

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



**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO
ASSOCIADO A ATENUAÇÕES DEVIDO À CHUVA UTILIZANDO
CELPLAN E PATHLOSS**

DIEGO DE BRITO PIAU

Uberlândia
2013

DIEGO DE BRITO PIAU

**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO
ASSOCIADO A ATENUAÇÕES DEVIDO À CHUVA UTILIZANDO
CELPLAN E PATHLOSS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais

Orientador: Prof. Pós-Dr. Gilberto Arantes Carrijo

Uberlândia

2013

DIEGO DE BRITO PIAU

**PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO
ASSOCIADO A ATENUAÇÕES DEVIDO À CHUVA UTILIZANDO
CELPLAN E PATHLOSS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Processamento Digital de Sinais

Uberlândia, 24 de junho de 2013
Banca Examinadora

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

Dr. Paulo Sérgio Caparelli , (UFU)

Dr. Benedito Alencar de Arruda , (UFMT)

Dedico este trabalho a minha mãe, pelo incentivo, dedicação a mim e por sempre acreditar no meu potencial. Ao meu pai, por sempre estar ao meu redor protegendo. Aos meus irmãos pelo carinho, alegria e admiração. A minha namorada e amiga Rafaela Barbosa, por sempre acreditar em mim e trilhar comigo o nosso futuro. Ao meu segundo pai, Flávio Castro por toda a dedicação e empenho na minha profissão e na nossa amizade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade oferecida e por sempre me dar força para continuar estudando.

Aos meus pais e meus irmãos por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

A minha namorada Rafaela Barbosa, por toda a dedicação a mim desde 15 anos atrás pela a nossa felicidade.

Ao meu segundo pai Flávio Castro, por sempre dedicar a minha vida profissional e pessoal.

Ao meu orientador Gilberto Carrijo por compartilhar o seu conhecimento e orientar esta dissertação da melhor forma.

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

À empresa Algar Telecom por ter dado a oportunidade de seguimento ao estudo na área acadêmica.

RESUMO

O tema abordado nesta dissertação está relacionado a uma área de telecomunicações muito importante no ramo acadêmico e empresarial. A transmissão de sinal através de enlaces de rádio é fundamental no atendimento de uma localidade em específico ou em uma estação de uma operadora de telecomunicações, sendo a capacidade de transmissão a sua maior limitação.

Os enlaces de microondas possui inúmeras vantagens, sendo o prazo de implantação e o custo são mais favoráveis em relação a fibra óptica, pois essa última necessita que o atendimento seja em pequenas distâncias para que não haja uma oneração do projeto de atendimento. Atualmente, os centros urbanos são incorporados cada vez mais a sistemas de atendimento através de rádio, devido a dificuldade de operação e manutenção (O&M) encontrado em sistemas por fibra óptica.

O link de rádio é proveniente de equipamentos indoor e outdoor, o qual transmitam e captam os sinais de rádio provenientes das antenas transmissoras e receptoras que operam com ondas eletromagnéticas. De acordo com a frequência configurada no enlace de rádio e através de softwares precisos, o engenheiro responsável poderá realizar um projeto de dimensionamento de rádio sem a necessidade de participar de vistoria em campo.

Um fator determinante para a elaboração de um projeto está na infraestrutura vertical onde será instalada as antenas, pois dependendo dessa, as antenas ficarão em uma altura que não será favorável para uma boa performance do enlace de rádio, pois todo projeto de dimensionamento necessita de uma atenção especial para o fator de correção da terra – k e para a liberação total ou parcial da zona de Fresnel. Através destes parâmetros citados, o projetista poderá detalhar o seu projeto de acordo com a frequência e a distância do link a ser construído através de softwares confiáveis.

Os enlaces de rádio que operam acima de 10 GHz estão sujeitos a atenuações devido à chuvas, pois a relação entre a frequência são diretamente proporcionais, mas todo enlace é projetado de acordo com uma margem de segurança convencional, pois atenuações podem ocorrer e caso aconteça com um valor acima do esperado, o link poderá perder a comunicação.

A modulação adaptativa é uma funcionalidade importante pois links de rádio que estão susceptíveis as atenuações devido à chuva podem perder a comunicação, mas com essa função o link irá comutar para modulações inferiores ocasionando um aumento do limiar de recepção e da potência de transmissão mantendo o enlace em comunicação, mas com uma taxa de transmissão mais baixa.

ABSTRACT

The topic of this dissertation is related to the telecommunications industry in very important academic and business. The signal transmission through radio links is critical to meeting a specific locality or a season of a telecommunications carrier, and the transmission capacity of its greatest limitation.

The microwave links has several benefits, being the period of deployment and cost are more favorable compared to optical fiber, since the latter requires that the service is over small distances so that there is no encumbrance design service. Currently , urban centers are increasingly embedded systems of care through radio, because of the difficulty of operation and maintenance (O&M) found in fiber optic systems .

The radio link is coming from indoor and outdoor equipment , which capture and transmit radio signals from the transmitting and receiving antennas operating with electromagnetic waves . According to the frequency set in the radio link and via software accurate , the engineer in charge can make a project sizing radio without the need to participate in the field survey.

A decisive factor for the development of a project is the infrastructure which will be installed vertical antennas , because depending on that , the antennas will be at a height that will not be conducive to a good performance of the radio link , because every project requires a scaling special attention to the correction factor of the earth - k_e to release all or part of the Fresnel zone . Through these parameters mentioned , the designer can detail your project according to the frequency and distance of the link being built through trusted software .

The radio links operating above 10 GHz are subject to attenuation due to rain , since the relationship between the frequency are directly proportional , but every link is designed in accordance with a conventional safety margin because attenuation can occur and if it happens to a value higher than expected , the link may lose communication .

The adaptive modulation is an important feature because radio links that are susceptible to attenuation due to rain may lose communication , but this function will switch the link below to modulations causing an increase in the threshold of reception

and transmission power while maintaining the link in communication , but with a lower transmission rate

SUMÁRIO

Capítulo 1	17
Introdução	17
1. 1 Fundamentos da Telecomunicações.....	18
1.2 Ondas Eletromagnéticas	19
1.2.1 Propagação da Onda Eletromagnética.....	19
1.2.2 Equações de Maxwell	21
1.3 Regulamentação e Alocação de Frequência	26
1.4 Meios de Comunicações	28
1.5 Tipos de Propagações	29
1.5.1 Ondas de Superfície	29
1.5.2 Ondas Ionosféricas	29
1.5.3 Ondas Diretas ou de Visadas Diretas	30
1.5.4 Ondas Difradas.....	31
1.5.5 Ondas espalhadas.....	31
1.6 Enlaces de Microondas.....	32
1.7 História do Rádio	34
1.7.1 Embratel.....	34
1.7.2 Empresas do Grupo Telebrás (Teles Estaduais)	35
1.7.3 Grupo Eletrobrás, Petrobrás e Companhias de TV	35
1.8 Hierarquias Digitais PDH e SDH	36
Capítulo 2	39
Desenvolvimento Teórico	39
2.1 Refração Atmosférica.....	39
2.2 Raio Terrestre Equivalente.....	43
2.3 Região de Fresnel	47
2.4 Atenuação devido a chuva	60
2.4.1 Método do ITU-R 838 e 530-7	62
2.4.2 Cálculo de Atenuação Devido a Chuva para enlace de 8 GHz e 13/15 GHz em 145 mm/h.....	64
2.5 PathLoss 4.0.....	67
2.6 CelPlan 7.9	69

2.7 Google Earth.....	74
2.8 Equipamentos de Rádio.....	75
2.8.1 Sistema de Comutação RF	76
2.8.2 Processamento Digital.....	76
2.8.3 Modulador – Demodulador.....	77
2.8.4 Transmissor – Receptor	78
2.8.5 Branching.....	78
2.9 RFC 2544.....	79
2.9.1 Throughput	80
2.9.2 Latency.....	80
2.9.3 Frame Loss.....	80
2.9.4 Back-to-Back	81
2.9.5 RFC 2544 – Rádio Digitel 1.5 GHz/16M	81
Capítulo 3	86
Materiais e Métodos	86
3.1 Rádio Mini-Link TN	86
3.2 Rádio Digitel	89
Capítulo 4	91
Resultados e Discussão.....	91
4.1 Projeto de Dimensionamento de Enlace de Rádio e suas Características	91
4.2 Rádio Mini-Link TN: RFC 2544.....	104
Capítulo 5	125
Conclusões, contribuições deste trabalho e trabalhos futuros	125
Referências	128
Recomendações ITU-R.....	129
ANEXO 1 – RFC 2544 RÁDIO DIGITEL	130
ANEXO 2 - RFC 2544 RÁDIO MINI-LINK TN – Potência 5 dBm.....	136
ANEXO 3 - RFC 2544 RÁDIO MINI-LINK TN – Potência -5 dBm.....	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Noção de campo elétrico [2]	19
Figura 2 - Noção do campo magnético [2].....	20
Figura 3 - Direção de propagação	21
Figura 4 - Onda deslocando-se na direção x [3].....	24
Figura 5 - Campo elétrico variando com t [3]	25
Figura 6 - Espectro de frequência [4]	26
Figura 7 - Ondas de superfície (abaixo de 2 MHz) [4].....	29
Figura 8 - Ondas com reflexão ionosférica [11].....	30
Figura 9 - Onda em visada direta (acima de 30 MHz) [4].....	30
Figura 10 - Propagação por obstáculo (gume de faca) [4]	31
Figura 11 - Propagação por espalhamento	31
Figura 12- Refração do feixe de luz ao passar do ar à água [2].....	39
Figura 13 - Variação de velocidade de propagação da onda [2]	41
Figura 14 - Divisão da troposfera em camadas [4]	42
Figura 15 - Curvatura do feixe na atmosfera [2].....	42
Figura 16 - Raio equivalente da Terra [4]	43
Figura 17 - Variação do Kmínimo com a distância [21].....	45
Figura 18 - Diferentes casos de refração [5].....	46
Figura 19 - Princípio de Huygnes [3]	47
Figura 20 - Zona de Fresnel na superfície da Terra [3].....	48
Figura 21 - Zona de Fresnel vistas do ponto B [3]	49
Figura 22 - Raio da zona de Fresnel [3].....	50
Figura 23 –Mostra a interface de software com os dados dos enlaces de rádio para a cidade de Lagamar e Coromandel.....	52
Figura 24 – Mostra o relevo topográfico espaçados em pontos de 0.010 metros	52
Figura 25 – Mostra o perfil topográfico gerado destacando a linha de visada entre os dois pontos.....	53
Figura 26 – Mostra o perfil topográfico gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=4/3$	53
Figura 27 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=2/3$	57
Figura 28 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=4/3$	58
Figura 29 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=2/3$	59
Figura 30 - Distribuição mundial da taxa pluviométrica [4]	60
Figura 31 - Taxas pluviométricas por região para várias porcentagens de tempo	61
Figura 32 - Interface inicial do software PathLoss	68
Figura 33 - Perfil gerado pelo PathLoss de acordo com as informações inseridas na Figura 33	68
Figura 34 - Interface de apresentação do CelPlan 7.9.....	69
Figura 35 - Interface para inserção da estação em Lagoa Formosa no software.....	70
Figura 36 – Interface para inserção da estação em Patos de Minas no software	70
Figura 37 - Interface para preenchimento dos campos obrigatório para a geração de perfil	71

Figura 38 - Inserindo modelos de antenas no software	72
Figura 39 - Perfil gerado pelo CelPlan	73
Figura 40 - Interface de apresentação do Google Earth	75
Figura 41 - Diagrama de blocos funcionais de equipamentos rádios [4].....	76
Figura 42 -Configuração do rádio Digitel	82
Figura 43 - Layout de teste	83
Figura 44 - Throughput Bidirecional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End,Step Duration=5 sec)	83
Figura 45 - Latency (End-To-End, Iteration=20).....	83
Figura 46 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss	84
Figura 47 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss	84
Figura 48 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration =2 sec)	84
Figura 49 - Sistema Mini-Link [9].....	87
Figura 50 – Mostra os magazines AMM2pB e NPU3 B [9].....	88
Figura 51 - Mostra as placas ETU3 e MMU2 H [9]	88
Figura 52 – Mostra a parte outdoor chamada de RAU 2X (ODU) [9]	89
Figura 53 - Rádio Digital [10]	90
Figura 54 – Mostra a interface do Google Earth.....	92
Figura 55 – Mostra a localização da Estação A	92
Figura 56 – Mostra a localização da Estação B	93
Figura 57 – Mostra o Link de Rádio entre as duas estações envolvidas	93
Figura 58 – Mostra a topografia do Enlace de Rádio	94
Figura 59 - Perfil gerado pelo PathLoss entre as estações.....	95
Figura 60 - Perfil gerado pelo CelPlan	96
Figura 61 - Gerência do rádio na estação A	97
Figura 62 - Gerência do rádio estação B	98
Figura 63 - Configurações do rádio estação A	99
Figura 64 - Configurações do rádio estação B	99
Figura 65 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 7 MHz [9]	100
Figura 66 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 14 MHz [9]	101
Figura 67 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 28 MHz [9]	102
Figura 68 - Potência de Transmissão para rádio Mini-Link TN de acordo com a modulação e frequência em uso [9].....	103
Figura 69 - Layout do laboratório com partes indoor e outdoor	104
Figura 70 - Interface de configuração do link de rádio	105
Figura 71 - Interface de configuração da largura de banda, canal de frequência, potência de transmissão e modulação adaptativa	106
Figura 72 - Interface de gerência visualiza o sinal recebido do link configurado.....	106
Figura 73 - Layout de laboratório com partes indoor/outdoor com instrumental FrameScope	107
Figura 74 - Throughput Bi-directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End,Step Duration=5 sec)	108
Figura 75 - Latency (End-To-End, Iteration=20).....	108

Figura 76 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss	108
Figura 77- Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss.....	109
Figura 78 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration =2 sec)	109
Figura 79 - Interface de configuração do link de rádio mantendo as informações iniciais do laboratório.....	110
Figura 80 - Interface de configuração do link de rádio diminuindo 10 dB de potência de transmissão	110
Figura 81 - Interface de gerência visualiza o sinal recebido do link configurado.....	111
Figura 82 - Throughput Bi-directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration=5 sec)	111
Figura 83 - Latency (End-To-End, Iteration=20).....	112
Figura 84 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss	112
Figura 85 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss	112
Figura 86 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration =2 sec)	113
Figura 87 - Interface de gerência mostrando a função de modulação adaptativa....	114
Figura 88 - Valor de Atenuação (dB) por taxa pluviométrica.....	121
Figura 89 - Comportamento do enlace de rádio em vários valores de taxa pluviométrica.....	122
Figura 90 - Valor do sinal recebido x modulação mostrando os pontos em que o link permaneceria em comunicação	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Serviços de Telecomunicações associados ao espectro de frequência [4]	27
Tabela 2 - Hierarquia PDH	37
Tabela 3 - Hierarquia SDH	38
Tabela 4 - Cálculos delimitando a zona de Fresnel através do Excel	56
Tabela 5 Parâmetros de chuva (Recommendation ITU R 838)	62
Tabela 6 - Classificação de equipamentos em relação a capacidade	79
Tabela 7- Cálculos através do .Excel relacionando atenuações, limiares de recepção, modulações, potência de transmissão e taxa pluviométrica	118
Tabela 8 - Cálculo de atenuações e análises de comunicação para uma taxa pluviométrica de 34 mm/h	120
Tabela 9 - Informações sobre a análise de comunicação do link utilizaem váris modulação e a largura de banda fixa em 7 MHz	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ITU – União Internacional de Telecomunicações
ITU-T – International Telecommunications Union
ITU-R – International Telecommunications union Radiocomunication Group
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
VHF – Very High Frequency
UHF - Ultra High Frequency
SHF - Super High Frequency
EHF – Extremely High Frequency
MHz – Megahertz
GHz – Gigahertz
EMBRATEL – Empresa Brasileira de Telecomunicações S.A.
CONTEL – Conselho Nacional de Telecomunicações
DENTEL – Departamento nacional de Telecomunicações
ECT – Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
RF – Radiofrequência
SDH – Synchronous Digital Hierarchy
PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
FEC – Forward Error Corrector
IETF – Internet Engineering Task Force

Capítulo 1

Introdução

O objetivo desta dissertação é o estudo minucioso de parte do tema sobre antenas e propagação, associado a enlaces de rádio. O desenvolvimento teórico foi abordado de forma clara e objetiva desde a evolução da área das telecomunicações, os conceitos e equações sobre as ondas eletromagnéticas até as partes constituintes de um equipamento de rádio.

Um estudo aprofundado sobre zona de Fresnel, raio terrestre equivalente e atenuação devido à chuvas incorporaram aos testes em laboratório, o qual através de equipamentos de rádio de dois fabricantes, puderam relacionar a teoria adquirida através de conteúdos expostos na referência bibliográfica com a prática na execução dos testes necessários.

Os softwares relacionados a geração de perfil em um enlace de rádio é de grande importância na elaboração de um projeto de dimensionamento de rádio, onde aproximam da realidade a vistoria em campo através de cartas topográficas.

Os laboratórios implementados nesta dissertação em conjunto com a RFC 2544 trazem ao leitor a performance de um link de rádio em seu estado de operação e o desempenho do enlace ao ser afetado por uma atenuação, sendo que os cálculos de atenuação devido à chuva são de grande importância, pois fornecem uma visão e mostram a relevância da função de um equipamento de rádio com modulação adaptativa, permanecendo a comunicação entre as estações em taxas pluviométricas maiores.

Esses cálculos são relacionados a modulação, potência de transmissão, limiar de recepção, largura de banda e atenuações, o qual pode-se realizar análises comportamentais dos enlaces em várias intensidades de chuvas e otimizando soluções eventuais.

O embasamento teórico deste trabalho foram 2 livros com bons conteúdos, sendo o primeiro representado pelo MITSUGO MIYOSHI, E., ALBERTO SANCHES, C. **Projetos de Sistemas de Rádio**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2010. 534 p. e o outro

pelo SILVA,G.,BARRADAS,O. **Sistemas Radiovisibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978. 848 p.

Esta dissertação tem a função de dar continuidade em temas sobre antenas e propagação, onde incluir nos cálculos sobre dimensionamento do enlace de rádio atenuações causada pela atmosfera, estudos sobre a metodologia de cálculo de desempenho e disponibilidade, cálculo de interferência e entre outras abordagens.

1. 1 Fundamentos da Telecomunicações

A era das telecomunicações iniciou-se com Alexander Graham Bell (1847-1922). Este criou o primeiro sistema telefônico com transmissão elétrica inteligível da voz através de fio. Após este marco inovador, estudiosos foram criando e desenvolvendo sistemas relacionados a telecomunicações [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 [1].

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1905) em 1898 desenvolveu um sistema de comunicações via rádio para navios russos [1].

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 [1].

Hoje, temos dois órgãos fundamentais na área de telecomunicações que são: União Internacional de Telecomunicações - ITU e Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL. Sendo que a primeira, uma organização que reúne governos e setores privados num Sistema Unido de Nações, para coordenadas as comunicações globais em redes e serviços. Este órgão é subdividido em três partes, como segue abaixo [1]:

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

1.2 Ondas Eletromagnéticas

1.2.1 Propagação da Onda Eletromagnética

As ondas de rádio propagam-se em um meio através de uma antena transmissora até uma antena receptora é denominada de ondas eletromagnéticas e essas estão associadas diretamente aos campos elétrico e magnético [2].

O campo elétrico é produzido através de uma alteração nas condições do espaço vizinho a uma carga. Na Figura 1 pode-se observar que o campo elétrico é sentido pela carga negativa, pois temos a carga positiva como a responsável desse efeito [2].

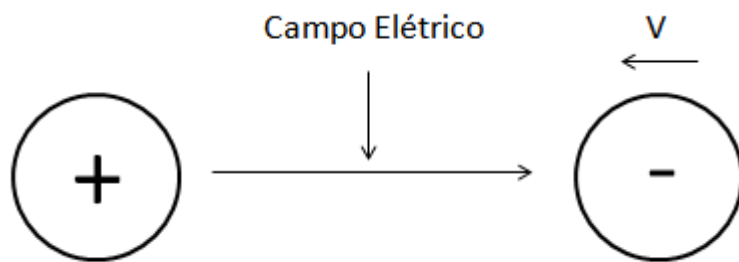


Figura 1 - Noção de campo elétrico [2]

O campo magnético poderá ser visualizado através de transformadores, conforme pode-se observar pela Figura 2. Através da circulação da corrente em um transformador primário produzirá um campo magnético e isto influenciará na criação de uma corrente no transformador no secundário [2].

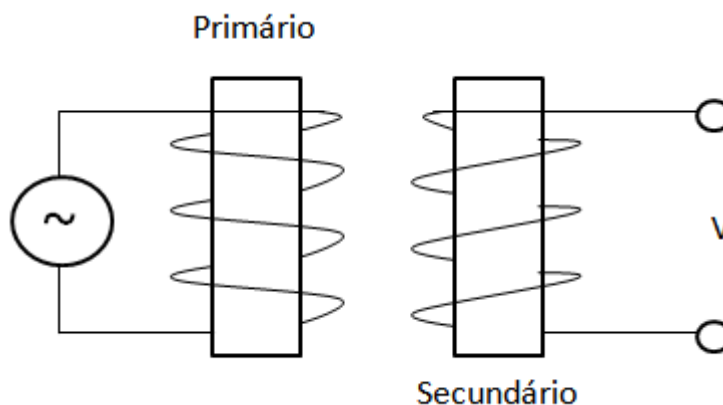


Figura 2 - Noção do campo magnético [2]

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).

As ondas eletromagnéticas formada por esses dois campos são representadas por ondas senoidais, tendo como característica os parâmetros de 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 $V = \lambda \cdot f$. A velocidade será constante igual a 3×10^8 m/s para a propagação no vácuo e não depende da fonte geradora [2].

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. [2].

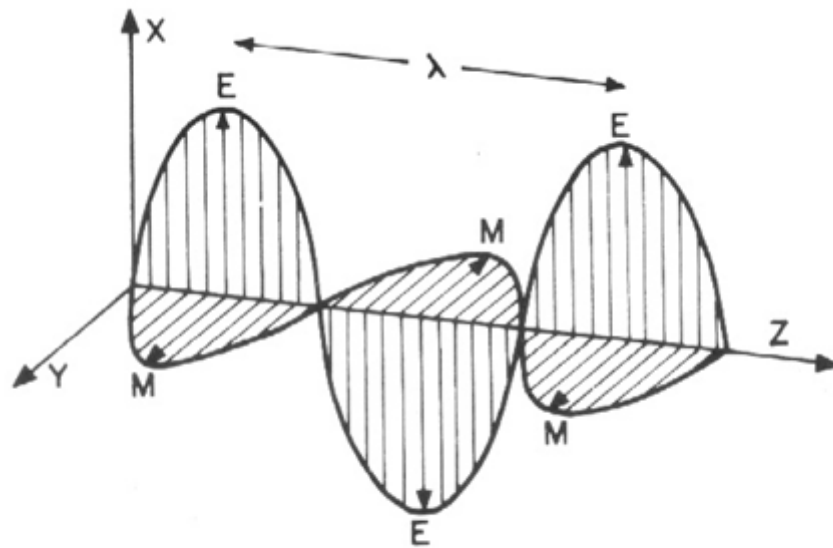


Figura 3 - Direção de propagação

- \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 [2].

1.2.2 Equações de Maxwell

As Equações de Maxwell foram desenvolvidas através das leis fundamentais do eletromagnetismo. As leis fundamentais do eletromagnetismo estão representadas pelas Equações (1.2.2.1), (1.2.2.2), (1.2.2.3) e (1.2.2.4). [3]

- Lei de Ampere:

$$\nabla \times \vec{M} = \sigma \vec{E} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.2.2.1)$$

- Lei de Faraday:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} \quad (1.2.2.2)$$

- Lei de Gauss:

$$\nabla \cdot (\epsilon \vec{E}) = \rho \quad (1.2.2.3)$$

- Lei de Gauss do Campo Magnético:

$$\nabla \cdot (\epsilon \vec{M}) = 0 \quad (1.2.2.4)$$

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 de eletromagnetismo pode-se destacar 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 [3]:

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) \vec{I}_z + \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \vec{I}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \vec{I}_x \quad (1.2.2.5)$$

O divergente do campo elétrico pode ser expresso como [3]:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) \quad (1.2.2.6)$$

Considerando uma onda que desloca-se na direção x com um campo elétrico na direção z e o campo magnético na direção y, por exemplo como pode-se observar a seguir [3]:

$$\vec{E} = E_z \vec{i}_z \quad (1.2.2.7)$$

$$\vec{H} = H_y \vec{i}_y \quad (1.2.2.8)$$

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

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \vec{i}_y \quad (1.2.2.9)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) \vec{i}_z \quad (1.2.2.10)$$

Deve-se lembrar que devido a onda ser plana, temos que $\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{\partial H_y}{\partial z} = 0$, onde as ondas planas são perturbações eletromagnéticas bem definidas para as quais os vetores de campo elétrico e de campo magnético são perpendiculares entre si e ambos formam um ângulo de 90° com a direção de propagação da onda. Assim, substituindo as Equações (2.2.7), (2.2.8) nas Equações (2.2.1) e Equações (2.2.2) e considerando o caso $E_x = E_y = H_x = H_y = 0$ tem-se:

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = \sigma E_z + \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} \quad (1.2.2.11)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} \quad (1.2.2.12)$$

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 [3]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t - \frac{x}{u} \right) = E_0 \cos (wt - \beta x) \quad (1.2.2.13)$$

Onde temos que “ $\beta = w/u$ ”, “ t ” é o tempo, “ x ” a distância e “ u ” a velocidade de deslocamento. Uma onda eletromagnética plana se deslocando 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 [3]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t_0 - \frac{x}{u} \right) \quad (1.2.2.14)$$

Pode-se observar que a Equação (2.2.14) é uma função apenas de “ x ”. O gráfico abaixo mostra a variação do campo elétrico para vários valores de “ wt ” [3].

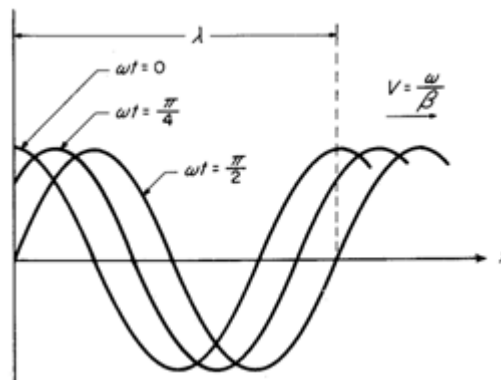


Figura 4 - Onda deslocando-se na direção x [3]

Através da Equação (2.2.14), pode-se calcular o comprimento de onda λ , que considera-se como $\lambda = x_2 - x_1$ [3].

$$w\left(t_0 - \frac{x_2}{u}\right) - \left(t_0 - \frac{x_1}{u}\right) = -2\pi ; \quad (1.2.2.15)$$

$$w\frac{x_2}{u} - w\frac{x_1}{u} = 2\pi ; \quad (1.2.2.16)$$

$$\lambda = (x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\frac{w}{u}} = 2\pi/(2\pi f/u) = \frac{u}{f} \quad (1.2.2.17)$$

Adota-se um ponto fixo x_0 , o campo elétrico varia apenas com o tempo [3]:

$$E_z = E_0 \cos w \left(t - \frac{x_0}{u} \right) \quad (1.2.2.18)$$

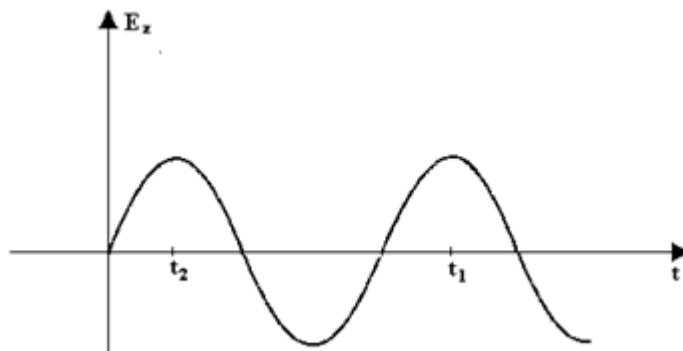


Figura 5 - Campo elétrico variando com t [3]

O período $T = t_2 - t_1$ pode-se ser calculado como [3]:

$$w\left(t_2 - \frac{x_0}{u}\right) - w\left(t_1 - \frac{x_0}{u}\right) = -2\pi ; \quad (1.2.2.19)$$

$$w(t_2 - t_1) = 2\pi; \quad (1.2.2.20)$$

$$wT = 2\pi \quad T = 2\pi/w \quad (1.2.2.21)$$

1.3 Regulamentação e Alocação de Frequência

Um fator responsável no desempenho de um sistema de comunicações é a frequência de operação, pois através da mesma tem-se as características do serviço oferecido e a tecnologia apropriada para o objetivo final.

Em 1932 foi criado a União Internacional de Telecomunicações – ITU, uma organização com o intuito de supervisionar o uso de frequências no mundo. Esta organização teve como objetivo, alocar as frequências aos respectivos serviços de telecomunicações no mundo incluindo: serviços terrestres, satélites e intersatélite [4].

Sendo a frequência uma característica fundamental em uma onda eletromagnética, abaixo observa-se o espectro dividido em faixas. Este espectro representa a disponibilidade de frequência que uma onda eletromagnética poderá assumir [4].

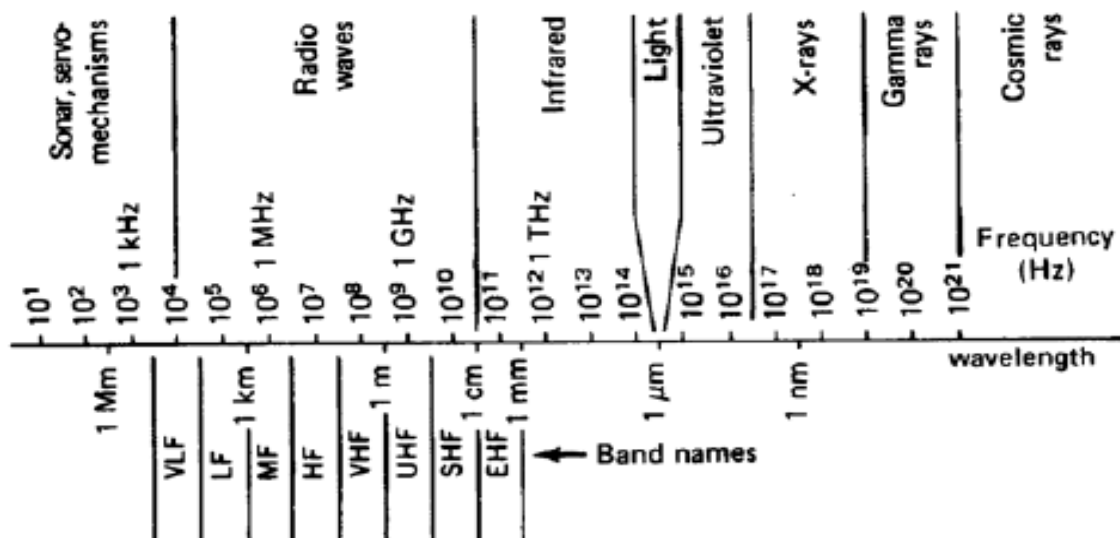


Figura 6 - Espectro de frequência [4]

Na tabela 1, podemos identificar as ondas eletromagnéticas compreendidas entre uma faixa de frequência de 3 MHz até 300 GHz, onde são caracterizadas as ondas de rádio.

Tabela 1 - Serviços de Telecomunicações associados ao espectro de frequência [4]

Identificação	Característica	Aplicação
ELF (Extremely Low Frequency)	3 mHz – 3 kHz	Não possui 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 à rádio-navegação, enlaces de telefonia.
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3000 MHz	Televisão UHF, telefonia celular, wireless, wimax, auxílios à rádio navegação, radar, enlaces de microondas e satélite.
SHF (Super High Frequency)	3 GHz – 30 GHz	Comunicações via satélite, wimax, wireless e enlaces de microondas.
EHF (Extremely High Frequency)	30 GHz – 300 GHz	Radar, comunicações via satélite em fase experimental.

1.4 Meios de Comunicações

A energia elétrica proveniente de um sinal de informação trafega através de um meio de comunicação para alcançar o sistema receptor desejado. Os meios de comunicações mais comuns são [4]:

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

Nesta seção abordará o meio de comunicação que utiliza a atmosfera como mecanismo de transmissão. O espaço livre é o meio onde a onda propaga-se sem nenhuma interferência como por exemplo, os gases atmosféricos, chuva, prédios, árvores, montanhas, neblina, nuvens ou qualquer outro meio que possa interferir nas comunicações [4].

A troposfera é uma camada adjacente à superfície terrestre e estende-se até 10 km de altura. Esta camada é constituída de gases como o 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 [4].

A camada ionosfera é atrativa para os enlaces de onda que utilizam a frequência de operação abaixo de 30 MHz, por exemplo 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 [4].

1.5 Tipos de Propagações

Existem várias formas de classificação das ondas de rádio que propaga-se na atmosfera, posteriormente será detalhado as mesmas de acordo como a forma de propagação como ondas de superfície, ionosféricas, diretas ou visada direta, difratadas e espalhadas [4].

1.5.1 Ondas de Superfície

Essas ondas têm como característica acompanhar a superfície da Terra alcançando grandes distâncias e está presente em frequências menores [4].

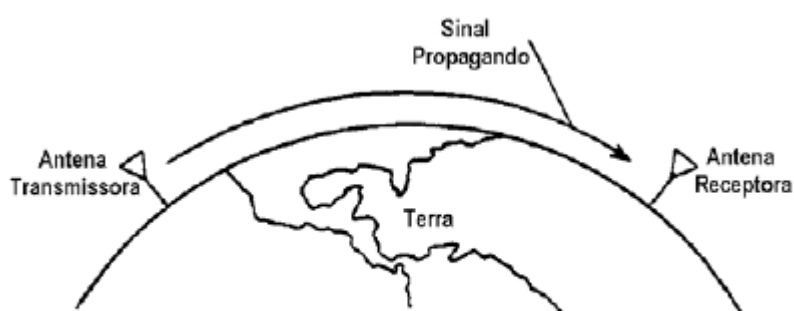


Figura 7 - Ondas de superfície (abaixo de 2 MHz) [4]

1.5.2 Ondas Ionosféricas

As ondas de rádio com frequências menores à 30 MHz serão refletidas e absorvidas pelas camadas da ionosfera D,E e F. As ondas superiores à 30 MHz, propaga-se através da ionosfera e as propriedades das ondas varia-se de acordo com a frequência, localização geográfica, hora e dia. As ondas mencionadas de 3 GHz não percebem os efeitos da ionosfera. A Figura 8 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 e 3 a onda retorna á superfície da Terra, pois utiliza frequência menor que 30 MHz [4].

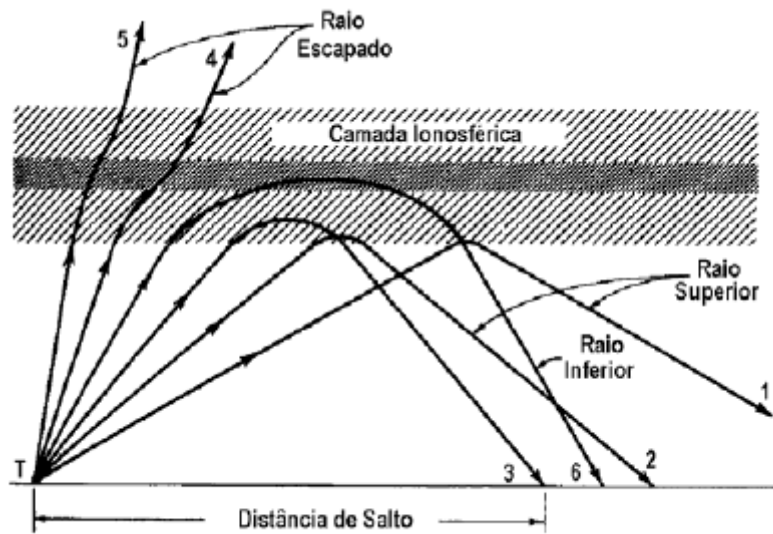


Figura 8 - Ondas com reflexão ionosférica [11]

1.5.3 Ondas Diretas ou de Visadas Diretas

Os enlaces de microondas são classificados nesse modo de propagação, onde a antena transmissora através de uma “linha reta” alcança a antena receptora [9].

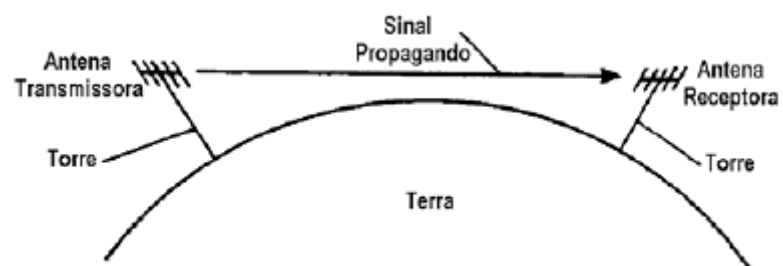


Figura 9 - Onda em visada direta (acima de 30 MHz) [4]

1.5.4 Ondas Difractadas

As ondas de visada direta podem não atuar quando existe um obstáculo no meio do percurso de uma onda, mas as ondas difratadas através da teoria de difração de Fresnel, consegue que uma onda saindo de uma antena transmissora passando por um obstáculo consiga alcançar uma antena receptora [4].



Figura 10 - Propagação por obstáculo (gume de faca) [4]

1.5.5 Ondas espalhadas

As ondas eletromagnéticas alcançam grandes distâncias através da propagação por espalhamento na ionosfera ou troposfera. Neste caso, as antenas usadas são enormes, pois a densidade de radiação é muito pequena no receptor [4].

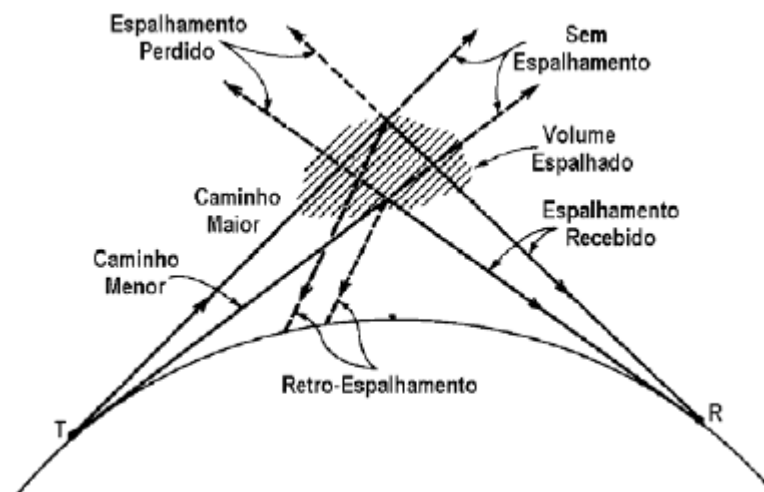


Figura 11 - Propagação por espalhamento

1.6 Enlaces de Microondas

Enlaces de Microondas são links de rádio que utilizam ondas eletromagnéticas para alcançarem um ponto desejado através de equipamentos de rádio e antenas específicas. Um radioenlace, como pode-se denominar, é um meio de transmissão que leva a informação (sinal) de um ponto, sendo uma estação ou site de operadora de telecomunicações, até um local desejado como outra estação ou um cliente.

O meio de transmissão através do link de rádio cada vez é mais utilizado no mundo de telecomunicações, mas sempre em conjunto da fibra óptica, pois essa sobressai em relação ao enlace devido a capacidade de transmissão e ao custo financeiro associado a pequenas distâncias.

Comparando o uso de enlaces de rádio em relação a fibra óptica, pode-se apresentar que o link de rádio possui vantagens na implantação de um projeto, pois através deste meio de transmissão terá um curto prazo para a instalação, o alcance em regiões não desenvolvidas e inacessíveis, em locais densamente povoadas como em centros urbanos das cidades metropolitanas, onde a implantação, manutenção e operação da fibra é inviável como meio de transmissão.

Ao atendimento de um cliente ou uma estação, a operadora responsável terá que analisar a forma de alcance a este local observando custo financeiro, prazo de implantação, capacidade de transmissão e planejamento. Sendo que, a opção para custo e prazo para a implantação de um projeto utilizando enlace de rádio são bem menores que fibra óptica, exceto para enlaces muito pequeno (ordem de centena de metros).

Muitas operadoras de telecomunicações utilizam o sistema via rádio para o atendimento provisório em um determinado local antes da implantação da fibra ótica como um sistema definitivo, por exemplo, o atendimento a um centro industrial em uma cidade que não é abordada pela infraestrutura da empresa, os gestores planejam e executam este atendimento prévio através de enlace de rádio e após meses temos a implantação da fibra óptica que substitui o sistema anterior ou o link torna-se como proteção desta fibra tornando-se sistemas redundantes aumentando a confiabilidade do sistema.

Os enlaces de rádio estão evoluindo a cada ano, vários fabricantes de equipamentos de rádio estão no mercado em concorrência com os maiores

vendedores, por exemplo a empresa Ericsson, Huawei e Nec. Os equipamentos de rádio tiveram um aumento em relação a capacidade de transmissão, sendo que hoje em dia os links já alcançam aproximadamente 1 Gbps.

O projeto de dimensionamento de um enlace de rádio consiste em uma análise via software sobre o link a ser construído, observando o perfil topográfico, a distância, frequência de operação, capacidade de transmissão e modulação a ser utilizada. Em relação ao perfil, o software simulará possíveis alturas de torres para que o enlace de rádio não haja obstruções na Zona de Fresnel considerando o Fator de Correção da Terra-k no valor 4/3 e confirmando o link através do fator 2/3, que é considerado em curto espaço de tempo ao ano e em enlaces com distância superior a 30 km

A designação da frequência de operação adequada para um enlace de rádio deve-se levar em consideração a distância entre as estações envolvidas em conjunto com as variações climáticas da atmosfera e a capacidade de transmissão. As faixas de frequência que os enlaces de microondas atuam corresponde a VHF, UHF, SHF e EHF, o qual compreende entre 30 MHz até 300 GHz.

A análise para a seleção de frequência para um projeto de dimensionamento de enlace de rádio é muito importante, pois dependendo da frequência que designa-se para um link de rádio, o mesmo pode ser degradado por interferência, limitando a capacidade de transmissão ou até mesmo a não operação do enlace.

Os pré-requisitos para a determinação da frequência estão relacionados com a distância e a atenuação devido a chuvas, por exemplo para enlaces longos não utilizamos frequência acima de 10 GHz, pois quando utiliza-se essa faixa temos perda dos sinal devido a atenuação devido a chuvas. Então, essas frequências acima de 10 GHz são utilizadas para enlaces curtos, como para regiões metropolitanas, por exemplo a utilização de enlaces de 15 GHz e 18 GHz.

Sendo assim, as classificações são de acordo que quanto maior a frequência acima de 10 GHz, menor será a distância que um enlace poderá possuir devido a atenuações por chuvas.

Os enlaces de rádio que utilizam a frequência de 1,5 GHz possuem distâncias longas, como os que utilizam 8 GHz e 8,5 GHz, nessas diferenciando a capacidade de transmissão.

1.7 História do Rádio

A evolução dos sistemas de rádio originou-se com o italiano Guilherme Marconi em 1895, inovando o equipamento de rádio através das ondas hertzianas, descobertas pelos físicos Maxwell e Hertz. Em 1965 foi criada a Empresa Brasileira de Telecomunicações – EMBRATEL -, com o intuito de instalar e explorar os grandes troncos nacionais de microondas, integrantes do Sistema Nacional de Telecomunicações, e suas conexões com o exterior [4].

O Ministério das Comunicações foi criado em 1967, o qual foi constituído pelo CONTEL, DENTEL, ECT (Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos) e EMBRATEL. Neste mesmo ano, foi criado o Plano de Expansão que através do sistema de participação financeira em que o assinante adquiria ações da empresa [4].

Em 1972, tivemos a criação da Telebrás que teve um papel fundamental na coordenação e planejamento geral das atividades por estado ou região econômica de telecomunicações no país, exercendo o controle acionário das empresas do setor e reduzindo as concessionárias em única [4].

No auge nas décadas de 70 e 80, foram implantados milhares de enlaces de microondas de alta capacidade pela Embratel e empresas do Grupo Telebrás e privadas. O Ministério das Comunicações era responsável pela determinação da faixa de frequência utilizada por cada operadora, sendo que a maioria das faixas eram destinadas ao grupo Telebrás [4].

A seguir será apresentado acontecimentos de operadoras antes do início da Era Digital:

1.7.1 Embratel

Os troncos de alta capacidade e longa distância da Embratel, abrangendo todo o território nacional e interligando, principalmente, as principais capitais estaduais e Brasília, utilizavam as faixas de 6GHz e alternativamente 4 GHz, e capacidade na sua maioria de 1800 canais por RF e em muitos casos, na configuração máxima permitida pela canalização RF (MIYOSHI.,SANCHES, 2010 ,p. 54).

As rotas mais curtas utilizavam faixas de 8 GHz em conjunto com as Teles Estaduais. Em algumas cidades importantes, foram utilizados rádios na faixa de 11 GHz e as localidades de difícil acesso foram atendidas utilizando sistemas de tropodifusão ou de satélite [4].

1.7.2 Empresas do Grupo Telebrás (Teles Estaduais)

Os troncos de alta capacidade das empresas do Grupo Telebrás, interligando os principais municípios da sua região, eram baseados nas faixas de 7,5 GHz e capacidade de 960 canais e 8 GHz e capacidade de 1800 canais. A configuração de RF varia desde (1+1) até a configuração máxima de (7+1) para 8 GHz e (5+1) para 7,5 GHz dependendo da capacidade total requerida (MIYOSHI.,SANCHES, 2010 ,p. 54).

