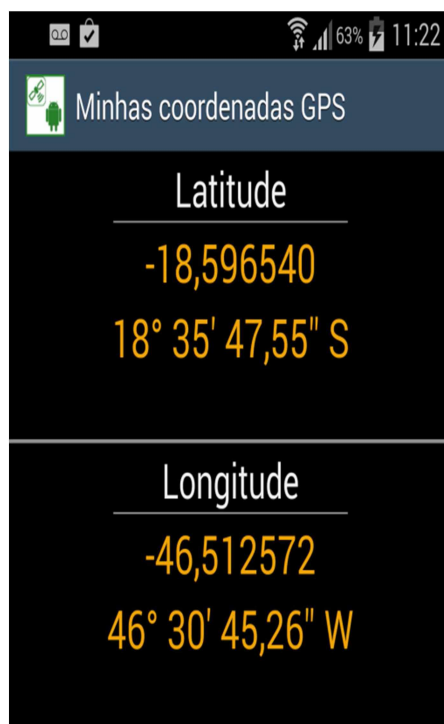


Figura 34 - Interface do software My GPS Coordinates

O aplicativo para celular *My GPS Coordinates* pode ser baixado gratuitamente por qualquer usuário móvel em seu dispositivo celular. Este aplicativo deve ser utilizado com a função de localização ativa para assim definir as coordenadas geográficas do ponto em estudo.

As informações da antena são obtidas através do código de certificação/homologação informado no dados da estação da operadora. Sendo assim, por meio do link no site da Anatel [17], insere-se o número de homologação conforme a Figura 35 e tem-se o resultado da pesquisa.

SGCH - SISTEMA DE GESTÃO

sistemas.anatel.gov.br/sgch/Consulta/Homologacao/Tela.asp?SISQSMODULO=10199

Menu Principal

SGCH » Consultar Produtos Homologados/Certificados

Consultar Produtos Homologados e (ou) Certificados

Essa consulta é limitada a 300 registros. Para consultas mais específicas, selecione os critérios abaixo.

Tipo de Consulta: ☐ Certificados e Homologados -- ☐ Consulta pelo Modelo de Produto

Nº Certificado:

Nº Homologação:

Solicitante:

Nome Solicitante: ☐ Iniciando com ☐ Contendo

Fabricante:

Nome Fabricante: ☐ Iniciando com ☐ Contendo

Serviço/Aplicação:

Tipo do Produto:

Palavra-chave Modelo:

Faixa de Frequências (MHz): a

Tecnologia:

Faixa de Frequências Tx (MHz): a

Faixa de Bloqueio (MHz): a

Frequência Tx (MHz): a

Frequência Intermediária FI (MHz): a

Frequência de Operação (MHz): a

Frequência Fundamental (MHz): a

Faixa de Operação (W): a

Figura 35 - Página de Consulta de Produtos Homologados e Cetificados [17]

SGCH - SISTEMA DE GESTÃO

sistemas.anatel.gov.br/sgch/Consulta/Homologacao/tela.asp

Acesso à Informação BRASIL

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações


Sistemas Interativos

Menu Principal

SGCH » Consultar Produtos Homologados/Certificados

Tela Inicial Homologados

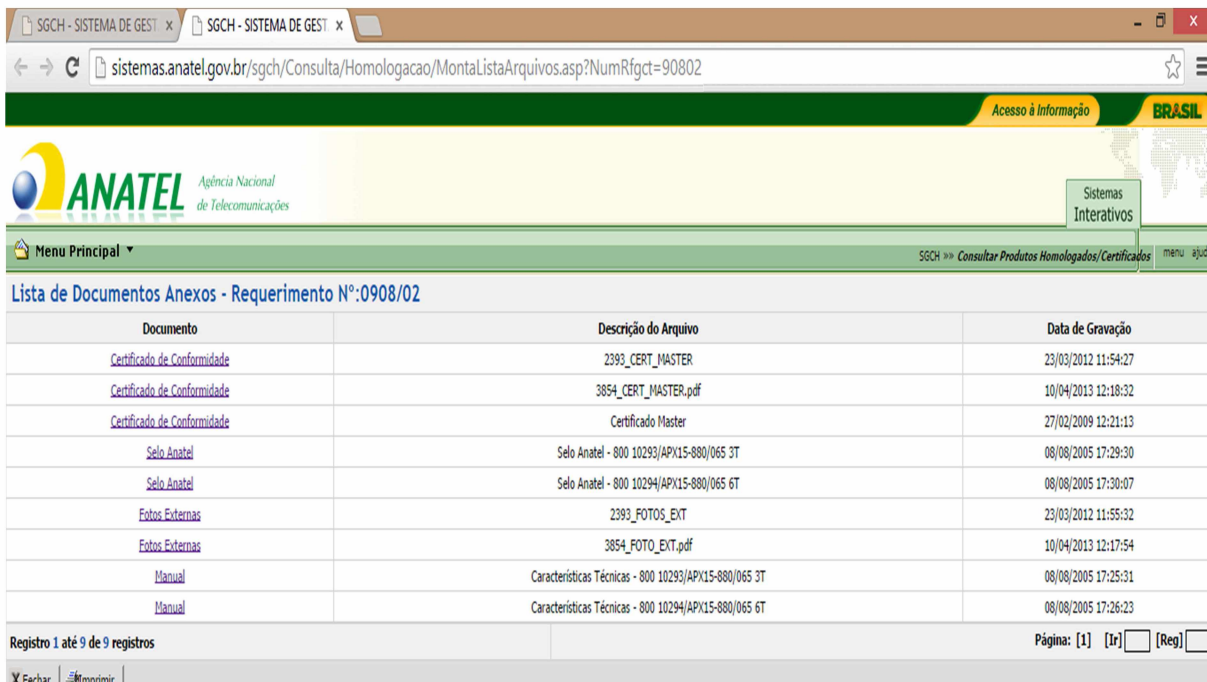
Consultar Produtos Homologados (Resultado)

Nº Homologação	Número Uso Sítar	Modelo do Produto	Arquivo	Fabricante	Tipo do Produto	Validade
0729021293	235902WWW1293	739 632/APX13-880/065 6T		Kathrein Mobilcom Brasil Ltda.	Antena Direcional	Indeterminada
	236102WWW1293	739 643/APX13-880/065 9T				
	236202WWW1293	739 633/APX13-880/065 12T				
	236602WWW1293	739 634/APX15-880/065 6T				
	236802WWW1293	741 622/APX15-880/065 9T				
	237002WWW1293	739 636/APX16-880/065 6T				
	237102WWW1293	739 637/APX16-880/065 9T				
	237202WWW1293	739 684/APX13-880/065 DAT				
	237302WWW1293	739 685/APX14-880/065 DAT				
	237402WWW1293	739 686/APX15-880/065 DAT				
	1122802WWW1293	800 10202/APX13-880/065 0T				
	1122902WWW1293	800 10203/APX15-880/065 0T				
	1123002WWW1293	800 10204/APX16-880/065 0T				
	1123102WWW1293	800 10207/APX13-880/065 6T				
	1226802WWW1293	800 10293/APX15-880/065 3T				
	1226902WWW1293	800 10294/APX15-880/065 6T				
	1614402WWW1293	800 10303/APX13-880/065 DAT				
	1614502WWW1293	800 10304/APX14-880/065 DAT				
	1614602WWW1293	800 10305/APX15-880/065 DAT				
	1745202WWW1293	739 622/APX13-880/065 0T				

Registro 1 até 20 de 23 registros

Páginas: [1] 2 [Ir] [Reg]

Figura 36 - Produtos de acordo com o código de homologação inserido [17]



Documento	Descrição do Arquivo	Data de Gravação
Certificado de Conformidade	2393_CERT_MASTER	23/03/2012 11:54:27
Certificado de Conformidade	3854_CERT_MASTER.pdf	10/04/2013 12:18:32
Certificado de Conformidade	Certificado Master	27/02/2009 12:21:13
Selo Anatel	Selo Anatel - 800 10293/APX15-880/065 3T	08/08/2005 17:29:30
Selo Anatel	Selo Anatel - 800 10294/APX15-880/065 6T	08/08/2005 17:30:07
Fotos Externas	2393_FOTOS_EXT	23/03/2012 11:55:32
Fotos Externas	3854_FOTO_EXT.pdf	10/04/2013 12:17:54
Manual	Características Técnicas - 800 10293/APX15-880/065 3T	08/08/2005 17:25:31
Manual	Características Técnicas - 800 10294/APX15-880/065 6T	08/08/2005 17:26:23

Registro 1 até 9 de 9 registros

Página: [1] [1r] [Reg]

X Fechar | Imprimir

Figura 37 - Extração do manual referente ao código de homologação inserido [17]

O manual referente ao código de homologação disponibiliza informações sobre a antena como frequência de operação, largura do ângulo de meia potência, diagramas de irradiação de acordo com a faixa de frequência para a análise da atenuação em relação ao ângulo de elevação e azimuth, entre outras especificidades da antena conforme Anexo 2-5.

Os materiais disponíveis para estudo associam-se aos métodos de propagação de OKUMURA, HATA e COST-231 mencionado no capítulo anterior.

O planejamento dos testes inicia através da determinação do local de estudo, pois este será determinante nos resultados dos modelos de propagação. Após isto, os testes começam com a coleta de coordenadas geográficas do ponto móvel através do software *My GPS Coordinates*. Através do aplicativo *Netmonitor* são coletadas as informações essenciais em relação ao teste. Este aplicativo é disponível para aparelhos celulares gratuitamente e são utilizados por engenheiros e técnicos em telecomunicações devido a facilidade de operação e mobilidade com o aparelho portátil.

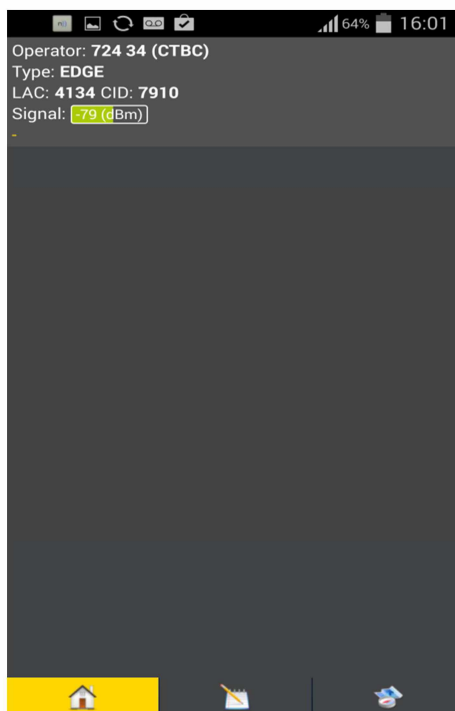


Figura 38 - Interface do software Netmonitor

O software *Netmonitor* será determinante nos cálculos deste trabalho, pois identifica a operadora que realiza a conexão entre a estação rádio-base e usuário móvel, informa o padrão de tecnologia do sistema, o Sinal Recebido captado pelo celular e além de informar o *CELLID* do link em questão para a determinação do setor em operação.

De acordo com o *CELLID* informado no software *Netmonitor*, associa o mesmo na Tabela 3 identificando o setor e a estação em operação do link. Em sequência, utiliza-se o software *Pathloss* inserindo as coordenadas geográficas dos dois pontos do link em estudo para coletar as informações do relevo topográfico, altitude, a distância do enlace, azimuth, a perda no espaço livre de acordo com a frequência em operação, a inserção da altura das antenas e entre outras características que pode-se aplicar, conforme a Figura 39.

A análise do relevo topográfico deve ser realizada de acordo com os conceitos de raio terrestre equivalente e a zona de Fresnel, porém este Fator k deve ser inserido no valor de $4/3$ para atmosfera padrão, conforme mencionado no capítulo anterior e a zona de Fresnel de acordo com frequência em operação tem-se a porcentagem estabelecida que deve ser desobstruída.

The screenshot shows the Pathloss 4.0 software interface. It has a menu bar with 'Files', 'Module', 'Configure', 'Equipment', 'SDB', 'Application', 'Report', and 'Help'. The main window is divided into two columns for 'Site 1' and 'Site 2'. Site 1 fields include Site Name, Call Sign, Station Code, State, Owner Code, Latitude, Longitude, True azimuth (°), Calculated Distance (km), Profile Distance (km), Datum (set to WGS 1984), Elevation (m), Tower Height (m), TR Antenna Height (m) (0.00), Code, TX loss (dB) (0.00), and RX loss (dB) (0.00). Site 2 fields include Operator code, Radio model, Code, Emission designator, Traffic code, TX power (dBm), Frequency (MHz) (900.00), Polarization (Horizontal), Free space loss (dB), EIRP (dBm), RX signal (dBm), and Radio configuration. A status bar at the bottom right shows 'km-m', 'Microwave', and 'TR-TR' with a red 'X' icon.

Figura 39 - Interface do software Pathloss para inserção das informações em estudo

O ângulo de elevação é encontrando através das altitudes das duas estações envolvidas, a distância e as altura de instalação da antena da BTS e do rádio móvel. Portanto, realiza-se o cálculo do ângulo de abertura em relação a visada direta ao ponto móvel através do arco tangente como verifica-se a seguir:

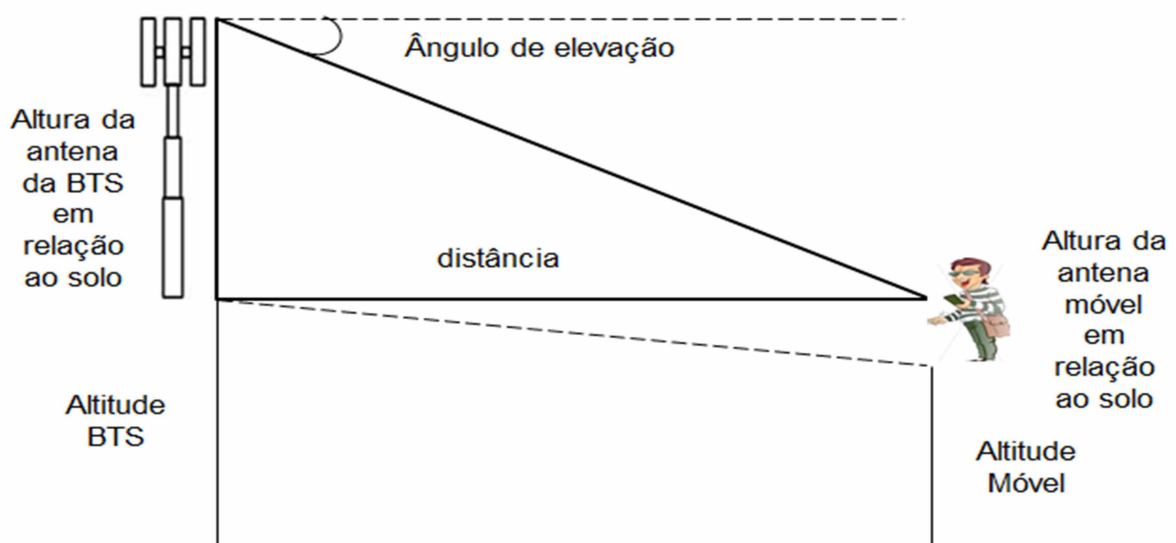


Figura 40 - Representação do ângulo de elevação

A diferença do azimuth entre a antena instalada no setor pela operadora com o azimuth referente ao link entre BTS e móvel também deve ser calculado para a análise do ganho da antena. Sendo assim, de acordo com estes valores, o ganho da antena original informado no datasheet terá que ser subtraído em relação as atenuações devido ao ângulo de elevação e o azimuth.

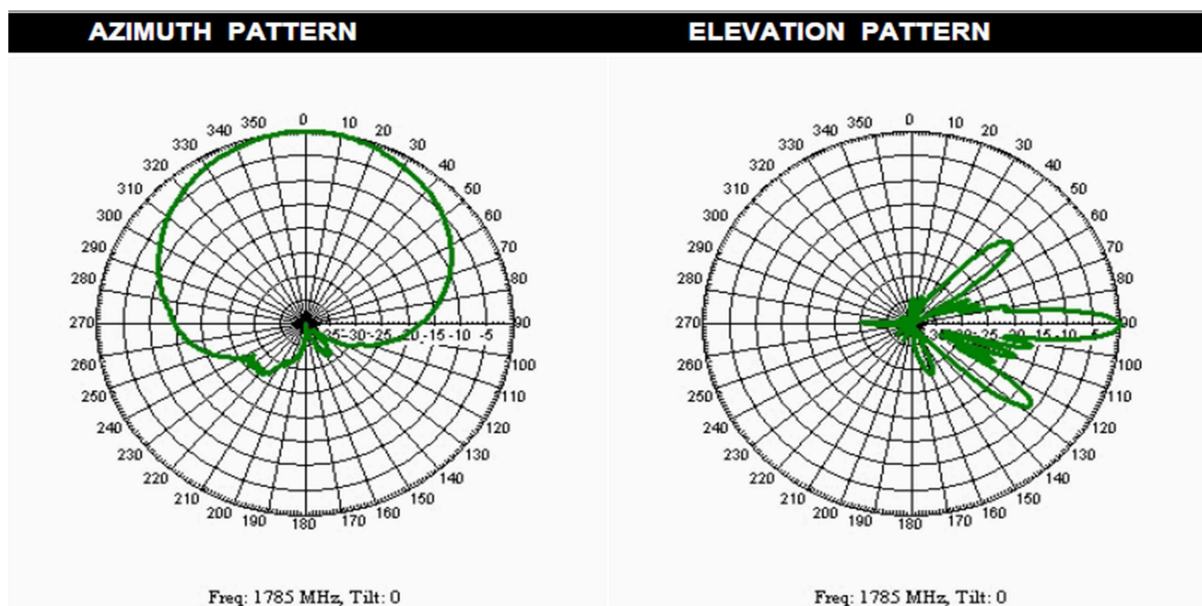


Figura 41 – Diagrama de Irradiação HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) [18]

A análise no diagrama de irradiação deve ser realizada anteriormente aos cálculos dos modelos de propagação, onde a diferença do azimuth e o ângulo de elevação calculado ocasionará uma perda adicionada ao ganho da antena. Esta perda é descrita de acordo com a linha verde representada na Figura 41.

O software *Netmonitor* conforme mencionado anteriormente, é adquirido através do download no próprio dispositivo móvel e é utilizado por engenheiros e técnicos de telecomunicações. A fim de verificar a confiabilidade deste aplicativo que irá ser determinante nos testes, a seguir faremos a coleta do Sinal Recebido por meio de dois aparelhos celulares diferentes em conjunto com um *Spectrum Analyzer GwINSTEK GSP-830*.

O ganho das antenas dos dispositivos celulares são aproximadamente 0,1 dBi e a antena conectada ao Spectrum Analyzer é de 9 dB. Conforme a Figura



Figura 42 - Spectrum Analyzer GwinSTEK GSP-830

Conforme a Figura 43, verifica-se que o Sinal Recebido coletado pelos dispositivos celulares foi - 81 dBm. O objetivo é comparar o Sinal Recebido dos aparelhos com o Spectrum Analyzer e observa-se que a potência de transmissão, ganho de transmissão e as perdas serão as mesmas tanto para os celulares quanto para o Spectrum, pois estas características são da estação-base e do meio de propagação. Por meio da Equação de Friss (2.4.6), tem-se a primeira análise realizada para os dispositivos celulares:

$$P_{r(\text{dBm})} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} + G_{r(\text{dBi})} - \text{Perdas}$$

$$-81 \text{ dBm} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} + 0,1 - \text{Perdas}$$

$$-81,1 \text{ dBm} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} - \text{Perdas}$$

Portanto, tem-se que a relação final nos mostra um valor de -81,1 dBm. A segunda análise considera-se que o ganho da antena que está conectada ao Spectrum Analyzer é de 9 dBi:

$$P_{r(\text{dBm})} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} + G_{r(\text{dBi})} - \text{Perdas}$$

$$-70,3 \text{ dBm} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} + 9 - \text{Perdas}$$

$$-79,3 \text{ dBm} = P_{t(\text{dBm})} + G_{t(\text{dBi})} - \text{Perdas}$$



Figura 43 - Dispositivos Celulares x Spectrum Analyzer

Conclui-se que a diferença de 1,8 dBm entre o Sinal Recebido dos aparelhos celulares e o Spectrum Analyzer mostra que o *Netmonitor* é um aplicativo confiável e pode ser utilizado nos testes seguintes.

O método de estudo deste trabalho é o cálculo do Sinal Recebido pela estação móvel através dos modelos de propagação propostos em comparação com o valor do sinal de recepção através do *Netmonitor*. Inicialmente o cálculo será realizado no Campus Patos de Minas e próximo a construção da Universidade com a análise de 8 pontos, onde será coletado o sinal recebido através do aplicativo *Netmonitor* e realiza-se os cálculos de propagação com base nos modelos de Okumura, Hata e Cost-231, a fim de verificar a precisão do aplicativo de coleta do sinal e o melhor modelo de propagação a ser aplicado no cálculo matemático do sinal.

Após os resultados identificados no Campus Patos de Minas, o objetivo é analisar o modelo de propagação que possui o valor recebido mais próximo ao *Netmonitor* e dar embasamento para outros estudos.

Assim, após a identificação do melhor modelo de propagação, o objetivo do estudo será realizar análises de 20 pontos no centro da cidade de Patos de Minas em busca da otimização do método, pois o modelo de Okumura possui uma

limitação de cálculo para links com distâncias entre 1 km até 100 km, Hata necessita que seja feito estudo para enlaces maiores que 1 km e por último Cost-231 deve ser trabalho para distâncias entre 1 km até 20 km.

Sendo assim, o intuito é realizar estudos para enlaces menores que 1 km, por exemplo dentro de centros urbanos, onde o modelo de propagação selecionado de acordo com a precisão do teste anterior, o link será realizado referenciando apenas uma estação rádio-base e um setor específico, pois assim tem-se a mesma antena, o mesmo ganho e a variável será o sinal recebido em 20 pontos distintos da estação móvel, mas associando as perdas pelo ângulo de elevação e o azimute para cada ponto celular.

Conclui-se que estes testes serão úteis na identificação no modelo de propagação mais apropriado e a extensão do mesmo para links com distâncias menores que 1 km, caso haja necessidade na criação de um Fator de Correção devido a distância envolvida entre as estações para que a margem do valor recebido estabelecido no teste no Campus Patos de Minas seja satisfatória.

Capítulo 4

Resultados e Discussão – Okumura, Hata e Cost-231

O modelo de propagação desenvolvido por Okumura, Hata e o Comitê de Trabalho COST-231 calcula o valor da potência recebida em determinada área específica entre a Estação rádio-base e a Estação móvel. Assim, o objetivo deste Capítulo 4 é realizar a medição do Sinal Recebido através de softwares conhecidos e utilizados por engenheiros de empresas de telecomunicações. Após isto, efetuar a comparação por meio de cálculos desenvolvidos nos modelos de propagação propostos.

Na fase do planejamento do experimento tem-se a escolha da área a ser estudada, o qual representa a grande diferença nos cálculos matemáticos propostos dentro dos métodos de propagação. Contudo, essas áreas são divididas através do Modelo de Propagação desenvolvido por Okumura em área urbana, quase aberta e suburbana.

A área de estudo neste Capítulo 4, será a região do terreno de construção do Campus da Universidade Federal de Uberlândia–Patos de Minas através das coordenadas geográficas $18^{\circ} 32' 13.70''$ S e $46^{\circ} 31' 36.39''$ W. Os pontos escolhido nesta região citada anteriormente, serão 6 pontos no próprio terreno e 2 pontos no limite estabelecido de 1 km da estação rádio-base. A Figura 44 e 45 representa a área de estudo.

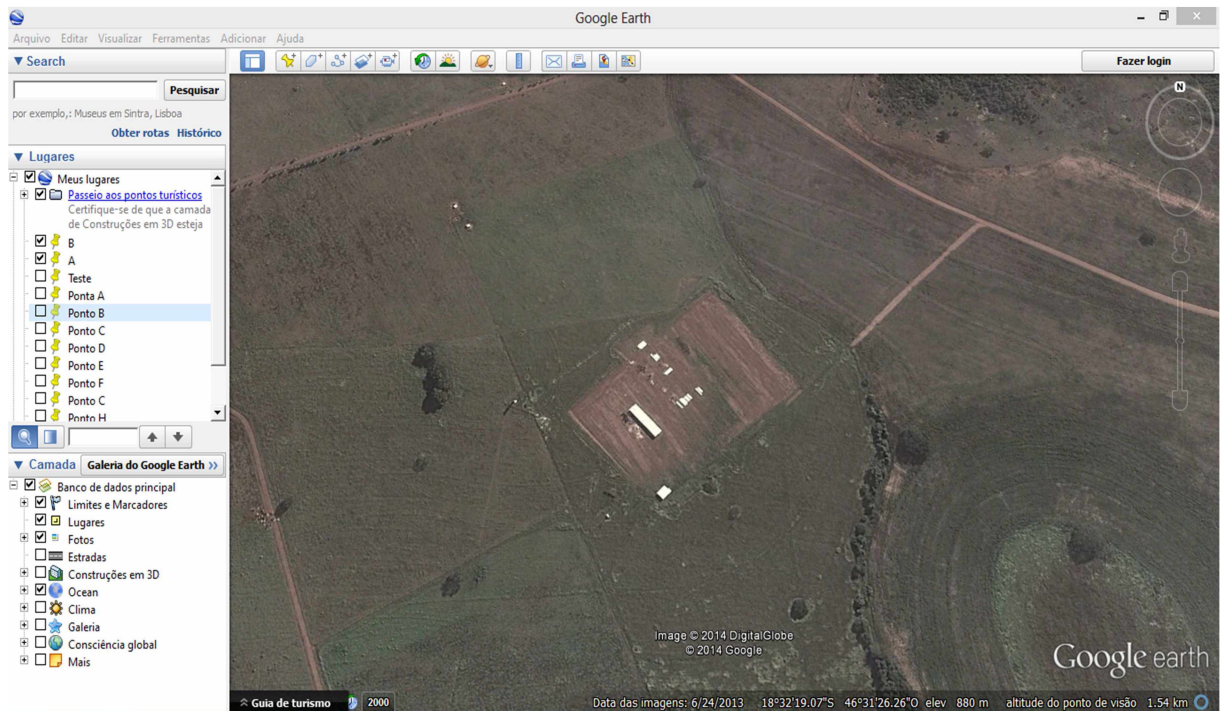


Figura 44 - Terreno de Construção da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas via Google Earth



Figura 45 - Terreno de Construção da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas

A região está situada na parte alta da cidade de Patos de Minas-MG no estado de Minas Gerais. Esta área atualmente possui algumas vegetações em torno do local e algumas casas construídas. Porém, futuramente será consolidado inúmeros loteamentos ao redor da Universidade. Esta região possui o atendimento do serviço celular por torres instaladas nos bairros próximos como por exemplo, a estação PMS-ALVORADA e PMS–NOSSA SENHORA DE FÁTIMA da empresa de telecomunicações Algar Telecom.

Atualmente, o local de construção da Universidade está aproximadamente 1 km e 550 metros da cidade de acordo com o Google Earth, conforme a Figura 46 e 47.

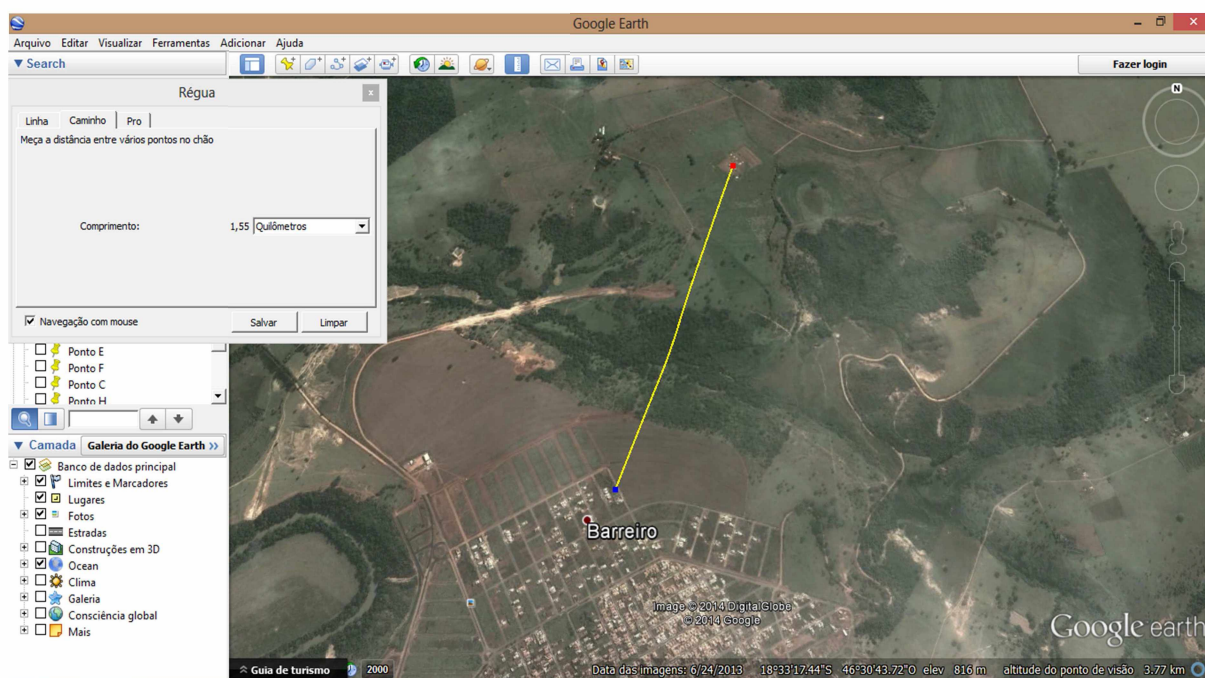


Figura 46 - Distância entre Campus Patos de Minas versus cidade



Figura 47 - Foto tirada do campus em direção à cidade

A partir da escolha do local a ser estudado, realizou-se através do software *My GPS Coordinates*, a coleta das coordenadas geográficas em oito pontos aleatórios. Nestes oito locais foram realizados a coleta de: coordenadas, Sinal Recebido e CELLID vinculado a cada link entre rádio móvel e rádio estação-base por meio do software *Netmonitor*. Na Figura 48 e 49, tem-se os pontos marcados através do software Google Earth dentro da área reservada para construção do Campus Patos de Minas.

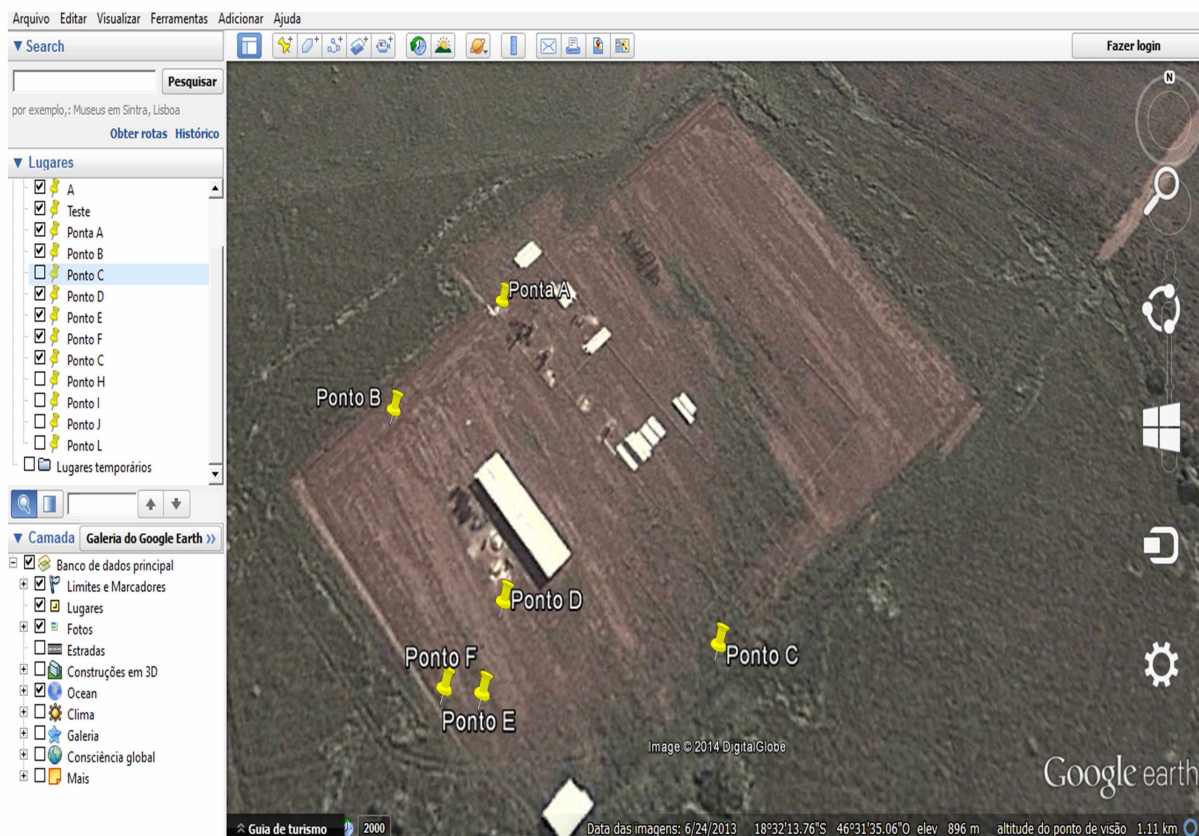


Figura 48 - Seis pontos de estudos visualizados via Google Earth

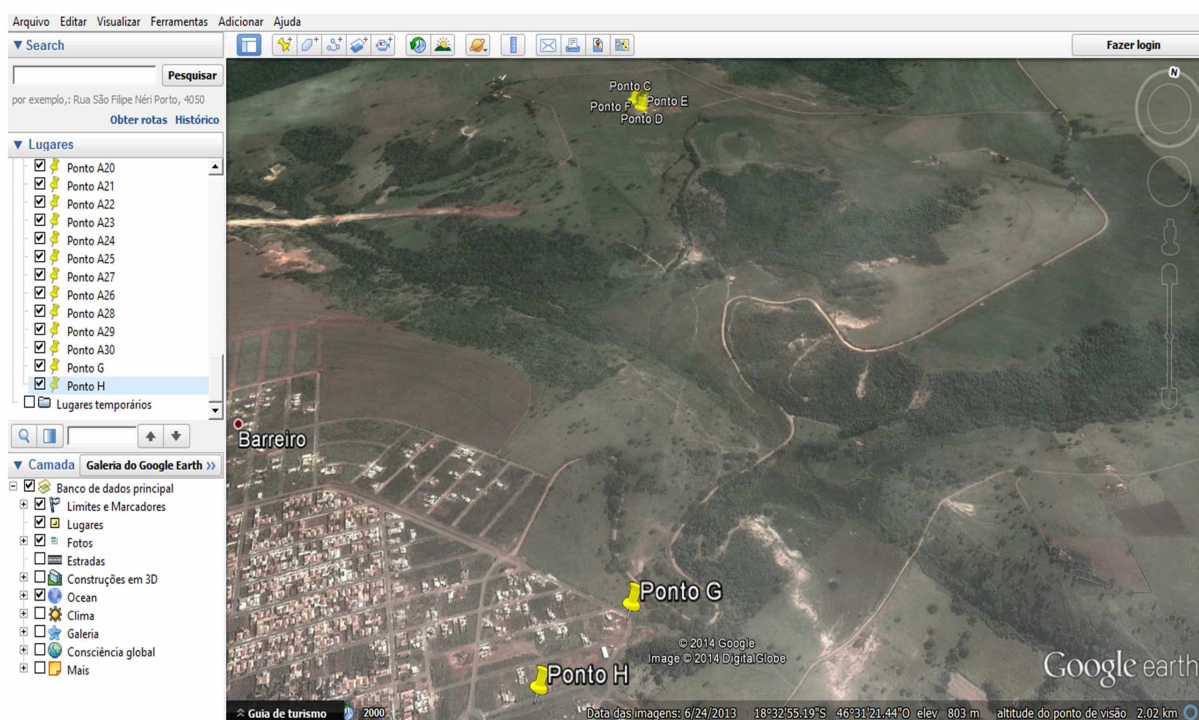



Figura 49 - Pontos em relação à cidade

Assim a cada ponto estudado, tem-se o preenchimento do Formulário de Coleta de Dados conforme Anexo 1. Neste documento é preenchido informações da potência recebida determinada através do aplicativo Netmonitor, as coordenadas geográficas via *My GPS Coordinates* e assim por meio das Tabelas 5 e 6, arquivos extraídos via Anatel, preenche-se informações como a frequência de transmissão/recepção, ganho da antena, altura de instalação e potência de transmissão da BTS em questão.

A seguir tem-se as coletas de dados via software e cálculos matemáticos utilizando o aparelho *SAMSUNG GALAXY S4* associados aos modelos de propagação dos oito pontos em estudos.

4.1 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto A

Tabela 7- Formulário de Coleta de dados – Ponta A

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-ALVORADA (CID:7918)
Latitude:	18° 33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.879,6 MHz
Recepção (MHz):	1.784,6 MHz
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	17.7 dBi
Altura da antena:	67 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,02
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA A
Latitude:	18° 32' 12.61"S
Longitude:	46° 31' 37.41"W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.784,6
Recepção (MHz):	1.879,6
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 75

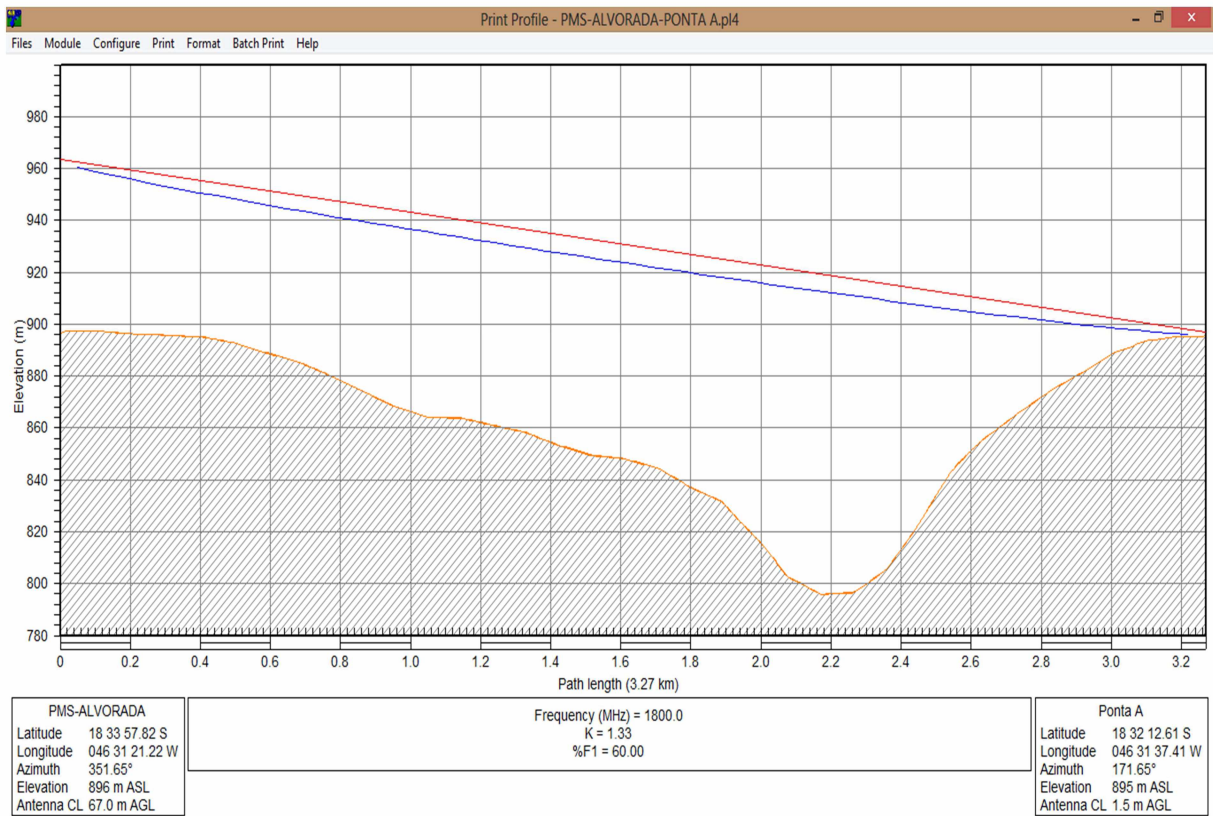


Figura 50 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta A

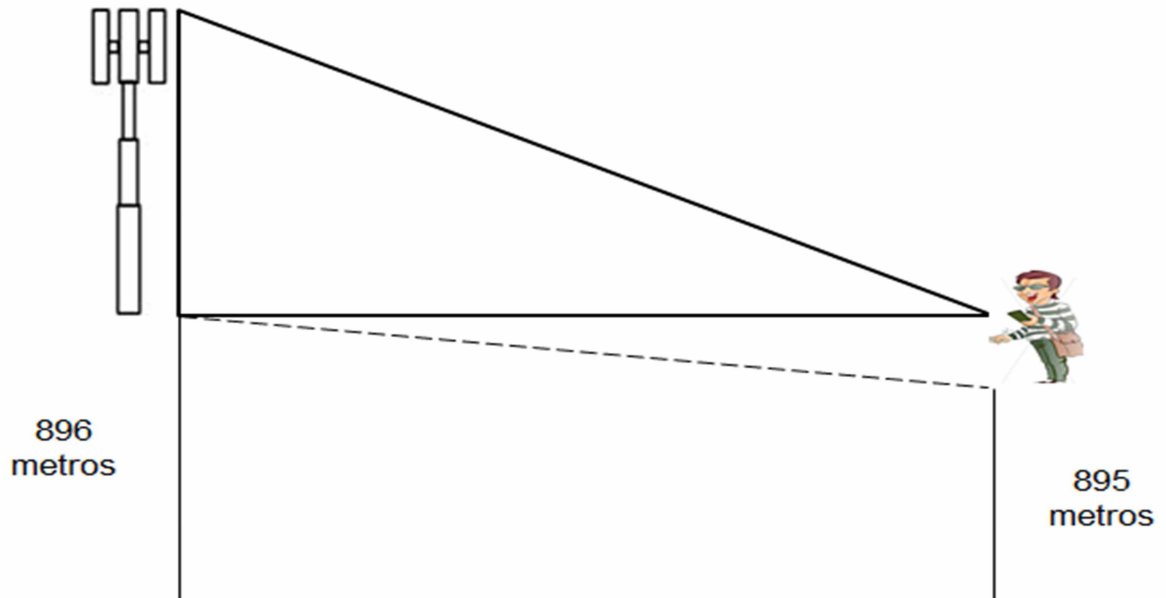


Figura 51 - Análise das altitudes dos pontos para a formação do triângulo retângulo

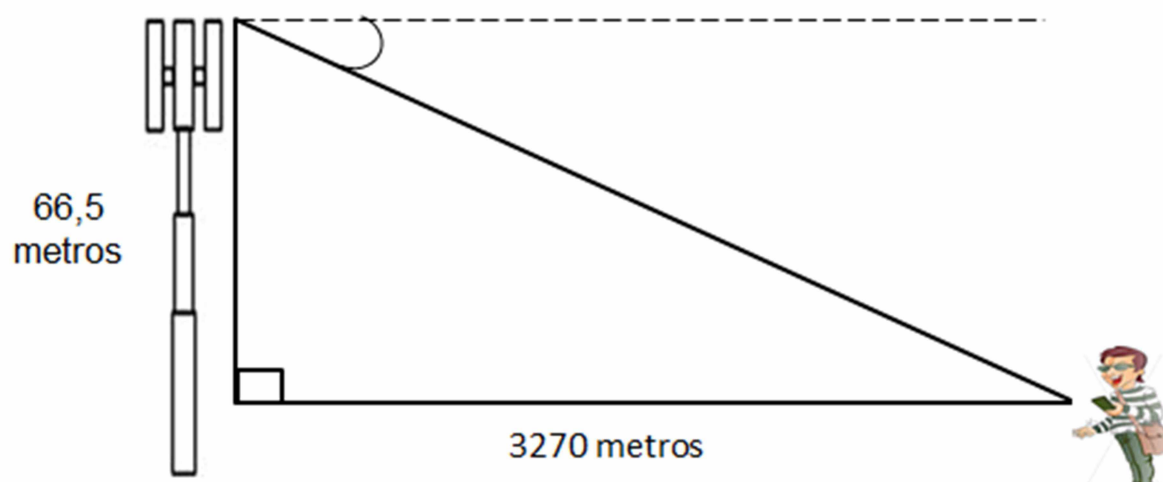


Figura 52 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto A

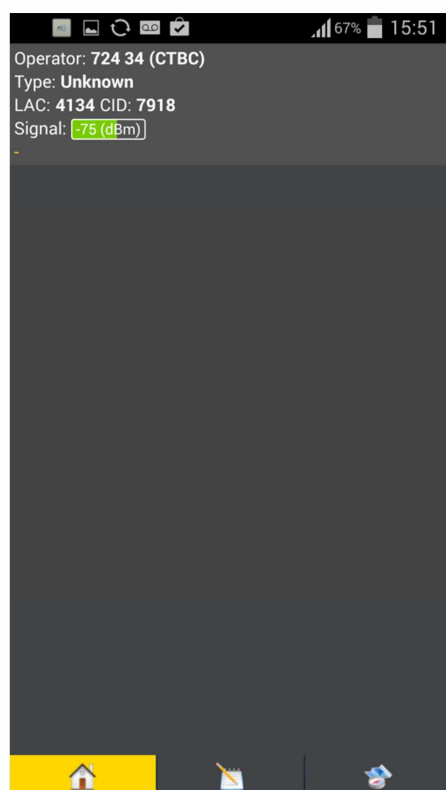


Figura 53 - Sinal Recebido no Ponto A

O ângulo de elevação é encontrado através do ângulo entre a linha de visada do sinal da BTS com o usuário móvel, associado a distância entre os dois pontos. Ao encontrar a distância entre as duas estações através do software *Pathloss*, calcula-se a tangente do ângulo em destaque. Após isto, o arco tangente é utilizado para descobrir o valor do ângulo, como pode-se verificar a seguir:

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{66,5}{3270} \rightarrow \tan \theta = 0,02033$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02033 \rightarrow \theta = 1^{\circ}$$

A diferença do azimuth entre a direção da antena instalada com a direção da linha de visada da estação rádio-base até o rádio móvel, deve ser encontrada para a análise do ganho da antena no diagrama de irradiação.

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 351,65^{\circ} - 326^{\circ} = 25,65^{\circ}$$

Portanto, de acordo com o Datasheet da antena de modelo HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1710 – 1880 MHz) é de 17.7 dBi. Porém, a análise do ganho da antena deve ser associada ao ângulo de elevação calculado anteriormente para cada link e a diferença de azimuth entre a antena instalada e o enlace entre BTS-Móvel. Assim, a perda adicionada ao ganho devido a diferença de azimuth é encontrada considerando 25,65° em interseção com a linha verde no diagrama de irradiação e a perda referente ao ângulo de elevação de 1° não terá grandes alterações em relação ao diagrama de irradiação “ELEVATION PATTERN” a seguir, devido ao pequeno deslocamento no gráfico.

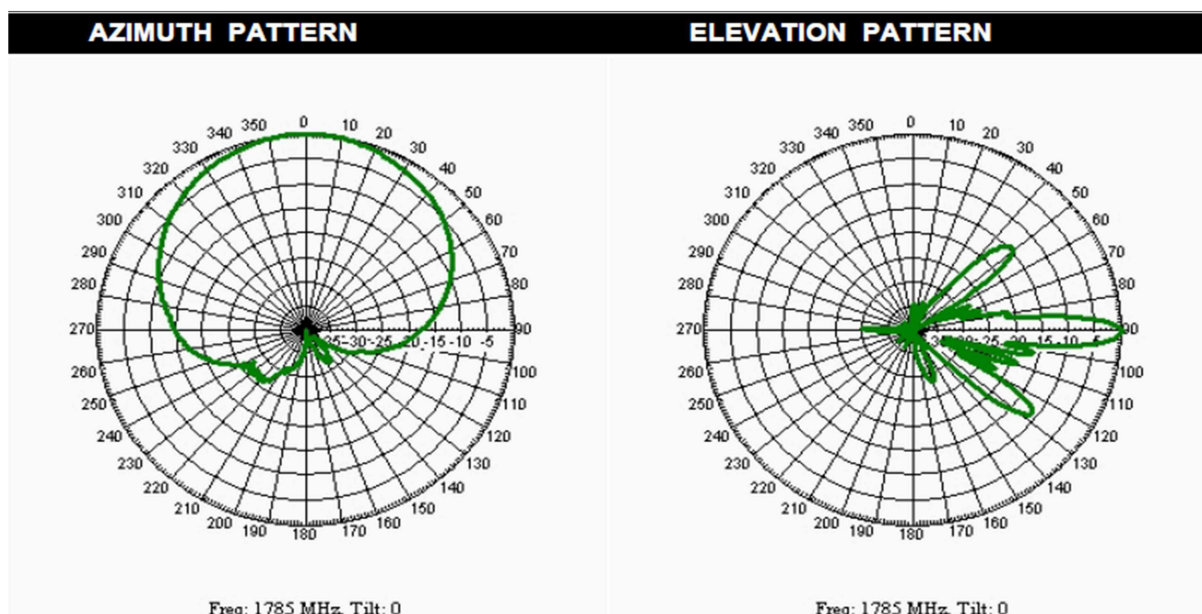


Figura 54 - Diagrama de irradiação da Antena HBXX-6516DS-VTM (1710-1880 MHz)

Assim, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 17,7 - 2 - 0,1 \\
 &= 15,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

4.1.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (3270)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(12,5663)^2 \cdot (10.692.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(157,9118) \cdot (10.692.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027777}{(1.688.535.086,22)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027777) - 10 \log(1.688.535.086,22)$$

$$A_0 = -107,8382 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (3,27\text{km})) = 27 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{67}{200} \right)$$

$$= 20 \log 67 - 20 \log 200$$

$$= 36,5214 - 46,0205$$

$$= -9,4991 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 107,8382 + 27 + 9,4991 + 3,0103 - 12 \\
 &= 135,3476 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 135,3476 - 4 \\
 &= -77,6276 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Modelo COST-231

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{urbano}) &= \\
 &= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{\text{te}} - a(h_{\text{re}}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{\text{te}})) \cdot \log d + C_M \\
 &= 46,3 + 33,9 \cdot (\log 1800) - 13,82 \cdot (\log 67) - 0,042973 + \\
 &\quad (44,9 - 6,55 \cdot 1,8260) \cdot \log 3,27 + 0 \\
 &= 46,3 + 110,353737 - 25,236353 - 0,042973 + (32,92095) \cdot 0,514547 \\
 &= 148,313787 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{\text{re}}) = (1,1 \log f_c - 0,7) \cdot h_{\text{re}} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{\text{re}}) = (1,1 \log 1800 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \log 1800 - 0,8)$$

$$a(h_{\text{re}}) = 4,321199 - 4,278225$$

$$a(h_{\text{re}}) = 0,042973$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 148,313787 - 2[\log 1800. - \log 28] - 5,4$$

$$= 148,313787 - 2[1,808114]^2 - 5,4$$

$$= 148,313787 - 11,938552$$

$$= 136,375235 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 136,375235 - 4$$

$$= -78,655235 \text{ dBm}$$

4.2 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto B

Tabela 8 - Formulário de Coleta de dados – Ponta B

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-N SRA DE FÁTIMA (CID:7937)
Latitude:	18° 33' 18.02" S
Longitude:	46° 31' 47.68" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	954,2 MHz
Recepção (MHz):	909,2 MHz
Modelo da antena:	APX15-800 (Kathrein Mobilcom Brasil)
Ganho da antena:	17 dBi
Altura da antena:	50 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,64
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA B
Latitude:	18° 32' 13.59" S
Longitude:	46° 31' 38.37" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	909,2
Recepção (MHz):	954,2
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 69

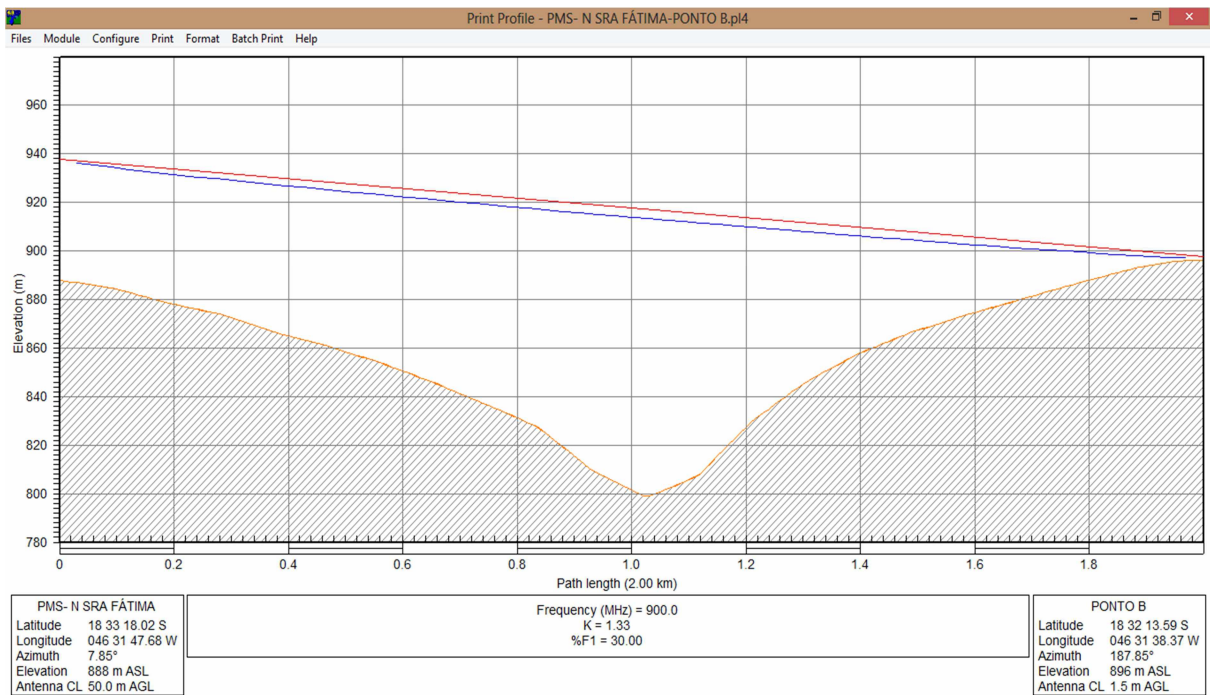


Figura 55 - Enlace PMS-N SRA FÁTIMA x Ponta B

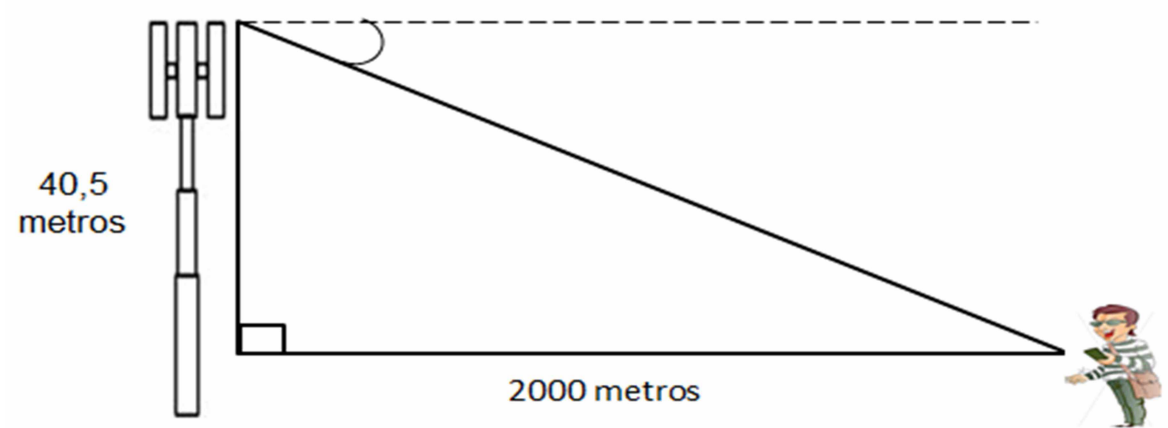


Figura 56 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-N SRA FÁTIMA em relação ao Ponto B

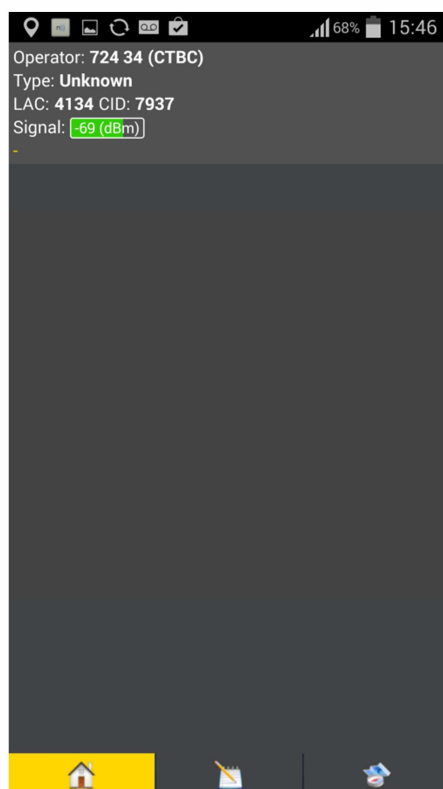


Figura 57 - Sinal Recebido no Ponto B

O ângulo de elevação é encontrado através do ângulo entre a linha de visada do sinal da BTS com o usuário móvel, associado a distância entre os dois pontos. Ao encontrar a distância entre as duas estações através do software *Pathloss*, calcula-se a tangente do ângulo em destaque. Após isto, o arco tangente é utilizado para descobrir o valor do ângulo, como pode-se verificar a seguir:

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{40,5}{2000} \rightarrow \tan \theta = 0,02025$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02025 \rightarrow \theta = 1^\circ$$

A diferença do azimute entre a direção da antena instalada com a linha de visada da estação rádio-base até o rádio móvel deve ser encontrada para a análise do ganho da antena no diagrama de irradiação.

