

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RODRIGO DA ROCHA MANITO

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE DE RÁDIO ENLACE

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE RÁDIO ENLACE

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Álvaro Augusto de Almeida Salles

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RODRIGO DA ROCHA MANITO

ESTUDO DE VIABILIDADE DE RÁDIO ENLACE

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Álvaro Augusto de Almeida Salles, UFRGS

Formação (Doutor pela University of London – Londres, Inglaterra)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Almeida Salles, UFRGS

(Doutor pela University of London – Londres, Inglaterra)

Prof. Dr. Renato Ventura, UFRGS

(Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, Brasil)

Eng. Lierson Brígido, Digitel S.A.

(Engenheiro pela Escola de Engenharia Mauá – São Paulo, Brasil)

Porto Alegre, Julho de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis, aos meus amigos, familiares, namorada e todos aqueles que estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, agradeço pela paciência e dedicação ao longo de todos esses anos, pois nada disto seria possível sem o apoio deles.

À minha namorada, Roberta Steffen, pela compreensão em todos os momentos em que eu tive de estar ausente, dedicando meus esforços para obter maior aproveitamento das atividades do curso de engenharia elétrica.

Ao Eng. Lierson Brígido, pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

À empresa Digitel por me ceder toda infra-estrutura e conhecimento necessário durante minha formação.

Ao meu orientador que aceitou fazer parte de mais um desafio em minha vida.

À Universidade, professores e funcionários.

RESUMO

Este Projeto de Diplomação tem o objetivo de realizar e analisar os estudos de viabilidade de rádio enlace, comparando o estudo teórico, por meio de cartas nomográficas, com o estudo via software, PathLoss. Esses dados ainda serão confrontados com os resultados de dados medidos em campo. Além disso, será feita uma análise sobre os custos desses estudos, identificando a necessidade ou não de realizá-los via software.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Comunicações Wireless. Rádio Digital. Rádio Enlace. PathLoss.

ABSTRACT

The main aims of this work are to perform calculations and to analyze studies of radio links viabilities, comparing a theoretic study, employing nomographic charts, with a study using the software entitled PathLoss. These results are then compared with the data collected on the field. Further to that, analyzes about the costs of these studies will be shown, identifying the needs to use a software or not.

Keywords: Electrical Engineering. Wireless Communication. Digital Radio. Radio Link. PathLoss.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. COMUNICAÇÃO SEM FIO.....	14
2.1. LEIS DE MAXWELL.....	16
2.2. MICROONDAS	22
2.2.1. ATENUAÇÃO EM ESPAÇO LIVRE.....	23
2.2.2. REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA	25
2.2.3. DIFRAÇÃO DEVIDO A OBSTÁCULOS.....	26
2.2.4. ATENUAÇÃO POR ABSORÇÃO	26
3. RADIO ENLACES EM VISIBILIDADE	27
3.1. CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE.....	30
3.1.1. ELIPSÓIDE DE FRESNEL.....	32
3.1.1.1. CÁLCULO DO RAIOS DO ELIPSÓIDE DE FRESNEL	33
3.1.2. RADIOHORIZONTE	34
3.2. CONCEITO DE RAIOS EQUIVALENTE DA TERRA	35
3.3. CALCULO DA ALTURA DAS ANTENAS.....	36
3.4. ATENUAÇÃO TOTAL LÍQUIDA	38
4. DIMENSIONAMENTO TEÓRICO DE RADIO ENLACE EM VISIBILIDADE	39
5. DIMENSIONAMENTO USANDO SOFTWARE COMERCIAL	43
5.1. DIGITEL S/A	44
6. ESTUDO DE CINCO RÁDIO-ENLACES INSTALADOS PARA A OPERADORA OI	45
6.1. ENLACE BARAÚNA-CUITÉ.....	45
6.2. ENLACE AROEIRAS- UMBUZEIRO	52
6.3. ENLACE GADO BRAVO-UMBUZEIRO.....	57
6.4. ENLACE SÃO JOSÉ DE PRINCESA-LAGOA DA CRUZ	62
6.5. ENLACE LEME DO PRADO-BERILO.....	67
7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS MEDIDOS.....	72
8. COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS.....	76
9. COMENTARIOS, CONCLUSOES E SUGESTOES PARA OS PROXIMOS TRABALHOS	79
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	80