1.7.3 Grupo Eletrobrás, Petrobrás e Companhias de TV

Essas empresas também implantaram suas redes privativas de transmissão de alta capacidade, compartilhando a única faixa reservada de 6,7 GHz e capacidade de 600 ou 960 canais. Os entroncamentos e links de acesso eram atendidos utilizando a faixa de 1,5 GHz e capacidade de até 120 canais (MIYOSHI.,SANCHES, 2010 ,p. 54).

Os equipamentos de rádio PDH de baixa capacidade foram utilizados a partir do final da década de 70 pelas empresas do grupo Telebrás, com o início da Era Digital. Inicialmente, houve uma designação pela faixa de 8,5 GHz e capacidade de até 34 Mbps para rádios digitais, sendo que posteriormente tivemos a faixa de 2 GHz e capacidade 34 Mbps a ser utilizada e desativada, pois esta frequência foi destinada a outro serviço [4]

Além de enlaces de rádios utilizando frequência de 8 GHz e com capacidade de 64 Mbps, também houve o uso de links com 15 GHz e 18 GHz para links curtos e com capacidade menores devido a atenuação por causa da chuva e a instalação em centros urbanos [4].

Em meados de 1985, houve a utilização de rádios de alta capacidade de 140 Mbps, utilizando a frequência de 5 GHz, inicialmente pela Embratel e por outras

operadoras. Esses rádios foram utilizados em paralelo com os rádios analógicos nos troncos interestaduais existentes [4].

No início da década de 90, houve o início de implantação de rádios SDH pela Embratel. A faixa utilizada por esses rádios foi 5 GHz em paralelo com os rádios analógicos de alta capacidade (140Mbps), posteriormente utilizaram-se as frequências 4 GHz, 6 GHz, 7,5 GHz, 8 GHz e 11 GHz [4].

O sistema Telebrás foi privatizado no dia 29 de julho de 1998. O leilão aconteceu na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro e foi dividido em três blocos: no primeiro foram vendidas as três empresas de telefonia fixa (Telesp, Tele Centro-Sul e Tele Norte-Leste) e a Embratel, nesta ordem. Cada consórcio só poderia comprar uma empresa de cada grupo. O segundo bloco no leilão foi o de empresas celulares do Sul e Sudeste e o terceiro e último bloco, o de empresas celulares do Centro-Oeste, Norte e Nordeste (MIYOSHI.,SANCHES, 2010 ,p. 56).

A privatização do sistema Telebrás foi baseada em dois pilares fundamentais: a competição e a universalização. Com a competição, as novas empresas têm que atender às necessidades básicas de telecomunicações dos consumidores: melhores serviços e menores preços. A universalização foi um conjunto de compromissos que essas empresas assumiram com o governo, de garantir a todos acesso ao telefone e aos serviços básicos de telecomunicações (MIYOSHI.,SANCHES, 2010 ,p. 56).

1.8 Hierarquias Digitais PDH e SDH

No mundo de telecomunicações existem duas formas padronizadas referente a transmissão de dados, a hierarquia digital PDH e a SDH. Essas hierarquias são utilizadas em equipamentos de rádio, fibra óptica, transmissão via satélite e entre outros sistemas [4].

A hierarquia digital quase síncrono, como é conhecida a PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) possui três diferentes modelos no mundo, ao contrário da hierarquia digital síncrona como é chamada a SDH (Synchronous Digital Hierarchy) [4].

O modelo de hierarquia PDH dificulta as interconexões de sistemas, com isso só é possível a interconexão ao nível de voz na taxa de 65 kbps. Sendo assim, as desvantagens dessa hierarquia digital são [4]:

- Poucos recursos para gerência;
- Rede extremamente hierárquica;
- Padronização parcial.

Os tipos de hierarquia PDH adotados no mundo, são mostrados na Tabela 2 [4]:

Tabela 2 - Hierarquia PDH

Hierarquia PDH	Japão	USA	Brasil/Europa
1ª Hierarquia	1,544 Mbit/s	1,544 Mbit/s	2,048 Mbit/s
2ª Hierarquia	6,312 Mbit/s	6,312 Mbit/s	8,448 Mbit/s
3ª Hierarquia	32 Mbit/s	44 Mbit/s	34,368 Mbit/s
4ª Hierarquia	97 Mbit/s	274 Mbit/s	139,264 Mbit/s
5ª Hierarquia	397 Mbit/s	-	-

Devido as limitações encontradas na Hierarquia PDH, a ITU-T criou-se um padrão mundial para os sistemas de transmissão síncrona que proporcionassem uma rede mais flexível e econômica. A hierarquia digital SDH possui algumas características principais como [4]:

- Padronização total;
- Fácil acesso aos tributários de ordem inferior;
- Grande capacidade alocada para gerência de rede.

O objetivo da criação de uma rede digital síncrona é criar uma interface padrão para compatibilizar os vários fabricantes. Nos Estados Unidos foi criado a rede óptica síncrona “SONET”, que evoluiu para um padrão internacional que compatibiliza as hierarquias existentes, americana, japonesa e europeia a uma taxa bruta de 155,520 Mbps, chamada de Módulo de Transporte Síncrono nível 1 – STM1 [4].

A Tabela 3 demonstra as taxas de transmissão das hierarquias de SDH [4]:

Tabela 3 - Hierarquia SDH

STM-N	Taxa de Transmissão	Observação
STM-1	155,52 Mbit/s	1 x STM-1
STM-2	622,08 Mbit/s	4 x STM-1
STM-3	2.488,32 Mbit/s	16 x STM-1
STM-4	9.953,28 Mbit/s	64 x STM-1

Capítulo 2

Desenvolvimento Teórico

2.1 Refração Atmosférica

Refração é um fenômeno de alteração de direção de uma onda que ocorre quando penetra em outro meio [4]. Considera-se um feixe luminoso incidindo sobre a superfície d'água em repouso como mostrado na Figura 12, uma parte desta luz será refletida e parte penetrará água. Esse fenômeno de penetração do feixe, segundo um outro ângulo, denomina-se refração [2].

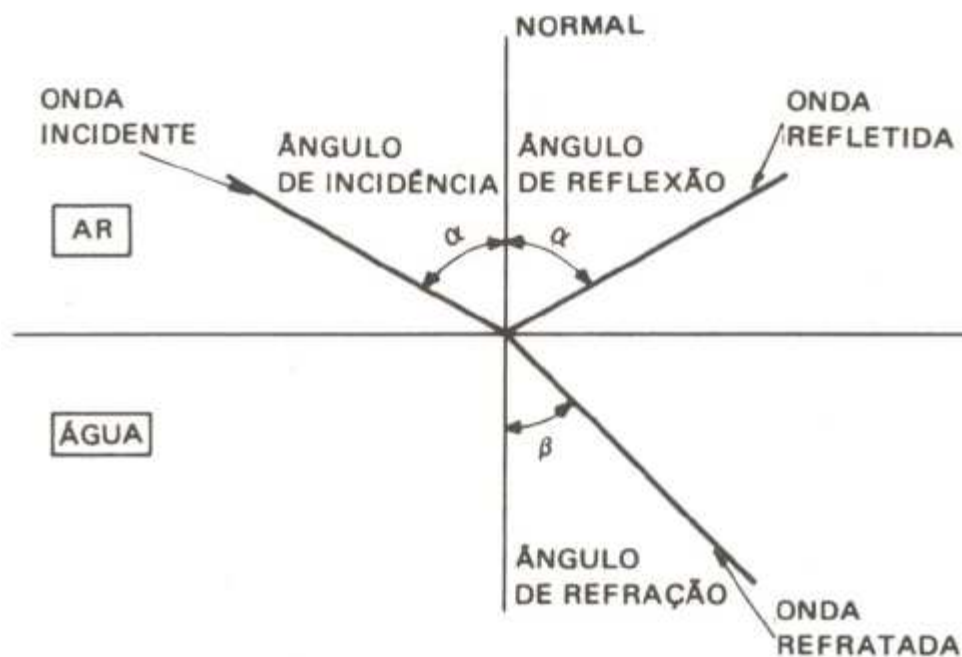


Figura 12- Refração do feixe de luz ao passar do ar à água [2]

Quando a direção do raio formar um ângulo reto com a superfície, não se tem um fenômeno de refração, mas 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 [4].

O ângulo de refração é formado pelo ângulo formado 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 [4].

Lei de Snell:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1.1)$$

em que:

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

De acordo com a Figura 13, pode-se entender o fenômeno da refração através da variação da velocidade de propagação da onda ao passar do ar à água. A frente da onda A_1A_2 atinge a superfície da água, sendo a velocidade da luz menor na água do que no ar, $V_2 < V_1$, o ponto A_1 percorre uma distância d_1 , no mesmo tempo que A_2 percorre uma distância maior d_2 . Como resultado há uma variação na direção de propagação. Sendo assim, esta alteração de direção ou desvio ocorre sempre que a onda incide de forma oblíqua na superfície de separação de 2 meios distintos, e depende de uma característica desses meios chamada de índice de refração. Este índice é expresso pela relação entre a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo e no meio em questão. Dessa forma, será tanto maior para os meios mais densos (menor velocidade de propagação) [2].

Pode-se observar que as velocidades são diferentes nos dois meios ($V_1 > V_2$) ocasionando comprimento de ondas diferentes ($\lambda_1 > \lambda_2$), porque a frequência é a mesma (f) [2].

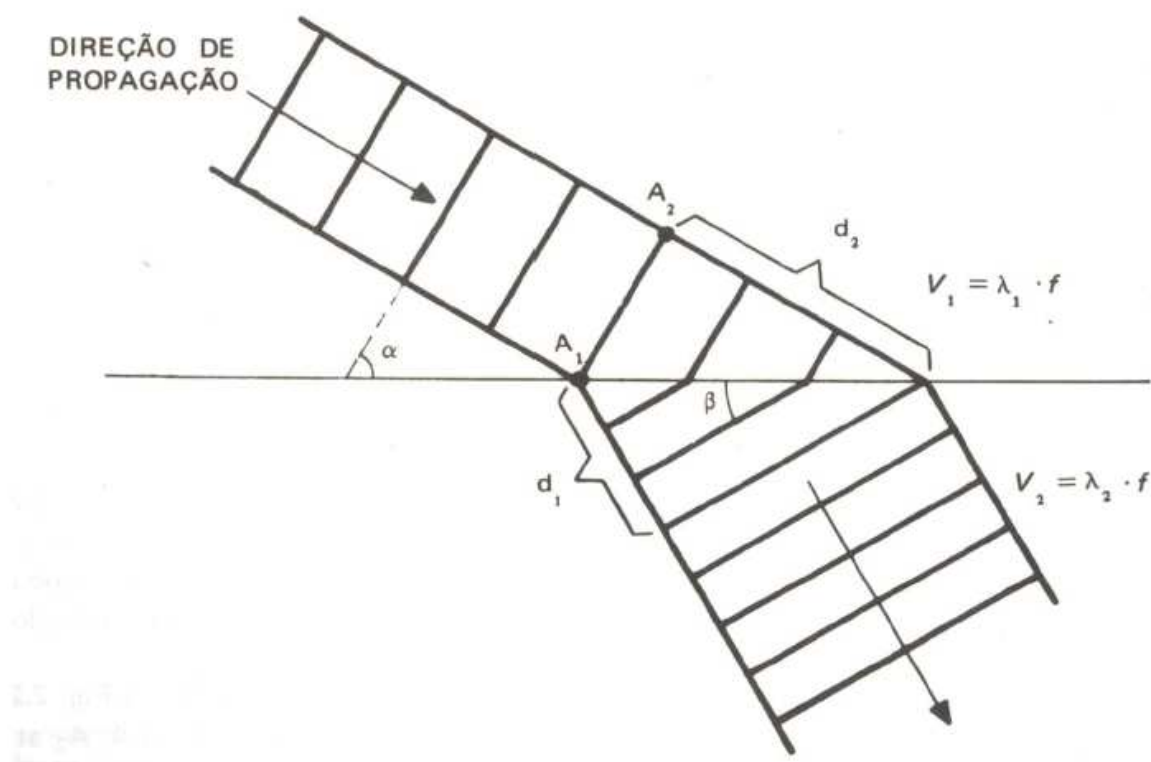


Figura 13 - Variação de velocidade de propagação da onda [2]

As ondas de rádio para a faixa de frequência de UHF e SHF conforme já mencionada anteriormente, possui seus percursos na troposfera, sendo assim necessário estudos sobre o índice de refração da atmosfera dentro da troposfera [4].

Sabendo-se que a densidade do ar decresce com a altitude e o índice de refração do ar também varia da mesma forma, toda onda de rádio (UHF e SHF) enviada na atmosfera faz um arco descendente, já que a onda tende a voltar para um meio com índice de refração maior. Na Figura 14, pode-se observar a troposfera dividida em várias camadas, sendo assim entenderemos melhor este fenômeno [4].

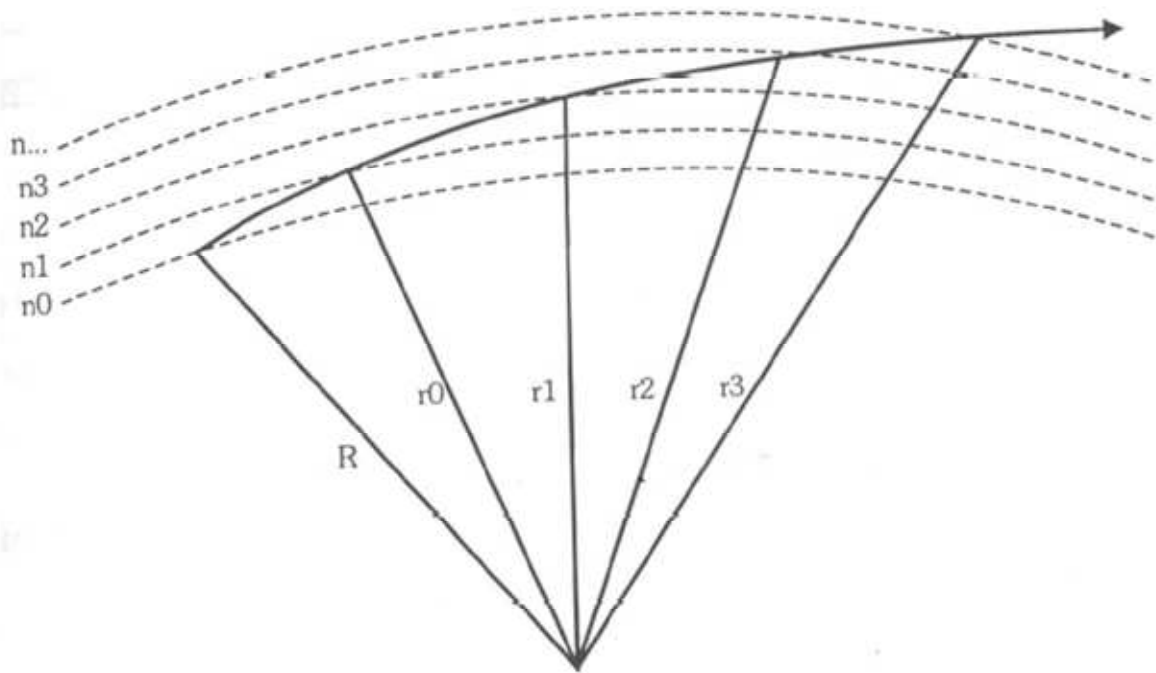


Figura 14 - Divisão da troposfera em camadas [4]

O raio enviado de uma camada inferior para uma superior, o mesmo é desviado e tende a retornar à camada inferior, a qual possui um índice de refração maior, assim 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 microondas no plano vertical, conforme mostrado na Figura 15, isso devido a sucessivas refrações que o sinal sofre. Essas refrações possui uma tendência a se entortar o feixe quando o mesmo atravessa camadas de densidades diferentes da atmosfera [2].

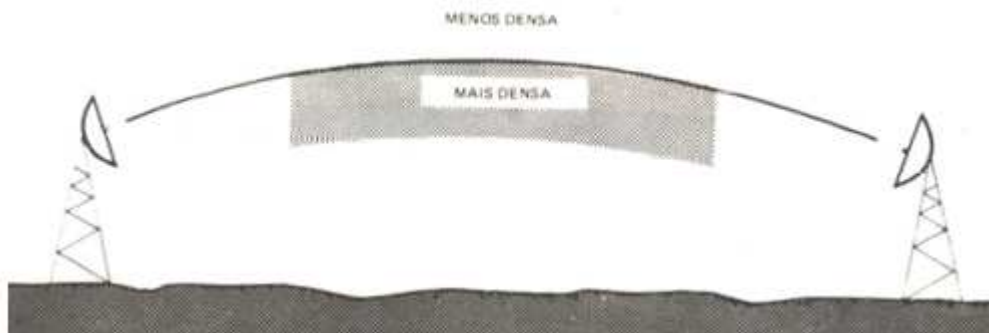


Figura 15 - Curvatura do feixe na atmosfera [2]

2.2 Raio Terrestre Equivalente

As variações do índice de refração do ar com altura ocasiona a refração atmosférica na propagação das ondas de rádio, em conjunto com o clima, devido às alterações nas condições de temperatura, pressão e umidade [4].

O raio da Terra denominado de equivalente é devido a análise da propagação de ondas de rádio na atmosfera, pois usa-se a técnica que o feixe não possui curvatura, assim aumentando o raio da Terra. Sendo assim, tem-se o feixe representado em linha reta e a curvatura da Terra diminuída, como observa-se na Figura 16 [4]:

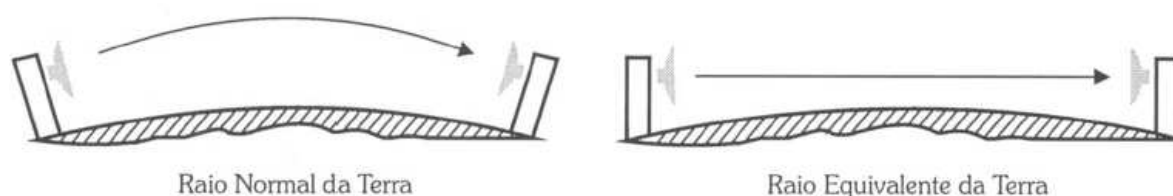


Figura 16 - Raio equivalente da Terra [4]

As recomendações 310-09 e 530-09 são úteis pois, dessas retira-se os valores usados para considerar o raio equivalente. A aplicação do fator k é importante, pois adota-se a correção da curvatura da Terra ou Raio Equivalente [4].

Sendo assim, o fator K pode ser definido como a gradiente vertical (dn/dh) do índice de refração (n) e ao raio da Terra (a), conforma a Equação (2.2.1):

$$k = \frac{1}{1 + a \frac{dn}{dh}} \quad (2.2.1)$$

Onde:

- a – raio da Terra $6,37 \times 10^6$
- $\frac{dn}{dh} = 0,118 \text{ M.U./m}$

$$\bullet \quad \frac{dn}{dh} = \frac{dM}{dh} \times 10^{-6} - \frac{1}{a}$$

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

Substituindo esses termos na Equação (2.2.1), tem-se que $k = 4/3$:

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

O $K_{\text{médio}}$ é o valor do fator k igual a $4/3$, sendo o 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 [4].

O projetista de um enlace de rádio deve sempre corrigir o perfil da Terra, aplicando dois fatores, o $K_{\text{médio}}$ e $K_{\text{mínimo}}$. O valor $K_{\text{médio}}$ é utilizado para atmosfera padrão no valor de $4/3$ e o outro é denominado de $K_{\text{mínimo}}$ cujo valor é dado pela recomendação 530-09 do ITU-R, 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) [4].

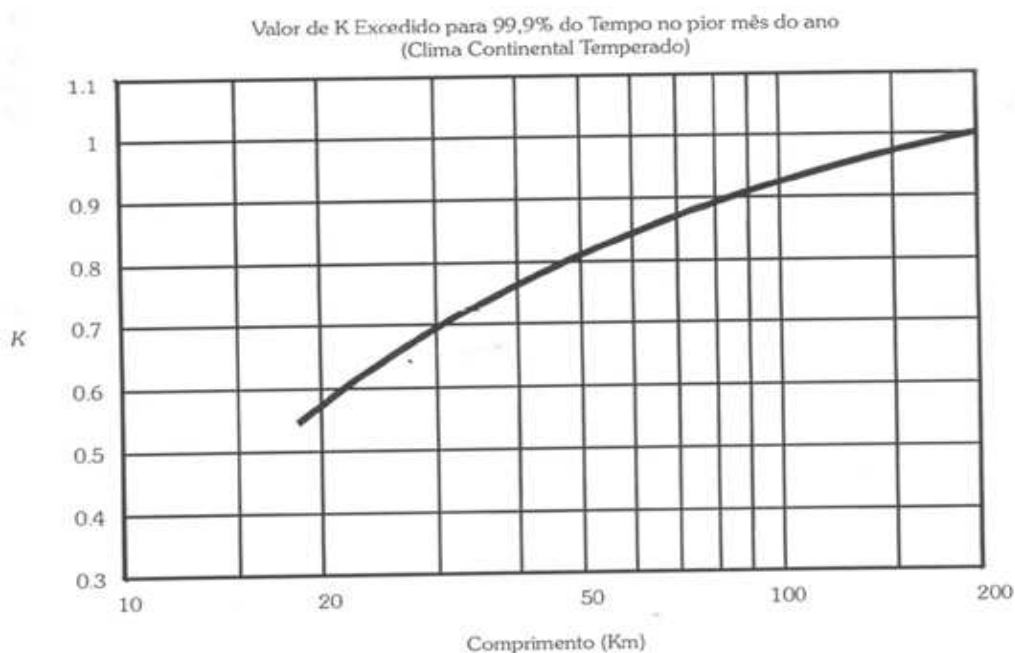


Figura 17 - Variação do $K_{\text{mínimo}}$ com a distância [21]

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 positivo, com isto a curvatura das ondas sofre um efeito contrário ao da atmosfera normal, tendendo a fazer um arco ascendente. Sendo assim, tem-se que aplicar uma correção de Terra equivalente 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 pode-se visualizar na Figura 18 [2].

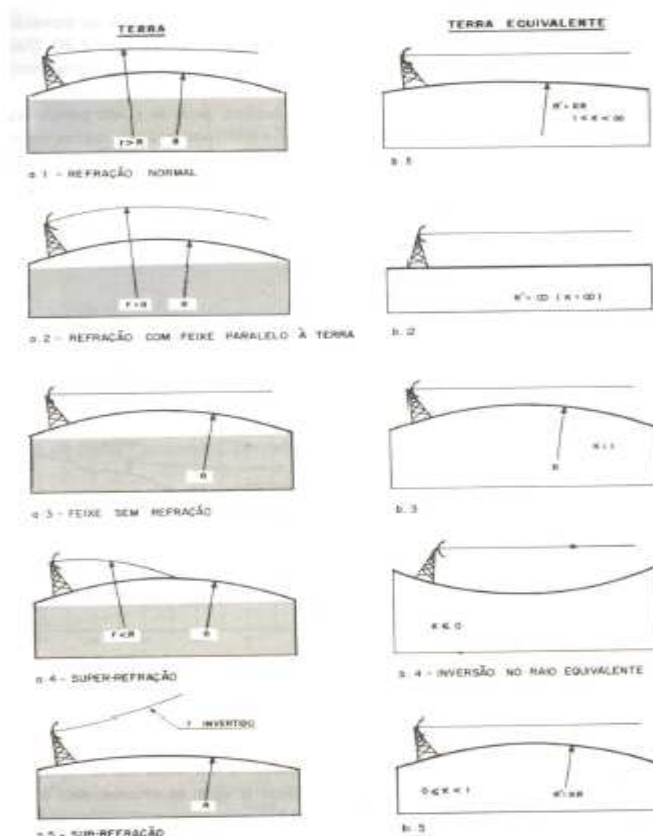


Figura 18 - Diferentes casos de refração [5]

O Engenheiro responsável pelo projeto de um enlace de microondas sempre deverá aplicar os dois valores para o fator K , pois o mesmo deverá avaliar 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 $K_{\text{médio}}$.

2.3 Região de Fresnel

Primeiramente, pode-se definir que a zona de Fresnel como “energia do sinal irradiado é distribuída no espaço em torno da linha de visada direta.”(CASTRO, 2010, p. 6).

“A teoria de Huygnes estabelece que cada ponto da frente de onda é uma fonte de onda esférica”.(CARRIJO, p. 1). Este princípio permite o cálculo do campo eletromagnético em qualquer ponto no espaço sabendo da intensidade do campo na superfície da frente de onda original, conforme observa-se na imagem a seguir. Sabendo a intensidade do campo na superfície S, pode-se calcular a intensidade do campo no ponto M [3].

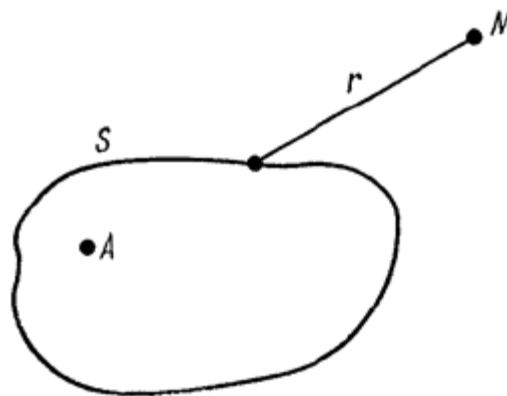


Figura 19 - Princípio de Huygnes [3]

Determinando que, ψ é a intensidade do campo elétrico em M e ψ_s é a intensidade do campo elétrico na superfície S, sendo assim a teoria de Huygens estabelece que [3]:

$$d\psi = A\psi_s \frac{e^{-ikr}}{r} ds \quad (2.3.1)$$

Onde A é o coeficiente de proporcionalidade. O campo total em M é dado por [24]:

$$\psi = \int_S A \psi_s \frac{e^{-ikr}}{r} ds \quad (2.3.2)$$

Devido a complexidade da Equação (2.3.2) em determinar a intensidade de campo, na teoria da propagação o princípio de Huygens é usado de outra forma para explicar o cálculo da intensidade de campo no ponto M, como segue [3].

De acordo com a Figura 19, considera-se uma superfície esférica S onde se conhece a intensidade do campo. Através do Princípio de Huygens pode-se determinar qual parte da frente de onda S contribui de maneira significativa para calcular o campo no ponto B [3].

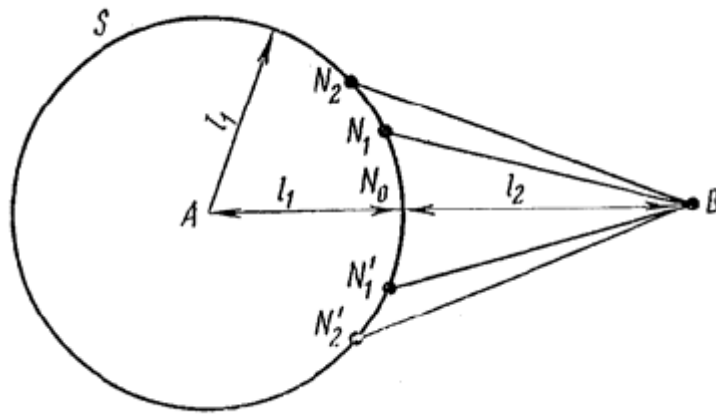


Figura 20 - Zona de Fresnel na superfície da Terra [3]

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.

$$BN_1 = l_2 + \frac{\lambda}{2} \quad (2.3.3)$$

$$BN_2 = l_2 + 2 \frac{\lambda}{2} \quad (2.3.4)$$

$$BN_n = l_2 + n \frac{\lambda}{2} \quad (2.3.5)$$

Na Figura 21 tem-se círculos que são mostrados vistos do ponto B, onde os segmentos limitados pelos círculos adjacentes são denominados de zona de Fresnel [3].

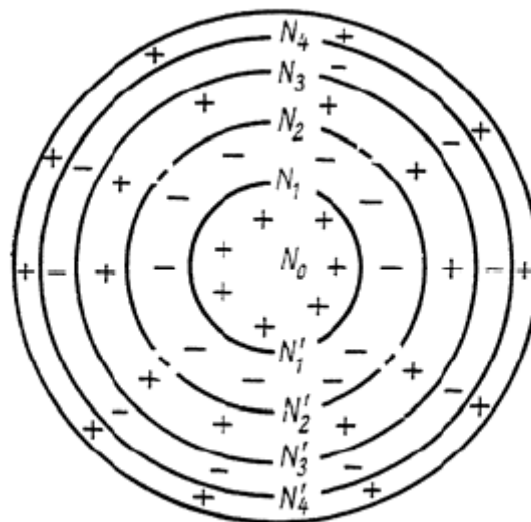


Figura 21 - Zona de Fresnel vistas do ponto B [3]

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 [3].

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 22 pode-se calcular o raio das zonas de Fresnel [3]:

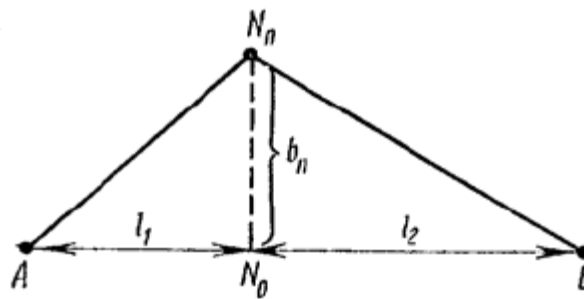


Figura 22 - Raio da zona de Fresnel [3]

$$AN_n + BN_n = l_1 + l_2 + n \frac{\lambda}{2}$$

$$AN_n = \sqrt{l_1^2 + b_n^2} \cong l_1 + \frac{b_n^2}{2l_1}$$

$$BN_n = \sqrt{l_2^2 + b_n^2} \cong l_2 + \frac{b_n^2}{2l_2}$$

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

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

$$b_n = \sqrt{\frac{l_1 l_2 n \lambda}{l_1 + l_2}}$$

O raio da primeira zona é dado por,

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} \text{ (m)} \quad (2.3.6)$$

Sendo assim, pode-se notar que a fórmula encontrada para delinear o raio da primeira zona de Fresnel depende da distância total do link, da distância do ponto desejado até a referência e da frequência em operação.

O conceito de zona de Fresnel pode ser visto aplicando um software licenciado denominado PathLoss, o qual pode-se notar o relevo topográfico entre duas cidades desejadas em conjunto com a Zona de Fresnel. No caso desta dissertação considere-se a cidade Lagamar e Coromandel, ambas localizadas no estado de Minas Gerais. Primeiramente, o projetista deve saber as coordenadas destas localidades e frequência em operação para que o software possa gerar o perfil desejado.

O ponto de origem do enlace de rádio na localidade Lagamar possui as coordenadas geográficas 18° 10' 31.12"S / 46° 47' 53.63"W e na cidade Coromandel 18° 28' 27.35"S / 47° 11' 56.86"W. Das Figura à 26 tem-se o perfil gerado pelo software em uso para estas localidades utilizando a frequência de operação em 8 GHz.

Pathloss 4.0

Files Module Configure Equipment SDR Application Report Help

Site Name	LAGAMAR-MG	COROMANDEL-MG	Operator code	
Call Sign			Radio model	
Station Code			Code	
State			Emission designator	
Owner Code			Traffic code	
Latitude	18 10 31.12 S	18 28 27.35 S	TX power (dBm)	
Longitude	046 47 53.63 W	047 11 56.86 W	Frequency (MHz)	8000.00
True azimuth (°)	231.95	52.08	Polarization	Horizontal
Calculated Distance (km)		53.77	Free space loss (dB)	145.14
Profile Distance (km)		53.77	EIRP (dBm)	
Datum	WGS 1984		RX signal (dBm)	
Elevation (m)	862.00	949.51	Radio configuration	
Tower Height (m)	60.00	60.00		
TR Antenna Height (m)	42.00	25.00		
Code				
TX loss (dB)	0.00	0.00		
RX loss (dB)	0.00	0.00		

km-m | Microwave | TR-TR

Figura 23 –Mostra a interface de software com os dados dos enlaces de rádio para a cidade de Lagamar e Coromandel

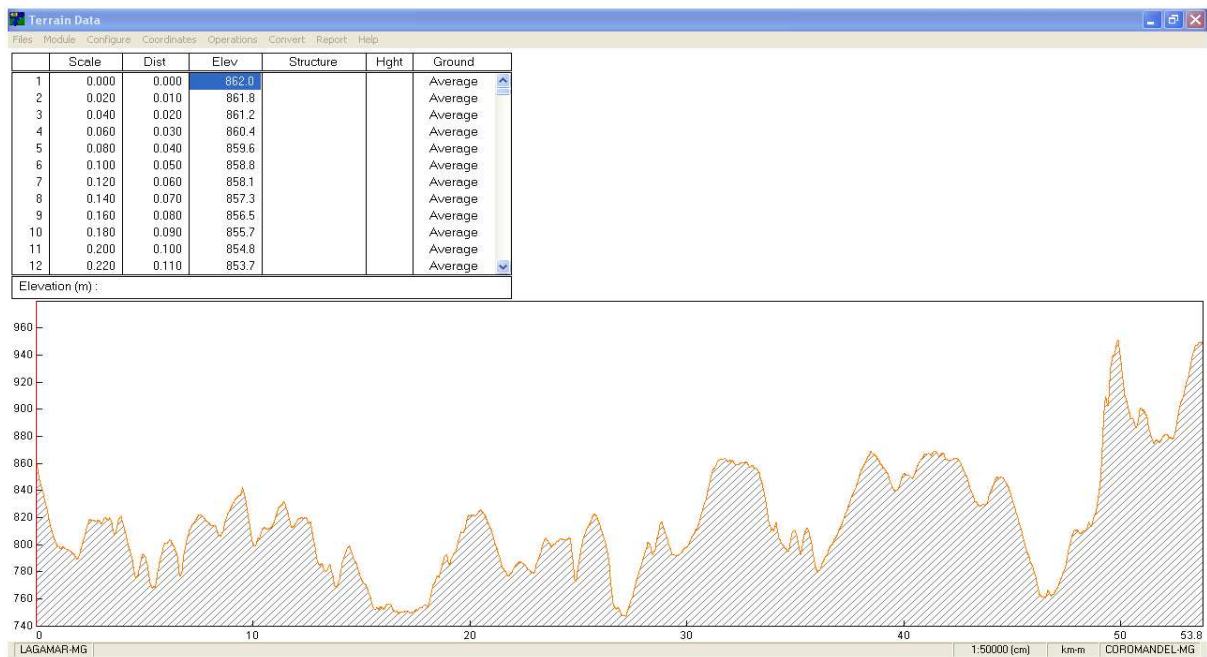


Figura 24 – Mostra o relevo topográfico espaçados em pontos de 0.010 metros

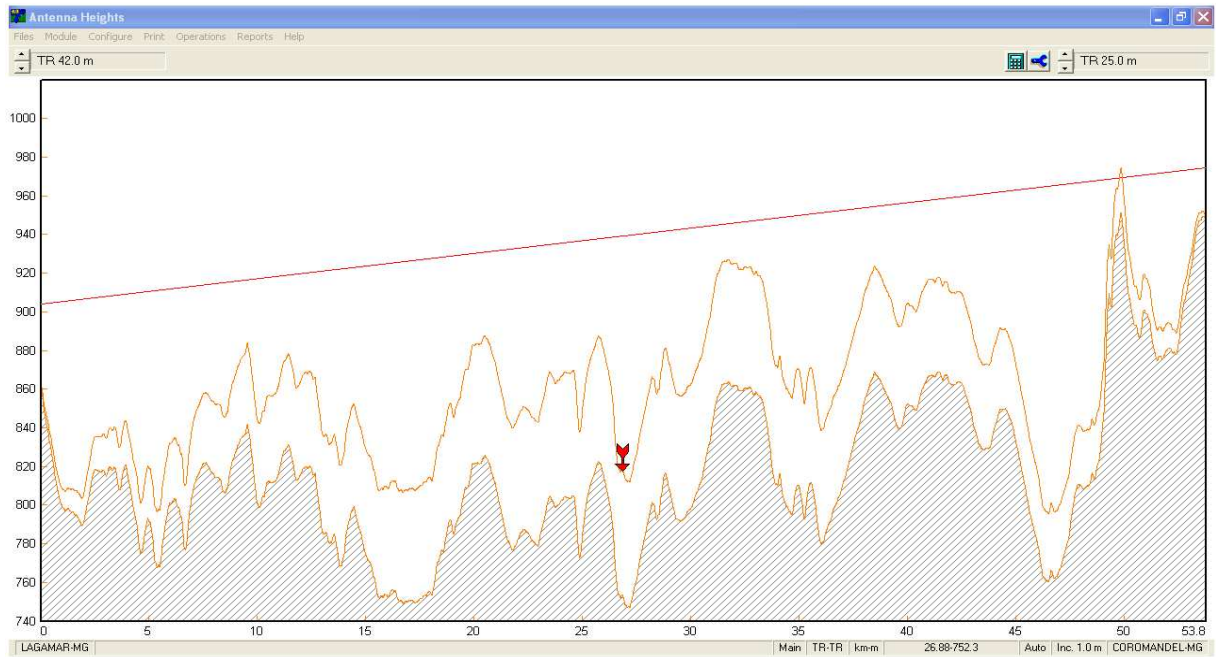


Figura 25 – Mostra o perfil topográfico gerado destacando a linha de visada entre os dois pontos

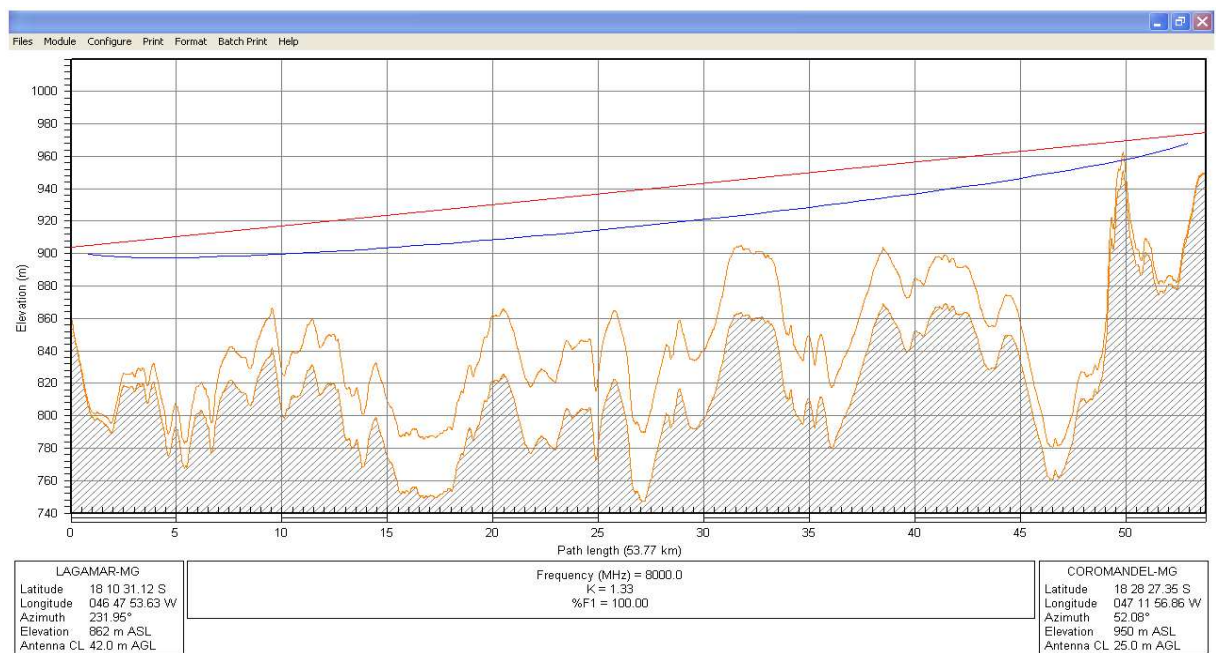


Figura 26 – Mostra o perfil topográfico gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=4/3$

Na Figura 26, observa-se o perfil topográfico gerado pelo software em questão em função da zona de Fresnel, sendo que neste caso tem-se um Fator de Correção da Terra no valor de 4/3 e 100% da Zona de Fresnel relacionado a frequência em operação 8 GHz. Através da Equação (2.3.6), pode-se calcular a zona de Fresnel relacionando a frequência em operação e a distância total do link divididos em 10 partes de 5,377Km, pois o link total possui 53,77 km de percurso.

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

Sabendo que, o comprimento de onda é encontrado através da fórmula $\lambda = C/f$, tem-se que:

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^9} = 0,0375 \text{ m}$$

Onde a velocidade da luz no vácuo C é $3 \cdot 10^8$ e frequência é necessário ser utilizada em Hz.

A seguir tem-se o cálculo da Zona de Fresnel em 11 pontos do percurso do link:

- Para $l_1 = 0$ metros e $l_2 = 53.770$ metros

$$b_1 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{0 \times 53.770 \times 0,0375}{0 + 53.700}} = 0 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 5.377$ metros e $l_2 = 48.393$ metros

$$b_2 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{5.377 \times 48.393 \times 0,0375}{5.377 + 48.393}} = 13,4712 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 10.754$ metros e $l_2 = 43.016$ metros

$$b_3 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{10.754 \times 43.016 \times 0,0375}{10.754 + 43.016}} = 17,9616 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 16.131$ metros e $l_2 = 37.639$ metros

$$b_4 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{16.131 \times 37.639 \times 0,0375}{16.131 + 37.639}} = 20,5776 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 21.508$ metros e $l_2 = 32.262$ metros

$$b_5 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{21.508 \times 32.262 \times 0,0375}{21.508 + 32.262}} = 21,9984 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 26.885$ metros e $l_2 = 26.885$ metros

$$b_6 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{26.885 \times 26.885 \times 0,0375}{26.885 + 26.885}} = 22,4520 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 32.262$ metros e $l_2 = 21.508$ metros

$$b_7 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{32.262 \times 21.508 \times 0,0375}{32.262 + 21.508}} = 21,9984 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 37.639$ metros e $l_2 = 16.131$ metros

$$b_8 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{37.639 \times 16.131 \times 0,0375}{37.639 + 16.131}} = 20,5776 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 43.016$ metros e $l_2 = 10.754$ metros

$$b_9 = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{43.016 \times 10.754 \times 0,0375}{43.016 + 10.754}} = 17,9616 \text{ metros}$$

- Para $l_1 = 48.393$ metros e $l_2 = 5.377$ metros

$$b_{10} = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{48.393 \times 5.377 \times 0,0375}{48.393 + 5.377}} = 13,4712 \text{ metros}$$

- - Para $l_1 = 53.770$ metros e $l_2 = 0$ metros

$$b_{11} = \sqrt{\frac{l_1 l_2 \lambda}{l_1 + l_2}} = \sqrt{\frac{53.770 \times 0 \times 0,0375}{53.770 + 0}} = 0 \text{ metros}$$

Tabela 4 - Cálculos delimitando a zona de Fresnel através do Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Enlace de Rádio - Lagamar-MG <-> Coromandel-MG											
2												
3	Velocidade da luz no vácuo	C	3×10^8									
4	Frequência	f	8 GHz									
5	Comprimento de onda (metros)	λ	0,0375									
6												
7	l_1 (metros)	0	5377	10754	16131	21508	26885	32262	37639	43016	48393	53770
8	l_2 (metros)	53770	48393	43016	37639	32262	26885	21508	16131	10754	5377	0
9	$l_1 \cdot l_2 \cdot \lambda$	0	9757843,538	17347277,4	22768301,59	26020916,1	27105120,94	26020916,1	22768301,59	17347277,4	9757843,538	0
10	l_1 (metros) + l_2 (metros)	53770	53770	53770	53770	53770	53770	53770	53770	53770	53770	53770
11	$l_1 \cdot l_2 \cdot \lambda / (l_1 + l_2)$	0	181,47375	322,62	423,43875	483,93	504,09375	483,93	423,43875	322,62	181,47375	0
12	$b_n = (l_1 \cdot l_2 \cdot \lambda / (l_1 + l_2))^{1/2}$	0	13,47121932	17,9616258	20,57762741	21,998409	22,4520322	21,998409	20,57762741	17,9616258	13,47121932	0
13												

Através do ponto b_{10} no perfil gerado pelo software Pathloss, pode-se perceber que a linha de visada direta deste enlace está aproximadamente 970 metros e o relevo está 960. Sendo assim, neste ponto pode-se afirmar para que não haja obstrução do enlace de rádio entre essas localidades, a diferença da altura da linha de visada pelo comprimento da zona de Fresnel precisa ser maior ou igual que a altitude do pico naquele ponto, sendo assim pode-se concluir pelas equações abaixo

Comprimento da Linha de Visada – Comprimento da Zona de Fresnel (b_n)
 \geq *Altitude no ponto desejado*

$$\begin{aligned} 970 - 13,4712 &\geq 960 \\ 956,5288 &\geq 960 \end{aligned}$$

Pode-se observar que a relação acima não atende, concluindo que o enlace está obstruído em aproximadamente 3,4712 metros considerando que a Zona de Fresnel necessita ser desobstruída em 100% e o Fator de Correção da Terra 4/3.

Após estudarmos sobre Fator de Correção da Terra e Zona de Fresnel, pode-se utilizar este exemplo para relacionarmos esses conceitos, pois um enlace de microondas deverá ser projetado observando que a Zona de Fresnel precisa estar 100% desobstruída para um Fator de Correção da Terra no valor de 4/3 ou 60% da Zona de Fresnel liberada para um fator k igual a 2/3 para frequência de operação acima de 3GHz, para frequência entre 1 e 3 GHz tem-se para o $K_{\text{médio}}$ deverá ter 30% da Zona de Fresnel liberada e $K_{\text{mínimo}}$ 10% da região de Fresnel desobstruída.

Sendo assim, utilizando o exemplo anterior, devido o enlace de rádio sido gerado em relação ao fator k igual 4/3 e com 100% da Zona de Fresnel desobstruída, ao alterarmos este enlace para um valor K de 2/3 necessitaremos que a Zona de Fresnel tenha 60% da sua região desobstruída.