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= -35^\circ - (7,85^\circ) = 42,85^\circ$$

Sendo assim, de acordo com o Datasheet da antena de modelo 800 10293/APX15 – 800/065 3T (Kathrein Mobilcom Brasil) no Anexo 3, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (880 – 960 MHz) é de 17 dbi. Porém, a análise do ganho da antena deve ser associada ao ângulo calculado anteriormente para cada link e a diferença de azimuth entre a antena instalada e o enlace entre BTS-móvel. Assim, a perda adicionada ao ganho devido a diferença de azimuth é encontrada considerando 42,85° em interseção com a linha verde no diagrama de irradiação e a perda referente ao ângulo de elevação de 1° não terá grandes alterações em relação ao diagrama de irradiação “ELEVATION PATTERN” a seguir, devido ao pequeno deslocamento no gráfico.

880 - 960 MHz: Polarização +45°, -45°

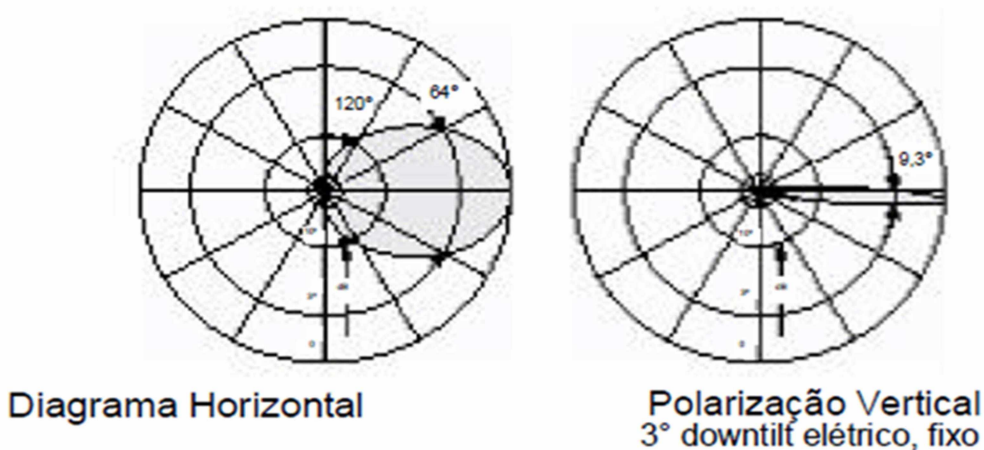


Figura 58 - Diagrama de irradiação da Antena 800 10293/APX15 – 800/065 3 (880-960 MHz)

Assim, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 17 - 2 - 0,1 \\
 &= 14,9 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

4.2.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 9 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (2000)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,333333)^2}{(12,5663)^2 \cdot (4000000)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,333333)^2}{(157,9118) \cdot (4000000)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,111110}{(631.647.200)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,111110) - 10 \log(631.647.200)$$

$$A_0 = -97,5471 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU} (900 \text{ MHz } (2\text{km})) = 21 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 9 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{50}{200} \right)$$

$$= 20 \log 50 - 20 \log 200$$

$$= 33,979400 - 46,020599$$

$$= -12,041199 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}
G(h_{re}) &= 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \\
&= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right) \\
&= 10 \log 1,5 - 10 \log 3 \\
&= 1,7609 - 4,7712 \\
&= -3,0103 \text{ dB}
\end{aligned}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$\begin{aligned}
L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \\
&= 97,5471 + 21 + 12,0411 + 3,0103 - 9 \\
&= 124,5985 \text{ dB}
\end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
&= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 124,5985 - 4 \\
&= -66,9585 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

4.2.2 Modelo HATA

$$\begin{aligned}
L_{50}(\text{urbano}) &= \\
&69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d \\
&= 69,55 + 26,16.(\log 900) - 13,82.(\log 50) - 0,5559 + (44,9 - 6,55.1,698970).\log 2 \\
&= 69,55 + 77,282984 - 23,479765 - 0,015881 + 33,771747.0,301029 \\
&= 133,503613 \text{ dB}
\end{aligned}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7) \cdot h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = (1,1 \log 900 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \log 900 - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = 3,82449 - 3,808618$$

$$a(h_{re}) = 0,015881$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 133,503613 - 2[\log 900 - \log 28] - 5,4$$

$$= 133,503613 - 9,942604$$

$$= 123,561009 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 123,561009 - 4$$

$$= -65,921009 \text{ dBm}$$

4.3 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto C

Tabela 9 - Formulário de Coleta de dados – Ponta C


Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-N SRA DE FÁTIMA (CID:7937)
Latitude:	18° 33' 18.02" S
Longitude:	46° 31' 47.68" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	954,2 MHz
Recepção (MHz):	909,2 MHz
Modelo da antena:	APX15-800 (Kathrein Mobilcom Brasil)
Ganho da antena:	17 dBi
Altura da antena:	50 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,64
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA C
Latitude:	18° 32' 15.32" S
Longitude:	46° 31' 35.08" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	909,2
Recepção (MHz):	954,2
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 71

Figura 59 - Formulário de Coleta de dados – Ponta C

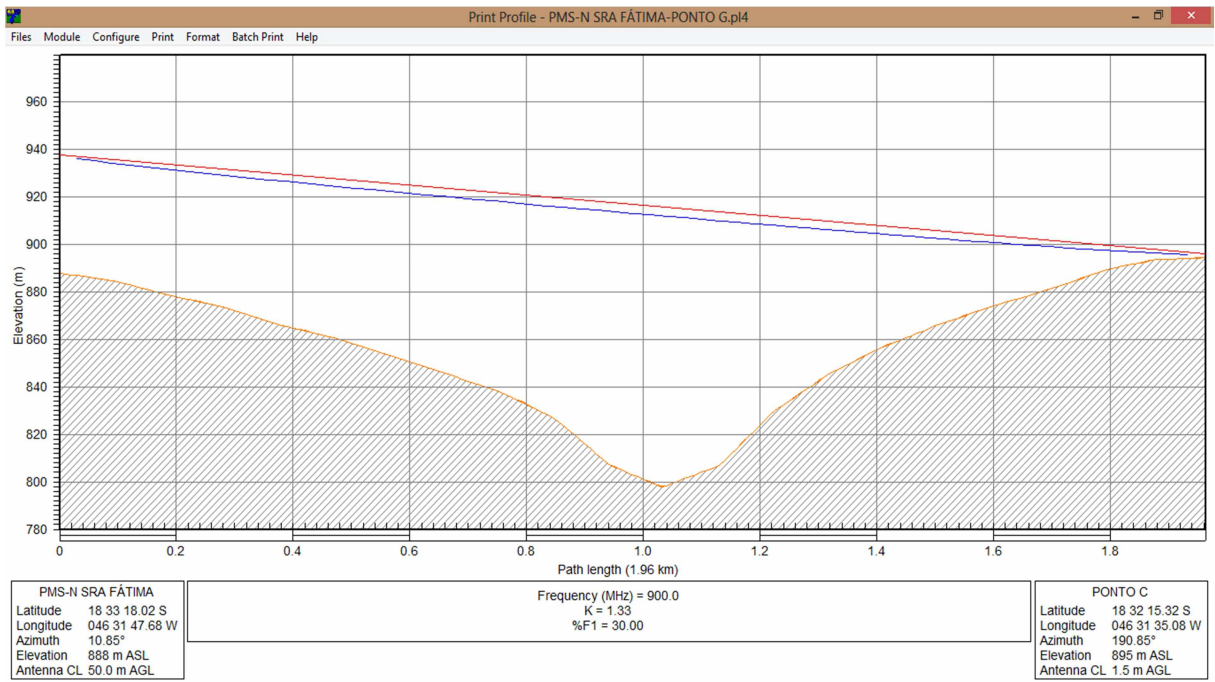


Figura 60 - Enlace PMS-N SRA FATIMA x Ponta C

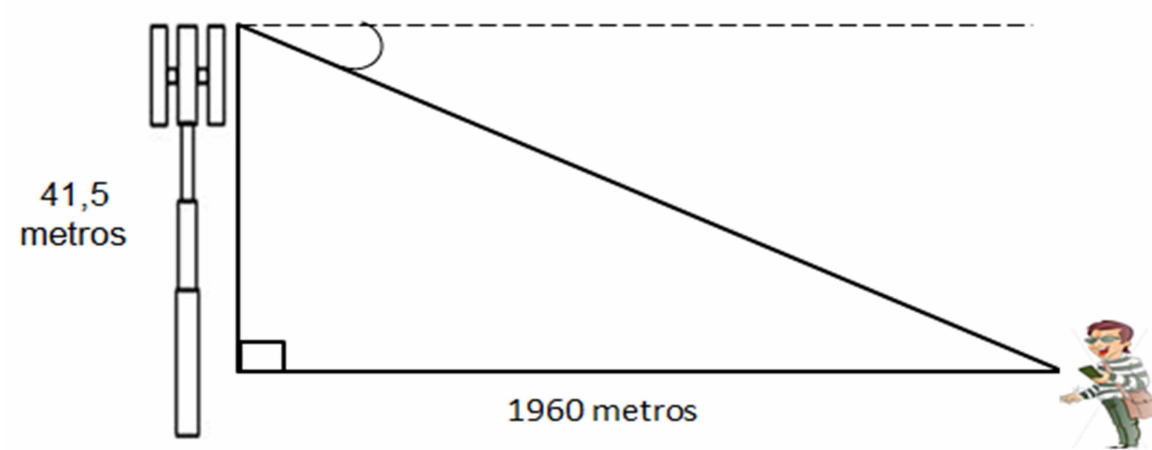


Figura 61 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto C

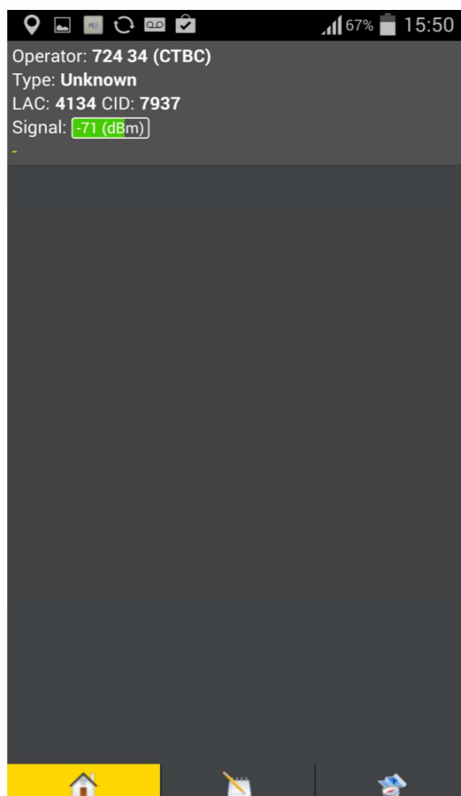


Figura 62 - Sinal Recebido no Ponto C

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{41,5}{1960} \rightarrow \tan \theta = 0,0211$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0211 \rightarrow \theta = 1^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= -35^{\circ} - (10,85)^{\circ} = 45,85^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo 800 10293/APX15 – 800/065 3T (Kathrein Mobilcom Brasil) no Anexo 3, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (880–960 MHz) é de 17 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganho da Antena} = \\
 & = \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 & = 17 - 2 - 0,1 \\
 & = 14,9 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

4.3.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 9 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1960)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,3333333)^2}{(12,5663)^2 \cdot (3.841.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,3333333)^2}{(157,9118) \cdot (3.841.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,111110}{(606.633.970,88)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,111110) - 10 \log(606.633.970,88)$$

$$A_0 = -97,371735 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}} (900 \text{ MHz } (1,96\text{km})) = 21 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 9 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$\begin{aligned}
 G(h_{te}) &= 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \\
 &= 20 \log \left(\frac{50}{200} \right) \\
 &= 20 \log 50 - 20 \log 200 \\
 &= 33,979400 - 46,020599 \\
 &= -12,041199 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G(h_{re}) &= 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right) \\
 &= 10 \log 1,5 - 10 \log 3 \\
 &= 1,7609 - 4,7712 \\
 &= -3,0103 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \\
 &= 97,371735 + 21 + 12,0411 + 3,0103 - 9 \\
 &= 124,4231 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 124,4231 - 4 \\
 &= -66,7831 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Modelo HATA

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{urbano}) &= \\
 &69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})). \log d \\
 &= 69,55 + 26,16. (\log 9000) - 13,82. (\log 50) - 0,015881 + \\
 & (44,9 - 6,55.1,698970). \log 1,96 \\
 &= 69,55 + 77,282984 - 23,479765 - 0,015881 + 33,771747.0,292256 \\
 &= 133,207333 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$\begin{aligned}
 a(h_{re}) &= (1,1 \log f_c - 0,7). h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) \\
 a(h_{re}) &= (1,1 \log 900 - 0,7). 1,5 - (1,56 \log 900 - 0,8) \\
 a(h_{re}) &= 3,824499 - 3,808618 \\
 a(h_{re}) &= 0,015881
 \end{aligned}$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4 \\
 &= 133,207333 - 2[\log 900 - \log 28] - 5,4 \\
 &= 133,207333 - 9,942604 \\
 &= 123,264729 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 123,264729 - 4 \\
 &= -65,764729 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

4.4 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto D

Tabela 10 - Formulário de Coleta de dados – Ponta D

<u>Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis</u>	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-ALVORADA (CID:7918)
Latitude:	18° 33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.879,6 MHz
Recepção (MHz):	1.784,6 MHz
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	17.7 dBi
Altura da antena:	67 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,02
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA D
Latitude:	18° 32' 15.04" S
Longitude:	46° 31' 37.07" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.784,6
Recepção (MHz):	1.879,6
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 75

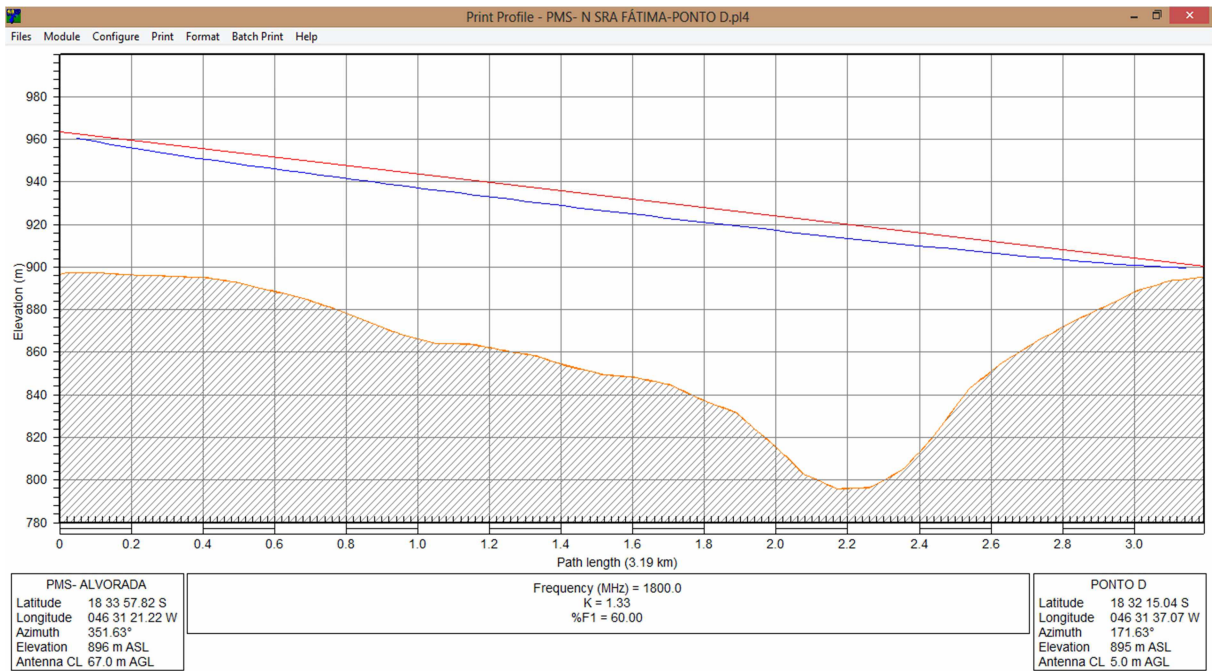


Figura 63 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta D

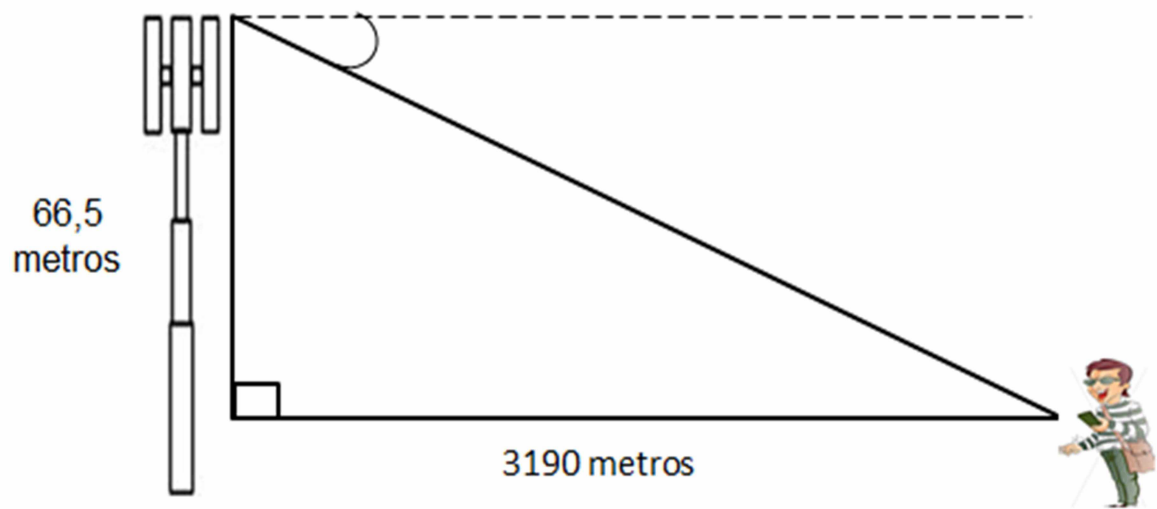


Figura 64 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto D

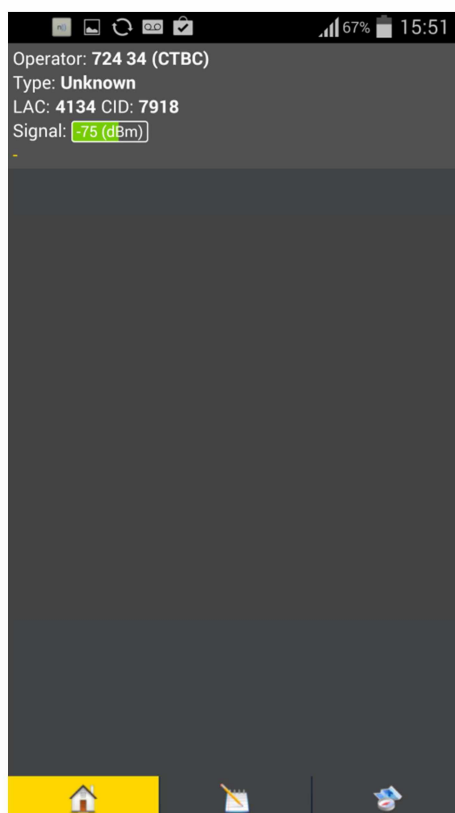


Figura 65 - Sinal Recebido no Ponto D

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{66,5}{3190} \rightarrow \tan \theta = 0,020846$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02033 \rightarrow \theta = 1^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 351,63^{\circ} - 326^{\circ} = 25,63^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1710–1880 MHz) é de 17.7 dbi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ganho da Antena} &= \\ &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\ &= 17,7 - 2 - 0,1 \\ &= 15,6 \text{ dbi} \end{aligned}$$

4.4.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 18 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (3190)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(12,5663)^2 \cdot (10.176.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(157,9118) \cdot (10.176.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027777}{(1.606.926.267,98)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027777) - 10 \log(1.606.926.267,98)$$

$$A_0 = -107,623105 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU} (1800 \text{ MHz } (3,19\text{km})) = 27 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{67}{200} \right)$$

$$= 20 \log 67 - 20 \log 200$$

$$= 36,5214 - 46,0205$$

$$= -9,4991 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$$= 107,6231 + 27 + 9,4991 + 3,0103 - 12$$

$$= 135,1325 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 135,1325 - 4$$

$$= -77,4125 \text{ dBm}$$

4.4.2 Modelo COST-231

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{urbano}) &= \\
 &= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d + C_M \\
 &= 46,3 + 33,9.(\log 1800) - 13,82.(\log 67) - 0,042973 + \\
 & \quad (44,9 - 6,55.1,8260).\log 3,19 + 0 \\
 &= 156,653737 - 25,236353 - 0,042973 + (44,9 - 11,979050).0,503790 \\
 &= 147,959656 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$\begin{aligned}
 a(h_{re}) &= (1,1 \log f_c - 0,7).h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) \\
 a(h_{re}) &= (1,1 \log 1800 - 0,7).1,5 - (1,56 \log 1800 - 0,8) \\
 a(h_{re}) &= 4,321199 - 4,278225 \\
 a(h_{re}) &= 0,042973
 \end{aligned}$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4 \\
 &= 147,959656 - 2[\log 1800 - \log 28] - 5,4 \\
 &= 147,959656 - 2[1,808114]^2 - 5,4 \\
 &= 147,959656 - 11,938552 \\
 &= 136,021103 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 136,021103 - 4$$

$$= -78,301103 \text{ dBm}$$

4.5 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto E

Tabela 11 - Formulário de Coleta de dados – Ponta E

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-N SRA DE FÁTIMA (CID:7937)
Latitude:	18° 33' 18.02" S
Longitude:	46° 31' 47.68" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	954,2 MHz
Recepção (MHz):	909,2 MHz
Modelo da antena:	APX15-800 (Kathrein Mobilcom Brasil)
Ganho da antena:	17 dBi
Altura da antena:	50 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,64
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA E
Latitude:	18° 32' 15.65" S
Longitude:	46° 31' 37.18" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	909,2
Recepção (MHz):	954,2
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 71

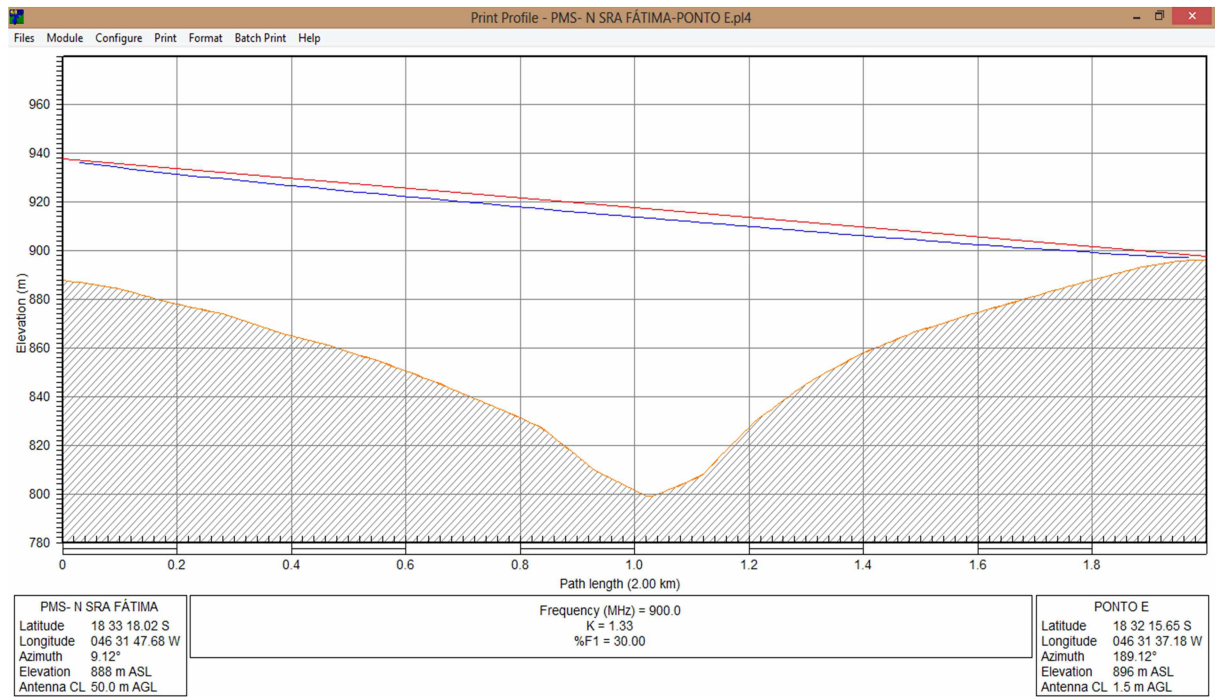


Figura 66 - Enlace PMS-N SRA FÁTIMA x Ponta E

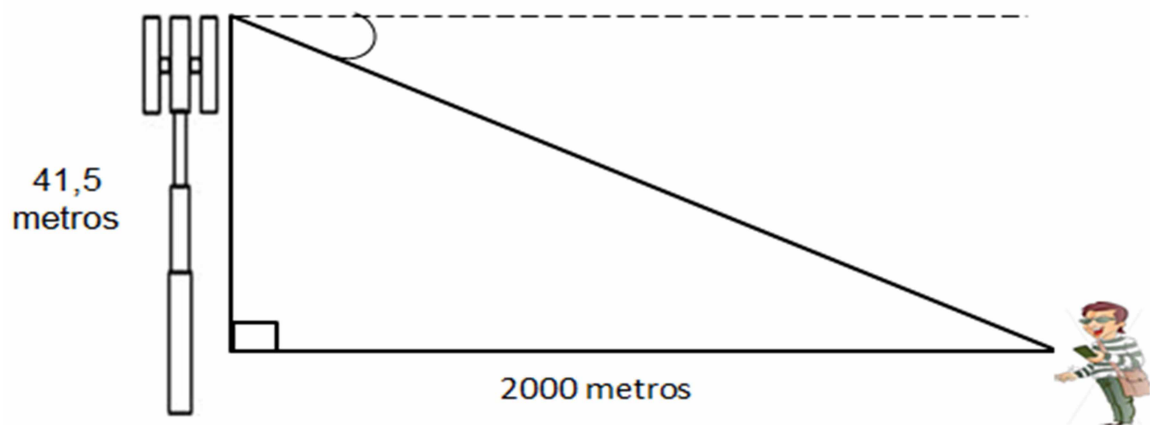


Figura 67 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-N SRA FÁTIMA em relação ao Ponto E

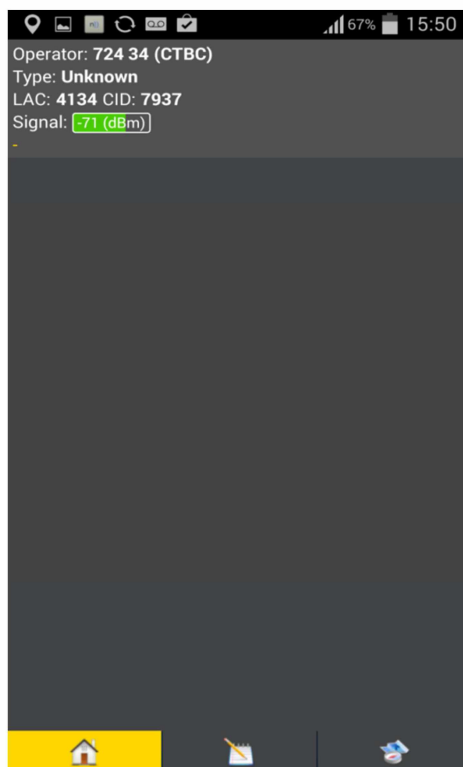


Figura 68 - Sinal Recebido no Ponto E

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{41,5}{2000} \rightarrow \tan \theta = 0,02075$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02075 \rightarrow \theta = 1^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= -35^{\circ} - (9,12)^{\circ} = 44,12^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo 800 10293/APX15 – 800/065 3T (Kathrein Mobilcom Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (880–960 MHz) é de 17 dbi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} &\text{Ganho da Antena} = \\ &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\ &= 17 - 2 - 0,1 \\ &= 14,9 \text{ dbi} \end{aligned}$$

4.5.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 9 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1940)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,3333333)^2}{(12,5663)^2 \cdot (3.763.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,3333333)^2}{(157,9118) \cdot (3.763.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,111110}{(594316850,48)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,111110) - 10 \log(594316850,48)$$

$$A_0 = -97,2826 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}} (900 \text{ MHz } (1,94\text{km})) = 21 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 9 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{50}{200} \right)$$

$$= 20 \log 50 - 20 \log 200$$

$$= 33,979400 - 46,020599$$

$$= -12,041199 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$$= 97,2826 + 21 + 12,0411 + 3,0103 - 9$$

$$= 124,334 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 124,334 - 4$$

$$= -66,694 \text{ dB}$$

4.5.2 Modelo HATA

$$L_{50}(\text{urbano}) =$$

$$69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d$$

$$= 69,55 + 26,16.(\log 900) - 13,82.(\log 50) - 0,015881 +$$

$$(44,9 - 6,55.1,698970).\log 1,94$$

$$= 69,55 + 77,282984 - 23,479765 - 0,015881 + 33,7117.\log 2$$

$$= 133,485570 \text{ dB}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7) \cdot h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = (1,1 \log 900 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \log 900 - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = 3,824499 - 3,808618$$

$$a(h_{re}) = 0,015881$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 133,485570 - 2[\log 900 - \log 28] - 5,4$$

$$= 133,485570 - 9,942608$$

$$= 123,542962 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,64 + 14,9 + 0,1 - 123,542962 - 4$$

$$= -65,902962 \text{ dBm}$$

4.6 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto F

Tabela 12 - Formulário de Coleta de dados – Ponta F

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-ALVORADA (CID:7918)
Latitude:	18° 33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.879,6 MHz
Recepção (MHz):	1.784,6 MHz
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	17.7 dBi
Altura da antena:	67 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,02
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA F
Latitude:	18° 32' 15.62" S
Longitude:	46° 31' 37.56" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.784,6
Recepção (MHz):	1.879,6
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 75

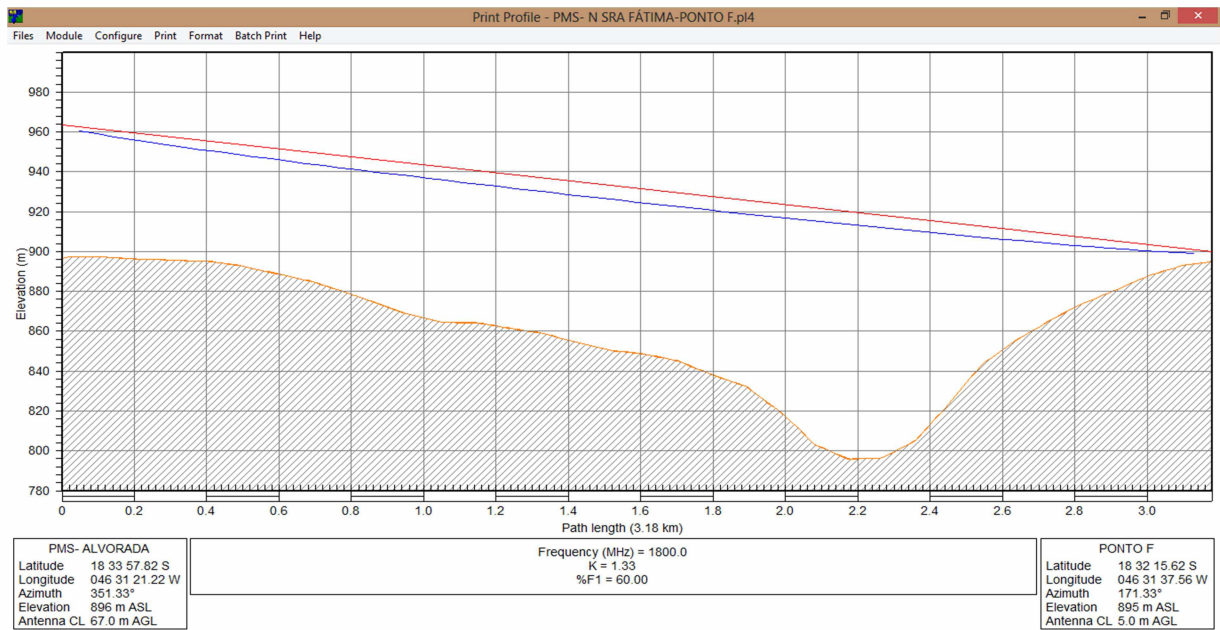


Figura 69 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta F

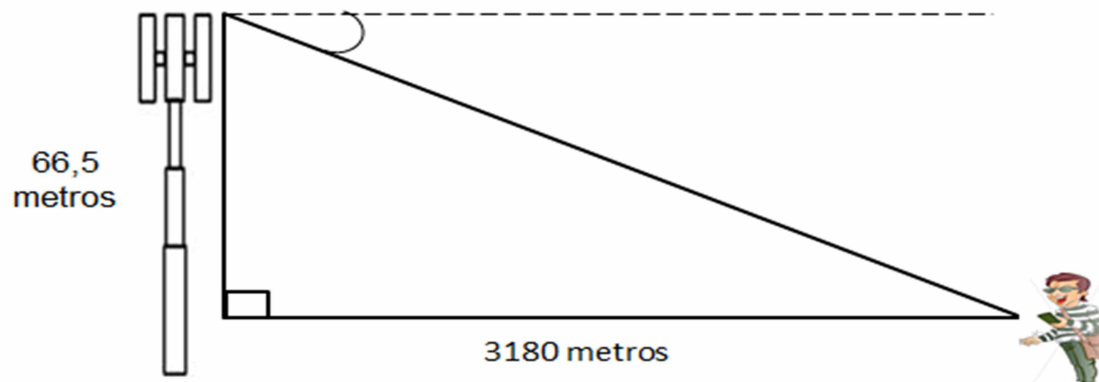


Figura 70 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto F

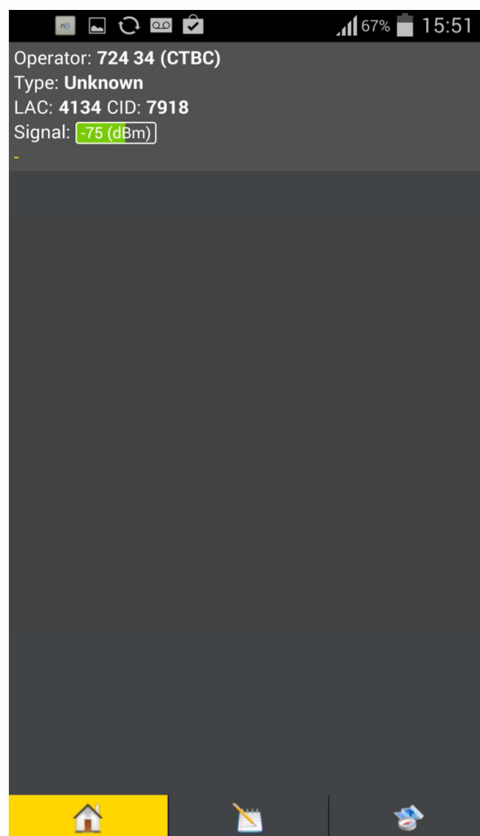


Figura 71 - Sinal Recebido no Ponto F

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{66,5}{3180} \rightarrow \tan \theta = 0,020911$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,020911 \rightarrow \theta = 1^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 351,33^{\circ} - 326^{\circ} = 25,33^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1710–1880 MHz) é de 17.7 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} &\text{Ganho da Antena} = \\ &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\ &= 17,7 - 2 - 0,1 \\ &= 15,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.6.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 18 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (3180)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(12,5663)^2 \cdot (10.112.400)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(157,9118) \cdot (10.112.400)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027777}{(1.596.867.286,32)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027777) - 10 \log(1.596.867.286,32)$$

$$A_0 = -107,595834 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (3,18\text{km})) = 27 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{67}{200} \right)$$

$$= 20 \log 67 - 20 \log 200$$

$$\begin{aligned}
 &= 36,5214 - 46,0205 \\
 &= -9,4991 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G(h_{re}) &= 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right) \\
 &= 10 \log 1,5 - 10 \log 3 \\
 &= 1,7609 - 4,7712 \\
 &= -3,0103 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \\
 &= 107,595834 + 27 + 9,4991 + 3,0103 - 12 \\
 &= 135,105234 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 135,105234 - 4 \\
 &= -77,38523 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

4.6.2 Modelo COST-231

$$L_{50}(\text{urbano}) =$$

$$= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d + C_M$$

$$= 46,3 + 33,9.(\log 1800) - 13,82.(\log 67) - 0,042973 + (44,9 - 6,55.1,8260).\log 3,18 + 0$$

$$= 46,3 + 110,353737 - 25,236353 - 0,042973 + 32,92095.0,502427$$

$$= 147,914785 \text{ dB}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7).h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = (1,1 \log 1800 - 0,7).1,5 - (1,56 \log 1800 - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = 4,321199 - 4,278225$$

$$a(h_{re}) = 0,042973$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 147,914785 - 2[\log 1800 - \log 28] - 5,4$$

$$= 147,914785 - 11,938552$$

$$= 135,976233 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 15,6 + 0,1 - 135,976233 - 4$$

$$= -78,656233 \text{ dBm}$$

4.7 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto G

Tabela 13 - Formulário de Coleta de dados – Ponta G

<u>Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis</u>	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-ALVORADA (CID:7918)
Latitude:	18° 33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.879,6 MHz
Recepção (MHz):	1.784,6 MHz
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	17.7 dBi
Altura da antena:	67 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,02
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA G
Latitude:	18° 33' 16.47" S
Longitude:	46° 31' 23.47" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.784,6
Recepção (MHz):	1.879,6
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 61

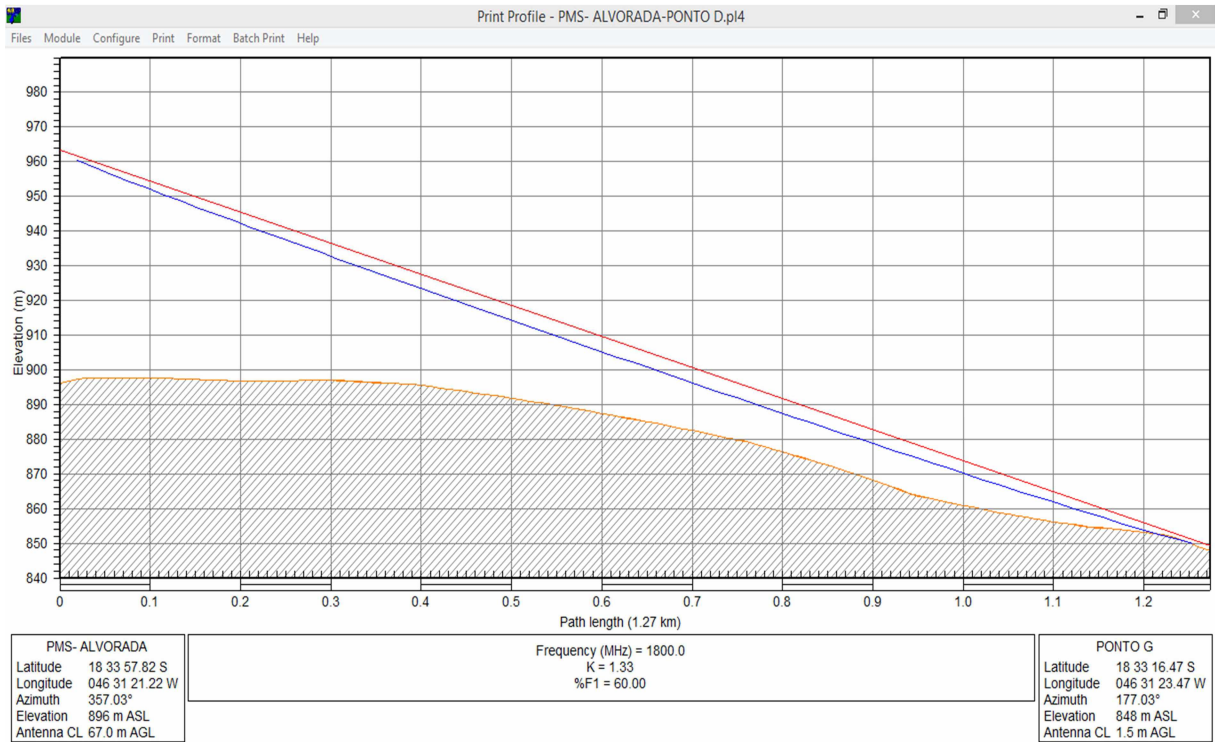


Figura 72 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta G

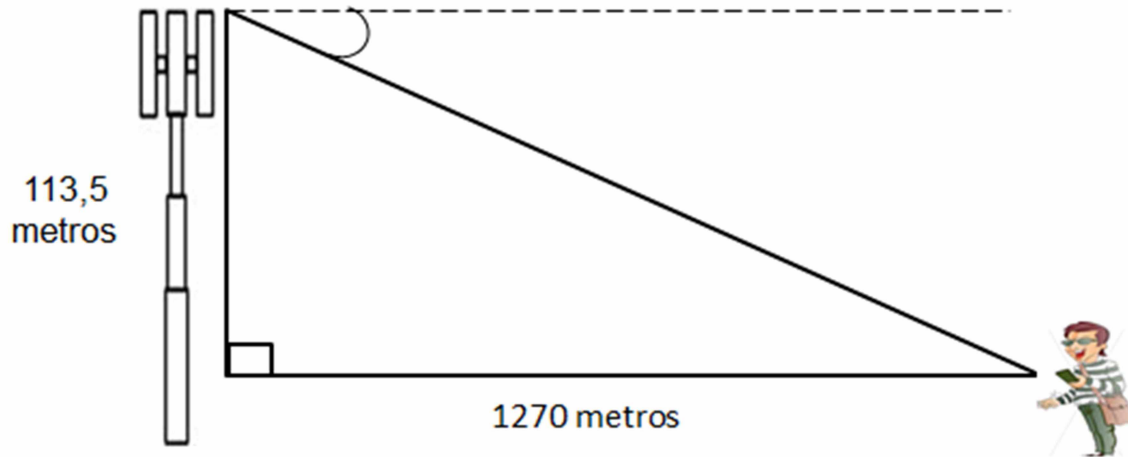


Figura 73 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto G

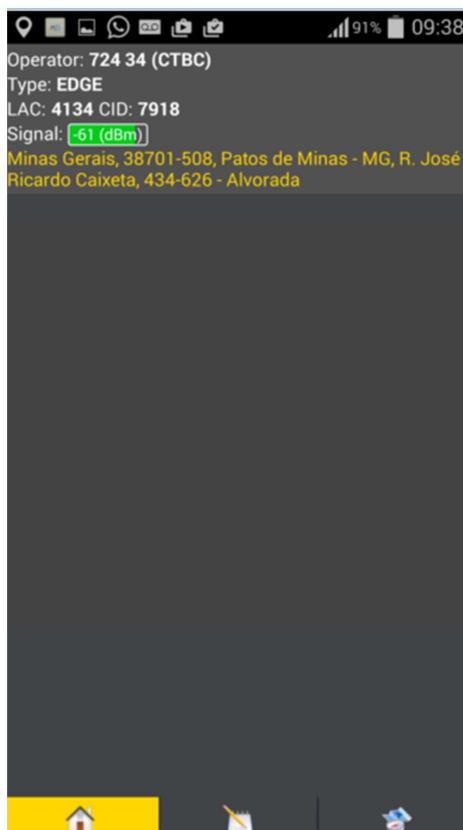


Figura 74 - Sinal Recebido no Ponto G

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{113,5}{1270} \rightarrow \tan \theta = 0,08937$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,08937 \rightarrow \theta = 5^\circ$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 357,03^\circ - 326^\circ = 31,03^\circ$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1710–1880 MHz) é de 17.7 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ganho da Antena} &= \\ &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\ &= 17,7 - 2 - 6 \\ &= 9,7 \text{ dBi} \end{aligned}$$

4.7.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 18 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1270)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1.612.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(157,9118) \cdot (1.612.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027777}{(254.695.942,22)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027777) - 10 \log(254.695.942,22)$$

$$A_0 = -99,623245 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}} (1800 \text{ MHz } (1,27\text{km})) = 17 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{67}{200} \right)$$

$$= 20 \log 67 - 20 \log 200$$

$$= 36,5214 - 46,0205$$

$$= -9,4991 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$$= 99,623245 + 17 + 9,4991 + 3,0103 - 12$$

$$= 117,132649 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 9,7 + 0,1 - 117,132649 - 4$$

$$= -65,312649 \text{ dBm}$$

4.1.2 Modelo COST-231

$$L_{50}(\text{urbano}) =$$

$$= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d + C_M$$

$$= 46,3 + 33,9.(\log 1800) - 13,82.(\log 67) - 0,042973 + (44,9 - 6,55.1,8260).\log 1,27 + 0$$

$$= 46,3 + 110,353737 - 25,236353 - 0,042973 + 32,9397.0,103803$$

$$= 134,793650 \text{ dB}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7).h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = (1,1 \log 1800 - 0,7).1,5 - (1,56 \log 1800 - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = 4,321199 - 4,278225$$

$$a(h_{re}) = 0,042973$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 134,793650 - 2[\log 1800 - \log 28] - 5,4$$

$$= 134,793650 - 11,938552$$

$$= 122,855098 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 9,7 + 0,1 - 122,855098 - 4$$

$$= -71,035098 \text{ dBm}$$

4.8 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto H

Tabela 14 - Formulário de Coleta de dados – Ponta H

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 01/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-ALVORADA (CID:7918)
Latitude:	18° 33' 57.82" S
Longitude:	46° 31' 21.22" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.879,6 MHz
Recepção (MHz):	1.784,6 MHz
Modelo da antena:	HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	17.7 dBi
Altura da antena:	67 metros
Sinal de Tx (dBm):	46,02
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA H
Latitude:	18° 33' 22.26" S
Longitude:	46° 31' 27.10" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.784,6
Recepção (MHz):	1.879,6
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 65

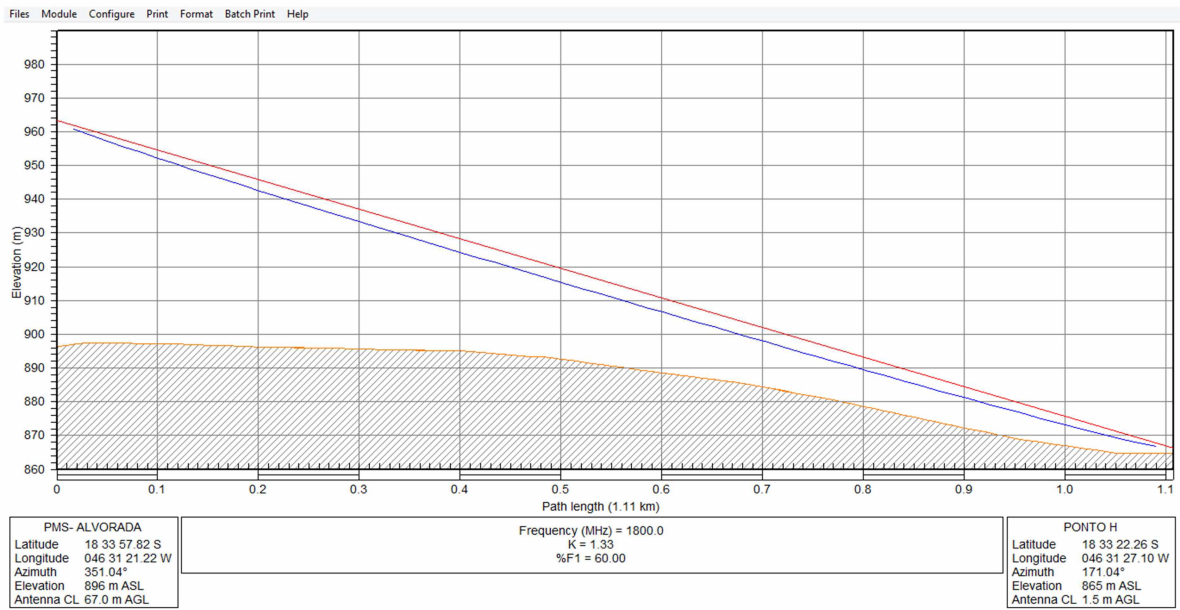


Figura 75 - Enlace PMS-ALVORADA x Ponta H

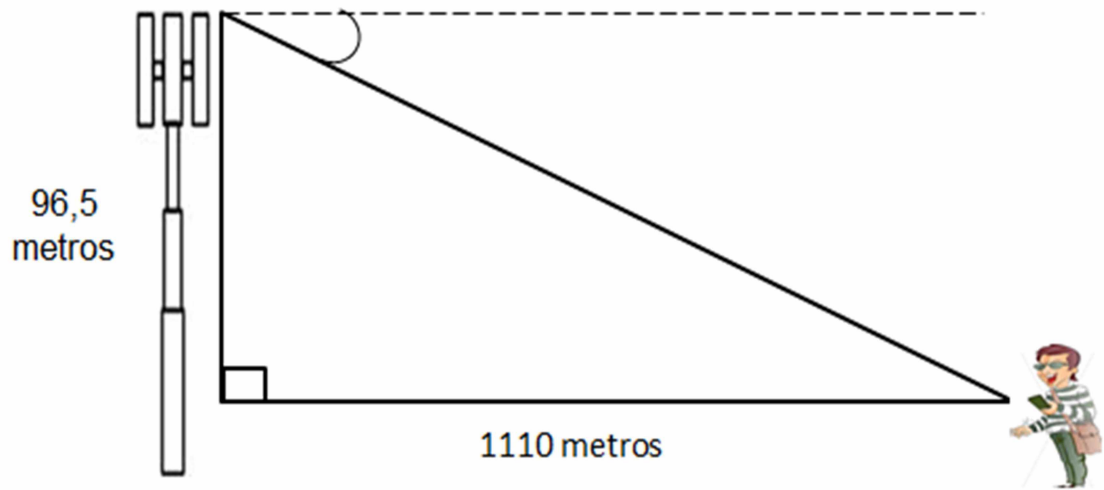


Figura 76 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-ALVORADA em relação ao Ponto H

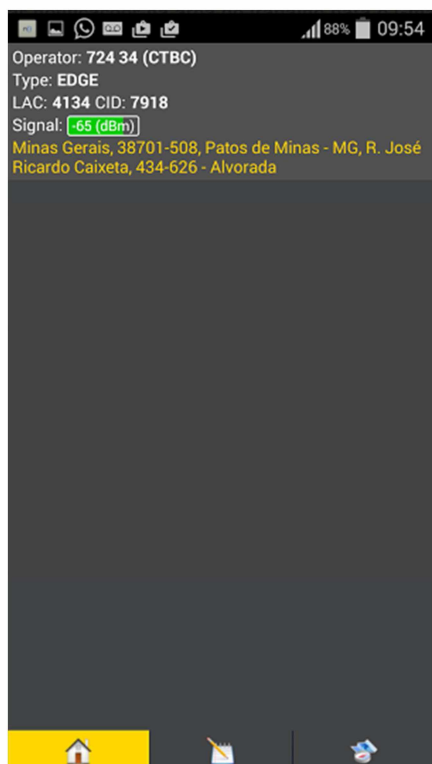


Figura 77 - Sinal Recebido captado no Ponto H

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{96,5}{1110} \rightarrow \tan \theta = 0,08693$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,08693 \rightarrow \theta = 5^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 351,04^{\circ} - 326^{\circ} = 25,04^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo HBXX-6516DS-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 2, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1710–1880 MHz) é de 17.7 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ganho da Antena} &= \\ &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\ &= 17,7 - 2 - 4 \\ &= 11,7 \text{ dBi} \end{aligned}$$

4.8.1 Modelo de Okumura

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 18 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1110)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(12,5663)^2 \cdot (1.232.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166666)^2}{(157,9118) \cdot (1.232.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027777}{(194.563.128,78)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027777) - 10 \log(194.563.128,78)$$

$$A_0 = -98,453630 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (1,11\text{km})) = 16 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{67}{200} \right)$$

$$= 20 \log 67 - 20 \log 200$$

$$= 36,5214 - 46,0205$$

$$= -9,4991 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$$= 98,453630 + 16 + 9,4991 + 3,0103 - 12$$

$$= 114,963034 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 11,7 + 0,1 - 114,963034 - 4$$

$$= -61,143034 \text{ dBm}$$

4.8.2 Modelo COST-231

$$L_{50}(\text{urbano}) =$$

$$= 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})).\log d + C_M$$

$$= 46,3 + 33,9.(\log 1800) - 13,82.(\log 67) - 0,042973 + (44,9 - 6,55.1,8260).\log 1,11 + 0$$

$$= 46,3 + 110,353737 - 25,236353 - 0,042973 + 32,9397.0,0453229$$

$$= 132,867336 \text{ dB}$$

- Fator de Correção da Antena Móvel pelo Método Hata

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7) \cdot h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = (1,1 \log 1800 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \log 1800 - 0,8)$$

$$a(h_{re}) = 4,321199 - 4,278225$$

$$a(h_{re}) = 0,042973$$

- Perda no caminho em uma área suburbana com base no modelo HATA:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(f_c / 28 \right) \right]^2 - 5,4$$

$$= 132,867336 - 2[\log 1800 - \log 28] - 5,4$$

$$= 132,867336 - 11,938552$$

$$= 120,928784 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida

$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 46,02 + 11,7 + 0,1 - 120,928784 - 4$$

$$= -67,108784 \text{ dBm}$$

4.9 Resultados

Os modelos de propagação do sinal através dos métodos de Okumura, Hata e COST-231 demonstraram após as coletas de dados em conjunto com os softwares e cálculos matemáticos, que os mesmos possuem características diferentes de acordo com a situação imposta aos sistemas celulares testados.