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Classificação das ondas conforme a faixa de frequência de operação.....	14
Figura 2: Campo elétrico versus Campo magnético.....	16
Figura 3: Campo elétrico variável.....	17
Figura 4: Onda eletromagnética plana.....	19
Figura 5: Enlace de Rádio.....	22
Figura 6: Propagação OEM.....	24
Figura 7: Ilustração do efeito da refração.....	25
Figura 8: Difração devido a obstáculos.....	26
Figura 9: Elementos de uma comunicação básica.....	27
Figura 10: Frentes de onda no elipsóide de Fresnel.....	33
Figura 11: Ilustração do elipsóide da primeira zona de Fresnel.....	34
Figura 12: Radiohorizonte.....	35
Figura 13: Parâmetros para o cálculo.....	36
Figura 14: Enlace com elipsóide de Fresnel.....	38
Figura 15: Carta Nomográfica.....	40
Figura 16: Fluxograma do dimensionamento de um rádio enlace pelo PathLoss.....	44
Figura 17 e Figura 18: Imagens das torres e informações disponibilizadas pelo cliente.....	48
Figura 19: Imagem da tela do software PathLoss em que as informações disponibilizadas pelo cliente são registradas. Nessa tela, são apresentados o ângulo de azimute, a distância do enlace e a elevação do terreno.....	49
Figura 20: Perfil do enlace para k médio gerado pelo PathLoss com base nas imagens topográficas da NASA.....	50
Figura 21: Imagem do Google Earth.....	51
Figura 22: Perfil do Enlace.....	55
Figura 23: Perfil do Enlace.....	60
Figura 24: Perfil do Enlace.....	65
Figura 25: Perfil do Enlace.....	70
Figura 26: Mapa de localização das estações.....	72
Figura 27 e Figura 28: Imagens da implantação do enlace Baraúna.....	73
Figura 29 e Figura 30: Imagens da implantação do enlace Cuite.....	73
Figura 31 e Figura 32: Leitura apresentada nos receptores instalados na estação Baraúna (rádio principal RSSI RF = -47dBm / rádio backup RSSI RF = -48dBm).....	75
Figura 33 e Figura 34: Leitura apresentada nos receptores instalados na estação Cuité (rádio principal RSSI RF = -47dBm/rádio backup RSSI RF = -46dBm).....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estrutura de tópicos	13
Tabela 2: Equações de Maxwell	20
Tabela 3: Critérios de Raio de Fresnel.....	32
Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6: Dados técnicos	46
Tabela 7: Dados do Enlace.....	46
Tabela 8: Dados de Projeto	48
Tabela 9: Resultados apresentados pelo software PathLoss	52
Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12: Dados Técnicos	53
Tabela 13: Dados do Enlace.....	53
Tabela 14: Cálculos do Dimensionamento por meio do PathLoss.....	56
Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17: Dados Técnicos dos Equipamentos.....	57
Tabela 18: Dados Técnicos do Enlace	57
Tabela 19: Dimensionamento por meio do PathLoss	61
Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22: Dados Técnicos do Equipamento.....	62
Tabela 23: Dados Técnicos do Enlace	62
Tabela 24: Dimensionamento por meio do PathLoss	66
Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27: Dados Técnicos do Equipamento.....	67
Tabela 28: Dados Técnicos do Enlace	67
Tabela 29: Dimensionamento por meio do PathLoss	71
Tabela 30: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo.....	76
Tabela 31: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo.....	77
Tabela 32: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo.....	77
Tabela 33: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo.....	77
Tabela 34: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações

ELF: Extremely Low Frequency

VF: Voice Frequency

VLf: Very Low Frequency

LF: Low Frequency

MF: Medium Frequency

HF: High Frequency

VHF: Very High Frequency

UHF: Ultra High Frequency

SHF: Super High Frequency

EHF: Extremely High Frequency

OEM: Onda Eletromagnética

SI: Sistema Internacional de Medidas

SNR: Signal to Noise Ratio

ITU-R: International Telecommunication Union - Radio communication Sector

ERB: Estações Rádio Bases

CCC: Central de Comutação e Controle

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

NASA: National Aeronautics and Space Administration

IDO: Indoor Unit

ODU: Outdoor Unit

RSSI: Received Signal Strength Indication

RF: Radio Frequency

M-D-O: Mão-de-obra

1. INTRODUÇÃO

A comunicação sempre foi um desafio para a humanidade. Desde os primórdios da era “homo sapiens” a história não falha em mostrar as dificuldades para se estabelecer comunicação entre povos distantes.

Soluções das mais variadas foram sendo empregadas ao longo do tempo, desde o emprego de animais para entrega de mensagens até o uso da energia elétrica para aprimorar o processo.

Com o avanço na tecnologia e serviços de comunicações, uma forma de transmissão de dados sem fio se mostrou viável. Após muitos estudos e testes os enlaces de rádios se tornaram uma solução adequada para esta questão. Principalmente devido à necessidade de soluções do tipo ponto-à-ponto e ponto-multiponto (p. ex., redes de celulares).

Conforme foram sendo desenvolvidos rádios mais robustos e com maior capacidade de transmissão de dados, a demanda por estas soluções passou a aumentar. A ANATEL passou a estabelecer metas para as operadoras atingirem cidades com cada vez menos habitantes e com maior velocidade e disponibilidade de serviço. As empresas passaram a desejar mais links dedicados e assim interligar suas filiais.

Este projeto de diplomação tem por objetivo realizar e analisar os estudos de viabilidade de um rádio enlace instalado pela empresa Digital S/A para a operadora Oi. Desta forma será comparado o estudo teórico, por meio de cartas nomográficas, com o estudo via software intitulado PathLoss. Esses dados ainda serão confrontados com os resultados de informações coletadas em campo. Por último, será feita uma análise sobre os custos desses estudos, identificando a necessidade ou não de realizá-los via software.

A Tabela 1 apresenta os capítulos que devem compor o documento final, entregue à banca de avaliação do projeto de diplomação.