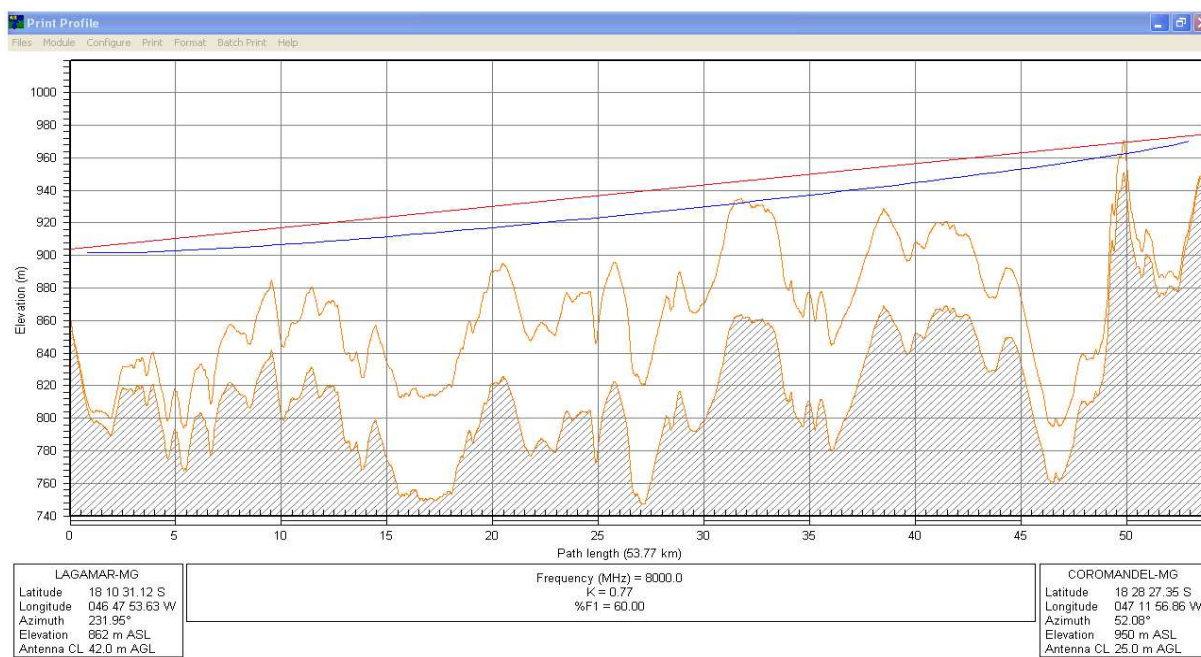


Figura 27 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=2/3$

Conclui-se que através da teoria do Fator de Correção da Terra que se diminuirmos o valor k , o enlace ficará mais severo pois o raio equivalente diminuirá, aumentando a altitude topográfica do relevo, ocasionando outras obstruções no link de rádio como pode-se observar pelo perfil acima.

A solução para o projeto de enlace de rádio, primeiramente deverá ser realizado o perfil considerando o valor k igual a $4/3$ e 100% da zona de Fresnel desobstruída, caso esta relação não atenda o engenheiro deverá aumentar a altura das antenas instaladas na torre para que esta região fique totalmente desobstruída e assim gerar o mesmo perfil para o valor k igual $2/3$, considerando 60% da zona de Fresnel. Essas duas condições deverá ser atendida, pois o valor $k_{\text{mínimo}}$ conforme mencionado anteriormente é necessário devido às alterações climáticas como temperatura, pressão e umidade.

Sendo assim, o link entre Lagamar x Coromandel deverá ter antenas instaladas acima de 42 metros para Lagamar e 25 metros para Coromandel para que não haja obstrução do link.

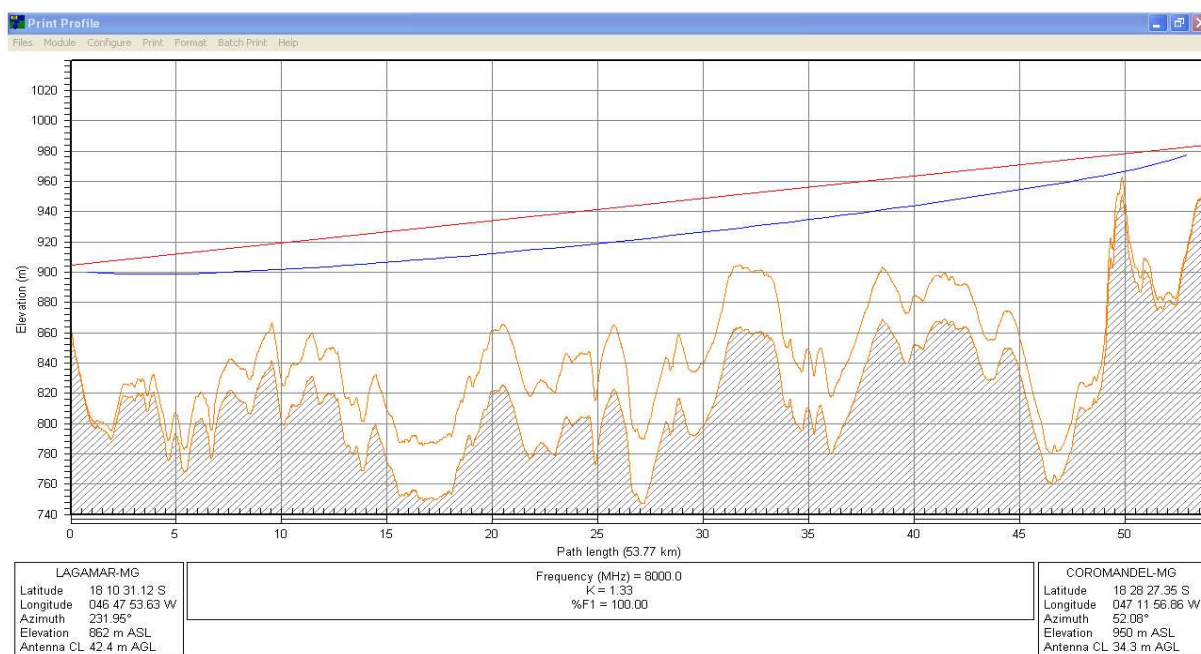


Figura 28 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=4/3$

Na Figura 29 observa-se que foi necessário aumentarmos a altura da antena na localidade de Lagamar para 42,4 metros e na cidade de Coromandel para 34,3 metros, considerando o Fator de Correção da Terra igual a $4/3$ e a Zona de Fresnel liberada em 100%. A próxima etapa do projeto é gerar o perfil com um valor $k_{\text{mínimo}}$ no valor de $2/3$ para 60% da Zona de Fresnel liberada.

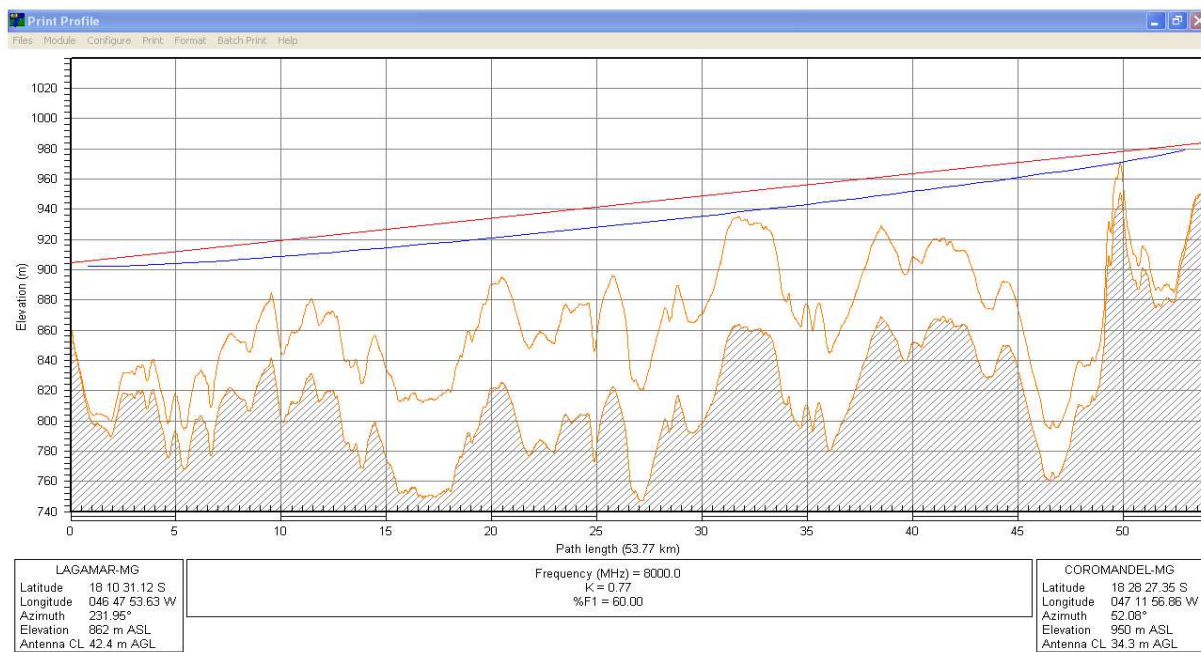


Figura 29 - Perfil gerado delimitando a visada direta com a zona de Fresnel em $k=2/3$

Conclui-se pelo perfil mostrado na Figura 30 que, utilizando o valor $k_{\text{médio}}$ igual a $4/3$ e o valor $k_{\text{mínimo}}$ igual a $2/3$ de acordo com a percentagem necessária de desobstrução o link projetado é confiável para instalação preparado para possíveis alterações climáticas.

2.4 Atenuação devido a chuva

Os projetos de enlaces de rádio são limitados pela atenuação devido a chuva associado diretamente a frequência, pois essas duas grandezas são diretamente proporcionais. A atenuação é mais crítica para enlaces que utilizam a frequência de operação acima de 10 GHz, sendo assim limitando enlaces longos [4].

A taxa pluviométrica é a medida principal para o cálculo das interrupções devido a desvanecimentos por chuvas. A ITU-R coletou informações no mundo inteiro o qual permitiu que a entidade elaborasse um mapa com a distribuição mundial da taxa pluviométrica conforme pode-se observar na Figura 31 [4].



Figura 30 - Distribuição mundial da taxa pluviométrica [4]

A partir da recomendação ITU-R 837-1, conclui-se que o Brasil está presente nas regiões N e P, o qual correspondem as taxas pluviométricas de 95 mm/h e 145 mm/h respectivamente para 0,01% do ano (cerca de 53 minutos). Através desta

recomendação, pode-se elaborar uma tabela relacionando as taxas pluviométricas por região para várias porcentagens de tempo [4].

Taxas pluviométricas por região para várias porcentagens de tempo

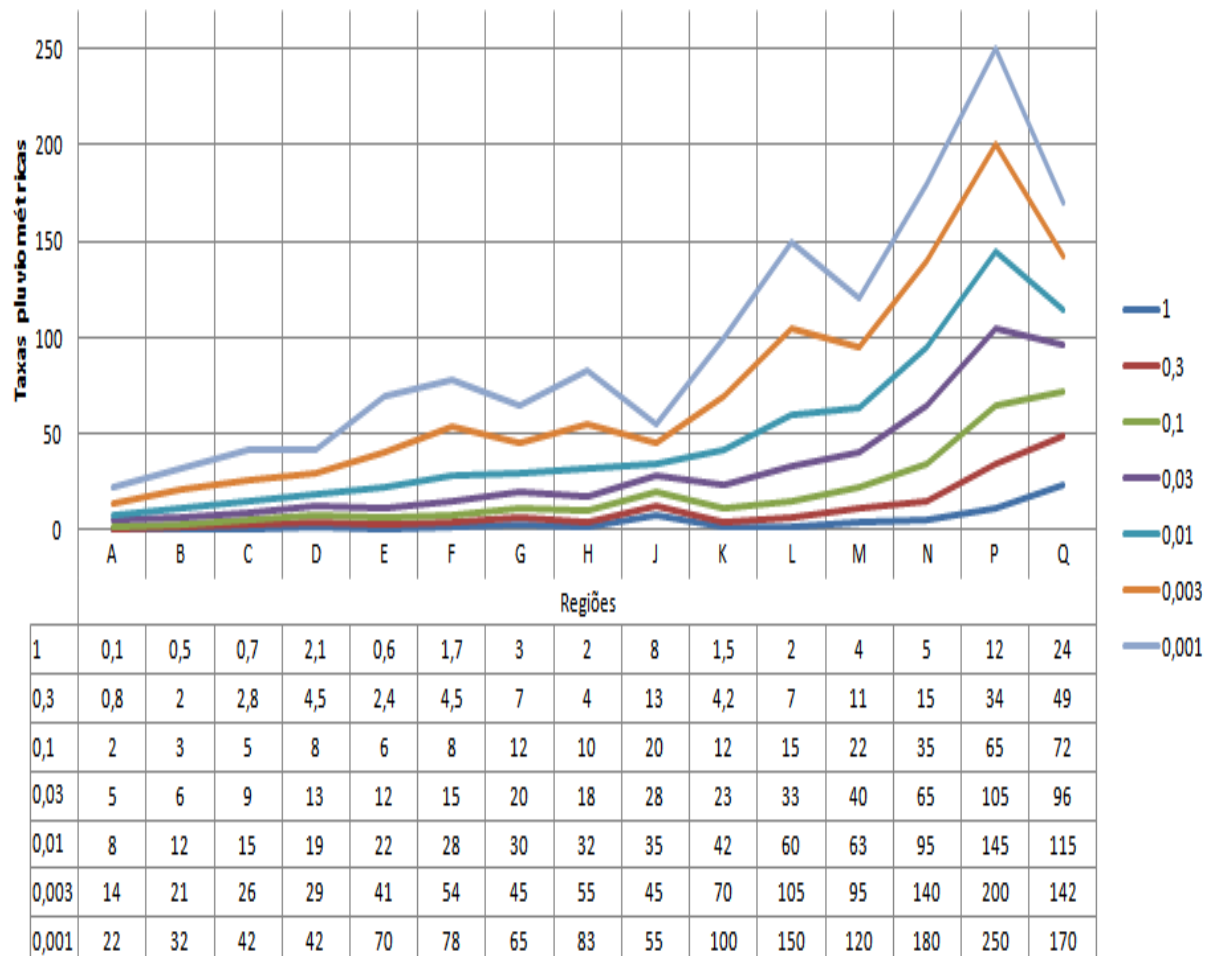


Figura 31 - Taxas pluviométricas por região para várias porcentagens de tempo

A partir da Figura 32, pode-se observar que na região P encontram-se as maiores taxas pluviométricas para as diferentes porcentagens, ocasionando uma atuação relevante na degradação de serviços de telecomunicações [4].

2.4.1 Método do ITU-R 838 e 530-7

O cálculo da atenuação do sinal devido ao desvanecimento provocado pela chuva é realizado através de coeficientes que dependem da chuva, frequência, polarização e da taxa pluviométrica [4].

A atenuação unitária (γ_R) multiplicada pelo comprimento efetivo D_{EF} encontra-se o valor da atenuação total no enlace de rádio. Sendo assim temos [4]:

- Polarização Vertical: $\gamma_R = k_V \chi R_{0,01}^{\alpha_V}$ (2.4.1.1)

- Polarização Horizontal: $\gamma_R = k_H \chi R_{0,01}^{\alpha_H}$ (2.4.1.2)

Onde:

- γ_R - atenuação específica (dB/km);
- R - taxa pluviométrica para 0,01% do tempo (mm/h);
- K_V, K_H - fatores para correção da frequência, levando em consideração a forma da gota, temperatura, velocidade da gota e o tamanho da distribuição da chuva.

A seguir tem-se os valores necessários para o cálculo que são dependentes da chuva [29]:

Tabela 5 Parâmetros de chuva (Recommendation ITU R 838)

Frequência	K_h	K_v	α_h	α_v
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,88
2	0,000154	0,000138	0,0963	0,923
4	0,00065	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,31
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,2
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128

20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,979	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929
45	0,442	0,393	0,903	0,897
50	0,536	0,479	0,873	0,868
60	0,707	0,642	0,826	0,824
70	0,851	0,784	0,793	0,793
80	0,975	0,906	0,769	0,769
90	1,06	0,999	0,753	0,754
100	1,12	1,06	0,743	0,744
120	1,18	1,13	0,731	0,732
150	1,31	1,27	0,710	0,711
200	1,45	1,42	0,689	0,690
300	1,36	1,35	0,688	0,689
400	1,32	1,31	0,683	0,684

Pode-se considerar que, intensidades elevadas de chuvas normalmente ocorrem em pequenas distâncias, ocasionando que não tem-se uma precipitação em todo o enlace de rádio. Sendo assim, deve-se calcular o parâmetro percentual do enlace em que deve haver chuva:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (2.4.1.3)$$

Onde:

- d - Distância do enlace (km);
- $R_{0,01}$ - Taxa pluviométrica para 0,01%;

De acordo com ITU-R P. 53-7, quando $R_{0,01}$ for maior que 100 mm/h, deve-se utilizar na fórmula d_0 o valor de 100 mm/h. Sendo assim, pode-se observar que não considere-se a intensidade da chuva em todo o enlace de rádio, assim tem-se o diâmetro efetivo da célula da chuva, como pode-se observar a seguir [4]:

$$d_{\text{eff}} = r \cdot d \quad (\text{km}) \quad (2.4.1.4)$$

O cálculo da atenuação total devido a chuva é [4]:

$$A_r = \gamma_R \cdot d_{\text{eff}} \quad (2.4.1.5)$$

2.4.2 Cálculo de Atenuação Devido a Chuva para enlace de 8 GHz e 13/15 GHz em 145 mm/h.

O cálculo de atenuação devido a chuva sob condição acima de 100mm/h, conforme visto pela ITU-R, deve ser utilizado na equação R_{ED} o valor de 100 mmh/h para $R_{0,01}$, conforme pode-se observar nos cálculos a seguir. Abaixo será calculado a atenuação devido a chuva para um enlace de rádio de 20 km de distância e a frequência 8 GHz.

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times R_{0,01})}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times 100)}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times 2,6780}}$$

$$R_{ED} = 0,8194$$

$$D_{EF} = d \times R_{ED}$$

$$D_{EF} = 20 \times 0,8194$$

$$D_{EF} = 16,38$$

- Polarização Vertical

$$\gamma_R = k_V \times R_{0,01}^{\alpha_V}$$

$$\gamma_R = 0,00395 \times (145)^{1,310}$$

$$\gamma_R = 2,679 \text{ dB/km}$$

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 2,679 \times 16,38$$

$$A_T = 43,73 \text{ dB}$$

- Polarização Horizontal

$$\gamma_R = k_H \times R_{0,01}^{\alpha_H}$$

$$\gamma_R = 0,00454 \times (145)^{1,327}$$

$$\gamma_R = 3,35 \text{ dB/km}$$

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 3,35 \times 16,38$$

$$A_T = 54,87 \text{ dB}$$

Sendo assim, a atenuação devido a chuvas para a frequência de 8 GHz na polarização vertical é 43,73 dB e na orientação horizontal é 54,87 dB. A seguir pode-se observar os cálculos para a frequência de 13/15 GHz.

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times R_{0,01})}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times 100)}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times 0,2231}}$$

$$R_{ED} = 0,2808$$

$$D_{EF} = d \times R_{ED}$$

$$D_{EF} = 20 \times 0,2808$$

$$D_{EF} = 5,61$$

- Polarização Vertical

$$\gamma_R = k_V \times R_{0,01}^{\alpha_V}$$

$$\gamma_R = 0,0335 \times (145)^{1,128}$$

$$\gamma_R = 9,18 \text{ dB/km}$$

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 9,18 \times 5,61$$

$$A_T = 51,49 \text{ dB}$$

- Polarização Horizontal

$$\gamma_R = k_H \times R_{0,01}^{\alpha_H}$$

$$\gamma_R = 0,0367 \times (145)^{1,154}$$

$$\gamma_R = 11,45 \text{ dB/km}$$

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 11,45 \times 5,61$$

$$A_T = 64,23 \text{ dB}$$

Assim, pode-se concluir através dos cálculos anteriores que a atenuação devido a chuvas são maiores de acordo com o aumento da frequência, o qual um enlace de rádio implantado para 13/15 GHz será mais atenuado através da chuva do que um link operando em 8 GHz.

2.5 PathLoss 4.0

O programa Pathloss é um projeto de ferramenta de caminho completo para links de rádio que operam na faixa de frequência de 30 MHz a 100 GHz [7].

O Pathloss que é um software licenciado dará a oportunidade de realizar o perfil de um enlace de rádio através de gráficos. Assim, pode-se através desse software, efetuar diversos testes de perfis analisando obstáculos no percurso de um enlace de rádio e também através de opções de utilização do fator de correção da

Terra – k, frequência de operação, zona de Fresnel e dimensionamento da altura de antenas prever situações reais de projeto através desse mecanismo importante na área de telecomunicações. A Figura 33 mostra a interface inicial do PathLoss, onde poderá ser incluso informações de coordenadas dos pontos desejados, frequências e altura de antenas a serem instaladas.

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 area 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), Tower Height (m), TR Antenna Height (m), Code, TX loss (dB), and RX loss (dB). Site 2 fields include 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 right, there are buttons for 'km-m', 'Microwave', 'TR-TR', and a red 'X' icon.

Figura 32 - Interface inicial do software PathLoss

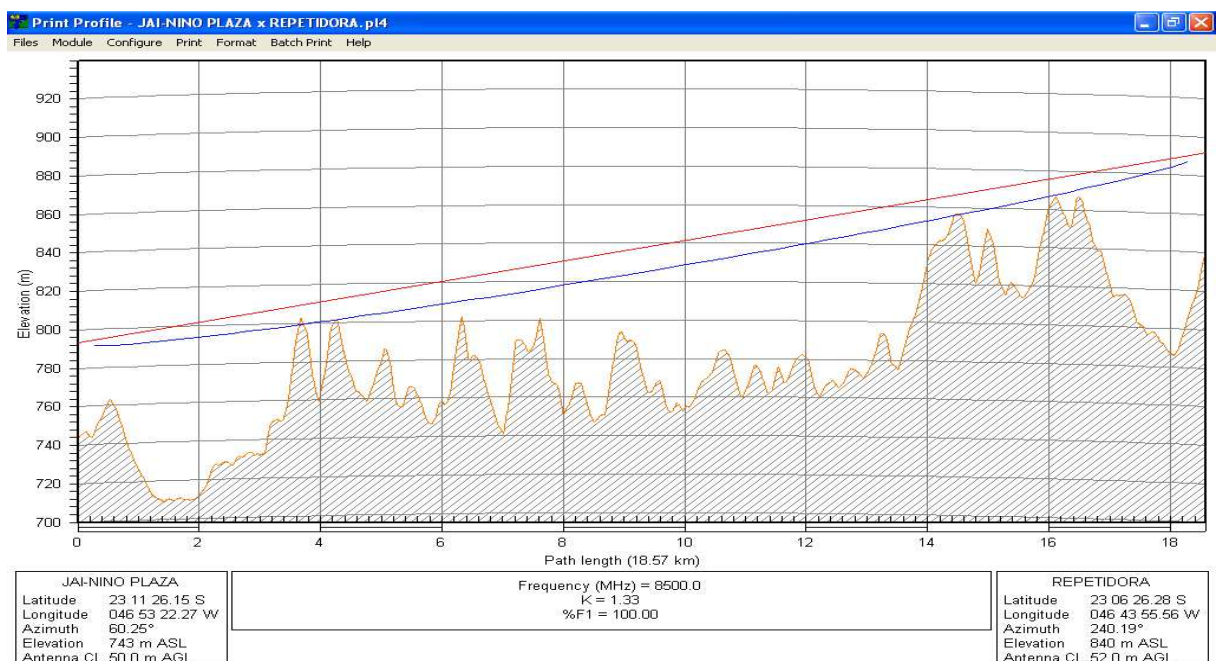


Figura 33 - Perfil gerado pelo PathLoss de acordo com as informações inseridas na Figura 33

2.6 CelPlan 7.9

O CelPlan também é um software licenciado, no qual pode-se calcular a potência recebida dos enlaces e entre outras opções. Esse software possui a opção de escolhermos o tipo de rádio utilizado, a frequência, canalização, tipos de antenas, altura das mesmas e interpretações através de gráficos.

Sendo assim, demonstra-se a seguir um enlace de rádio entre a cidade de Patos de Minas e Lagoa Formosa, o qual a Figura 35 mostra a interface desse software quando deseja criar estações possuindo as coordenadas geográficas.

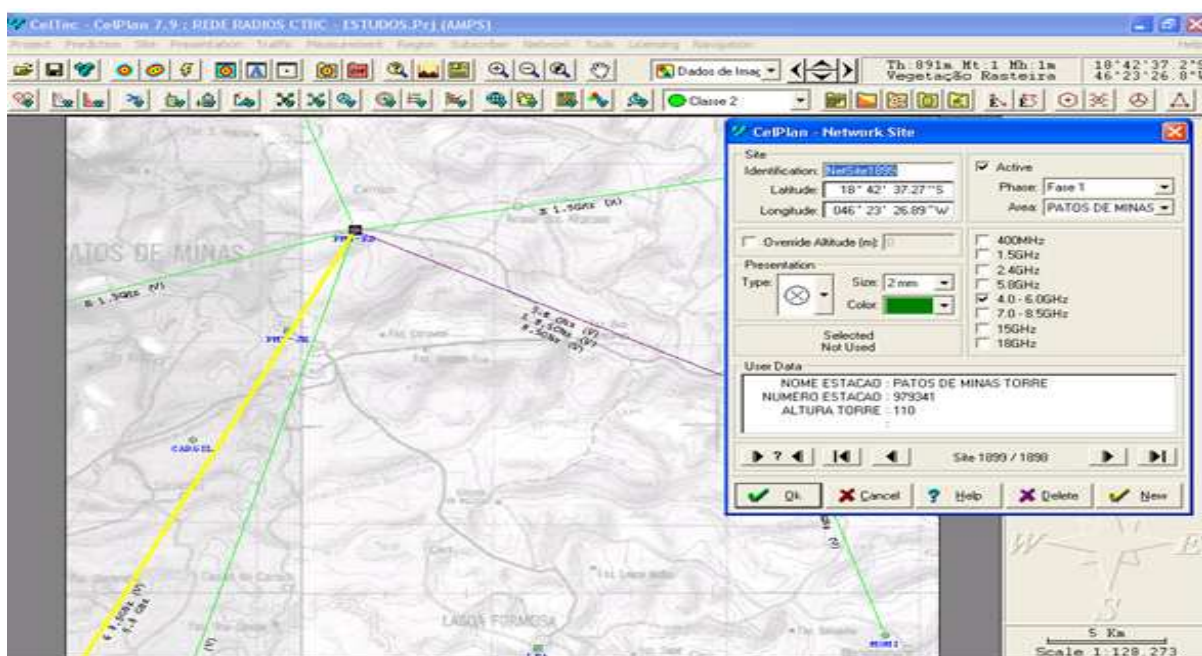


Figura 34 - Interface de apresentação do CelPlan 7.9

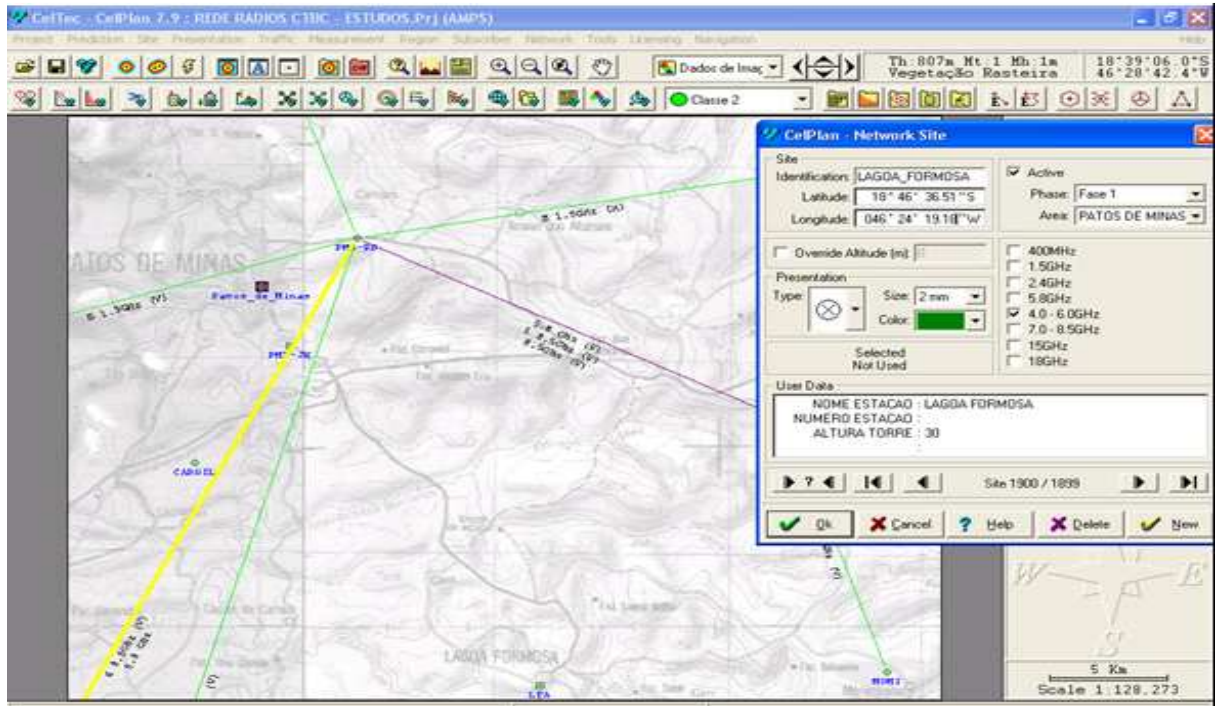


Figura 35 - Interface para inserção da estação em Lagoa Formosa no software

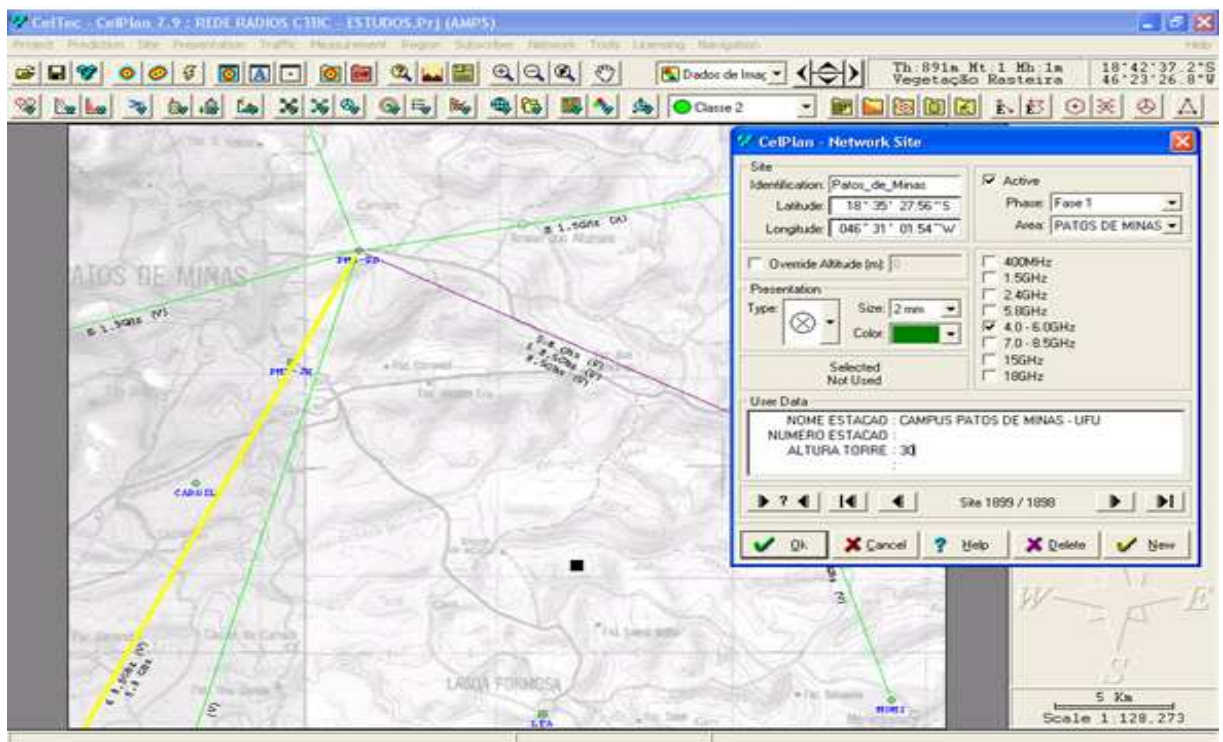


Figura 36 – Interface para inserção da estação em Patos de Minas no software

Assim, quando interliga-se as duas estações, tem-se uma interface de inserção das características desse enlace de rádio como modelo do rádio e antena, canalização e polarização, potência de transmissão entre outros requisitos. A seguir, pode-se observar essas características através da Figura 38.

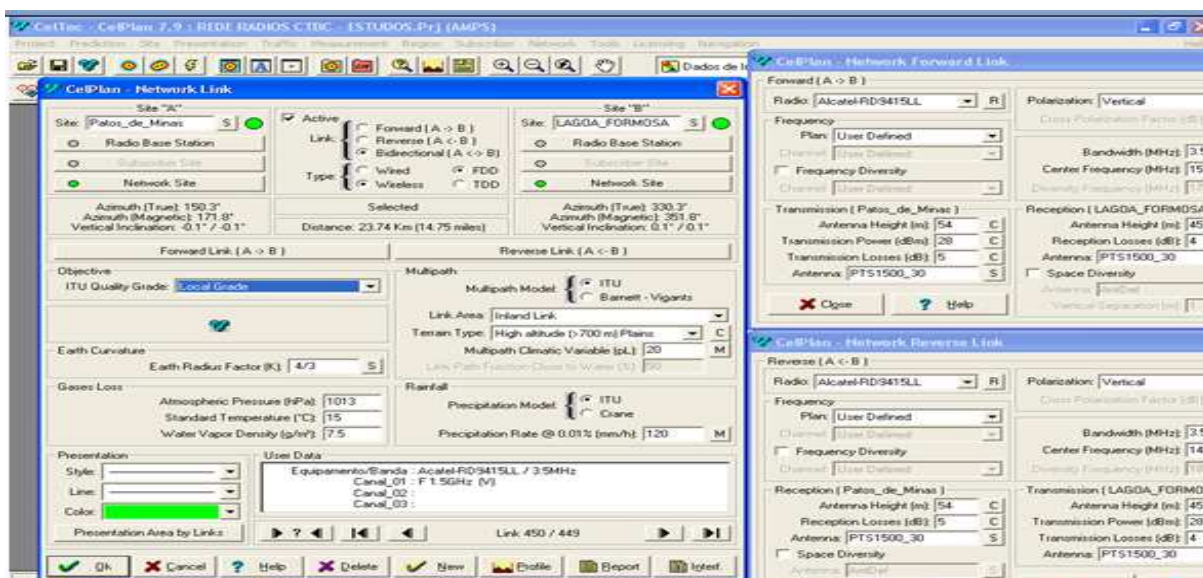


Figura 37 - Interface para preenchimento dos campos obrigatório para a geração de perfil

Pode-se observar pela Figura 39 que no módulo de inserção de antenas, o software seleciona o modelo da antena relacionando com o fabricante da antena, o ganho, o diagrama de irradiação, diâmetro e a frequência de operação.

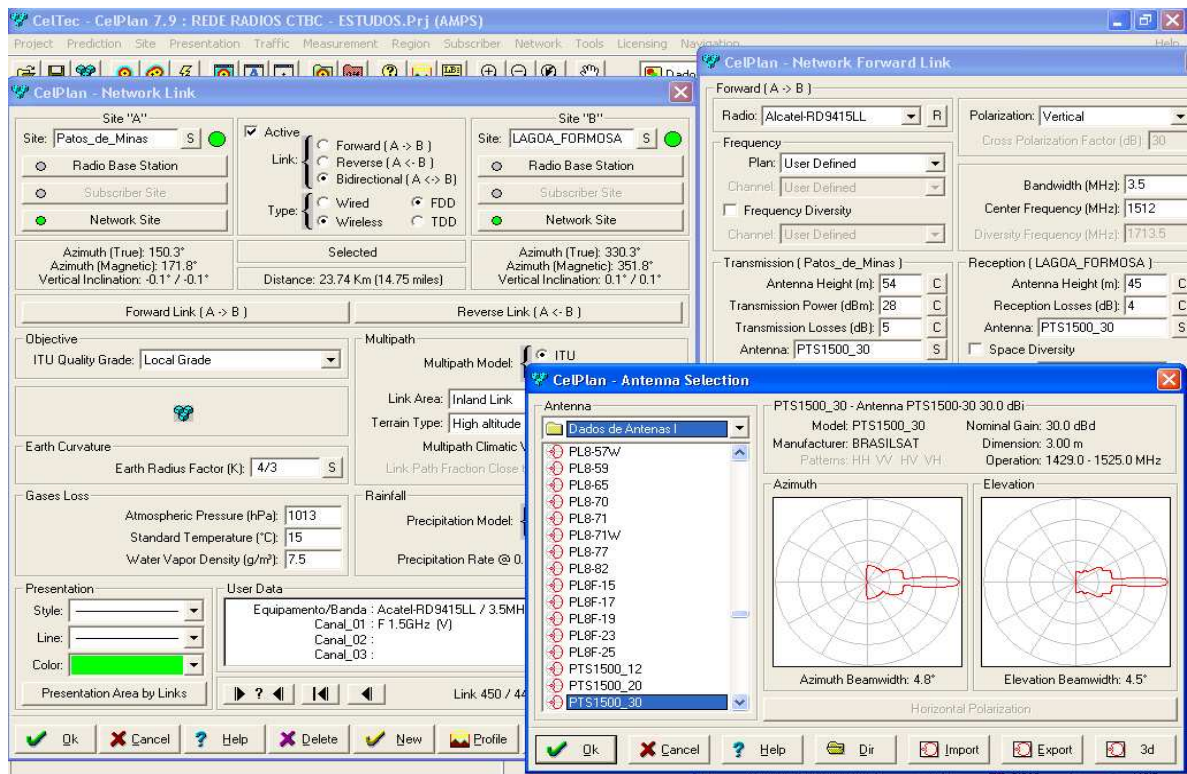


Figura 38 - Inserindo modelos de antenas no software

Após a definição de todos os requisitos do enlace de rádio, gera-se o perfil e o cálculo da potência recebida através do mesmo software como mostra a Figura 40.

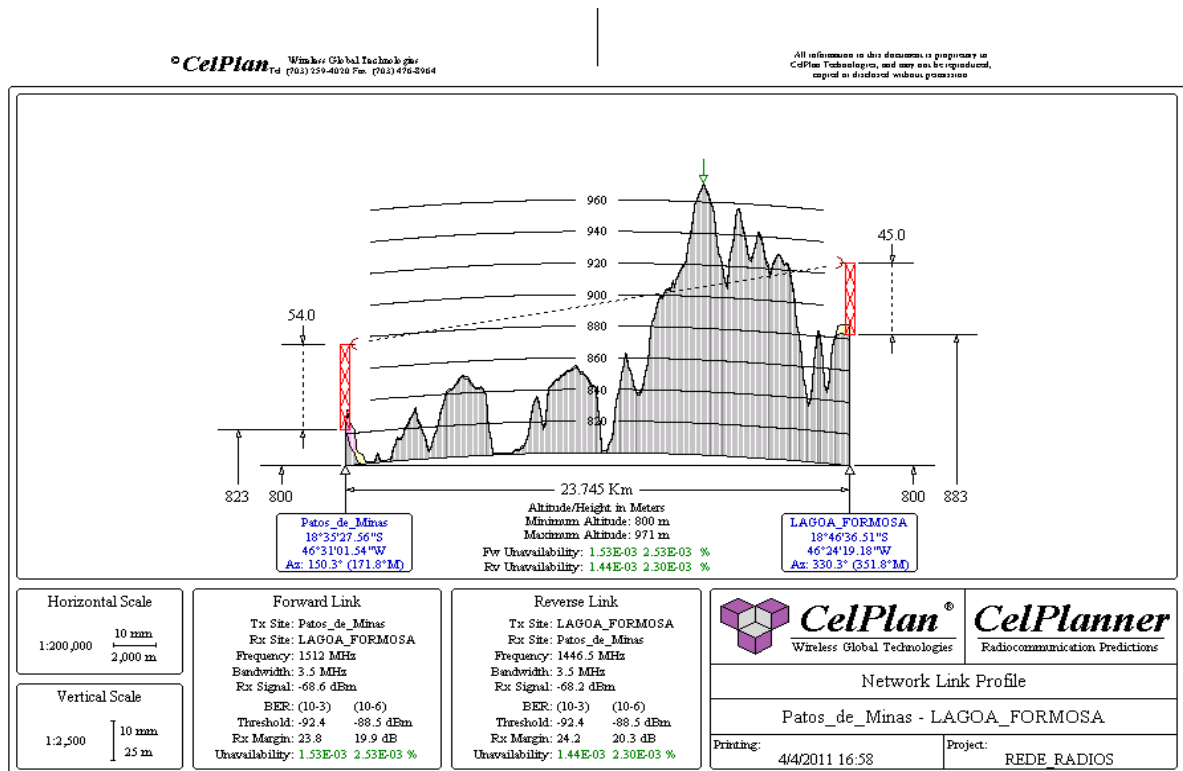


Figura 39 - Perfil gerado pelo CelPlan

2.7 Google Earth

“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.”[7]

“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.” [7]

O Google Earth irá auxiliar nos projetos de enlace de rádio para posicionar o projetista nas coordenadas geográficas desejadas de acordo com a necessidade do mesmo.

Através desse, pode-se realizar uma prévia da distância que um enlace de rádio irá possuir e além da função da coleta de coordenadas geográficas da estações envolvidas.

A seguir, mostra-se pela Figura 41 a interface que o Google Earth traz para os usuários, no qual tem-se a opção de colocar as coordenadas geográficas, endereços de locais para a localização ou até mesmo traçar uma rota entre dois pontos.

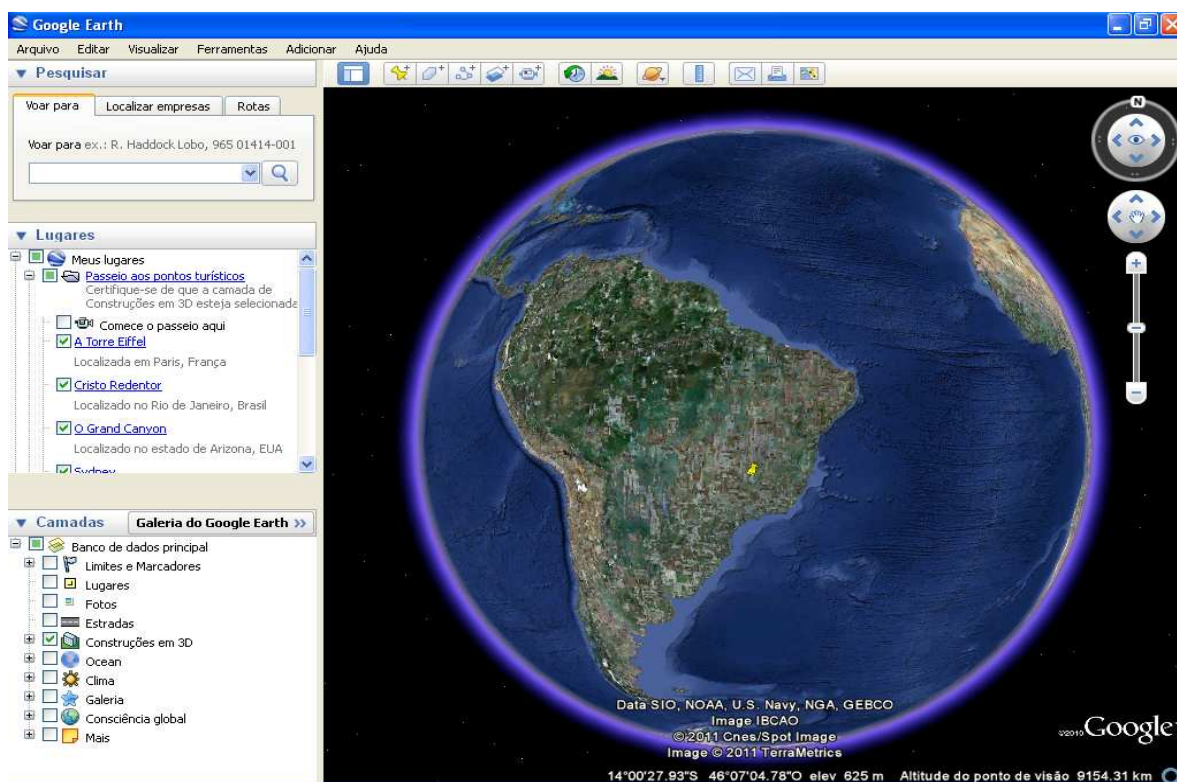


Figura 40 - Interface de apresentação do Google Earth

2.8 Equipamentos de Rádio

O objetivo de um enlace de rádio, conforme mencionado na seção 1.6, é transportar tráfego de uma estação principal de uma operadora até outra estação ou ponto de acesso ao cliente. Um enlace de rádio é composto de equipamentos de rádio e sistemas irradiantes, além de capacidade de transmissão, configuração e faixa de frequência.

Os equipamentos de rádio podem ser subdivididos em blocos funcionais como: Sistema de Comutação Automática, Processamento Digital ou Banda Básica, Modulador-Demodulador (Modem), Transmissor-Receptor (Transceptor) e Circuito de Ramificação (Branching) [34]. Esses blocos funcionais podem ser utilizados e implementados de acordo com cada fabricante, Digitel S/A, Ericsson Telecomunicações S/A, Alvarion Ltd. e entre outros.