A Figura 78 relaciona o Sinal Recebido coletado pelo software *Netmonitor* associado aos cálculos matemáticos com base no modelo de propagação de Okumura. Através dos cálculos matemáticos anteriores, percebe-se que a equação

da perda no espaço livre $A_0 = \left[\lambda^2 / (4\pi)^2 d^2 \right]$, é influenciada diretamente pela

frequência central, porém representada na equação anterior pelo comprimento de onda, sendo quanto menor a frequência, menor será a perda no espaço livre, proporcionando uma melhora no sinal recebido em questão.

Nota-se que a aproximação dos resultados foram ótimas, assim conclui-se a confiabilidade e a precisão do software escolhido para os testes em laboratório. A maior variação entre os sinais recebidos ocorreu no ponto G no valor de 4,312649 dB e a menor no ponto B no valor de 2,0415 dB.

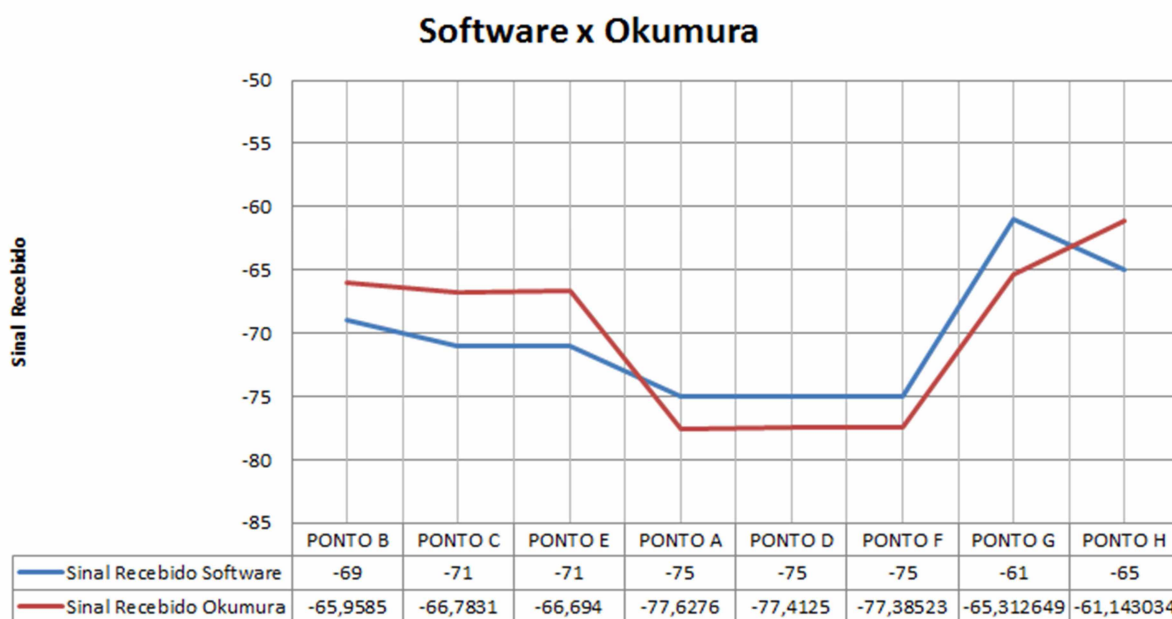


Figura 78 - Valores Sinal Recebido Software x Okumura

Entretanto, ao comparar os valores coletados pelo software e os cálculos matemáticos realizados com base no modelo de propagação Hata, observa-se uma grande diferença entre os valores estudados. Isto não demonstra que o software utilizado não possui confiabilidade ou precisão, mas reafirma que o método de Okumura está entre os modelos mais simples e confiáveis modelos de propagação, conforme Figura 79.

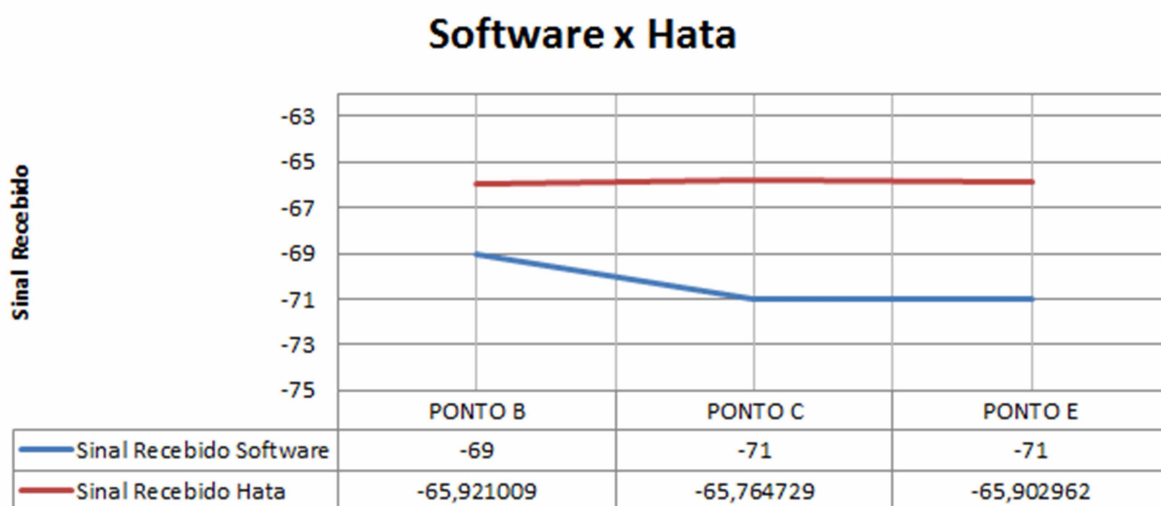


Figura 79 - Valores Sinal Recebido Software x Hata

Os resultados entre o Sinal Recebido do software com o modelo COST-231, conforme a Figura 80, obtiveram uma maior variação entre todos os modelos propostos neste trabalho, isto mostra que este método não é aconselhável para medições dos sistemas celulares.

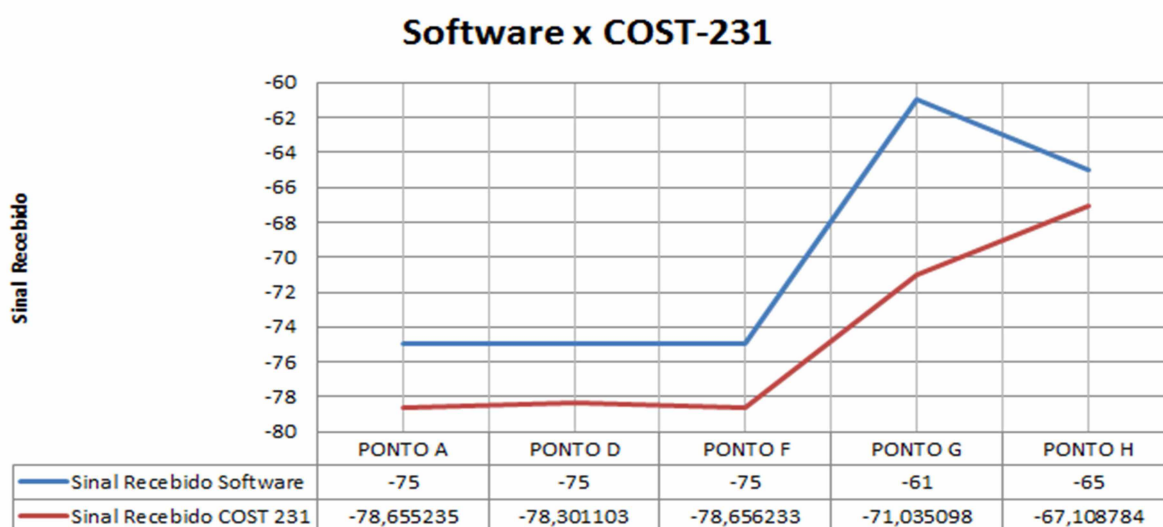


Figura 80 - Valores Sinal Recebido Software x Cost-231

A partir da Figura 81, compara-se o Sinal Recebido coletado pelo software em conjunto com os modelos de Okumura e Hata para os links de sistemas celulares que são operados na faixa de frequência de 900 MHz, pois o modelo Cost-231 não pode ser abordado nesta faixa de frequência. Nesta análise, tem-se a precisão do software em relação ao método Okumura distante do modelo de propagação Hata.

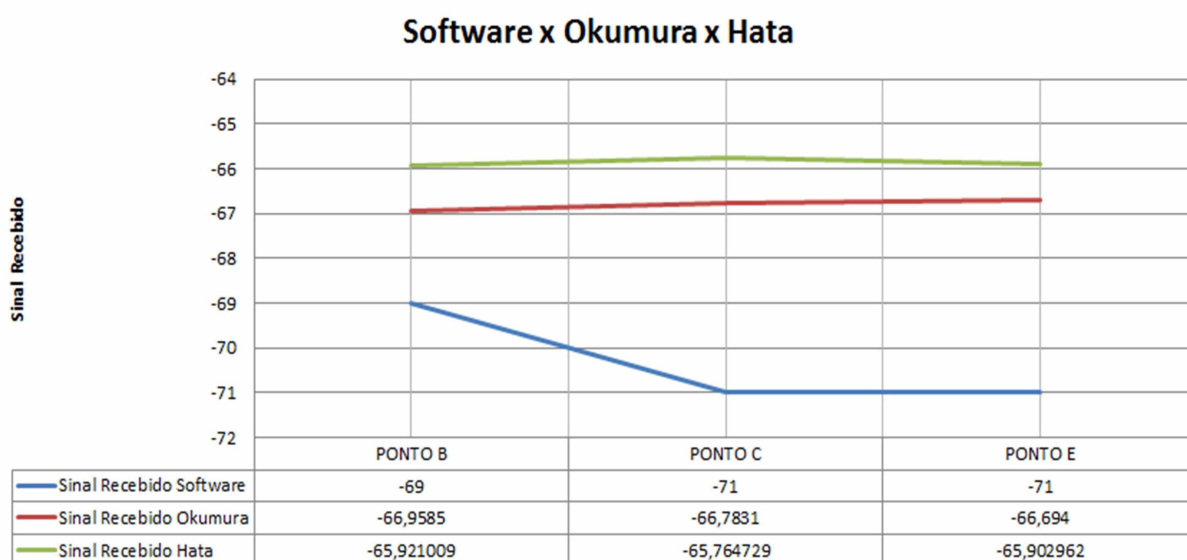


Figura 81 - Valores Sinal Recebido Software x Okumura x Hata

Através da Figura 82, o modelo de propagação de COST-231 operado na faixa de frequência de 1.800 MHz está bastante distante dos valores de recepção quando comparados ao software e o modelo de Okumura.

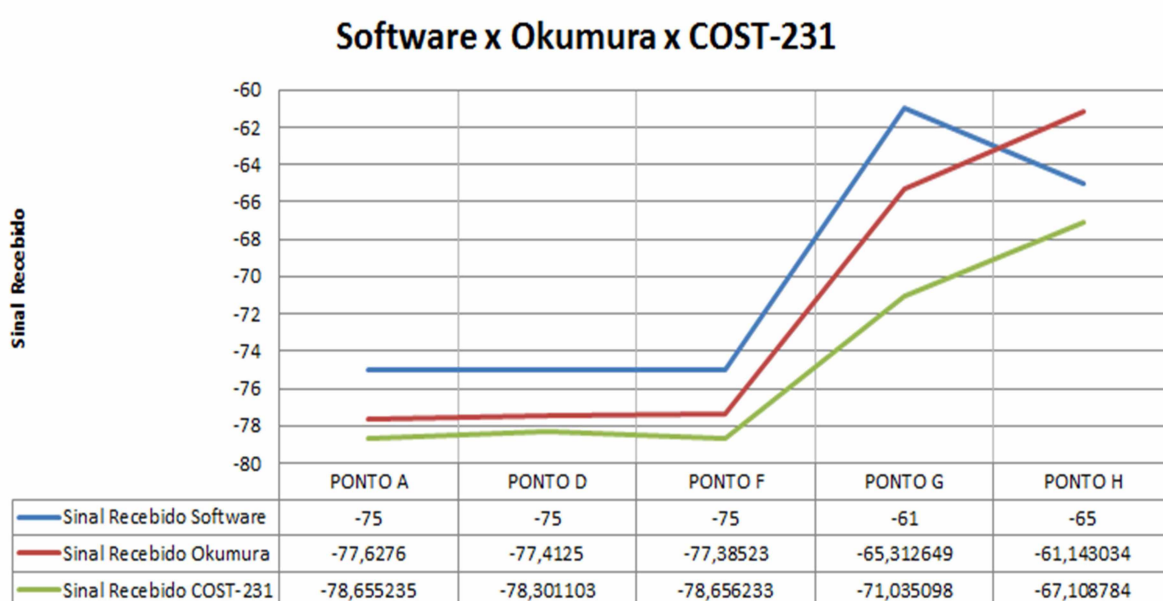


Figura 82 Valores Sinal Recebido Software x Okumura x Cost-231

Os resultados obtidos através dos testes anteriores nos mostra que o modelo de propagação de Okumura proporciona valores próximos aos Sinais Recebidos coletados, sendo o pior caso no valor de 4,312649 dB de diferença entre o valor calculado e coletado.

Capítulo 5

Resultados e Discussão – Modelo Okumura

O modelo de propagação desenvolvido por Okumura é considerado um método para cálculo de propagação do Sinal Recebido simples, porém o mais preciso quando comparados a outros métodos desenvolvidos com o mesmo propósito [11].

Assim, de acordo com referências bibliográficas, este modelo foi basicamente desenvolvido em dados medidos, e não oferece qualquer explicação analítica, conforme mencionado no livro Comunicações sem fio [11].

A proposta de estudo neste Capítulo 5 é devido a limitação dos métodos de propagação de sinal a links com distâncias menores que 1 km, pois as comunicações móveis urbanas efetuam-se em enlaces entre as estações base com as estações móveis em ordem de centenas de metros, o qual os cálculos não podem ser realizados devido a limitação imposta pelo método de Okumura por exemplo.

A fim de extrapolar os limites de cálculos em relação a distância do link em enlaces de comunicações móveis, da mesma forma que o modelo de propagação de Okumura foi desenvolvido em medições, novos cálculos serão realizados em links menores que 1 km para o estudo da variação do sinal de recepção em área suburbana.

O modelo de propagação de Okumura será utilizado para este estudo devido ao capítulo anterior apresentar por meio do aplicativo *Netmonitor* e cálculos matemáticos, que esse modelo realmente é o mais preciso e está bem próximo em relação aos valores em dBm coletados.

A determinação da área foi escolhida com o propósito da variação de locais para coleta de dados em torno de uma estação em específica, porém os estudos

serão concentrados aos links que efetuarem com a antena do mesmo setor para a diminuição de variáveis, a fim da otimização e precisão do estudo em questão.

O CELLID 7922 coletado pelo software *Netmonitor* pertence a uma estação da operadora Algar Telecom denominada de PMS-DIVINO JOSE, onde é caracterizada como um site *roof top*, devido a instalação da antena estar em cima do telhado no alto de um prédio comercial no centro de Patos de Minas-MG. A antena do link em questão é do fabricante Andrew do Brasil, modelo TBXLHA-6565B-VTM e está instalada a uma altura de 37 metros e possui um ganho nominal de 15.6 dBi de acordo com o Anexo 4 desta tese, quando o link opera em uma faixa de frequência de 1.710 MHz-1.880 MHz.

A conexão entre antena e transmissor também é realizada pelo mesmo cabo 7/8" mencionado no Capítulo 3 e considera-se neste caso uma atenuação de apenas 2 dB devido ao menor comprimento utilizado.

No modelo de propagação de Okumura, o cálculo da atenuação mediana relativa ao espaço livre $A_{MU}(f,d)$ para um terreno quase plano é limitado a distâncias de 1 a 100 km. Assim, através do gráfico desenvolvido por Okumura conforme a Figura 22, tem-se que o valor mínimo neste gráfico para a atenuação mediana relativa ao espaço livre é de 10 dB e considera-se também $G_{ÁREA}$ igual a 12 para frequência de 1,8 GHz e área suburbana

. Assim, considera-se nesses estudos, estes valores mínimos para a análise do fator de correção que deverá ser adicionado ao valor final de recepção para o alcance de uma precisão desejável.

O estudo no Capítulo 5 será abordado por meio de 25 pontos distribuídos no centro de Patos de Minas-MG, conforme a Figura 83. A estação rádio-base é mostrada através da Figura 84 e por meio da Figura 85 tem-se a rua principal em estudo mostrando a presença de edifícios.

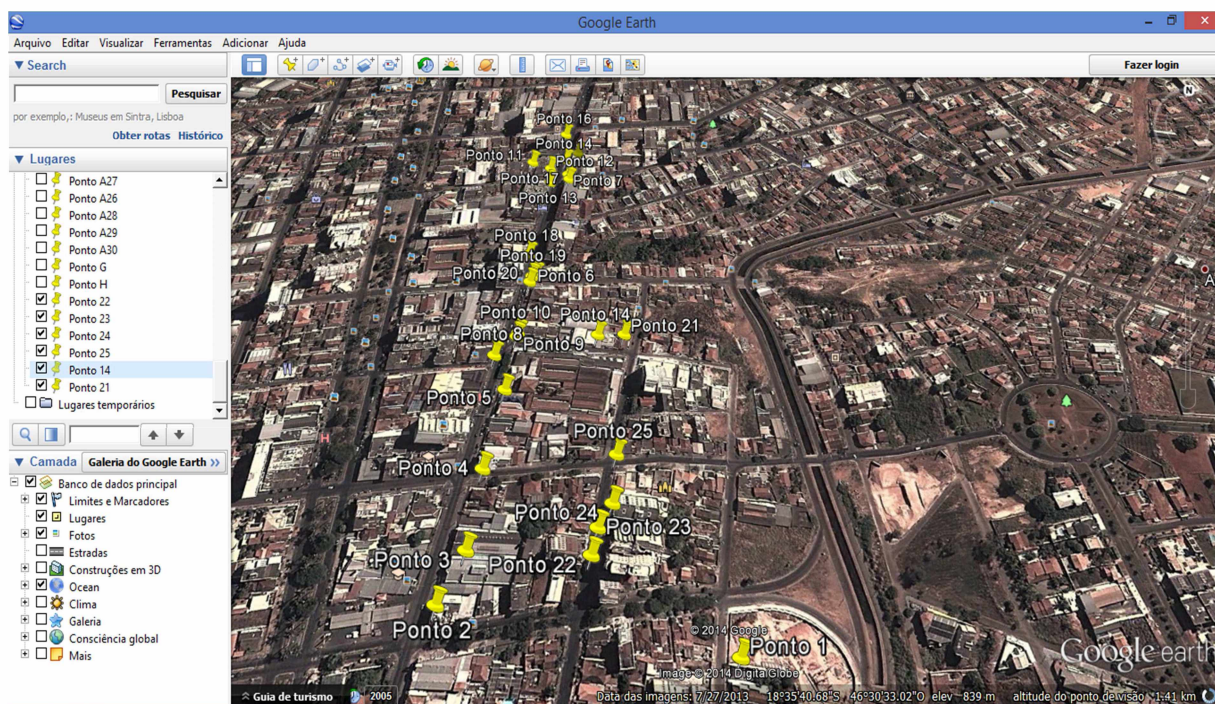


Figura 83 - Visualização via Google Earth de 25 pontos




Figura 84 - Estação PMS-DIVINO JOSE



Figura 85 - Rua Major Gote (Localização dos Pontos)

5.1 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 1

Tabela 15 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 1

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 1
Latitude:	18° 35' 46.57" S
Longitude:	46° 30' 45.59" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

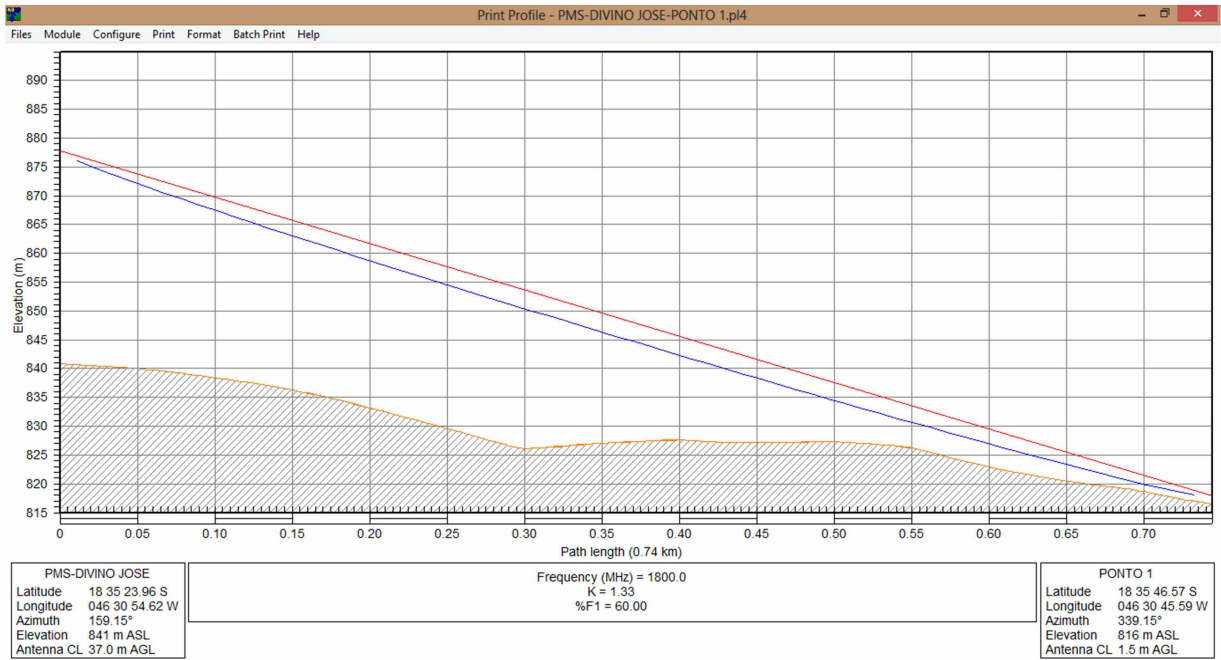


Figura 86 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 1

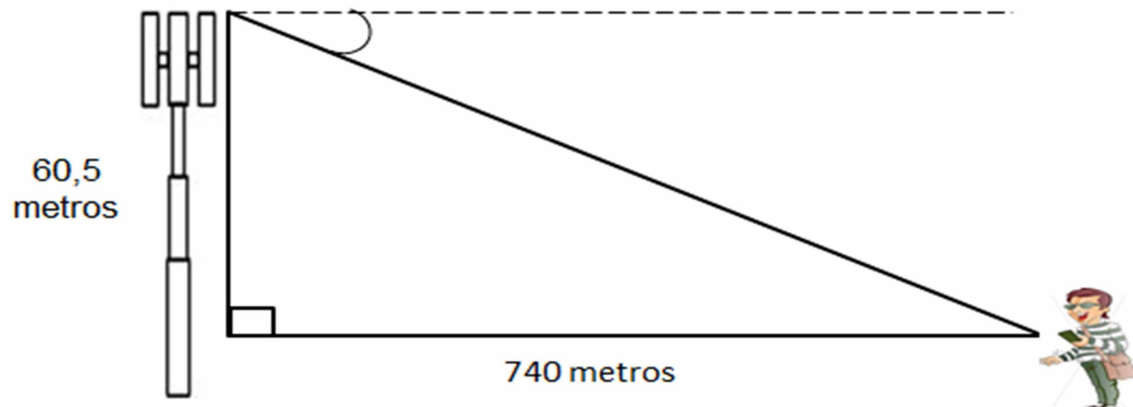


Figura 87 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 1

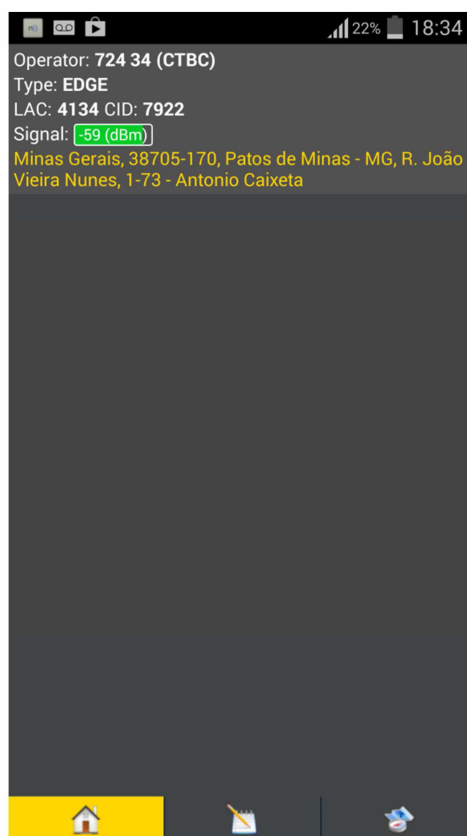


Figura 88 - Sinal Recebido no Ponto 1

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{60,5}{740} \rightarrow \tan \theta = 0,0817567$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0817567 \rightarrow \theta = 5^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 159,15^{\circ} - (106)^{\circ} = 53,15^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

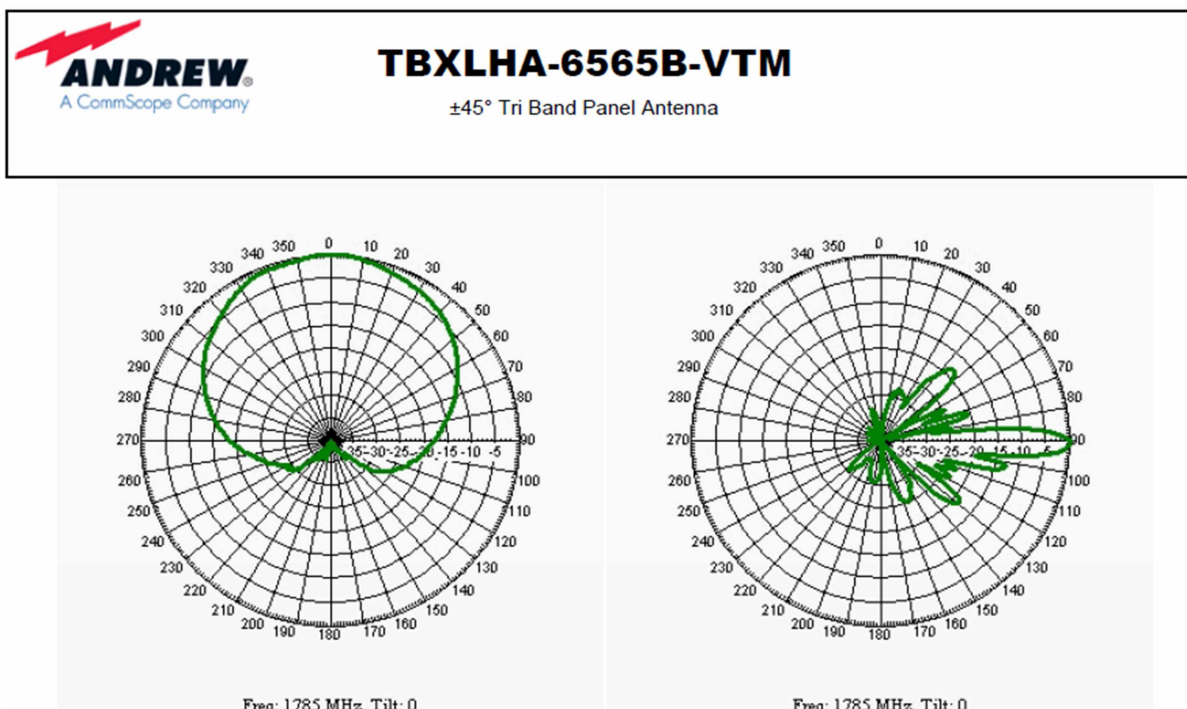


Figura 89 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 7 - 3 \\
 &= 5,6 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (740)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (547.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (547.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(86.472.501,68)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(86.472.501,68)$$

$$A_0 = -94,931805 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (740 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 95,499713 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 110,598671 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 + 5,6 + 0,1 - 110,598671 - 2 \\
 &= -59,098671 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.2 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 2

Tabela 16 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 2

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 2
Latitude:	18° 35' 45.77" S
Longitude:	46° 30' 53.57" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 65

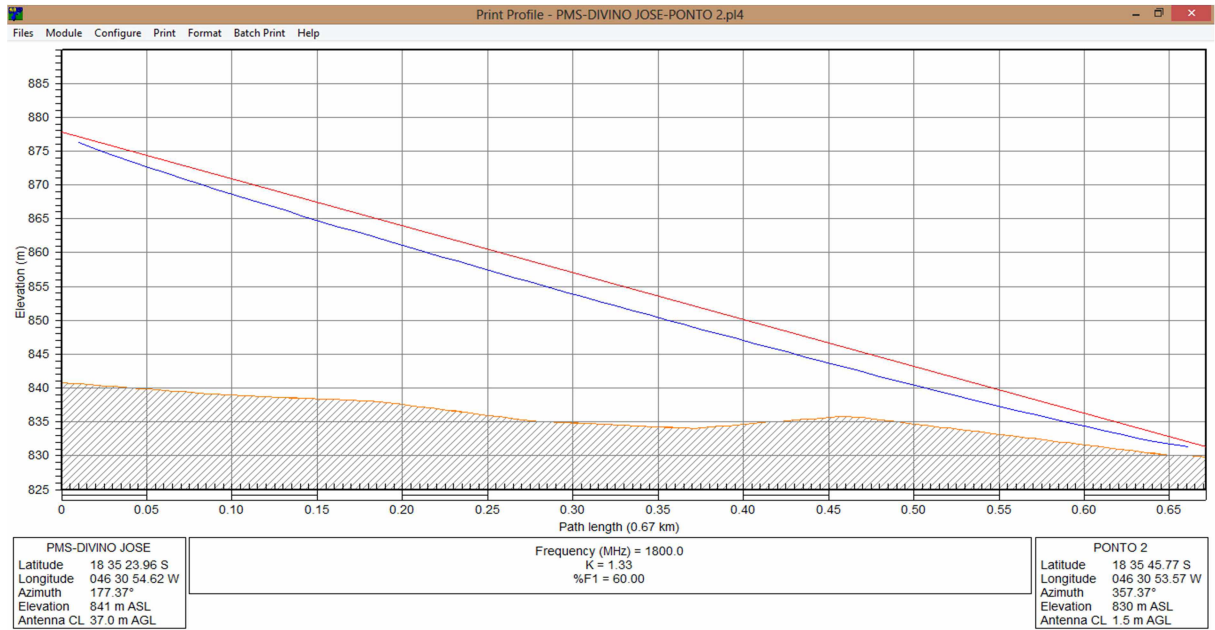


Figura 90 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 2

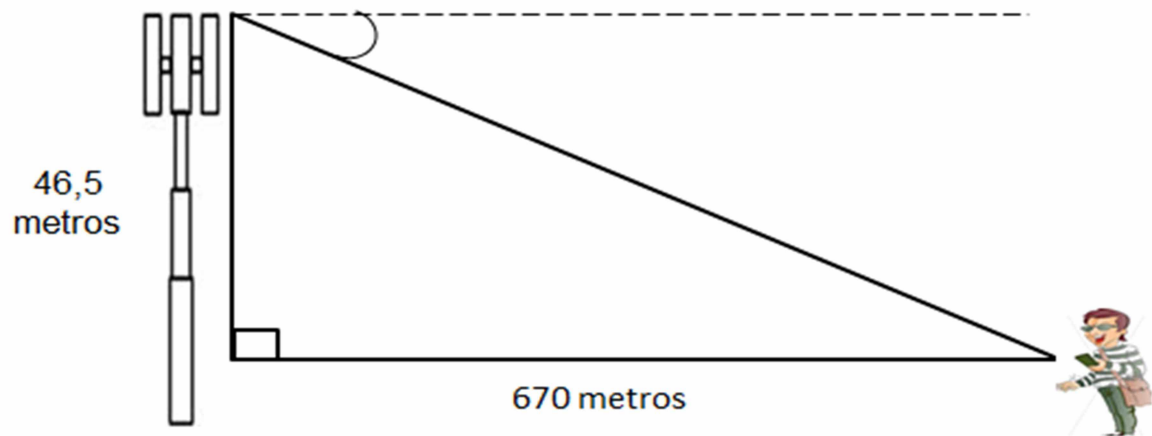


Figura 91 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 2

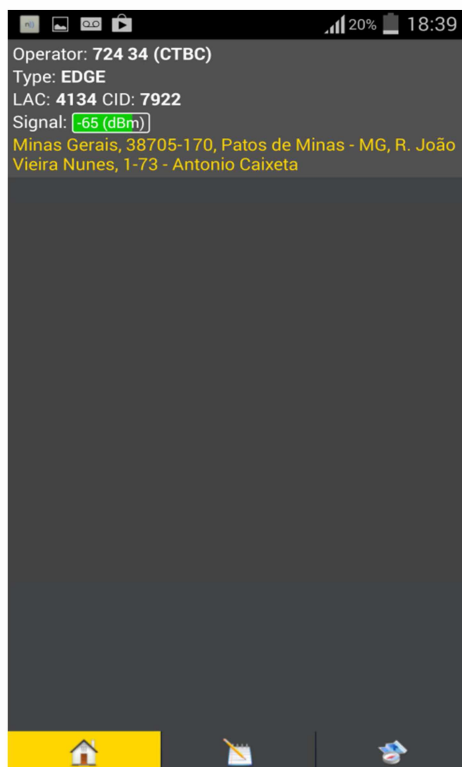


Figura 92 - Sinal Recebido no Ponto 2

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{46,5}{670} \rightarrow \tan \theta = 0,069402$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,069402 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 177,37^{\circ} - (106)^{\circ} = 71,37^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

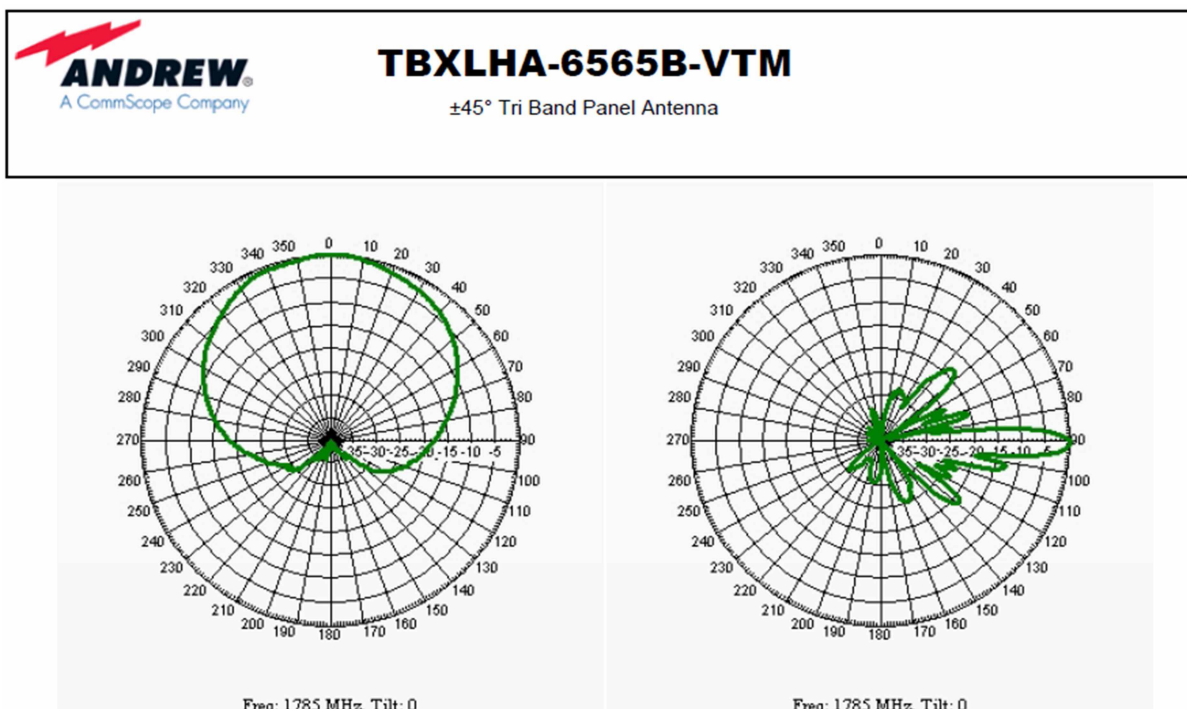


Figura 93 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 12 - 2 \\
 &= 1,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (670)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (448.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (448.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(70.886.607,02)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(70.886.607,02)$$

$$A_0 = -94,068667 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (670 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log\left(\frac{h_{\text{te}}}{200}\right)$$

$$= 20 \log\left(\frac{37}{200}\right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log\left(\frac{h_{\text{re}}}{3}\right)$$

$$= 10 \log\left(\frac{1,5}{3}\right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 94,068667 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 109,735532 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

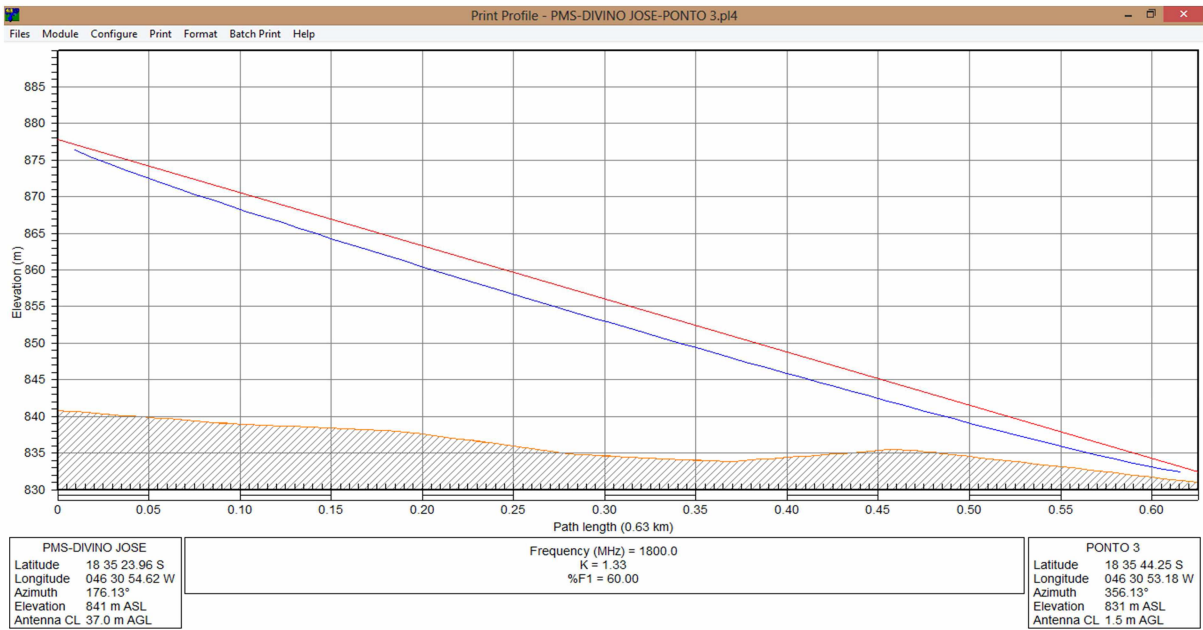
- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 + 1,6 + 0,1 - 109,735532 - 2 \\
 &= -62,235532 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.3 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 3

Tabela 17 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 3

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 3
Latitude:	18° 35' 44.25" S
Longitude:	46° 30' 53.18" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59



igura 94 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 3

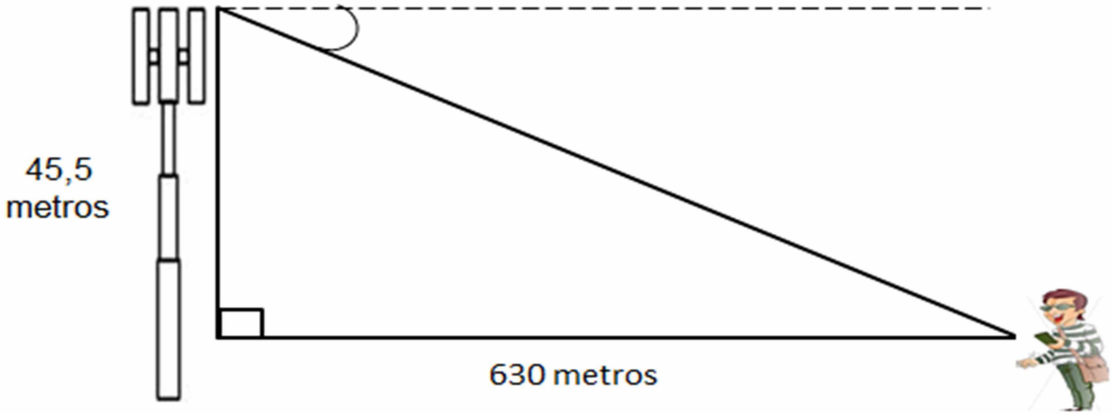


Figura 95 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 3

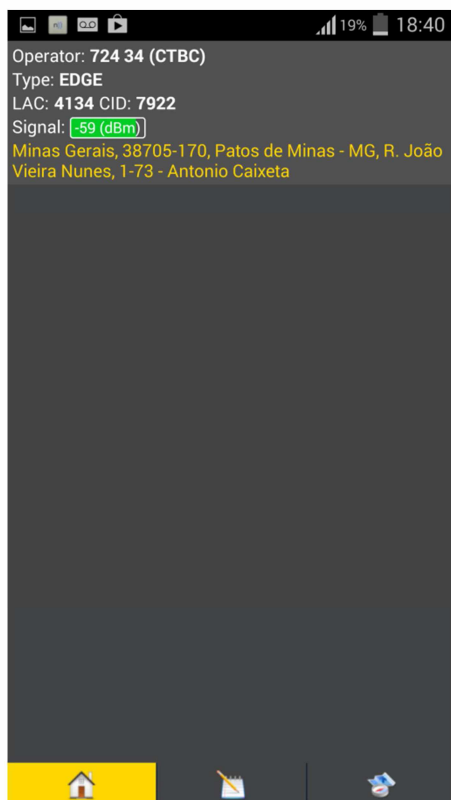


Figura 96 - Sinal Recebido no Ponto 3

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{45,5}{630} \rightarrow \tan \theta = 0,072222$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,072222 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 176,13^{\circ} - (106)^{\circ} = 70,13^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

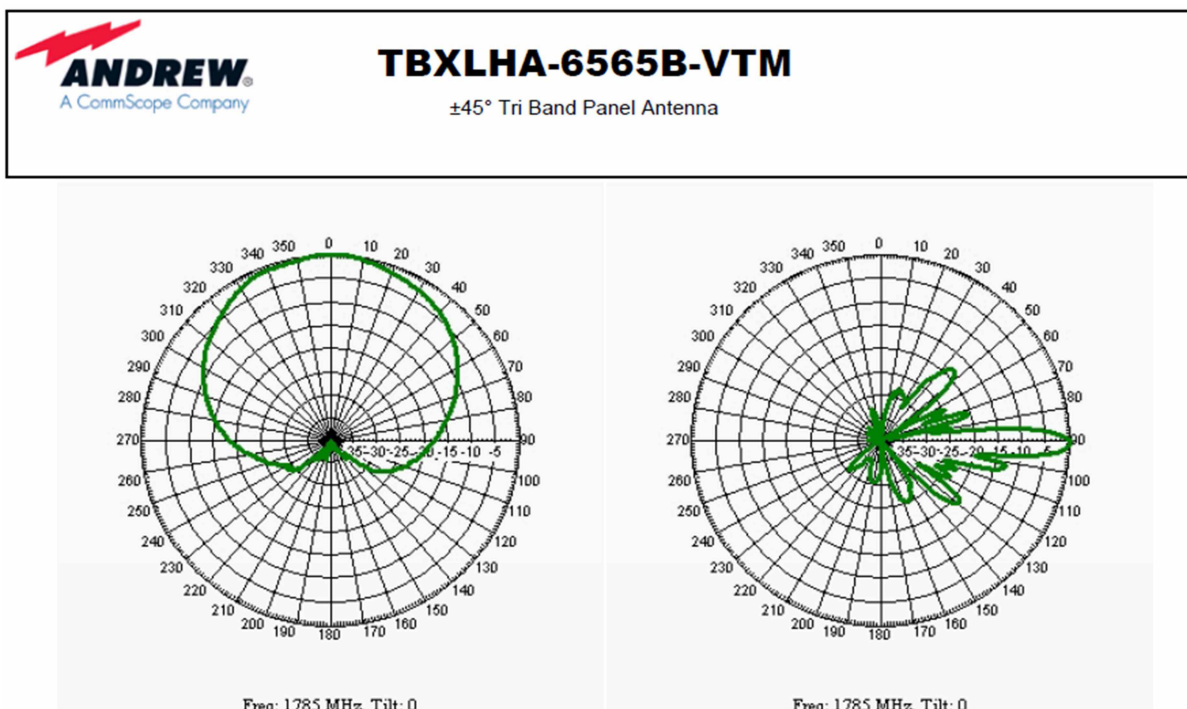


Figura 97 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 12 - 2 \\
 &= 1,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (630)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (396.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (396.900)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(62.675.193,42)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(62.675.193,42)$$

$$A_0 = -93,533982 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (630 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log\left(\frac{h_{\text{te}}}{200}\right)$$

$$= 20 \log\left(\frac{37}{200}\right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log\left(\frac{h_{\text{re}}}{3}\right)$$

$$= 10 \log\left(\frac{1,5}{3}\right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}}$$

$$= 93,533982 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12$$

$$= 109,200847 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 47,8 + 1,6 + 0,1 - 109,200847 - 2$$

$$= -61,700847 \text{ dBm}$$

5.4 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 4

Tabela 18 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 4

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 4
Latitude:	18° 35' 41.71" S
Longitude:	46° 30' 53.35" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

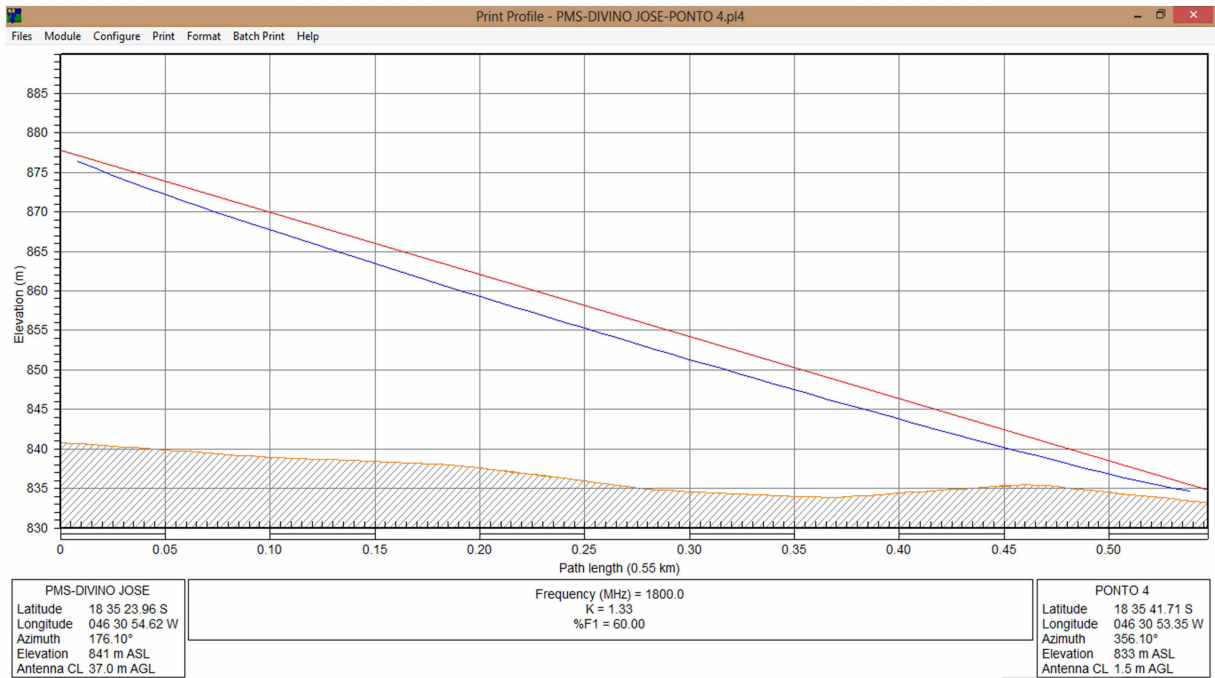


Figura 98 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 4

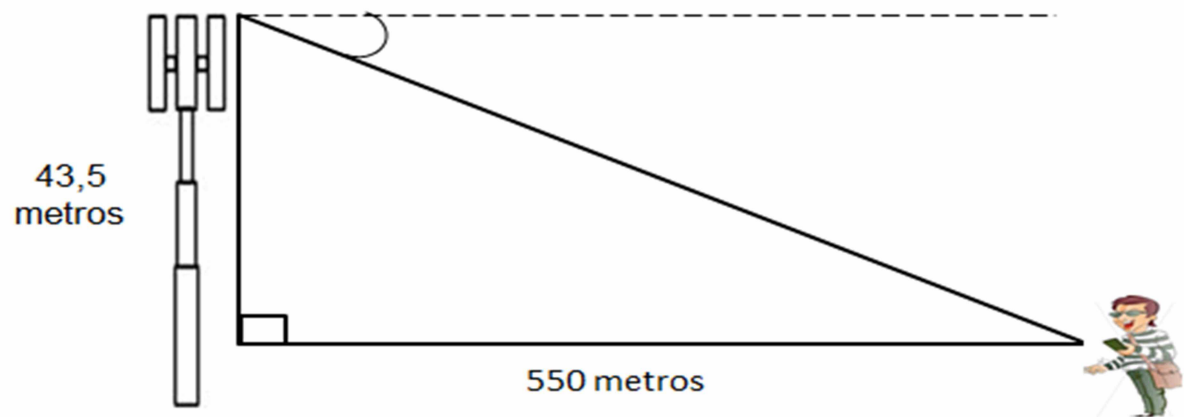


Figura 99 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 4

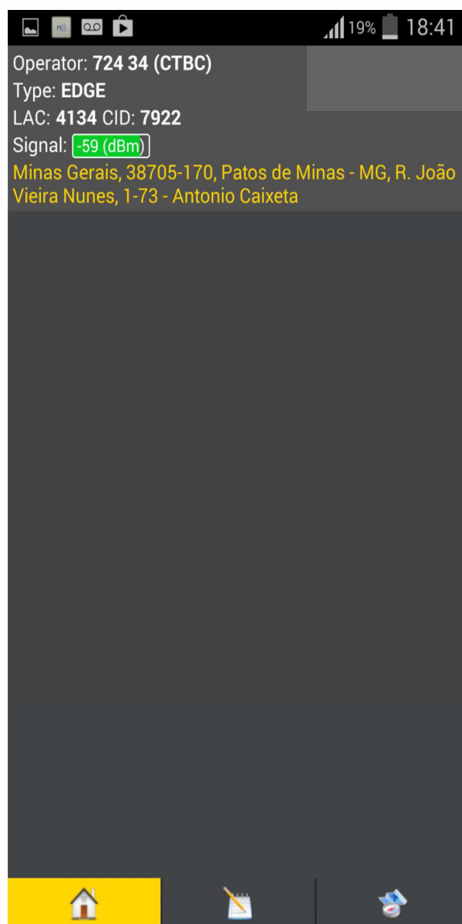


Figura 100 - Sinal Recebido no Ponto 4

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{43,5}{550} \rightarrow \tan \theta = 0,0790909$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0790909 \rightarrow \theta = 5^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 176,10^{\circ} - (106)^{\circ} = 70,13^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

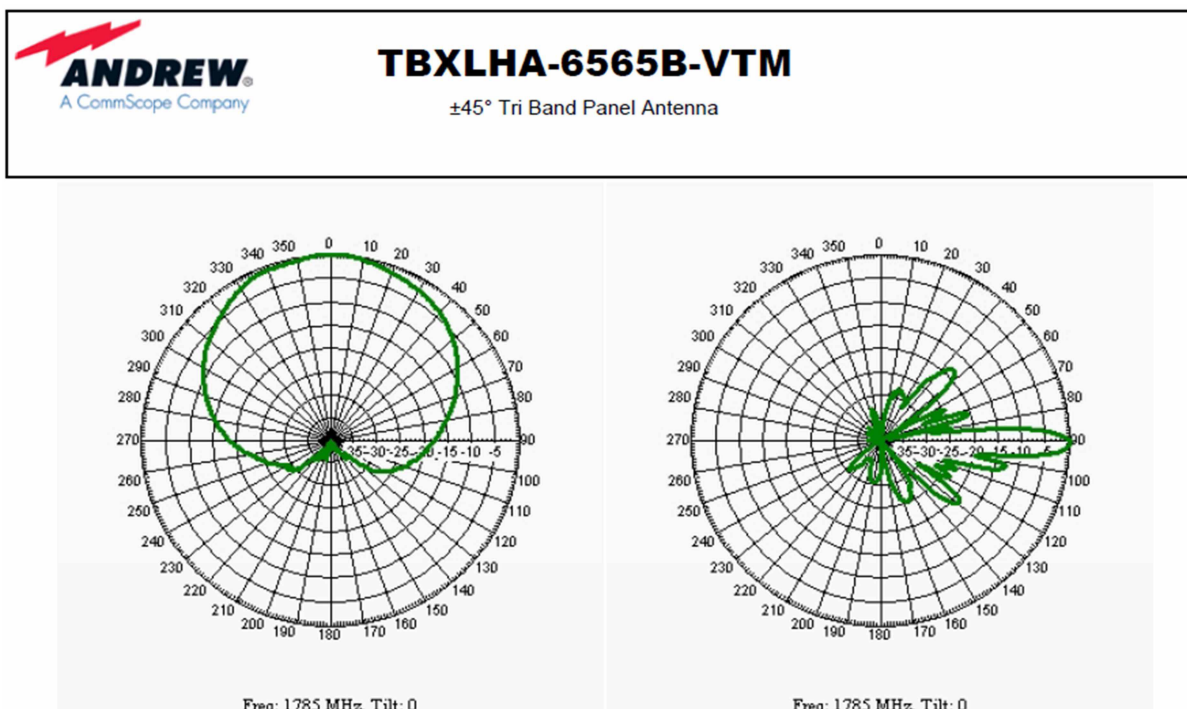


Figura 101 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 12 - 3 \\
 &= 0,6 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(3 \cdot 10^8 / 18 \cdot 10^8 \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (550)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (302.500)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (302.500)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(47.768.319,5)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(47.768.319,5)$$

$$A_0 = -92,354425 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (550 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 92,354425 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 108,021290 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 + 0,6 + 0,1 - 108,021290 - 2 \\
 &= -61,521290 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.5 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 5