Capítulo	Conteúdo
1.INTRODUÇÃO	Objetivos do documento, apresentação de assuntos relativos à comunicação wireless e importância do estudo e equipamentos utilizados.
2. COMUNICAÇÃO SEM FIO	Apresentação da tecnologia aplicada para a realização da transmissão digital via ondas eletromagnéticas.
3. RADIO ENLACES EM VISIBILIDADE	Efeitos e considerações a se realizarem sobre rádio enlaces.
4. DIMENSIONAMENTO TEÓRICO DE RADIO ENLACE EM VISIBILIDADE	Abordagem teórica sobre o dimensionamento via cartas nomográficas e utilizando o PathLoss.
5. ESTUDOS DE CINCO RÁDIO-ENLACES INSTALADOS PARA A OPERADORA OI	Descrição dos estudos realizados para a operadora Oi.
6. DIMENSIONAMENTO USANDO SOFTWARE COMERCIAL	Descrição dos estudos por meio do Pathloss.
7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS MEDIDOS	Descrição dos resultados alcançados.
8. COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS	Comparação entre os cálculos realizados, valores encontrados e resultados práticos medidos.
9. COMENTARIOS, CONCLUSOES E SUGESTOES PARA OS PROXIMOS TRABALHOS	Alguns comentários e conclusões pertinentes aos resultados alcançados no projeto realizado. Além dos levantamentos de custos e viabilidade econômica dos estudos.
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	Referência à bibliografia usada neste Projeto de Diplomação.

Tabela 1: Estrutura de tópicos

2. COMUNICAÇÃO SEM FIO

Quando se fala em comunicação “wireless” isto se refere a uma comunicação via ondas eletromagnéticas para transferir informações de um local para outro sem o uso de cabos de qualquer tipo. Dentre as aplicações estão, transmissão de voz, dados e vídeos.

Neste projeto será considerado um enlace de microondas na faixa de frequência de 8.5 GHz. Abaixo segue uma tabela com a classificação das ondas conforme a faixa de frequência de operação (Figura 1).

Limite de frequência	Compr. de onda - λ	Denominação	Obs.
30- 300 Hz	$10^4 - 10^5$ km	ELF	
300-3000 Hz	$10^3 - 10^2$ km	VF	Frequência da voz
3-30 KHz	$10^2 - 10$ km	VLF	Ondas muito longas
30-300 KHz	10 - 1 km	LF	Ondas longas
300- 3000 KHz	1000 - 100 m	MF	Ondas médias
3-30 MHz	100 - 10 m	HF	Ondas Curtas
30-300 MHz	10 - 1 m	VHF	Ondas muito curtas
300-3000 MHz	100 - 10 cm	UHF	Microondas
3-30 GHz	10 - 1 cm	SHF	Microondas
30-300 GHz	10 - 1 mm	EHF	Microondas
300-3000GHz	1 - 0,1 mm	Sem denominação	
3 a 375 THz	100 - 0,8 μ m	Infravermelho	Comunicações ópticas
375-790 THz	0,8 - 0,38 μ m	Luz visível	
790-22.500 THz	380 - 13,3 nm	Ultravioleta	

Figura 1: Classificação das ondas conforme a faixa de frequência de operação

Dentro de cada faixa existem características específicas de mecanismos de propagação, assim resumidos:

- Faixa ELF – Faixa de frequência cujas ondas penetram razoavelmente no solo ou na água, portanto possui aplicações em comunicação com submarinos e escavações de minas. As aplicações operam nesta faixa com transmissores de alta potência e grandes antenas;

- Faixa VLF – O mecanismo de propagação utilizado nesta faixa é a reflexão ionosférica, sendo considerado um ótimo condutor, pois induz pequena atenuação na onda refletida;

- Faixa LF – Até os 100 kHz nesta faixa, que vai até os 300 kHz;

- Faixa MF – Acima de 100 kHz, o mecanismo de propagação utilizado é o de ondas de superfície com menor atenuação que o da reflexão ionosférica;

- Faixa HF – Nesta faixa de frequência aparece o mecanismo da reflexão ionosférica, visto que em regiões mais próximas do transmissor ainda permanece a presença das ondas de superfície;

- Faixa de VHF em diante – Nestas faixas não se utiliza mais à reflexão ionosférica, pois as ondas não atingem o ângulo necessário até os limites da ionosfera para retornar à superfície terrestre. Acima de VHF são usadas antenas diretivas que concentram a energia em feixes mais estreitos, estabelecendo as ligações por meio da onda espacial direta entre as duas antenas – transmissora e receptora, formando sistemas em visada direta. Nas faixas de VHF e UHF é possível trabalhar com enlaces obstruídos, enquanto que nas faixas de SHF e EHF deve-se necessariamente ter visibilidade direta.

Ao longo das últimas décadas muitos estudos têm sido feitos com relação a propagação das ondas eletromagnéticas, tanto no espaço livre, quanto em outros meios. Isto se deve em grande parte pela falta de conhecimento sobre os males que essas ondas podem ou não causar aos seres vivos e também ao aumento de demanda por este tipo de solução.

Todos esses sistemas baseiam-se nas leis de Maxwell.

2.1. LEIS DE MAXWELL

Maxwell estabeleceu algumas leis básicas de eletromagnetismo, baseado nas já conhecidas anteriormente, como a Lei de Coulomb, a Lei de Ampère, a Lei de Faraday, etc.