Os blocos funcionais podem ser visualizados na Figura 42:

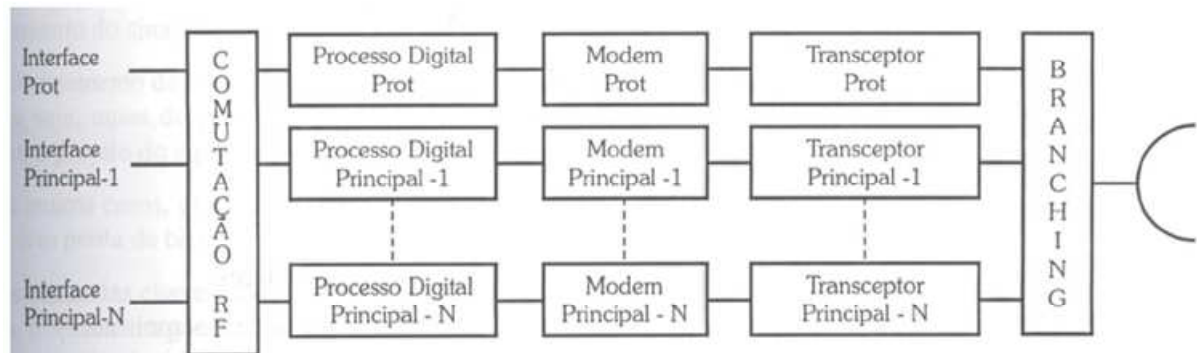


Figura 41 - Diagrama de blocos funcionais de equipamentos rádios [4]

2.8.1 Sistema de Comutação RF

Os equipamentos de rádio fabricados possuem um sistema de comutação RF quando estão na configuração (1+1) ou (n +1), exceto os rádios (1+0). O objetivo principal deste sistema de comutação é a proteção de tráfego cursado contra falhas de equipamentos e degradação do sinal devido a problemas de propagação. O sistema de comutação RF podem ser subdividido na configuração (1+1) TWIN PATH ou HOT STANDBY ou (n+1) [4].

Nos enlaces de rádio que utilizam configuração (1+1), o mesmo sinal a ser transmitido é entregue simultaneamente ao canal principal e ao de recepção. No lado da recepção, o sinal entregue é selecionado mediante a vários critérios, sendo um deles o sinal de recepção ocasionando em comutação do tráfego caso necessário [4].

Os links que possuem configuração (n+1) compreendem a proteção para os casos onde algum dos canais principais tiverem degradação ou falha. Esta proteção é compartilhada pelos n canais configurados no equipamento de rádio [4].

2.8.2 Processamento Digital

O sistema de processamento digital é iniciado através do sinal digital, formado pelos bits “0” e “1”, proveniente da fonte de informação originado através de meios

de transmissões é equalizado em amplitude com o objetivo de compensar as eventuais distorções causadas nos cabos que interligam os equipamentos [4].

Em seguida, temos a extração do relógio, o qual geralmente não é transmitido por um feixe adicional, mas está presente no feixe que transmite o sinal. A conversão do sinal bipolar em unipolar é a próxima etapa do processamento, sendo necessário para o tratamento do sinal pelos circuitos eletrônicos [4].

O sinal em código unipolar é sincronizado, no caso em que o equipamento em questão possui mais entrada de feixe de dados, e em seguida terá vários feixes com um único relógio. Nesta etapa do processamento será formado o quadro (frame) por meio do processo de multiplexação, no qual tem-se a inserção dos bits de “overhead”, constituídos pelos bits adicionais de canais de serviço e controle [4].

Após o quadro formado, o sinal participa do processo “scrambler”, onde a informação é embaralhada com a finalidade de tornar o espectro homogêneo com a quantidade média de “1” e “0” de 50% para facilitar a recuperação do relógio na recepção [34].

Assim, com o objetivo final do processamento, o FEC – Forward Error Corrector, um corretor de erros tem a finalidade de melhorar a performance do sistema e diminuir a taxa de erro de bit residual, acrescentando bits extras. No lado da recepção temos o processamento digital oposto ao lado transmissor [4].

2.8.3 Modulador – Demodulador

O sinal unipolar sofre o processo de modulação após o mesmo ter passado pela formação do quadro, sincronismo, codificação e embaralhamento [4].

O processo de modulação nos rádios digitais é definido de acordo com a capacidade de transmissão, banda disponível em função do plano de canalização e a performance desejada. Este processo é conhecido como modulação linear, onde há a translação de feixes de pulsos para FI - frequência intermediária – ou em certos casos para a faixa RF [4].

A modulação diretamente para a faixa RF é utilizada para rádios de baixa capacidade na faixa UHF e a modulação para a FI são rádio de média e alta capacidade, o qual utilizam as faixa de 70 ou 140 MHz devido a implementação dos

circuitos eletrônicos para modulação e demodulação ser realizada mais facilmente utilizando esta faixa [4].

2.8.4 Transmissor – Receptor

A função do transmissor é converter o sinal modulado em frequência intermediária (FI) como visto na etapa anterior em radiofrequência (RF) e ampliar esse sinal a um nível adequado para ser transmitido pela antena. O receptor tem a funcionalidade de amplificar o sinal recebido da antena na frequência de RF, converter o mesmo a frequência intermediária e ampliar esse sinal a um nível também adequado para que seja entregue ao equipamento demodulador [4].

O transmissor é composto por três blocos funcionais como pode-se observar a seguir:

- Unidade de FI;
- Unidade de RF;
- Amplificador de Potência.

O receptor apenas possui a Unidade de FI e RF.

2.8.5 Branching

Nos enlaces de rádio ponta a ponto utilizam-se normalmente uma antena e um único guia de onda por polarização, tendo vários transmissores e receptores. O Branching é importante em um sistema de radioenlace, pois o mesmo acopla e desacopla no lado de transmissão e recepção respectivamente os diferentes sinais de transmissão ou recepção sem interferência mútuas [4].

Os equipamentos de rádio podem também ser classificados pela capacidade de transmissão. Estes são subdivididos em três grupos como pode-se notar pela tabela a seguir [4].

Capacidade	Taxa de Transmissão
Baixa	Até 4E1
Média	8E1 a 32 E1
Alta	140/155 Mbps(64E1 e 63E1) ou mais

Tabela 6 - Classificação de equipamentos em relação a capacidade

Atualmente, os enlaces de rádio são compostos por equipamentos pertencente a esses três grupos, diferenciando nos modelos de cada fabricante. Mas, em sua maioria os links de transmissões possuem equipamentos que trafegam tanto circuitos em E1 quanto em Ethernet, sendo chamado de equipamentos híbridos.

Os equipamentos de rádio também podem ser classificados através da sua mecânica onde o sistema é composto por uma parte interna (indoor) e uma parte externa (outdoor), conhecido com “split”, onde primeiramente ocorre a modulação para frequência intermediária e em seguida para radiofrequência, conforme mencionado anteriormente. A seguir será destacado três modelos de rádio que utilizaremos nos testes da RFC 2544.

2.9 RFC 2544

RFC's são documentos técnicos elaborados e pertencente a uma instituição, no qual seria a IETF – Internet Engineering Task Force, o qual tem o objetivo de especificar os padrões que serão implementados e utilizados em toda a internet. Esses documentos são siglas do nome em inglês Request,for Comment, onde estes arquivos estão disponíveis para estudos e testes. Os pesquisadores podem melhorar uma RFC existente e solicitar a aprovação para submeter a instituição organizadora.

A RFC 2544 foi gerada com a base de estudo pela RFC 1244, onde esta última mostra conceitos sobre algumas termologias da internet, o qual será necessário nos laboratório o “Throughput”, “Latency”, “Frame Loss” e “ back-to-back”. Através de estudos foi elaborado em Março de 1999 pela Universidade de Harvard, o qual demonstrariam como seriam os testes através da RFC 1244.

A seguir tem-se a abordagem de alguns conceitos úteis para a RFC 2544, onde foram publicadas pela RFC 1244:

2.9.1 Throughput

Este é um termo conhecido pelos engenheiros, o qual representa uma taxa máxima em que nenhum dos frames enviados são desperdiçados pelos dispositivos. O throughput permite que os fornecedores façam o seu marketing de seus produtos através deste valor.

2.9.2 Latency

Latência significa o intervalo de tempo iniciado quando o último bit de um frame de entrada é passado pela porta de entrada do dispositivo até quando o primeiro bit de saída de um frame é identificado na porta de saída do dispositivo.

2.9.3 Frame Loss

Este termo significa a porcentagem de frames que deveriam ter sido entregues pelo dispositivo de rede em seu estado constante e não foram devido a falta de recursos. Esta medição é útil na análise de desempenho de dispositivos quando encontra-se em algum estado crítico.

2.9.4 Back-to-Back

Este termo é devido ao tamanho fixo de frame presentes em uma taxa tal que existe uma separação mínima de um determinado meio entre frames ao longo de um curto ou médio período de tempo, iniciando de um estado em repouso.

A seguir tem-se a descrição de um teste feito pelo instrumental RFC 2544 conectado ao rádio Digitel 1,5 GHz. Neste teste foi configurado apenas uma porta Ethernet no valor de 2.048 Mbps para estudarmos e assim avaliarmos os quatro parâmetros mencionados acima.

2.9.5 RFC 2544 – Rádio Digitel 1.5 GHz/16M

Nesta experiência observa-se o desempenho do enlace de rádio Digitel conectado a um atenuador no valor de 77,4 dB, tendo como configuração para o teste nas estações A e B, conforma a Figura 43. Nesta configuração teremos uma capacidade total do rádio de 16.384 Mbps, mas apenas 2.048 Mbps será configurado para a porta ethernet, utilizando uma largura de banda de 3.5 MHz e o canal 6 da regulamentação da Anatel referente ao espectro 1.5 GHz.

```

[Loc@DBR]#modul 16384 3500 6
Bandwith = 3500KHz
Central Frequency = 1446.500MHz
MAIN    E1 2    E1 3    E1 4
G703    G703    G703    G703
E1 5    E1 6    E1 7    E1 8    AUX
G703    G703    G703    G703    2W
[Loc@DBR]#show
Speed 16384kbit/s
Band 3500 L
RF Ch 6
CF 1446.500MHz
Pwr 20dBm
[Loc@DBR]#show bridge
Rate 16384kbit/s
Ne1 8
Bridge 0kbit/s
[Loc@DBR]#ne1 7
MAIN    E1 2    E1 3    E1 4
G703    G703    G703    G703
E1 5    E1 6    E1 7    E1 8    AUX
G703    G703    G703    BRDG    2W
[Loc@DBR]#show
Speed 14336kbit/s
Band 3500 L
RF Ch 6
CF 1446.500MHz
Pwr 20dBm
[Loc@DBR]#show bridge
Rate 16384kbit/s
Ne1 7
Bridge 2048kbit/s
[Loc@DBR]#rssi
RSSI = -70dBm
[Loc@DBR]#save
Done.

```

Figura 42 -Configuração do rádio Digitel

A Figura 43 mostra o layout de configuração da experiência realizada com equipamentos Digitel associados a dois FrameScope e também a um atenuador no valor de 77,4 d B.

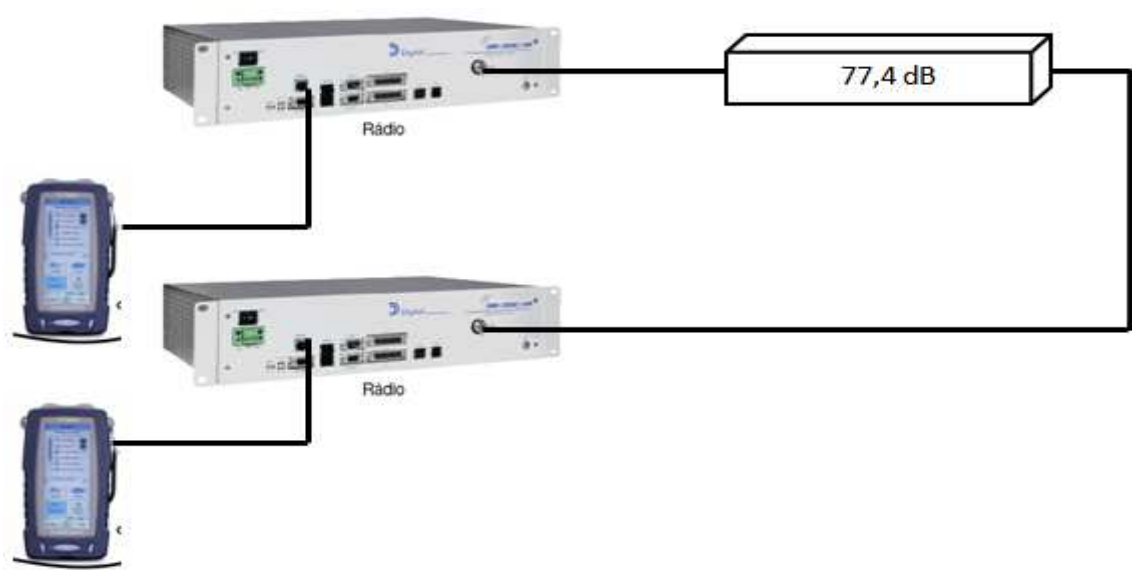


Figura 43 - Layout de teste

Sendo assim, a seguir tem-se os resultados dos testes em gráfico da RFC 2544 para este layout do laboratório:

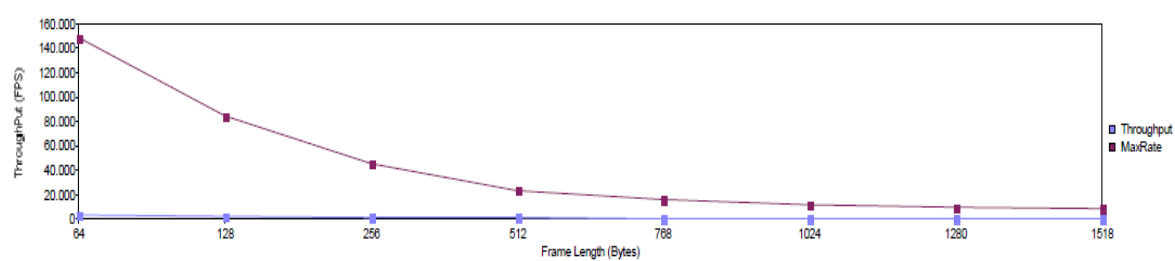


Figura 44 - Throughput Bidirecional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End,Step Duration=5 sec)

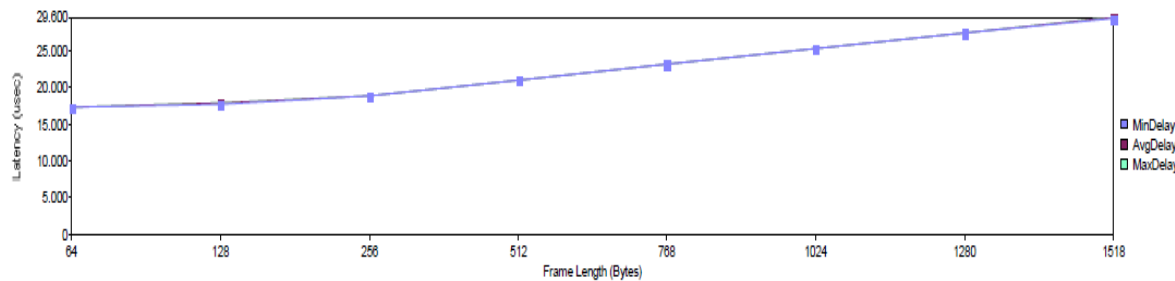


Figura 45 - Latency (End-To-End, Iteration=20)

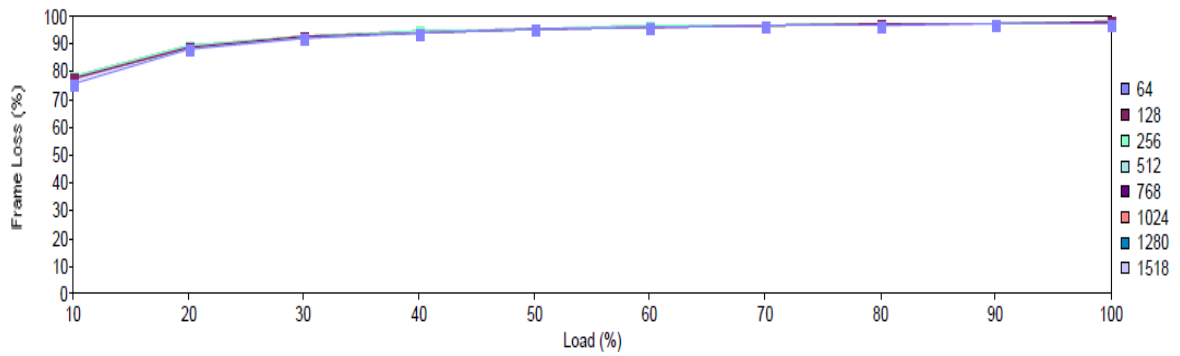


Figura 46 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss

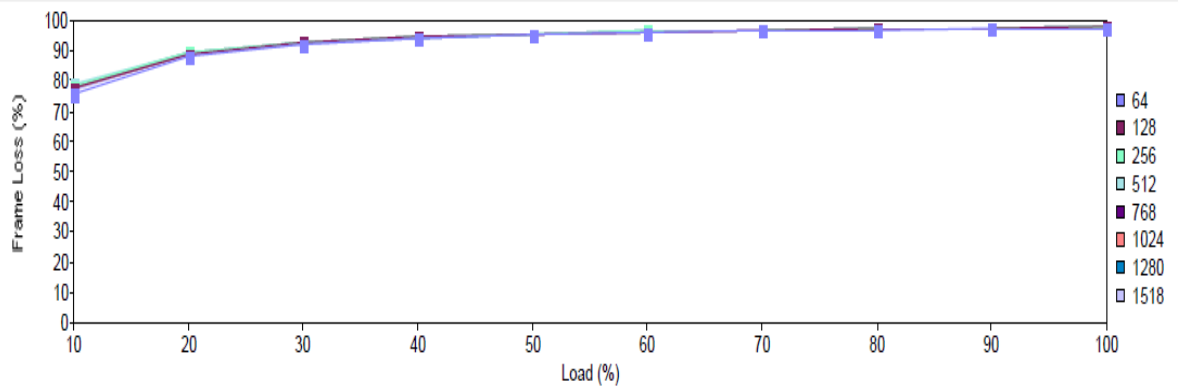


Figura 47 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss

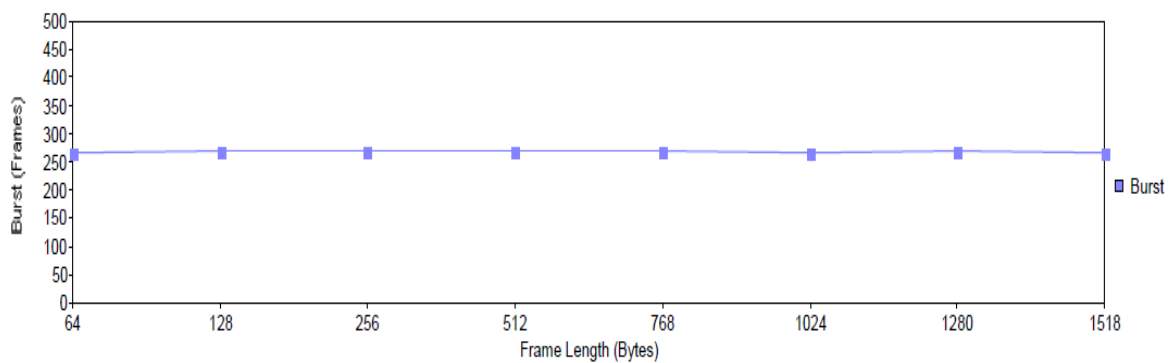


Figura 48 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration=2 sec)

Verificando estes resultados e também pelos testes mostrados no Anexo 1, que o rádio Digitel, conclui-se que o rádio Digitel possui um bom desempenho, pois em nenhum dos testes apresentados houve uma perda do frame, ocorrendo erros.

O teste de throughput tem a função de enviar um número específico de frames em uma taxa específica de throughput e comparar os frames que são transmitidos e recebidos em relação a sua taxa máxima. No caso deste rádio, foi enviado frames do tamanho 64, 128, 256, 512, 768, 1024, 1280 e 1518 bytes, onde a total de frames transmitidos e recebidos para frames de tamanho 64 bytes foi 18.050, sem nenhum erro de recepção com uma porcentagem de 2.4% de throughput.

O teste de latência também não encontrou-se erros e pode-se observar quanto maior o tamanho do frame, maior será a latência do sistema, mas não afetando a comunicação do link de rádio, como também podemos concluir através da não geração de erros.

O teste frame loss tem o objetivo essencial de verificar a taxa de frame perdidos, como definido na RFC 1242. Este teste não apresentou nenhum erro no frame transmitido, demonstrando a eficiência do equipamento de rádio.

O teste em laboratório para finalizar a RFC 2544, foi o back-to-back o qual também não apresentou erros.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

Nesta dissertação foi utilizado aproximadamente 10 livros para o estudo minucioso sobre o tema em estudo, mas focaram-se as consultas em 2 livros base, sendo o Sistemas Radiovisibilidade e Projetos de Sistemas Rádio conforme mencionado na referência bibliográfica, 12 páginas web utilizando apenas 3 para conteúdos deste trabalho, 2 apostilas acadêmicas, 2 manuais de fabricantes, 1 equipamento de rádio do fabricante Ericsson, 1 equipamento de rádio do fabricante Digitel, 1 instrumental FrameScope.

Os softwares Google Earth, CelPlan 7.9 e o Pathloss 4.0 foram úteis na criação dos perfis dos enlaces de rádios e também utilizou-se o programa .Excel referente ao pacote Office 2007.

Os testes foram executados através dos instrumentais associados aos equipamentos de rádio e foi gerado resultados através da RFC 2544. Esses testes foram feitos por um período de aproximadamente 90 minutos em 3 diferentes situações, sendo uma quando utilizamos um rádio Ericsson com potência de transmissão no valor de 5 dBm, o segundo quando esta potência representava -5 dBm e o último resultado fornecido pelo rádio Digitel.

Os cálculos executados basearam-se pelo *layout* do laboratório, podendo realizar comparações acerca da potência de transmissão, limiar de recepção, atenuações horizontais e verticais, modulações e largura de banda. A seguir possui um breve resumo dos 2 equipamentos de rádio envolvido nos teste.

3.1 Rádio Mini-Link TN

A solução de rádio referente a linha MINI-LINK TN oferece relação custo-benefício ótima e funcionalidade inteligente para cross-conexão, multiplexação e proteção do tráfego em configurações (1+1) ou (n+1) com capacidade de

transmissão que variam de 2 Mbps até 1,080 Gbps com a funcionalidade XPIC usando modulação C-QPSK – Chaveamento por Fase e Quadratura e 4-512 QAM – Modulação de Amplitude por Quadratura. [9]

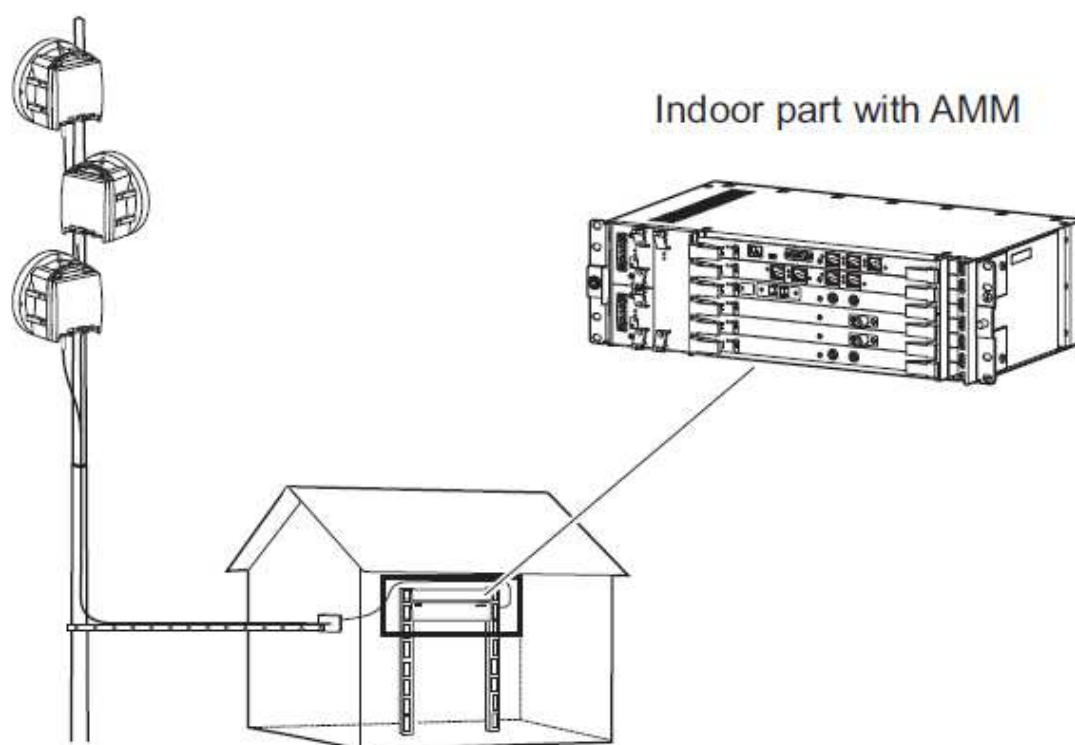


Figura 49 - Sistema Mini-Link [9]

A linha MINI-LINK TN são equipamentos de rádios split, o qual o sistema é dividido em uma parte interna (indoor) através do magazine conhecido como AMM (Access Module Magazine) e parte externa (outdoor) identificada como RAUs (Radio Unit) com antenas específicas para cada frequência [9].

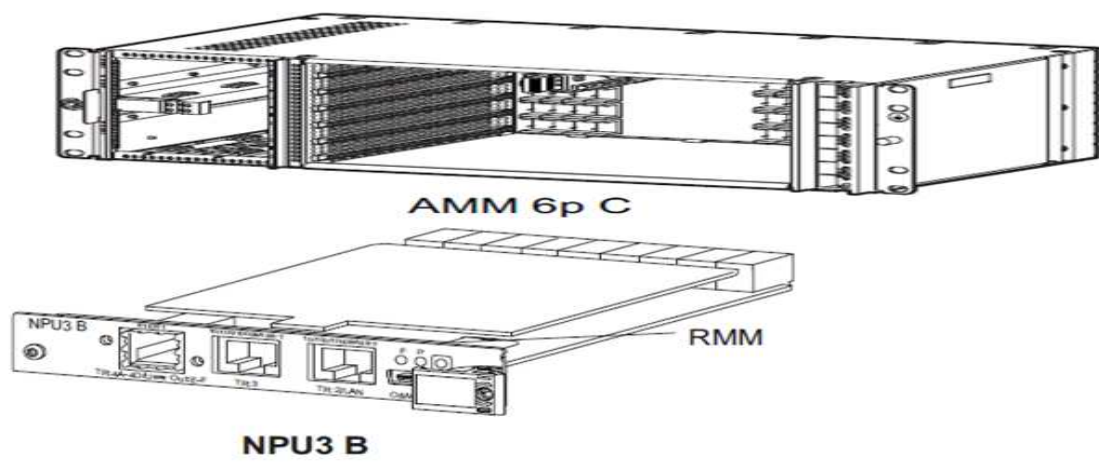


Figura 50 – Mostra os magazines AMM2pB e NPU3 B [9]

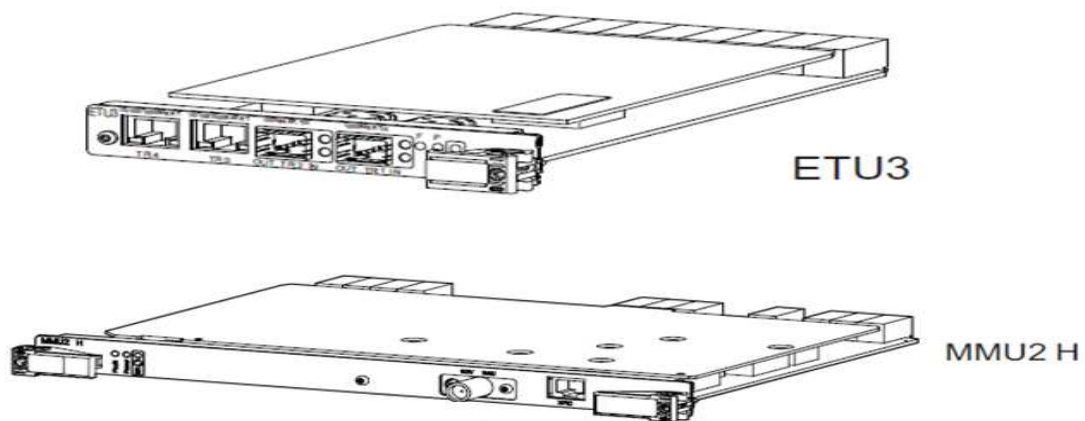


Figura 51 - Mostra as placas ETU3 e MMU2 H [9]



Figura 52 – Mostra a parte outdoor chamada de RAU 2X (ODU) [9]

O magazine AMM 6pC permite encaixar placa NPU3 ou NPU3 B, um ou duas PFU3 B e uma unidade de ventilação conhecida como FAU2. Este magazine também pode ser composto por MMU, LTU, SAL, AAU, SXU, SMU ou ETU [9].

3.2 Rádio Digital

O rádio Digital é conhecido como DBR-1500E/16M e este opera na frequência entre 1.427 MHz a 1.452 MHz e 1.492 a 1.517 MHz em interfaces que permite a sua classificação como rádio híbrido. Este rádio possui interface em G.703 que permite o escoamento do tráfego em TDM, Ethernet e V35 como dois, quatro, seis ou oito canais de 64 kbps a 2.048 kbps. Este equipamento pode ser configurado no máximo 16,384 Mbps ou 8 E1's em suas interfaces, pode até mesmo ser dividido nessas duas interfaces uma capacidade total de aproximadamente 16 Mbps [10].

O rádio DBR-1500E/16M é classificado como equipamento de média capacidade não necessitando de ODU, permitindo que a frequência em operação seja modulada no próprio equipamento e assim transmitida até o sistema irradiante para a transmissão da mesma [10].



Figura 53 - Rádio Digital [10]

O rádio DBR-1500E/16M é pré-definido em suas pontas como frequência alta ou frequência baixa, vindo esta configuração preparada pelo fabricante do equipamento. Sendo assim, o engenheiro deverá dimensionar o enlace de rádio pensando em qual equipamento específico ficará na estação correspondente [10].

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4.1 Projeto de Dimensionamento de Enlace de Rádio e suas Características

O projeto de dimensionamento de enlace de rádio inicia-se a partir de estudos preliminares sobre a região que deverá ser atendida através do link de rádio. Neste estudo a operadora verificará localizações de estruturas verticais mais próximas do ponto requerido para o atendimento, relevo topográfico ao redor, arbustos, construções prediais e entre outros detalhes. Essa atividade pode ser realizada através de survey presencial ou por software livre, como Google Earth podendo analisar todos detalhes que poderão influenciar em um enlace de rádio.

Após a escolha dos pontos que farão parte do sistema de rádio, o projetista deverá coletar as coordenadas geográficas em campo ou adotar essas medidas através do software. Nesta primeira análise, o engenheiro poderá verificar qual a distância do enlace de rádio visando a estação correspondente do ponto em atendimento e assim realizar uma análise macro do perfil em questão.

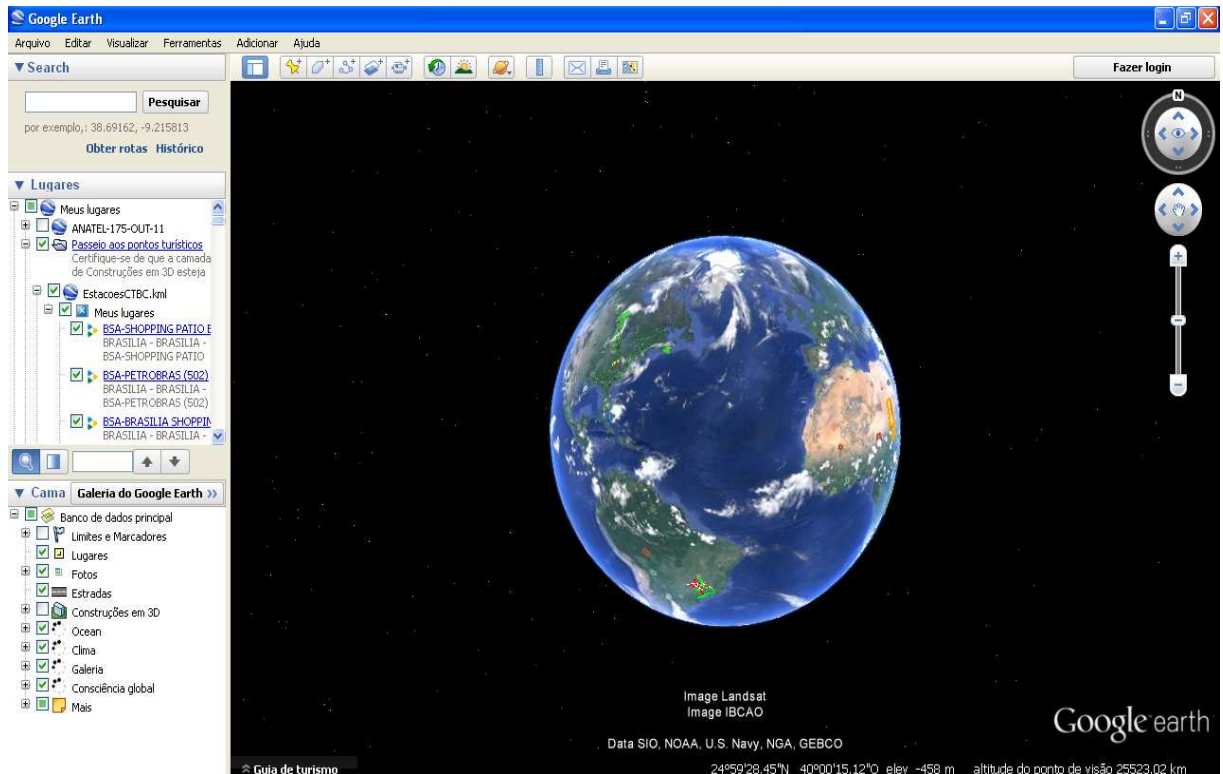


Figura 54 – Mostra a interface do Google Earth

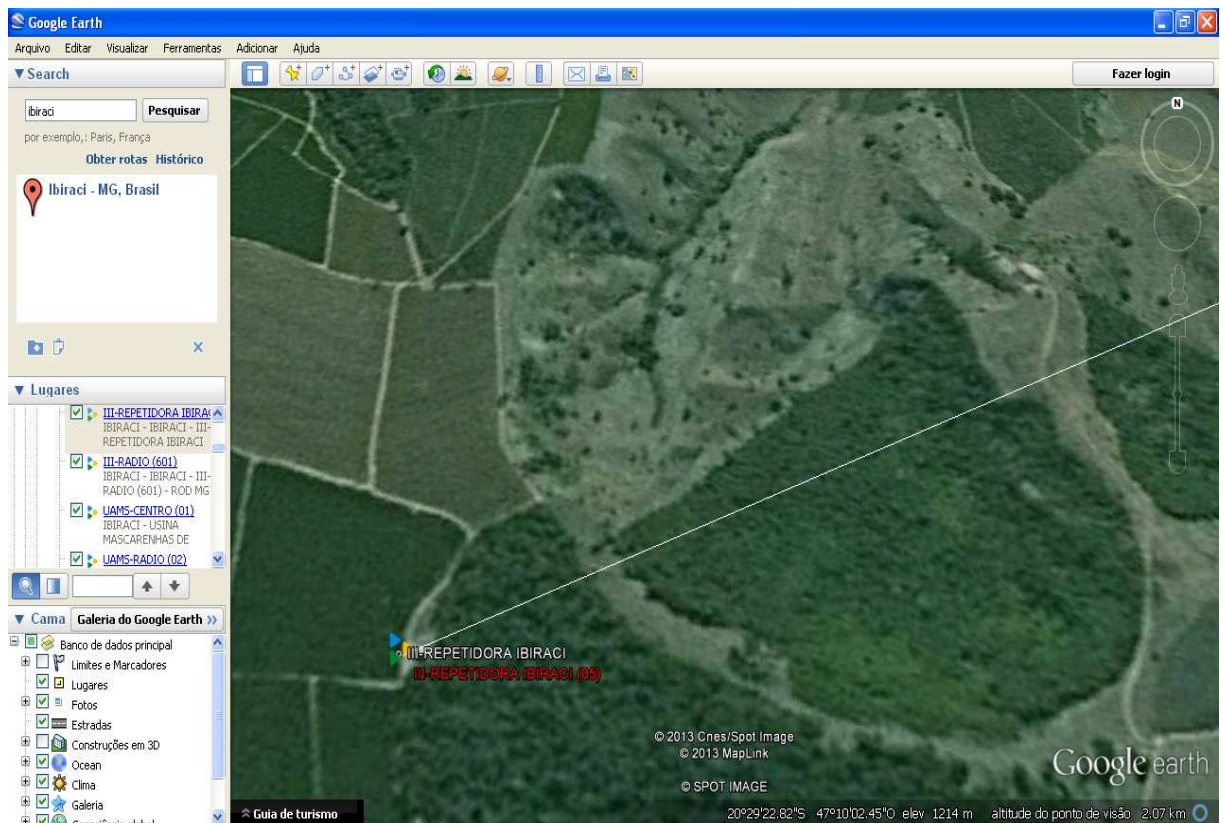


Figura 55 – Mostra a localização da Estação A

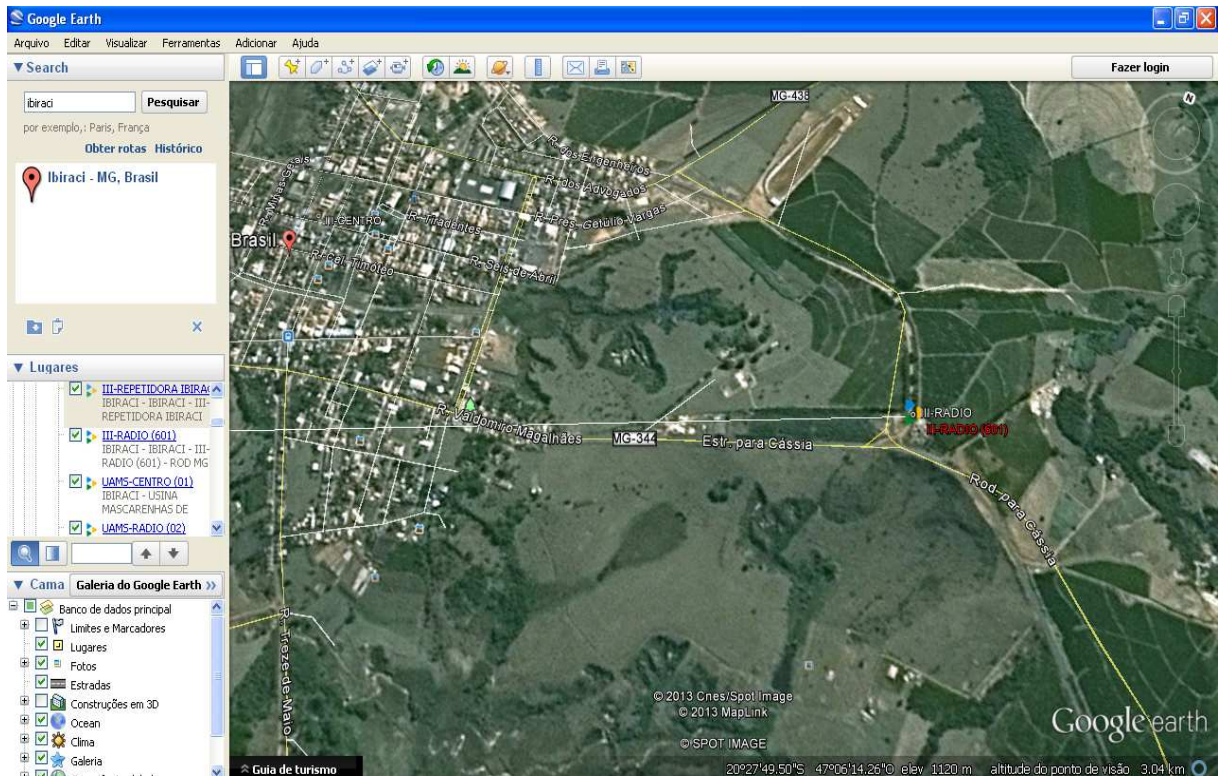


Figura 56 – Mostra a localização da Estação B

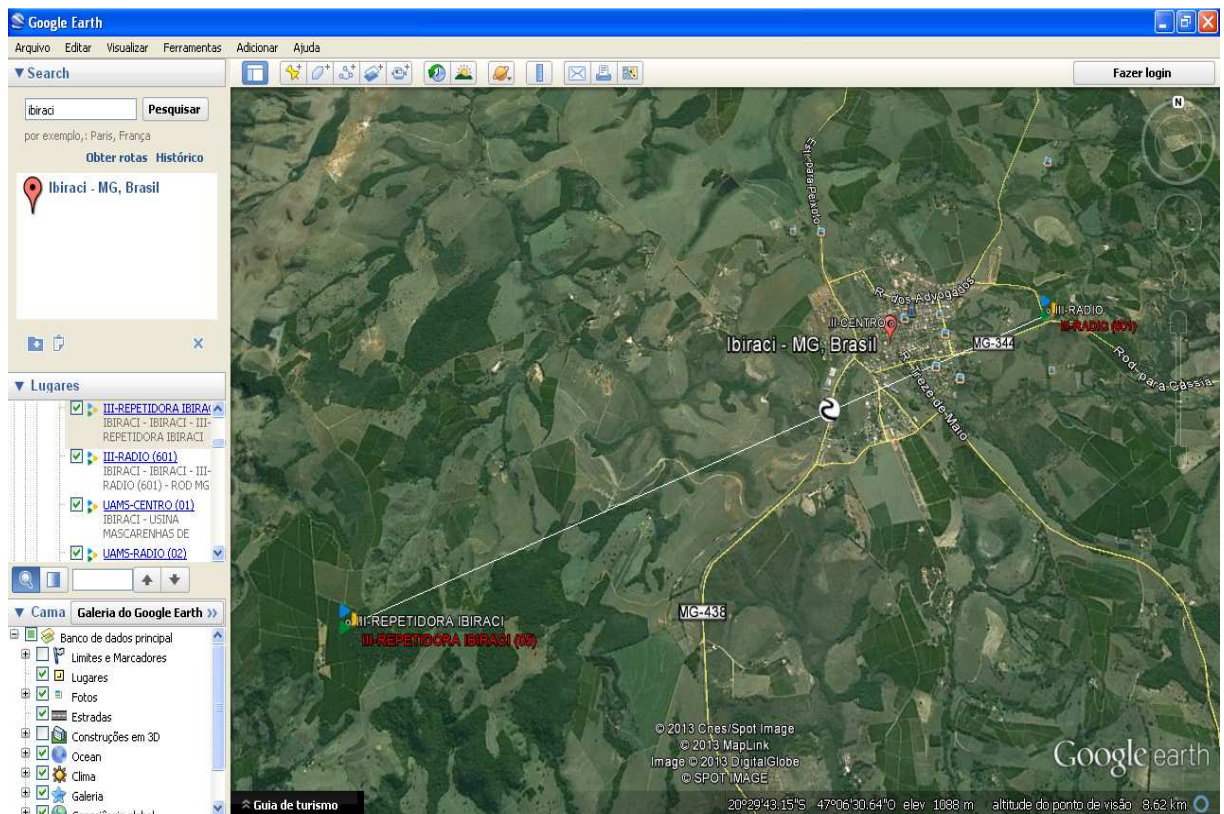


Figura 57 – Mostra o Link de Rádio entre as duas estações envolvidas

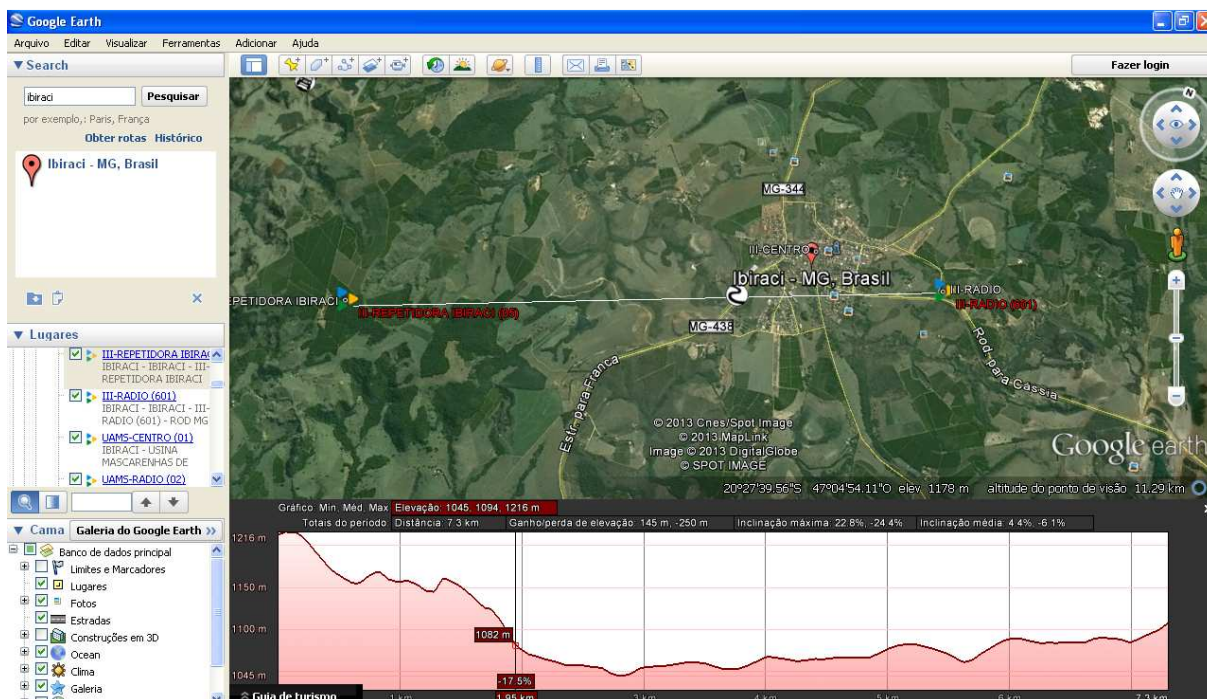


Figura 58 – Mostra a topografia do Enlace de Rádio

Em sequência, o projetista necessita de um software mais preciso, baseado em cartas topográficas próximas a realidade. Neste momento, o executor do projeto poderá utilizar um software licenciado mencionado anteriormente, o Pathloss, para o auxílio na análise do perfil em questão. Neste software o projetista irá inserir as coordenadas geográficas nas duas estações envolvidas, com isto tem-se o valor dos azimutes do enlace de rádio e a distância.