Tabela 19 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 5

<u>Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis</u>	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 5
Latitude:	18° 35' 38.78" S
Longitude:	46° 30' 53.38" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

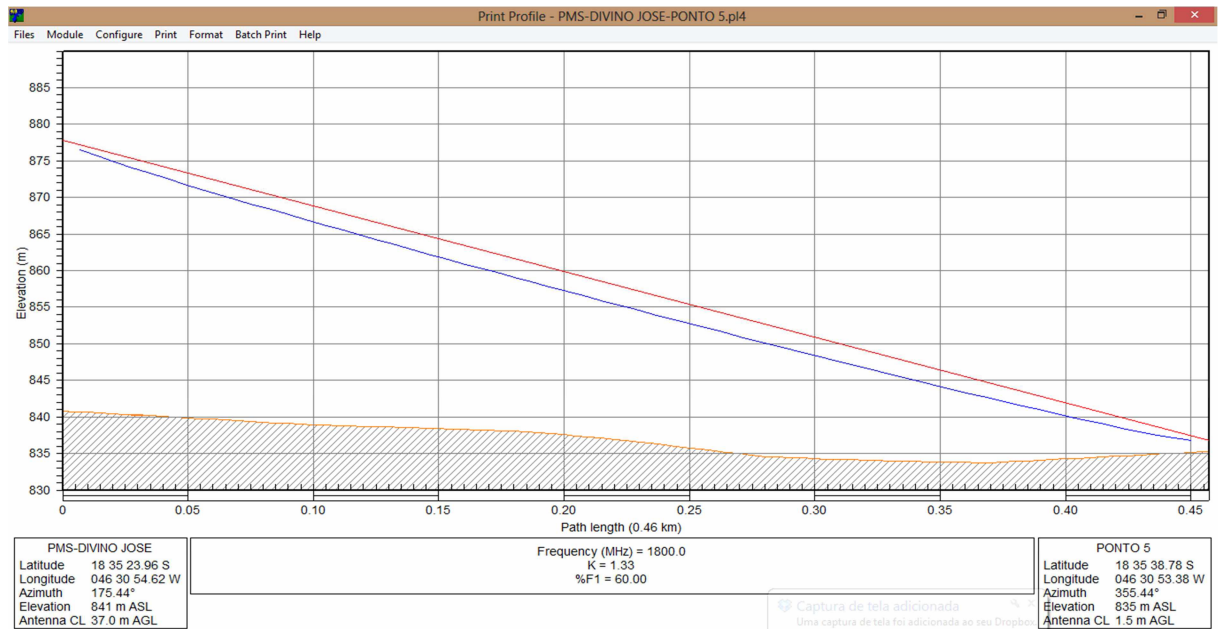


Figura 102 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 5

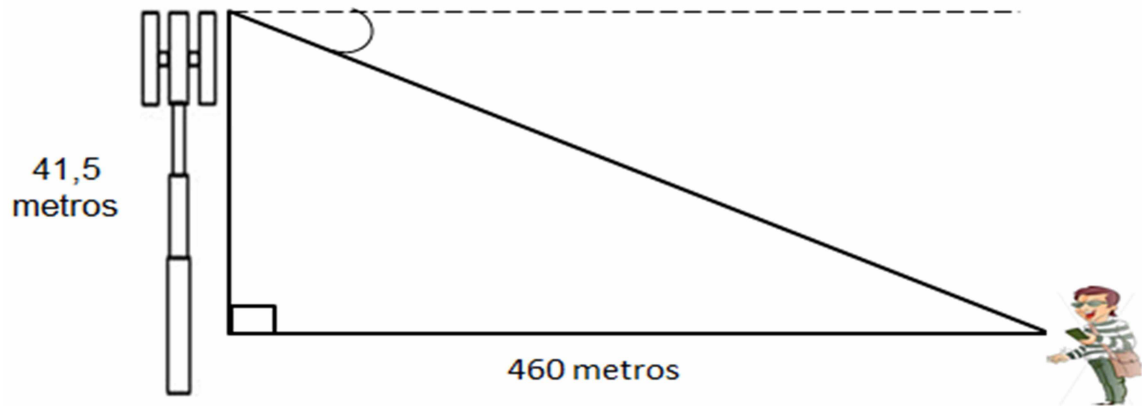


Figura 103 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 5

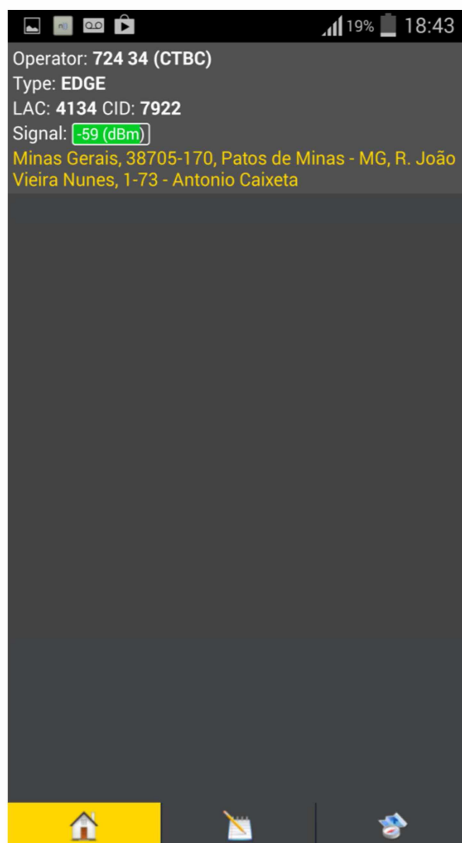


Figura 104 - Sinal Recebido no Ponto 5

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{41,5}{460} \rightarrow \tan \theta = 0,0790909$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0790909 \rightarrow \theta = 5^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 175,44^{\circ} - (106)^{\circ} = 69,44^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

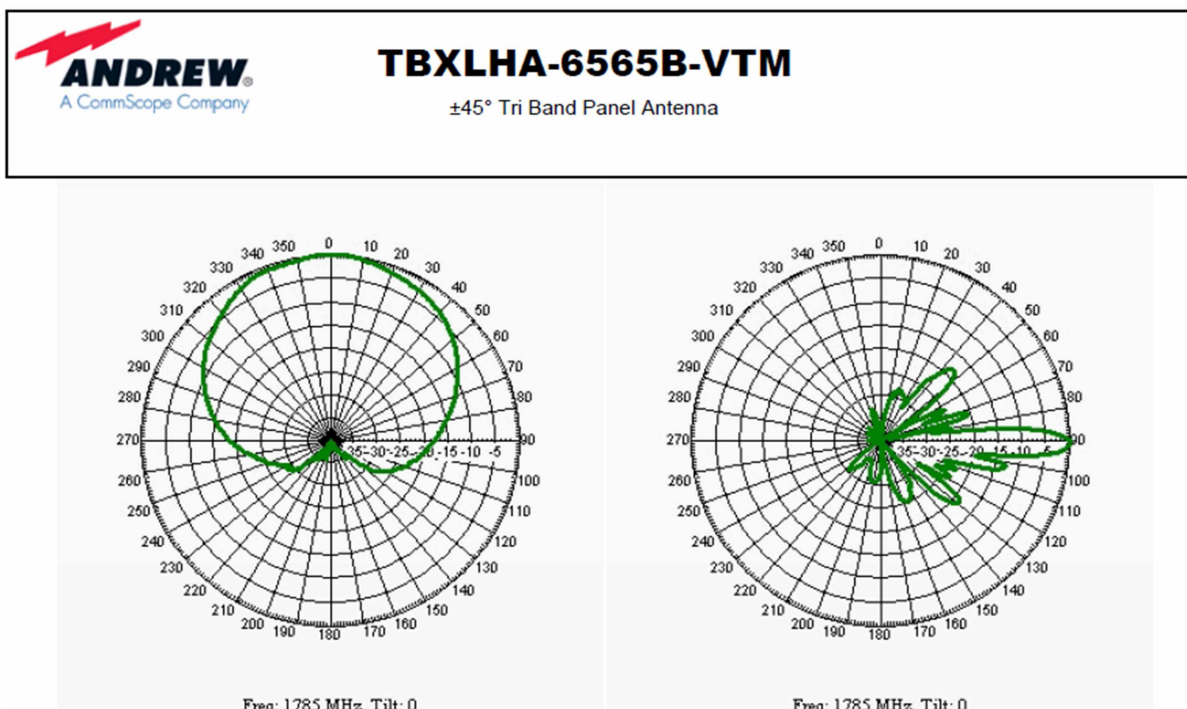


Figura 105 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganho da Antena} = \\
 & = \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 & = 15,6 - 11 - 3 \\
 & = 1,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (460)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (211.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (211.600)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(33.414.136,88)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(33.414.136,88)$$

$$A_0 = -90,802327 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (460 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 90,802327 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 106,469193 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 + 1,6 + 0,1 - 106,469193 - 2 \\
 &= -58,969193 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.6 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 6

Tabela 20 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 6

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 6
Latitude:	18° 35' 33.47" S
Longitude:	46° 30' 53.65" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

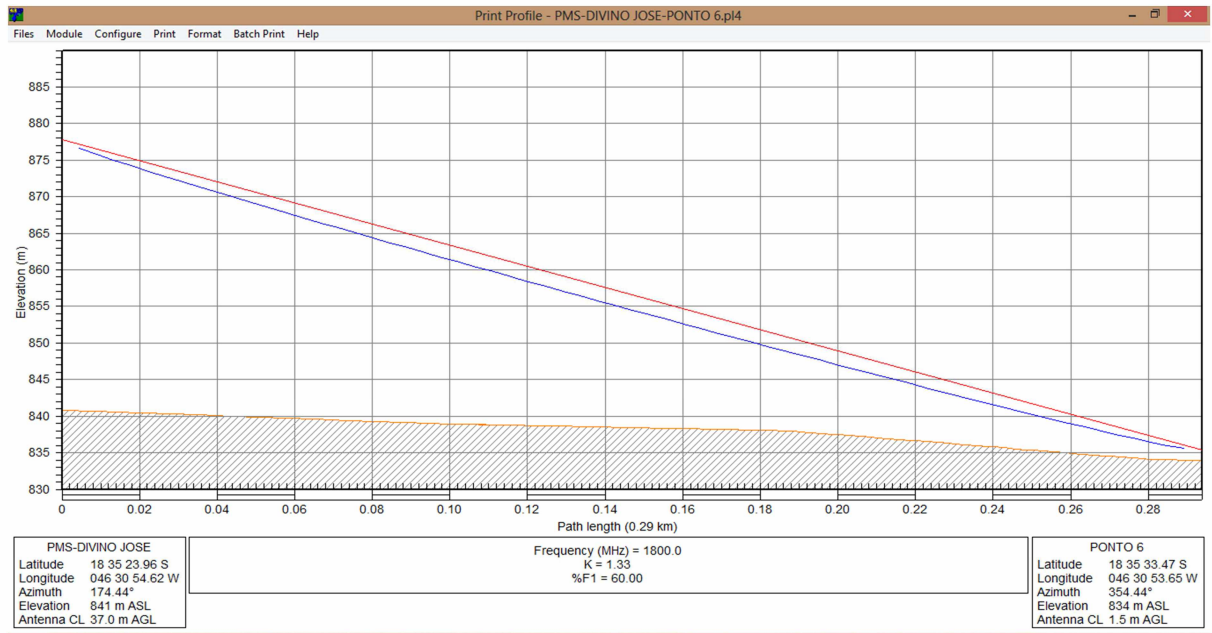


Figura 106 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 6

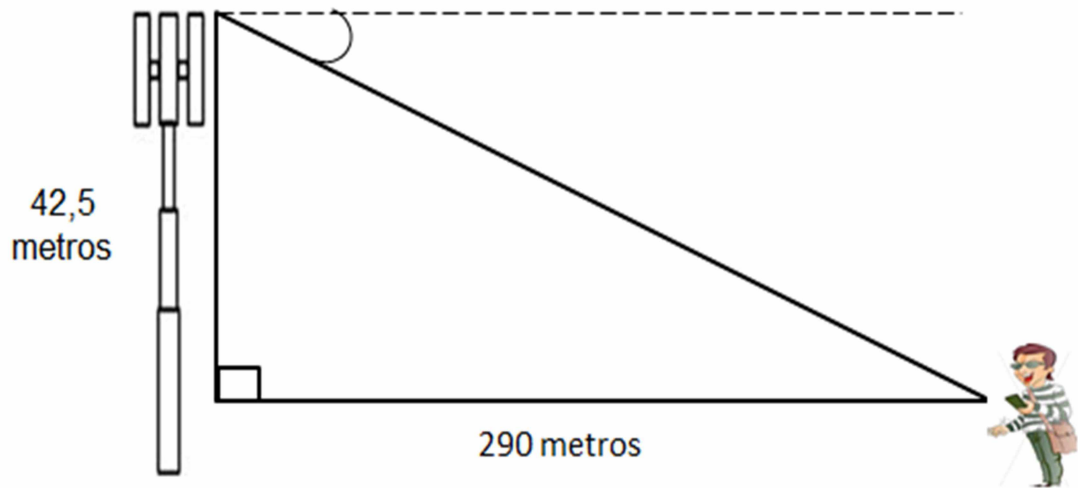


Figura 107 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 6

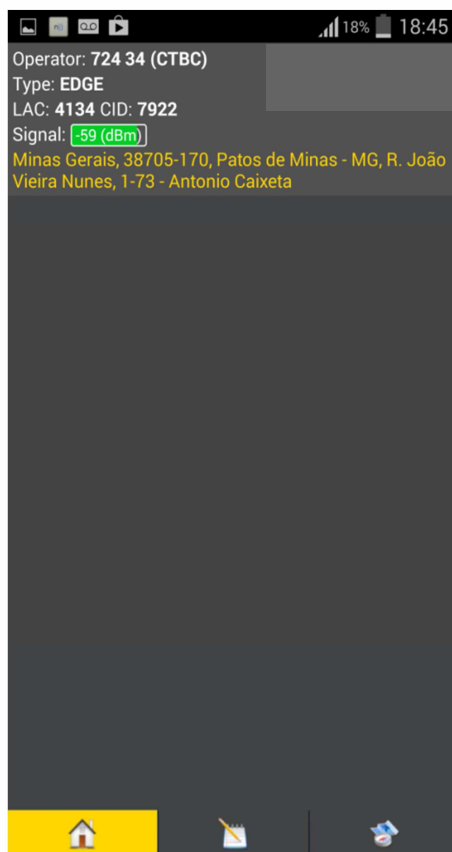


Figura 108 - Sinal Recebido no Ponto 6

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{42,5}{290} \rightarrow \tan \theta = 0,146551$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,146551 \rightarrow \theta = 8^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 174,44^{\circ} - (106)^{\circ} = 68,44^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

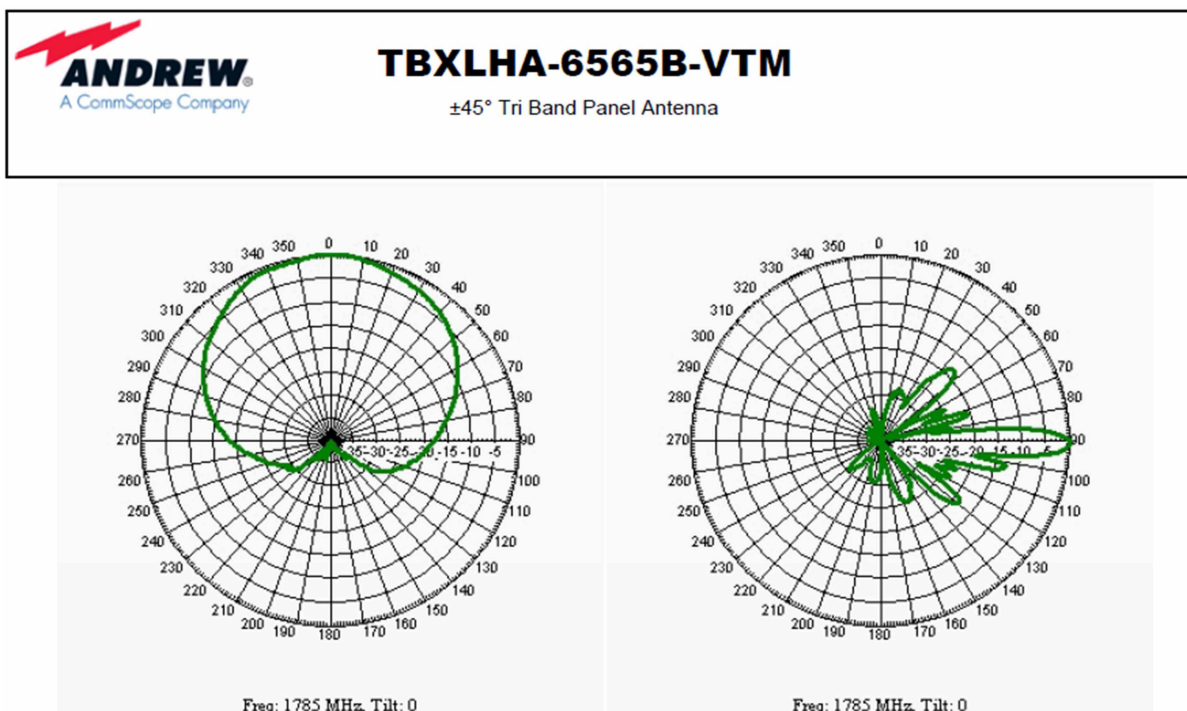


Figura 109 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganho da Antena} = \\
 & = \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 & = 15,6 - 11 - 12 \\
 & = -7,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (290)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (84.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (84.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(13.280.382,38)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(13.280.382,38)$$

$$A_0 = -86,795131 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (290 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 86,795131 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 102,461996 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 - 7,4 + 0,1 - 102,461996 - 2 \\
 &= -63,961996 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.7 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 7

Tabela 21 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 7

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 7
Latitude:	18° 35' 27.44" S
Longitude:	46° 30' 53.38" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

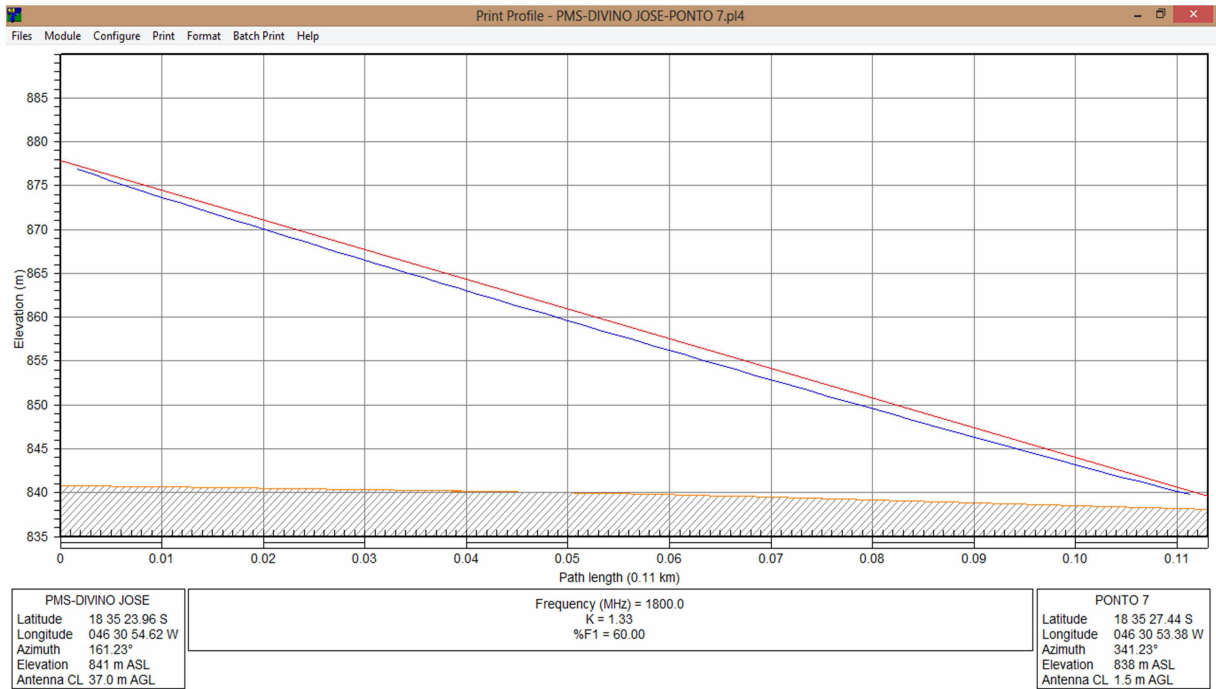


Figura 110 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 7

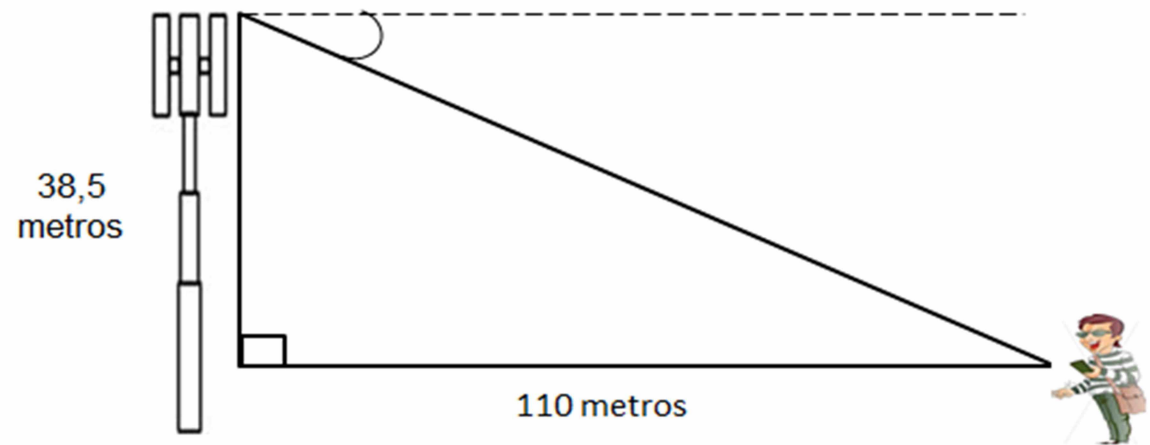


Figura 111 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 7

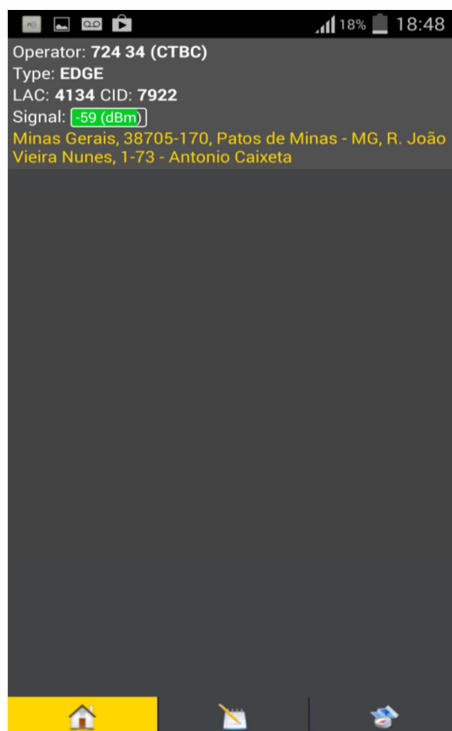


Figura 112 - Sinal Recebido no Ponto 7

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{38,5}{110} \rightarrow \tan \theta = 0,35$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,35 \rightarrow \theta = 19^\circ$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 161,23^\circ - (106)^\circ = 55,23^\circ$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

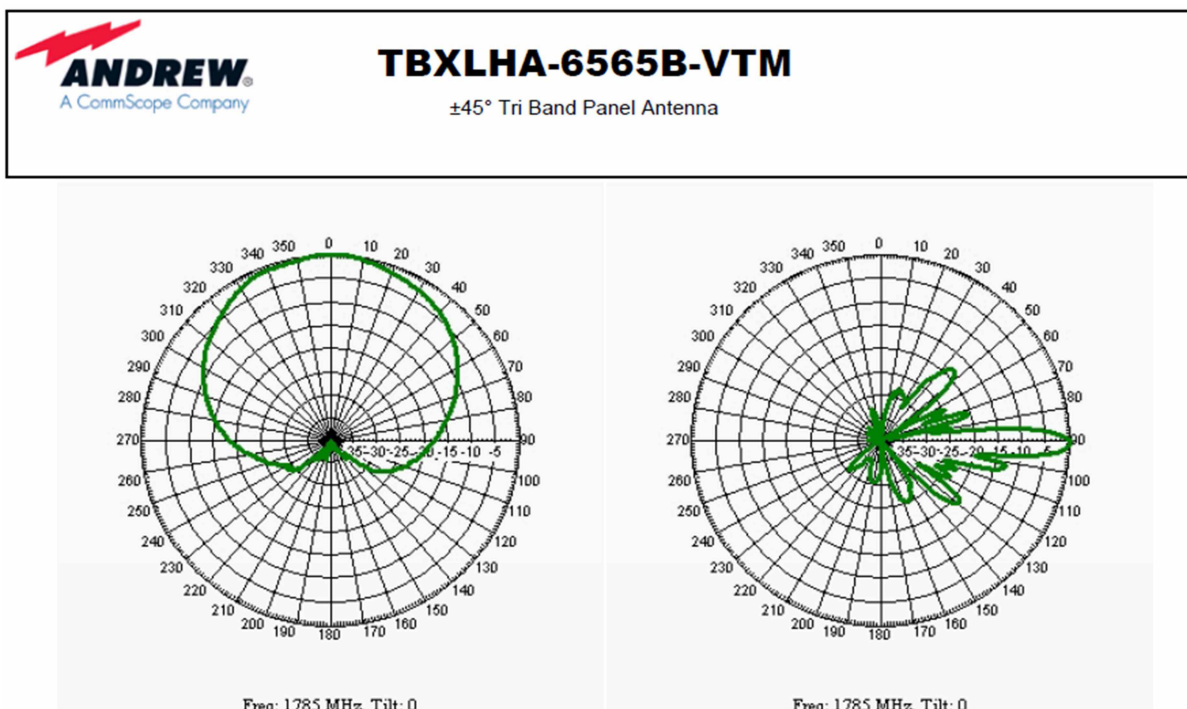


Figura 113 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 8 - 23 \\
 &= -15,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (110)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (12.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (12.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(1.910.732,78)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(1.910.732,78)$$

$$A_0 = -78,375025 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (110 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 78,375025 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 94,041890 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 - 15,4 + 0,1 - 94,041890 - 2 \\
 &= -63,541890 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.8 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 8

Tabela 22 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 8

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 8
Latitude:	18° 35' 37.34" S
Longitude:	46° 30' 54.07" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

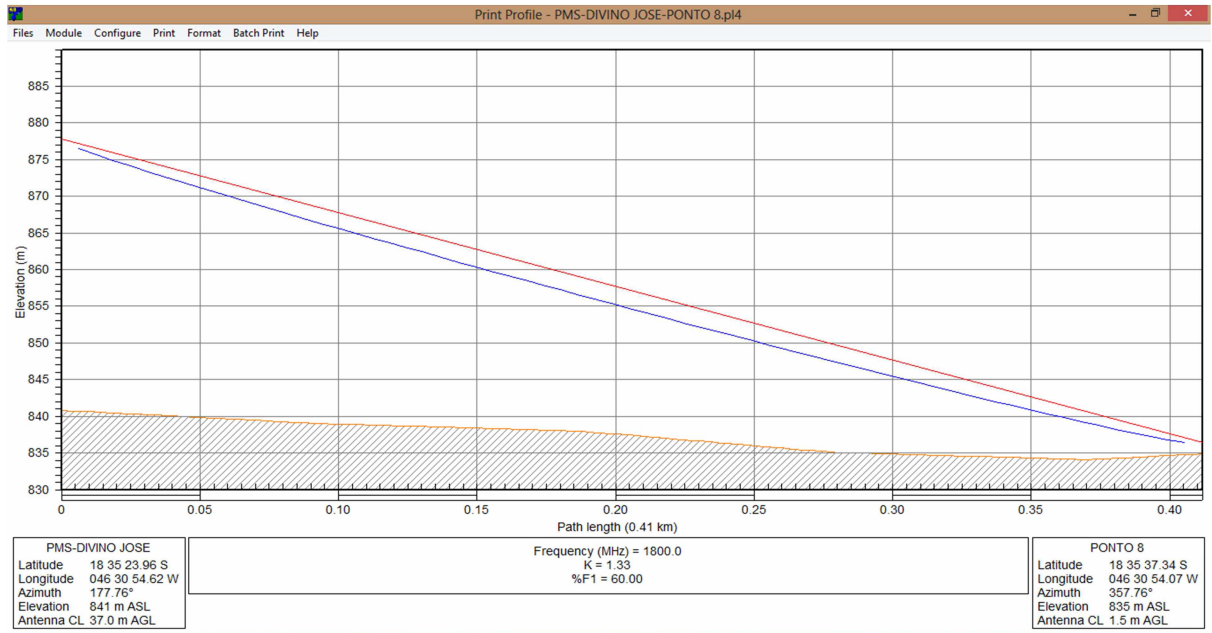


Figura 114 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 8

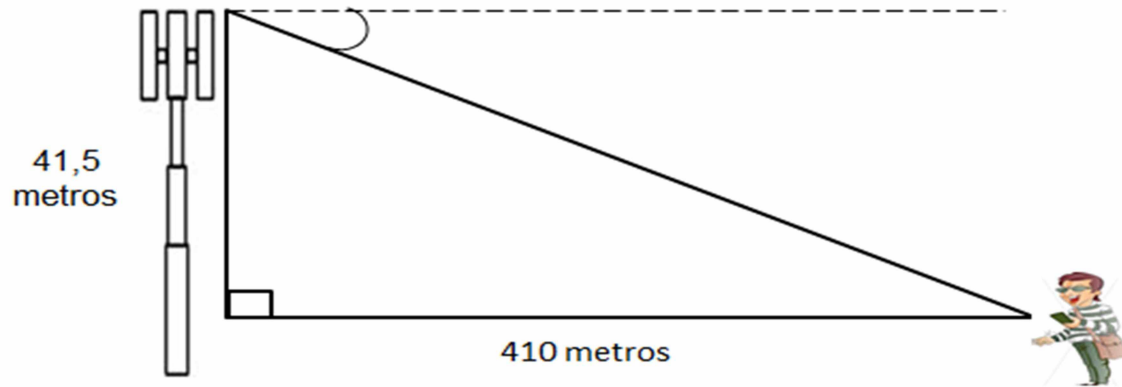


Figura 115 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 8

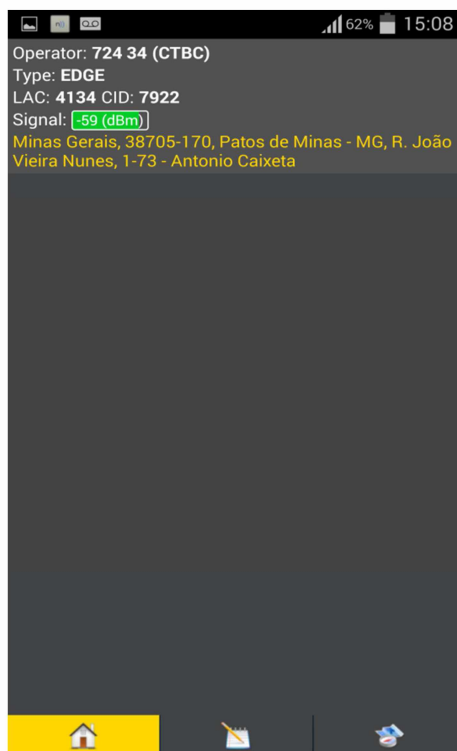


Figura 116 - Sinal Recebido no Ponto 8

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{41,5}{410} \rightarrow \tan \theta = 0,101219$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,101219 \rightarrow \theta = 6^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 177,76^{\circ} - (106)^{\circ} = 71,76^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

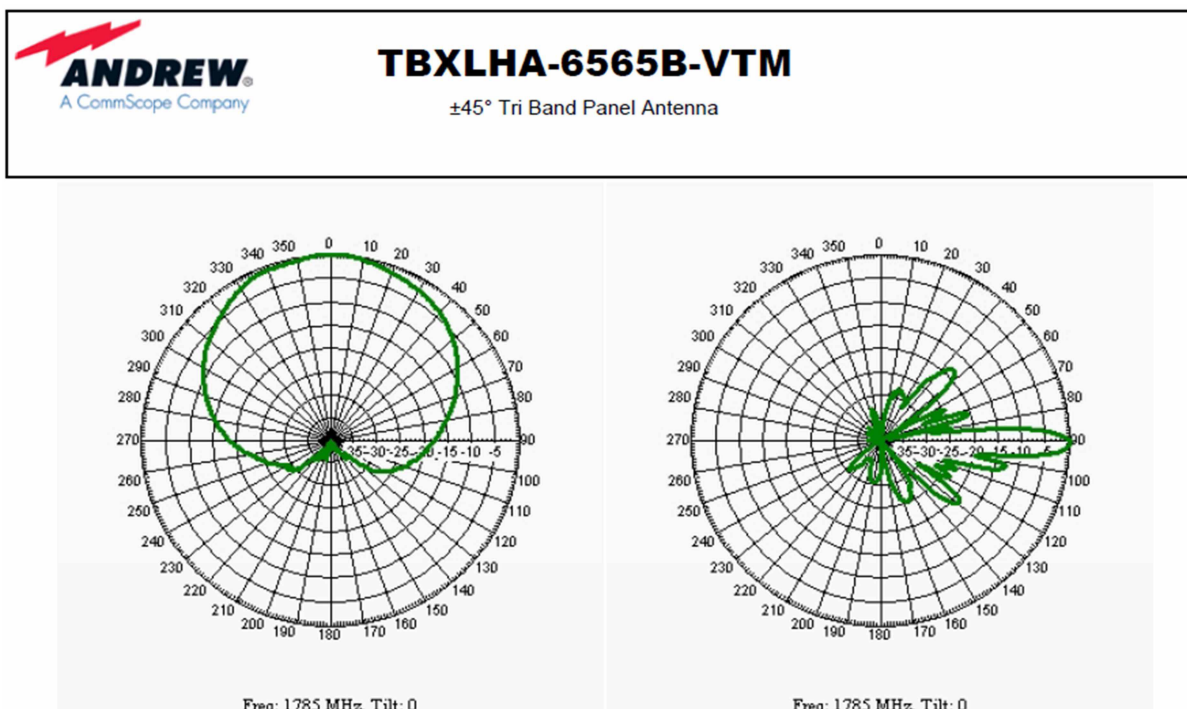


Figura 117 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 12 - 4 \\
 &= -0,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (410)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (168.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (168.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(26.544.973,58)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(26.544.973,58)$$

$$A_0 = -89,802848 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (410 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 89,802848 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 105,469713 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 - 0,4 + 0,1 - 105,469713 - 2 \\
 &= -56,969713 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.9 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 9

Tabela 23 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 9

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 9
Latitude:	18° 35' 36.46" S
Longitude:	46° 30' 53.53" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

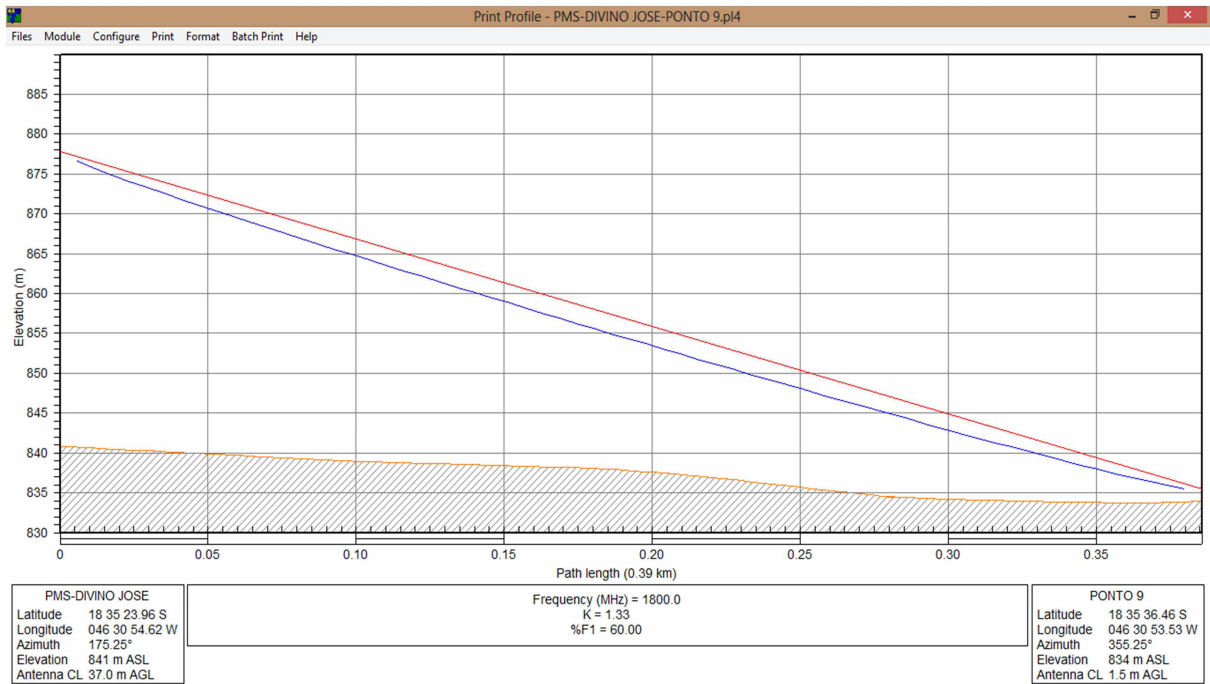


Figura 118 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 9

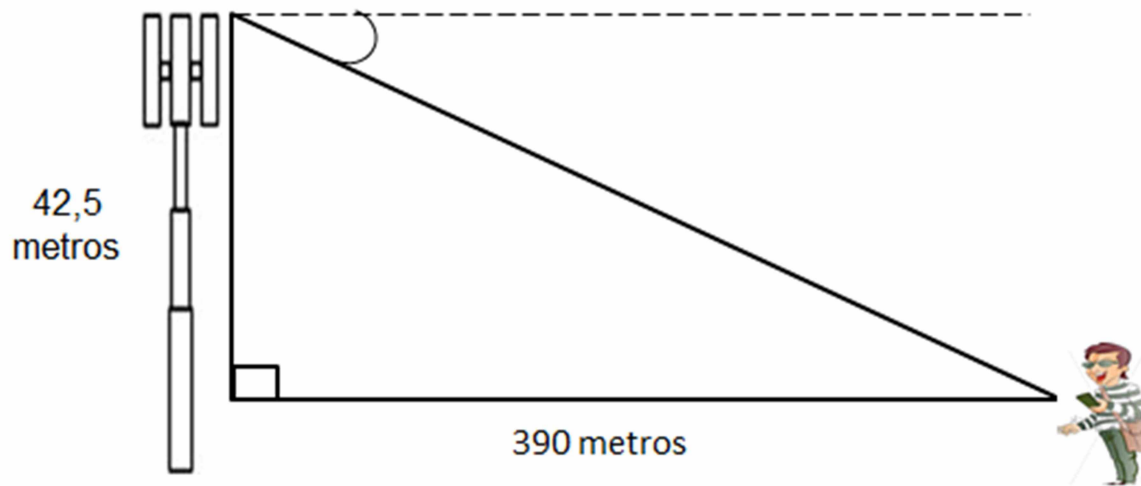


Figura 119 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 9

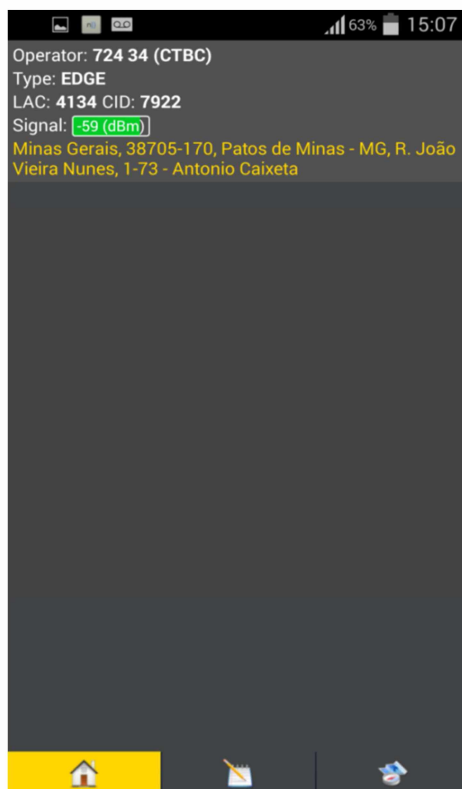


Figura 120 - Sinal Recebido no Ponto 9

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{42,5}{390} \rightarrow \tan \theta = 0,108974$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,108974 \rightarrow \theta = 6^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 175,25^{\circ} - (106)^{\circ} = 69,25^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

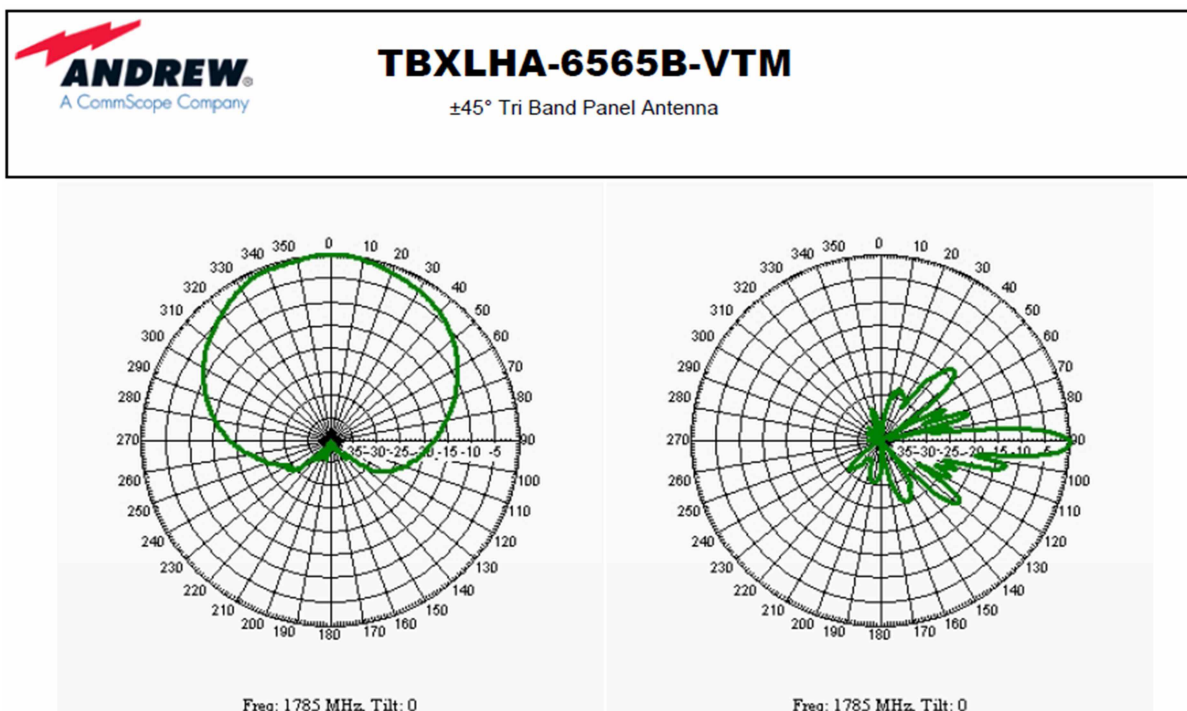


Figura 121 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 11 - 4 \\
 &= 0,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (390)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (152.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (152.100)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(24.018.384,78)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(24.018.384,78)$$

$$A_0 = -89,368463 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (390 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}}$$

$$= 89,368463 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12$$

$$= 105,035328 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:


$$P_r(d) = P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos}$$

$$= 47,8 + 0,6 + 0,1 - 105,035328 - 2$$

$$= -58,535328 \text{ dBm}$$

5.10 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 10

Tabela 24 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 10

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 10
Latitude:	18° 35' 36.29" S
Longitude:	46° 30' 53.51" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

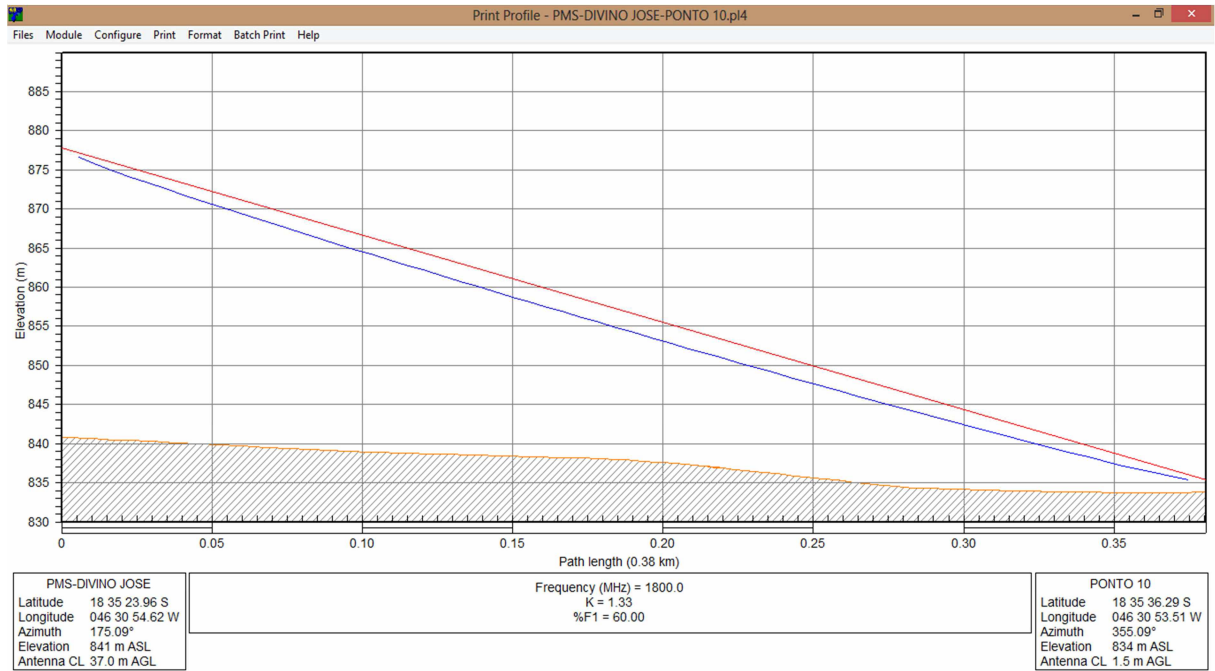


Figura 122 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 10

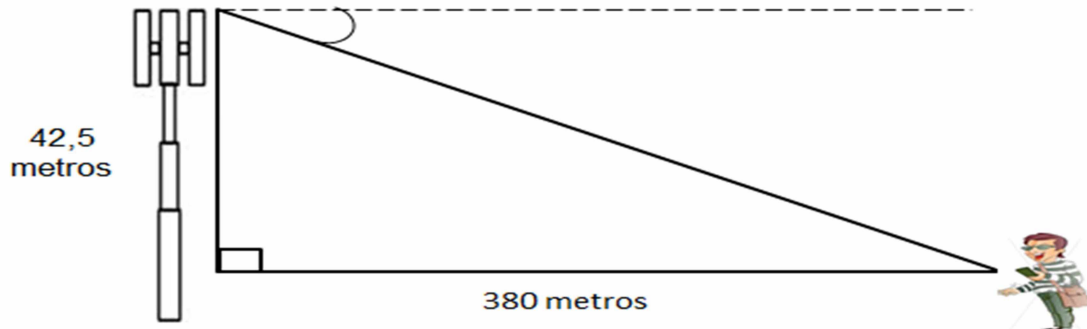


Figura 123 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 10

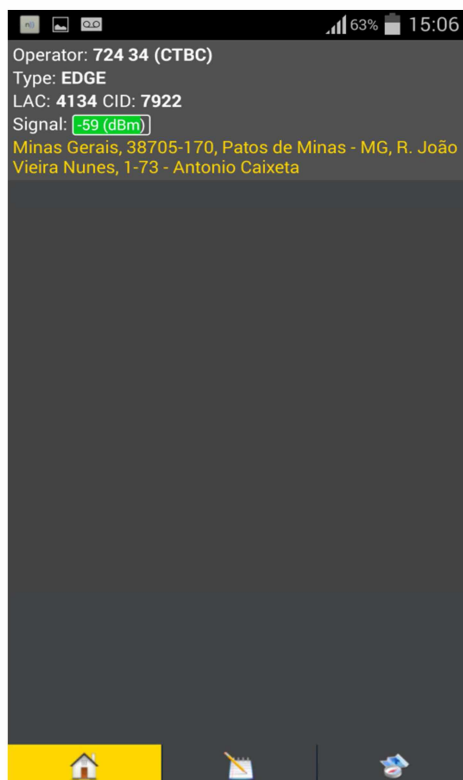


Figura 124 - Sinal Recebido no Ponto 10

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{42,5}{380} \rightarrow \tan \theta = 0,111842$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,111842 \rightarrow \theta = 6^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 175,09^{\circ} - (106)^{\circ} = 69,09^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

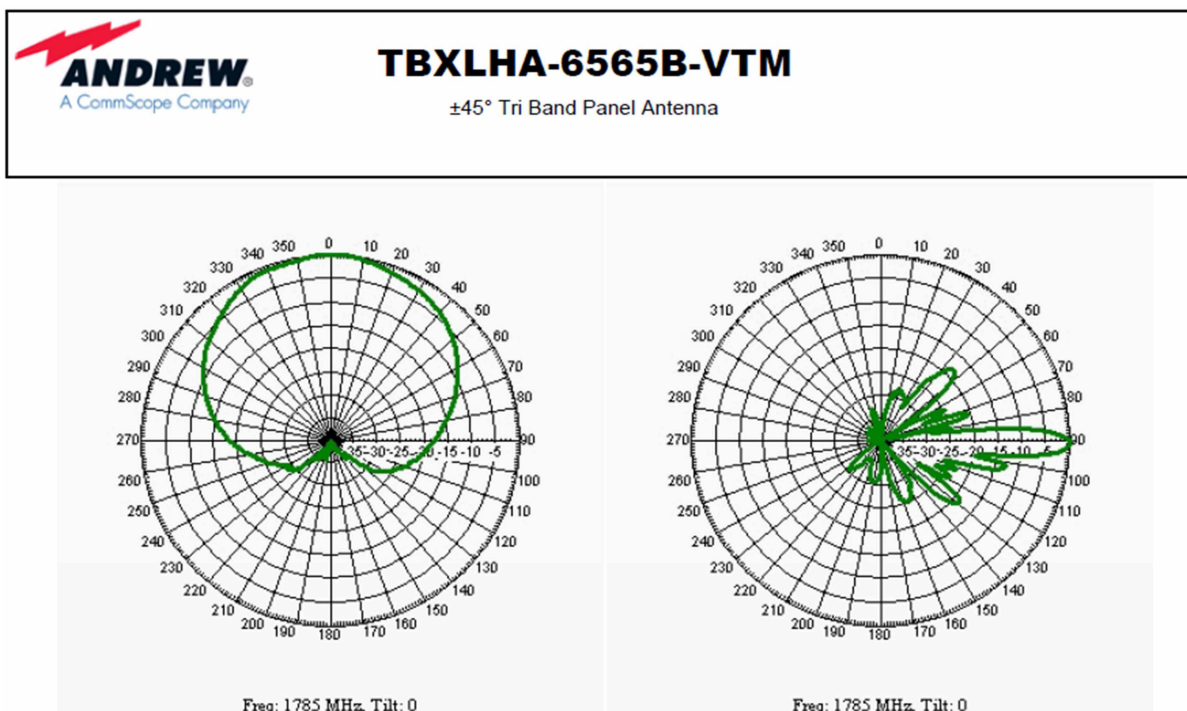


Figura 125 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 11 - 4 \\
 &= 0,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \right] \rightarrow A_0 = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} \right)^2}{(12,5663)^2 \cdot (380)^2} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(12,5663)^2 \cdot (144.400)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{(0,166667)^2}{(157,9118) \cdot (144.400)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log \left[\frac{0,027778}{(22.802.463,92)} \right]$$

$$A_0 = 10 \log(0,027778) - 10 \log(22.802.463,92)$$

$$A_0 = -89,142843 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz } (380 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = 20 \log \left(\frac{h_{\text{te}}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{37}{200} \right)$$

$$= 20 \log 37 - 20 \log 200$$

$$= 31,364034 - 46,020599$$

$$= -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = 10 \log \left(\frac{h_{\text{re}}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$\begin{aligned}
 L_{50}(\text{dB}) &= A_0 + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{AREA}} \\
 &= 89,142843 + 10 + 14,656565 + 3,0103 - 12 \\
 &= 104,809708 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- A Potência Média Recebida:

$$\begin{aligned}
 P_r(d) &= P_t + G_T + G_R - L_{50} - \text{Perda em cabos} \\
 &= 47,8 + 0,6 + 0,1 - 104,809708 - 2 \\
 &= -58,309708 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

5.11 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 11

Tabela 25 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 11

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 11
Latitude:	18° 35' 26.69" S
Longitude:	46° 30' 55.00" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