Na realidade, Maxwell reuniu os conhecimentos existentes e descobriu as correlações que havia em alguns fenômenos, dando origem à teoria de que eletricidade, magnetismo e óptica são de fato manifestações diferentes do mesmo fenômeno físico.

O físico inglês Michael Faraday já havia afirmado que era possível produzir um campo elétrico a partir de um campo magnético variável.

Imagine um ímã e um anel, como ilustra a Figura 2:

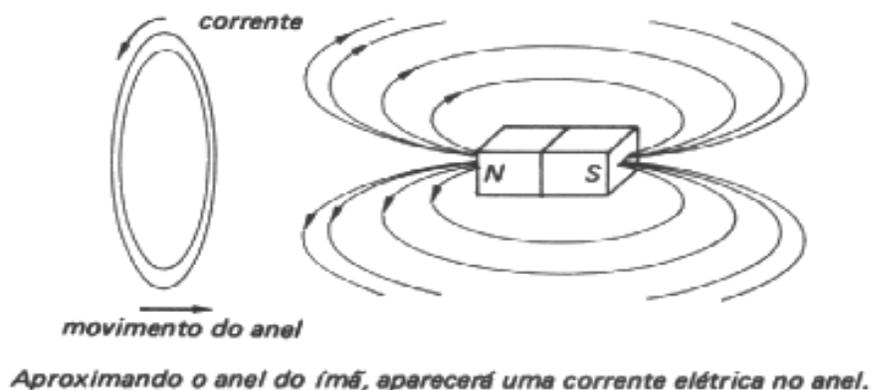


Figura 2: Campo elétrico versus Campo magnético

Considere o ímã perpendicular ao plano do anel. Movendo-se ou o ímã ou o anel, aparecerá uma corrente no anel, causado por um campo elétrico criado devido à variação do fluxo magnético no anel.

Maxwell verificou que o contrário também era possível. Um campo elétrico variável podia gerar um campo magnético.

Imagine duas placas paralelas sendo carregadas progressivamente, como mostra a Figura 3:

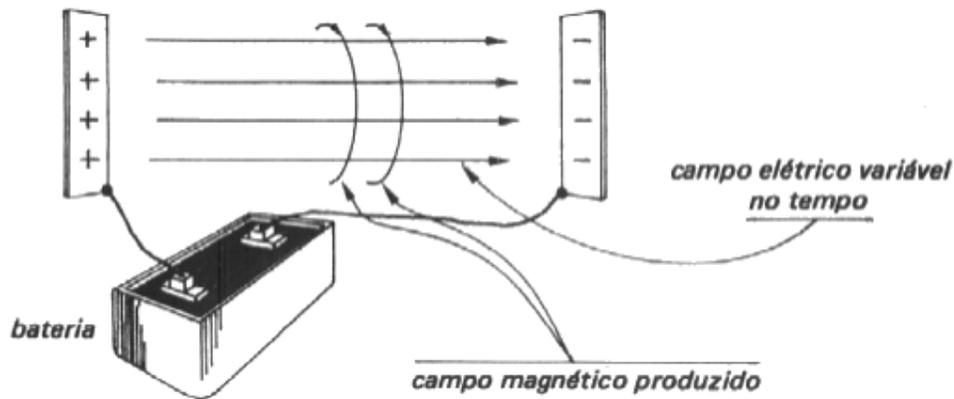


Figura 3: Campo elétrico variável

Ao crescerem as cargas das placas, o campo elétrico aumenta, produzindo um campo magnético (devido a variação do campo elétrico).

Embora Maxwell tenha estabelecido quatro equações para descrever os fenômenos eletromagnéticos analisados, podemos ter uma noção de sua teoria baseados em duas conclusões:

Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético.

Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga.

Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad [1]$$

Onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores deles na fórmula acima se encontra o valor da velocidade da luz no vácuo, de aproximadamente 3×10^8 m/s.

Podemos resumir as características das ondas eletromagnéticas no seguinte:

- São formadas por campos elétricos e campos magnéticos variáveis;
- O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético (para um meio sem perdas);
- São ondas transversais (os campos são perpendiculares à direção de propagação), em casos de ondas planas;
- Propagam-se no vácuo com a velocidade "c" .
- Pode propagar-se em um meio material com velocidade menor que a obtida no vácuo.

Por exemplo, o campo magnético ao redor do fio em certo instante estará apontando num sentido e, depois, no sentido contrário.

Através da segunda equação de Maxwell observa-se que um campo elétrico E variável no tempo irá gerar um campo magnético H, que será também variável no tempo. Por sua vez, esse campo magnético irá gerar um campo elétrico, de acordo com a primeira equação de Maxwell. E assim consecutivamente. Cada campo varia e gera outro campo que, por ser variável, gera outro campo: e está criada a perturbação eletromagnética que se propaga através do espaço, constituída pelos dois campos em recíprocas induções. A Figura 4 representa graficamente esses campos:

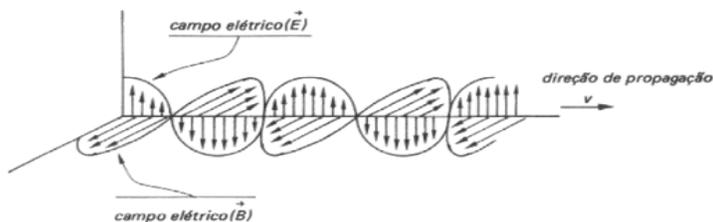


Figura 4: Onda eletromagnética plana

Note que o campo elétrico é perpendicular à direção de propagação e o campo magnético também, o que comprova que a onda plana eletromagnética é uma onda **transversal**.