Através da distância determina-se a frequência em operação, pois como mencionado anteriormente, quanto maior a distância, menor o valor da frequência devido a atenuações devido a chuvas. Sendo assim, gerará um perfil demonstrando o perfil do enlace em questão definido através dos pontos desejados, frequência, distância e polarização da transmissão.

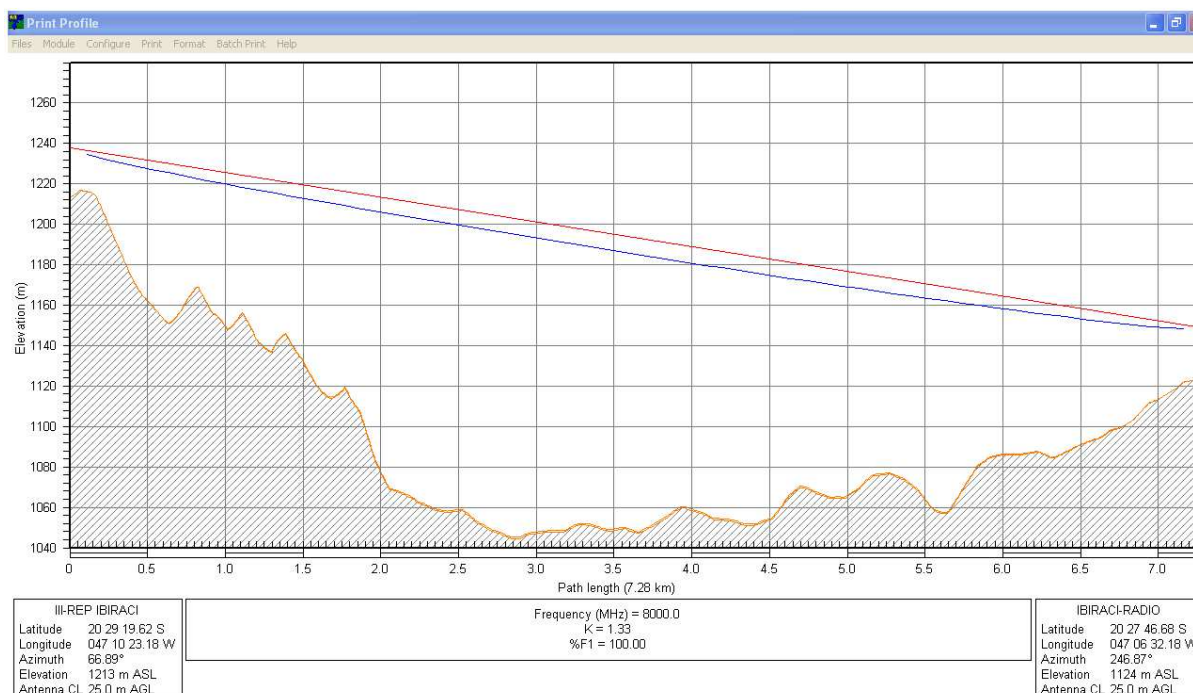


Figura 59 - Perfil gerado pelo PathLoss entre as estações

Após perfil gerado no software como pode-se observar pela Figura 59, o engenheiro deverá definir as alturas das antenas que deverão ser instaladas nas torres por meio das técnicas de propagação das ondas por visada direta relacionado com o fator de correção da Terra-k e a zona de Fresnel. Essa análise é necessária como vimos nas sessões anteriores, pois enlaces maiores que 20 km de distância serão influenciados pelo fator de correção da Terra no valor de $2/3$, necessitando que as antenas sejam instaladas em uma altura maior em comparação com o perfil gerado com o fator K no valor de $4/3$, lembrando que a zona de Fresnel deve-se estar liberada 60% quando utiliza-se o fator $2/3$ e 100% referente ao valor $4/3$.

Assim, o engenheiro já possui os pontos de atendimento envolvidos no enlace de rádio, as alturas definidas nas torres para a instalação das antenas, a distância do enlace de rádio e a frequência em operação que será utilizada para este perfil.

Então, o projetista deverá continuar o projeto dimensionando o diâmetro das antenas, o equipamento de rádio a ser instalado, a capacidade de transmissão a utilizada, modulação do rádio, potência de transmissão, a frequência, polarização, a taxa pluviométrica na região e as atenuações através de cabos ou equipamentos. Esses parâmetros mencionados deverão ser utilizados em um software licenciado

que é o CelPlan e assim será calculado o nível de sinal recebido adequado para o link de rádio em questão.

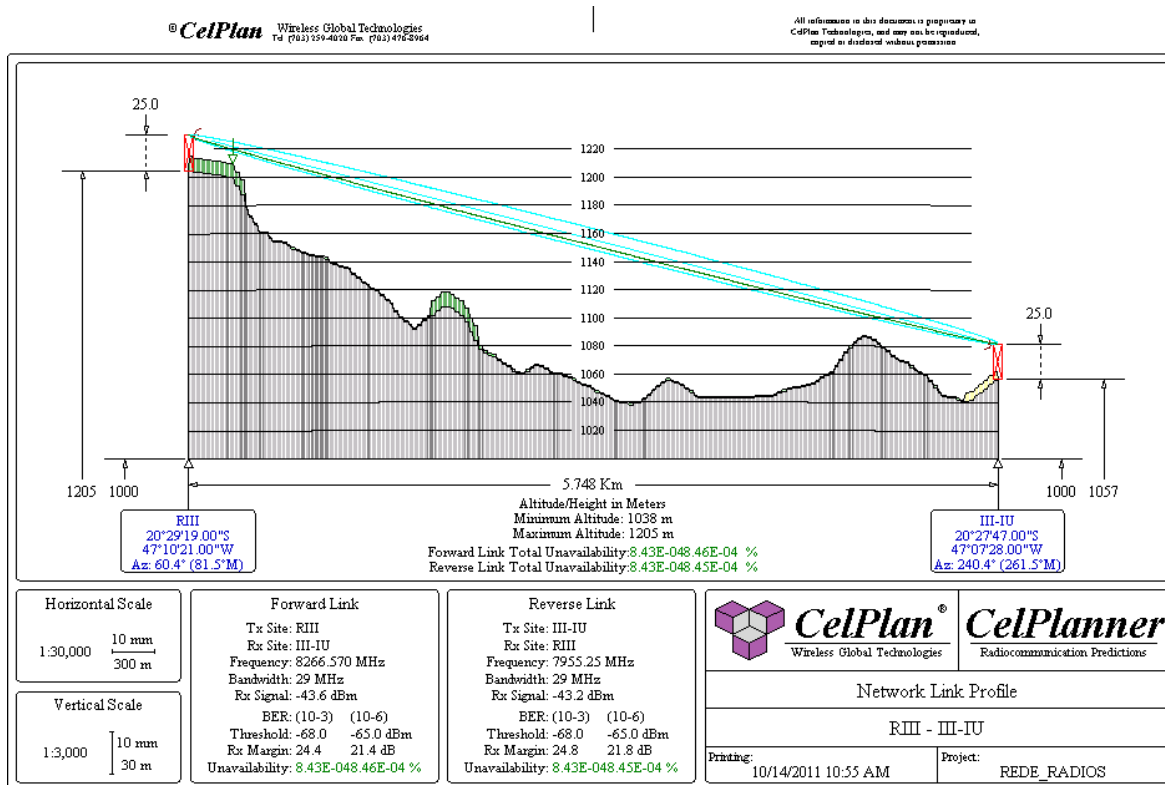


Figura 60 - Perfil gerado pelo CelPlan

O cálculo do sinal recebido por enlace de rádio possui uma pequena diferença com o nível operado após a aceitação do enlace de rádio em campo, este valor difere por aproximadamente 3 dB. O enlace de rádio mostrado anteriormente é um link entre uma estação repetidora até a cidade de Ibiraci no estado de Minas Gerais e podemos observar que este link possui 5.7 km de distância, a frequência de operação é 8 GHz, tendo como 8.266,57 MHz e 7.955,25 os canais de alta e baixa do enlace, 29.5 MHz de largura de banda e tendo aproximadamente -43.2 dBm de valor do sinal recebido.

Atualmente, os enlaces de rádio nas operadoras de telecomunicações, em sua maioria, possuem um serviço de gerência integrado que disponibilize informações que possa auxiliar a operação e manutenção deste link. Sendo assim, pode-se observar pelas Figuras 61 e 62, a interface da gerência o sinal recebido na estação repetidora e na estação Ibiraci.

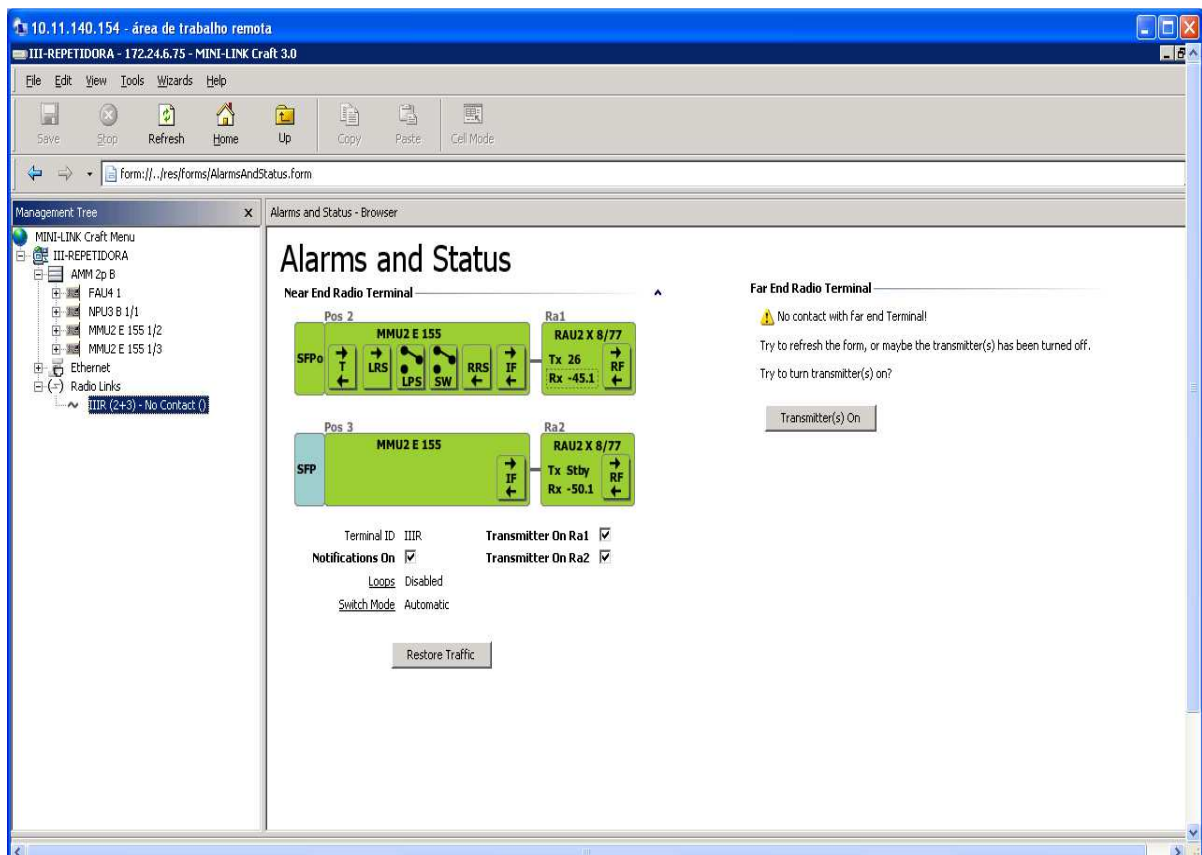


Figura 61 - Gerência do rádio na estação A

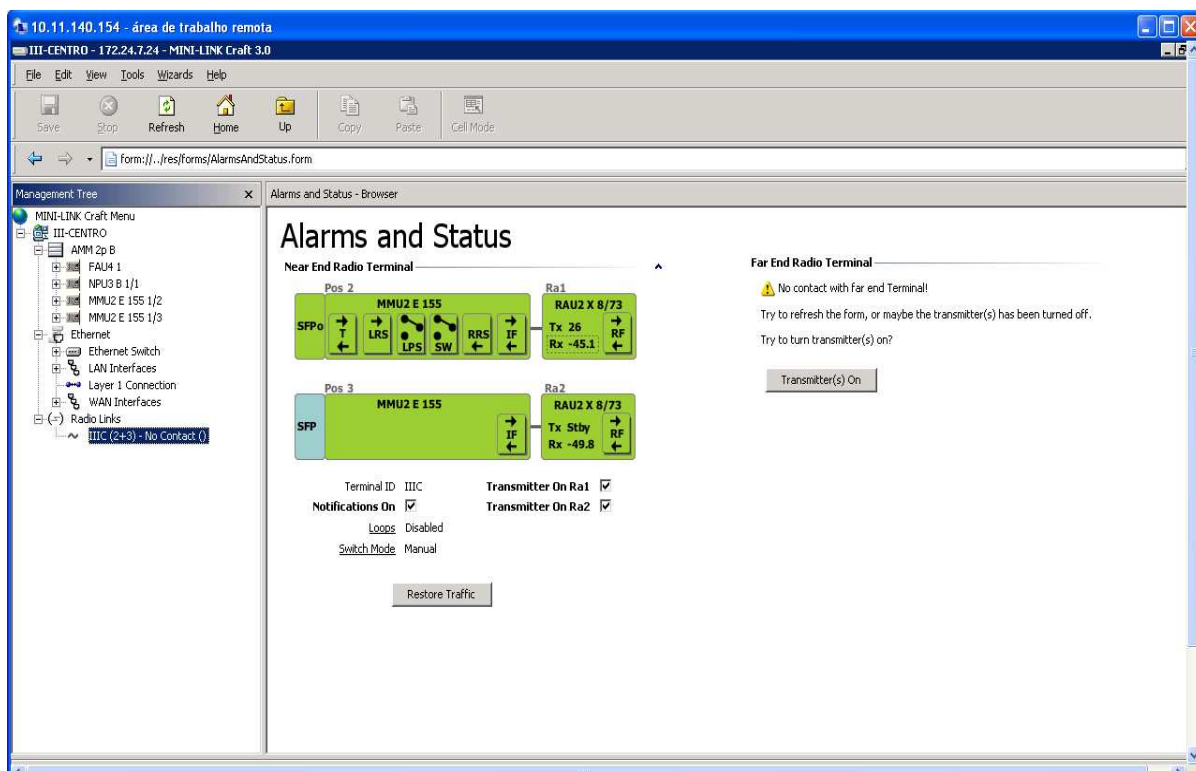


Figura 62 - Gerência do rádio estação B

O valor do sinal recebido em operação e pelo software difere em 2,1 dBm neste caso, tendo um valor de erro muito pequeno, mostrando que o software é um mecanismo que deve ser adotado com segurança para que o engenheiro dimensione um enlace de rádio. Nesta gerência pode-se visualizar através das Figuras 63 e 64, todas as características do enlace de rádio implantado e as configurações de tráfego deste link.

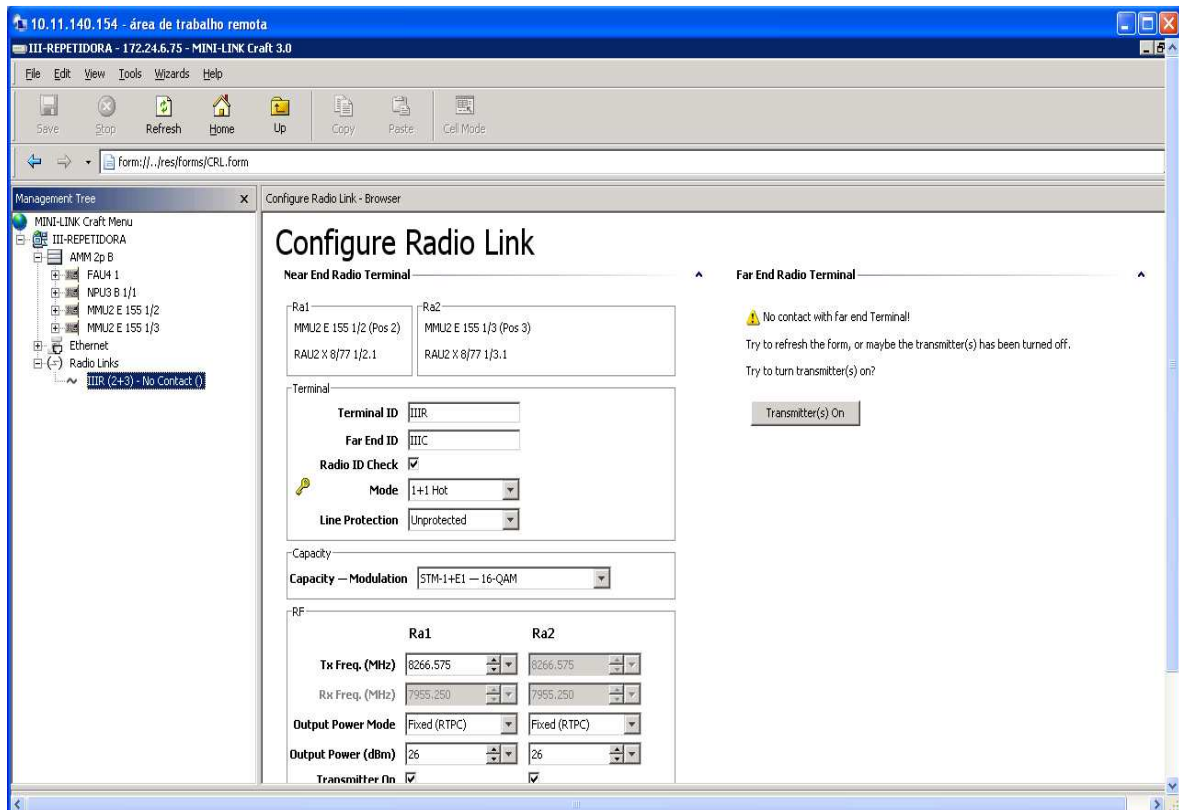


Figura 63 - Configurações do rádio estação A

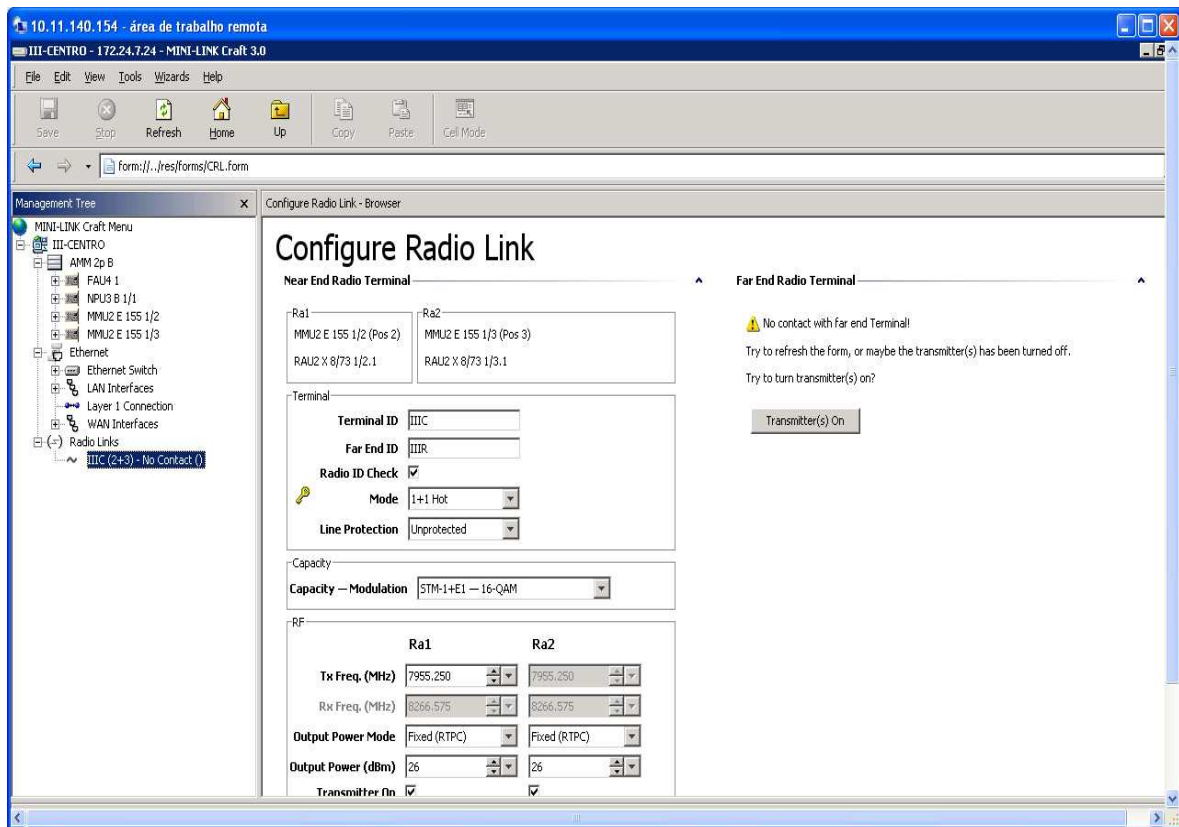


Figura 64 - Configurações do rádio estação B

O enlace de rádio é projetado também de acordo com a capacidade de transmissão, pois através disto o engenheiro determinará a frequência em operação, a modulação necessária para possuir um link com um tempo de disponibilidade adequado e por consequência o sistema de rádio terá para cada modulação, largura de banda e capacidade de transmissão, um limiar do valor recebido adequado, o qual ao passar este número, o enlace de rádio poderá cair.

Pela Figura 65, pode-se observar o limiar de recepção de um rádio Mini-link TN do fornecedor Ericsson, o qual será mostrado a partir de largura de bandas fixas, variando em modulação e capacidade de transmissão.

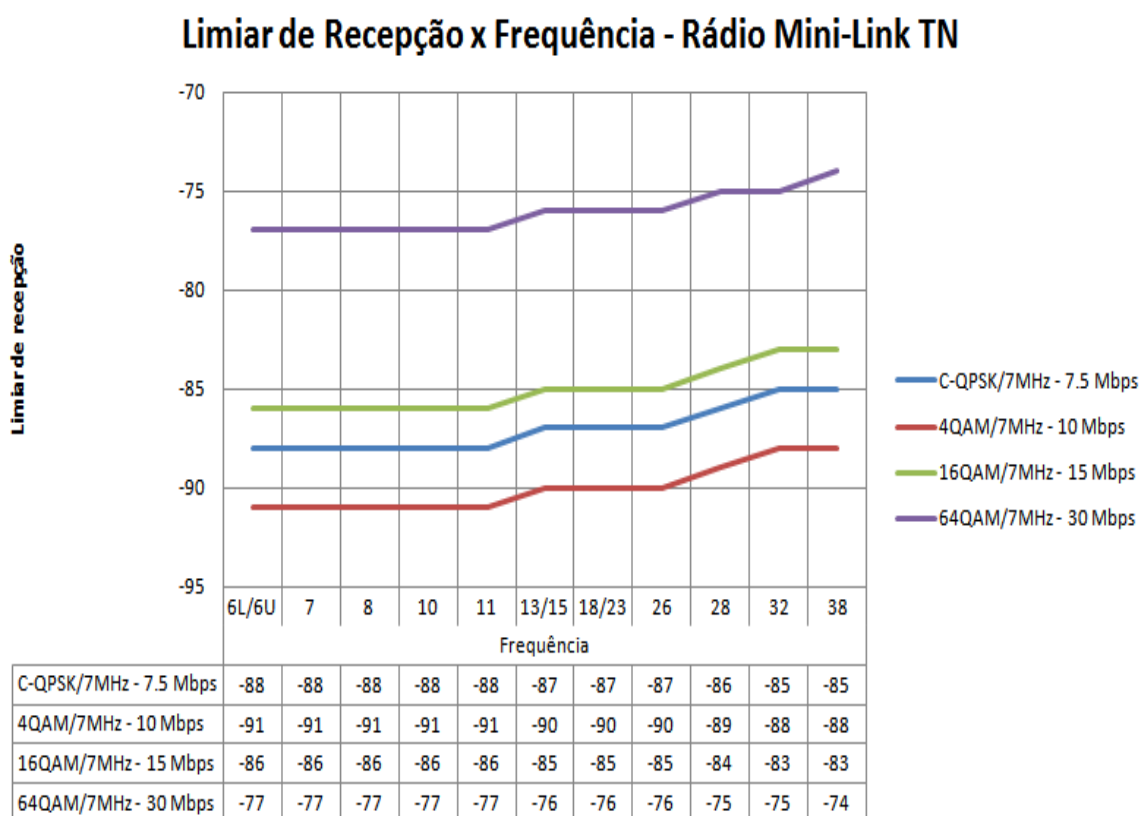


Figura 65 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 7 MHz [9]

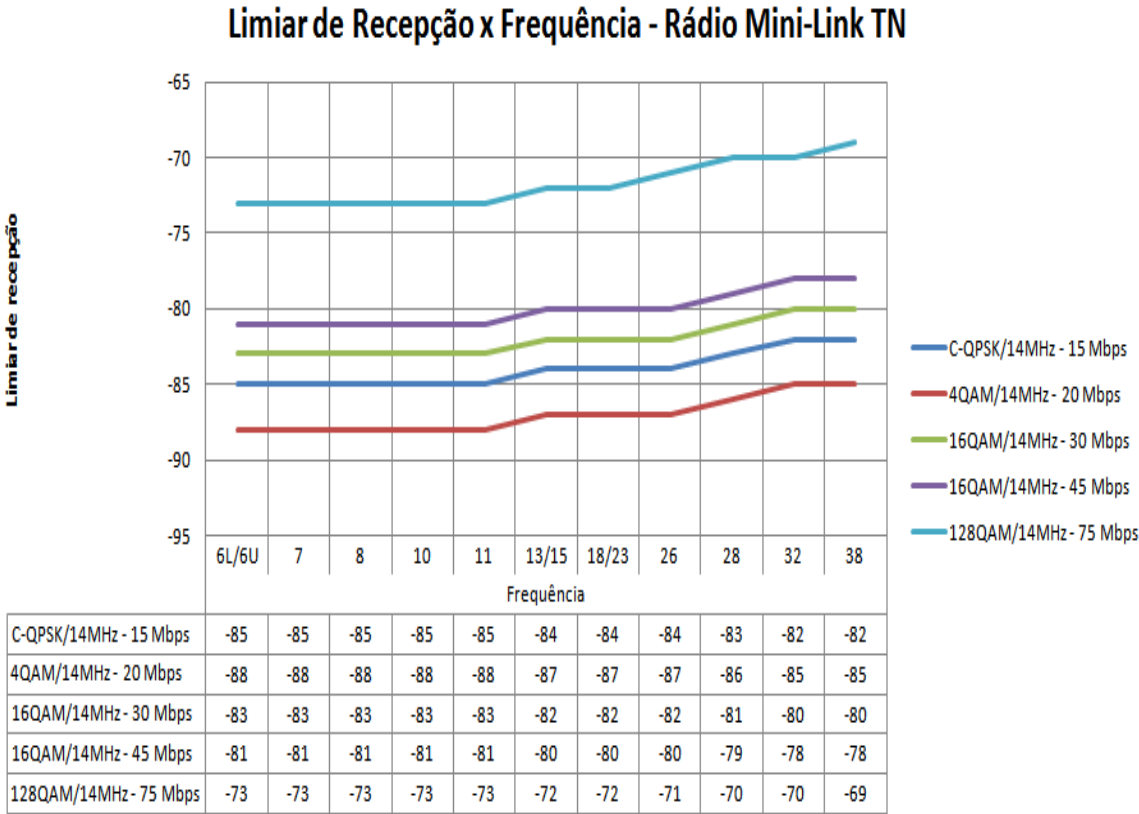


Figura 66 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 14 MHz [9]

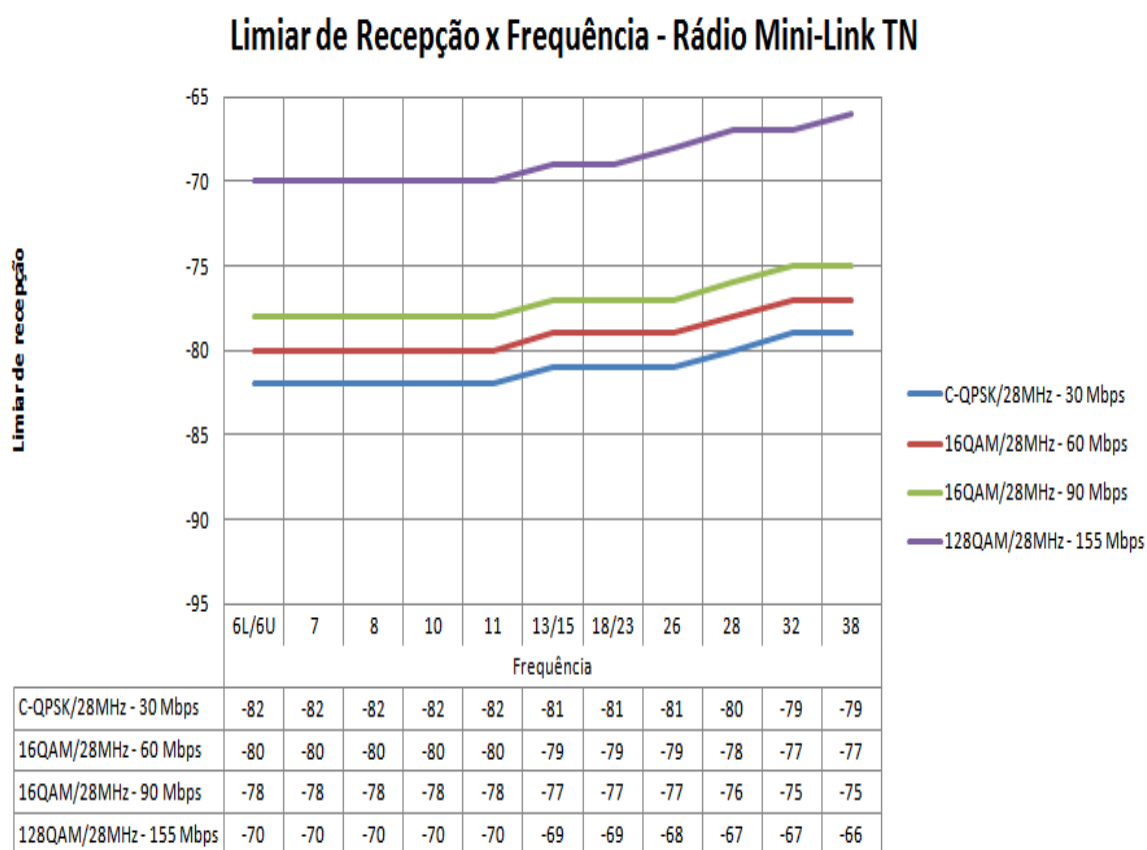


Figura 67 - Limiar de Recepção x Frequência para rádio Mini-Link TN com largura de banda de 28 MHz [9]

Pelas figuras 65-67 foram utilizadas as modulações C-QPSK, 4QAM, 16QAM e 128 QAM relacionando as largura de bandas 7MHz, 14MHz e 28MHz com suas respectivas capacidades de tráfego. O limiar de recepção pode ser analisado através de quanto maior a modulação, maior a capacidade de tráfego e assim menor o limiar de recepção e com isso o equipamento de rádio está mais sensível a atenuações que podem ocorrer no decorrer da operação do enlace de rádio.

Nestas Figuras 65-67 pode-se observar também o que já foi mencionado anteriormente, pois quanto maior a frequência em uso, mais o enlace poderá ser afetado por atenuações, como podemos analisar que o limiar de recepção também diminui com o aumento da frequência. O projetista pode concluir com estes gráficos que, o ideal é a utilização de enlaces de rádios com modulações mais baixas, pois o rádio está mais robusto em seu uso, tendo uma maior resistência para atenuações

que podem ocorrer ao longo da sua operação, mas em contrapartida a capacidade de transmissão pode não ser atendida.

O link de rádio também sofre alterações no sinal recebido de acordo com a potência de transmissão, pois esta também varia com a modulação do link de rádio, sendo que quanto menor a modulação desejada, maior será a potência de transmissão disponível para a configuração do link, ocasionando um aumento do sinal recebido. Na Figura 68 tem-se um gráfico que irá mostrar esta relação muito importante para uma implantação de link de rádio.

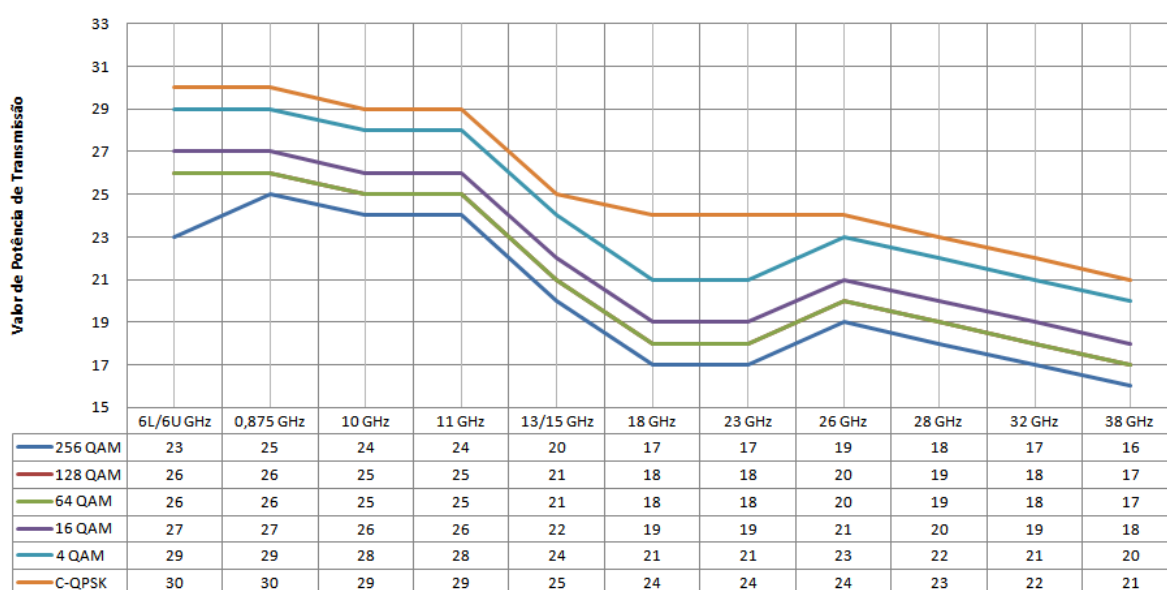


Figura 68 - Potência de Transmissão para rádio Mini-Link TN de acordo com a modulação e frequência em uso [9]

Visto que os limiares de recepção de um rádio Mini-Link TN em conjunto com a potência de transmissão de acordo com a modulação de um link, iremos mostrar que todo enlace de rádio necessita ser projetado com uma margem de segurança devido a impactos que o mesmo possa obter de acordo com atenuações atmosféricas.

Aproveitando o enlace de rádio mencionado anteriormente, podemos observar que este link possui uma capacidade de transmissão de 155 Mbps e está operando com a modulação de 16QAM, frequência 8GHz. Sendo assim, através de informações do datasheet da Ericsson, este limiar de recepção é -78 dBm, onde o rádio implantado está operando no valor de -45.1 dBm. Após estas informações,

pode-se realizar uma análise que este enlace de rádio foi projetado com uma margem de segurança no valor de 32.9 dBm, o qual está acima do padrão das telecomunicações projetam o seus respectivos links, com uma margem de aproximadamente 20 dBm. Sendo assim, todas as etapas de um projeto foram mencionado anteriormente, o qual completa-se a instalação do link com teste de aceitação que pode ser realizado pela RFC 2544.

4.2 Rádio Mini-Link TN: RFC 2544

Neste tópico será feito um teste extremamente importante que é realizado no final de uma instalação de um rádio. Trata-se de um enlace de rádio Mini-Link TN com gabinetes AMM2pB e AMM6pC formando as unidades indoor e a parte outdoor constituída por uma RAU 2X 8/43 e RAU 2X 8/47.

Este teste foi realizado em laboratório com isso houve a necessidade de inserir em série atenuadores no valor de 77dB para manter a performance do link e o estado ótimo do equipamento, não queimando-os. A Figura 69 mostra a montagem do teste em laboratório.

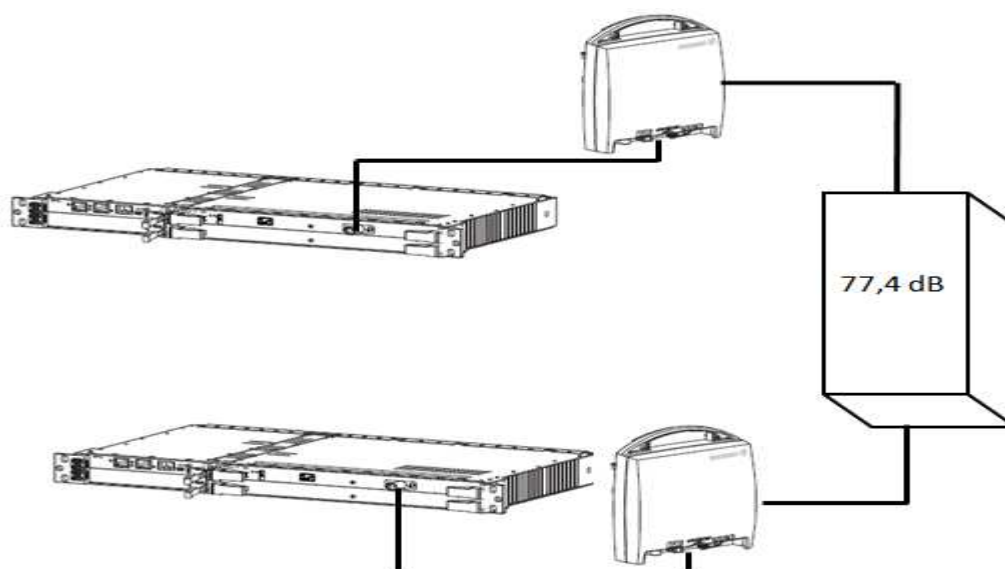


Figura 69 - Layout do laboratório com partes indoor e outdoor

Este link de rádio em laboratório foi configurado em uma forma que pudesse observar o comportamento do enlace de rádio com a RFC 2544 associado ao seu limiar de recepção. Devido este enlace possuir unidades outdoor, o qual estão designadas com a frequência 8.5 GHz, configura-se o link para o canal 8.363 MHz / 8482 MHz, largura de banda 7 MHz, capacidade de transmissão 10 Mbps, assim uma modulação de 16 QAM e também uma potência de transmissão no valor de 5 dBm para que possa realizar os testes necessários, como pode-se observar pelas Figuras 70, 71 e 72.

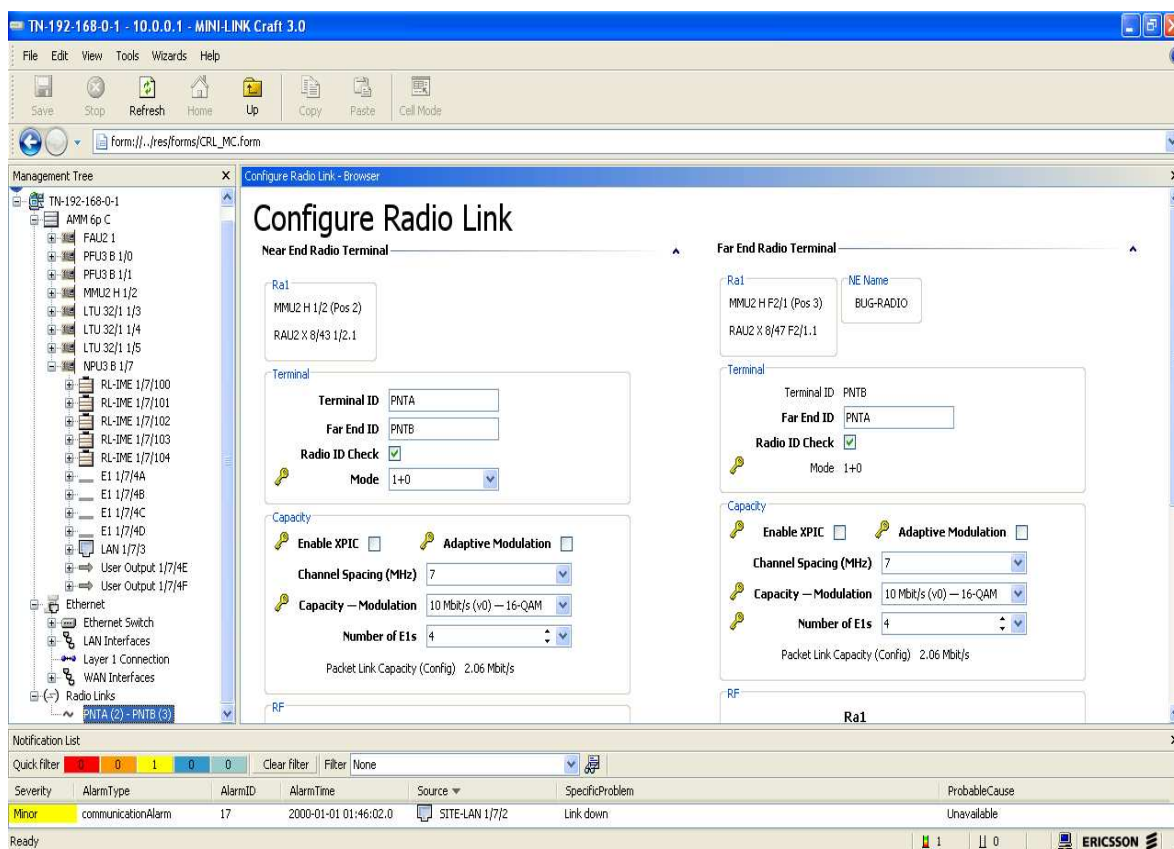


Figura 70 - Interface de configuração do link de rádio

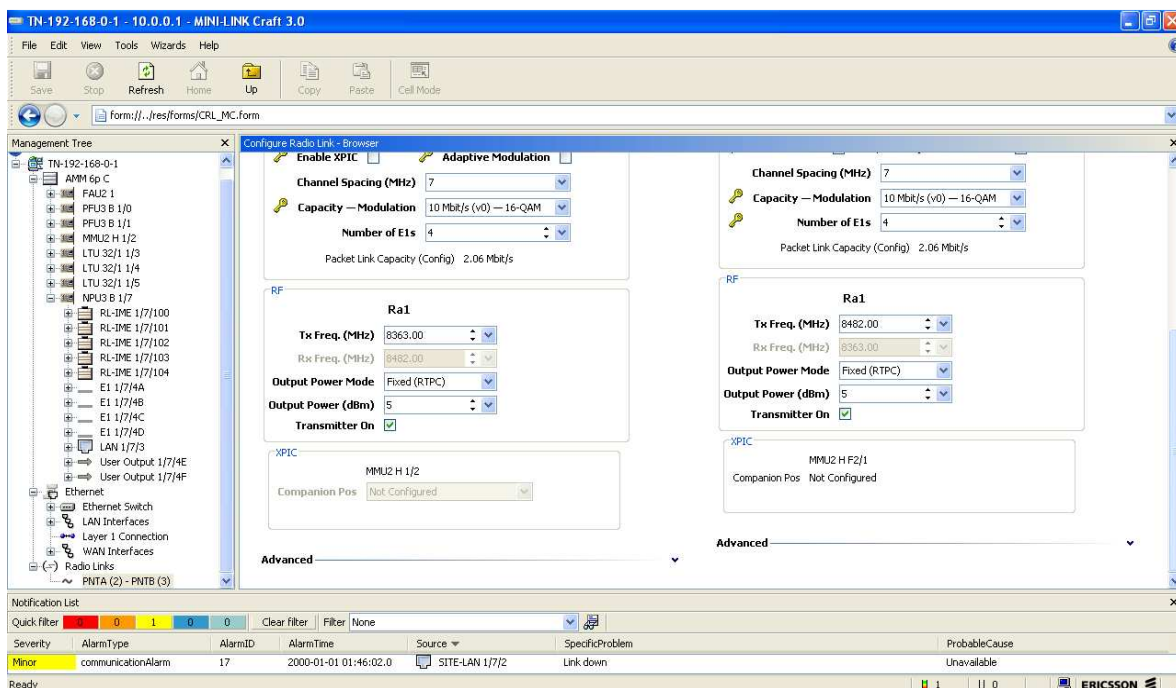


Figura 71 - Interface de configuração da largura de banda, canal de frequência, potência de transmissão e modulação adaptativa

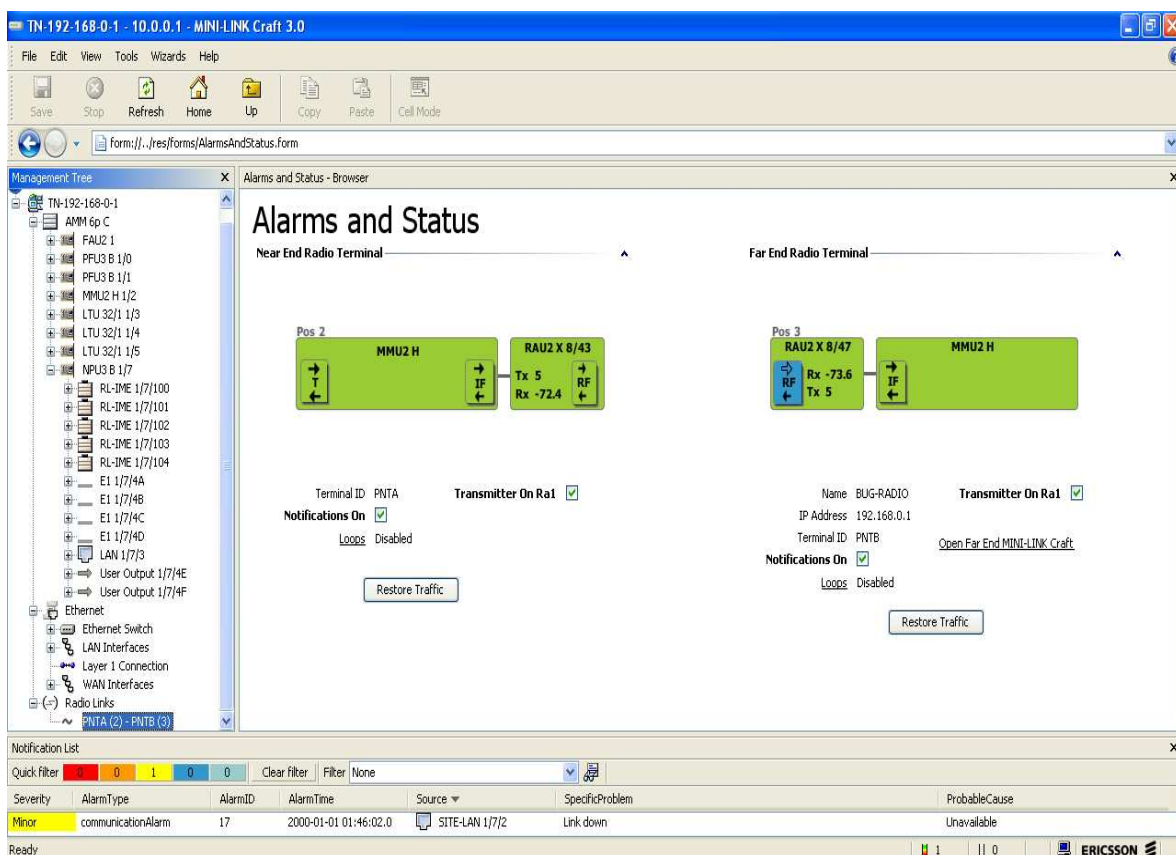


Figura 72 - Interface de gerência visualiza o sinal recebido do link configurado

Após ter um link de rádio montado em laboratório, pode-se realizar um teste de performance utilizando instrumentais confiáveis do fornecedor Agilent conhecido como FrameScope. A Figura 73 mostra o esquema proposto em laboratório com a inserção destes equipamentos nas portas Ethernet do rádio em questão, o qual foi configurado para 2 Mbps de capacidade de transmissão.