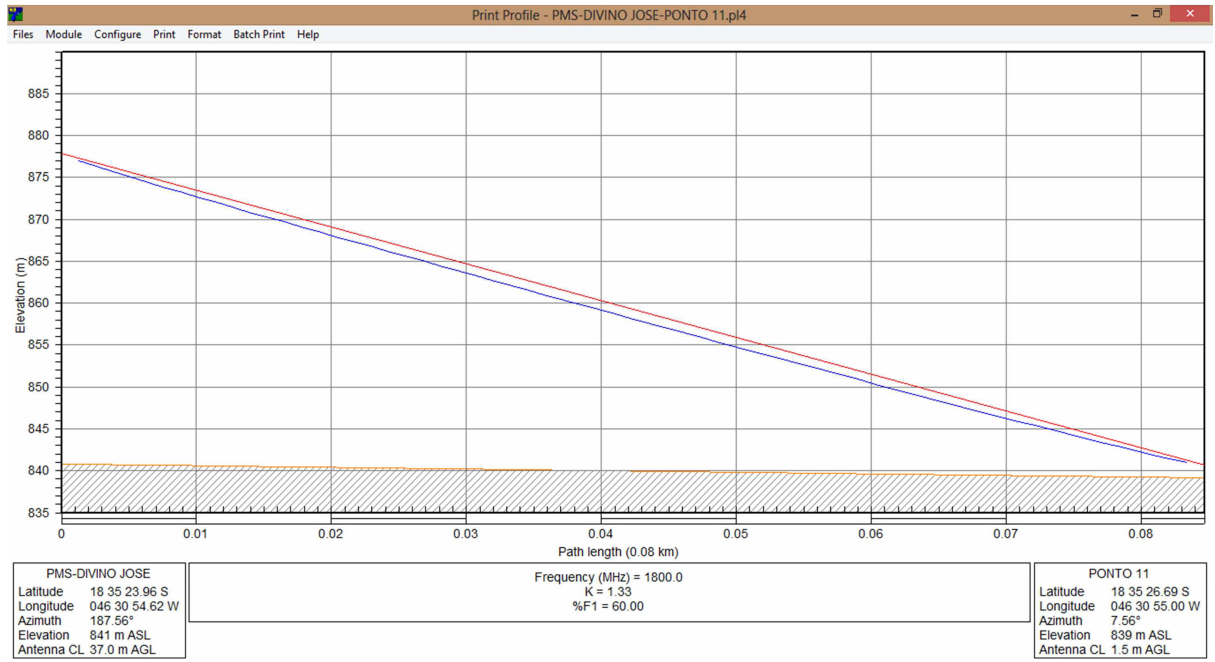


Figura 126 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 11

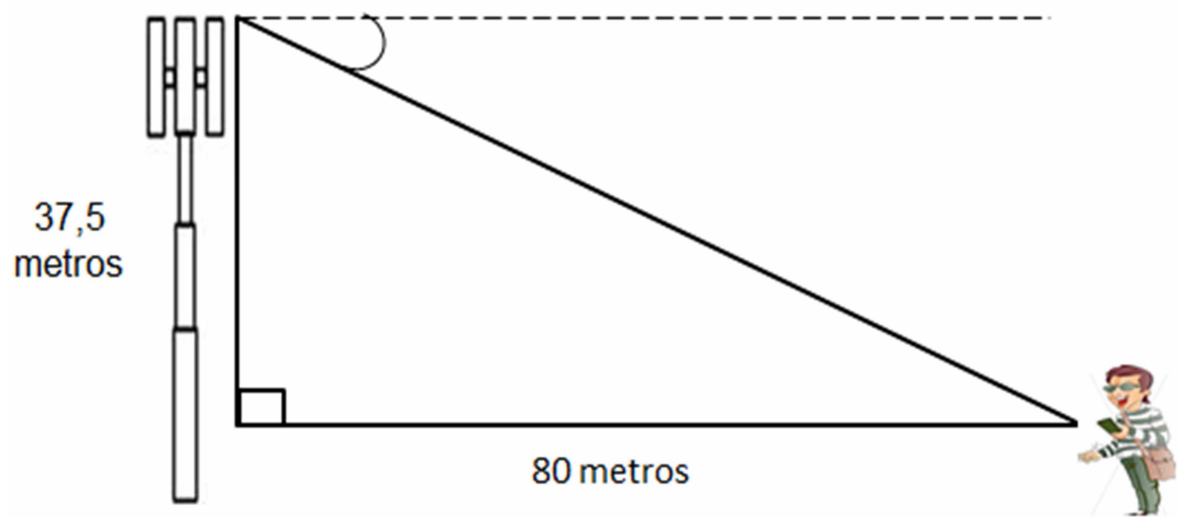


Figura 127 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 11

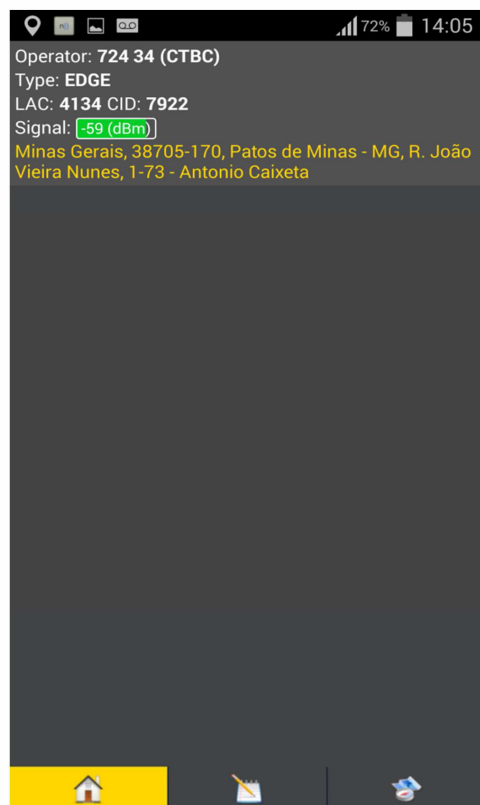


Figura 128 - Sinal Recebido captado no Ponto 11

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{37,5}{80} \rightarrow \tan \theta = 0,46875$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,46875 \rightarrow \theta = 25^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 187,56^{\circ} - (106)^{\circ} = 81,56^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

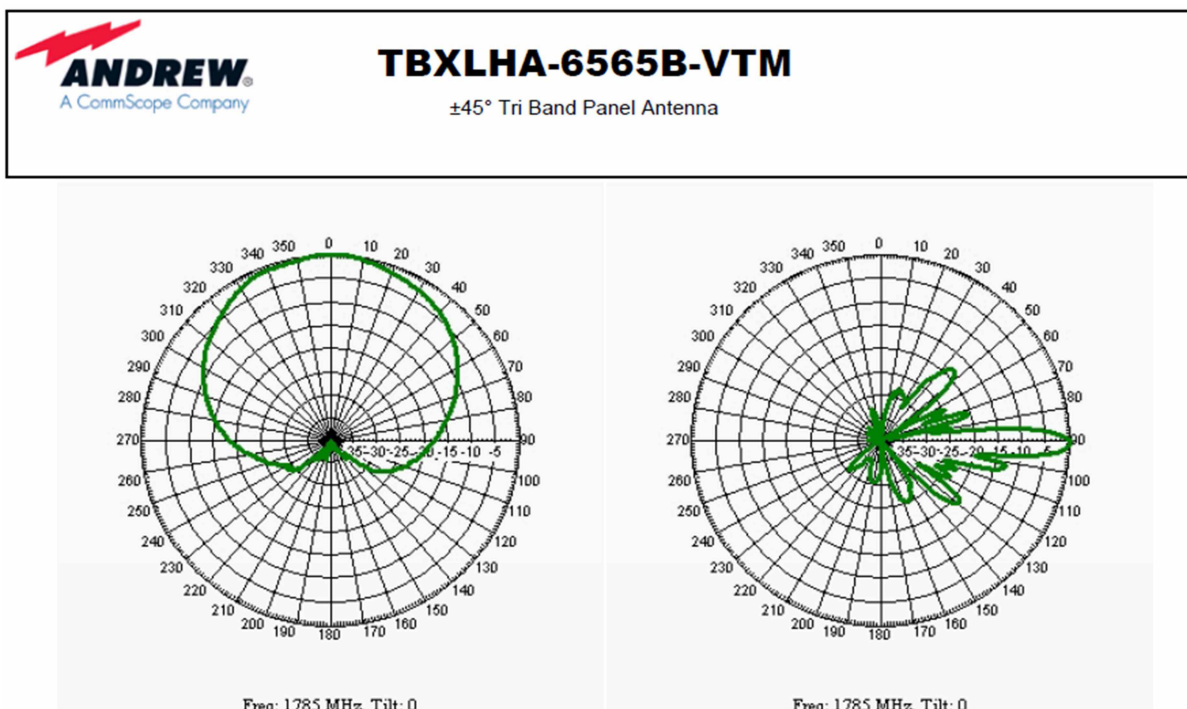


Figura 129 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganho da Antena} = \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 14 - 22 \\
 &= -20,4 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -75,608971 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz (80 m)}) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 91,275836 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -65,775836 \text{ dBm}$$

5.12 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 12

Tabela 26 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 12

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 12
Latitude:	18° 35' 27.07" S
Longitude:	46° 30' 54.18" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

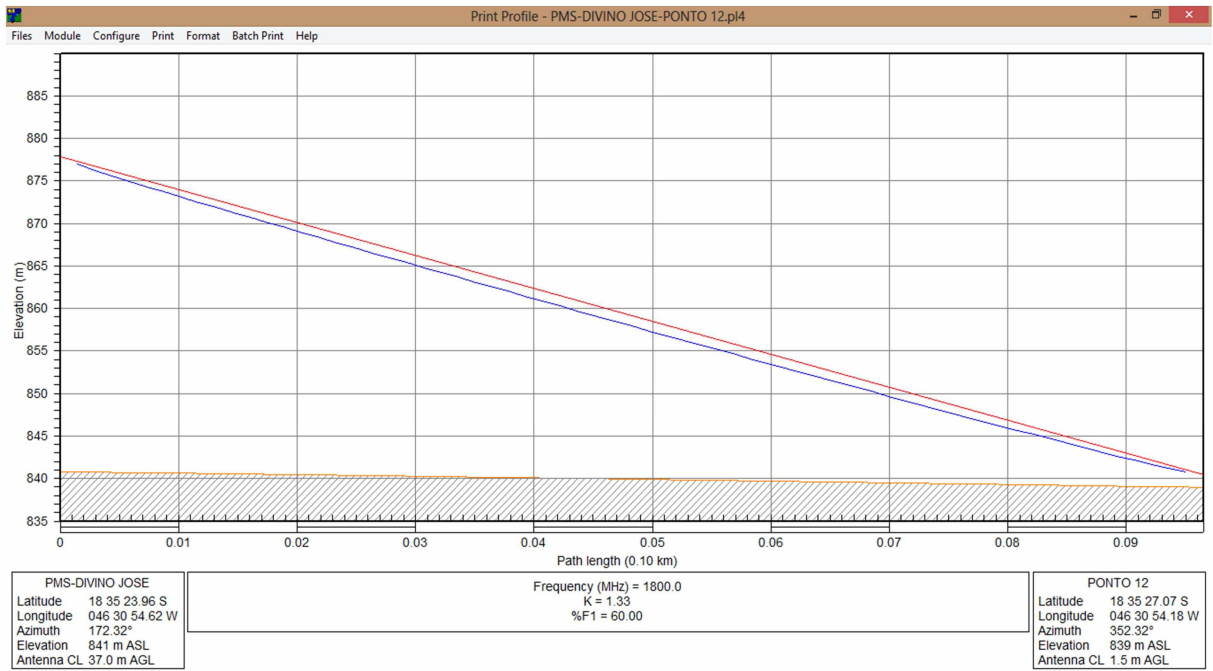


Figura 130 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 12

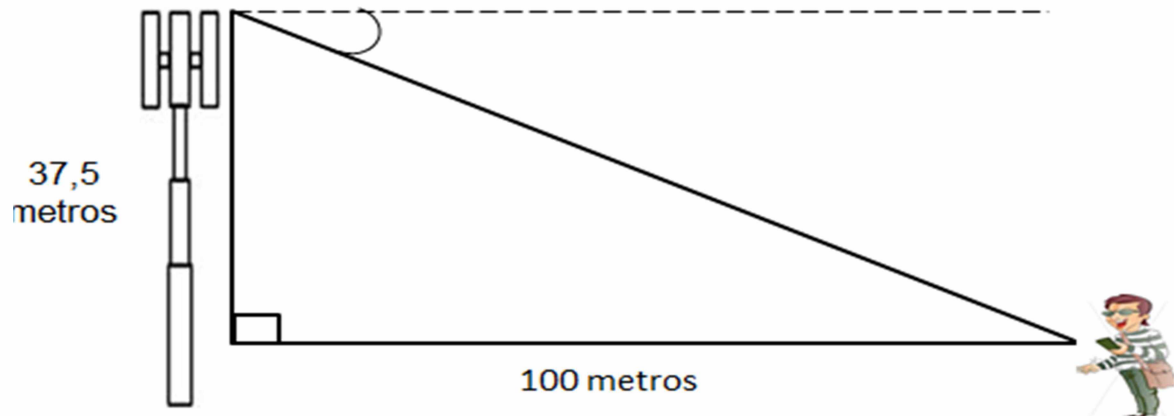


Figura 131 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 12

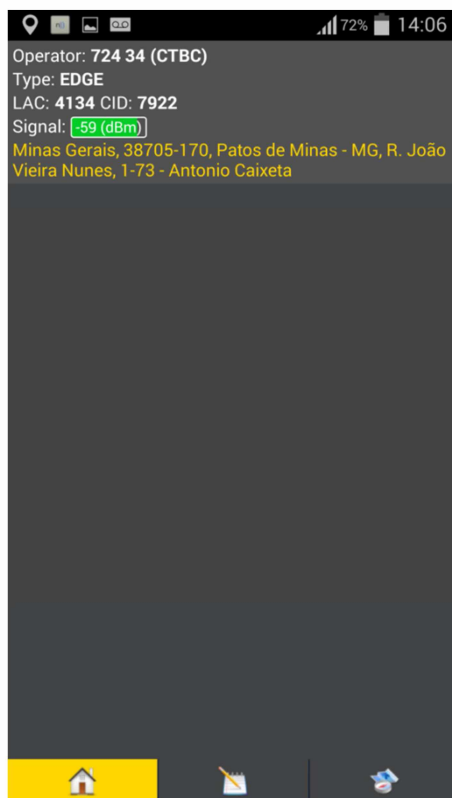


Figura 132 - Sinal Recebido no Ponto 12

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{37,5}{100} \rightarrow \tan \theta = 0,375$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,375 \rightarrow \theta = 21^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 172,32^{\circ} - (106)^{\circ} = 66,36^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dbi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

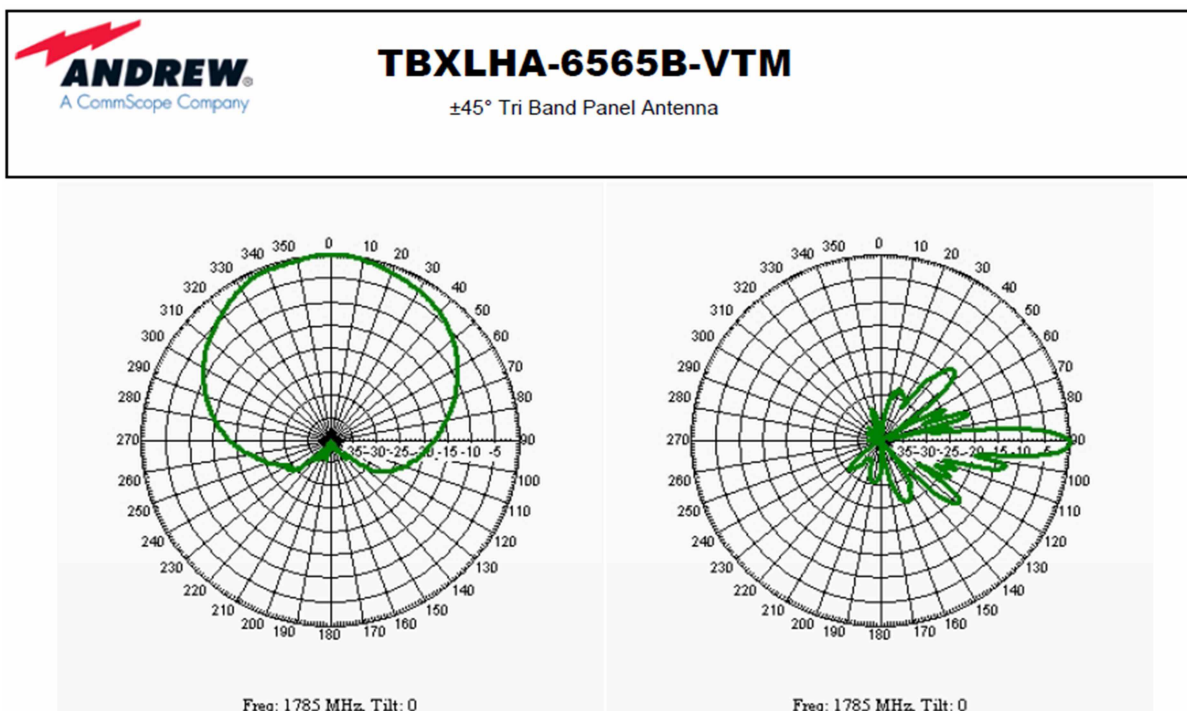


Figura 133 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 10 - 23 \\
 &= -17,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -77,547171 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(100 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 93,214036 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -64,714036 \text{ dBm}$$

5.13 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 13

Tabela 27 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 13

<u>Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis</u>	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 13
Latitude:	18° 35' 27.99" S
Longitude:	46° 30' 54.01" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

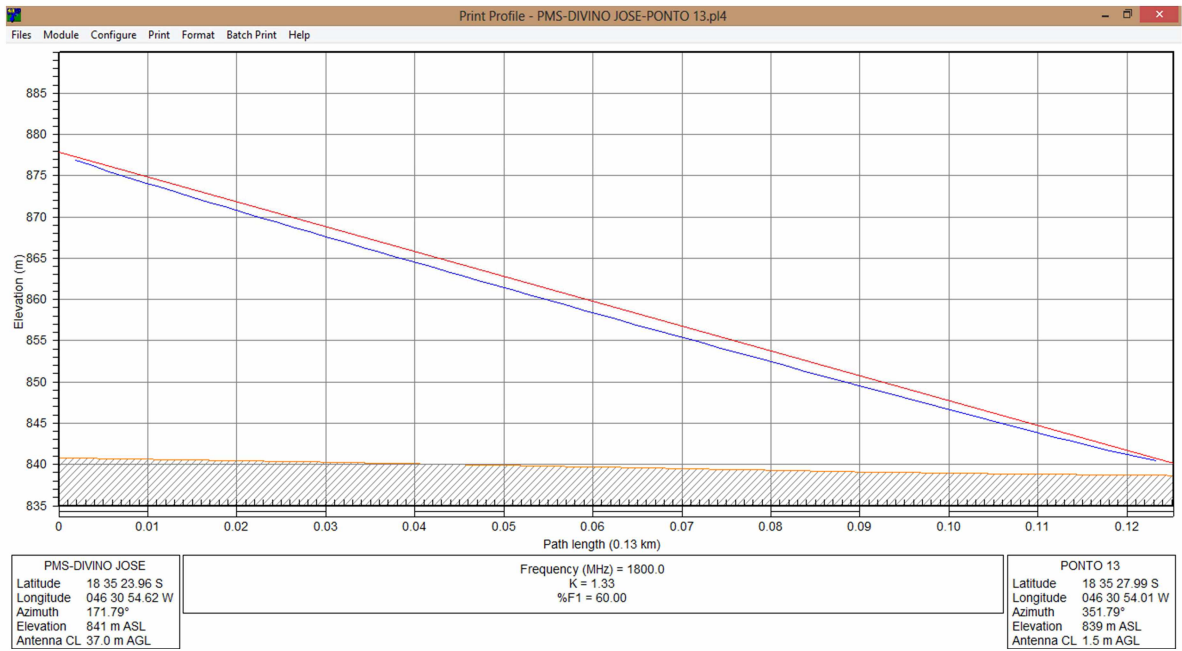


Figura 134 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 13

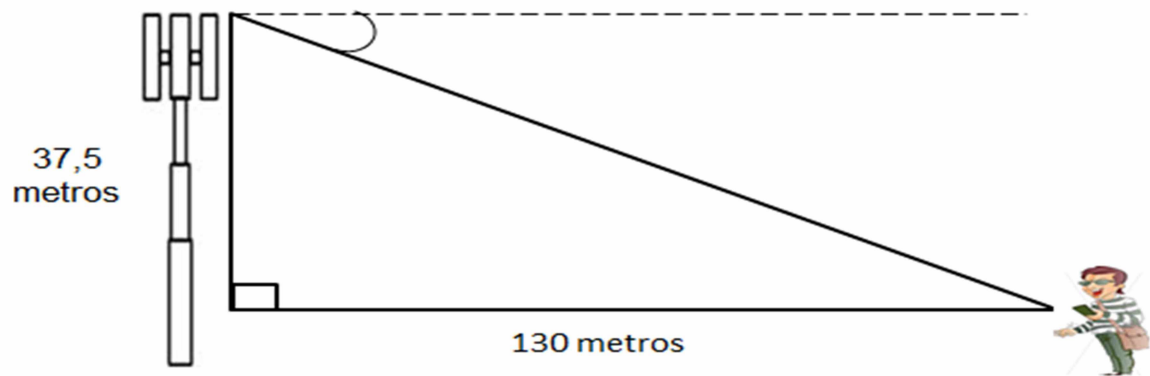


Figura 135 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 13

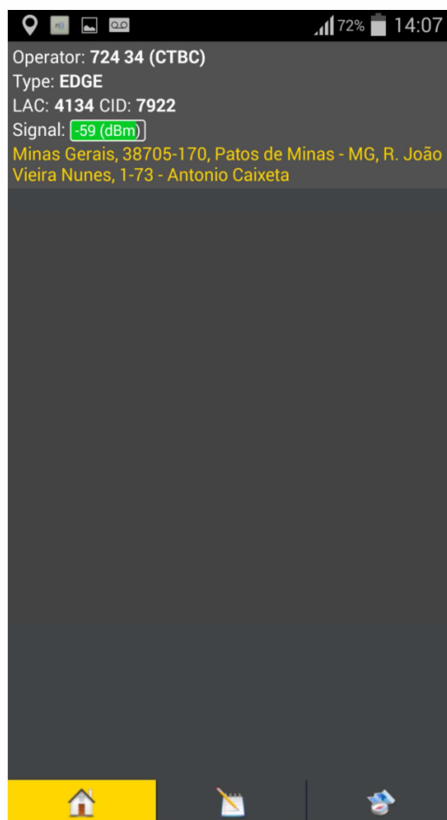


Figura 136 - Sinal Recebido no Ponto 13

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{37,5}{130} \rightarrow \tan \theta = 0,288461$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02139 \rightarrow \theta = 16^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 171,79^{\circ} - (106)^{\circ} = 65,79^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

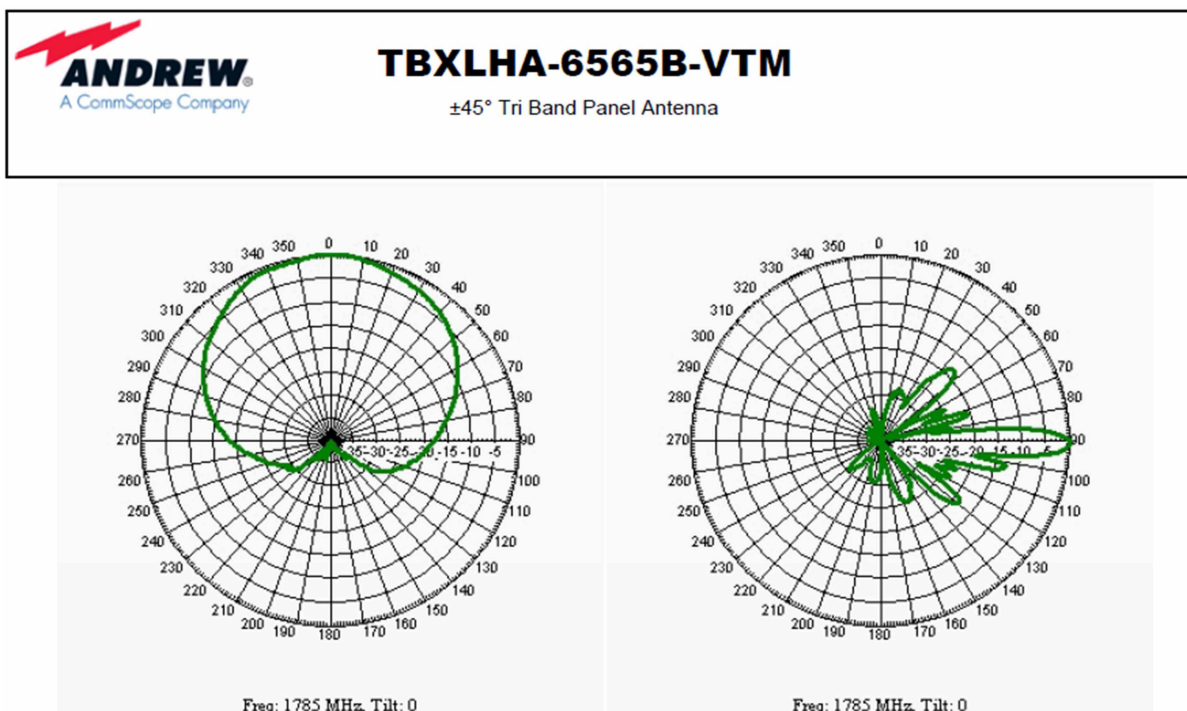


Figura 137 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 10 - 14 \\
 &= -8,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -79,826038 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(130 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 95,492903 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -57,992903 \text{ dBm}$$

5.14 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 14

Tabela 28 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 14

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 14
Latitude:	18° 35' 36.14" S
Longitude:	46° 30' 50.81" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	-65

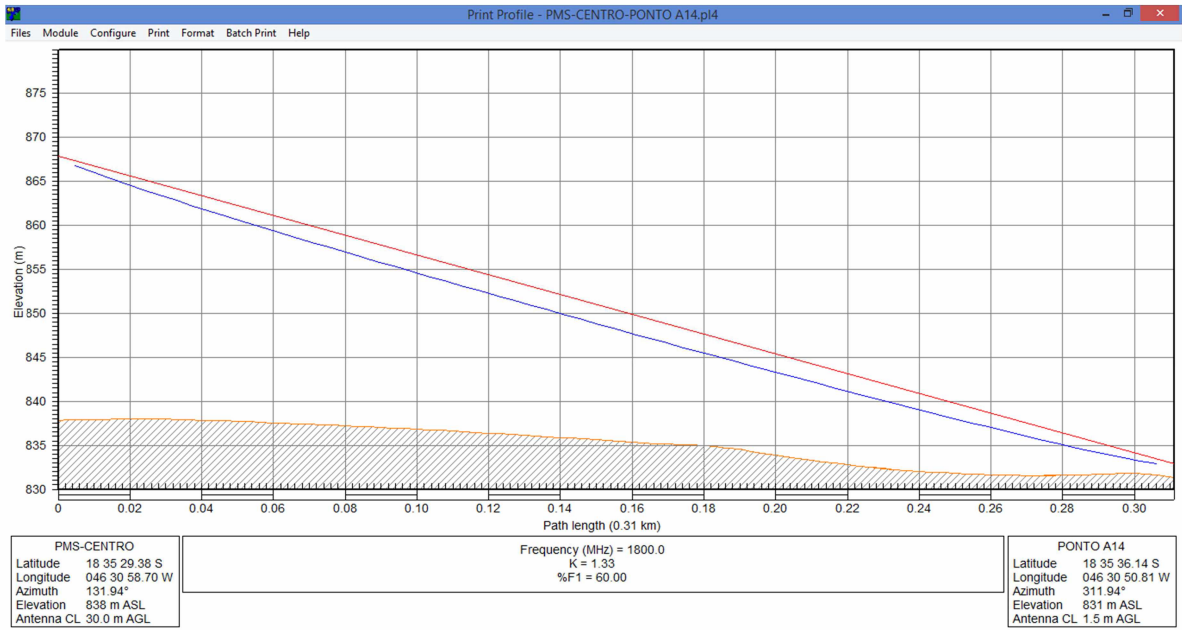


Figura 138 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 14

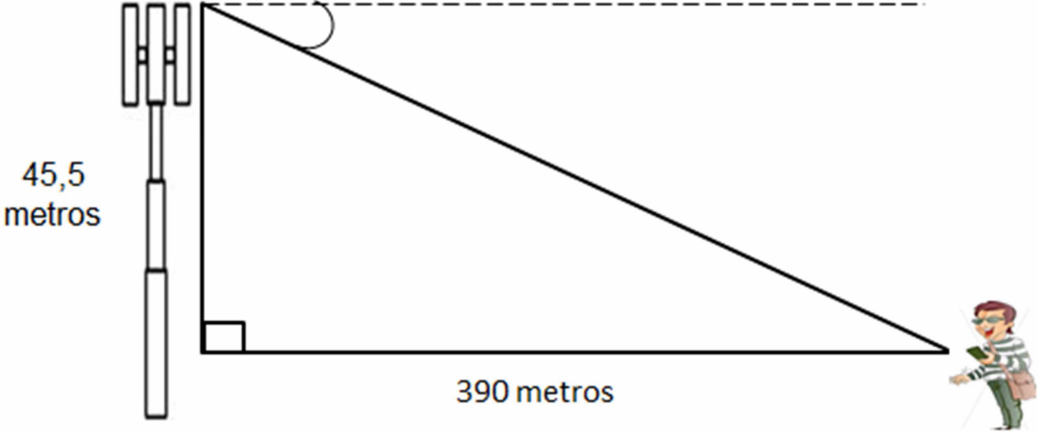


Figura 139 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 14

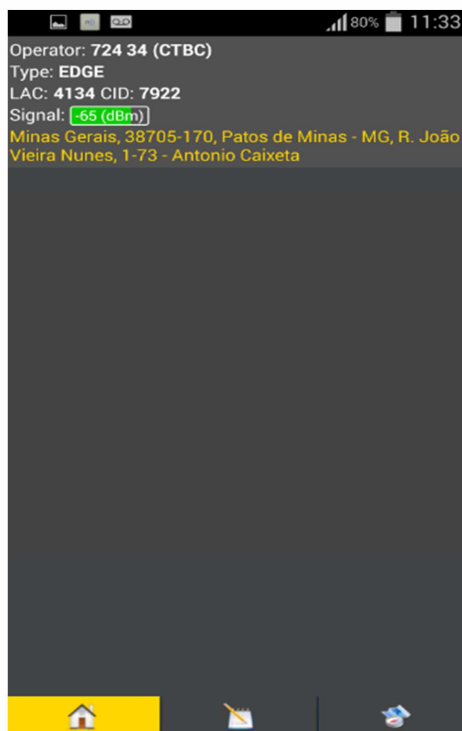


Figura 140 - Sinal Recebido no Ponto 14

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{45,5}{390} \rightarrow \tan \theta = 0,116666$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,116666 \rightarrow \theta = 7^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 163,39^{\circ} - (106)^{\circ} = 57,39^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

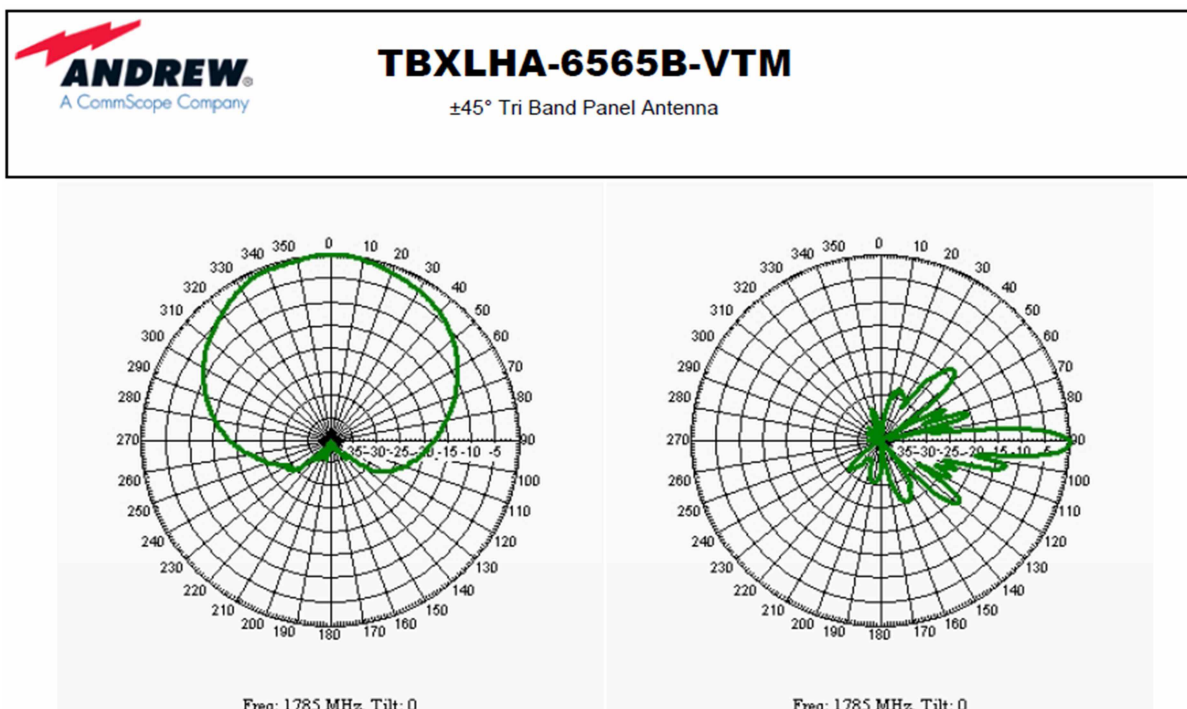


Figura 141 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 8 - 10 \\
 &= -2,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -89,368463 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz} (390 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 105,035328 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -61,535328 \text{ dB}$$

5.15 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 15

Tabela 29 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 15

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 15
Latitude:	18° 35' 25.96" S
Longitude:	46° 30' 53.20" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

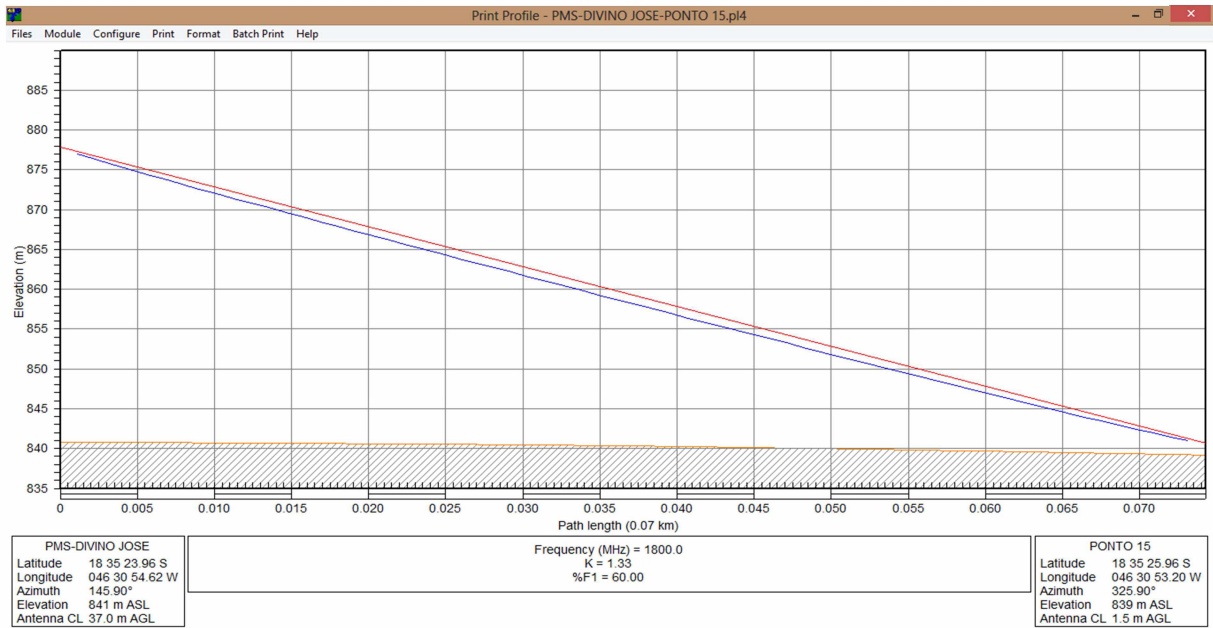


Figura 142 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 15

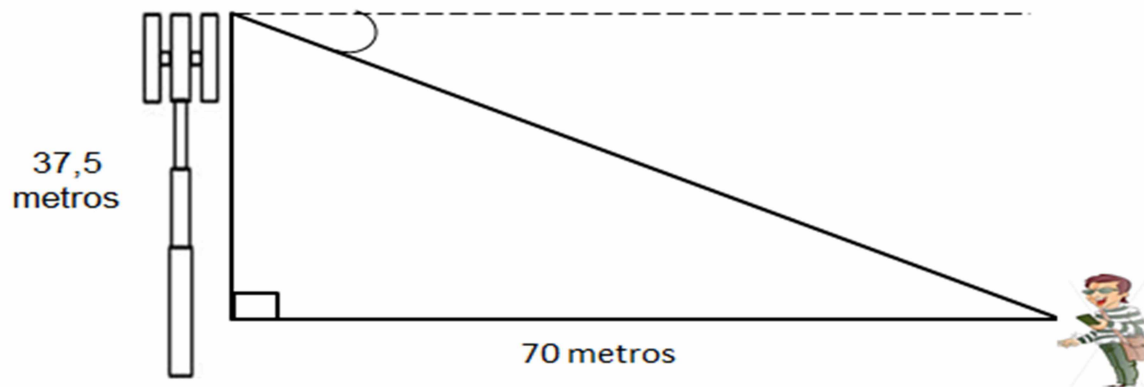


Figura 143 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 15

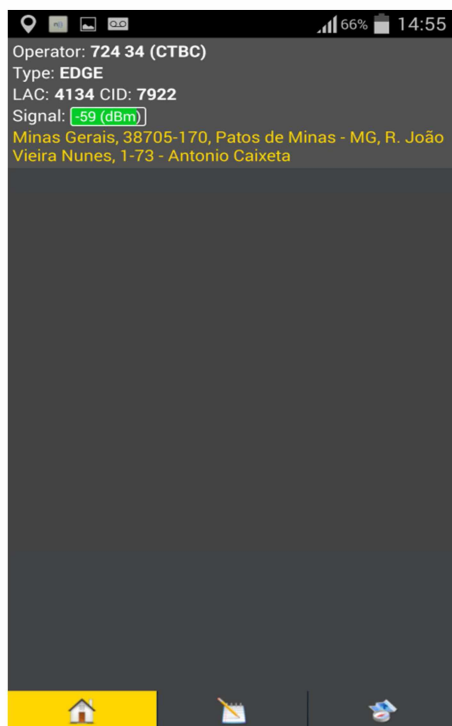


Figura 144 - Sinal Recebido no Ponto 15

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{37,5}{70} \rightarrow \tan \theta = 0,535714$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,535714 \rightarrow \theta = 28^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 145,90^{\circ} - (106)^{\circ} = 39,9^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

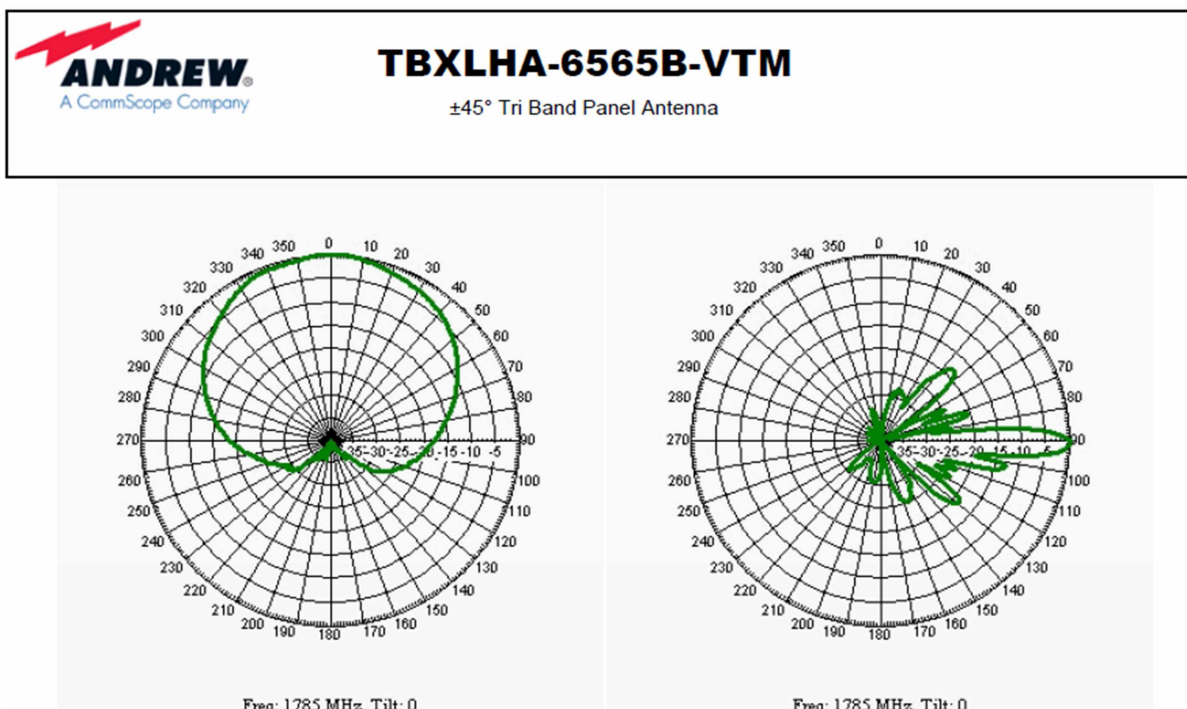


Figura 145 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 3,5 - 22 \\
 &= -9,9 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -74,449132 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz (70 m)}) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 90,115997 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -54,115997 \text{ dBm}$$

5.16 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 16

Tabela 30 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 16

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 16
Latitude:	18° 35' 24.61" S
Longitude:	46° 30' 53.96" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 61

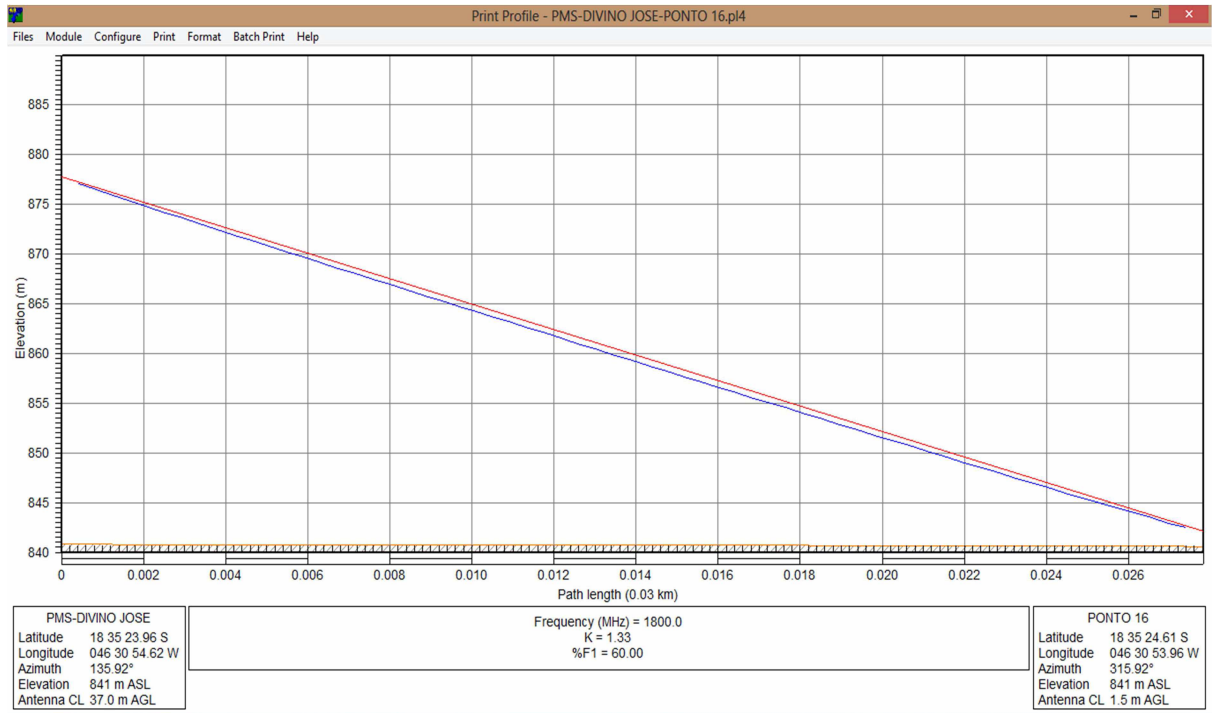


Figura 146 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 16

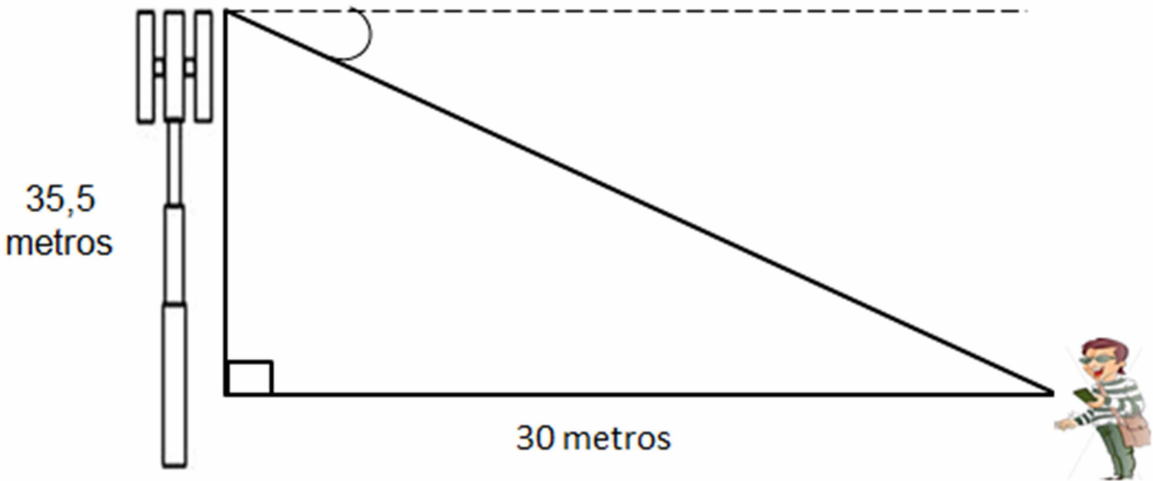


Figura 147 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 16

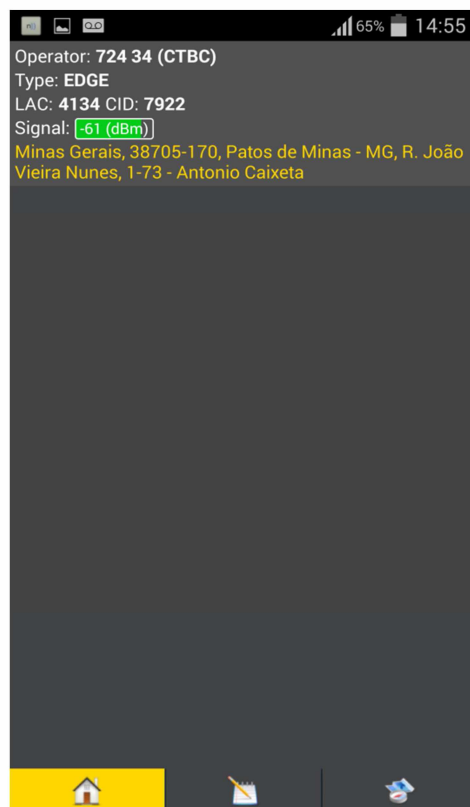


Figura 148 - Sinal Recebido captado no Ponto 16

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{35,5}{30} \rightarrow \tan \theta = 1,183333$$

$$\theta = \tan^{-1} 1,183333 \rightarrow \theta = 50^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 135,92^{\circ} - (106)^{\circ} = 29,92^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

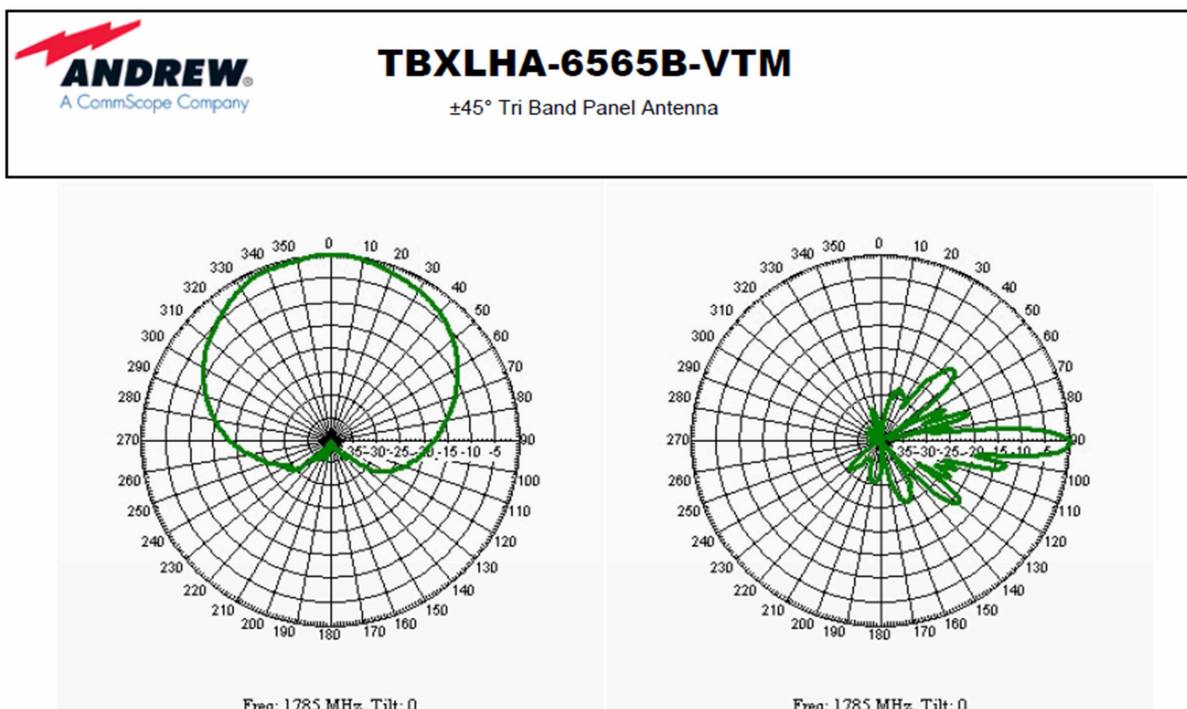


Figura 149 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 3 - 29 \\
 &= -16,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -67,089596 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz}(30 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 82,756461\text{dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -53,256461 \text{ dB}$$

5.17 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 17

Tabela 31 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 17

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 17
Latitude:	18° 35' 27.74" S
Longitude:	46° 30' 53.28" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 53

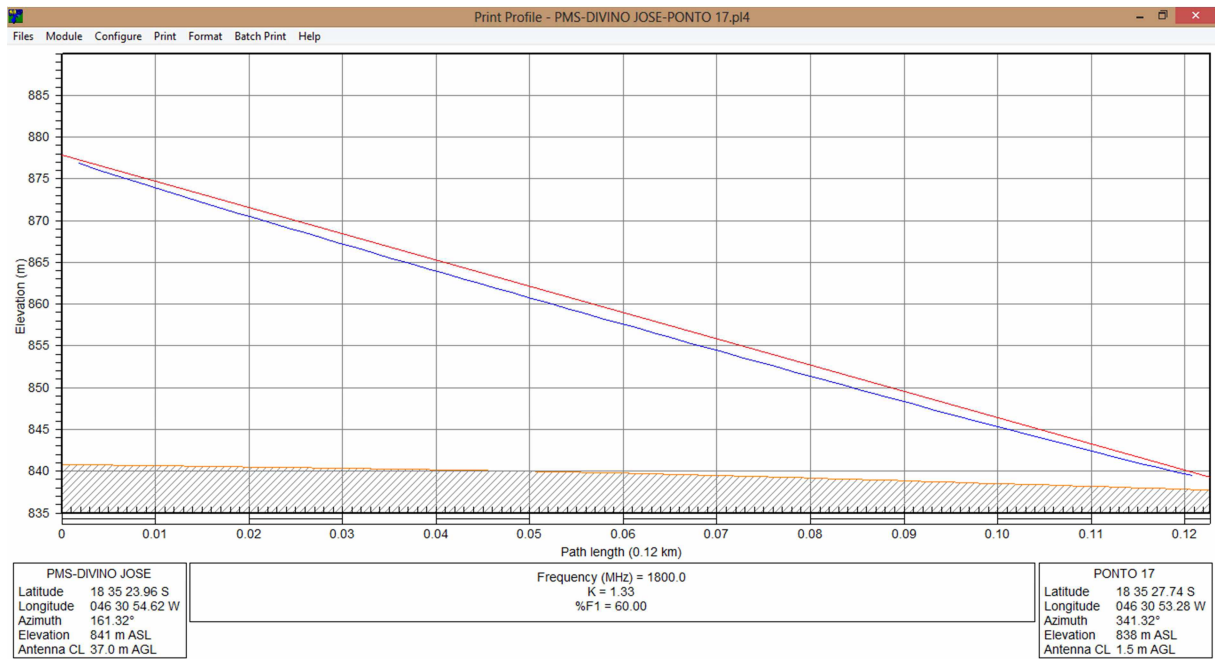


Figura 150 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 17

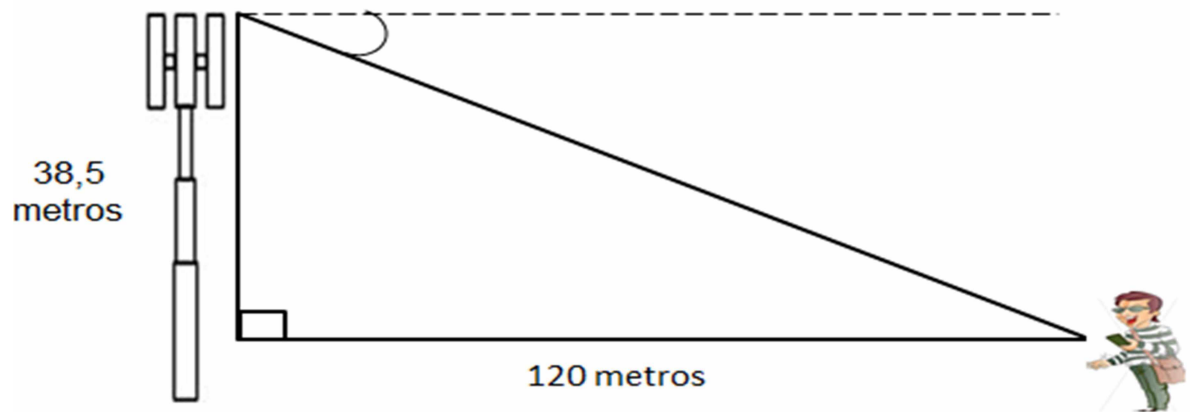


Figura 151 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 17

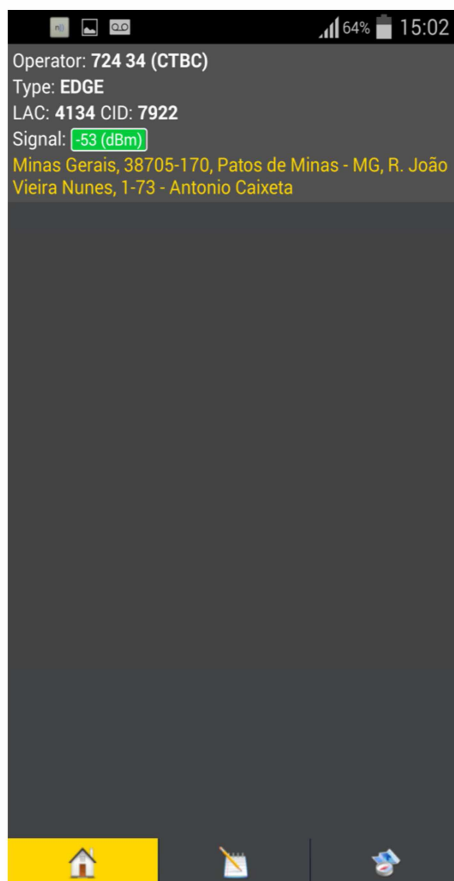


Figura 152 - Sinal Recebido no Ponto 17

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{38,5}{120} \rightarrow \tan \theta = 0,320833$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,320833 \rightarrow \theta = 18^\circ$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 161,32^\circ - (106)^\circ = 55,32^\circ$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, o ganho da antena é calculado da seguinte forma:

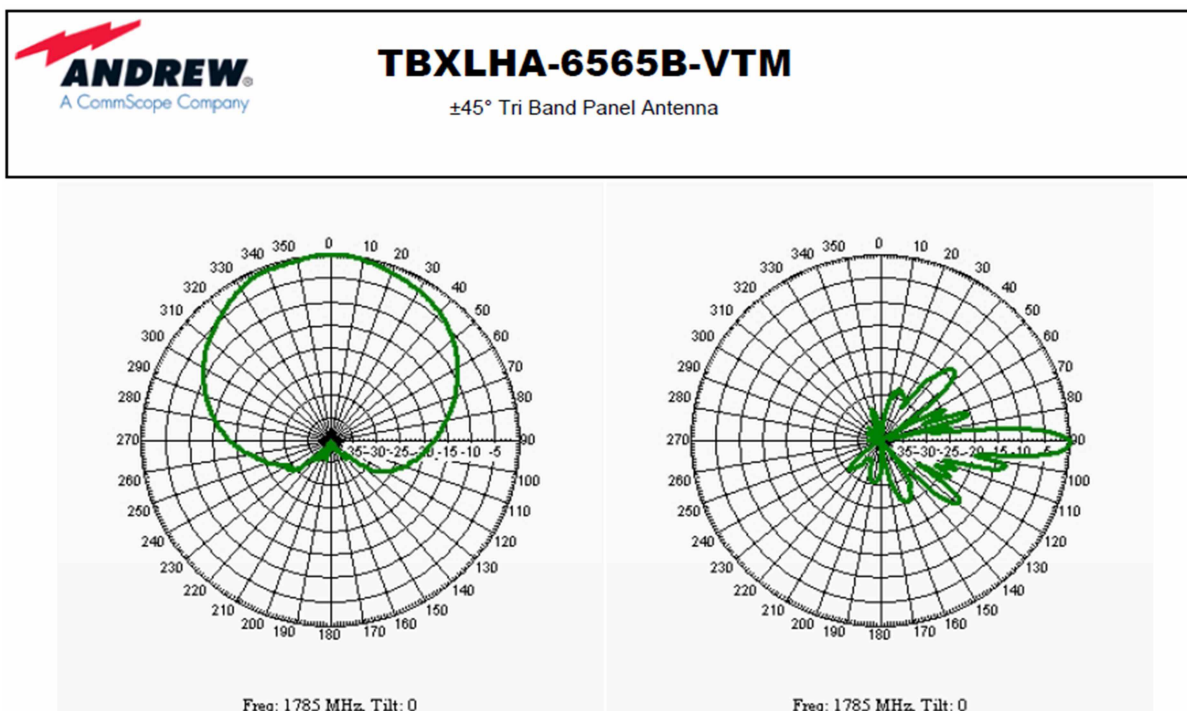


Figura 153 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15,6 - 8 - 19 \\
 &= -11,4 \text{ dbi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -79,120796 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(120 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 94,797661 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -60,297661 \text{ dBm}$$

5.18 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 18

Tabela 32 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 18

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 18
Latitude:	18° 35' 32.27" S
Longitude:	46° 30' 54.00" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 53

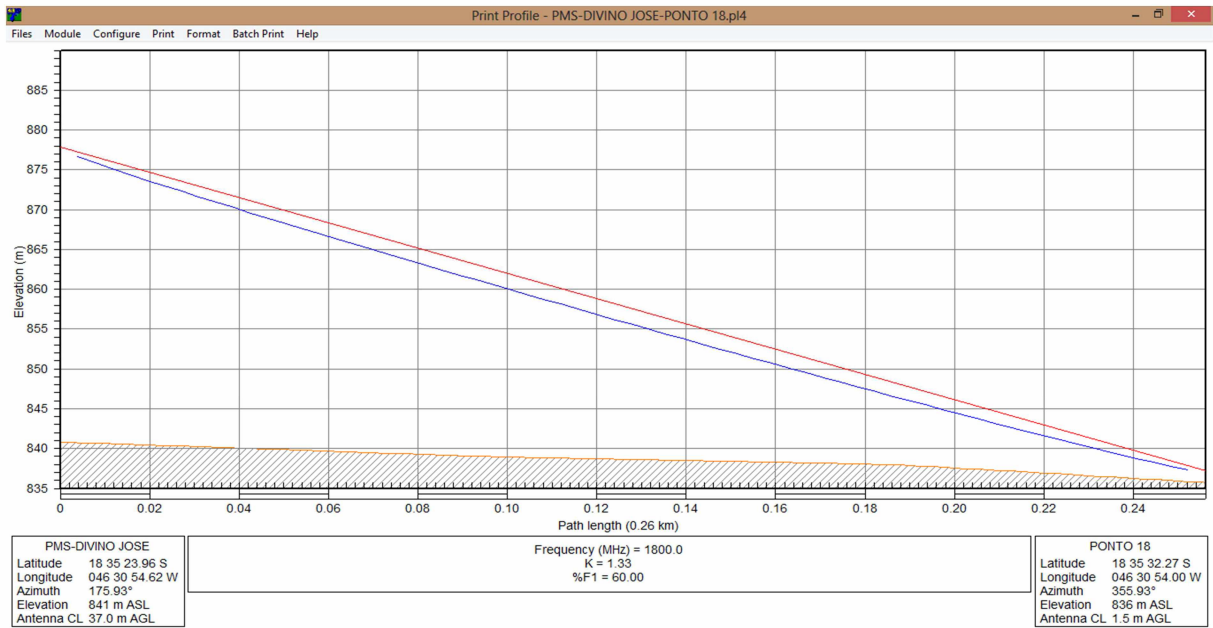


Figura 154 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 18

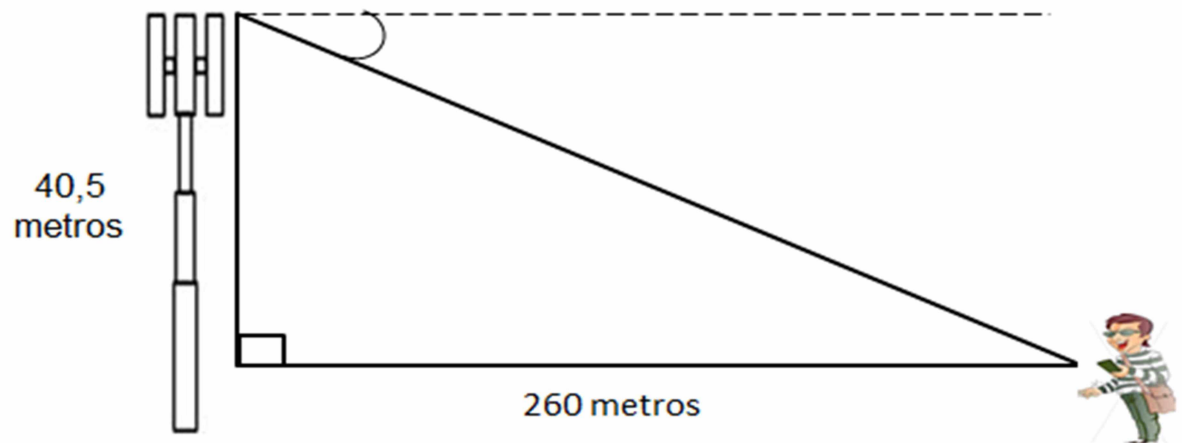


Figura 155 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 18

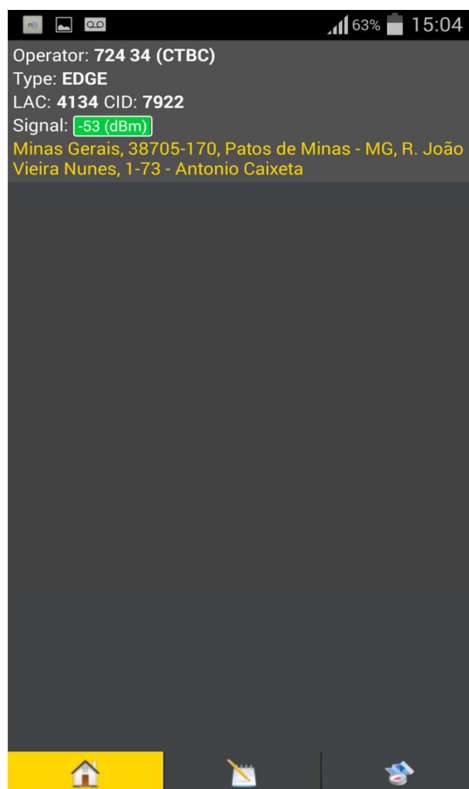


Figura 156 - Sinal Recebido no Ponto 18

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{40,5}{260} \rightarrow \tan \theta = 0,155769$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,155769 \rightarrow \theta = 9^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 175,93^{\circ} - (106)^{\circ} = 69,93^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

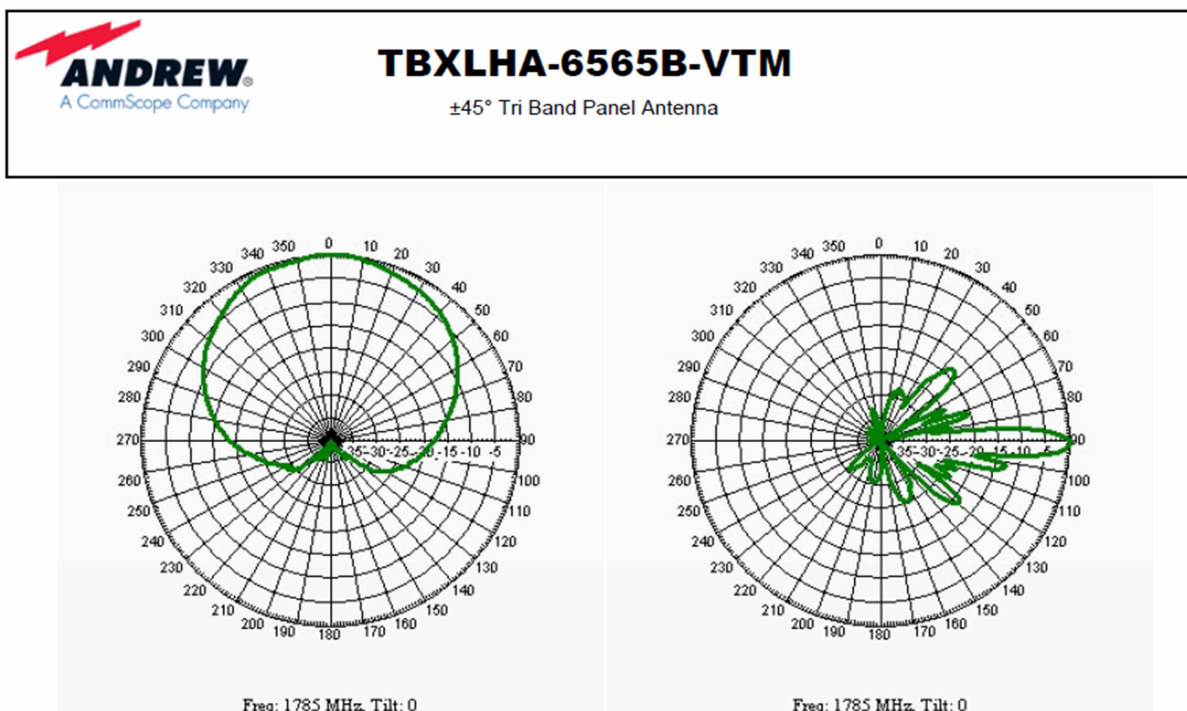


Figura 157 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 11 - 12 \\
 &= -7,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -85,846638 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz} (260 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 101,513503 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -63,013503 \text{ dBm}$$

5.19 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 19

Tabela 33 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 19

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 19
Latitude:	18° 35' 33.37" S
Longitude:	46° 30' 53.52" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 53

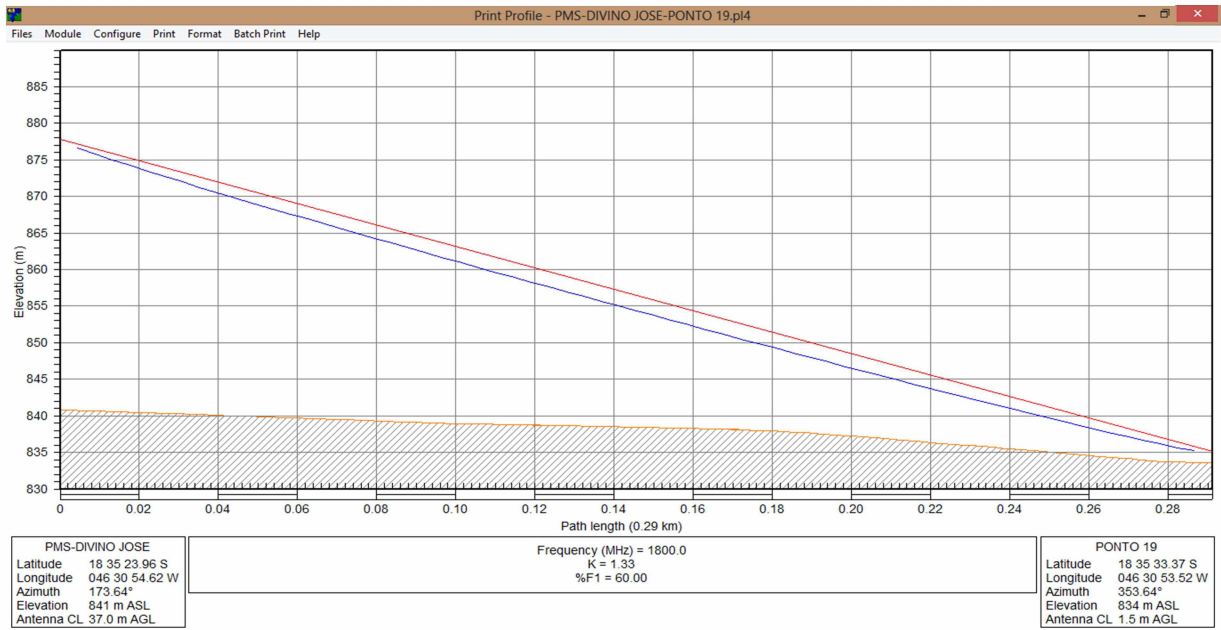


Figura 158 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 19

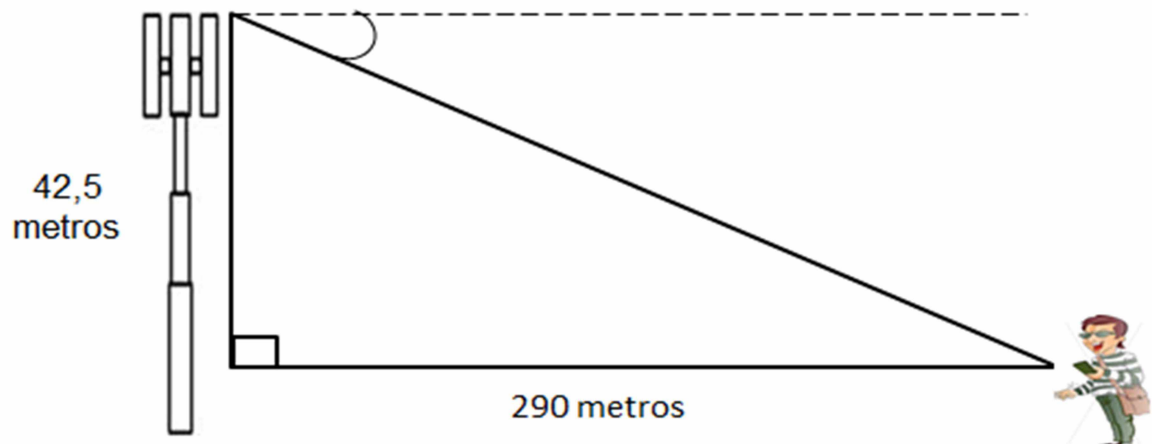


Figura 159 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 19

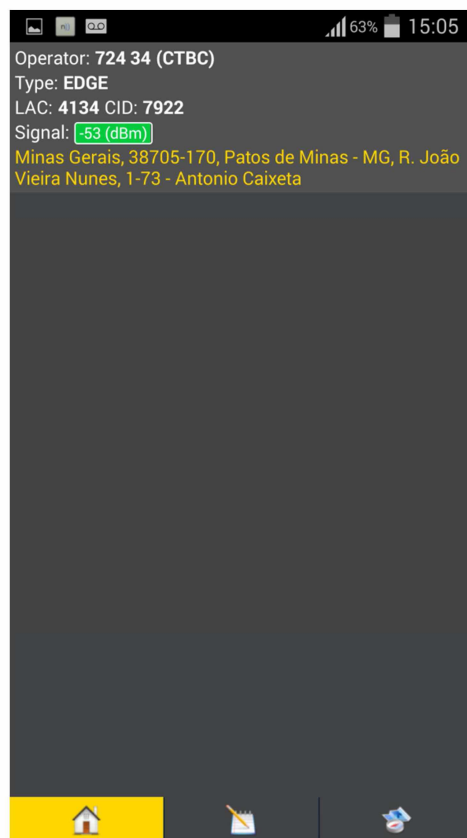


Figura 160 - Sinal Recebido no Ponto 19

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{42,5}{290} \rightarrow \tan \theta = 0,146551$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,146551 \rightarrow \theta = 8^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 173,64^{\circ} - (106)^{\circ} = 67,64^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

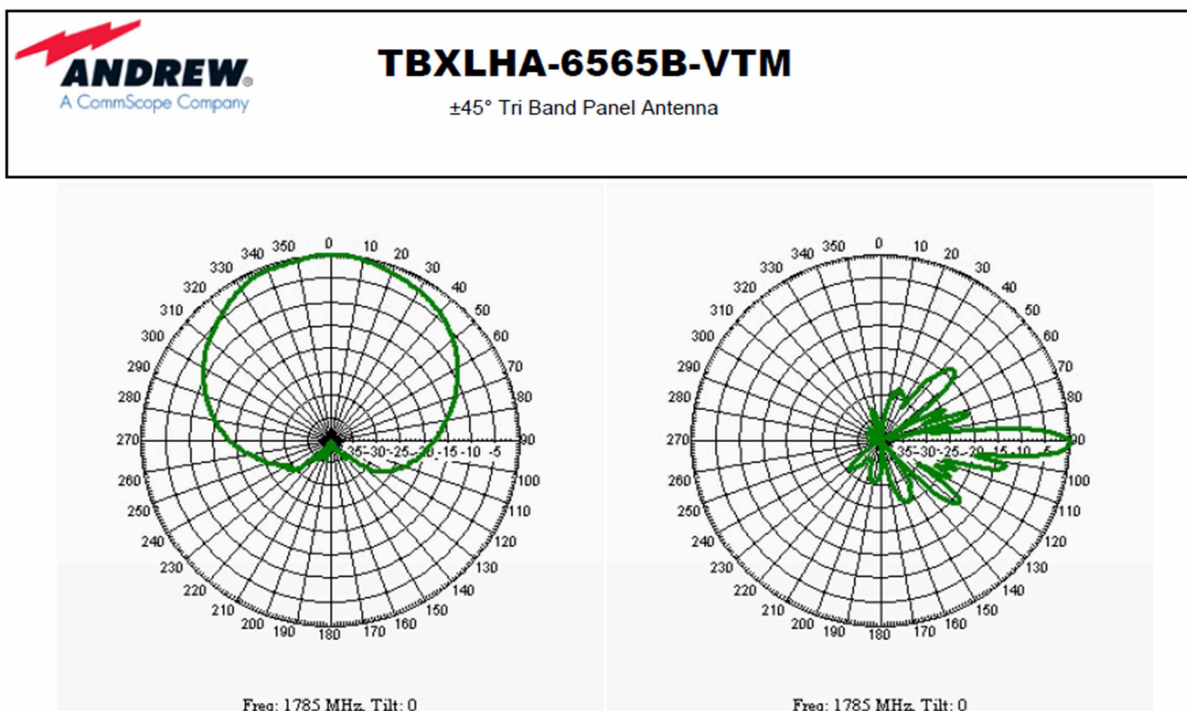


Figura 161 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 11 - 12 \\
 &= -7,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -86,795131 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(290 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 102,461996\text{dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -63,961996 \text{ dBm}$$

5.20 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 20

Tabela 34 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 20

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 20
Latitude:	18° 35' 33.75" S
Longitude:	46° 30' 53.66" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 53

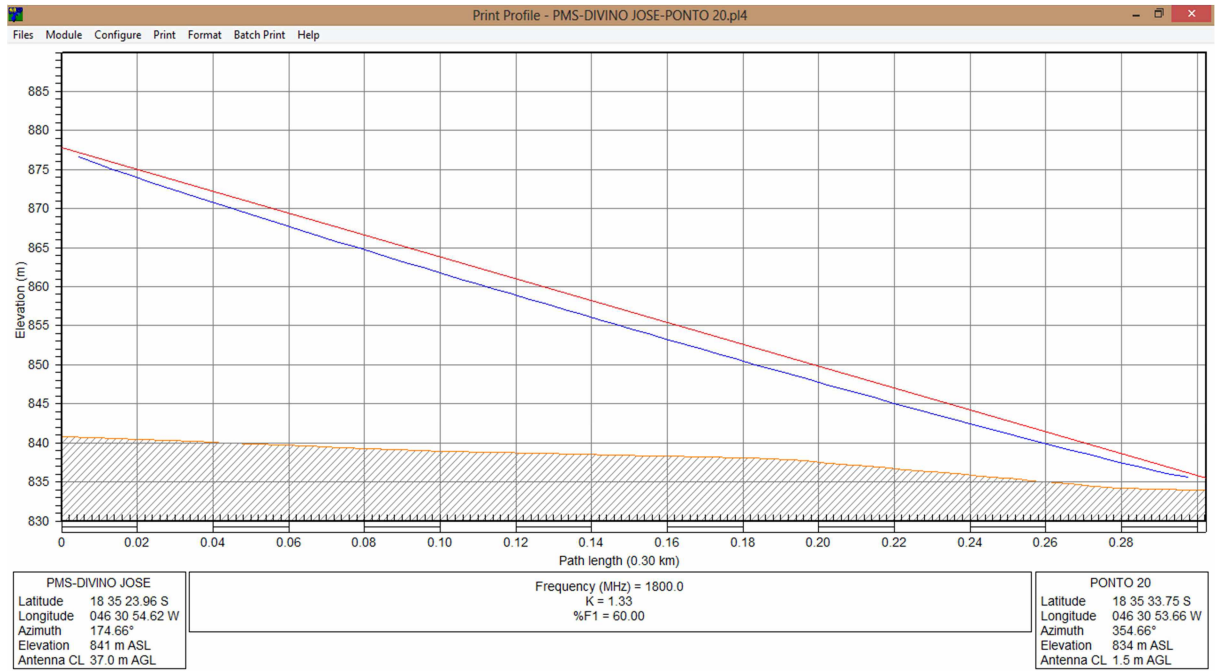


Figura 162 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 20

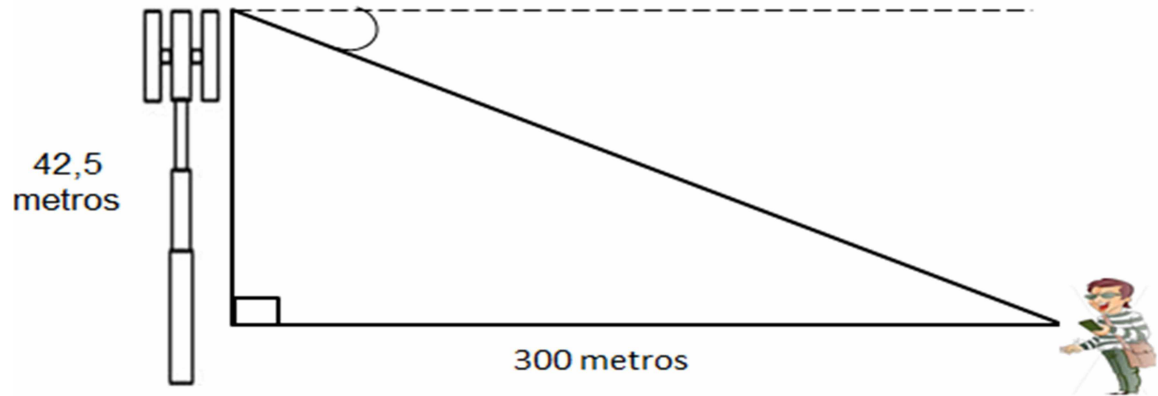


Figura 163 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 20

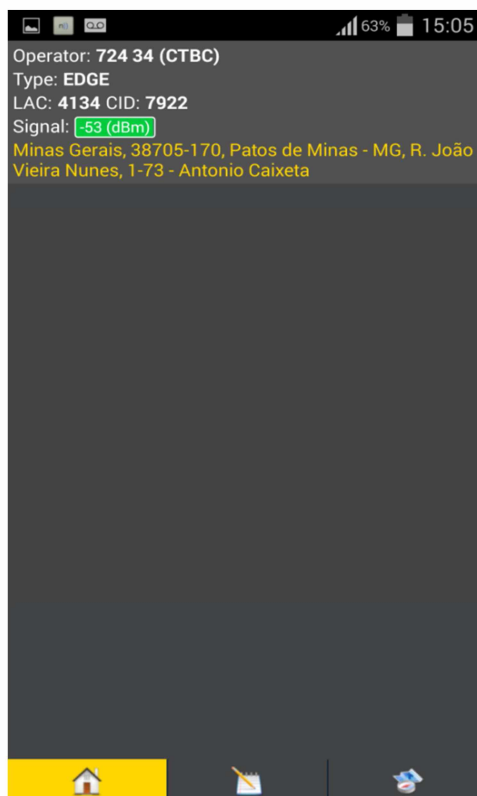


Figura 164 - Sinal Recebido captado no Ponto 20

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{40,5}{300} \rightarrow \tan \theta = 0,135$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,135 \rightarrow \theta = 8^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 174,66^{\circ} - (106)^{\circ} = 68,66^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

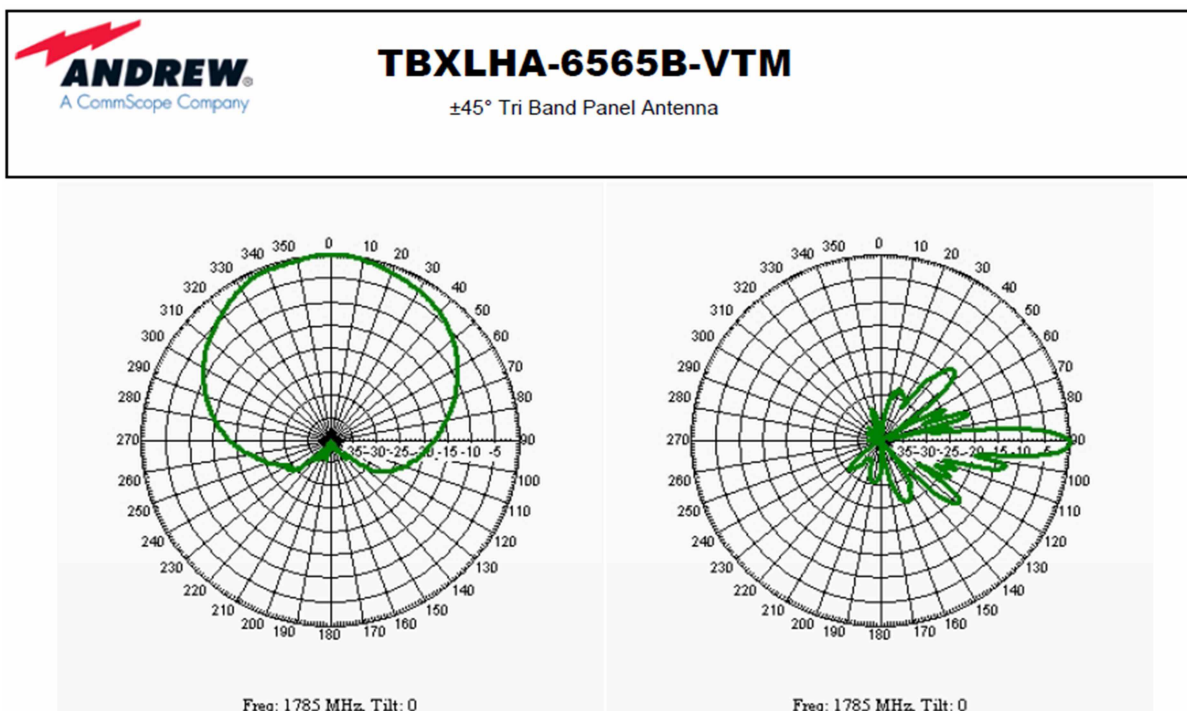


Figura 165 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 11 - 12 \\
 &= -7,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -87,089596 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(300 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 102,756461 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -64,256461 \text{ dB}$$

5.21 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 21

Tabela 35 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 21

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 21
Latitude:	18° 35' 35.99" S
Longitude:	46° 30' 49,93" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	-61

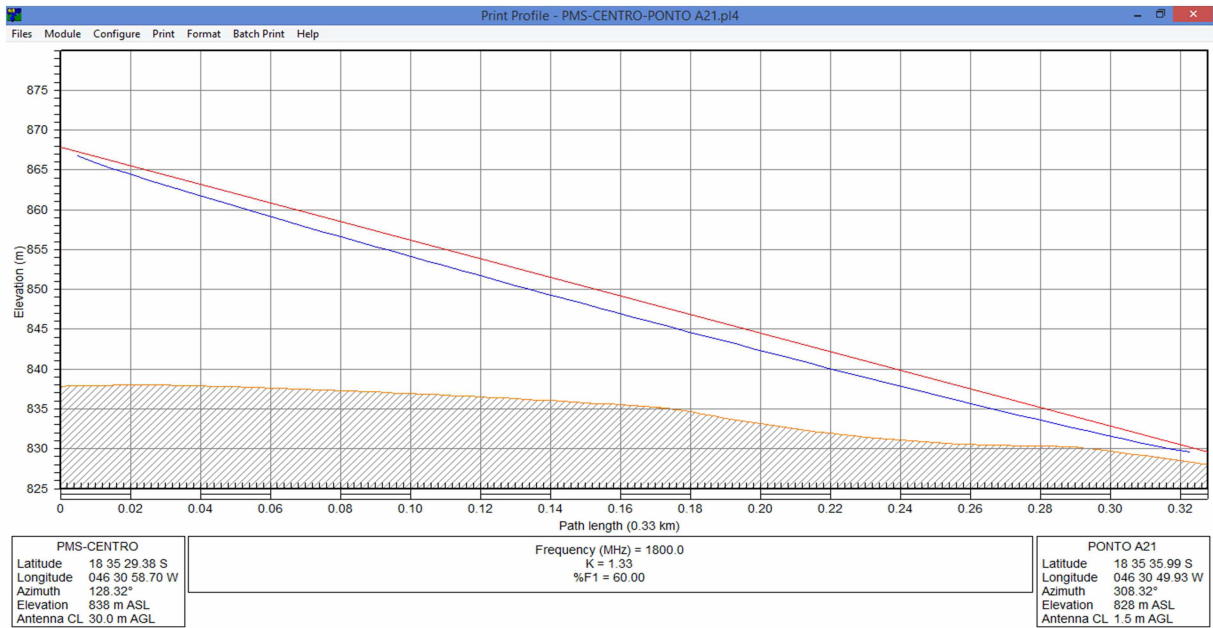


Figura 166 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 21

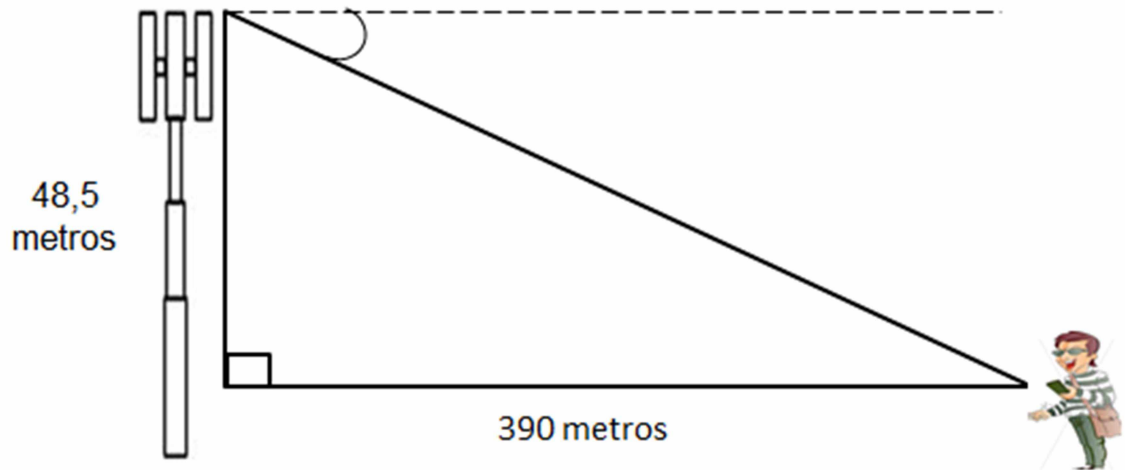


Figura 167 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 21

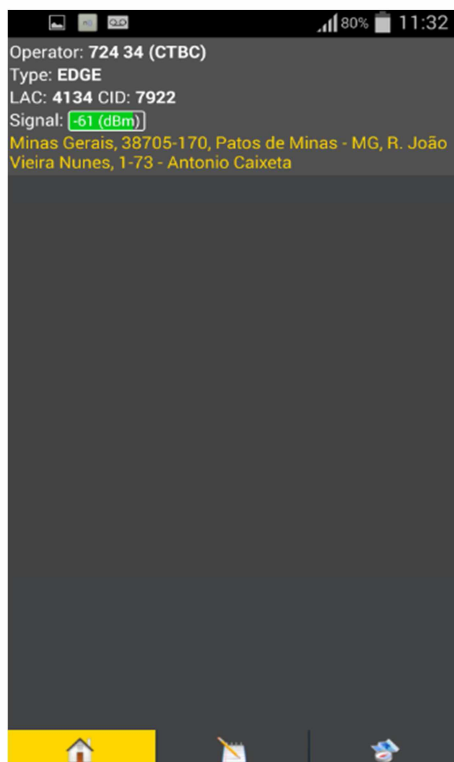


Figura 168 - Sinal Recebido no Ponto 21

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{48,5}{390} \rightarrow \tan \theta = 0,124358$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,124358 \rightarrow \theta = 7^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 159,61^{\circ} - (106)^{\circ} = 53,61^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

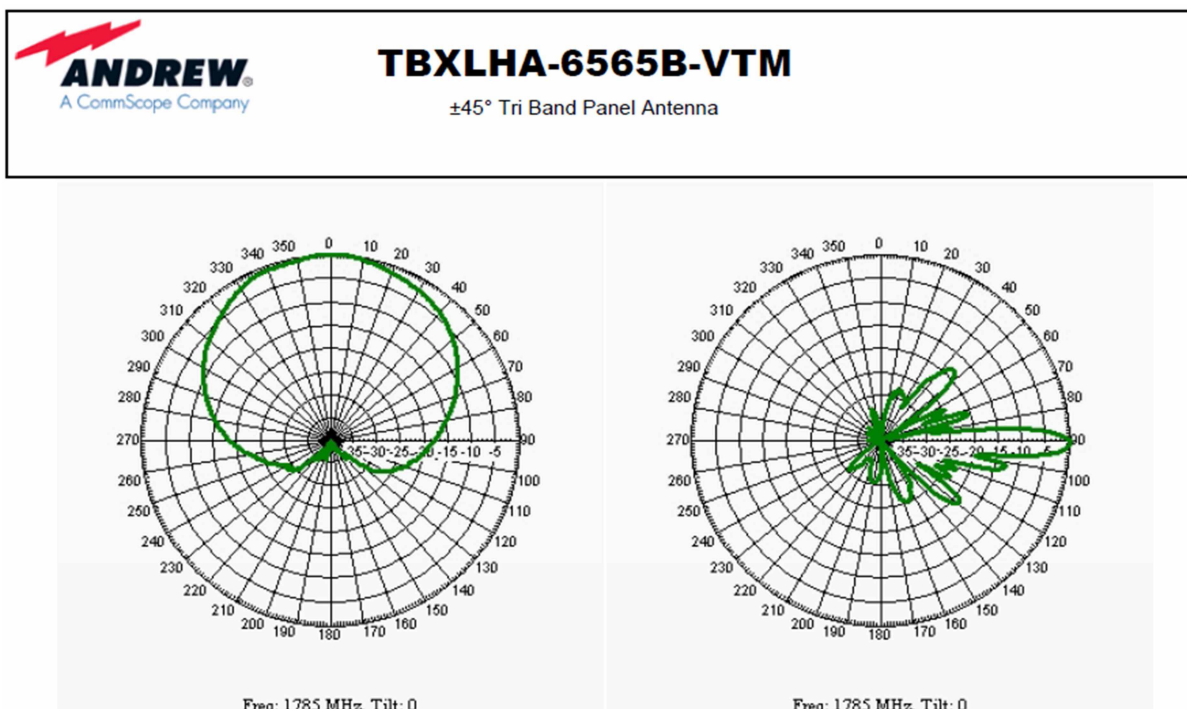


Figura 169 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 7 - 10 \\
 &= -1,4 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -89,368463 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(390 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 105,035328 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -60,535328 \text{ dB}$$

5.22 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 22

Tabela 36 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 22

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 22
Latitude:	18° 35' 44.24" S
Longitude:	46° 30' 49.74" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 63

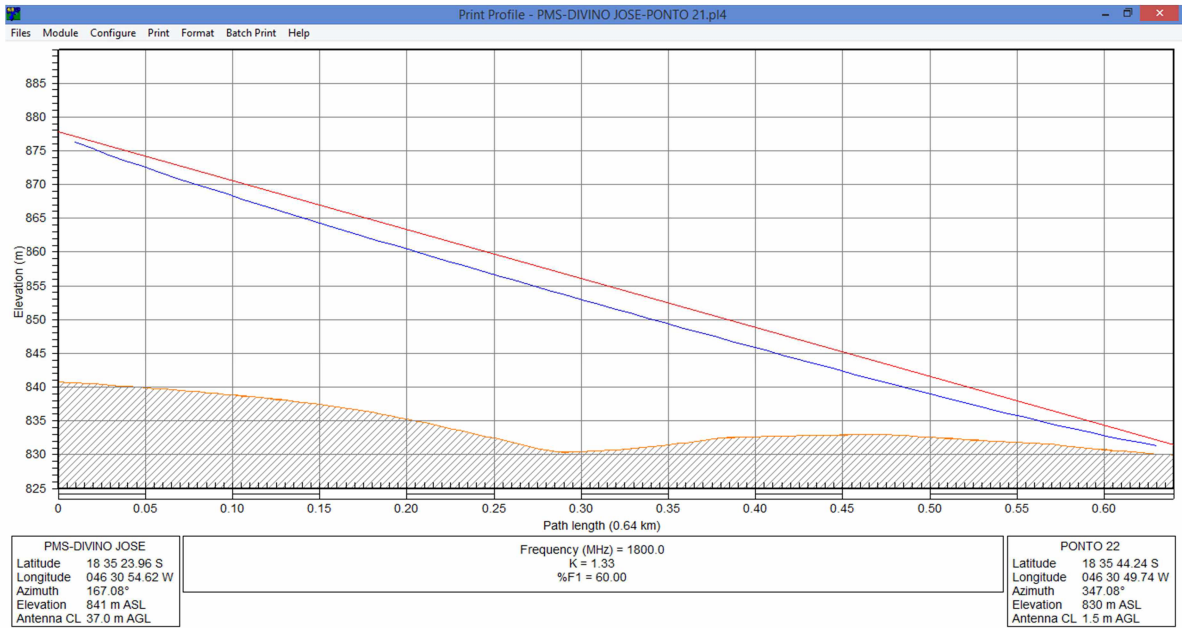


Figura 170 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 22

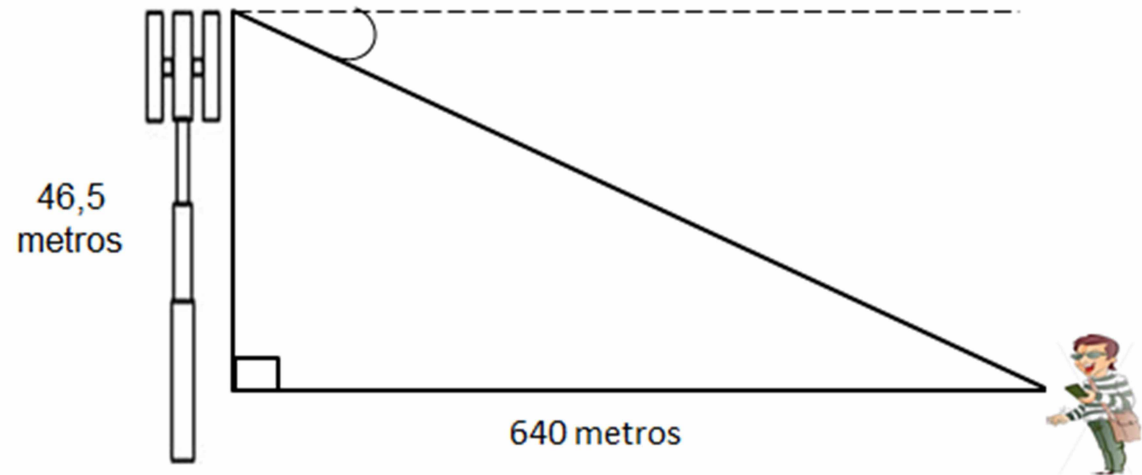


Figura 171 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 22

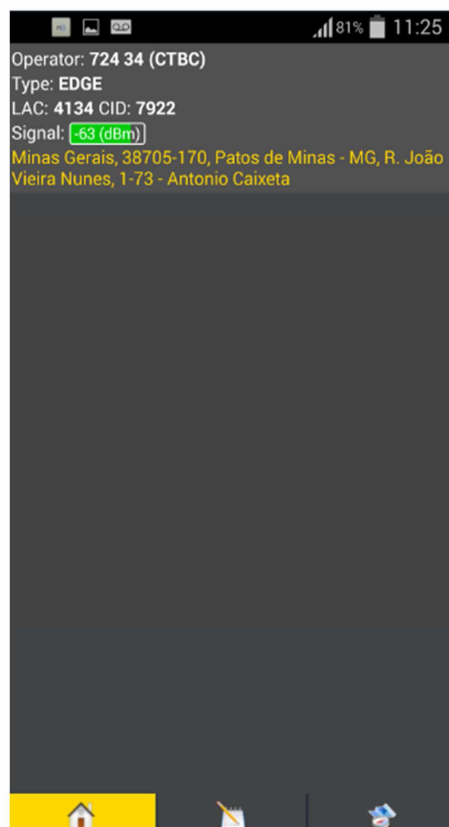


Figura 172 - Sinal Recebido no Ponto 22

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{46,5}{640} \rightarrow \tan \theta = 0,0726562$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0726562 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 167,08^{\circ} - (106)^{\circ} = 61,08^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

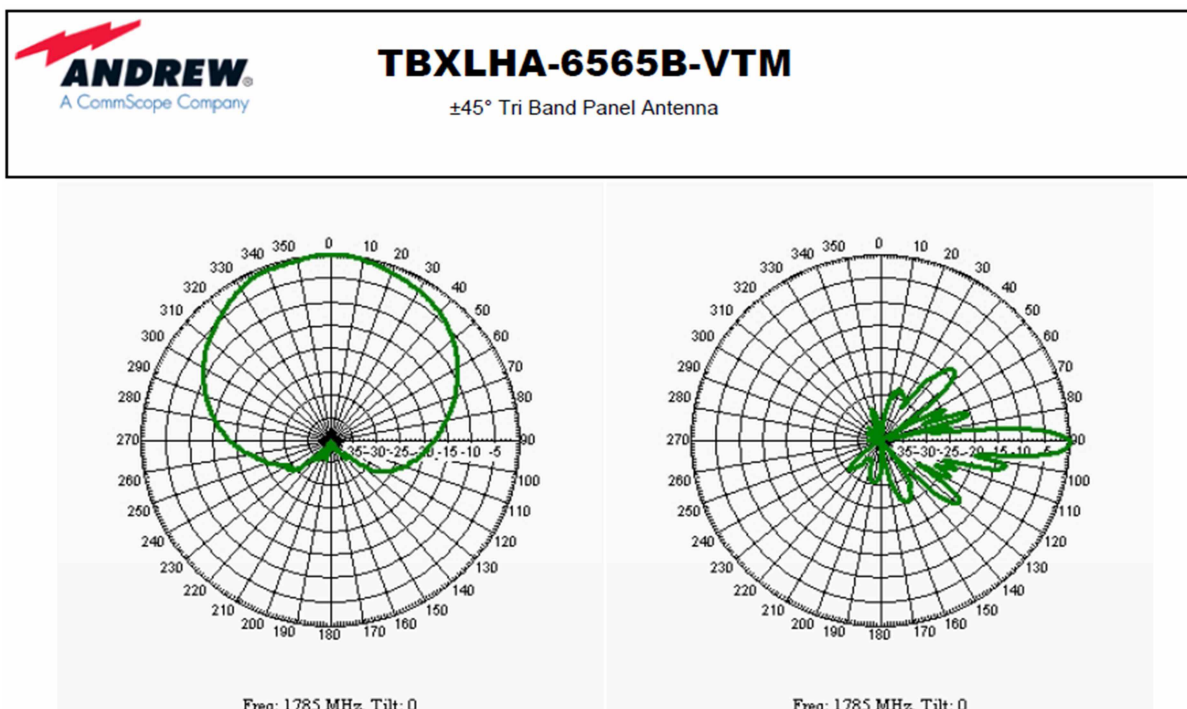


Figura 173 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 9 - 2 \\
 &= 4,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -93,670770 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{\text{MU}}(1800 \text{ MHz}(640 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{\text{te}}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{\text{re}}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 109,337636 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -58,837636 \text{ dB}$$

5.23 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 23

Tabela 37 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 23

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 23
Latitude:	18° 35' 43.41" S
Longitude:	46° 30' 49.69" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

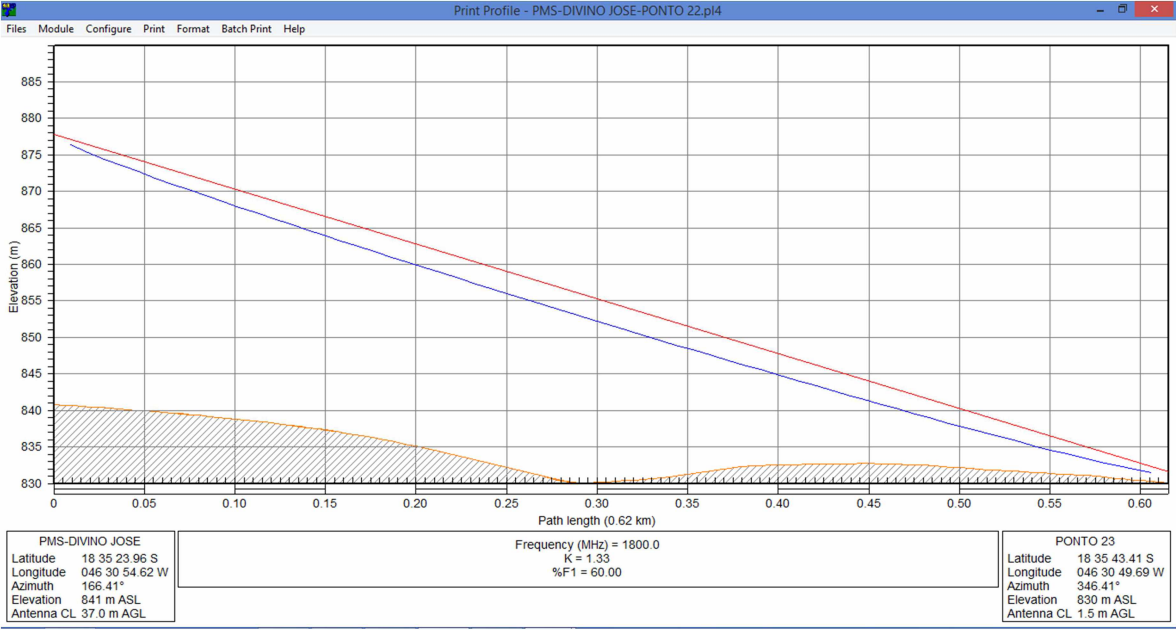


Figura 174 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 23

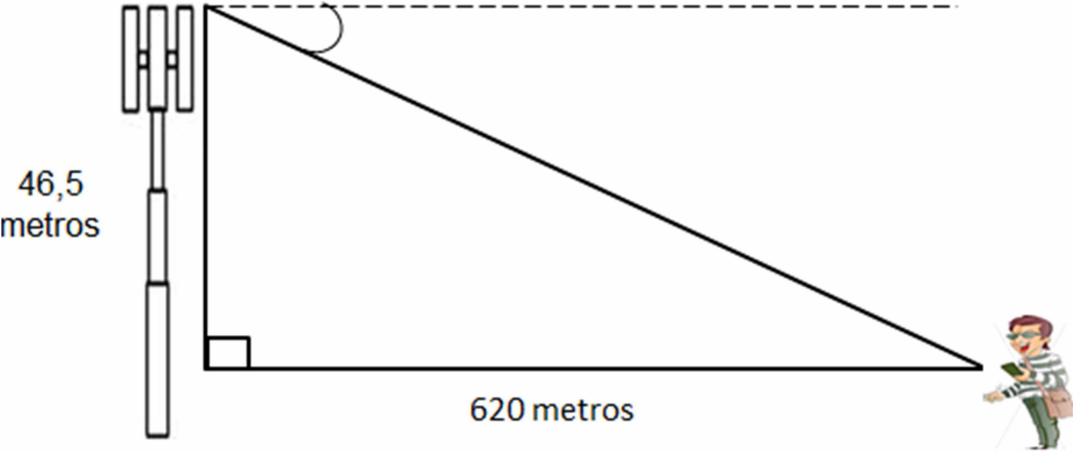


Figura 175 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 23

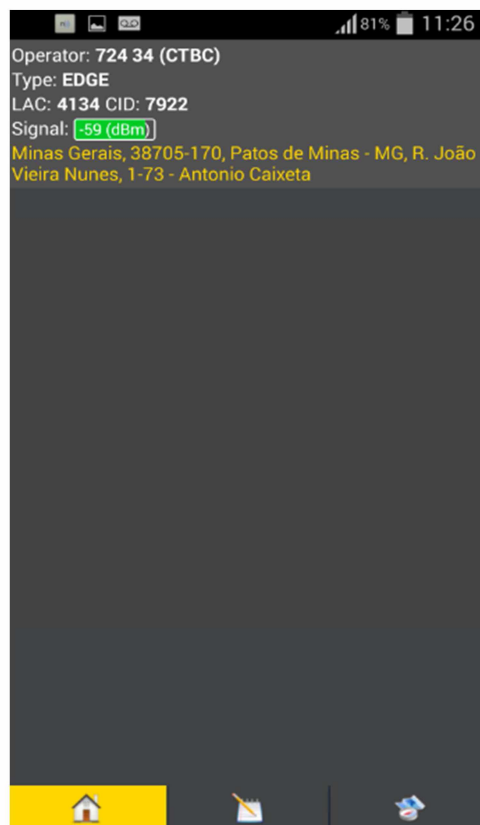


Figura 176 - Sinal Recebido no Ponto 23

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{46,5}{620} \rightarrow \tan \theta = 0,075$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,075 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 166,41^{\circ} - (106)^{\circ} = 60,41^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

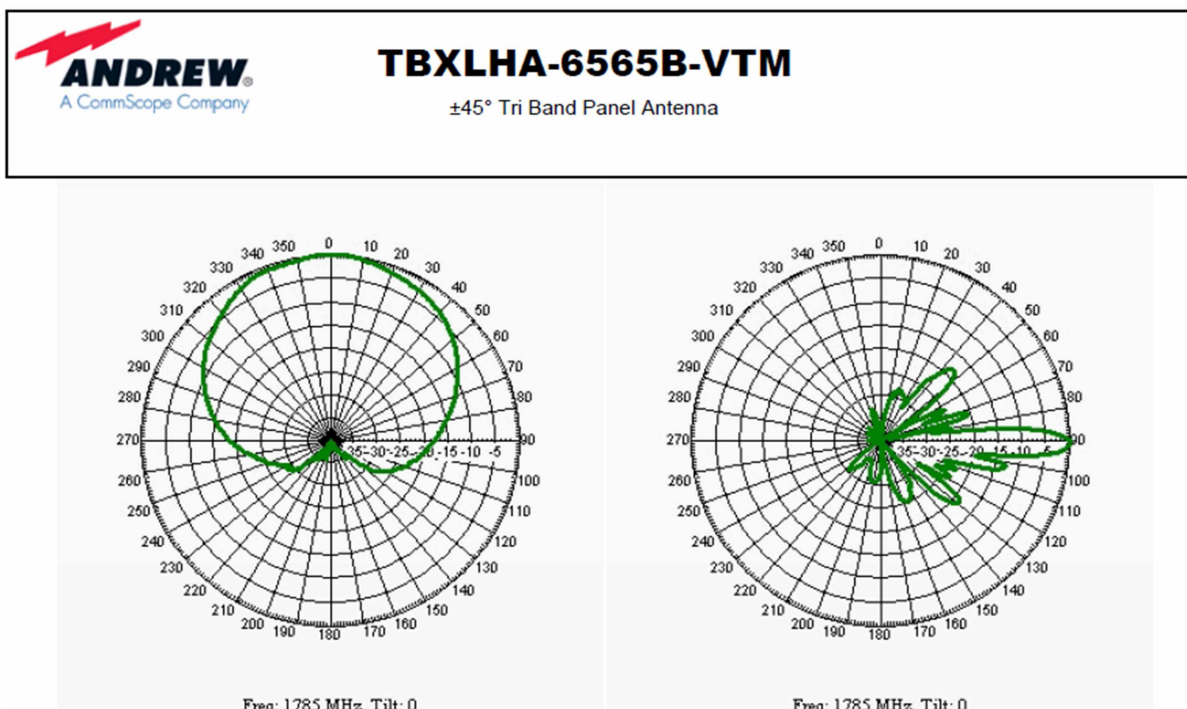


Figura 177 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 9 - 2 \\
 &= 4,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -93,396005 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz (640 m)}) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 109,061870 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -58,561870\text{dB}$$