Além disso, o campo elétrico é perpendicular ao campo magnético, o que podemos verificar facilmente p. ex., quando um fio é percorrido por cargas em movimento, o campo elétrico num ponto próximo ao fio pertence ao plano do fio, enquanto o campo magnético está saindo ou entrando neste plano.

Sumário das Equações:

As variáveis em negrito nas equações representam campos vetoriais ou vetores,

as integrais \oiint_S são integrais de superfície sobre uma superfície "fechada" \mathbf{S} , as integrais \iint_S são integrais de superfície em uma superfície aberta \mathbf{S} e as integrais \oint_C são integrais de linha em um caminho fechado \mathbf{C} .

Nome	Diferencial parcial	Forma integral
Lei de Gauss:	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = Q_{\text{englobado}} = \int_V \rho dV$ [2]

Lei de Gauss para o magnetismo (ausência de monopolos magnéticos):	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$	[3]
Lei da indução de Faraday:	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\int_S \frac{d\mathbf{B}}{dt} \cdot d\mathbf{s}$	[4]
Lei de Ampère + extensão de Maxwell:	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{englobado}} + \frac{d\Phi_D}{dt}$	[5]

Tabela 2: Equações de Maxwell

onde:

ρ é a densidade volumétrica de carga elétrica (unidade SI: Coulomb por metro cúbico), não incluindo dipolos de cargas ligadas no material.

\mathbf{B} é o vetor densidade de fluxo magnético (unidade SI: tesla).

\mathbf{D} é o vetor densidade de campo elétrico (unidade SI: Coulomb por metro quadrado).

\mathbf{E} é o vetor campo elétrico (unidade SI: volt por metro),

\mathbf{H} é o vetor campo magnético (unidade SI: ampère por metro)

\mathbf{J} é o vetor densidade de corrente elétrica (unidade SI: ampère por metro quadrado)

∇ é o operador gradiente que em coordenadas cartesianas pode ser escrito

$$\text{como } \frac{\partial}{\partial x} \hat{\mathbf{x}} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{\mathbf{y}} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{\mathbf{z}} \quad [6]$$

$\nabla \cdot$ é o divergente do campo vetorial (unidade SI: 1 por metro),

$\nabla \times$ é o rotacional do campo vetorial (unidade SI: 1 por metro).

2.2. MICROONDAS

A faixa de microondas genericamente é correspondente a frequências da ordem de 1 a 30 GHz. Acima destas frequências normalmente chama-se ondas milimétricas, p.ex., de 30 a 300 GHz, conforme mostra também no trabalho de Fábio Limongi.

As microondas são muito utilizadas em telecomunicações. As ligações de telefone e programas de TV recebidos "via satélite" de outros países são feitas com o emprego de microondas. Na Figura 5 podemos observar a concepção básica de um enlace de Microondas.

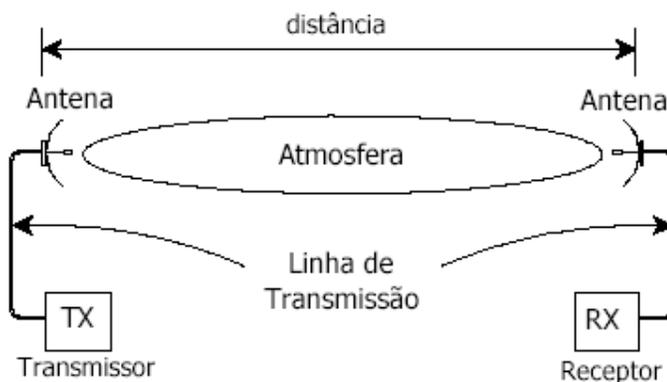


Figura 5: Enlace de Rádio

Este sistema ocorre dentro da atmosfera terrestre e, portanto, está sujeito às variações do clima na região de instalação dos rádios e antenas. Esses fenômenos afetam o desempenho do sistema.

Outros fatores que podem proporcionar perdas da atmosfera:

- Atenuação devido a Chuva;
- Atenuação devido aos gases da Atmosfera;
- Desvanecimento ou "Fading";

- Atenuação por Absorção;
- Variação do Nível de Ruído Espectral.

As interferências podem ser classificadas de acordo com suas fontes e também como fixas e variáveis.

Interferências Fixas: São as que mantêm a relação sinal ruído fixa, enquanto as Interferências Variáveis são as que não mantêm a SNR constante.

Interferências de acordo com suas Fontes:

Do mesmo Enlace (mutua) (sistemas com múltiplos canais);

Interferência do sinal Refletido;

Interferência de outros Enlaces (diagrama de radiação das outras antenas).