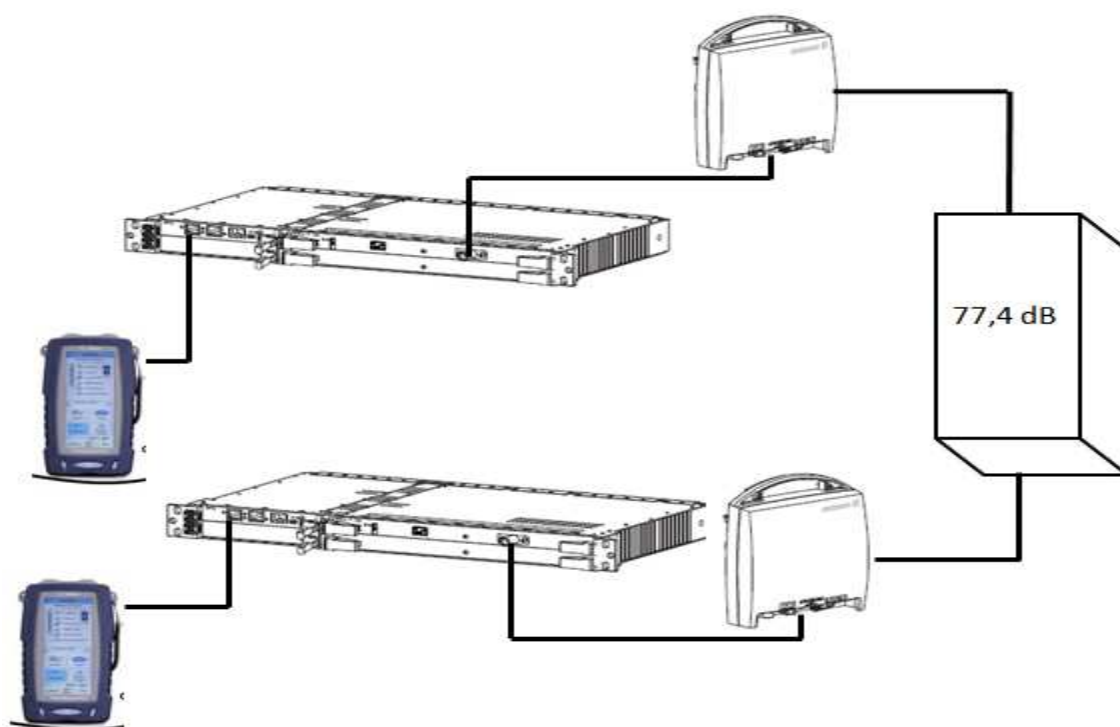


Figura 73 - Layout de laboratório com partes indoor/outdoor com instrumental FrameScope

Neste link de rádio tem-se um valor do sinal recebido de $-72,4$ dBm, onde o limiar de recepção para essas configurações é -86 dBm como pode-se observar pelas informações obtidas no datasheet da Ericsson. Ao ser inserida uma atenuação fixa neste enlace de rádio, não se teve uma variação do sinal recebido durante o teste, podendo analisar a performance completa do rádio através da RFC 2544, como pode-se observar no Anexo 2 e nas Figuras 74-78.

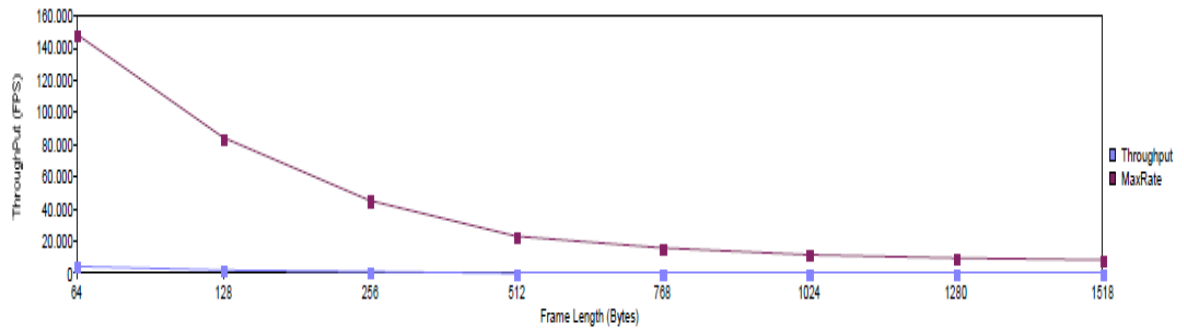


Figure 74 - Throughput Bi-directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration=5 sec)

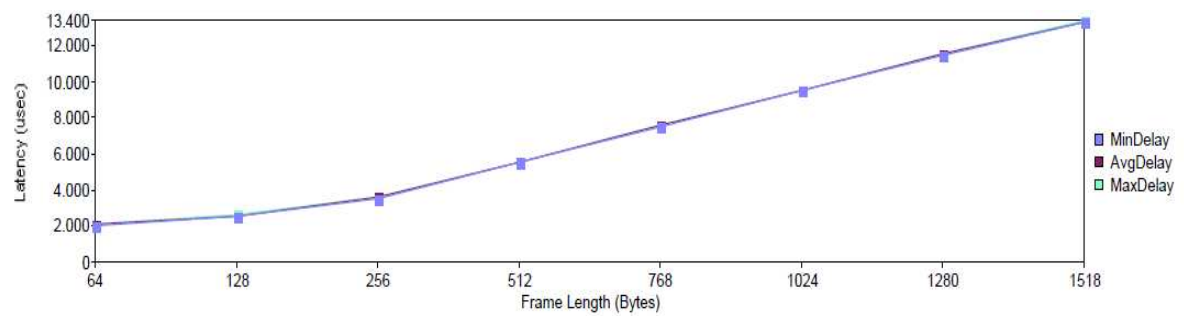


Figure 75 - Latency (End-To-End, Iteration=20)

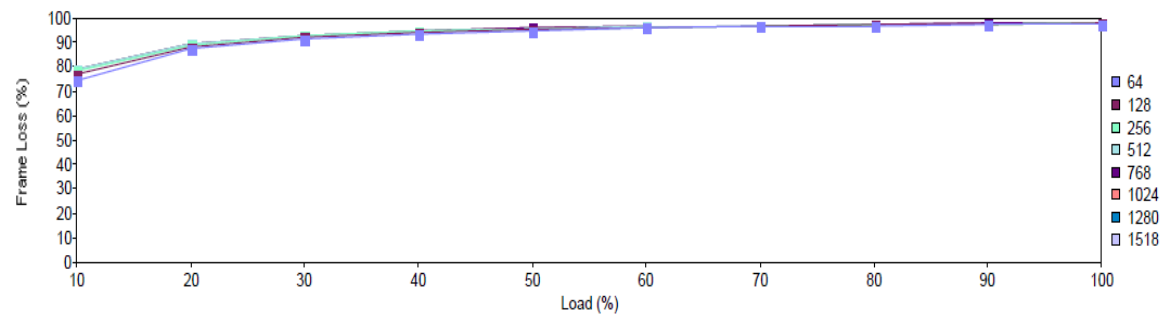


Figure 76 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss

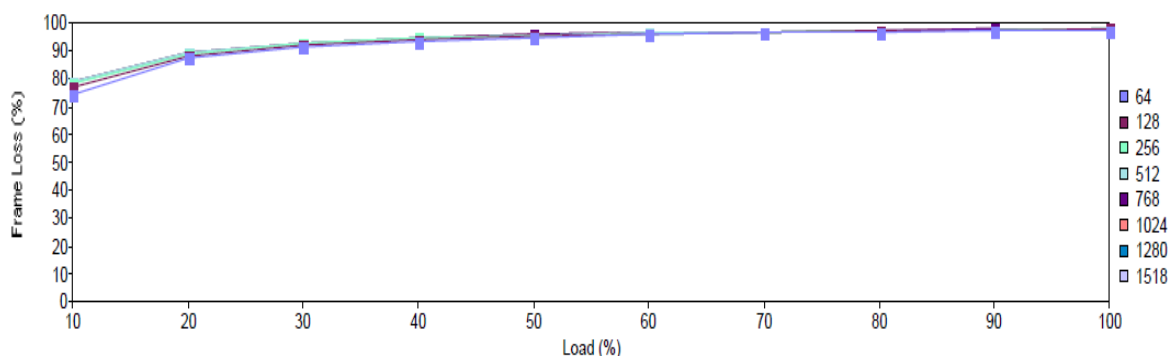


Figura 77- Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss

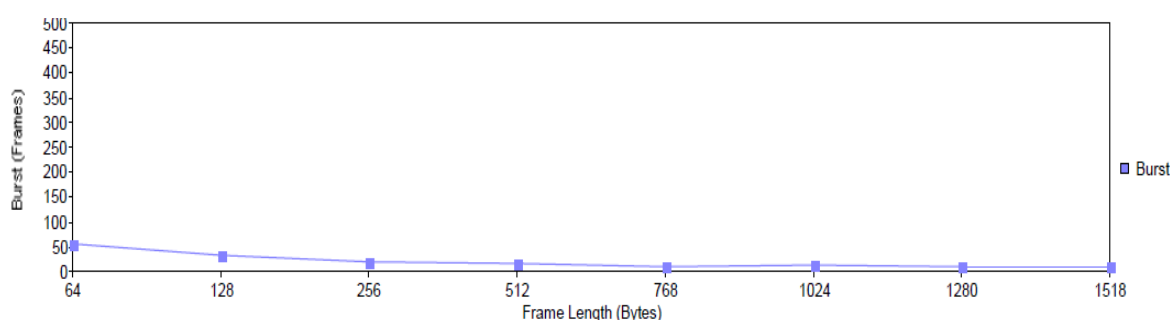


Figura 78 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration =2 sec)

Neste laboratório atenuações que podem ocorrer em um link de rádio. Devido serem utilizados atenuadores antigos e equipamentos de rádios que já esteve em campo, apesar dos mesmos não apresentarem níveis de sinais regulares, mas o objetivo do trabalho foi alcançado. O intuito desta sessão foi gerar uma atenuação no link de rádio e verificar como seria a performance do enlace de rádio através da RFC 2544. Esta atenuação poderia variar de acordo com a polarização utilizada e a intensidade da taxa pluviométrica, mas para efeitos de laboratório foram atenuadas em 10 dBm. Este efeito foi gerado através da diminuição da potência de transmissão, pois os atenuadores são fixos.

Após manter todas as configurações como a canalização, modulação, largura de banda, capacidade de transmissão e apenas alterar a potência de transmissão para - 5dBm, foi gerado outra RFC 2544 mostrando a performance do link de rádio como pode-se observar pelo Anexo 3 e nas Figuras 79-86 a seguir.

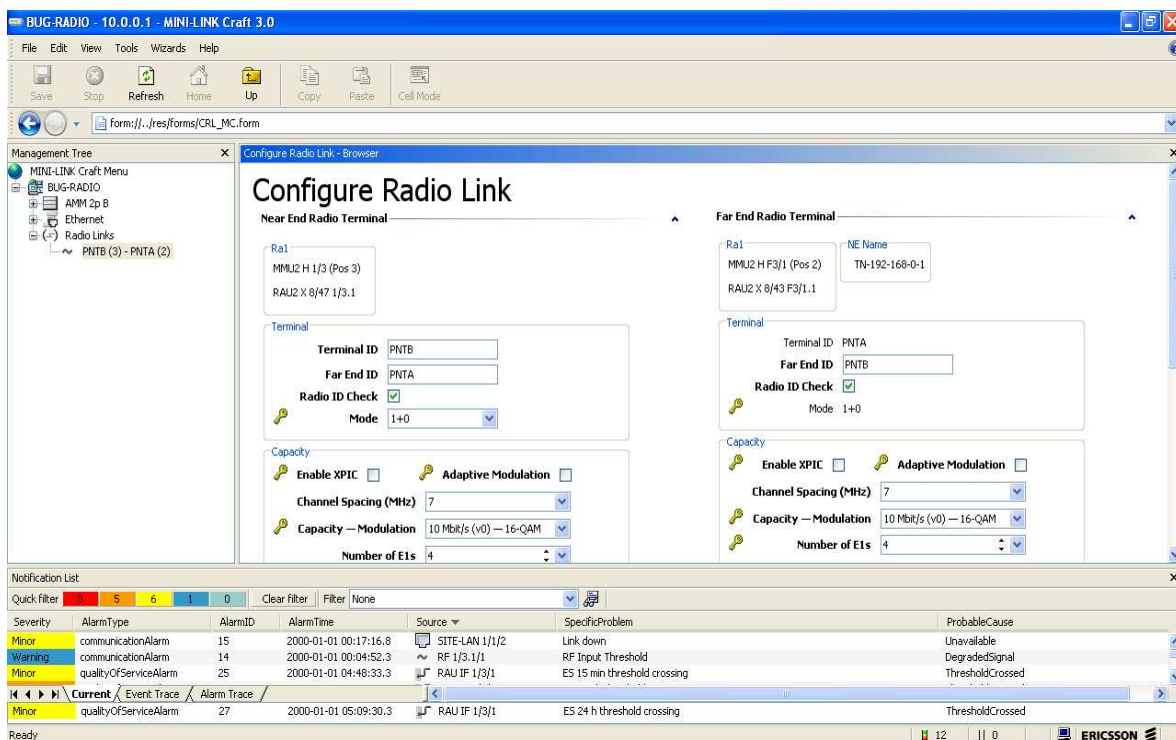


Figura 79 - Interface de configuração do link de rádio mantendo as informações iniciais do laboratório

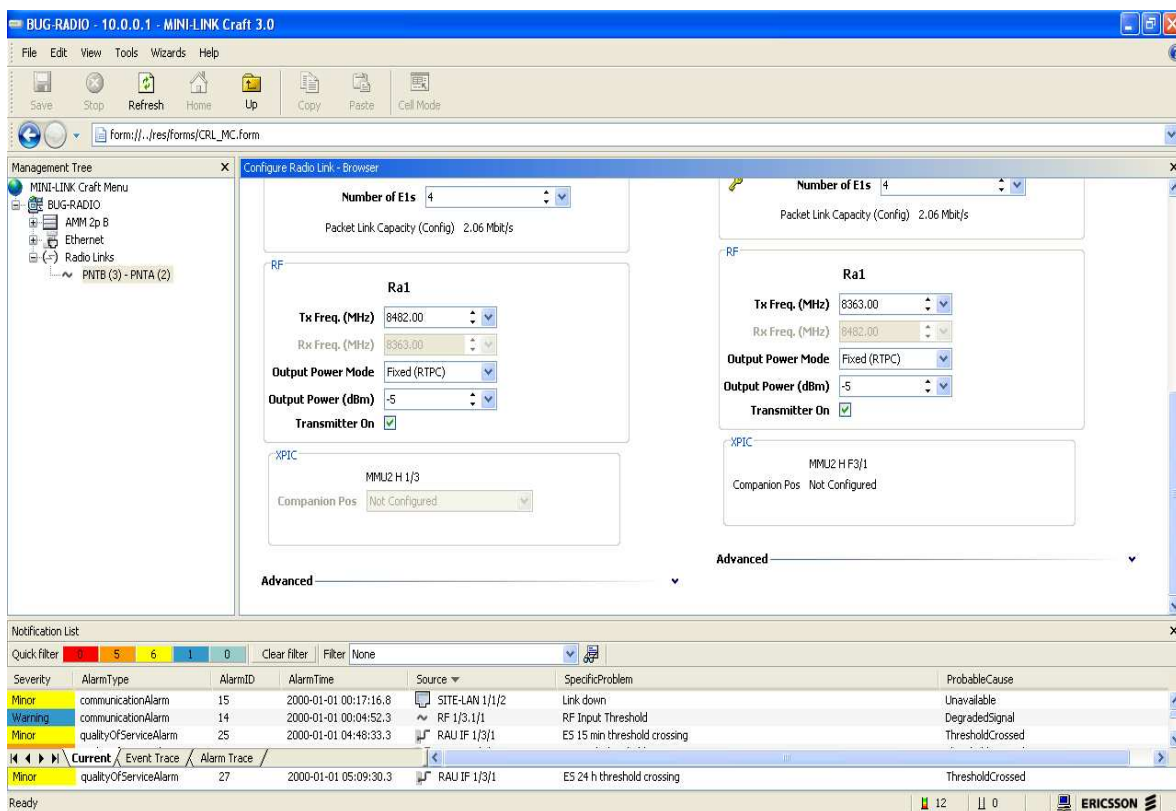


Figura 80 - Interface de configuração do link de rádio diminuindo 10 dB de potência de transmissão

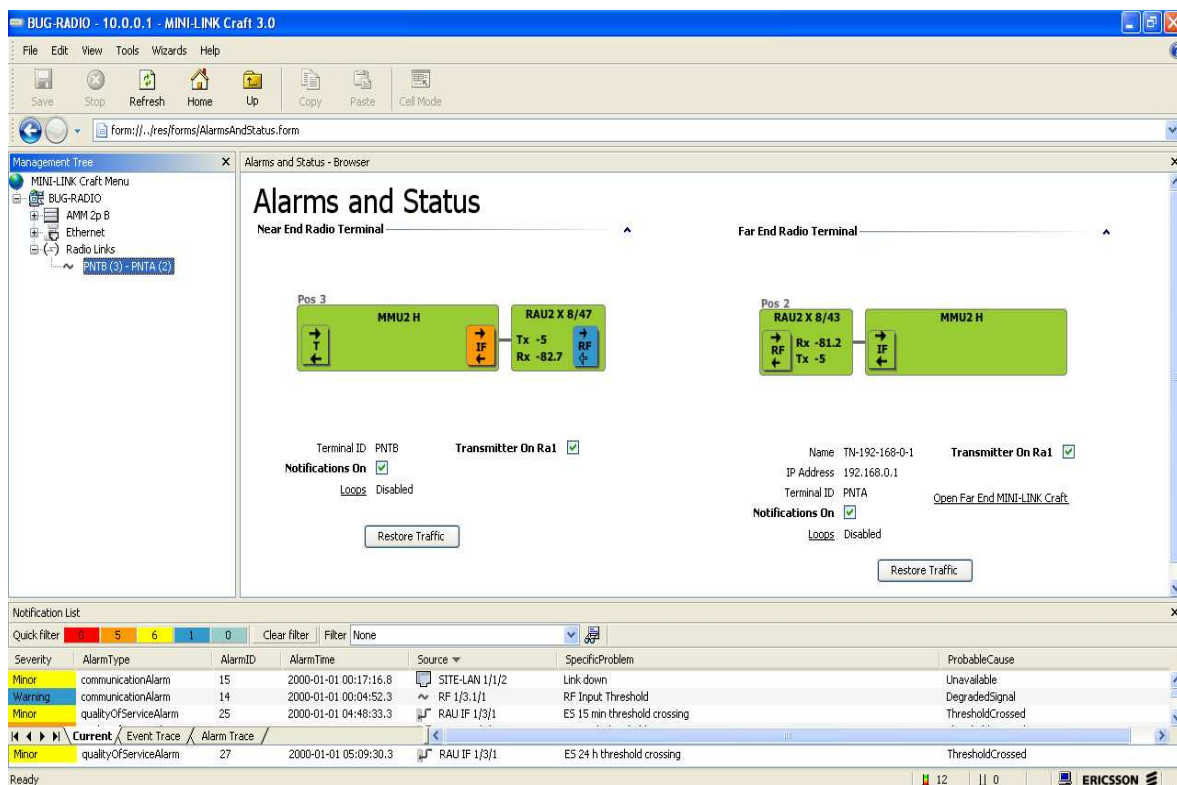


Figura 81 - Interface de gerência visualiza o sinal recebido do link configurado

Como pode-se observar pela imagem acima, o sinal de recepção foi para - 82.7 dBm após a diminuição da potência de transmissão para -5 dBm, simulando uma atenuação devido à chuva.

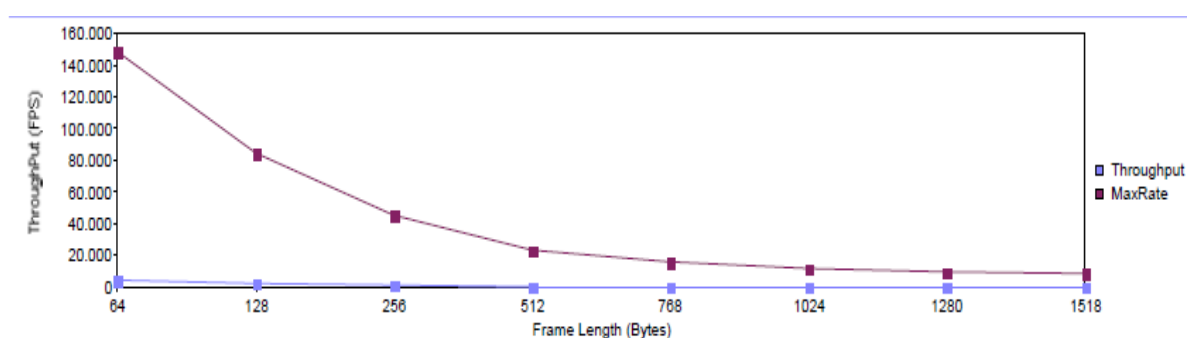


Figura 82 - Throughput Bi-directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End,Step Duration=5 sec)

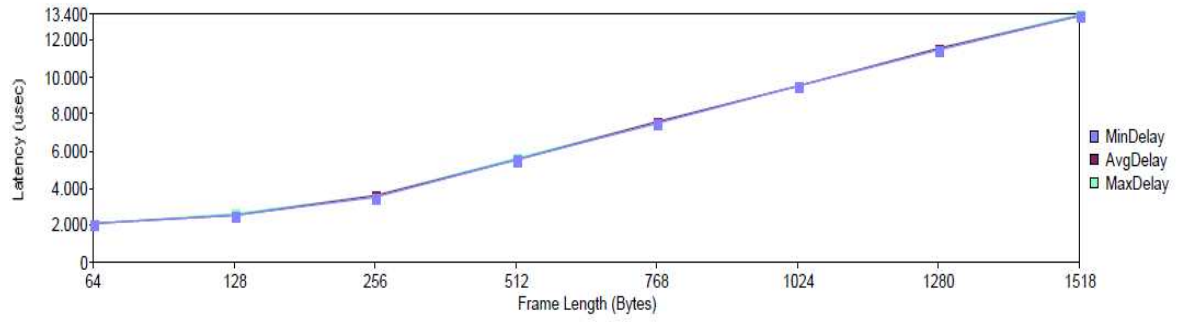


Figure 83 - Latency (End-To-End, Iteration=20)

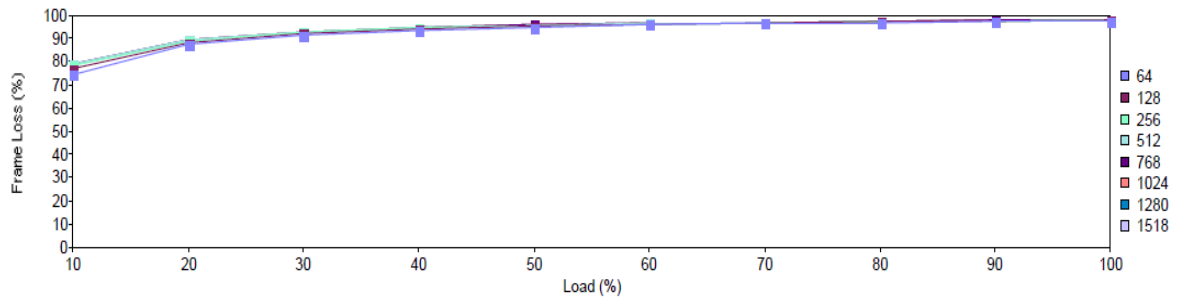


Figure 84 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Upstream Frame Loss

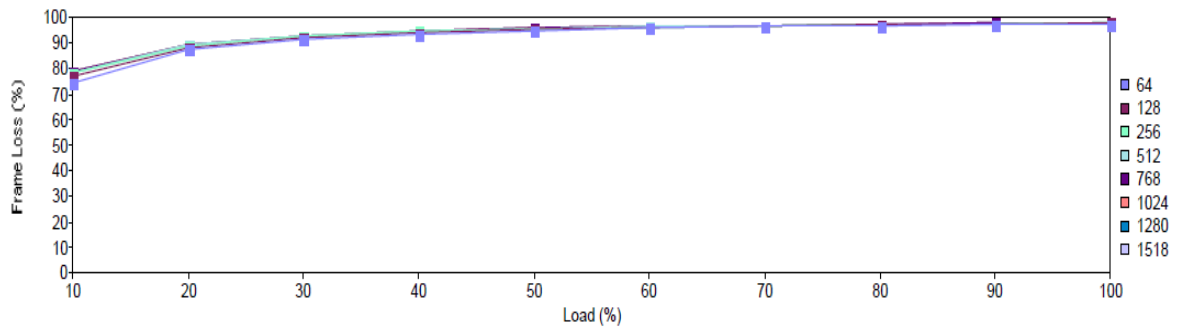


Figure 85 - Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps , End-To-End, Step Duration=10sec) – Downstream Frame Loss

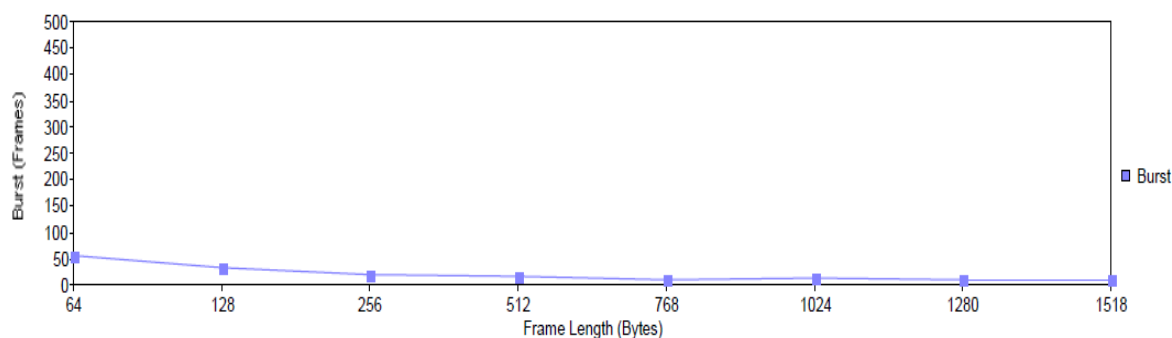


Figura 86 - Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mbps, End-To-End, Step Duration =2 sec)

Nesse experimento, observou-se que o desempenho do link de rádio após uma atenuação de -10dBm, não ocasionou erros de bits, mantendo a sua capacidade de transmissão e todas as configurações desejadas conforme pode-se analisar pelas Figuras 82-86 e pelo teste em Anexo 3. A diferença nos valores apresentados não implicam em alterações de performance.

Aproveitando o laboratório, observa-se que, se fosse alterada a potência de transmissão para - 4dBm, simulando que a atenuação da chuva aumentaria de 10 dB para 11 dB, o enlace de rádio geraria tantos erros que perderia a comunicação. Isto acontece devido aos limiares de recepção informados pelo datasheet da Ericsson e pelas configurações fixas nos equipamentos de rádio, que prejudicaria a performance e o atendimento de uma localidade. Portanto, um enlace de rádio é configurado na maioria das vezes, em sua maior capacidade de transmissão e com isto em uma modulação não tanto robusta como em outras configurações como por exemplo, links com modulações 512QAM.

Assim, o link estaria com um limiar de recepção menor do que quando utilizado um link com modulação 4QAM, uma potência de transmissão também menor, um número mais alto de clientes no atendimento por possuir mais tráfego e quando houver uma atenuação que passasse o valor do limiar de recepção, toda a comunicação do link iria cair e por consequência isolaria cidades e clientes, o que poderia ocasionar em multas e insatisfação de clientes ao todo momento. Neste intuito de mantermos a comunicação entre o link de rádio, mesmo que circuitos sejam priorizados no atendimento do que outros, uma configuração de extrema importância seria a modulação adaptativa que este equipamentos fornece, o qual o

link é configurado com uma capacidade de transmissão e modulação máxima e outra mínima, na medida que neste link em questão for atenuado devido a chuvas, a modulação iria diminuir para a próxima e mantendo o objetivo inicial de mantermos a comunicação do enlace de rádio.

A seguir pode-se observar pela Figura 87, as inúmeras opções que este equipamento de rádio disponibiliza para configuração.

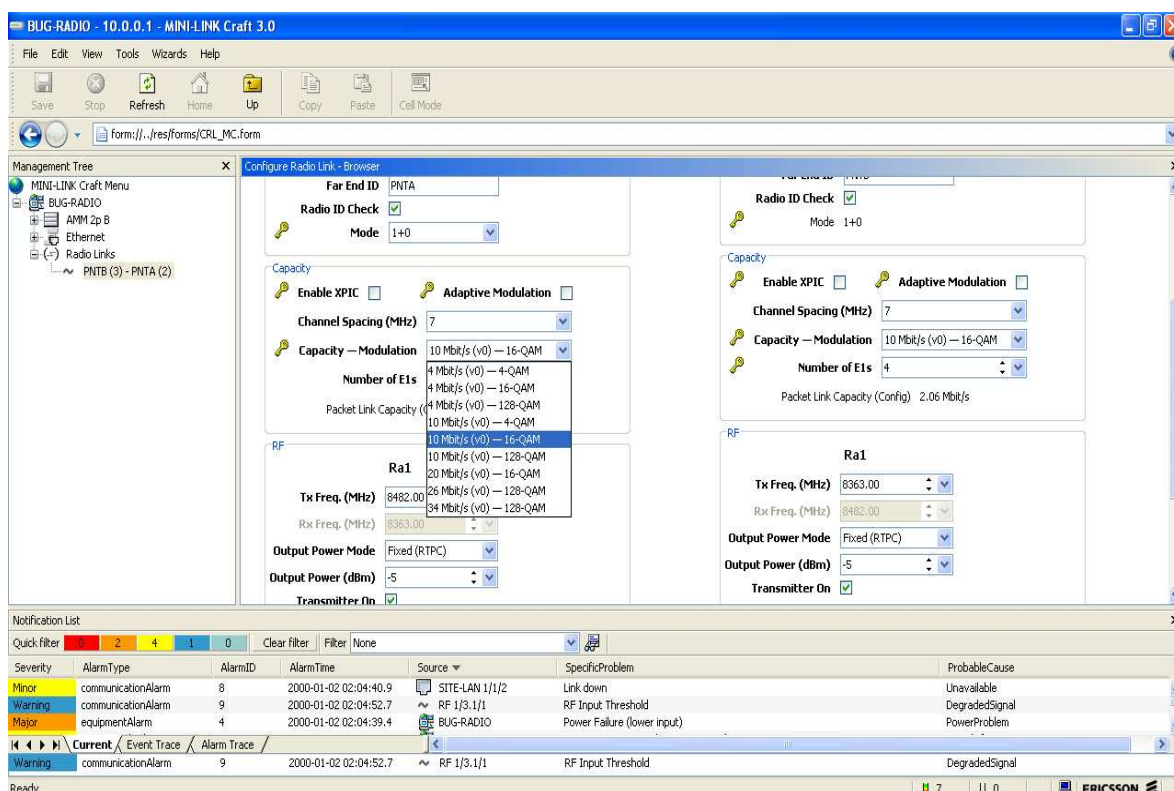


Figura 87 - Interface de gerência mostrando a função de modulação adaptativa

Assim, o enlace de rádio em laboratório poderia ser configurado com modulação adaptativa e no caso de uma atenuação maior que 10 dB, o link iria passar de 10 Mbit/s – 16 QAM para 10 Mbit/s – 4 QAM e depois para 4 Mbit/s – 128 QAM, mas sempre mantendo a comunicação do link. Isto acontece como foi visto anteriormente pela diminuição da modulação e aumento da potência de transmissão juntamente com o aumento do limiar de recepção, o qual pode alterar completamente a performance de um enlace de rádio.

No intuito de demonstrar-se as variáveis que a modulação adaptativa, potência de transmissão, limiar de recepção, modulação, taxas pluviométricas na

região P com a percentagem de 0,01% do tempo e as polarizações dos links, a seguir complementa-se esses estudos com cálculos matemáticos complementares.

Nestes cálculos utiliza-se a fórmula de Friss e o cálculo de atenuação devido a chuva, mapeando taxas pluviométricas no valor de 12, 34, 65, 105 e 145 mm/h em suas polarizações horizontais e verticais, alterando a modulação e a capacidade de transmissão e por consequência a potência de transmissão sempre com o intuito de demonstrar a comunicação do enlace de rádio configurado na modulação adaptativa. Devido os enlace de rádio que possuem frequência superiores a 10 GHz sofrerem mais atenuações devido a chuvas, esses cálculos serão utilizados para links de rádio com distância de 20 Km e para a frequência de 13 GHz/15 GHz.

Dados:

- Frequência 13/15 GHz
- $K_H = 0,0367$;
- $K_V = 0,0335$;
- $\alpha_H = 1,154$;
- $\alpha_V = 1,128$;
- $d = 20$ km;
- Taxa pluviométrica 12 mm/h;
- C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps;
- Limiar de recepção: -87 dBm;
- Potência de transmissão: 25 dBm.

A partir da Equação (2.4.1.3) tem-se que:

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times R_{0,01})}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times e^{(-0,015 \times 12)}}}$$

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{20}{35 \times 0,8352}}$$

$$R_{ED} = 0,5937$$

A partir da Equação (2.4.1.4) tem-se que:

$$D_{EF} = d \times R_{ED}$$

$$D_{EF} = 20 \times 0,5937$$

$$D_{EF} = 11,874$$

- Polarização Vertical

A partir da Equação (2.4.1.1) tem-se que:

$$\gamma_R = k_V \times R_{0,01}^{\alpha_V}$$

$$\gamma_R = 0,0335 \times (12)^{1,128}$$

$$\gamma_R = 0,552 \text{ dB/km}$$

A partir da Equação (2.4.1.5) tem-se que:

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 0,552 \times 11,874$$

$$A_T = 6,55 \text{ dB}$$

- Polarização Horizontal

A partir da Equação (2.4.1.2) tem-se que:

$$\gamma_R = k_H \times R_{0,01}^{\alpha_H}$$

$$\gamma_R = 0,0367 \times (12)^{1,154}$$

$$\gamma_R = 0,6457 \text{ dB/km}$$

A partir da Equação (2.4.1.5) tem-se que:

$$A_T = \gamma_R \times D_{EF}$$

$$A_T = 0,6457 \times 11,874$$

$$A_T = 7,66 \text{ dB}$$

- Polarização Vertical

$$\begin{aligned} P_R &= P_T + G_T + G_R - A_{Total} \\ &= 25 + 0 + 0 - A_{física} - A_{chuva} \\ &= 25 - 77,4 - 6,55 \\ &= -58,85 \text{ dBm} \end{aligned}$$

- Polarização Horizontal

$$\begin{aligned} P_R &= P_T + G_T + G_R - A_{Total} \\ &= 25 + 0 + 0 - A_{física} - A_{chuva} \\ &= 25 - 77,4 - 7,66 \\ &= -60,06 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sendo assim, pode-se observar que este link de rádio nestas configurações não sofrerá perda de comunicação, pois a sua atenuação tanto na polarização vertical quanto na horizontal em 12 mm/h não foi superior que o limiar de recepção de -87 dBm. Sendo assim, realiza-se esses cálculos para as taxas pluviométricas de 12 mm/h , 35 mm/h, 65 mm/h , 105 mm/h e 145 mm/h para as larguras de banda 7 MHz, 14 MHz e 28 MHz nas suas polarizações horizontais e verticais com o intuito de analisar o comportamento da atenuação e de seus limiares como segue em planilha Excel a seguir.

Tabela 7- Cálculos através do .Excel relacionando atenuações, limiares de recepção, modulações, potência de transmissão e taxa pluviométrica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	12 mm/h - 13/15 GHz									
2	Modulação	Límiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
3	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-6,55	-7,66	-77,4	25	-58,95	ENLACE DISPONÍVEL	-60,06	ENLACE DISPONÍVEL
4	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-6,55	-7,66	-77,4	24	-59,95	ENLACE DISPONÍVEL	-61,06	ENLACE DISPONÍVEL
5	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-6,55	-7,66	-77,4	22	-61,95	ENLACE DISPONÍVEL	-63,06	ENLACE DISPONÍVEL
6	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-6,55	-7,66	-77,4	21	-62,95	ENLACE DISPONÍVEL	-64,06	ENLACE DISPONÍVEL
7	34 mm/h - 13/15 GHz									
8	Modulação	Límiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
9	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-18,32	-22	-77,4	25	-70,72	ENLACE DISPONÍVEL	-74,4	ENLACE DISPONÍVEL
10	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-18,32	-22	-77,4	24	-71,72	ENLACE DISPONÍVEL	-75,4	ENLACE DISPONÍVEL
11	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-18,32	-22	-77,4	22	-73,72	ENLACE DISPONÍVEL	-77,4	ENLACE DISPONÍVEL
12	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-18,32	-22	-77,4	21	-74,72	ENLACE DISPONÍVEL	-78,4	ENLACE INDISPONÍVEL
13	65 mm/h - 13/15 GHz									
14	Modulação	Límiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
15	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-29,53	-36,06	-77,4	25	-81,93	ENLACE DISPONÍVEL	-88,46	ENLACE INDISPONÍVEL
16	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-29,53	-36,06	-77,4	24	-82,93	ENLACE DISPONÍVEL	-89,46	ENLACE DISPONÍVEL
17	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-29,53	-36,06	-77,4	22	-84,93	ENLACE DISPONÍVEL	-91,46	ENLACE INDISPONÍVEL
18	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-29,53	-36,06	-77,4	21	-85,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-92,46	ENLACE INDISPONÍVEL
19	105 mm/h - 13/15 GHz									
20	Modulação	Límiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
21	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-35,8	-44,26	-77,4	25	-88,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-96,66	ENLACE INDISPONÍVEL
22	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-35,8	-44,26	-77,4	24	-89,2	ENLACE DISPONÍVEL	-97,66	ENLACE INDISPONÍVEL
23	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-35,8	-44,26	-77,4	22	-91,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-99,66	ENLACE INDISPONÍVEL
24	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-35,8	-44,26	-77,4	21	-92,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-100,66	ENLACE INDISPONÍVEL
25	145 mm/h - 13/15 GHz									
26	Modulação	Límiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
27	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-51,52	-64,24	-77,4	25	-103,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-116,64	ENLACE INDISPONÍVEL
28	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-51,52	-64,24	-77,4	24	-104,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-117,64	ENLACE INDISPONÍVEL
29	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-51,52	-64,24	-77,4	22	-106,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-119,64	ENLACE INDISPONÍVEL
30	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-51,52	-64,24	-77,4	21	-107,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-120,64	ENLACE INDISPONÍVEL

32	12 mm/h - 13/15 GHz									
33	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
34	C-QPSK/14MHz - 15 Mbps	-84	-6,55	-7,66	-77,4	25	-58,95	ENLACE DISPONÍVEL	-60,06	ENLACE DISPONÍVEL
35	4QAM/14MHz - 20 Mbps	-87	-6,55	-7,66	-77,4	24	-59,95	ENLACE DISPONÍVEL	-61,06	ENLACE DISPONÍVEL
36	16QAM/14MHz - 30 Mbps	-82	-6,55	-7,66	-77,4	22	-61,95	ENLACE DISPONÍVEL	-63,06	ENLACE DISPONÍVEL
37	16QAM/14MHz - 45 Mbps	-80	-6,55	-7,66	-77,4	21	-62,95	ENLACE DISPONÍVEL	-64,06	ENLACE DISPONÍVEL
38	128QAM/14MHz - 30 Mbps	-72	-6,55	-7,66	-77,4	21	-62,95	ENLACE DISPONÍVEL	-64,06	ENLACE DISPONÍVEL
39	34 mm/h - 13/15 GHz									
40	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
41	C-QPSK/14MHz - 15 Mbps	-84	-18,32	-22	-77,4	25	-70,72	ENLACE DISPONÍVEL	-74,4	ENLACE DISPONÍVEL
42	4QAM/14MHz - 20 Mbps	-87	-18,32	-22	-77,4	24	-71,72	ENLACE DISPONÍVEL	-75,4	ENLACE DISPONÍVEL
43	16QAM/14MHz - 30 Mbps	-82	-18,32	-22	-77,4	22	-73,72	ENLACE DISPONÍVEL	-77,4	ENLACE DISPONÍVEL
44	16QAM/14MHz - 45 Mbps	-80	-18,32	-22	-77,4	21	-74,72	ENLACE DISPONÍVEL	-78,4	ENLACE DISPONÍVEL
45	128QAM/14MHz - 30 Mbps	-72	-18,32	-22	-77,4	21	-74,72	ENLACE INDISPONÍVEL	-78,4	ENLACE INDISPONÍVEL
46	65 mm/h - 13/15 GHz									
47	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
48	C-QPSK/14MHz - 15 Mbps	-84	-29,53	-36,06	-77,4	25	-81,93	ENLACE DISPONÍVEL	-88,46	ENLACE INDISPONÍVEL
49	4QAM/14MHz - 20 Mbps	-87	-29,53	-36,06	-77,4	24	-82,93	ENLACE DISPONÍVEL	-89,46	ENLACE INDISPONÍVEL
50	16QAM/14MHz - 30 Mbps	-82	-29,53	-36,06	-77,4	22	-84,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-91,46	ENLACE INDISPONÍVEL
51	16QAM/14MHz - 45 Mbps	-80	-29,53	-36,06	-77,4	21	-85,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-92,46	ENLACE INDISPONÍVEL
52	128QAM/14MHz - 30 Mbps	-72	-29,53	-36,06	-77,4	21	-85,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-92,46	ENLACE INDISPONÍVEL
53	105 mm/h - 13/15 GHz									
54	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
55	C-QPSK/14MHz - 15 Mbps	-84	-35,8	-44,26	-77,4	25	-88,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-96,66	ENLACE INDISPONÍVEL
56	4QAM/14MHz - 20 Mbps	-87	-35,8	-44,26	-77,4	24	-89,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-97,66	ENLACE INDISPONÍVEL
57	16QAM/14MHz - 30 Mbps	-82	-35,8	-44,26	-77,4	22	-91,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-99,66	ENLACE INDISPONÍVEL
58	16QAM/14MHz - 45 Mbps	-80	-35,8	-44,26	-77,4	21	-92,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-100,66	ENLACE INDISPONÍVEL
59	128QAM/14MHz - 30 Mbps	-72	-35,8	-44,26	-77,4	21	-92,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-100,66	ENLACE INDISPONÍVEL
60	145 mm/h - 13/15 GHz									
61	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
62	C-QPSK/14MHz - 15 Mbps	-84	-51,52	-64,24	-77,4	25	-103,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-116,64	ENLACE INDISPONÍVEL
63	4QAM/14MHz - 20 Mbps	-87	-51,52	-64,24	-77,4	24	-104,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-117,64	ENLACE INDISPONÍVEL
64	16QAM/14MHz - 30 Mbps	-82	-51,52	-64,24	-77,4	22	-106,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-119,64	ENLACE INDISPONÍVEL
65	16QAM/14MHz - 45 Mbps	-80	-51,52	-64,24	-77,4	21	-107,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-120,64	ENLACE INDISPONÍVEL
66	128QAM/14MHz - 30 Mbps	-72	-51,52	-64,24	-77,4	21	-107,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-120,64	ENLACE INDISPONÍVEL
67										
68	12 mm/h - 13/15 GHz									
69	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
70	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-6,55	-7,66	-77,4	25	-58,95	ENLACE DISPONÍVEL	-60,06	ENLACE DISPONÍVEL
71	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-6,55	-7,66	-77,4	24	-59,95	ENLACE DISPONÍVEL	-61,06	ENLACE DISPONÍVEL
72	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-6,55	-7,66	-77,4	22	-61,95	ENLACE DISPONÍVEL	-63,06	ENLACE DISPONÍVEL
73	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-6,55	-7,66	-77,4	21	-62,95	ENLACE DISPONÍVEL	-64,06	ENLACE DISPONÍVEL
74	34 mm/h - 13/15 GHz									
75	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
76	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-18,32	-22	-77,4	25	-70,72	ENLACE DISPONÍVEL	-74,4	ENLACE DISPONÍVEL
77	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-18,32	-22	-77,4	24	-71,72	ENLACE DISPONÍVEL	-75,4	ENLACE DISPONÍVEL
78	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-18,32	-22	-77,4	22	-73,72	ENLACE DISPONÍVEL	-77,4	ENLACE INDISPONÍVEL
79	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-18,32	-22	-77,4	21	-74,72	ENLACE INDISPONÍVEL	-78,4	ENLACE INDISPONÍVEL
80	65 mm/h - 13/15 GHz									
81	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
82	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-29,53	-36,06	-77,4	25	-81,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-88,46	ENLACE INDISPONÍVEL
83	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-29,53	-36,06	-77,4	24	-82,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-89,46	ENLACE INDISPONÍVEL
84	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-29,53	-36,06	-77,4	22	-84,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-91,46	ENLACE INDISPONÍVEL
85	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-29,53	-36,06	-77,4	21	-85,93	ENLACE INDISPONÍVEL	-92,46	ENLACE INDISPONÍVEL

86	105 mm/h - 13/15 GHz									
87	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
88	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-35,8	-44,26	-77,4	25	-88,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-96,66	ENLACE INDISPONÍVEL
89	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-35,8	-44,26	-77,4	24	-89,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-97,66	ENLACE INDISPONÍVEL
90	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-35,8	-44,26	-77,4	22	-91,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-99,66	ENLACE INDISPONÍVEL
91	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-35,8	-44,26	-77,4	21	-92,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-100,66	ENLACE INDISPONÍVEL
92	145 mm/h - 13/15 GHz									
93	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
94	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-51,52	-64,24	-77,4	25	-103,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-116,64	ENLACE INDISPONÍVEL
95	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-51,52	-64,24	-77,4	24	-104,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-117,64	ENLACE INDISPONÍVEL
96	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-51,52	-64,24	-77,4	22	-106,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-119,64	ENLACE INDISPONÍVEL
97	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-51,52	-64,24	-77,4	21	-107,92	ENLACE INDISPONÍVEL	-120,64	ENLACE INDISPONÍVEL
98										

Após realizados os cálculos matemáticos acima, pode-se observar que a modulação adaptativa é de extrema importância, pois em vários enlaces de rádio em uma determinada taxa pluviométrica percebe-se que se não tivesse esta função habilitada haveria a perda de comunicação entre os rádios, por exemplo, na configuração da Tabela 8. Neste caso o rádio sofreria uma atenuação devido a chuva no valor de -18,32 dB ou -22 dB, diferenciando na polarização de instalação, sendo que quando o enlace está configurado para 128QAM/28 MHz – 155 Mbps, nas duas polarizações ocorre a perda de comunicação entre os equipamentos, sendo necessário que os mesmos comutem para uma configuração menor 16QAM/28 MHz – 90 Mbps. Mesmo tendo uma diminuição na capacidade de transmissão, o link não perderia a comunicação quando se fosse utilizada a polarização vertical e indisponível na orientação horizontal, isso devido as atenuações nas polarizações verticais forem menores que nas horizontais. Este efeito da modulação adaptativa é devido o limiar de recepção ser -77 dBm e não -69 dBm, mas com a condição que o tráfego irá diminuir.