5.24 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 24

Tabela 38 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 24

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 24
Latitude:	18° 35' 42.62" S
Longitude:	46° 30' 49,39" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

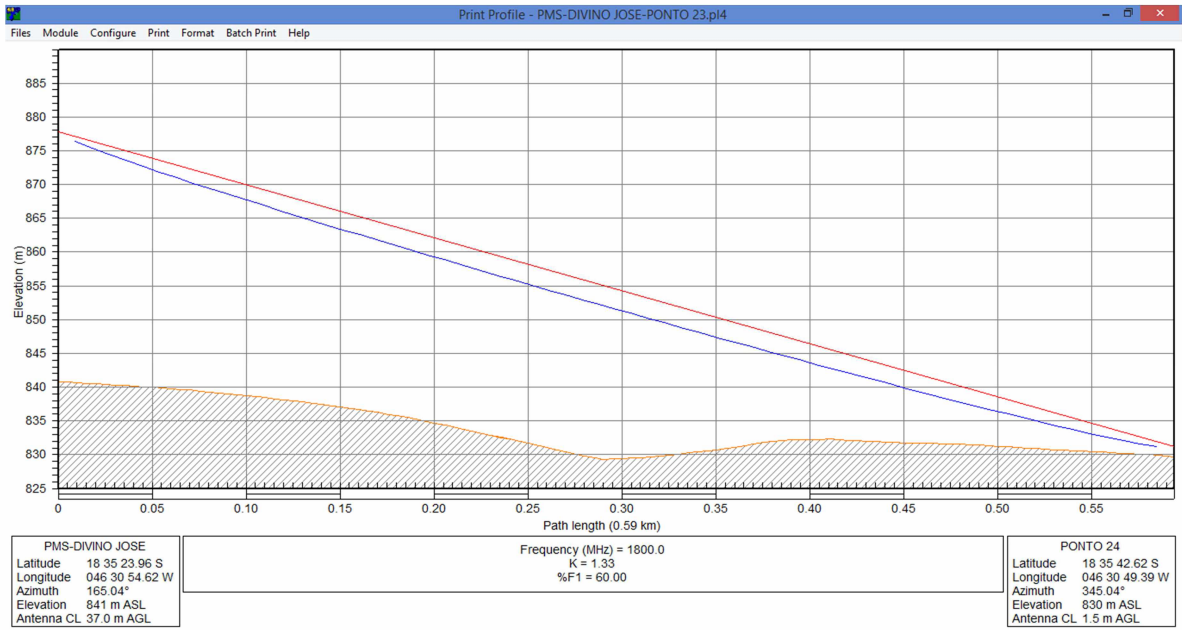


Figura 178 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 24

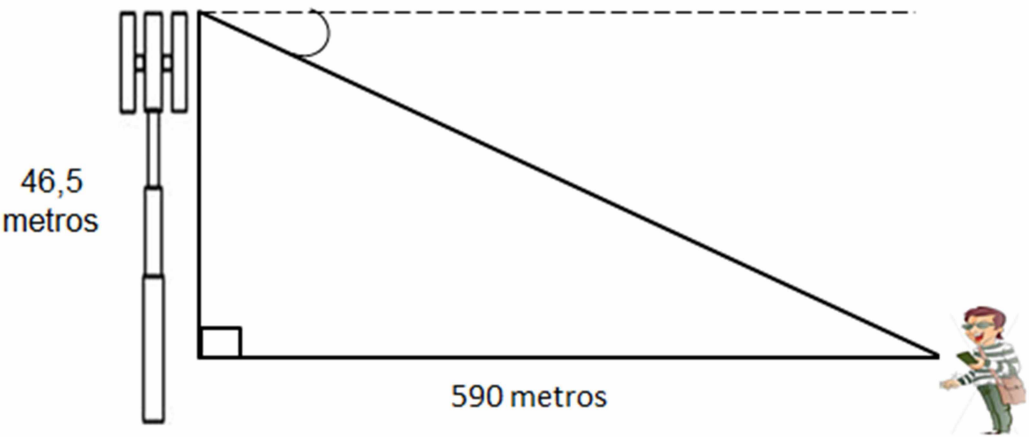


Figura 179 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 24

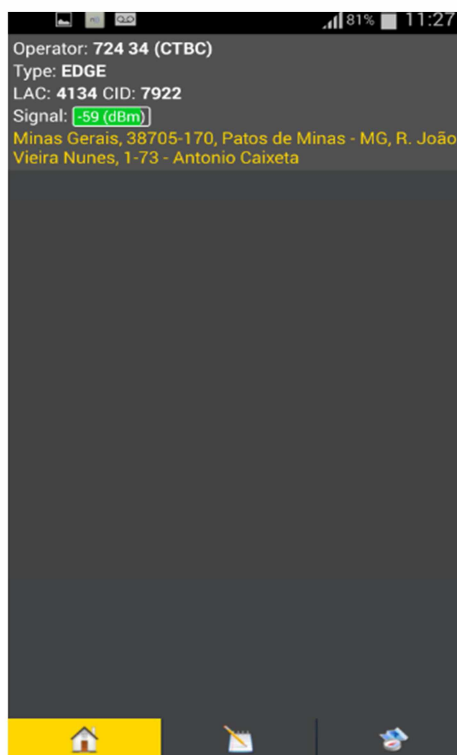


Figura 180 - Sinal Recebido no Ponto 24

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{46,5}{590} \rightarrow \tan \theta = 0,07881356$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,07881356 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link} \\ &= 165,04^{\circ} - (106)^{\circ} = 59,04^{\circ} \end{aligned}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

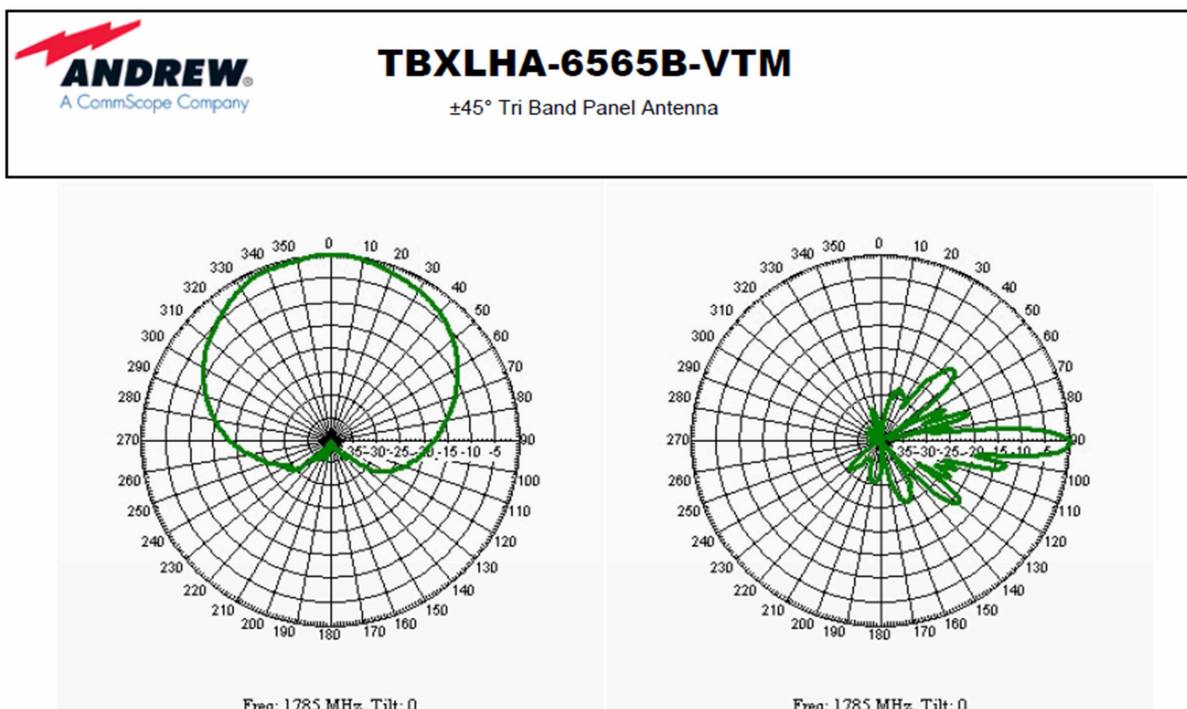


Figura 181 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimuth)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 8 - 2 \\
 &= 5,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -92,964211 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(590 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ÁREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação


$$L_{50}(\text{dB}) = 108,631076 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -57,131076 \text{ dB}$$

5.25 Cálculo do Sinal Recebido - Ponto 25

Tabela 39 - Formulário de Coleta de dados – Ponta 25

Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	
Data: 16/09/2014	
Estação Rádio-Base	
Nome:	PMS-DIVINO JOSE (CID:7922)
Latitude:	18° 35' 23.96" S
Longitude:	46° 30' 54.62" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.877,6 MHz
Recepção (MHz):	1.788,6 MHz
Modelo da antena:	TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil)
Ganho da antena:	15.6 dBi
Altura da antena:	37 metros
Sinal de Tx (dBm):	47,2
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	PONTA 24
Latitude:	18° 35' 40.97" S
Longitude:	46° 30' 49,50" W
Tecnologia:	GSM
Transmissão (MHz):	1.788,6 MHz
Recepção (MHz):	1.877,6 MHz
Modelo da antena:	-
Ganho da antena:	≅ 0,1
Altura da antena:	1,5 metros
Sinal de Tx (dBm):	-
Sinal de Rx (dBm):	- 59

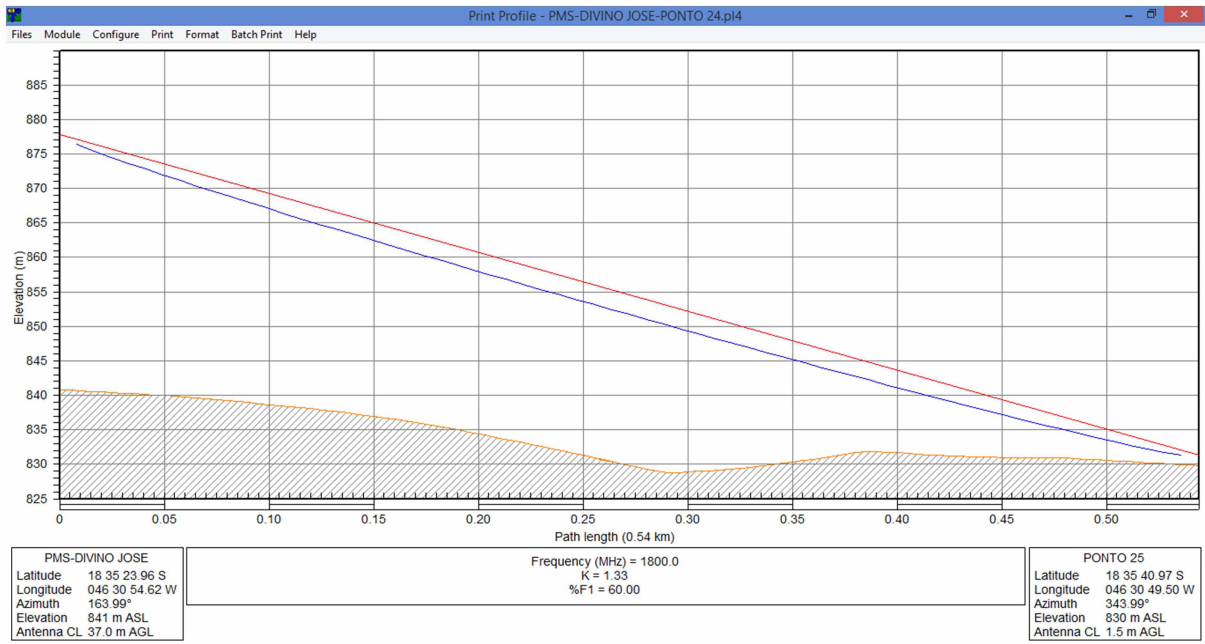


Figura 182 - Enlace PMS-DIVINO JOSE x Ponta 25

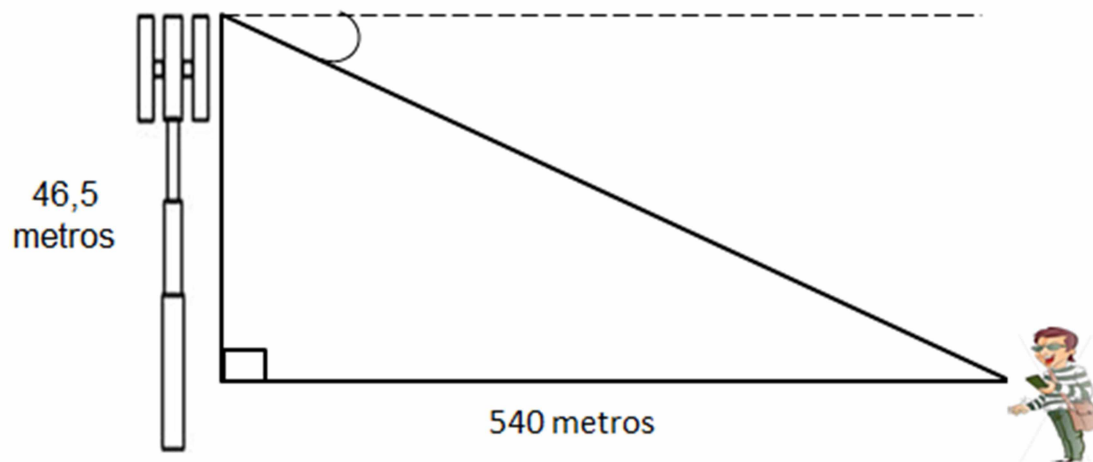


Figura 183 - Análise do ângulo de elevação da estação PMS-DIVINO JOSE em relação ao Ponto 25

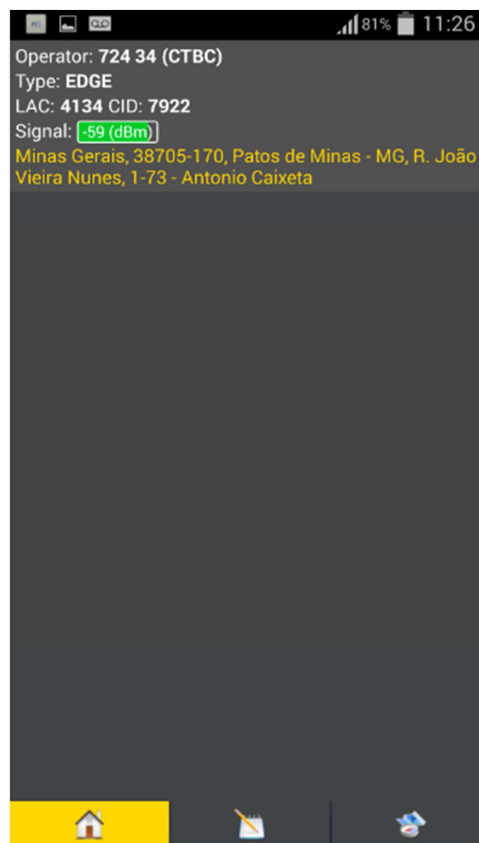


Figura 184 - Sinal Recebido no Ponto 25

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \rightarrow \tan \theta = \frac{46,5}{540} \rightarrow \tan \theta = 0,0861111$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0861111 \rightarrow \theta = 4^{\circ}$$

$$= \text{Azimute NV antena instalada} - \text{Azimute NV do link}$$

$$= 163,99^{\circ} - (106)^{\circ} = 57,99^{\circ}$$

De acordo com o Datasheet da antena de modelo TBXLHA-6565B-VTM (Andrew do Brasil) no Anexo 4, o ganho de operação da mesma na faixa de frequência (1.710 MHz–1.880 MHz) é de 15.6 dBi. Porém, conforme informado anteriormente, calcula-se o ganho da antena da seguinte forma:

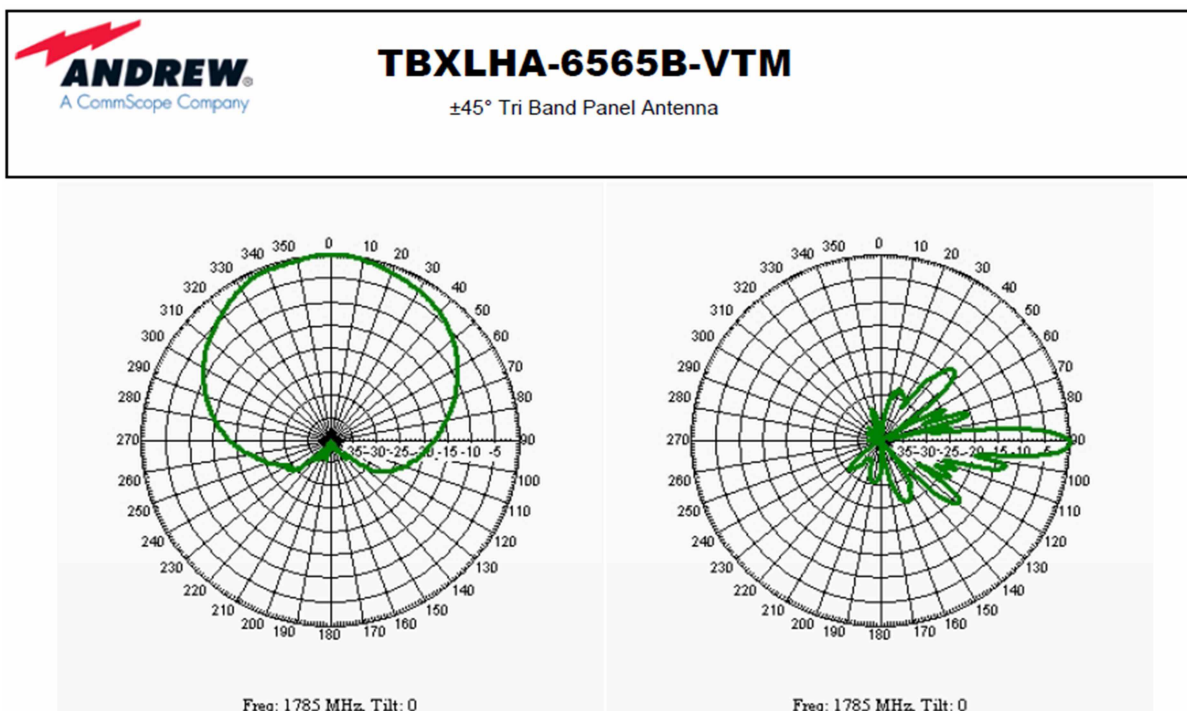


Figura 185 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHA-6565B-VTM (1710-1880 MHz)

$$\begin{aligned}
 \text{Ganho da Antena} &= \\
 &= \text{Ganho da Antena(DataSheet)} - \text{Perdas(Azimute)} - \text{Perdas(ângulo de Elevação)} \\
 &= 15.6 - 8 - 2 \\
 &= 5,6 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

- Perda no Espaço Livre

$$A_0 = -92,195046 \text{ dB}$$

- Através das Curvas de Okumura tem-se:

$$A_{MU}(1800 \text{ MHz}(540 \text{ m})) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{\text{AREA}} = 12 \text{ dB}$$

- Fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel

$$G(h_{te}) = -14,656565 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = -3,0103 \text{ dB}$$

- Mediana da perda no caminho de propagação

$$L_{50}(\text{dB}) = 107,861911 \text{ dB}$$

- A Potência Média Recebida:

$$P_r(d) = -56,361911 \text{ dBm}$$

5.26 Resultados

Os cálculos realizados nos testes mencionados no Capítulo 4 serão úteis na análise dos resultados neste Capítulo 5. No Capítulo 4 foi obedecido o limite de uso do método de Okumura em relação a distância do link, sendo uma variação de 1 km até 100 km. A fim de proporcionar cálculos por meio do método de Okumura para enlaces de comunicações móveis com distâncias menores que 1 km, os testes neste Capítulo 5 teve o objetivo da extrapolação do modelo de propagação de Okumura para links inferiores de 1 km.

Portanto, segue na Figura 186 os cálculos realizados referente aos 25 links com distâncias menores que 1 km da estação rádio-base PMS-JOSE DIVINO até o ponto móvel,

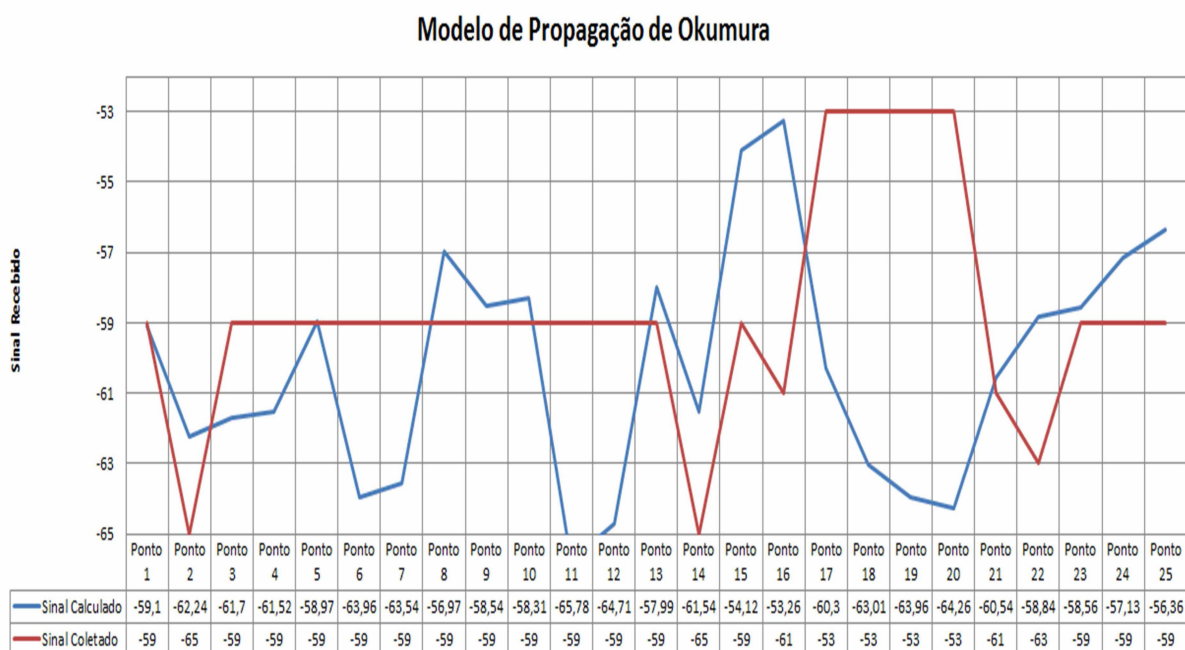


Figura 186 - Comparação de 25 amostras em links com distância menor que 1 km

Os resultados obtidos nos proporciona a interpretação dos cálculos matemáticos em conjunto com os dados coletados. Portanto, através desses testes, observa-se que os links realizados com uma distância superior que 300 metros, os sinais recebidos estão dentro do limite de desvio no valor de 4,312649 dB calculado nos testes no Capítulo 4.

Entretanto, os enlaces realizados entre estação rádio-base e móvel com distância igual ou inferior a 300 metros tiveram uma irregularidade de acordo com os testes padrões estipulados neste Capítulo 5. Assim, após análises de todos os resultados e cálculos efetuados propõe-se uma continuação do método de Okumura para links menores que 1 km.

Conclui-se que os enlaces efetuados com distâncias superiores a 1 km até 100 km obedecem as características e cálculos desenvolvidos por Okumura. Os links com distâncias menores que 1 km e maiores que 300 metros estão dentro da margem do desvio e podem ser calculados de acordo com o método de Okumura. Neste capítulo apenas 1 ponto não estava de acordo com a teoria acima.

Capítulo 6

Resultados e Discussão – Modelo Okumura

O Capítulo 6 tem o objetivo de realizar a validação dos resultados encontrados no Capítulo 5. Neste capítulo serão analisados 40 pontos em outra região central da cidade de Patos de Minas-MG, conforme a Figura 187.



Figura 187 - 40 Pontos no Centro de Patos de Minas-MG

As simulações neste capítulo serão realizadas por meio da estação PMS-CENTRO e estão associadas ao setor com o CELLID de número 7903 que possui as seguintes características, conforme Tabela 40:

Tabela 40- Estação PMS-CENTRO

Ponto Origem	18° 35' 29.38"S 46° 30' 58.70"S
Altura da Antena	30 metros
Azimute da antena instalada	306°
Ganho da Antena	17,7 dBi
Altitude	838 m
Potência de Transmissão BTS	46,63 dBm
Ganho da Antena Móvel	0,1 dBi
Frequência em operação (Hz)	1.800 MHz
Perda em Cabos	3dB

O fator do ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel será o mesmo para todos os pontos, pois a altura da estação rádio-base e móvel não alteram de acordo com a variação dos pontos. A seguir tem-se o cálculo desses fatores considerando a altura da estação rádio-base 30 metros e a altura do móvel 1,5 metros.

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{30}{200} \right)$$

$$= 20 \log 30 - 20 \log 200$$

$$= 29,542425 - 46,020600$$

$$= -16,478175 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

O diagrama de irradiação da antena utilizada no setor 7903 para a faixa de frequência de 1.800 MHz refere-se ao *Data Sheet* no Anexo 2.

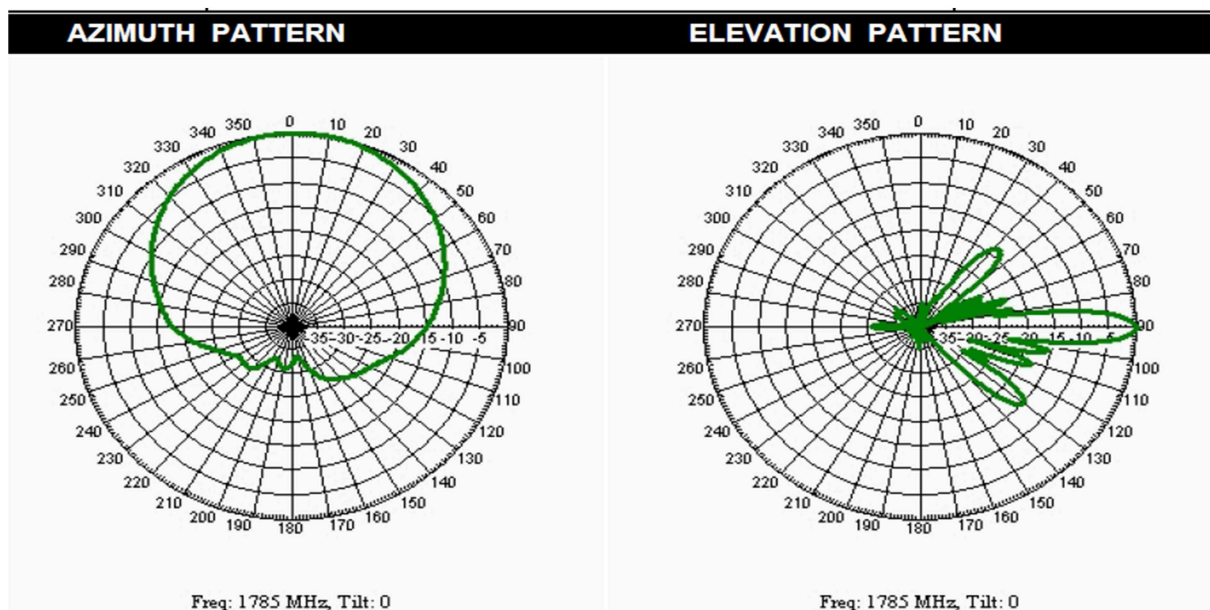


Figura 188 - Diagrama de irradiação da Antena HBXX-6516DS-VTM (1710-1880 MHz)

A Tabela 41 disponibiliza os valores encontrados no teste em 40 pontos em conjunto com as características mencionadas na Tabela 40. As duas últimas colunas da tabela a seguir, permite a análise do Sinal Recebido Coletado e Calculado e as outras colunas informam os valores que foram utilizados no cálculos.

Tabela 41 - Resultados de 40 pontos (Sinal Coletado vs Sinal Calculado)

	Latitude	Longitude	Distância	Altitude	Ângulo de Elevação	Diferença de Azimute	Perda por Ângulo de Elevação	Perda por Diferença de Azimute	Ganho Final da Antena transmissora	Perda no Espaço Livre	Potência Média Recebida	Sinal Recebido Coletado
Ponto A1	18° 35' 27.01" S	46° 31' 1.26" W	100	836	16,96171	8,15	-15	0	2,7	-77,5472	-48,605646	-55
Ponto A2	18° 35' 29.35" S	46° 31' 0.41" W	50	837	30,5406	-34,95	-25	-2	-9,3	-71,5266	-54,585046	-59
Ponto A3	18° 35' 30.23" S	46° 30' 59.61" W	40	838	35,46987	-80,41	-17	-13	-12,3	-69,5884	-55,646845	-61
Ponto A4	18° 35' 29.06" S	46° 31' 0.92" W	70	837	22,85195	-27,4	-16	-2	-0,3	-74,4491	-48,507606	-59
Ponto A5	18° 35' 28.38" S	46° 31' 0.08" W	50	837	30,5406	1,23	-25	0	-7,3	-71,5266	-52,585046	-59
Ponto A6	18° 35' 25.15" S	46° 31' 1.23" W	150	837	11,12617	24,3	-15	-1	1,7	-81,069	-53,127471	-59
Ponto A7	18° 35' 24.6" S	46° 31' 1.51" W	170	837	9,84447	24,73	-15	-1	1,7	-82,1561	-54,214624	-59
Ponto A8	18° 35' 24.24" S	46° 31' 1.77" W	180	837	9,307399	24,34	-14,5	-1	2,2	-82,6526	-54,211096	-59
Ponto A9	18° 35' 24.24" S	46° 31' 1.96" W	180	837	9,307399	22,24	-14,5	-0,5	2,7	-82,6526	-53,711096	-61
Ponto A10	18° 35' 24.87" S	46° 31' 3.77" W	200	835	8,950559	7,01	-14	0	3,7	-83,5678	-53,626246	-59
Ponto A11	18° 35' 26.78" S	46° 31' 4.61" W	190	833	9,999378	-11,23	-14	0	3,7	-83,1222	-53,180718	-65
Ponto A12	18° 35' 27.73" S	46° 31' 4.8" W	190	833	9,999378	-20,16	-14	-1,5	2,2	-83,1222	-54,680718	-65
Ponto A13	18° 35' 28.74" S	46° 31' 4.35" W	170	834	10,82301	-29,23	-14	-1,5	2,2	-82,1561	-53,714624	-59
Ponto A14	18° 35' 28.66" S	46° 31' 4.78" W	180	833	10,54276	-28,92	-14	-2,5	1,2	-82,6526	-55,211096	-61
Ponto A15	18° 35' 28.66" S	46° 31' 5.74" W	210	832	9,32954	-29,88	-13	-3,2	1,5	-83,9916	-56,250032	-61
Ponto A16	18° 35' 28.58" S	46° 31' 5.67" W	210	832	9,32954	-29,14	-13	-3,2	1,5	-83,9916	-56,250032	-65
Ponto A17	18° 35' 29.31" S	46° 31' 7.28" W	250	829	8,530766	-35,51	-12	-3	2,7	-85,506	-56,564446	-61
Ponto A18	18° 35' 29.11" S	46° 31' 7.59" W	260	829	8,207216	-34,18	-13,5	-4	0,2	-85,8466	-59,405113	-67
Ponto A19	18° 35' 29.35" S	46° 31' 8.05" W	270	828	8,115247	-35,81	-13,5	-4	0,2	-86,1744	-59,732921	-69
Ponto A20	18° 35' 29.45" S	46° 31' 8.55" W	290	825	8,143932	-45,43	-13,5	-4	0,2	-86,7951	-60,353606	-65
Ponto A21	18° 35' 29.81" S	46° 31' 9.84" W	330	825	7,16775	-38,32	-13	-4	0,7	-87,9174	-60,975924	-65
Ponto A22	18° 35' 29.61" S	46° 31' 10.15" W	340	824	7,125016	-37,21	-13	-4,5	0,2	-88,1767	-61,735224	-61
Ponto A23	18° 35' 29.71" S	46° 31' 11.02" W	360	822	7,04665	-37,61	-13	-4,5	0,2	-88,6732	-62,231696	-65
Ponto A24	18° 35' 29.45" S	46° 31' 12.17" W	390	819	6,944131	-36,31	-12	-4	1,7	-89,3685	-61,426938	-65
Ponto A25	18° 35' 30.13" S	46° 31' 12.72" W	410	818	6,746321	-39,21	-12	-4,5	1,2	-89,8028	-62,361323	-71
Ponto A26	18° 35' 29.95" S	46° 31' 12.07" W	390	820	6,799321	-38,56	-12	-4,5	1,2	-89,3685	-61,926938	-69
Ponto A27	18° 35' 29.95" S	46° 31' 11.22" W	370	822	6,858038	-38,73	-12	-4,5	1,2	-88,9112	-61,469680	-59
Ponto A28	18° 35' 29.10" S	46° 31' 8.70" W	290	827	7,756349	-34,32	-13	-4	0,7	-86,7951	-59,853606	-55
Ponto A29	18° 35' 28.67" S	46° 31' 8.5" W	290	828	7,562287	-31,66	-13	-1,9	2,8	-86,7951	-57,753606	-61
Ponto A30	18° 35' 23.49" S	46° 31' 5.09" W	260	833	7,341891	8,03	-13	0	4,7	-85,8466	-54,905113	-61
Ponto A31	18° 35' 28.05" S	46° 30' 57.4" W	60	838	25,40772	-263,01	-16	-20	-18,3	-73,1102	-65,168671	-59
Ponto A32	18° 35' 27.81" S	46° 30' 58.39" W	50	838	29,68314	-295,37	-25	-13	-20,3	-71,5266	-65,585046	-61
Ponto A33	18° 35' 27.22" S	46° 30' 59.44" W	70	837	22,85195	36,83	-16	-4	-2,3	-74,4491	-50,507606	-59
Ponto A34	18° 35' 26.61" S	46° 30' 59.91" W	90	836	18,72095	31,39	-15	-1,9	0,8	-76,632	-49,590496	-59
Ponto A35	18° 35' 25.91" S	46° 30' 59.82" W	110	837	15,01243	36,89	-15	-4	-1,3	-78,375	-53,433499	-59
Ponto A36	18° 35' 24.69" S	46° 31' 0.94" W	160	837	10,44659	29,51	-14	-1,5	2,2	-81,6296	-53,188045	-59
Ponto A37	18° 35' 24.75" S	46° 31' 1.08" W	160	837	10,44659	27,89	-14	-1,5	2,2	-81,6296	-53,188045	-59
Ponto A38	18° 35' 27.92" S	46° 31' 3.95" W	160	834	11,48199	-19,74	-15	-1,5	1,2	-81,6296	-54,188045	-65
Ponto A39	18° 35' 28.96" S	46° 31' 4.23" W	160	834	11,48199	-31,45	-15	-1,9	0,8	-81,6296	-54,588045	-59
Ponto A40	18° 35' 31.91" S	46° 31' 3.68" W	170	834	10,82301	-64,05	-14	-8	-4,3	-82,1561	-60,214624	-71

Conclui-se novamente que, enlaces maiores que 300 metros até 1 km podem utilizar o método de propagação de Okumura para o cálculo da potência recebida ou sinal recebido. Porém, em links abaixo de 300 metros os links móveis não atendem a teoria proposta no Capítulo 5. Neste capítulo, apenas 3 pontos entre 40 não atendem a esta teoria.

Capítulo 7

Resultados e Discussão – Modelo Okumura

Neste Capítulo 7, os testes serão realizados no centro da cidade de Uberlândia-MG com o objetivo de reforçar a teoria nos Capítulos 5 e 6.

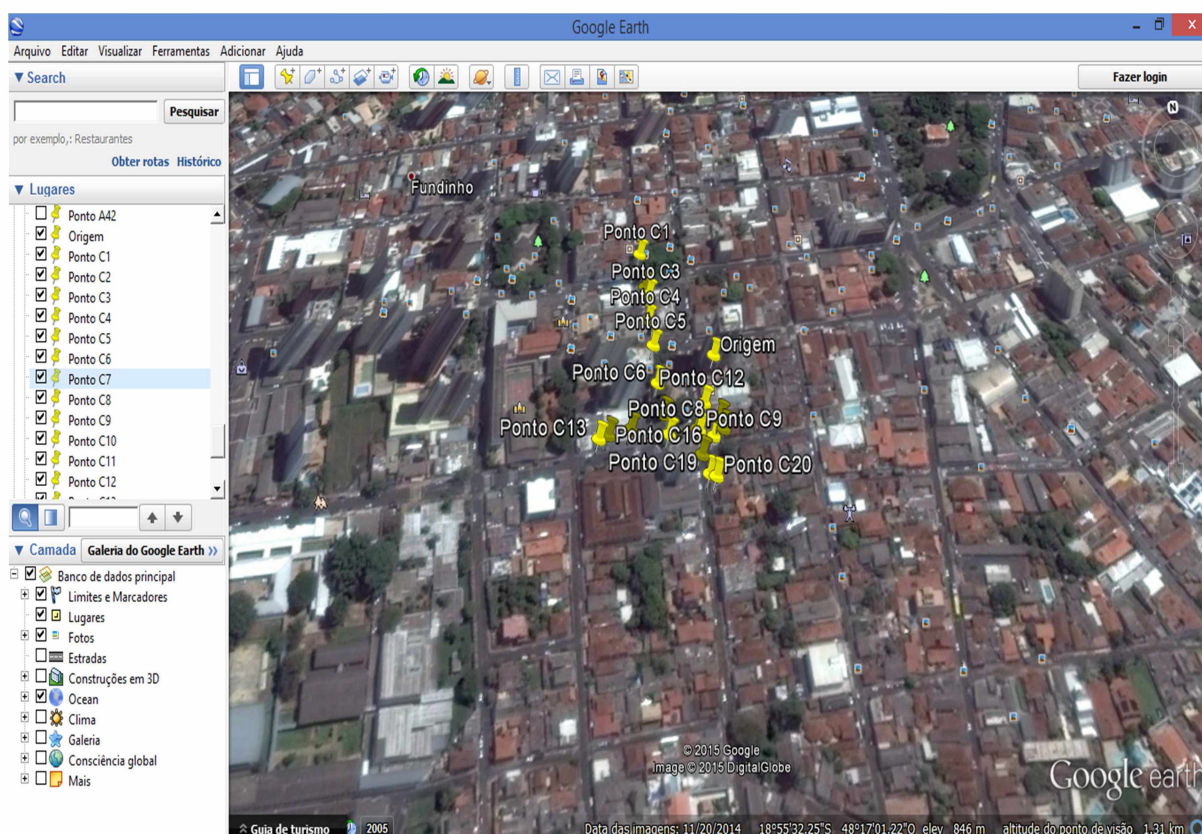


Figura 189 - 20 pontos no centro de Uberlândia - MG

As simulações neste Capítulo 7 foram realizadas em 20 pontos, conforme a Figura 189 por meio da estação rádio-base e ao setor com o CELLID 10532 que possui as características a seguir:

Tabela 42 - Estação rádio-base

Ponto Origem	18° 55' 30.03"S 48° 17' 01. 28"W
Altura da Antena	50 metros
Azimute da antena instalada	350°
Ganho da Antena	16,6 dBi
Altitude	849 m
Potência de Transmissão BTS	46,64 dBm
Ganho da Antena Móvel	0,1 dBi
Frequência em operação (Hz)	1.800 MHz
Perda em Cabos	4 dB

O fator de ganho da altura da antena na estação-base e estação móvel será o mesmo para todos os pontos. A seguir tem-se o cálculo desses fatores considerando a altura da estação rádio-base 50 metros e a altura do móvel 1,5 metros.

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right)$$

$$= 20 \log \left(\frac{50}{200} \right)$$

$$= 20 \log 50 - 20 \log 200$$

$$= 33,9794 - 46,020600$$

$$= -12,0412 \text{ dB}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1,5}{3} \right)$$

$$= 10 \log 1,5 - 10 \log 3$$

$$= 1,7609 - 4,7712$$

$$= -3,0103 \text{ dB}$$

O diagrama de irradiação da antena utilizada no setor 10532 para a faixa de frequência de 1.800 MHz refere-se ao *Data Sheet* no Anexo 5.

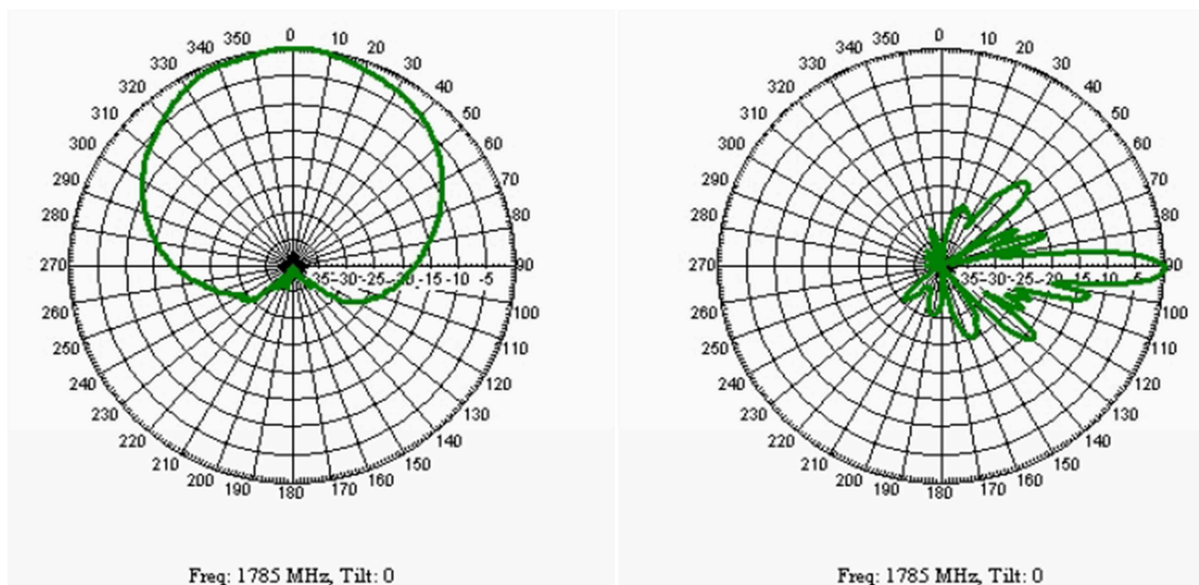


Figura 190 - Diagrama de irradiação da Antena TBXLHB-6565A-VTM (1710-1880 MHz)

A partir da Tabela 43, tem-se que links menores que 300 metros não podem utilizar o modelo de propagação de Okumura e apenas 1 ponto que não obedece esta teoria.

Tabela 43 - Resultados de 20 pontos (Sinal Coletado vs Sinal Calculado)

	Latitude	Longitude	Distância	Altitude	Ângulo de Elevação	Diferença de Azimute	Perda por Ângulo de Elevação	Perda por Diferença de Azimute	Ganho Final da Antena transmissora	Perda no Espaço Livre	Potência Média Recebida	Sinal Recebido Coletado
Ponto C1	18° 55' 27.07" S	48° 17' 3.04" W	100	847	11,034209	-19,5	-13	-2	2,7	-77,5471708	-45,158671	-55
Ponto C2	18° 55' 28.07" S	48° 17' 2.94" W	80	848	13,0207673	-28,87	-14	-3	0,7	-75,6089706	-45,220470	-59
Ponto C3	18° 55' 28.29" S	48° 17' 2.85" W	70	849	14,0362435	-30,65	-14	-3	0,7	-74,4491317	-44,060631	-61
Ponto C4	18° 55' 29.00" S	48° 17' 2.9" W	60	850	15,3762512	-46,25	-14	-5	-1,3	-73,1101959	-44,721696	-59
Ponto C5	18° 55' 29.66" S	48° 17' 2.79" W	50	850	18,2628899	-65,56	-18	-9	-9,3	-71,5265709	-51,138071	-59
Ponto C6	18° 55' 30.61" S	48° 17' 2.73" W	50	849	19,2900462	-102,8	-19	-17	-18,3	-71,5265709	-60,138071	-59
Ponto C7	18° 55' 31.35" S	48° 17' 2.62" W	60	847	18,0041616	-125,99	-18	-28	-28,3	-73,1101959	-71,721696	-59
Ponto C8	18° 55' 31.79" S	48° 17' 2.52" W	70	846	16,3230462	-136,16	-14	-28	-24,3	-74,4491317	-69,060631	-59
Ponto C9	18° 55' 31.76" S	48° 17' 1.79" W	60	847	18,0041616	-154,33	-18	-35	-35,3	-73,1101959	-78,721696	-61
Ponto C10	18° 55' 31.54" S	48° 17' 1.27" W	50	847	21,3057836	-170,36	-23	-40	-45,3	-71,5265709	-87,138071	-59
Ponto C11	18° 55' 31.78" S	48° 17' 1.2" W	50	847	21,3057836	-172,48	-23	-40	-45,3	-71,5265709	-87,138071	-65
Ponto C12	18° 55' 31.17" S	48° 17' 1.62" W	40	848	24,8205413	-154,2	-22	-35	-39,3	-69,5883707	-79,199870	-65
Ponto C13	18° 55' 31.7" S	48° 17' 4.2" W	100	845	12,1338802	-111,01	-14	-23	-19,3	-77,5471708	-67,158671	-59
Ponto C14	18° 55' 31.65" S	48° 17' 3.97" W	90	845	13,4355234	-112,33	-14	-23	-19,3	-76,632021	-66,243521	-61
Ponto C15	18° 55' 31.6" S	48° 17' 3.43" W	80	846	14,3727787	-117,5	-14	-24	-20,3	-75,6089706	-66,220470	-61
Ponto C16	18° 55' 31.92" S	48° 17' 1.45" W	60	846	18,8635876	-165,12	-18	-35	-35,3	-73,1101959	-78,721696	-65
Ponto C17	18° 55' 31.73" S	48° 17' 1.84" W	50	847	21,3057836	-152,59	-23	-35	-40,3	-71,5265709	-82,138071	-61
Ponto C18	18° 55' 32.29" S	48° 17' 1.77" W	70	846	16,3230462	-158,34	-14	-35	-31,3	-74,4491317	-76,060631	-67
Ponto C19	18° 55' 32.71" S	48° 17' 1.62" W	80	849	12,3390873	-163,14	-14	-35	-31,3	-75,6089706	-77,220470	-69
Ponto C20	18° 55' 32.77" S	48° 17' 1.47" W	80	845	15,0428007	-166,24	-14	-35	-31,3	-75,6089706	-77,220470	-65

Capítulo 8

Resultados e Discussão

Neste Capítulo 8, o teste será feito de acordo com os pontos coletados mostrados no Capítulo 6 no centro de Patos de Minas-MG. O objetivo deste capítulo é realizar a análise desses pontos em associação com o método de Okumura e a Recomendação 1411-7 mostrada no Capítulo 2.

Primeiramente, tem-se alguns exemplos de cálculo de campo para vários modelos dados anteriormente:

- a- percurso com linha de visada em rua com cânion(NLoS1);
- b-Okumura;
- c- estatístico;
- d- sem linha de visada em região urbana sobre telhados (NLoS1);
- e- sem linha de visada em região suburbana sobre telhados(NLos1).

As perdas para os vários modelos para $f = 1,8$ GHz são apresentados na Figura 191. Para todos os casos os dados são:

- $f = 1,8$ GHz;
- $h_r = 10$ m;
- $h_m = 1,5$ m;
- $h_b = 50$ m;
- $w = 8$ m;
- $b = 10$ m;
- l = comprimento do percurso coberto por edifícios (m);
- d = distância;
- $\varphi = 20^\circ$.

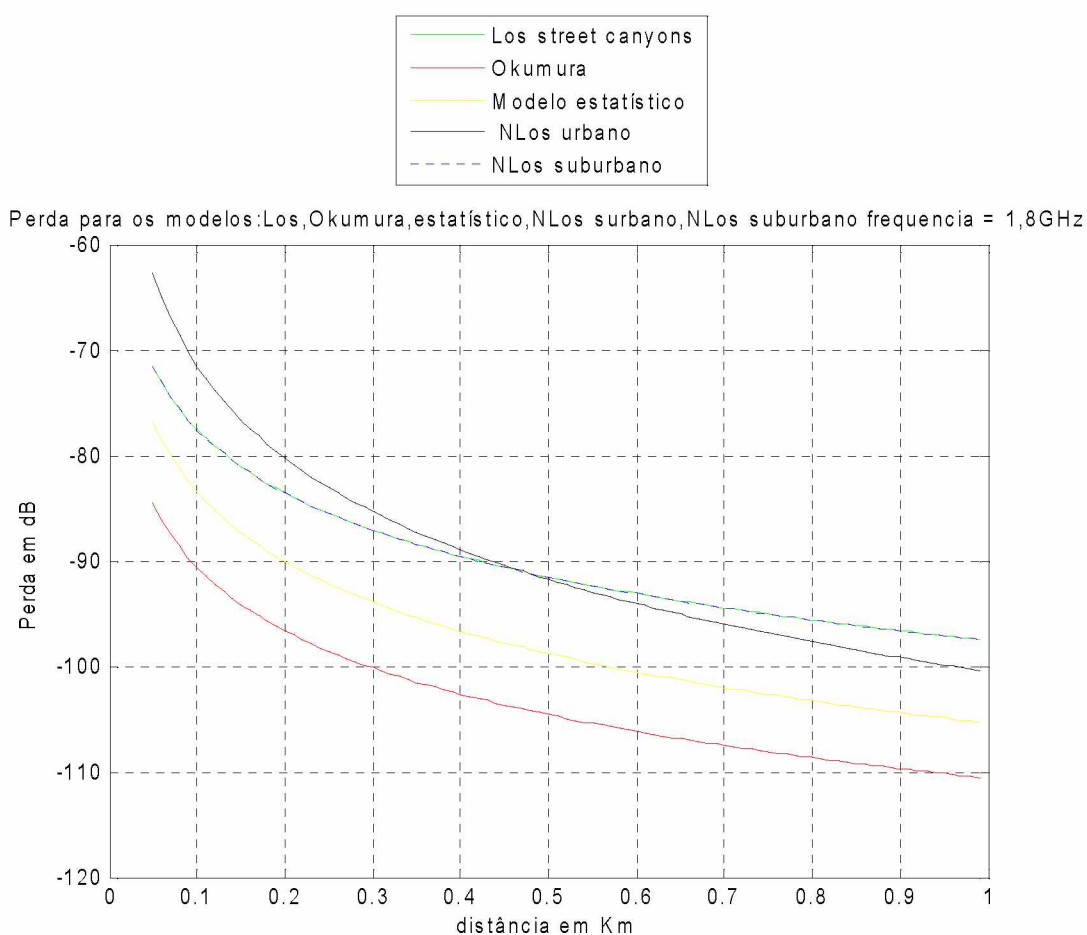


Figura 191 - Campo Elétrico calculado para vários modelos para $f=1,8\text{GHz}$

As perdas para os vários modelos para $f= 0,8\text{GHz}$ é apresentado na Figura 192. Para todos os casos os dados são:

- $f= 1,8\text{ GHz}$;
- $h_r= 10\text{m}$;
- $h_m=1,5\text{m}$;
- $h_b=50\text{m}$;
- $w=8\text{m}$;
- $b=10\text{m}$;
- l = comprimento do percurso coberto por edifícios (m);
- d = distância;
- $\varphi = 20^\circ$.

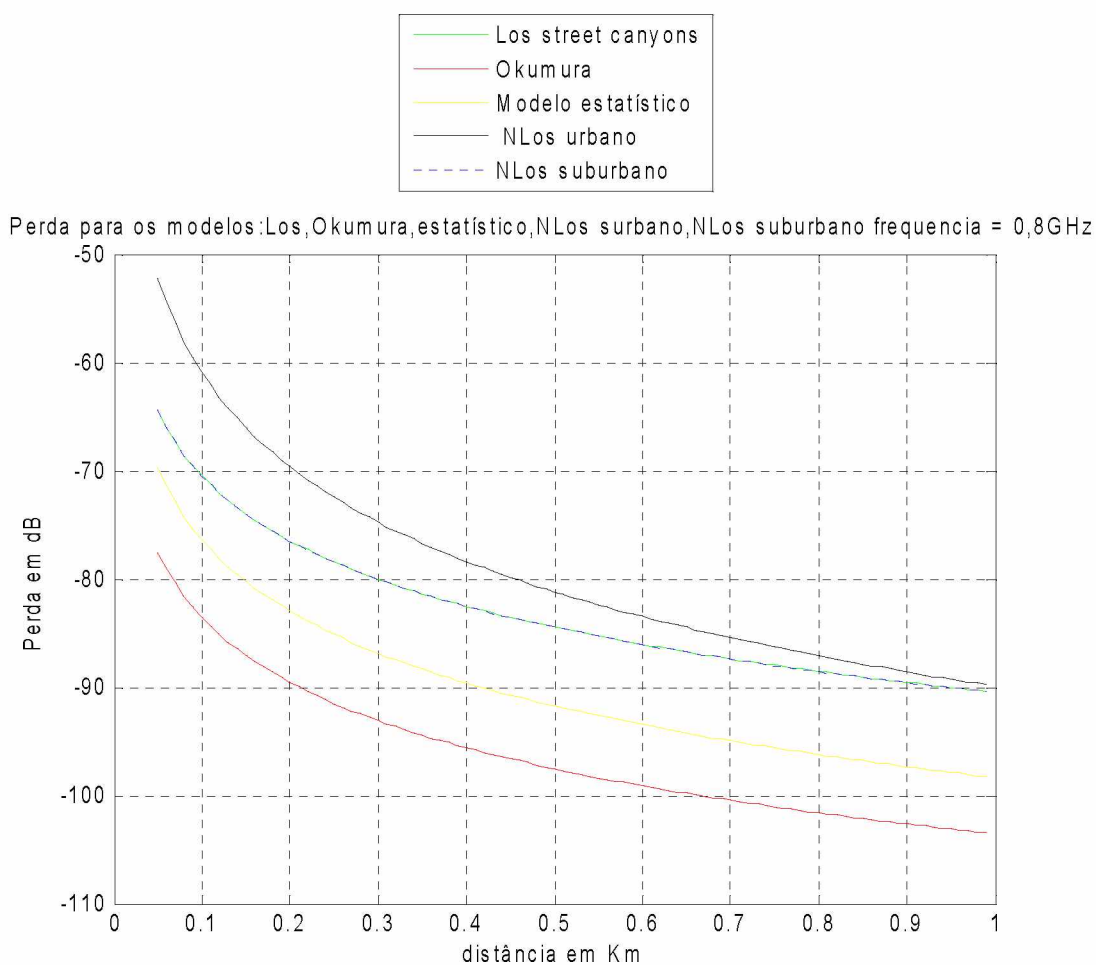


Figura 192 - Campo Elétrico calculado para vários modelos para $f=0,8\text{GHz}$

Observa-se que o valor do campo em $f=1,8\text{ GHz}$ é menor do que o campo em $f=0,8\text{ GHz}$ em todos os modelos usados.