2.2.1. ATENUAÇÃO EM ESPAÇO LIVRE

Conforme Friis uma onda eletromagnética, propagando-se no espaço livre, sofre uma atenuação contínua. Ao afastar-se da fonte, a mesma quantidade de energia é distribuída em uma área maior, diminuindo a densidade de potência na região.

A atenuação de espaço livre pode ser calculada pela equação de Friis a seguir:

$$A_o = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad [7]$$

Essa equação pode ser reescrita na forma logarítmica, tornando-se:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20.\log(f) + 20.\log(d) \quad [8]$$

onde:

d = distância do enlace (km)

f = frequência (MHz)

A_o = atenuação em espaço livre (dB).

Note que o valor da constante é calculado levando em consideração as unidades de frequência em MHz e distâncias em km. Qualquer alteração das unidades irá variar este valor de 32,4 para mais ou para menos. A Figura 6, mostrada abaixo, mostra uma propagação simples de uma onda eletromagnética. Todos os cálculos referentes a atenuação estão baseados em uma onda eletromagnética plana.

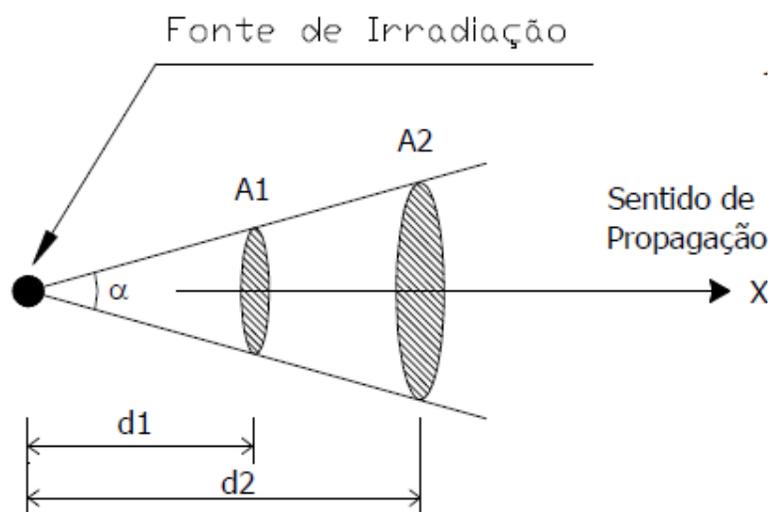


Figura 6: Propagação OEM

2.2.2. REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA

A intensidade dos efeitos da refração pode ser calculada pelo gradiente médio de refratividade ΔN , definido pela diferença entre o índice de refração, a uma altura de 1 km e a uma altura de 100 m acima do solo. O gradiente de refratividade tem um valor negativo, na maioria dos casos (BEAN; DUTTON, 1966), e é expresso em unidades N (Figura 2).

Para frequências menores que 100 GHz, a refratividade N pode ser calculada, com erro inferior a 0,5%, pela equação 9, de origem empírica, proposta por Bean e Dutton (1966).

$$N = \frac{77,6}{T} \left(p + 4,810 \cdot \frac{e}{T} \right) \quad [9]$$

onde:

N = refratividade em unidades N

p = pressão atmosférica em hpa

T = temperatura em °K

e = pressão do vapor d'água em hpa.

Na Figura 7 podemos observar o efeito da refração de uma OEM.

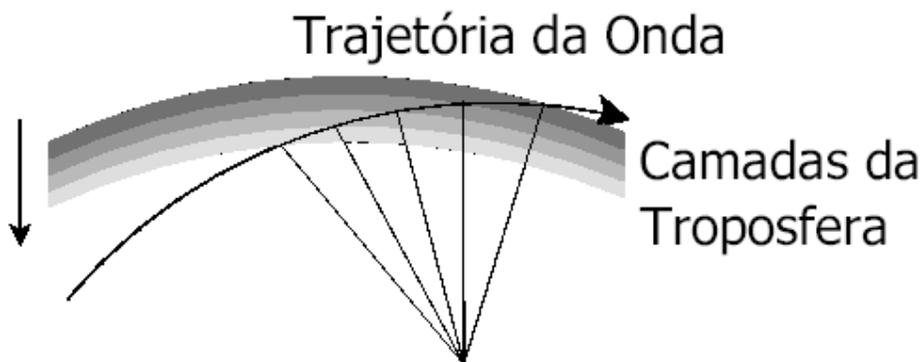


Figura 7: Ilustração do efeito da refração

2.2.3. DIFRAÇÃO DEVIDO A OBSTÁCULOS

Quando uma onda eletromagnética é limitada em seu avanço por um objeto opaco que deixa passar apenas uma fração das frentes de onda, sofre uma deflexão denominada difração (Figura 8).