Tabela 8 - Cálculo de atenuações e análises de comunicação para uma taxa pluviométrica de 34 mm/h

74	34 mm/h - 13/15 GHz									
75	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
76	C-QPSK/28MHz - 30 Mbps	-81	-18,32	-22	-77,4	25	-70,72	ENLACE DISPONÍVEL	-74,4	ENLACE DISPONÍVEL
77	16QAM/28MHz - 60 Mbps	-79	-18,32	-22	-77,4	24	-71,72	ENLACE DISPONÍVEL	-75,4	ENLACE DISPONÍVEL
78	16QAM/28MHz - 90 Mbps	-77	-18,32	-22	-77,4	22	-73,72	ENLACE DISPONÍVEL	-77,4	ENLACE INDISPONÍVEL
79	128QAM/28MHz - 155 Mbps	-69	-18,32	-22	-77,4	21	-74,72	ENLACE INDISPONÍVEL	-78,4	ENLACE INDISPONÍVEL

Através do exemplo anterior e pelos cálculos matemáticos, pode-se concluir que as atenuações devido a chuvas quando os equipamentos de rádio utilizam a orientação vertical é menor quando operadas pela horizontal, sendo de extrema importância na performance de um link. A seguir pode-se observar pela Figura 88 as atenuações utilizadas neste laboratório, sendo que as mesmas são interferidas pela frequência em operação, taxa pluviométrica e a polarização.

Neste exemplo realiza-se os cálculos para a frequência 13/15 GHz nas duas polarizações e altera-se apenas a taxa pluviométrica para a análise do desempenho das atenuações em diferentes intensidades de chuvas. Sendo assim, pode-se concluir que realmente as atenuações para a polarização horizontal são mais severas, intensificando acima de 105 mm/h e estes parâmetros influenciam diretamente no atendimento de uma localidade e na performance do link de rádio.

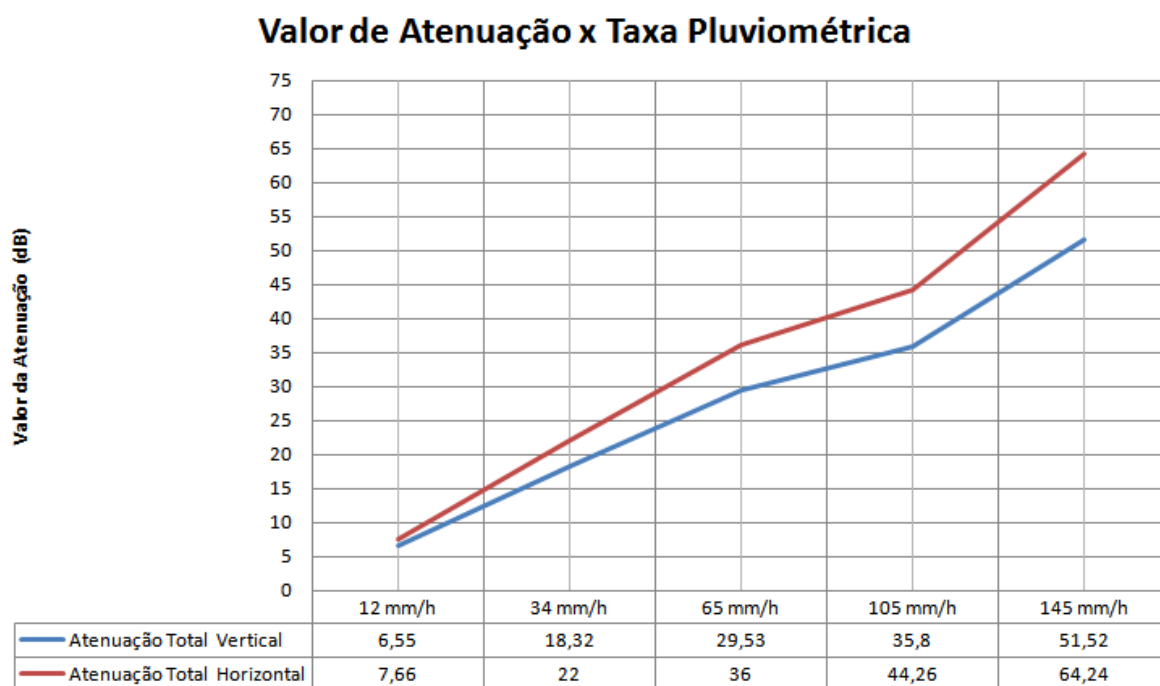


Figura 88 - Valor de Atenuação (dB) por taxa pluviométrica

Através dos cálculos iniciais, a seguir pode-se observar novamente o comportamento das polarizações verticais e horizontais, mas o intuito será a análise do desempenho de um enlace de rádio configurado na modulação de 16 QAM, uma largura de banda de 7 MHz com uma capacidade de transmissão de 15 Mbps e tendo assim um limiar de -85 dBm de acordo com o Datasheet do fabricante

Ericsson e que sofra intensidades de chuvas de diferente valores e assim observa-se qual seria o comportamento do link de rádio.

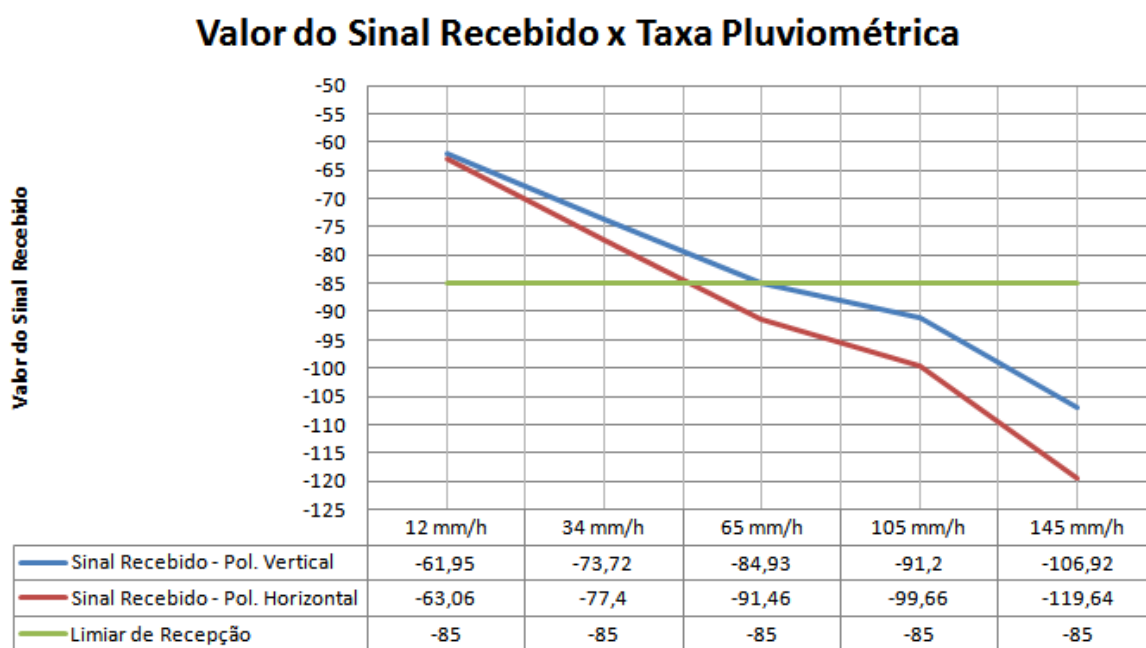


Figura 89 - Comportamento do enlace de rádio em vários valores de taxa pluviométrica

A partir da Figura 89, pode-se concluir que um rádio configurado nas especificações mencionadas, teria indisponibilidade total nas duas polarizações quando estivesse sendo afetado por uma intensidade de chuva de 105 mm/h, mas este link poderia não ter perdido a comunicação caso estivesse instalado em uma polarização vertical sob condições da taxa pluviométrica no valor de 65 mm/h, mas na orientação horizontal este enlace de rádio estaria indisponível necessitando uma alteração de modulação do rádio. Mas nestas configurações, pode-se afirmar que para um enlace de rádio em qualquer polarização sob condições de 34 mm/h de intensidade de chuva, o link de rádio estaria em funcionamento, não necessitando a função da modulação adaptativa.

Neste próximo exemplo, mostra-se neste momento através de gráfico a importância de uma função de modulação adaptativa no rádio Mini-Link Tn Ericsson, pois coloca-se o rádio em laboratório por meio de cálculos sob a condição de uma taxa pluviométrica no valor de 105 mm/h e configurações no rádio como 64 QAM/7

MHz – 30 Mbps como máximo e mínimo sendo C-QPSK/7MHz – 7,5 MHz, conforme pode-se observar pelos dados a seguir.

Tabela 9 - Informações sobre a análise de comunicação do link utilizaem váris modulação e a largura de banda fixa em 7 MHz

19	105 mm/h - 13/15 GHz									
20	Modulação	Limiar de Recepção	Atenuação Vertical	Atenuação Horizontal	Atenuação física	Potência de Transmissão	Potência de Recepção (Polarização Vertical)	Análise - Polarização Vertical	Potência de Recepção (Polarização Horizontal)	Análise - Polarização Horizontal
21	C-QPSK/7MHz - 7,5 Mbps	-87	-35,8	-44,26	-77,4	25	-88,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-96,66	ENLACE INDISPONÍVEL
22	4QAM/7MHz - 10 Mbps	-90	-35,8	-44,26	-77,4	24	-89,2	ENLACE DISPONÍVEL	-97,66	ENLACE INDISPONÍVEL
23	16QAM/7MHz - 15 Mbps	-85	-35,8	-44,26	-77,4	22	-91,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-99,66	ENLACE INDISPONÍVEL
24	64QAM/7MHz - 30 Mbps	-76	-35,8	-44,26	-77,4	21	-92,2	ENLACE INDISPONÍVEL	-100,66	ENLACE INDISPONÍVEL

Sendo assim, observa-se que o link estaria indisponível nestas configurações atuais, necessitando que as unidades de RF comutem para a modulação abaixo e assim faça uma análise se a modulação 16 QAM/7Mhz -15 Mbps possa suportar as atenuações nas polarizações verticais e horizontais. Pode-se observar pelo gráfico abaixo que a modulação adaptativa é de extrema importância, pois neste link de rádio a modulação teria que estar configurada para 4QAM/7MHz e apenas 10 Mbps para que o enlace de rádio possua comunicação entre os equipamentos, mas também só na polarização vertical onde possui uma menor atenuação devido a chuva.

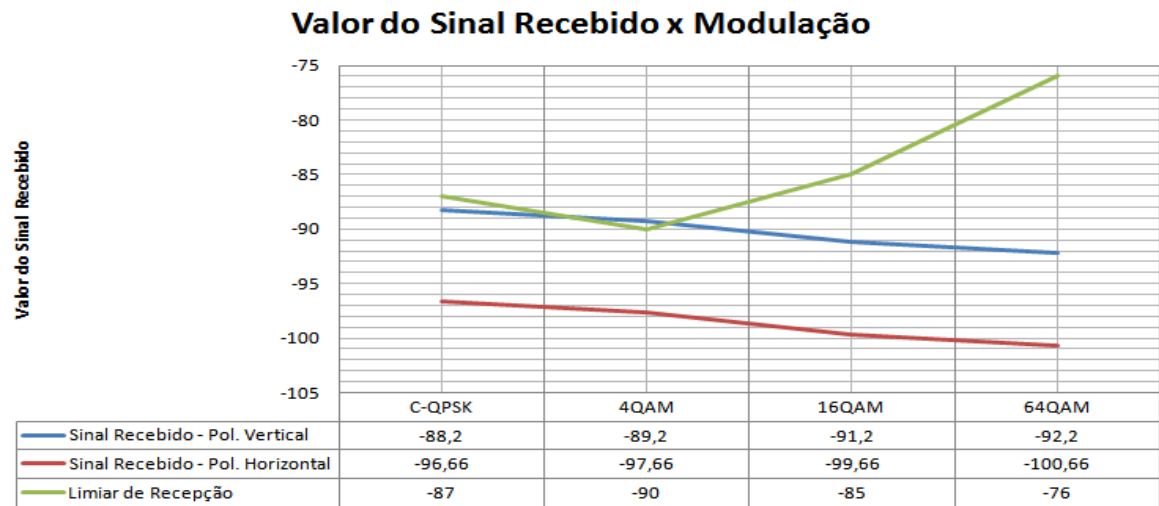


Figura 90 - Valor do sinal recebido x modulação mostrando os pontos em que o link permaneceria em comunicação

Capítulo 5

Conclusões, contribuições deste trabalho e trabalhos futuros

Os enlaces de microondas são links formados por um intervalo de 300 MHz até 30 GHz, o qual essa tecnologia utilizam ondas eletromagnéticas para alcançarem um ponto desejado através de equipamentos e antenas de acordo com a frequência em operação.

Atualmente, um meio de transmissão através de enlace de rádio, é cada vez mais utilizado pelas operadoras de telecomunicações em conjunto com a fibra óptica, sendo que esta última sobressai na capacidade de transmissão.

Neste trabalho pode-se concluir que através do capítulo desenvolvimento teórico, que a utilização fator de correção da Terra – k é de grande importância, pois há a necessidade da utilização dos dois valores, o $K_{\text{médio}}$ e o $K_{\text{mínimo}}$, sempre esses relacionados a liberação total ou parcial da zona de Fresnel de acordo com a frequência em operação. Este fator de correção mostra através de projeto de dimensionamento de enlace de rádio que, se diminui-se o valor de k , o enlace ficará mais severo, pois o raio equivalente tende a diminuir, ocasionando o aumento da altitude do relevo topográfico, sendo possível obstruções do link de rádio dependendo da altura das antenas.

A zona de Fresnel é relacionada ao fator de correção da Terra- k , através da condição de 100% da zona de Fresnel para K igual a $4/3$ e 60% para o valor de $2/3$ e associando que esta região depende da frequência, onde quanto maior este valor, menor a distância entre a linha de visada até o arco da primeira zona.

Através das recomendações e gráficos elaborados, tem-se que as taxas pluviométricas são mais intensas na região P para as diferentes porcentagens ocasionando uma atuação relevante na degradação de serviços de telecomunicações. Associado a este tema pode-se relacionar através de cálculos realizados no desenvolvimento teórico que, as atenuações devido à chuvas são maiores de acordo com o aumento da frequência, o qual confirma a teoria que um

enlace operado com frequência superior a 10 GHz possui maior degradação do sinal recebido pela atenuação devido a chuva do que enlaces abaixo de 10 GHz.

Pode-se concluir também a confiabilidade dos softwares utilizados, pois através dos softwares teve-se uma diferença muito pequena entre o sinal recebido encontrado pelo CelPlan e comparado com o limiar visualizado pela gerência, o qual possui o link de rádio implantado.

Após realizado os laboratórios com instrumentais ligados nos rádios, tem-se que os links de rádio atuam em bom desempenho mesmo atenuando parte do sinal recebido, pois o link de rádio está entre a margem de segurança estabelecida em uma implantação não ultrapassando o limiar de recepção, o qual pela RFC 2544 não houve grandes diferenças nos valores encontrados nas duas situações com rádios Mini-Link TN. Mas, esta atenuação ocorrida possui um valor fixo, pois se ocasionar um aumento da atenuação e ultrapassar o limiar de recepção do rádio, este enlace perderia a comunicação total, onde a função de modulação adaptativa é de extrema importância porque permaneceria a comunicação do link mesmo com menor capacidade de transmissão e em uma modulação mais baixa.

Relacionado a modulação adaptativa, pode-se afirmar que uma taxa pluviométrica específica pode ser crucial na comunicação de um rádio, tendo que o link operar em outra modulação e capacidade de transmissão, mas sempre atento que as atenuações devido à chuvas também são influenciadas pela polarização vertical e horizontal, sendo que esta última contribui mais no valor final da atenuação do que a vertical.

De um modo geral, a comunicação entre um link de rádio deve ser configurado com modulação adaptativa, pois em caso de uma taxa pluviométrica alta, esta pode ser influenciadora na comunicação do enlace de rádio, podendo afetar mais uma instalação com orientação horizontal ocasionando com que o rádio comute para uma modulação e capacidade de transmissão inferior, mas com o objetivo de manter o link de rádio em comunicação, pois a potência de transmissão aumenta e o limiar de recepção ficará mais severo.

Os estudos de enlaces de microondas podem ser acrescentados aos cálculos sobre dimensionamento do enlace de rádio dando ênfase a outras atenuações, por exemplo atmosféricas. Incorporados também a metodologia de cálculo de desempenho e disponibilidade, cálculo de interferência e entre outras técnicas para

a otimização do desempenho de um enlace de rádio e até mesmo efetuar experiências em relação a sistemas de redes móveis.

Referências

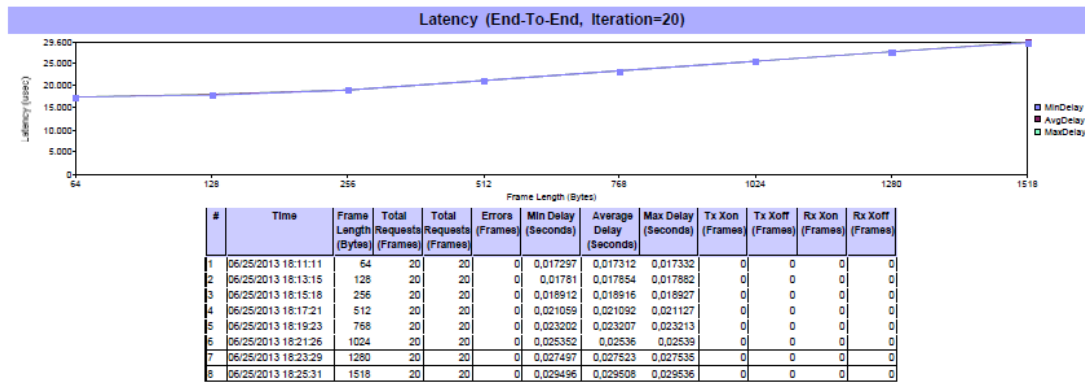
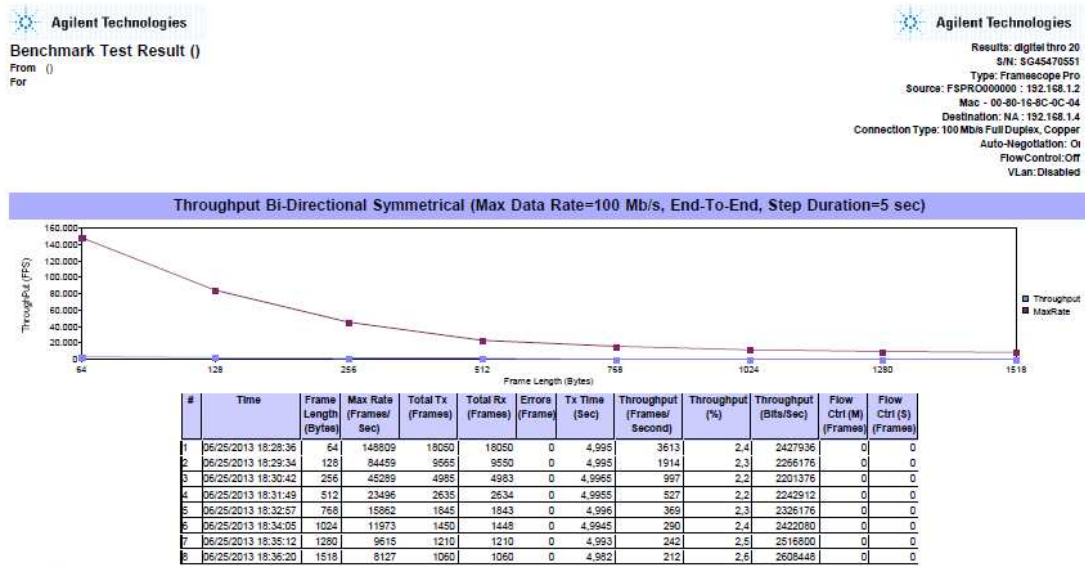
- [1] CESAR DE OLIVEIRA MEDEIROS,J. **Princípios de Telecomunicações**. São Paulo: Érica, 2005. p. 5.
- [2] SILVA,G.,BARRADAS,O. **Sistemas Radiovisibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1978.
- [3] ARANTES CARRIJO,G. **Antenas e Propagação: Apêndice A**. Uberlândia: UFU.
- [4] MITSUGO MIYOSHI,E.,ALBERTO SANCHES,C. **Projetos de Sistemas de Rádio**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2010.
- [5] CASTRO VASCONCELOS,F. **Sistemas de Telecom 2**. Uberlândia: Pitágoras. 2010,. p.6.
- [6] PATHLOSS 4.0. Disponível em: <<http://www.pathloss.com/>>. Acesso em: 12 de março de 2013
- [7] GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/download/ge/>>. Acesso em: 15 de março de 2013
- [8] TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.tecnologia.terra.com.br/interna/0,,OI584834-EI4798,00.html>>. Acesso em: 15 de março de 2013
- [9] UEN J. **Mini-Link TN R4 ETSI: Ericsson**. Suíça. 2010,. 224 p.
- [10] DIGITEL. **Manual de Instalação: Digitel**. Porto Alegre 2009. 72 p.

Recomendações ITU-R

P.838-3 -Specific attenuation model for rain for use in prediction methods,1992-1999-2003-2005

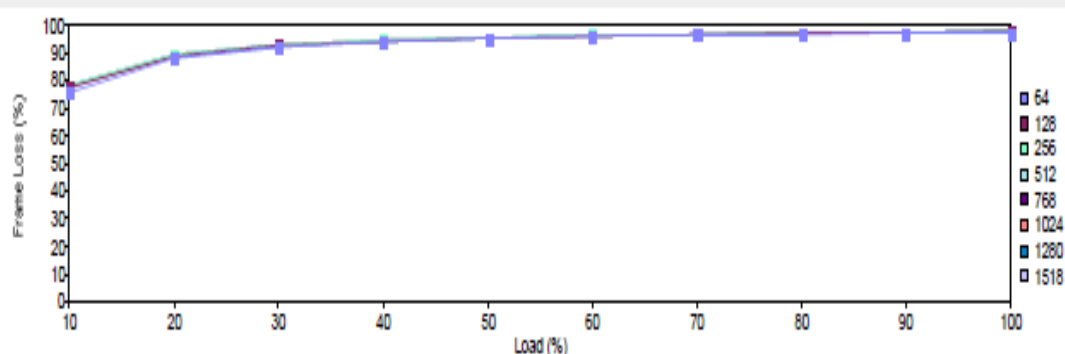
P.530-7 - PROPAGATION DATA AND PREDICTION METHODS REQUIRED FOR THE DESIGN OF TERRESTRIAL LINE-OF-SIGHT SYSTEMS, 1978-1982-1986-1990-1992-1994-1995-1997

ANEXO 1 – RFC 2544 RÁDIO DIGITEL



Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mb/s, End-To-End, Step Duration=10 sec)

Upstream Frame Loss

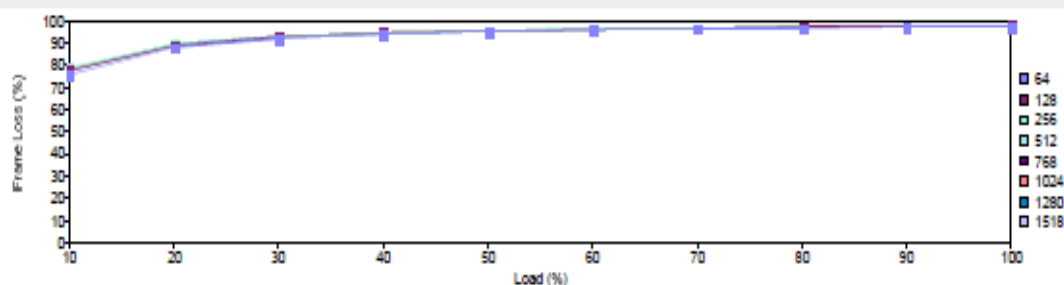


#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/25/2013 18:38:38	64	148809	100	1488090	35668	0	1452422	97,6	0	0
2	06/25/2013 18:38:52	64	133928	90	1339280	35741	0	1303539	97,3	0	0
3	06/25/2013 18:39:07	64	119047	80	1190470	35683	0	1154787	97,0	0	0
4	06/25/2013 18:39:22	64	104166	70	1041660	35694	0	1005966	96,6	0	0
5	06/25/2013 18:39:36	64	89285	60	892850	35707	0	857143	96,0	0	0
6	06/25/2013 18:39:51	64	74405	50	744050	35735	0	708315	95,2	0	0
7	06/25/2013 18:40:05	64	59524	40	595240	35761	0	559479	94,9	0	0
8	06/25/2013 18:40:20	64	44643	30	446430	35811	0	410619	92,0	0	0
9	06/25/2013 18:40:35	64	29762	20	297620	35888	0	261732	87,9	0	0
10	06/25/2013 18:40:50	64	14881	10	148810	35892	0	112918	75,9	0	0
11	06/25/2013 18:41:04	128	84459	100	844590	18809	0	825781	97,8	0	0
12	06/25/2013 18:41:19	128	76013	90	760130	18756	0	741374	97,5	0	0
13	06/25/2013 18:41:34	128	67567	80	675670	18758	0	656912	97,2	0	0
14	06/25/2013 18:41:48	128	59121	70	591210	18817	0	572393	96,8	0	0
15	06/25/2013 18:42:03	128	50675	60	506750	18851	0	487899	96,3	0	0
16	06/25/2013 18:42:18	128	42230	50	422300	18864	0	403436	95,5	0	0
17	06/25/2013 18:42:32	128	33784	40	337840	18758	0	319082	94,4	0	0
18	06/25/2013 18:42:47	128	25338	30	253380	18857	0	234523	92,6	0	0
19	06/25/2013 18:43:02	128	16892	20	168920	18876	0	150044	88,8	0	0
20	06/25/2013 18:43:17	128	8446	10	84460	18872	0	65588	77,7	0	0
21	06/25/2013 18:43:31	256	45289	100	452890	9674	0	443216	97,9	0	0
22	06/25/2013 18:43:46	256	40760	90	407600	9668	0	397932	97,6	0	0
23	06/25/2013 18:44:00	256	36231	80	362310	9712	0	352598	97,3	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
24	06/25/2013 18:44:15	256	31702	70	317020	9718	0	307302	96,9	0	0
25	06/25/2013 18:44:30	256	27173	60	271730	9718	0	262012	96,4	0	0
26	06/25/2013 18:44:45	256	22645	50	226450	9716	0	216734	95,7	0	0
27	06/25/2013 18:44:59	256	18116	40	181160	9717	0	171443	94,6	0	0
28	06/25/2013 18:45:14	256	13587	30	135870	9719	0	126151	92,8	0	0
29	06/25/2013 18:45:29	256	9058	20	90580	9717	0	80863	89,3	0	0
30	06/25/2013 18:45:43	256	4529	10	45290	9717	0	35573	78,5	0	0
31	06/25/2013 18:45:58	512	23496	100	234960	5019	0	229941	97,9	0	0
32	06/25/2013 18:46:13	512	21146	90	211460	5018	0	206442	97,6	0	0
33	06/25/2013 18:46:28	512	18797	80	187970	5018	0	182952	97,3	0	0
34	06/25/2013 18:46:42	512	16447	70	164470	5020	0	159450	96,9	0	0
35	06/25/2013 18:46:57	512	14098	60	140980	5018	0	135962	96,4	0	0
36	06/25/2013 18:47:12	512	11748	50	117480	5020	0	112460	95,7	0	0
37	06/25/2013 18:47:26	512	9398	40	93980	5018	0	88962	94,7	0	0
38	06/25/2013 18:47:41	512	7049	30	70490	5020	0	65470	92,9	0	0
39	06/25/2013 18:47:56	512	4699	20	46990	5017	0	41973	89,3	0	0
40	06/25/2013 18:48:11	512	2350	10	23500	5018	0	18482	78,5	0	0
41	06/25/2013 18:48:25	768	15862	100	158620	3438	0	155182	97,8	0	0
42	06/25/2013 18:48:40	768	14276	90	142760	3437	0	139323	97,6	0	0
43	06/25/2013 18:48:55	768	12690	80	126900	3438	0	123462	97,3	0	0
44	06/25/2013 18:49:09	768	11103	70	111030	3439	0	107591	96,9	0	0
45	06/25/2013 18:49:24	768	9517	60	95170	3437	0	91733	96,4	0	0
46	06/25/2013 18:49:39	768	7931	50	79310	3437	0	75873	95,7	0	0
47	06/25/2013 18:49:53	768	6345	40	63450	3439	0	60011	94,6	0	0
48	06/25/2013 18:50:08	768	4759	30	47590	3438	0	44152	92,8	0	0
49	06/25/2013 18:50:23	768	3172	20	31720	3437	0	28283	89,2	0	0
50	06/25/2013 18:50:38	768	1586	10	15860	3437	0	12423	78,3	0	0
51	06/25/2013 18:50:52	1024	11973	100	119730	2645	0	117085	97,8	0	0
52	06/25/2013 18:51:07	1024	10776	90	107760	2645	0	105115	97,5	0	0
53	06/25/2013 18:51:22	1024	9578	80	95780	2645	0	93135	97,2	0	0
54	06/25/2013 18:51:36	1024	8381	70	83810	2644	0	81166	96,8	0	0
55	06/25/2013 18:51:51	1024	7184	60	71840	2645	0	69195	96,3	0	0
56	06/25/2013 18:52:06	1024	5987	50	59870	2644	0	57226	95,6	0	0
57	06/25/2013 18:52:21	1024	4789	40	47890	2645	0	45245	94,5	0	0
58	06/25/2013 18:52:35	1024	3592	30	35920	2645	0	33275	92,6	0	0
59	06/25/2013 18:52:50	1024	2395	20	23950	2645	0	21305	89	0	0
60	06/25/2013 18:53:05	1024	1197	10	11970	2644	0	9326	77,9	0	0
61	06/25/2013 18:53:19	1280	9615	100	96150	2168	0	93982	97,7	0	0
62	06/25/2013 18:53:34	1280	8654	90	86540	2168	0	84372	97,5	0	0
63	06/25/2013 18:53:49	1280	7692	80	76920	2168	0	74752	97,2	0	0
64	06/25/2013 18:54:04	1280	6731	70	67310	2168	0	65142	96,8	0	0
65	06/25/2013 18:54:18	1280	5769	60	57690	2168	0	55522	96,2	0	0
66	06/25/2013 18:54:33	1280	4808	50	48080	2168	0	45912	95,5	0	0
67	06/25/2013 18:54:48	1280	3846	40	38460	2168	0	36292	94,4	0	0
68	06/25/2013 18:55:02	1280	2885	30	28850	2168	0	26682	92,5	0	0
69	06/25/2013 18:55:17	1280	1923	20	19230	2168	0	17062	88,7	0	0
70	06/25/2013 18:55:32	1280	962	10	9620	2168	0	7452	77,5	0	0
71	06/25/2013 18:55:46	1518	8127	100	81270	1869	0	79401	97,7	0	0
72	06/25/2013 18:56:01	1518	7314	90	73140	1870	0	71270	97,4	0	0
73	06/25/2013 18:56:16	1518	6502	80	65020	1869	0	63151	97,1	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
74	06/25/2013 18:56:30	1518	5689	70	56890	1869	0	55021	96,7	0	0
75	06/25/2013 18:56:45	1518	4876	60	48760	1869	0	46891	96,2	0	0
76	06/25/2013 18:57:00	1518	4064	50	40640	1870	0	38770	95,4	0	0
77	06/25/2013 18:57:15	1518	3251	40	32510	1870	0	30640	94,2	0	0
78	06/25/2013 18:57:29	1518	2438	30	24380	1869	0	22511	92,3	0	0
79	06/25/2013 18:57:44	1518	1625	20	16250	1869	0	14381	88,5	0	0
80	06/25/2013 18:57:59	1518	813	10	8130	1869	0	6261	77	0	0

Downstream Frame Loss



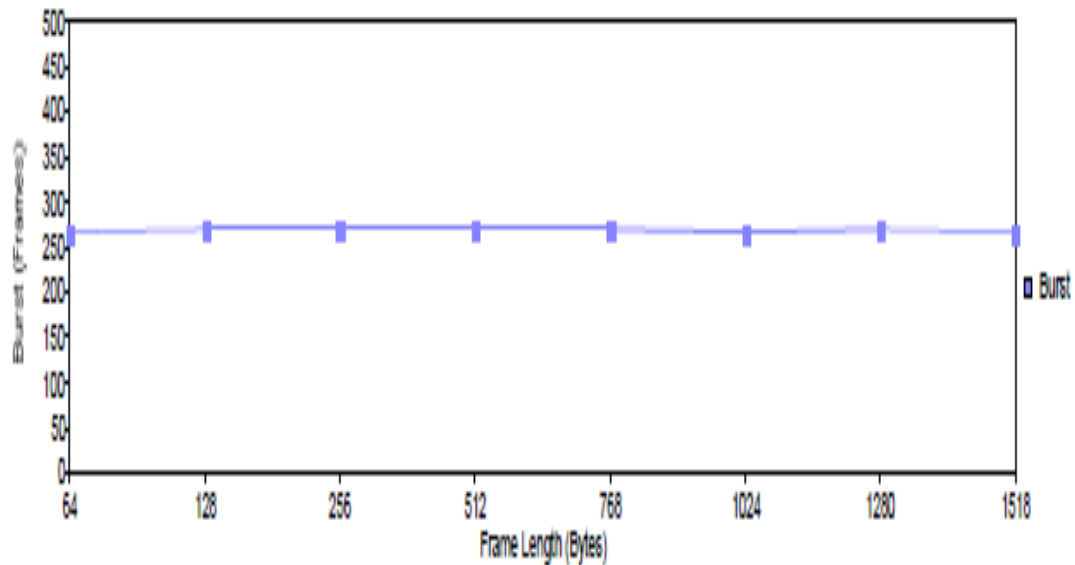
#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/25/2013 18:38:38	64	148809	100	1488090	35675	0	1452415	97,6	0	0
2	06/25/2013 18:38:52	64	133928	90	1339280	35737	0	1303543	97,3	0	0
3	06/25/2013 18:39:07	64	119047	80	1190470	35690	0	1154780	97	0	0
4	06/25/2013 18:39:22	64	104166	70	1041660	35690	0	1005970	96,6	0	0
5	06/25/2013 18:39:36	64	89285	60	892850	35704	0	857146	96	0	0
6	06/25/2013 18:39:51	64	74405	50	744050	35731	0	708319	95,2	0	0
7	06/25/2013 18:40:05	64	59524	40	595240	35757	0	559483	94	0	0
8	06/25/2013 18:40:20	64	44643	30	446430	35814	0	410616	92	0	0
9	06/25/2013 18:40:35	64	29762	20	297620	35888	0	261732	87,9	0	0
10	06/25/2013 18:40:50	64	14881	10	148810	35899	0	112911	75,9	0	0
11	06/25/2013 18:41:04	128	84459	100	844590	18762	0	825828	97,8	0	0
12	06/25/2013 18:41:19	128	76013	90	760130	18706	0	741424	97,5	0	0
13	06/25/2013 18:41:34	128	67567	80	675670	18706	0	656964	97,2	0	0
14	06/25/2013 18:41:48	128	59121	70	591210	18780	0	572430	96,8	0	0
15	06/25/2013 18:42:03	128	50675	60	506750	18799	0	487951	96,3	0	0
16	06/25/2013 18:42:18	128	42230	50	422300	18817	0	403483	95,5	0	0
17	06/25/2013 18:42:32	128	33784	40	337840	18706	0	319134	94,5	0	0
18	06/25/2013 18:42:47	128	25338	30	253380	18820	0	234560	92,6	0	0
19	06/25/2013 18:43:02	128	16892	20	168920	18824	0	150096	88,9	0	0
20	06/25/2013 18:43:17	128	8446	10	84460	18820	0	65640	77,7	0	0
21	06/25/2013 18:43:31	256	45289	100	452890	9667	0	443223	97,9	0	0
22	06/25/2013 18:43:46	256	40760	90	407600	9677	0	397923	97,6	0	0
23	06/25/2013 18:44:00	256	36231	80	362310	9722	0	352588	97,3	0	0
24	06/25/2013 18:44:15	256	31702	70	317020	9727	0	307293	96,9	0	0
25	06/25/2013 18:44:30	256	27173	60	271730	9727	0	262003	96,4	0	0
26	06/25/2013 18:44:45	256	22645	50	226450	9728	0	216722	95,7	0	0
27	06/25/2013 18:44:59	256	18116	40	181160	9729	0	171431	94,6	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
28	06/25/2013 18:45:14	256	13587	30	135870	9729	0	126141	92.8	0	0
29	06/25/2013 18:45:29	256	9058	20	90580	9710	0	80870	89.3	0	0
30	06/25/2013 18:45:43	256	4529	10	45290	9726	0	35564	78.5	0	0
31	06/25/2013 18:45:58	512	23496	100	234960	5018	0	229942	97.9	0	0
32	06/25/2013 18:46:13	512	21146	90	211460	5018	0	206442	97.6	0	0
33	06/25/2013 18:46:28	512	18797	80	187970	5017	0	182933	97.3	0	0
34	06/25/2013 18:46:42	512	16447	70	164470	5018	0	159452	96.9	0	0
35	06/25/2013 18:46:57	512	14098	60	140980	5017	0	135963	96.4	0	0
36	06/25/2013 18:47:12	512	11748	50	117480	5017	0	112463	95.7	0	0
37	06/25/2013 18:47:26	512	9398	40	93980	5017	0	88963	94.7	0	0
38	06/25/2013 18:47:41	512	7049	30	70490	5018	0	65472	92.9	0	0
39	06/25/2013 18:47:56	512	4699	20	46990	5018	0	41972	89.3	0	0
40	06/25/2013 18:48:11	512	2350	10	23500	5017	0	18483	78.7	0	0
41	06/25/2013 18:48:25	768	15862	100	158620	3438	0	155182	97.8	0	0
42	06/25/2013 18:48:40	768	14276	90	142760	3437	0	139323	97.6	0	0
43	06/25/2013 18:48:55	768	12690	80	126900	3437	0	123463	97.3	0	0
44	06/25/2013 18:49:09	768	11103	70	111030	3438	0	107592	96.9	0	0
45	06/25/2013 18:49:24	768	9517	60	95170	3437	0	91733	96.4	0	0
46	06/25/2013 18:49:39	768	7931	50	79310	3438	0	75872	95.7	0	0
47	06/25/2013 18:49:53	768	6345	40	63450	3437	0	60013	94.6	0	0
48	06/25/2013 18:50:08	768	4759	30	47590	3438	0	44152	92.8	0	0
49	06/25/2013 18:50:23	768	3172	20	31720	3437	0	28283	89.2	0	0
50	06/25/2013 18:50:38	768	1586	10	15860	3437	0	12423	78.3	0	0
51	06/25/2013 18:50:52	1024	11973	100	119730	2644	0	117086	97.8	0	0
52	06/25/2013 18:51:07	1024	10776	90	107760	2644	0	105116	97.5	0	0
53	06/25/2013 18:51:22	1024	9578	80	95780	2644	0	93136	97.2	0	0
54	06/25/2013 18:51:36	1024	8381	70	83810	2644	0	81166	96.8	0	0
55	06/25/2013 18:51:51	1024	7184	60	71840	2644	0	69196	96.3	0	0
56	06/25/2013 18:52:06	1024	5987	50	59870	2644	0	57226	95.6	0	0
57	06/25/2013 18:52:21	1024	4789	40	47890	2644	0	45246	94.5	0	0
58	06/25/2013 18:52:35	1024	3592	30	35920	2644	0	33276	92.6	0	0
59	06/25/2013 18:52:50	1024	2395	20	23950	2644	0	21306	89	0	0
60	06/25/2013 18:53:05	1024	1197	10	11970	2644	0	9326	77.9	0	0
61	06/25/2013 18:53:19	1280	9615	100	96150	2168	0	93982	97.7	0	0
62	06/25/2013 18:53:34	1280	8654	90	86540	2169	0	84371	97.5	0	0
63	06/25/2013 18:53:49	1280	7692	80	76920	2168	0	74752	97.2	0	0
64	06/25/2013 18:54:04	1280	6731	70	67310	2168	0	65142	96.8	0	0
65	06/25/2013 18:54:18	1280	5769	60	57690	2169	0	55521	96.2	0	0
66	06/25/2013 18:54:33	1280	4808	50	48080	2168	0	45912	95.5	0	0
67	06/25/2013 18:54:48	1280	3846	40	38460	2169	0	36291	94.4	0	0
68	06/25/2013 18:55:02	1280	2885	30	28850	2168	0	26682	92.5	0	0
69	06/25/2013 18:55:17	1280	1923	20	19230	2169	0	17061	88.7	0	0
70	06/25/2013 18:55:32	1280	962	10	9620	2168	0	7452	77.5	0	0
71	06/25/2013 18:55:46	1518	8127	100	81270	1869	0	79401	97.7	0	0
72	06/25/2013 18:56:01	1518	7314	90	73140	1869	0	71271	97.4	0	0
73	06/25/2013 18:56:16	1518	6502	80	65020	1870	0	63150	97.1	0	0
74	06/25/2013 18:56:30	1518	5689	70	56890	1869	0	55021	96.7	0	0
75	06/25/2013 18:56:45	1518	4876	60	48760	1870	0	46890	96.2	0	0
76	06/25/2013 18:57:00	1518	4064	50	40640	1869	0	38771	95.4	0	0
77	06/25/2013 18:57:15	1518	3251	40	32510	1869	0	30641	94.3	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
78	06/25/2013 18:57:29	1518	2438	30	24380	1870	0	22510	92.3	0	0
79	06/25/2013 18:57:44	1518	1625	20	16250	1869	0	14381	88.5	0	0
80	06/25/2013 18:57:59	1518	813	10	8130	1869	0	6261	77	0	0

Remarks

Back to Back Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mb/s, End-To-End, Step Duration=2 sec)