Em sequência, através dos pontos usados no Capítulo 6 (Teste 3) tem-se o cálculo das perdas usando os vários modelos. A potência de transmissão é de 46,63 dBm, o ganho da antena é dado na Tab. 2, para os pontos das medições.

Tabela 44 - Valores de 40 pontos

	Distância (m)	Sinal Calculado (dBm)	Sinal Coletado (dBm)	Ganho Final (dBi)
Ponto A3	40	-55,64684545	-61	-12,3
Ponto A2	50	-54,58504571	-59	-9,3
Ponto A5	50	-52,58504571	-59	-7,3
Ponto A32	50	-65,58504571	-61	-20,3
Ponto A31	60	-65,16867063	-59	-18,3
Ponto A4	70	-48,50760643	-59	-0,3
Ponto A33	70	-50,50760643	-59	-2,3
Ponto A34	90	-49,59049581	-59	0,8
Ponto A1	100	-48,60564563	-55	2,7
Ponto A35	110	-53,43349933	-59	-1,3
Ponto A6	150	-53,12747081	-59	1,7
Ponto A36	160	-53,18804528	-59	2,2
Ponto A37	160	-53,18804528	-59	2,2
Ponto A38	160	-54,18804528	-65	1,2
Ponto A39	160	-54,58804528	-59	0,8
Ponto A7	170	-54,21462405	-59	1,7
Ponto A13	170	-53,71462405	-59	2,2
Ponto A40	170	-60,21462405	-71	-4,3
Ponto A8	180	-54,21109573	-59	2,2
Ponto A9	180	-53,71109573	-61	2,7
Ponto A14	180	-55,21109573	-61	1,2
Ponto A11	190	-53,18071764	-65	3,7
Ponto A12	190	-54,68071764	-65	2,2
Ponto A10	200	-53,62624554	-59	3,7
Ponto A15	210	-56,25003152	-61	1,5
Ponto A16	210	-56,25003152	-65	1,5
Ponto A17	250	-56,5644458	-61	2,7
Ponto A18	260	-59,40511258	-67	0,2
Ponto A30	260	-54,90511258	-61	4,7
Ponto A19	270	-59,73292091	-69	0,2
Ponto A20	290	-60,35360558	-65	0,2
Ponto A28	290	-59,85360558	-55	0,7
Ponto A29	290	-57,75360558	-61	2,8
Ponto A21	330	-60,97592442	-65	0,7
Ponto A22	340	-61,73522397	-61	0,2
Ponto A23	360	-62,23169564	-65	0,2
Ponto A27	370	-61,46968011	-59	1,2
Ponto A24	390	-61,42693777	-65	1,7
Ponto A26	390	-61,92693777	-69	1,2
Ponto A25	410	-62,36132276	-71	1,2

A potência recebida é calculada através da Fórmula de Friss dada por:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_b}$$

Sendo P_r a potência de recepção, P_t a potência de transmissão, G_t o ganho da antena transmissora, G_R o ganho da antena receptora e L_b a perda básica de transmissão no espaço livre que é dada por:

$$L_b = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}$$

A potência recebida em dBW é dada por:

$$P_{R,dBW} = P_{T,dbW} + G_{T,dBi} + G_{R,dBi} - L_{b,dB}$$

$$L_{b,dB} = 20 \log(d_{km}) + 20 \log(f_{MHz}) + 32,44$$

Para a situação em que não temos uma propagação no espaço livre haverá necessidade de calcular a perda envolvida em todo o processo de propagação e a expressão para o cálculo da potência é dada por:

$$P_{R,dBW} = P_{T,dbW} + G_{T,dBi} + G_{R,dBi} - (L_{b,dB} + L_{outras\ perdas,dB})$$

$$\begin{aligned} L &= L_{b,dB} + L_{outras\ perdas,dB} \\ &= \text{Perdas de difração} + \text{Perdas por superposição de sinal} \\ &\quad + \text{Perdas nos cabos} + \text{Perdas devido a chuva} + \text{etc.} \end{aligned}$$

$$P_{R,dBW} = P_{T,dbW} + G_{T,dBi} + G_{R,dBi} - L$$

Para este teste tem-se:

$$P_t = 46,63 \text{ dBm} = (46,63 - 30) \text{ dBW} = 16,63 \text{ dBW};$$

$$G_{t,dBi} = \text{dado pela Tabela 44};$$

$$G_{r,dBi} = 0,1 \text{ dBi};$$

$L = L_{LoS}$ ou $NLoS$ ou Okumura ou Método estatístico ou outro método + perda no cabo (3 dB).

Como exemplo, a perda considerando o método de visada direta fica,

$$P_{R,dBW} = 16,63 + 0,1 + G_{t,dBi} - (L_{LoS,m} + 3)$$

$$P_{r,dBm} = 46,63 + 0,1 + G_{t,dBi} - (L_{LoS,m} + 3)$$

Sendo a perda $L_{LoS,m}$ dada pela Equação (2.8.2.1.5), ou seja:

$$L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases}$$

Para calcular a potência recebida por meio das recomendações da ITU 1411-7, as perdas (L) serão dadas pelas perdas definidas na resolução, tais como: L_{NLoS1} , L_{NLoS2} , L_{LoS} , etc. definidas anteriormente.

A Figura 193 mostra a potência recebida para vários modelos na frequência de 1,8 GHz no Teste 3. Verifica-se que o modelo de propagação de Okumura é o que mais se aproxima aos dados medidos. Na Figura 193, tem-se que os valores calculados usando os métodos LoS e NLoS são coincidentes.

O erro médio quadrático em cada modelo comparado ao valor medido é :

$$\text{erro} = \sum \frac{(\text{sinal medido} - \text{sinal calculado})^2}{\text{número de sinais medidos}} \quad (8.1)$$

O erro foi calculado para os vários modelos conforme os dados abaixo:

530.1083 (erro entre valores calculados usando o método com visada LoS da recomendação e valores medidos);

43.2812 (erro entre valores calculados por Okumura e valores medidos no teste 3);

531.0681 (erro entre valores calculados usando o método sem visada urbana NLoS e valores medidos no teste3);

283.4623 (erro entre valores calculados pelo método estatístico e valores medidos no teste 3).

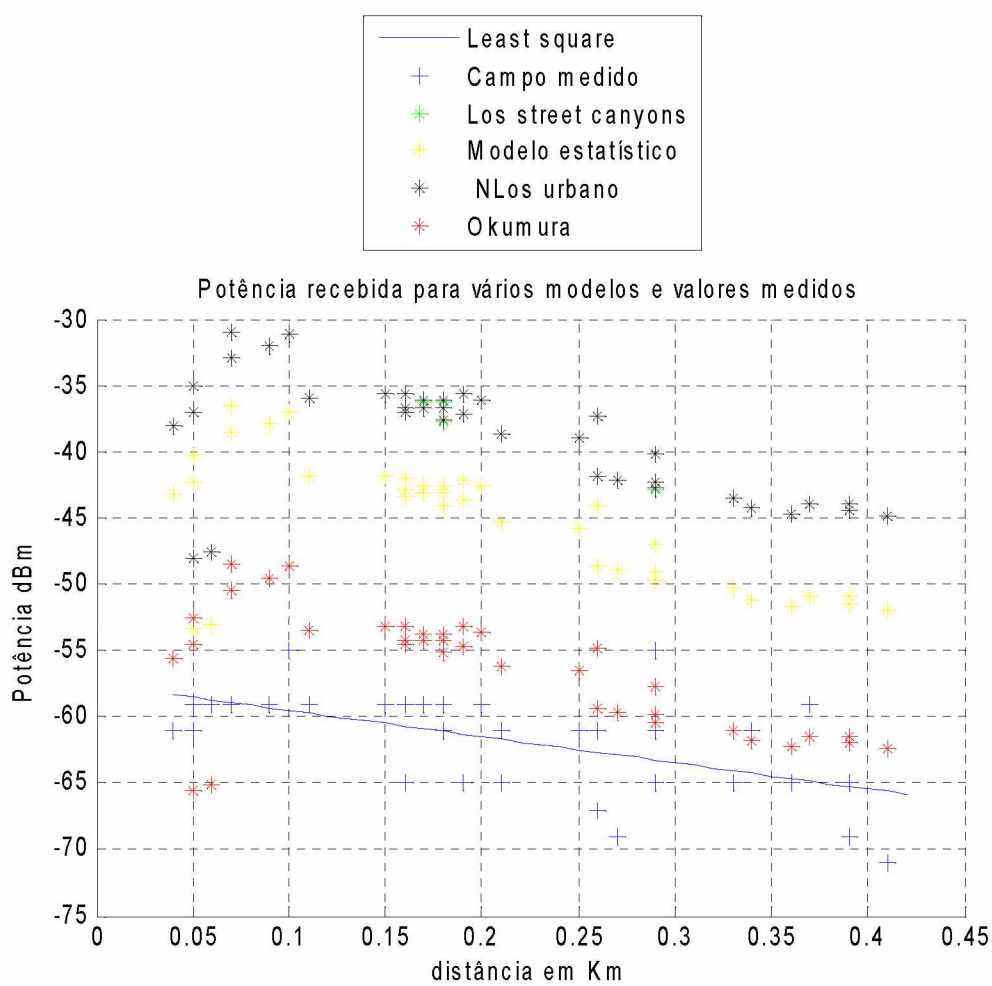


Figura 193 – Potência Recebida para vários modelos e medido.

Capítulo 9

Conclusões, contribuições deste trabalho e trabalhos futuros

Atualmente, a comunicação móvel é uma área que está expandindo cada vez mais, devido a necessidade dos usuários realizarem ligações, acesso à dados, entre outros aplicativos, praticamente o dia inteiro.

A importância deste tema tanto para os usuários quanto para os engenheiros torna-se um assunto predominante na área de telecomunicações. Este tema associa-se tanto as teorias de ondas eletromagnéticas quanto inúmeros modelos de propagação.

Os materiais utilizados nesta tese são de grande relevância, pois permitiram o desenvolvimento do trabalho e além disto houve a confiabilidade do uso do aplicativo *Netmonitor*.

Por meio desta tese, conclui-se que os modelos de propagação de Okumura, Hata e Cost-231 ainda são utilizados para o cálculo da potência recebida em um link móvel com distância superior a 1 km entre estação radio-base e móvel. Porém, no Capítulo 4 nos mostra que os valores mais próximos do Sinal Recebido coletado pelo aplicativo *Netmonitor* baseia-se na teoria de Okumura.

Em sequência, o objetivo proposto para este trabalho seria a extrapolação do modelo de Okumura para links inferiores a 1 km. Para isto, houve a coleta de dados em 2 regiões centrais de Patos de Minas-MG e também na região central de Uberlândia-MG. Associado a esses experimentos, percebe-se que nos Capítulos 5, 6 e 7, os links celulares maiores que 300 metros até 1 km de distância estão dentro da margem estipulada no Capítulo 4.

O Capítulo 8 foi abordado por meio da comparação dos dados coletados no centro de Uberlândia-MG associado a Recomendação 1411-7 e o método de Okumura. Conclui-se que os valores coletados estão mais próximos do modelo de

propagação de Okumura para links celulares abaixo de 1 km e este modelo que deve ser utilizado para o cálculo de potência recebida em links móveis.

Trabalhos futuros serão desenvolvidos com o intuito de aprimorarmos o modelo de Okumura em diferentes testes e a criação de outro modelo de propagação que seja utilizado independente da distância do enlace.

Referências

- [1] SÁ,R. **Introdução às Telecomunicações**. Lisboa: FCA-Editora de Informática, 2010.
- [2] CESAR DE OLIVEIRA MEDEIROS,J. **Princípios de Telecomunicações**. São Paulo: Érica, 2005.
- [3] SAMPAIO DE ALENCAR,M. **Telefonia Digital**. São Paulo: Érica, 2005.
- [4] SAMPAIO DE ALENCAR,M., JOSÉ LIRA DE QUEIROZ,W. **Ondas Eletromagnéticas e Teoria das antenas**. São Paulo: Érica, 2010.
- [5] SILVA,G.,BARRADAS,O. **Sistemas Radiovisibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978.
- [6] ARANTES CARRIJO,G. **Antenas e Propagação: Apêndice A**. Uberlândia: UFU.
- [7] TELECO. Disponível em: <
http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeslte/pagina_4.asp>. Acesso em: 25 de Setembro de 2014
- [8] MITSUGO MIYOSHI,E.,ALBERTO SANCHES,C. **Projetos de Sistemas de Rádio**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2010.
- [9] RECOMMENDATION ITU-R P.310-9. **Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media**. Disponível em:
http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.310-9-199408-I!!PDF-E.pdf.
 Acesso em: 19 de março de 2011.

[10] RECOMMENDATION ITU-R P.530-15. **Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.** Disponível em: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-15-201309-!!!PDF-E.pdf. Acesso em: 18 de março de 2011.

[11] RAPPAPORT, THEODORE S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

[12] MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. Disponível em: <<http://www.mc.gov.br/telecomunicacoes-noticias/30908-crescimento-do-setor-exige-investimentos-em-redes-aponta-ministro.>>. Acesso em: 20 de agosto de 2014.

[13] RECOMMENDATION ITU-R P.1411-7. **Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local área networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz.** Disponível em: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-7-201309-!!!PDF-E.pdf. Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

[14] GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/ptBR/earth/download/ge/>>. Acesso em: 25 de agosto de 2014

[15] PATHLOSS 4.0. Disponível em: <<http://www.pathloss.com/>>. Acesso em: 01 de setembro de 2014


[16] ANATEL. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/stel/Consultas/RecuperacaoFrequencias/tela.asp?SISQsmodulo=9896>>. Acesso em: 25 de Setembro de 2014

[17] ANATEL. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/sgch/Consulta/Homologacao/Tela.asp?SISQsmodulo=10199>>. Acesso em: 25 de Setembro de 2014

[18] ANDREW DO BRASIL- HBXX-6516DS-VTM. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/sgch/Consulta/Homologacao/Tela.asp?SISQSmodulo=10199>>. Acesso em: 25 de Setembro de 2014

ANEXO 1 – FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS

Tabela 45 - Formulário de Coleta de Dados

<u>Formulário Coleta de Dados – Comunicações Móveis</u>	
	
Responsável: Diego de Brito Piau	Data:
Estação Rádio-Base	
Nome:	
Latitude:	
Longitude:	
Tecnologia:	
Transmissão (MHz):	
Recepção (MHz):	
Modelo da antena:	
Ganho da antena:	
Altura da antena:	
Sinal de Tx (dBm):	
Sinal de Rx (dBm):	
Estação Rádio-Móvel	
Nome:	
Latitude:	
Longitude:	
Tecnologia:	
Transmissão (MHz):	
Recepção (MHz):	
Modelo da antena:	
Ganho da antena:	
Altura da antena:	
Sinal de Rx (dBm):	

ANEXO 2 – HBXX-6516DS-VTM

HBXX-6516DS-VTM

DualPol Quad Antenna

Decibel®
Base Station Antennas

- Provides two independent dual pol antennas under one radome
- Provides continuous wideband coverage
- Each antenna is independently capable of field adjustable electrical down tilt
- Fully compatible with Andrew Teletilt® remote antenna control system.

ELECTRICAL

Frequency (MHz) :	1710 - 1880	1850 - 1990	1920 - 2180
Polarization :	±45°	±45°	±45°
Gain (dBd/dBI) :	15.6/17.7	15.9/18	15.9/18
Azimuth BW (Deg.):	67	65	63
Elevation BW (Deg.):	7.5	7	6.5
Beam Tilt (Deg.):	0-10	0-10	0-10
USLS* (dB) :	18	18	18
Front-To-Back Ratio* (dB) :	30	30	30
Isolation (dB) :	>30	>30	>30
VSWR :	<1.4:1	<1.4:1	<1.4:1
PIM3 @ 2 x 20w (dBc) :	-153	-153	-153
Max. Input Power (Watts) :	250	250	250
Impedance (Ohms) :	50	50	50
Lightning Protection :	DC Ground	DC Ground	DC Ground

MECHANICAL

Weight :	13.8 kg (30.6 lb)
Dimensions (LxWxD) :	1,293 x 305 x 165 mm (50.9 x 12 x 6.5 in)
Max. Wind Area :	0.18 m ² (1.9 ft ²)
Max. Wind Load (@ 100 mph) :	401.6 N (90.3 lbf)
Max. Wind Speed :	241 km/h (150 mph)
Hardware Material :	Galvanized Steel
Connector Type :	7-16 DIN - Female (4, Bottom)
Color :	Light Gray
Standard Mounting Hardware :	600899A-2

RET Ordering Information

Field Installed:	HBXX-6516DS-VTM
Factory Installed, ATM200 Series:	HBXX-6516DS-R2M



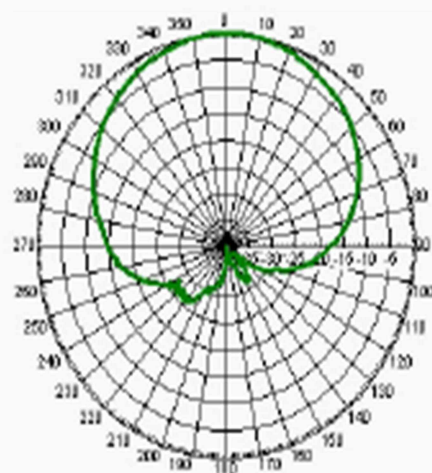
Andrew Corporation
 2601 Telecom Parkway
 Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
 Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
 Toll Free Tel: 1.800.676.5342
 Fax: 1.800.229.4706
 www.andrew.com

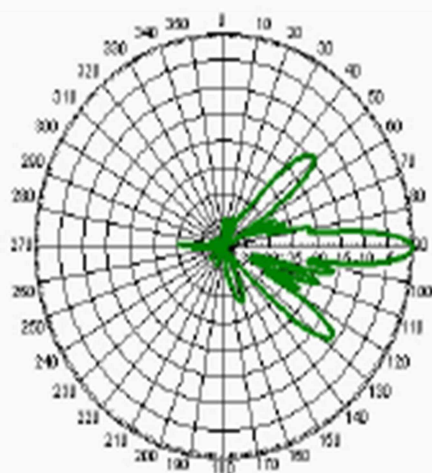
* - Indicates Typical
 3/2/2007
 dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

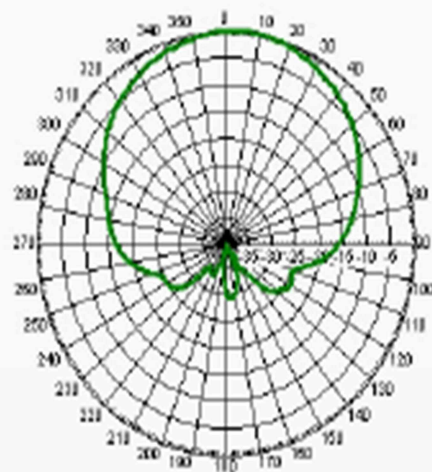
	<p align="center">HBXX-6516DS-VTM DualPol Quad Antenna</p>	<p align="center">Decibel® Base Station Antennas</p>
AZIMUTH PATTERN	ELEVATION PATTERN	



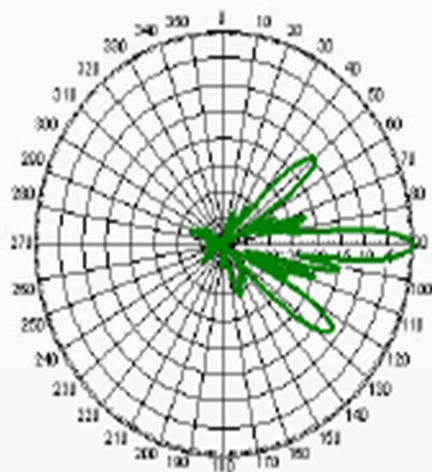
Freq: 1785 MHz, Tilt: 0




Freq: 1785 MHz, Tilt: 0

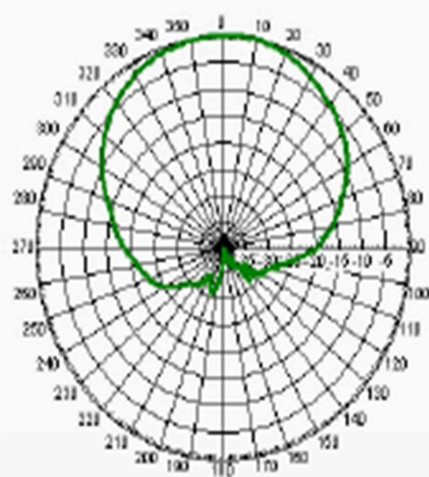


Freq: 1910 MHz, Tilt: 0

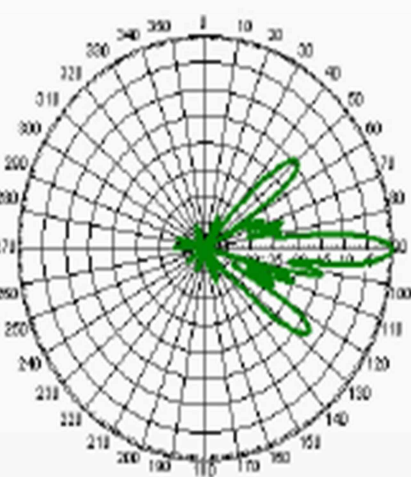


Freq: 1910 MHz, Tilt: 0

	<p align="center">HBXX-6516DS-VTM DualPol Quad Antenna</p>	<p align="center">Decibel® Base Station Antennas</p>
---	---	---



Freq: 2110 MHz, Tab: 0



Freq: 2110 MHz, Tab: 0

ANEXO 3 – 800 10293/APX15 – 800/065 3T

Painel
Polarização Cruzada
Abertura Horizontal
Downtilt Elétrico

806 - 960

X

65°

3°

KATHREIN
MOBILCOM BRASIL

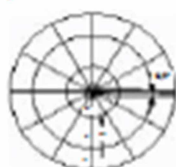
Painel 65° Polarização Cruzada 806-960 17dBi 3T

Descrição	800 10293/APX15 - 880/065 3T		
	806 - 960		
Faixa de frequência	806 - 886 MHz	824 - 894 MHz	880 - 960 MHz
Polarização	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Ganho	2 x 16,5 dBi	2 x 16,7 dBi	2 x 17 dBi
Largura do ângulo de meia potência +45°/-45°	Horizontal: 68° Vertical: 10,2°	Horizontal: 68° Vertical: 10°	Horizontal: 64° Vertical: 9,3°
Supressão do 1º lóbulo secundário superior acima do horizonte	>15 dB >15 dB	>15 dB >15 dB	>15 dB >15 dB
Relação frente - costas	>30 dB	>30 dB	>30 dB
Relação cruz polar direção principal 0°	>20 dB	>20 dB	>20 dB
Setor ± 30°	>17 dB	>17 dB	>17 dB
Setor ± 60°	>10 dB	>10 dB	>10 dB
Isolação entre portas	>30 dB	>30 dB	>30 dB
Impedância	50 Ohms	50 Ohms	50 Ohms
VSWR	<1,5	<1,4	<1,3
Intermodulação IM3 (2 x 43 dBm portadora)	<-150 dBc		
Potência máxima por entrada	500W (temperatura ambiente 50°C)		

880 - 960 MHz: Polarização +45°, -45°



Diagrama Horizontal



Polarização Vertical 3° downtilt elétrico, fixo

824 - 894 MHz: Polarização +45°, -45°

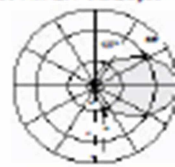
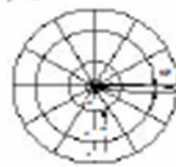


Diagrama Horizontal

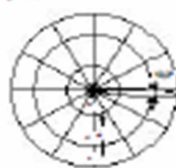


Polarização Vertical 3° downtilt elétrico, fixo

806 - 886 MHz: Polarização +45°, -45°

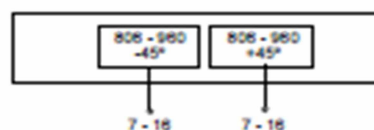


Diagrama Horizontal



Polarização Vertical 3° downtilt elétrico, fixo

1093050605



Características mecânicas

Conector	2 x 7/16 Fêmeas
Posição do conector	Traseira
Peso	9,5 kg
Carga de vento	Frontal: 340 N (x 150 km/h) Lateral: 220 N (x 150 km/h) Traseira: 750 N (x 150 km/h)
Velocidade máxima do vento	200 km/h
Dimensões	1934 x 259 x 112 mm
Dimensões da embalagem	2062 x 272 x 160 mm

Sujeito a alterações sem aviso prévio

Pág. 1/2

KATHREIN MOBILCOM BRASIL - São Paulo - SP - Tel: 11 5685-4290 Fax: 11 5685-4292
e-mail: tech@kathrein.com.br

Acessórios (Pedir em Separado)

Tipo	Descrição	Observações	Peso Aprox.	Quant. por antena
738 548	1 abraçadeira	Mastro: 50 - 115 mm diâmetro	1,0 kg	2
737 974	1 kit downtilt	Ângulo do downtilt: 0° - 11°	2,8 kg	1

Para instalação, use abraçadeiras com o diâmetro do mastro adequado, juntamente com o kit de downtilt.

Para instalação na parede: nenhum kit adicional é necessário.

Material:

Tela do refletor: Alumínio à prova d'água.
 Estrutura de fibra de vidro: Cobre totalmente os componentes internos da antena. O design especial reduz ao mínimo as áreas a serem seladas e garante a melhor proteção contra intempéries. O material fibra de vidro garante ótimo desempenho com referência à estabilidade, robustez, resistência UV e pintura. A cor do radome é cinza claro.
 Todas as porcas e parafusos: de aço inoxidável.

Aterramento:

As partes metálicas da antena, incluindo o kit de instalação, recebem aterramento DC. As entradas 800 - 900 MHz também estão aterradas.

Condições Ambientais:

O design das antenas celulares Kathrein é concebido para operar sob as condições ambientais descritas no ETS 300 019-1-4 Classe 4.1 E.
 As antenas excedem este padrão com referência aos seguintes itens:

- Temperatura baixa: -55°C
- Temperatura alta (seca): +50°C

Proteção contra neve: Devido à construção muito robusta da antena e à proteção ao sistema irradiante provida pelo radome, a antena permanece em operação mesmo em condições de neve.

Testes Ambientais:

As antenas Kathrein estão aprovadas em testes ambientais conforme recomendado no ETS 300 019-2-4. O design homogêneo das famílias de antenas Kathrein utiliza módulos e materiais idênticos. Testes extensivos foram executados em amostras e módulos padrões.

Preste atenção:

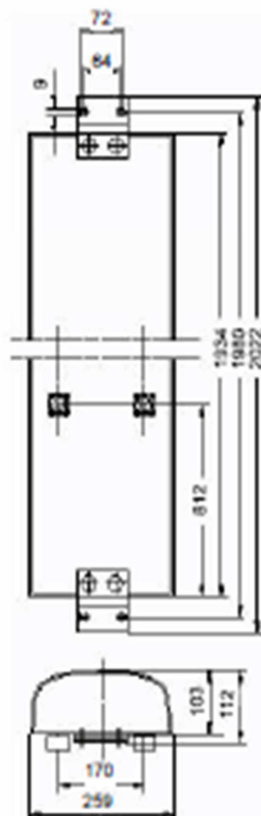
Como resultado de legislações mais restritivas e jurisprudência sobre responsabilidade civil, Kathrein está obrigada a destacar certos riscos que podem ocorrer quando seus produtos são usados em condições de operação anormais.

O design mecânico é baseado nas condições ambientais estipuladas no ETS 300 019-1-4, incluindo a potência mecânica estática imputada à antena com ventos extremamente fortes.

Condições muito anormais de operação, tais como desgaste dinâmico excessivo (p. ex. provocado pela oscilação da estrutura de suporte na torre) ou muito gelo acumulado, podem provocar a ruptura da antena ou mesmo a sua queda no solo.

Estes fatos precisam ser considerados durante o processo de planejamento do site.


A equipe de instalação deve ser especialmente qualificada e familiarizada com as legislações relevantes de segurança. Os detalhes fornecidos em nosso folheto técnico precisam ser cuidadosamente seguidos durante a instalação das antenas e acessórios.
 Os limites para o torque casado dos conectores RF, recomendados pelo fabricante dos conectores, devem ser obedecidos.



1093050608



ANEXO 4 – TBXLHA-6565B-VTM


ANDREW
 A CommScope Company

TBXLHA-6565B-VTM

±45° Tri Band Panel Antenna


- Tri Band: (1x) 824-960 & (2x) 1710-2170 MHz, three independent dual pol antennas under one radome
- Interlaced dipole technology providing for attractive, low wind load mechanical package
- Each antenna is independently capable of field adjustable electrical downtilt
- Fully compatible with Andrew Teletilt® remote control antenna system

ELECTRICAL

Frequency (MHz) :	824 - 896	870 - 960	1710 - 1880	1850 - 1990	1920 - 2170
Polarization :	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Gain (dBd/dBi) :	13.4/15.5	13.9/16	13.5/15.6	13.7/15.8	14/16.1
Azimuth BW (Deg.):	69	65	69	64	60
Elevation BW (Deg.):	9.6	9.2	9.4	9.0	8.5
Beam Tilt (Deg.):	0-11	0-11	0-10	0-10	0-10
U.S.L.S* (dB) :	15	15	15	15	15
Front-To-Back Ratio* (dB) :	25	25	25	25	25
Isolation (dB) :	>30	>30	>30	>30	>30
VSWR :	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1
PIM3 @ 2 x 20w (dBc) :	-150	-150	-150	-150	-150
Max. Input Power (Watts) :	250	250	250	250	250
Impedance (Ohms) :	50	50	50	50	50
Lightning Protection :	DC Ground	DC Ground	DC Ground	DC Ground	DC Ground

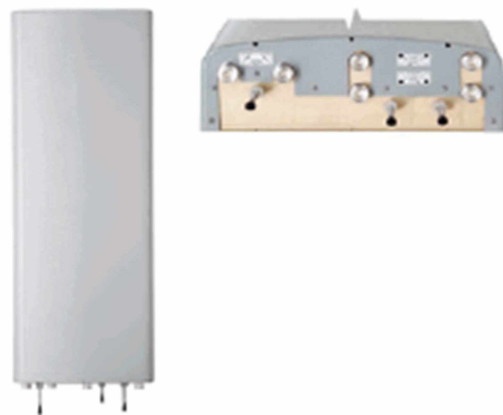
MECHANICAL

Weight :	29.0 kg (64 lb)
Dimensions (LxWxD) :	2251.0 x 269.0 x 132.0 mm (88.6 x 10.6 x 5.2 in)
Max. Wind Load (@ 100 mph) :	1,169.8 N (263 lbf)
Max. Wind Speed :	201 km/h (125 mph)
Hardware Material :	Galvanized Steel
Connector Type :	7-16 DIN - Female (5, Bottom)
Color :	Light Gray
Standard Mounting Hardware :	DB380
Standard Downtilt Mounting Hardware :	DB5083



RET Ordering Information

Field Installed:	TBXLHA-6565B-VTM
Factory Installed, ATM200 Series:	TBXLHA-6565B-R2M



Andrew Corporation
 2601 Telecom Parkway
 Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
 Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
 Toll Free Tel: 1.800.676.5342
 Fax: 1.800.229.4706
 www.andrew.com

* - Indicates Typical

dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

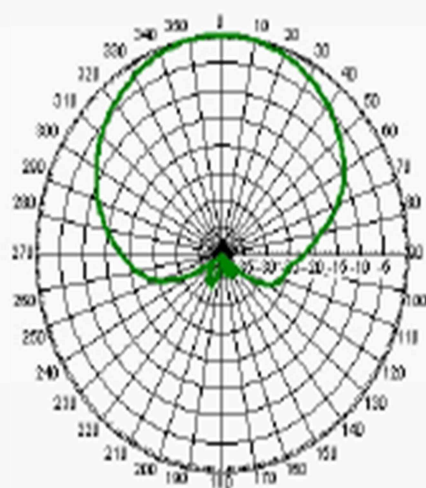


TBXLHA-6565B-VTM

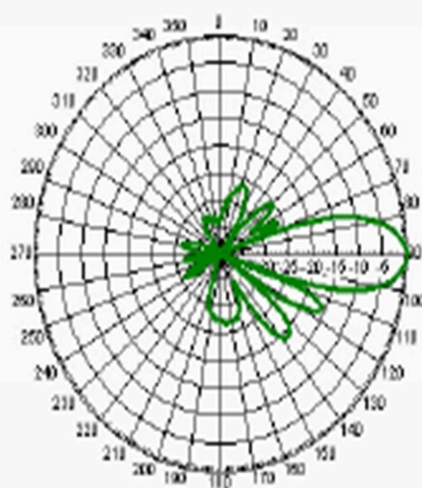
±45° Tri Band Panel Antenna

AZIMUTH PATTERN

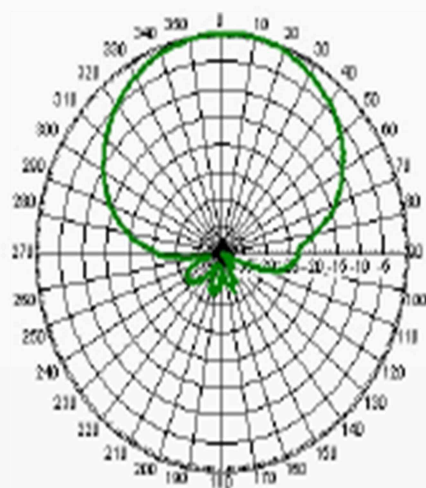
ELEVATION PATTERN



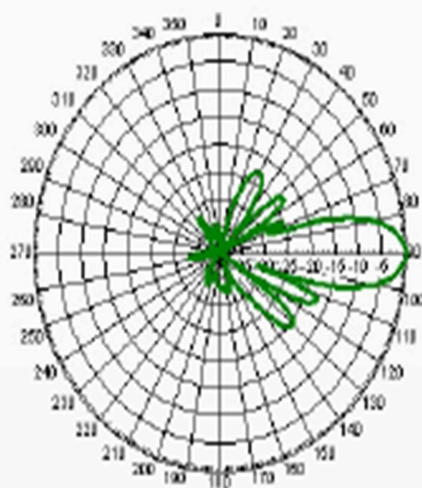
Freq: 850 MHz, Tilt: 0



Freq: 850 MHz, Tilt: 0



Freq: 900 MHz, Tilt: 0

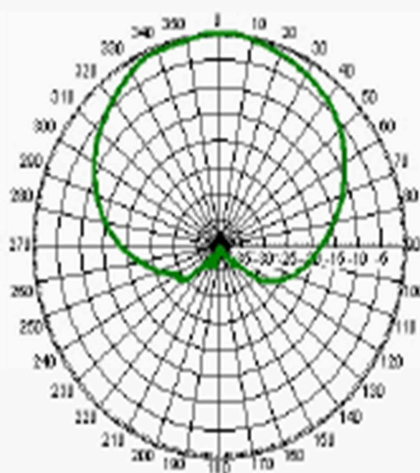


Freq: 900 MHz, Tilt: 0

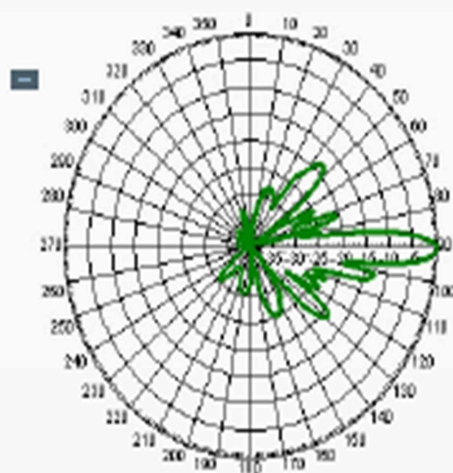


TBXLHA-6565B-VTM

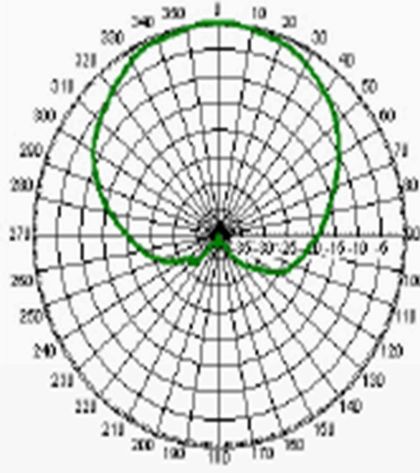
±45° Tri Band Panel Antenna



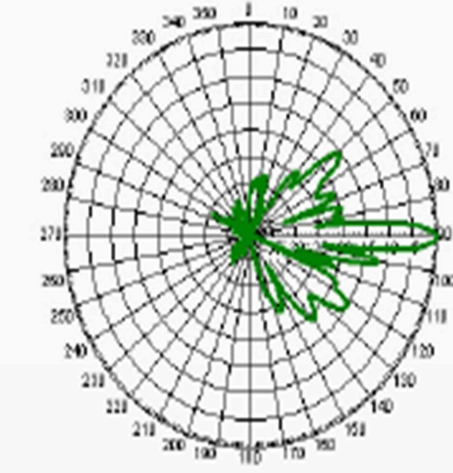
Freq: 1785 MHz, Tab: 0



Freq: 1785 MHz, Tab: 0



Freq: 1920 MHz, Tab: 0



Freq: 1920 MHz, Tab: 0

Andrew Corporation
2601 Telecom Parkway
Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
Toll Free Tel: 1.800.676.5342
Fax: 1.800.229.4706
www.andrew.com

* - Indicates Typical

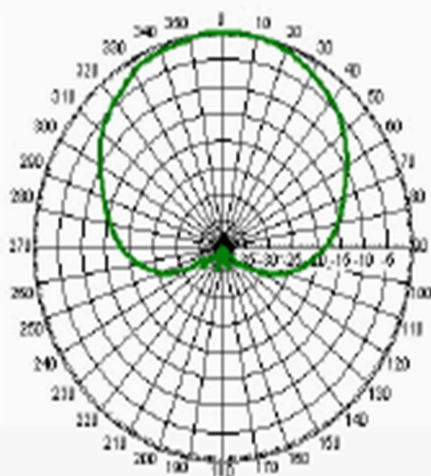
dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

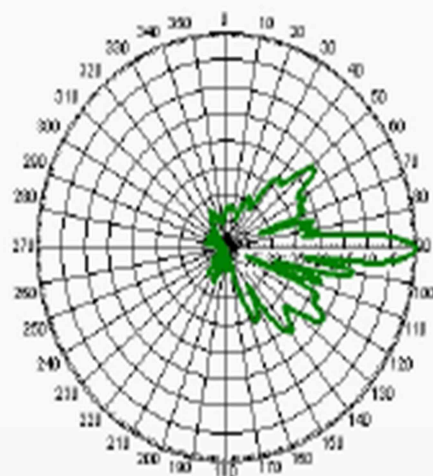


TBXLHA-6565B-VTM

±45° Tri Band Panel Antenna



Freq: 2110 MHz, Tab: 0



Freq: 2110 MHz, Tab: 0

Andrew Corporation
2601 Telecom Parkway
Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
Toll Free Tel: 1.800.676.5342
Fax: 1.800.229.4706
www.andrew.com

* - Indicates Typical

dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

ANEXO 5 – TBXLHB-6565A-VTM

ANDREW

A CommScope Company

TBXLHB-6565A-VTM

±45° Tri Band Panel Antenna

- Tri Band: (1x) 824-960 & (2x) 1710-2170 MHz, three independent dual pol antennas under one radome
- Interlaced dipole technology providing for attractive, low wind load mechanical package
- Each antenna is independently capable of field adjustable electrical downtilt
- Fully compatible with Andrew Teletilt® remote control antenna system

ELECTRICAL

Frequency (MHz) :	824 - 896	870 - 960	1710 - 1880	1850 - 1990	1920 - 2170
Polarization :	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Gain (dBd/dBi) :	11.9/14	11.9/14	13.5/15.6	13.7/15.8	14/16.1
Azimuth BW (Deg.):	65	65	65	64	61
Elevation BW (Deg.):	15.5	15	7	6.5	6
Beam Tilt (Deg.):	0-15	0-15	0-8	0-8	0-8
U.S.L.S* (dB) :	15	15	15	15	15
Front-To-Back Ratio* (dB) :	25	25	25	25	25
Isolation (dB) :	>30	>30	>30	>30	>30
VSWR :	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1	<1.5:1
PIM3 @ 2 x 20w (dBc) :	-150	-150	-150	-150	-150
Max. Input Power (Watts) :	250	250	250	250	250
Impedance (Ohms) :	50	50	50	50	50
Lightning Protection :	DC Ground	DC Ground	DC Ground	DC Ground	DC Ground

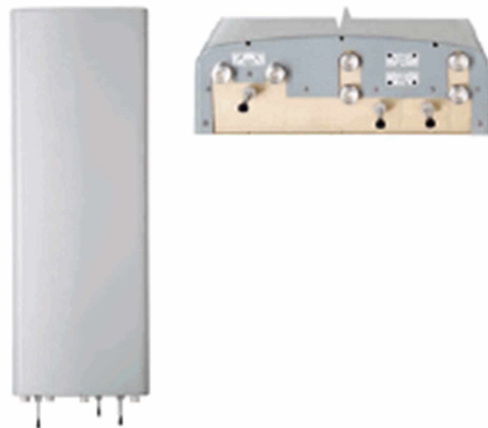
Notes: Same as ATFDB-6565A-XDM. In band 824-960 MHz, isolation for 0-1 degrees is greater than 20dB. At maximum tilt angles, gain may be slightly reduced.

MECHANICAL

Weight :	19.9 kg (44 lb)
Dimensions (LxWxD) :	1,326 x 465 x 157 mm (52.2 x 18.3 x 6.2 in)
Max. Wind Area :	0.62 m ² (6.7 ft ²)
Max. Wind Load (@ 100 mph) :	1,169.8 N (263 lbf)
Max. Wind Speed :	201 km/h (125 mph)
Hardware Material :	Galvanized Steel
Connector Type :	7-16 DIN - Female (6, Bottom)
Color :	Light Gray
Standard Mounting Hardware :	DB380
Standard Downtilt Mounting Hardware :	DB5083

RET Ordering Information

Field Installed:	TBXLHB-6565A-VTM
Factory Installed, ATM200 Series:	TBXLHB-6565A-R2M



Andrew Corporation
 2601 Telecom Parkway
 Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
 Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
 Toll Free Tel: 1.800.676.5342
 Fax: 1.800.229.4706
 www.andrew.com

* - Indicates Typical
 3/8/2006
 dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

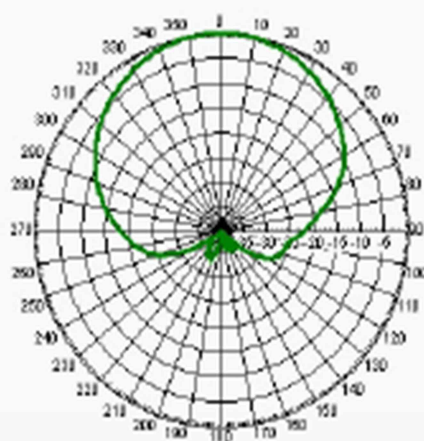


TBXLHB-6565A-VTM

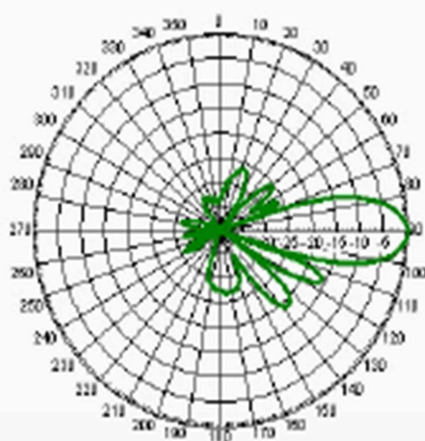
±45° Tri Band Panel Antenna

AZIMUTH PATTERN

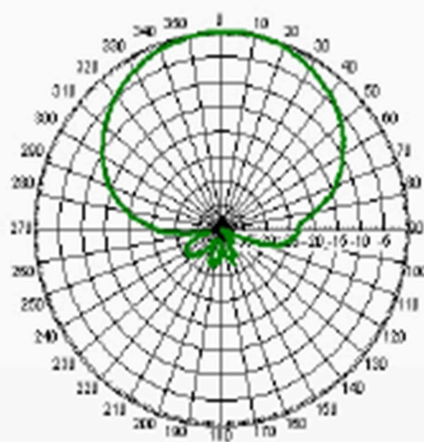
ELEVATION PATTERN



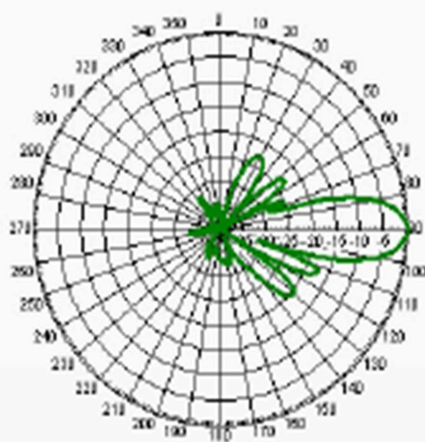
Freq: 850 MHz, T2θ: 0



Freq: 850 MHz, T2θ: 0



Freq: 940 MHz, T2θ: 0



Freq: 940 MHz, T2θ: 0

Andrew Corporation
2601 Telecom Parkway
Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
Toll Free Tel: 1.800.676.5342
Fax: 1.800.229.4706
www.andrew.com

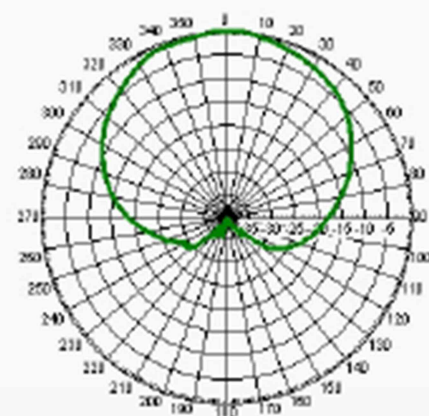
* - Indicates Typical
3/8/2006
dotech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

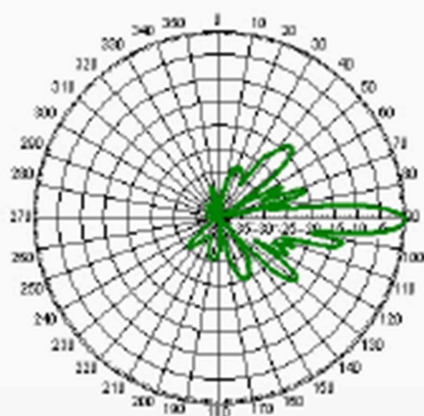


TBXLHB-6565A-VTM

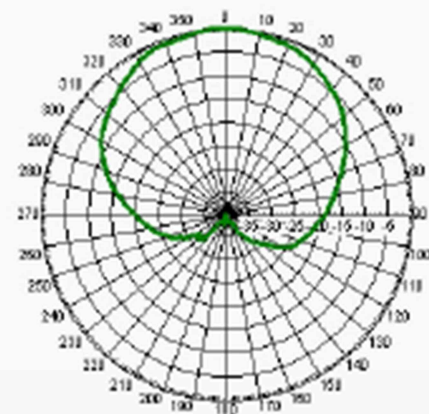
±45° Tri Band Panel Antenna



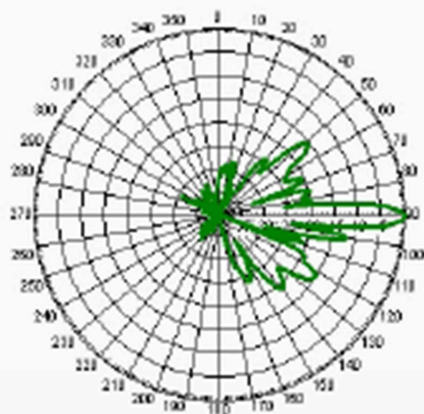
Freq: 1785 MHz, Tab: 0



Freq: 1785 MHz, Tab: 0



Freq: 1920 MHz, Tab: 0



Freq: 1920 MHz, Tab: 0

Andrew Corporation
2601 Telecom Parkway
Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
Toll Free Tel: 1.800.676.5342
Fax: 1.800.229.4706
www.andrew.com

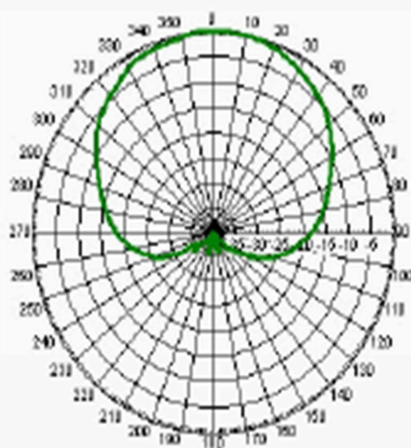
* - Indicates Typical
3/8/2006
dbtech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

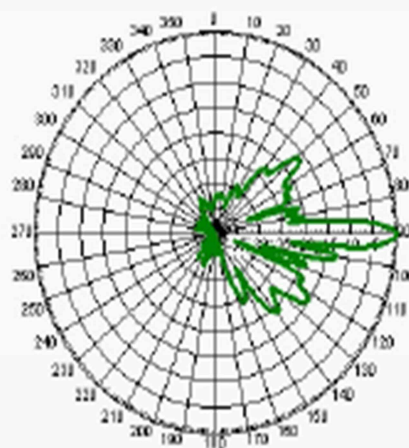


TBXLHB-6565A-VTM

±45° Tri Band Panel Antenna



Freq: 2110 MHz, Tab: 0



Freq: 2110 MHz, Tab: 0

Andrew Corporation
2601 Telecom Parkway
Richardson, Texas U.S.A 75082-3521
Tel: 214.631.0310

Fax: 214.631.4706
Toll Free Tel: 1.800.676.5342
Fax: 1.800.229.4706
www.andrew.com

* - Indicates Typical
3/8/2006
ditech@andrew.com

Information correct at date of issue but may be subject to change without notice.

APÊNDICE A

1.1 Campo Elétrico e Magnético

O campo elétrico é produzido através de uma alteração nas condições do espaço vizinho a uma carga. Na Figura 1 observa-se que o campo elétrico é sentido pela carga negativa, pois temos a carga positiva como a responsável desse efeito [5].

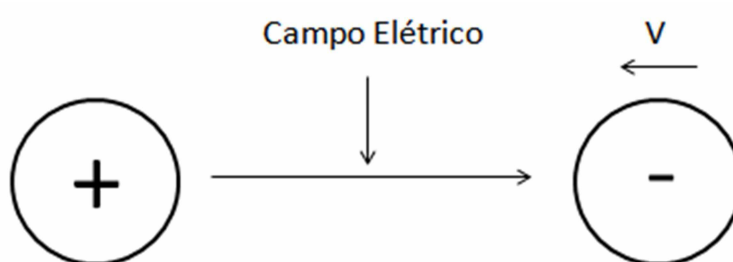


Figura 194 - Noção de campo elétrico [5]

O campo magnético através de transformadores pode ser visualizado a partir da Figura 2. Associado a circulação da corrente em um transformador primário produzirá um campo magnético e isto influenciará na criação de uma corrente no transformador no secundário [5].

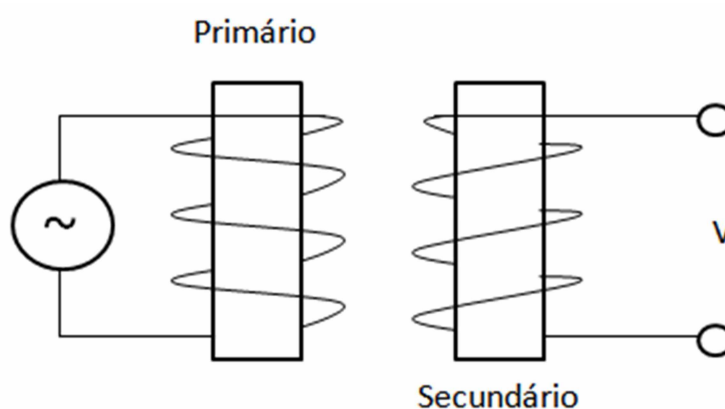


Figura 195 - Noção do campo magnético [5]

Sendo assim, “um campo elétrico variável se deslocando em um meio de propagação não pode existir sem a presença de um campo magnético variável a ele associado.”(SILVA.,BARRADAS., 1978, p. 25).

1.2 Espectro de Frequência

Na Tabela 1, identifica-se as ondas eletromagnéticas compreendidas entre uma faixa de frequência de 3 mHz até 300 GHz, onde são caracterizadas as ondas de rádio.

Tabela 46 - Serviços de Telecomunicações associados ao espectro de frequência [8]

Identificação	Característica	Aplicação
ELF (Extremely Low Frequency)	3 mHz – 3 kHz	Não há aplicação em telecomunicações, por ser constituída de frequências muito baixas;
VLF (Very Low Frequency)	3 kHz – 30 kHz	Prospecção e comunicação com submarino;
LF (Low Frequency)	30 kHz – 300 kHz	Navegação de longo alcance e comunicações marítimas;
MF (Medium Frequency)	300 kHz – 3000 kHz	Rádio difusão AM e comunicações marítimas;
HF (High Frequency)	3 MHz – 30 Mhz	Rádio amador, rádio difusão em ondas curtas, comunicações militares, comunicações com navios, telefone, comunicações comerciais de voz e dados.
VHF (Very High Frequency)	30 MHz – 300 MHz	Televisão em VHF, rádio FM, comunicações militares, comunicações com espaçonaves, telemetria de satélite, comunicações com aeronaves, auxílios á rádio navegação, enlaces de telefonia.

UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3000 MHz	Televisão UHF, telefonia celular, wireless, wimax, auxílios á rádio navegação, radar, enlaces de micro-ondas e satélite.
SHF (Super High Frequency)	3 GHz – 30 GHz	Comunicações via satélite, wimax, wireless e enlaces de micro-ondas.
EHF (Extremely High Frequency)	30 GHz – 300 GHz	Radar, comunicações via satélite em fase experimental.