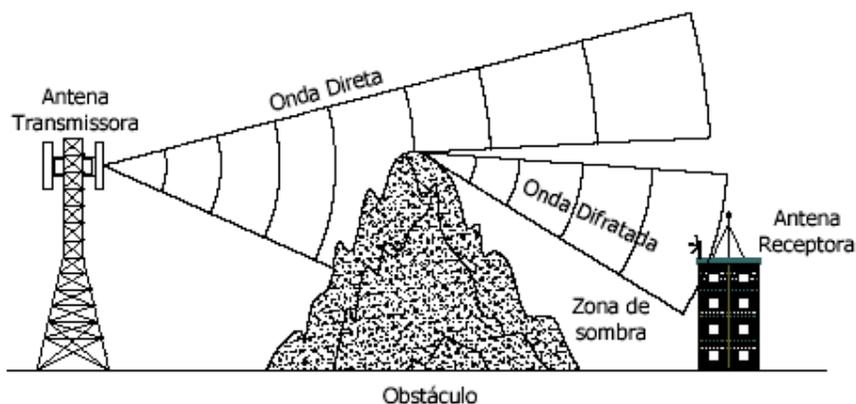


Figura 8: Difração devido a obstáculos

Uma nova onda é composta pelos radiadores, com características de frente de onda diferentes da onda original.

2.2.4. ATENUAÇÃO POR ABSORÇÃO

A atenuação gasosa em enlaces, na superfície terrestre, pode ser calculada conforme Recomendação ITU-R P676-3 (1995):

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w).d_o \quad [10]$$

onde:

γ_o = atenuação específica do ar seco/oxigênio em dB/km

γ_w = atenuação específica do ar úmido/vapor d'água em dB/km

d_o = comprimento do enlace em km.

$$\gamma_o = \left(7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right) \cdot f^2 \cdot 10^{-3} \quad [11]$$

$$\gamma_w = \left(0,050 + 0,0021 \cdot p + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9,0} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right) \cdot p \cdot f^2 \cdot 10^{-4} \quad [12]$$

onde:

f = frequência em GHz

p = densidade de vapor d'água em grama/m³ (usar $p = 7,5 \text{ g/m}^3$)

3. RADIO ENLACES EM VISIBILIDADE

Para acontecer uma comunicação básica entre dois pontos devem-se ter obrigatoriamente três componentes:

- Transmissor
- Receptor
- Meio de transmissão da comunicação (Figura 9)

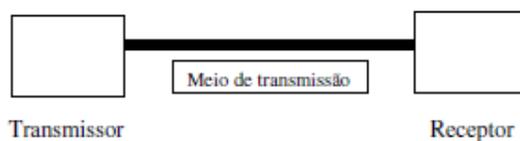


Figura 9: Elementos de uma comunicação básica

A Radiocomunicação estuda as telecomunicações sob o prisma da utilização do meio aéreo, através das ondas eletromagnéticas que se deslocam do transmissor ao receptor e vice-versa. A propagação da onda ocorre quando há a transferência de energia eletromagnética entre esses dois pontos pela atmosfera terrestre ou ambiente aberto e ilimitado, conforme mencionado no trabalho de dissertação de Fernando Felice.

A energia será distribuída por todo o espaço, mas apenas uma parte da potência irradiada pela antena transmissora chegará à antena receptora. O Rádio enlace ou sistema Rádio ponto-à-ponto define de que forma a interligação entre os pontos de transmissão e recepção pode ser feita, a fim de garantir que o sinal gerado em sua origem chegue a seu destino inteligível, dentro de uma taxa de erros aceitável, levando-se em consideração os diversos fatores que serão analisados neste trabalho; também chamado de radio visibilidade, pois se considera que existe visada entre as duas antenas, a transmissora e receptora, para que o enlace aconteça com sucesso.

Portanto, para que um rádio enlace funcione satisfatoriamente, são necessários os seguintes requisitos básicos:

- 1) A intensidade do sinal recebido deve ter potência suficiente para se sobrepor ao sinal do ruído recebido (com uma margem definida);

- 2) A intensidade do sinal deve ser propagada sem distorção excessiva, ou seja, a onda deve ser transmitida em uma faixa de frequência com atenuação e velocidade de propagações, com variações toleráveis para as frequências da faixa.

- 3) Para que o rádio enlace tenha confiabilidade, conforme o seu grau, as condições acima devem permanecer com pequenas variações na maior parte do tempo. Para a melhor compreensão da questão da confiabilidade e o seu grau, define-se que o projeto de um rádio enlace pode ser do tipo: otimizado, superdimensionado ou sub-dimensionado.

Um rádio enlace é considerado otimizado quando ele é elaborado sob medida para atender a finalidade a que se destina, ou seja, está na melhor relação custo – benefício, ou ainda, tecnicamente correto para aquela específica situação ao menor valor monetário a ser despendido. Isto significa que este projeto deve ser executado com confiabilidade somente na situação que foi considerada, sem levar em conta expansões futuras ou qualquer tipo de troca de componentes que constituem o sistema que não sejam exatamente com os mesmos parâmetros especificados do original. Entretanto, para a realização dos cálculos, tomam-se margens de certos parâmetros dependendo do grau de precisão necessários que estes exigem.

Um exemplo que se enquadra bem nisto, seria a dos parâmetros climáticos e topográficos de propagação empregados no cálculo de desempenho que, quando não encontrados para determinada região do país, são utilizados os valores estatísticos do ITU-R.