#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Burst (Frames)	Flow Ctr (M) (Frames)	Flow Ctr (S) (Frames)
1	06/25/2013 19:00:37	64	148809	266	262	0	265	0	0
2	06/25/2013 19:07:31	128	84459	271	261	0	271	0	0
3	06/25/2013 19:15:35	256	45289	270	261	0	270	0	0
4	06/25/2013 19:22:29	512	23496	269	261	0	269	0	0
5	06/25/2013 19:29:01	768	15862	269	261	0	269	0	0
6	06/25/2013 19:35:10	1024	11973	266	261	0	266	0	0
7	06/25/2013 19:40:56	1280	9615	270	261	0	270	0	0
8	06/25/2013 19:46:43	1518	8127	269	261	0	268	0	0

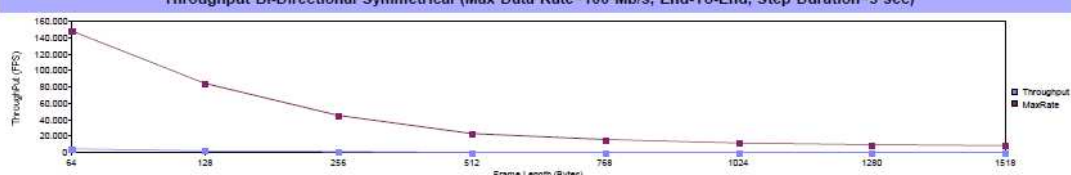
Remarks

ANEXO 2 - RFC 2544 RÁDIO MINI-LINK TN – Potência 5 dBm

Agilent Technologies
Benchmark Test Result ()
From ()
For

Agilent Technologies
Results: mltm thro 5
S/N: 5G45470551
Type: Framescope Pro
Source: FSPRO000000 : 192.168.1.2
Mac : 00-40-16-8C-0C-04
Destination: NA : 192.168.1.4
Connection Type: 1000 Mb/s Full Duplex, Copper
Auto-Negotiation: On
FlowControl: Off
VLAN: Disabled

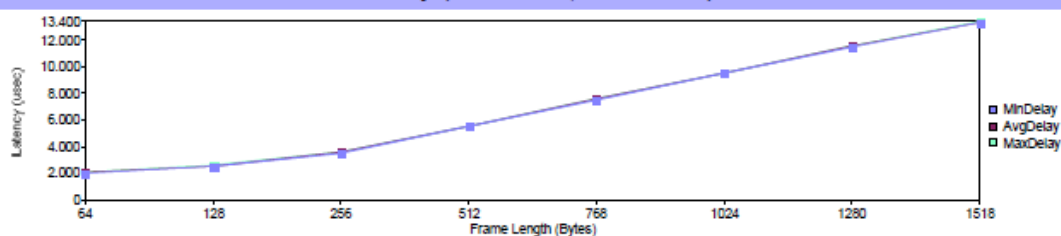
Throughput Bi-Directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mb/s, End-To-End, Step Duration=5 sec)



#	Time	Frame Length (Bytes)	Max Rate (Frames/Sec)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Tx Time (Sec)	Throughput (Frames/Second)	Throughput (%)	Throughput (Bits/Sec)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/26/2013 15:37:13	64	148809	19045	19032	0	4.996	3811	2.6	2560992	0	0
2	06/26/2013 15:38:11	128	84459	9810	9797	0	5.006	1959	2.3	2319456	0	0
3	06/26/2013 15:39:18	256	45299	4980	4979	0	4.996	996	2.2	2199168	0	0
4	06/26/2013 15:40:26	512	23496	2510	2507	0	4.994	502	2.1	2136512	0	0
5	06/26/2013 15:41:33	768	15862	1620	1620	0	4.995	324	2	2042496	0	0
6	06/26/2013 15:43:20	1024	11973	1260	1259	0	4.995	252	2.1	2104704	0	0
7	06/26/2013 15:44:27	1280	9615	985	985	0	4.979	197	2	2045800	0	0
8	06/26/2013 15:45:25	1518	6127	805	805	0	4.961	162	2	1993248	0	0

Remarks

Latency (End-To-End, Iteration=20)

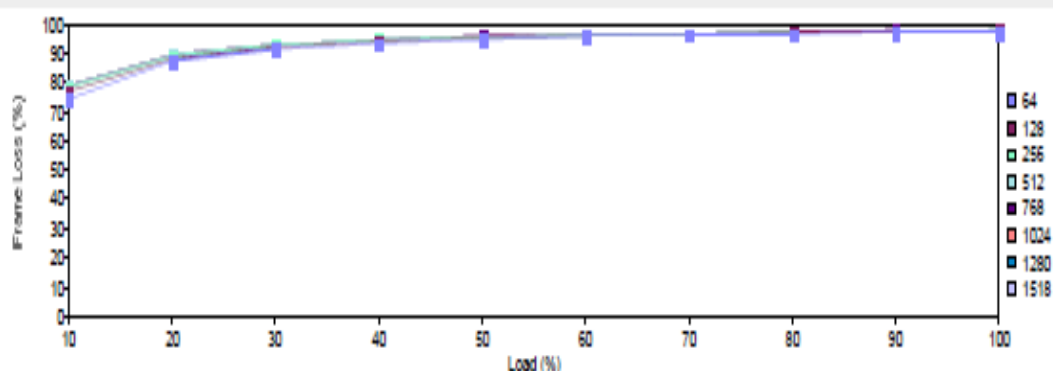


#	Time	Frame Length (Bytes)	Total Requests (Frames)	Total Responses (Frames)	Errors (Frames)	Min Delay (Seconds)	Average Delay (Seconds)	Max Delay (Seconds)	Tx Xon (Frames)	Tx Xoff (Frames)	Rx Xon (Frames)	Rx Xoff (Frames)
1	06/26/2013 18:33:58	64	20	20	0	0,002071	0,002097	0,002119	0	0	0	0
2	06/26/2013 18:36:01	128	20	20	0	0,002566	0,002597	0,002615	0	0	0	0
3	06/26/2013 18:38:05	256	20	20	0	0,003566	0,003582	0,003603	0	0	0	0
4	06/26/2013 18:40:08	512	20	20	0	0,005544	0,005562	0,005578	0	0	0	0
5	06/26/2013 18:42:11	768	20	20	0	0,007524	0,007546	0,00757	0	0	0	0
6	06/26/2013 18:44:14	1024	20	19	1	0,009504	0,009528	0,009544	0	0	0	0
7	06/26/2013 18:46:17	1280	20	20	0	0,011492	0,011509	0,01153	0	0	0	0
8	06/26/2013 18:48:20	1518	20	20	0	0,013329	0,013352	0,01338	0	0	0	0

Remarks

Frame Loss Bi-Directional (Max Data Rate=100 Mb/s, End-To-End, Step Duration=10 sec)

Upstream Frame Loss

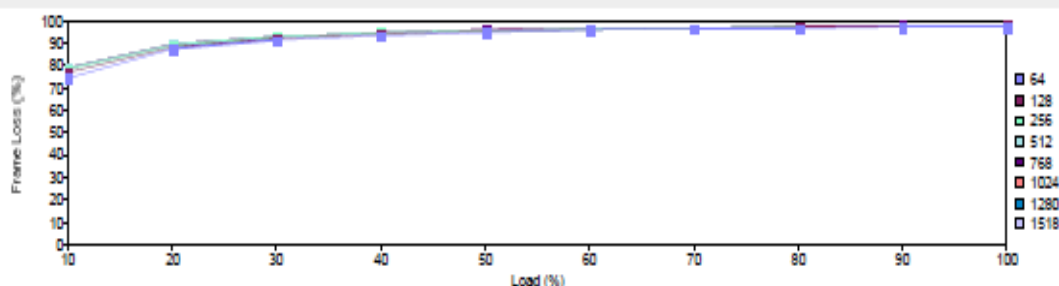


#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/26/2013 18:52:28	64	148809	100	1488090	37830	0	1450260	97,5	0	0
2	06/26/2013 18:52:42	64	133928	90	1339280	37903	0	1301377	97,2	0	0
3	06/26/2013 18:52:56	64	119047	80	1190470	37849	0	1152621	96,8	0	0
4	06/26/2013 18:53:11	64	104166	70	1041660	37860	0	1003800	96,4	0	0
5	06/26/2013 18:53:25	64	89285	60	892850	37876	0	854974	95,8	0	0
6	06/26/2013 18:53:40	64	74405	50	744050	37893	0	706157	94,9	0	0
7	06/26/2013 18:53:55	64	59524	40	595240	37924	0	557316	93,6	0	0
8	06/26/2013 18:54:09	64	44643	30	446430	37981	0	408449	91,5	0	0
9	06/26/2013 18:54:24	64	29762	20	297620	38064	0	259556	87,2	0	0
10	06/26/2013 18:54:39	64	14881	10	148810	38068	0	110742	74,4	0	0
11	06/26/2013 18:54:53	128	84459	100	844590	19546	0	825044	97,7	0	0
12	06/26/2013 18:55:08	128	76013	90	760130	19487	0	740643	97,4	0	0
13	06/26/2013 18:55:23	128	67567	80	675670	19488	0	656182	97,1	0	0
14	06/26/2013 18:55:37	128	59121	70	591210	19571	0	571639	96,7	0	0
15	06/26/2013 18:55:52	128	50675	60	506750	19580	0	487170	96,1	0	0
16	06/26/2013 18:56:07	128	42230	50	422300	19600	0	402700	95,4	0	0
17	06/26/2013 18:56:21	128	33784	40	337840	19488	0	318352	94,2	0	0
18	06/26/2013 18:56:36	128	25338	30	253380	19611	0	233769	92,3	0	0
19	06/26/2013 18:56:51	128	16892	20	168920	19609	0	149311	88,4	0	0
20	06/26/2013 18:57:05	128	8446	10	84460	19609	0	64851	76,8	0	0
21	06/26/2013 18:57:20	256	45289	100	452890	9911	0	442979	97,8	0	0
22	06/26/2013 18:57:35	256	40760	90	407600	9899	0	397701	97,6	0	0
23	06/26/2013 18:57:49	256	36231	80	362310	9951	0	352359	97,3	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
24	06/26/2013 18:58:04	256	31702	70	317020	9959	0	307061	96,9	0	0
25	06/26/2013 18:58:19	256	27173	60	271730	9958	0	261772	96,3	0	0
26	06/26/2013 18:58:33	256	22645	50	226450	9956	0	216494	95,6	0	0
27	06/26/2013 18:58:48	256	18116	40	181160	9957	0	171203	94,5	0	0
28	06/26/2013 18:59:03	256	13587	30	135870	9956	0	125914	92,7	0	0
29	06/26/2013 18:59:18	256	9058	20	90580	9958	0	80622	89	0	0
30	06/26/2013 18:59:32	256	4529	10	45290	9956	0	35334	78	0	0
31	06/26/2013 18:59:47	512	23496	100	234960	5017	0	229943	97,9	0	0
32	06/26/2013 19:00:01	512	21146	90	211460	5017	0	206443	97,6	0	0
33	06/26/2013 19:00:16	512	18797	80	187970	5018	0	182952	97,3	0	0
34	06/26/2013 19:00:31	512	16447	70	164470	5017	0	159453	96,9	0	0
35	06/26/2013 19:00:46	512	14098	60	140980	5018	0	135962	96,4	0	0
36	06/26/2013 19:01:00	512	11748	50	117480	5017	0	112463	95,7	0	0
37	06/26/2013 19:01:15	512	9398	40	93980	5018	0	88962	94,7	0	0
38	06/26/2013 19:01:30	512	7049	30	70490	5018	0	65472	92,9	0	0
39	06/26/2013 19:01:44	512	4699	20	46990	5017	0	41973	89,3	0	0
40	06/26/2013 19:01:59	512	2350	10	23500	5017	0	18483	78,7	0	0
41	06/26/2013 19:02:14	768	15862	100	158620	3354	0	155266	97,9	0	0
42	06/26/2013 19:02:28	768	14276	90	142760	3354	0	139406	97,7	0	0
43	06/26/2013 19:02:43	768	12690	80	126900	3354	0	123546	97,4	0	0
44	06/26/2013 19:02:58	768	11103	70	111030	3354	0	107676	97	0	0
45	06/26/2013 19:03:12	768	9517	60	95170	3353	0	91817	96,5	0	0
46	06/26/2013 19:03:27	768	7931	50	79310	3354	0	75956	95,8	0	0
47	06/26/2013 19:03:42	768	6345	40	63450	3353	0	60097	94,7	0	0
48	06/26/2013 19:03:56	768	4759	30	47590	3354	0	44236	93	0	0
49	06/26/2013 19:04:11	768	3172	20	31720	3353	0	28367	89,4	0	0
50	06/26/2013 19:04:26	768	1586	10	15860	3353	0	12507	78,9	0	0
51	06/26/2013 19:04:40	1024	11973	100	119730	2519	0	117211	97,9	0	0
52	06/26/2013 19:04:55	1024	10776	90	107760	2518	0	105242	97,7	0	0
53	06/26/2013 19:05:10	1024	9578	80	95780	2519	0	93261	97,4	0	0
54	06/26/2013 19:05:24	1024	8381	70	83810	2519	0	81291	97	0	0
55	06/26/2013 19:05:39	1024	7184	60	71840	2519	0	69321	96,5	0	0
56	06/26/2013 19:05:54	1024	5987	50	59870	2519	0	57351	95,8	0	0
57	06/26/2013 19:06:09	1024	4789	40	47890	2519	0	45371	94,7	0	0
58	06/26/2013 19:06:23	1024	3592	30	35920	2519	0	33401	93	0	0
59	06/26/2013 19:06:38	1024	2395	20	23950	2519	0	21431	89,5	0	0
60	06/26/2013 19:06:52	1024	1197	10	11970	2518	0	9452	79	0	0
61	06/26/2013 19:07:07	1280	9615	100	96150	2016	0	94134	97,9	0	0
62	06/26/2013 19:07:22	1280	8654	90	86540	2017	0	84523	97,7	0	0
63	06/26/2013 19:07:37	1280	7692	80	76920	2017	0	74903	97,4	0	0
64	06/26/2013 19:07:51	1280	6731	70	67310	2017	0	65293	97	0	0
65	06/26/2013 19:08:06	1280	5769	60	57690	2017	0	55673	96,5	0	0
66	06/26/2013 19:08:20	1280	4808	50	48080	2017	0	46063	95,8	0	0
67	06/26/2013 19:08:35	1280	3846	40	38460	2017	0	36443	94,8	0	0
68	06/26/2013 19:08:50	1280	2885	30	28850	2016	0	26834	93	0	0
69	06/26/2013 19:09:05	1280	1923	20	19230	2017	0	17213	89,5	0	0
70	06/26/2013 19:09:19	1280	962	10	9620	2016	0	7604	79	0	0
71	06/26/2013 19:09:34	1518	8127	100	81270	1701	0	79569	97,9	0	0
72	06/26/2013 19:09:49	1518	7314	90	73140	1702	0	71438	97,7	0	0
73	06/26/2013 19:10:03	1518	6502	80	65020	1702	0	63318	97,4	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
74	06/26/2013 19:10:18	1518	5689	70	56890	1701	0	55189	97	0	0
75	06/26/2013 19:10:33	1518	4876	60	48760	1701	0	47059	96,5	0	0
76	06/26/2013 19:10:47	1518	4064	50	40640	1701	0	38939	95,8	0	0
77	06/26/2013 19:11:02	1518	3251	40	32510	1702	0	30808	94,8	0	0
78	06/26/2013 19:11:17	1518	2438	30	24380	1701	0	22679	93	0	0
79	06/26/2013 19:11:31	1518	1625	20	16250	1701	0	14549	89,5	0	0
80	06/26/2013 19:11:46	1518	813	10	8130	1701	0	6429	79,1	0	0

Downstream Frame Loss



#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/26/2013 18:52:28	64	148809	100	1488090	37837	0	1450253	97,5	0	0
2	06/26/2013 18:52:42	64	133928	90	1339280	37915	0	1301365	97,2	0	0
3	06/26/2013 18:52:56	64	119047	80	1190470	37845	0	1152625	96,8	0	0
4	06/26/2013 18:53:11	64	104166	70	1041660	37865	0	1003795	96,4	0	0
5	06/26/2013 18:53:25	64	89285	60	892850	37872	0	854978	95,8	0	0
6	06/26/2013 18:53:40	64	74405	50	744050	37893	0	706157	94,9	0	0
7	06/26/2013 18:53:55	64	59524	40	595240	37925	0	557315	93,6	0	0
8	06/26/2013 18:54:09	64	44643	30	446430	37982	0	408448	91,5	0	0
9	06/26/2013 18:54:24	64	29762	20	297620	38076	0	259544	87,2	0	0
10	06/26/2013 18:54:39	64	14881	10	148810	38068	0	110742	74,4	0	0
11	06/26/2013 18:54:53	128	84459	100	844590	19546	0	825044	97,7	0	0
12	06/26/2013 18:55:08	128	76013	90	760130	19487	0	740643	97,4	0	0
13	06/26/2013 18:55:23	128	67567	80	675670	19488	0	656182	97,1	0	0
14	06/26/2013 18:55:37	128	59121	70	591210	19569	0	571641	96,7	0	0
15	06/26/2013 18:55:52	128	50675	60	506750	19583	0	487167	96,1	0	0
16	06/26/2013 18:56:07	128	42230	50	422300	19600	0	402700	95,4	0	0
17	06/26/2013 18:56:21	128	33784	40	337840	19488	0	318352	94,2	0	0
18	06/26/2013 18:56:36	128	25338	30	253380	19615	0	233765	92,3	0	0
19	06/26/2013 18:56:51	128	16892	20	168920	19609	0	149311	88,4	0	0
20	06/26/2013 18:57:05	128	8446	10	84460	19611	0	64849	76,8	0	0
21	06/26/2013 18:57:20	256	45289	100	452890	9912	0	442978	97,8	0	0
22	06/26/2013 18:57:35	256	40760	90	407600	9898	0	397702	97,6	0	0
23	06/26/2013 18:57:49	256	36231	80	362310	9951	0	352359	97,3	0	0
24	06/26/2013 18:58:04	256	31702	70	317020	9959	0	307061	96,9	0	0
25	06/26/2013 18:58:19	256	27173	60	271730	9957	0	261773	96,3	0	0
26	06/26/2013 18:58:33	256	22645	50	226450	9956	0	216494	95,6	0	0
27	06/26/2013 18:58:48	256	18116	40	181160	9956	0	171204	94,5	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctr1 (M) (Frames)	Flow Ctr1 (S) (Frames)
28	06/26/2013 18:59:03	256	13587	30	135870	9959	0	125911	92,7	0	0
29	06/26/2013 18:59:18	256	9058	20	90580	9956	0	80624	89	0	0
30	06/26/2013 18:59:32	256	4529	10	45290	9957	0	35333	78	0	0
31	06/26/2013 18:59:47	512	23496	100	234960	5017	0	229943	97,9	0	0
32	06/26/2013 19:00:01	512	21146	90	211460	5017	0	206443	97,6	0	0
33	06/26/2013 19:00:16	512	18797	80	187970	5018	0	182952	97,3	0	0
34	06/26/2013 19:00:31	512	16447	70	164470	5017	0	159453	96,9	0	0
35	06/26/2013 19:00:46	512	14098	60	140980	5018	0	135962	96,4	0	0
36	06/26/2013 19:01:00	512	11748	50	117480	5018	0	112462	95,7	0	0
37	06/26/2013 19:01:15	512	9398	40	93980	5018	0	88962	94,7	0	0
38	06/26/2013 19:01:30	512	7049	30	70490	5018	0	65472	92,9	0	0
39	06/26/2013 19:01:44	512	4699	20	46990	5017	0	41973	89,3	0	0
40	06/26/2013 19:01:59	512	2350	10	23500	5017	0	18483	78,7	0	0
41	06/26/2013 19:02:14	768	15862	100	158620	3354	0	155266	97,9	0	0
42	06/26/2013 19:02:28	768	14276	90	142760	3354	0	139406	97,7	0	0
43	06/26/2013 19:02:43	768	12690	80	126900	3354	0	123546	97,4	0	0
44	06/26/2013 19:02:58	768	11103	70	111030	3354	0	107676	97	0	0
45	06/26/2013 19:03:12	768	9517	60	95170	3353	0	91817	96,5	0	0
46	06/26/2013 19:03:27	768	7931	50	79310	3353	0	75957	95,8	0	0
47	06/26/2013 19:03:42	768	6345	40	63450	3354	0	60096	94,7	0	0
48	06/26/2013 19:03:56	768	4759	30	47590	3354	0	44236	93	0	0
49	06/26/2013 19:04:11	768	3172	20	31720	3354	0	28366	89,4	0	0
50	06/26/2013 19:04:26	768	1586	10	15860	3353	0	12507	78,9	0	0
51	06/26/2013 19:04:40	1024	11973	100	119730	2519	0	117211	97,9	0	0
52	06/26/2013 19:04:55	1024	10776	90	107760	2518	0	105242	97,7	0	0
53	06/26/2013 19:05:10	1024	9578	80	95780	2519	0	93261	97,4	0	0
54	06/26/2013 19:05:24	1024	8381	70	83810	2518	0	81292	97	0	0
55	06/26/2013 19:05:39	1024	7184	60	71840	2519	0	69321	96,5	0	0
56	06/26/2013 19:05:54	1024	5987	50	59870	2519	0	57351	95,8	0	0
57	06/26/2013 19:06:09	1024	4789	40	47890	2519	0	45371	94,7	0	0
58	06/26/2013 19:06:23	1024	3592	30	35920	2519	0	33401	93	0	0
59	06/26/2013 19:06:38	1024	2395	20	23950	2519	0	21431	89,5	0	0
60	06/26/2013 19:06:52	1024	1197	10	11970	2518	0	9452	79	0	0
61	06/26/2013 19:07:07	1280	9615	100	96150	2017	0	94133	97,9	0	0
62	06/26/2013 19:07:22	1280	8654	90	86540	2017	0	84523	97,7	0	0
63	06/26/2013 19:07:37	1280	7692	80	76920	2016	0	74904	97,4	0	0
64	06/26/2013 19:07:51	1280	6731	70	67310	2017	0	65293	97	0	0
65	06/26/2013 19:08:06	1280	5769	60	57690	2016	0	55674	96,5	0	0
66	06/26/2013 19:08:20	1280	4808	50	48080	2016	0	46064	95,8	0	0
67	06/26/2013 19:08:35	1280	3846	40	38460	2017	0	36443	94,8	0	0
68	06/26/2013 19:08:50	1280	2885	30	28850	2017	0	26833	93	0	0
69	06/26/2013 19:09:05	1280	1923	20	19230	2017	0	17213	89,5	0	0
70	06/26/2013 19:09:19	1280	962	10	9620	2016	0	7604	79	0	0
71	06/26/2013 19:09:34	1518	8127	100	81270	1701	0	79569	97,9	0	0
72	06/26/2013 19:09:49	1518	7314	90	73140	1701	0	71439	97,7	0	0
73	06/26/2013 19:10:03	1518	6502	80	65020	1701	0	63319	97,4	0	0
74	06/26/2013 19:10:18	1518	5689	70	56890	1702	0	55188	97	0	0
75	06/26/2013 19:10:33	1518	4876	60	48760	1701	0	47059	96,5	0	0
76	06/26/2013 19:10:47	1518	4064	50	40640	1701	0	38939	95,8	0	0
77	06/26/2013 19:11:02	1518	3251	40	32510	1701	0	30809	94,8	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctr1 (M) (Frames)	Flow Ctr1 (S) (Frames)
78	06/26/2013 19:11:17	1518	2438	30	24380	1702	0	22678	93	0	0
79	06/26/2013 19:11:31	1518	1625	20	16250	1701	0	14549	89,5	0	0
80	06/26/2013 19:11:46	1518	813	10	8130	1701	0	6429	79,1	0	0

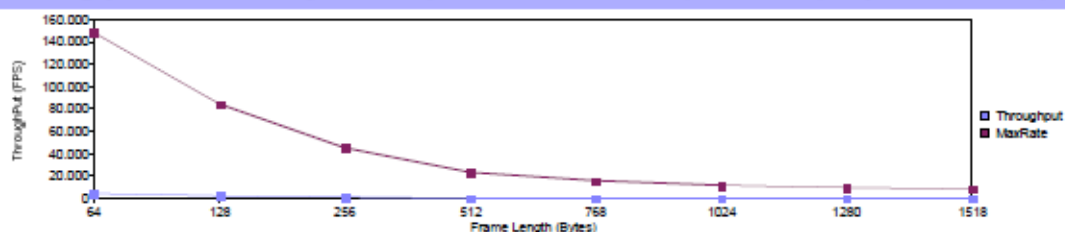
Remarks

ANEXO 3 - RFC 2544 RÁDIO MINI-LINK TN – Potência -5 dBm

Agilent Technologies
Benchmark Test Result ()
From ()
For

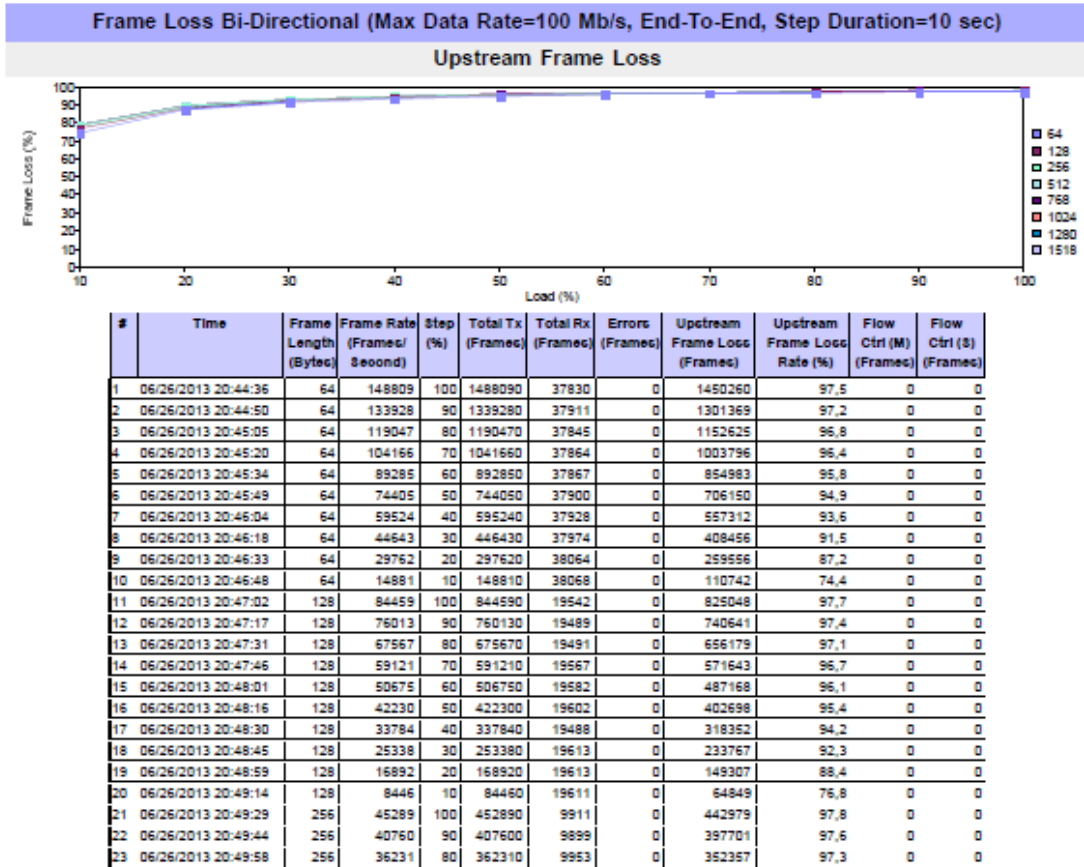
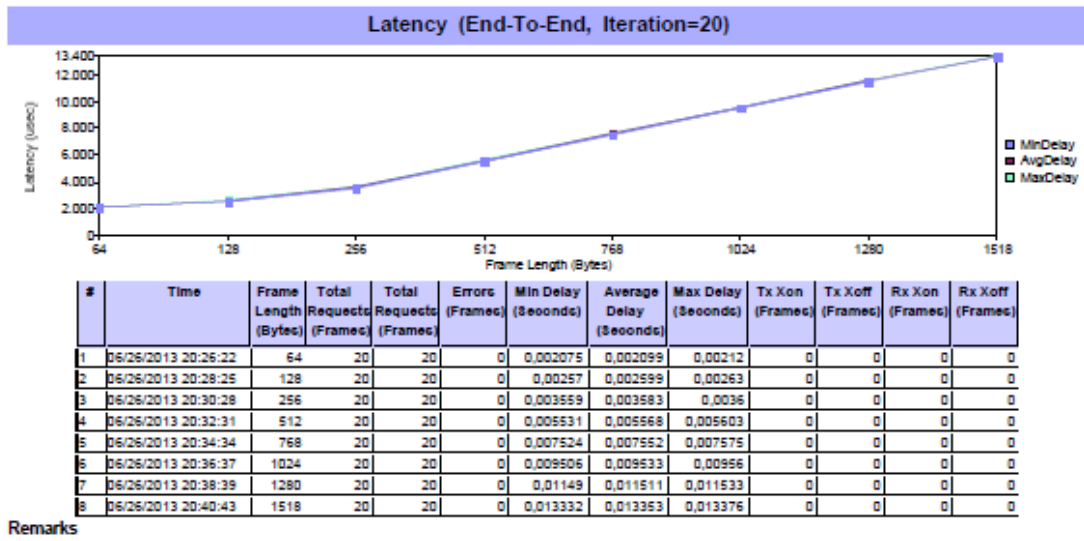
Agilent Technologies
Results: min thro at6
S/N: 8046470661
Type: Framescope Pro
Source: F8PRO000000 : 192.168.1.2
Mac - 00-80-18-8C-0C-04
Destination: NA : 192.168.1.4
Connection Type: 1000 Mbps Full Duplex, Copper
Auto-Negotiation: On
Flow Control: Off
VLAN: Disabled

Throughput Bi-Directional Symmetrical (Max Data Rate=100 Mb/s, End-To-End, Step Duration=5 sec)



#	Time	Frame Length (Bytes)	Max Rate (Frames/Sec)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frame)	Tx Time (Sec)	Throughput (Frames/Second)	Throughput (%)	Throughput (Bits/Sec)	Flow Ctr (M) (Frames)	Flow Ctr (S) (Frames)
1	06/26/2013 20:13:48	64	148809	19045	19030	0	4.997	3811	2.6	2560992	0	0
2	06/26/2013 20:14:46	128	84459	9815	9798	0	4.995	1964	2.3	2325376	0	0
3	06/26/2013 20:15:53	256	45289	4985	4978	0	4.9955	997	2.2	2201376	0	0
4	06/26/2013 20:17:01	512	23496	2510	2508	0	4.9965	502	2.1	2136512	0	0
5	06/26/2013 20:18:08	768	15862	1620	1620	0	4.9965	324	2	2042496	0	0
6	06/26/2013 20:19:54	1024	11973	1260	1258	0	4.9965	252	2.1	2104704	0	0
7	06/26/2013 20:21:02	1280	9615	985	985	0	4.979	197	2	2048800	0	0
8	06/26/2013 20:22:00	1518	8127	805	805	0	4.9615	162	2	1993248	0	0

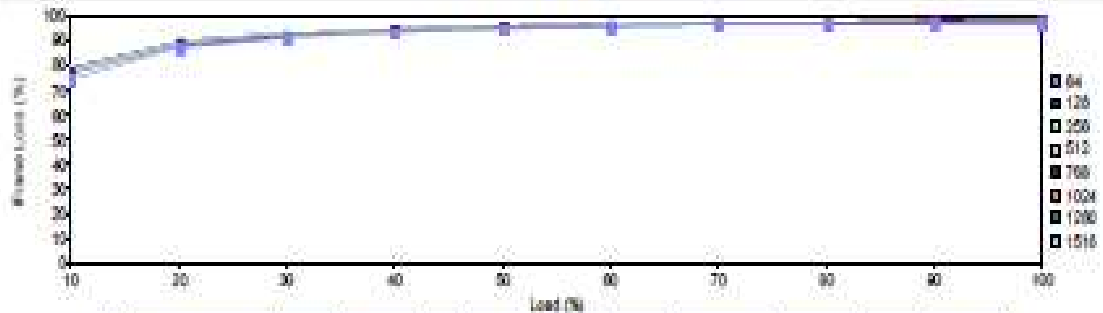
Remarks



#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
24	06/26/2013 20:50:13	256	31702	70	317020	9958	0	307062	96,9	0	0
25	06/26/2013 20:50:27	256	27173	60	271730	9959	0	261771	96,3	0	0
26	06/26/2013 20:50:42	256	22645	50	226450	9959	0	216491	95,6	0	0
27	06/26/2013 20:50:57	256	18116	40	181160	9956	0	171204	94,5	0	0
28	06/26/2013 20:51:11	256	13587	30	135870	9957	0	125913	92,7	0	0
29	06/26/2013 20:51:26	256	9058	20	90580	9956	0	80624	89	0	0
30	06/26/2013 20:51:41	256	4529	10	45290	9956	0	35334	78	0	0
31	06/26/2013 20:51:55	512	23496	100	234960	5017	0	229943	97,9	0	0
32	06/26/2013 20:52:10	512	21146	90	211460	5018	0	206442	97,6	0	0
33	06/26/2013 20:52:25	512	18797	80	187970	5018	0	182952	97,3	0	0
34	06/26/2013 20:52:40	512	16447	70	164470	5017	0	159453	96,9	0	0
35	06/26/2013 20:52:54	512	14098	60	140980	5017	0	135963	96,4	0	0
36	06/26/2013 20:53:09	512	11748	50	117480	5018	0	112462	95,7	0	0
37	06/26/2013 20:53:24	512	9398	40	93980	5018	0	88962	94,7	0	0
38	06/26/2013 20:53:38	512	7049	30	70490	5018	0	65472	92,9	0	0
39	06/26/2013 20:53:53	512	4699	20	46990	5017	0	41973	89,3	0	0
40	06/26/2013 20:54:08	512	2350	10	23500	5016	0	18484	78,7	0	0
41	06/26/2013 20:54:23	768	15862	100	158620	3353	0	155267	97,9	0	0
42	06/26/2013 20:54:37	768	14276	90	142760	3353	0	139407	97,7	0	0
43	06/26/2013 20:54:52	768	12690	80	126900	3353	0	123547	97,4	0	0
44	06/26/2013 20:55:07	768	11103	70	111030	3354	0	107676	97	0	0
45	06/26/2013 20:55:22	768	9517	60	95170	3354	0	91816	96,5	0	0
46	06/26/2013 20:55:36	768	7931	50	79310	3354	0	75956	95,8	0	0
47	06/26/2013 20:55:51	768	6345	40	63450	3354	0	60096	94,7	0	0
48	06/26/2013 20:56:06	768	4759	30	47590	3354	0	44236	93	0	0
49	06/26/2013 20:56:20	768	3172	20	31720	3354	0	28366	89,4	0	0
50	06/26/2013 20:56:35	768	1586	10	15860	3352	0	12508	78,9	0	0
51	06/26/2013 20:56:50	1024	11973	100	119730	2519	0	117211	97,9	0	0
52	06/26/2013 20:57:04	1024	10776	90	107760	2518	0	105242	97,7	0	0
53	06/26/2013 20:57:19	1024	9578	80	95780	2518	0	93262	97,4	0	0
54	06/26/2013 20:57:34	1024	8381	70	83810	2519	0	81291	97	0	0
55	06/26/2013 20:57:48	1024	7184	60	71840	2518	0	69322	96,5	0	0
56	06/26/2013 20:58:03	1024	5987	50	59870	2519	0	57351	95,8	0	0
57	06/26/2013 20:58:18	1024	4789	40	47890	2519	0	45371	94,7	0	0
58	06/26/2013 20:58:32	1024	3592	30	35920	2519	0	33401	93	0	0
59	06/26/2013 20:58:47	1024	2395	20	23950	2518	0	21432	89,5	0	0
60	06/26/2013 20:59:02	1024	1197	10	11970	2518	0	9452	79	0	0
61	06/26/2013 20:59:17	1280	9615	100	96150	2017	0	94133	97,9	0	0
62	06/26/2013 20:59:31	1280	8654	90	86540	2017	0	84523	97,7	0	0
63	06/26/2013 20:59:46	1280	7692	80	76920	2017	0	74903	97,4	0	0
64	06/26/2013 21:00:01	1280	6731	70	67310	2017	0	65293	97	0	0
65	06/26/2013 21:00:15	1280	5769	60	57690	2016	0	55674	96,5	0	0
66	06/26/2013 21:00:30	1280	4808	50	48080	2017	0	46063	95,8	0	0
67	06/26/2013 21:00:45	1280	3846	40	38460	2017	0	36443	94,8	0	0
68	06/26/2013 21:00:59	1280	2885	30	28850	2017	0	26833	93	0	0
69	06/26/2013 21:01:14	1280	1923	20	19230	2017	0	17213	89,5	0	0
70	06/26/2013 21:01:29	1280	962	10	9620	2016	0	7604	79	0	0
71	06/26/2013 21:01:44	1518	8127	100	81270	1701	0	79569	97,9	0	0
72	06/26/2013 21:01:58	1518	7314	90	73140	1701	0	71439	97,7	0	0
73	06/26/2013 21:02:13	1518	6502	80	65020	1702	0	63318	97,4	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Slip (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Upstream Frame Loss (Frames)	Upstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
74	06/26/2013 21:02:27	1518	5889	70	5889	1702	0	55185	97	0	0
75	06/26/2013 21:02:40	1518	4876	50	4876	1701	0	47059	95.9	0	0
76	06/26/2013 21:02:52	1518	4064	50	4064	1701	0	38939	95.8	0	0
77	06/26/2013 21:03:12	1518	3251	40	3251	1701	0	30809	94.8	0	0
78	06/26/2013 21:03:28	1518	2438	30	2438	1702	0	23679	93	0	0
79	06/26/2013 21:03:41	1518	1625	20	1625	1701	0	14549	88.8	0	0
80	06/26/2013 21:03:58	1518	813	10	813	1701	0	6409	78.1	0	0

Downstream Frame Loss



#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Slip (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
1	06/26/2013 20:44:36	64	148839	100	148839	37030	0	1450360	97.8	0	0
2	06/26/2013 20:44:50	64	133828	90	133828	37907	0	1301373	97.2	0	0
3	06/26/2013 20:45:05	64	119047	80	119047	37948	0	1152521	96.8	0	0
4	06/26/2013 20:45:20	64	104188	70	104188	37980	0	1003800	96.4	0	0
5	06/26/2013 20:45:34	64	89288	60	89288	37872	0	854678	95.8	0	0
6	06/26/2013 20:45:49	64	74408	50	74408	37809	0	708181	94.9	0	0
7	06/26/2013 20:46:04	64	59504	40	59504	37832	0	557308	93.8	0	0
8	06/26/2013 20:46:18	64	44640	30	44640	37878	0	408482	91.8	0	0
9	06/26/2013 20:46:33	64	29782	20	29782	38078	0	258544	87.2	0	0
10	06/26/2013 20:46:48	64	14881	10	14881	38088	0	110742	74.4	0	0
11	06/26/2013 20:47:03	128	84489	100	84489	19548	0	825042	97.7	0	0
12	06/26/2013 20:47:17	128	78013	90	78013	19481	0	748839	97.4	0	0
13	06/26/2013 20:47:31	128	67567	80	67567	19488	0	658182	97.1	0	0
14	06/26/2013 20:47:46	128	59121	70	59121	19587	0	571843	96.7	0	0
15	06/26/2013 20:48:01	128	50679	60	50679	19683	0	487187	96.1	0	0
16	06/26/2013 20:48:16	128	42230	50	42230	19802	0	403698	95.4	0	0
17	06/26/2013 20:48:30	128	33784	40	33784	19483	0	318381	94.2	0	0
18	06/26/2013 20:48:45	128	25338	30	25338	19613	0	233787	92.3	0	0
19	06/26/2013 20:48:59	128	16880	20	16880	19613	0	148307	88.4	0	0
20	06/26/2013 20:49:14	128	8448	10	8448	19611	0	64849	76.8	0	0
21	06/26/2013 20:49:29	256	48389	100	48389	9811	0	443679	97.8	0	0
22	06/26/2013 20:49:44	256	40780	90	40780	9899	0	397701	97.6	0	0
23	06/26/2013 20:49:58	256	38201	80	38201	9884	0	352388	97.3	0	0
24	06/26/2013 20:50:13	256	31702	70	31702	9884	0	307081	96.9	0	0
25	06/26/2013 20:50:27	256	27173	60	27173	9888	0	261774	96.3	0	0
26	06/26/2013 20:50:40	256	23648	50	23648	9889	0	218481	95.8	0	0
27	06/26/2013 20:50:57	256	18118	40	18118	9888	0	171204	94.8	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
26	06/06/2013 20:51:11	256	13567	30	135670	9950	0	125912	92,7	0	0
29	06/06/2013 20:51:26	256	9050	20	90500	9950	0	80524	89	0	0
30	06/06/2013 20:51:41	256	4529	10	45290	9950	0	35312	78	0	0
31	06/06/2013 20:51:56	512	23496	100	234960	5018	0	229942	97,9	0	0
32	06/06/2013 20:52:10	512	21146	90	211460	5018	0	206442	97,6	0	0
33	06/06/2013 20:52:25	512	18797	80	187970	5017	0	182953	97,3	0	0
34	06/06/2013 20:52:40	512	16447	70	164470	5017	0	159463	96,9	0	0
35	06/06/2013 20:52:54	512	14098	60	140980	5018	0	135962	96,4	0	0
38	06/06/2013 20:53:09	512	11748	50	117480	5017	0	112483	94,7	0	0
37	06/06/2013 20:53:24	512	9398	40	93980	5017	0	88963	94,7	0	0
36	06/06/2013 20:53:38	512	7049	30	70490	5017	0	65473	92,9	0	0
39	06/06/2013 20:53:53	512	4699	20	46990	5017	0	41973	89,3	0	0
40	06/06/2013 20:54:08	512	2350	10	23500	5018	0	18482	79,6	0	0
41	06/06/2013 20:54:23	768	15862	100	158620	3364	0	155266	97,9	0	0
42	06/06/2013 20:54:37	768	14276	90	142760	3364	0	139406	97,7	0	0
43	06/06/2013 20:54:52	768	12890	80	128900	3364	0	125546	97,4	0	0
44	06/06/2013 20:55:07	768	11103	70	111030	3363	0	107677	97	0	0
45	06/06/2013 20:55:22	768	9617	60	96170	3364	0	91816	96,5	0	0
46	06/06/2013 20:55:36	768	7931	50	79310	3364	0	75956	96,6	0	0
47	06/06/2013 20:55:51	768	6346	40	63460	3364	0	60096	94,7	0	0
48	06/06/2013 20:56:06	768	4759	30	47590	3364	0	44236	93	0	0
49	06/06/2013 20:56:20	768	3173	20	31730	3363	0	28367	89,4	0	0
50	06/06/2013 20:56:35	768	1586	10	15860	3362	0	12508	78,9	0	0
51	06/06/2013 20:56:50	1024	11973	100	119730	2519	0	117211	97,9	0	0
52	06/06/2013 20:57:04	1024	10776	90	107760	2519	0	105241	97,7	0	0
53	06/06/2013 20:57:19	1024	9579	80	95790	2519	0	93261	97,4	0	0
54	06/06/2013 20:57:34	1024	8381	70	83810	2519	0	81291	97	0	0
55	06/06/2013 20:57:48	1024	7184	60	71840	2519	0	69321	96,5	0	0
56	06/06/2013 20:58:03	1024	5987	50	59870	2519	0	57361	95,0	0	0
57	06/06/2013 20:58:18	1024	4789	40	47890	2519	0	45371	94,7	0	0
58	06/06/2013 20:58:32	1024	3592	30	35920	2519	0	33401	93	0	0
59	06/06/2013 20:58:47	1024	2395	20	23950	2518	0	21432	89,5	0	0
60	06/06/2013 20:59:02	1024	1197	10	11970	2518	0	9462	79	0	0
61	06/06/2013 20:59:17	1280	9615	100	96150	2017	0	94130	97,9	0	0
62	06/06/2013 20:59:31	1280	8654	90	86540	2017	0	84523	97,7	0	0
63	06/06/2013 20:59:46	1280	7692	80	76920	2017	0	74903	97,4	0	0
64	06/06/2013 21:00:01	1280	6731	70	67310	2017	0	65293	97	0	0
65	06/06/2013 21:00:16	1280	5769	60	57690	2017	0	55673	96,5	0	0
66	06/06/2013 21:00:30	1280	4808	50	48080	2017	0	46053	95,6	0	0
67	06/06/2013 21:00:45	1280	3846	40	38460	2016	0	36444	94,6	0	0
68	06/06/2013 21:00:59	1280	2885	30	28850	2017	0	26833	93	0	0
69	06/06/2013 21:01:14	1280	1923	20	19230	2017	0	17213	89,5	0	0
70	06/06/2013 21:01:29	1280	962	10	9620	2016	0	7604	79	0	0
71	06/06/2013 21:01:44	1518	8127	100	81270	1701	0	79569	97,9	0	0
72	06/06/2013 21:01:58	1518	7314	90	73140	1702	0	71436	97,7	0	0
73	06/06/2013 21:02:13	1518	6502	80	65020	1701	0	63319	97,4	0	0
74	06/06/2013 21:02:27	1518	5689	70	56890	1701	0	55189	97	0	0
75	06/06/2013 21:02:42	1518	4876	60	48760	1702	0	47056	96,5	0	0
76	06/06/2013 21:02:57	1518	4064	50	40640	1701	0	38929	95,6	0	0
77	06/06/2013 21:03:12	1518	3251	40	32510	1702	0	30808	94,6	0	0

#	Time	Frame Length (Bytes)	Frame Rate (Frames/Second)	Step (%)	Total Tx (Frames)	Total Rx (Frames)	Errors (Frames)	Downstream Frame Loss (Frames)	Downstream Frame Loss Rate (%)	Flow Ctrl (M) (Frames)	Flow Ctrl (S) (Frames)
78	0505/2013 21:03:26	1516	2436	30	24360	1701	0	22679	93	0	0
79	0505/2013 21:03:41	1516	1625	20	16250	1701	0	14549	89.5	0	0
80	0505/2013 21:03:56	1516	813	10	8130	1701	0	5425	79.1	0	0