De maneira análoga ao explicado acima, um sistema é definido como superdimensionado, quando o dimensionamento dos parâmetros e componentes do sistema é valorizado bem acima do necessário. Neste caso, pode ocorrer pela imperícia do projetista ou para que o Rádio enlace esteja planejado para suportar futuras expansões. Para o primeiro caso, que é considerado grave, além do desperdício financeiro que acarreta, problemas técnicos também surgem, como por exemplo super dimensionar a altura de torres e antenas, tornando assim o enlace mais susceptível a interferências e reflexões, além de perda do nível de reflexão e possível atenuação adicional pelo aumento da metragem do cabo coaxial utilizado.

Por outro lado, um sistema é dito sub-dimensionado quando sua valorização é considerada inferior ao mínimo aceitável, acarretando o mau funcionamento do Rádio enlace através de alta taxa de erros de bit e, por conseguinte, a degradação rápida do link (ou seja, baixa confiabilidade).

Principais aplicações:

- Redes de transporte das operadoras de telefonia regionais e de longa distância são utilizadas para os chamados “backbones” - que são as redes principais, para os entroncamentos secundários, de longa distância ou para redes metropolitanas;
- Redes Corporativas – para a interligação de suas unidades com a unidade central, localizadas em metrópoles, outras cidades ou estados;
- Rede de transporte das operadoras de sistemas celulares fixos ou móveis – utilizada para a conexão entre as Estações Rádio Bases (ERB) e a Central de Comutação e Controle (CCC) – chamados de “backhauls” – e entre as CCCs e as operadoras das redes fixas, principalmente nas regiões metropolitanas;
- Rede de distribuição de sinais de televisão – as operadoras de televisão regionais distribuem seus sinais, desde as centrais de geração até os pontos de difusão ou as unidades móveis de reportagem, para transmissões ao vivo, realizando “links” temporários;
- Rede privada das operadoras de sistemas de utilidade pública – utilizada para prover a comunicação de sinais de voz ou de dados de comando entre as subestações;
- Redes de distribuição dos provedores de Internet – para interligarem seus assinantes de forma rápida e personalizada, ou para efetuarem a conexão de seus equipamentos centrais com seus provedores.

3.1. CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE

CRITÉRIOS DE RÁDIO VISIBILIDADE:

Para a definição dos critérios de rádio visibilidade é necessário saber o perfil do enlace, obtido a partir ou de cartas topográficas – digitalizada para o caso de

utilização de programas computacionais, ou de levantamentos em campo. Com isto, deve-se aplicar a correção equivalente da curvatura da Terra – fator K ao perfil do enlace.

A escolha do valor de K é um assunto polêmico, pois muitos projetistas adotam até hoje os critérios de $K=2/3$ e $K=4/3$ para o $K_{\text{mínimo}}$ e o $K_{\text{médio}}$ indiferente de qualquer situação. Este padrão não está incorreto, mas data dos rádios analógicos e se baseia nas práticas TELEBRAS. A utilização destes padrões, super dimensiona a altura das antenas, comprometendo os valores financeiros na famosa regra do custo-benefício, haja visto que o $K_{\text{mínimo}}$ pode determinar essa altura (em alguns casos é possível que se utilize o $K_{\text{médio}}$, dependendo das condições, local e frequência do enlace). A recomendação ITU-R 530-09, aplica a determinação do $K_{\text{mínimo}}$ para 99,9% do tempo no pior mês do ano em função da distância, otimizando assim o sistema.

Após a correção do perfil através da aplicação do fator K, determina-se a altura da antena baseando-se na percentagem do raio de Fresnel que deverá estar desobstruída, que é influenciada pela frequência de operação do radio enlace, que no caso deste trabalho é 8,5 GHz. Na Digital é utilizado um valor de 60% da zona de Fresnel liberada para que o enlace possa ser dito viável, sempre observando que existem outras condições que devem ser atendidas antes de garantir que um enlace será adequado ou não.

Resumidamente tem-se que:

– Aplicação ao perfil da correção equivalente da curvatura da Terra para o valor de $K_{\text{médio}}$ para 50 % do tempo. Não havendo possibilidade de obtenção deste valor, adota-se $K=4/3$;

– Aplicação ao perfil da correção do valor de $K_{\text{mínimo}}$ – 99,9 % da Tabela 3, utilizando o comprimento do enlace em questão. Este gráfico faz parte da recomendação ITU-R 530-09 em que o fator de $K_{\text{mínimo}}$ é dado em função do comprimento do enlace em km para o pior mês do ano;

– Determinação da altura da antena para os valores de $K_{\text{médio}}$ e $K_{\text{mínimo}}$ obtidos no passo 1 e 2 e a percentagem do raio de Fresnel;

– Utilização do maior valor obtido entre os passos 1 e 3 para as antenas dos dois pontos do enlace. Conforme mostra a Tabela 3:

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

Tabela 3: Critérios de Raio de Fresnel

3.1.1. ELIPSÓIDE DE FRESNEL

Elipsóide de Fresnel é o lugar geométrico dos pontos entre as antenas que possui comprimento igual à soma da distância entre as antenas e meio comprimento de onda, região também denominada de primeira zona de Fresnel Citado também por SIZUN, 2003.

Todas as características do espaço, nas proximidades da linha de visada das antenas que diferem das características do vácuo, estão envolvidas no processo de propagação. Abaixo é possível observar a representação do elipsóide de Fresnel de um enlace típico (Figura 10).

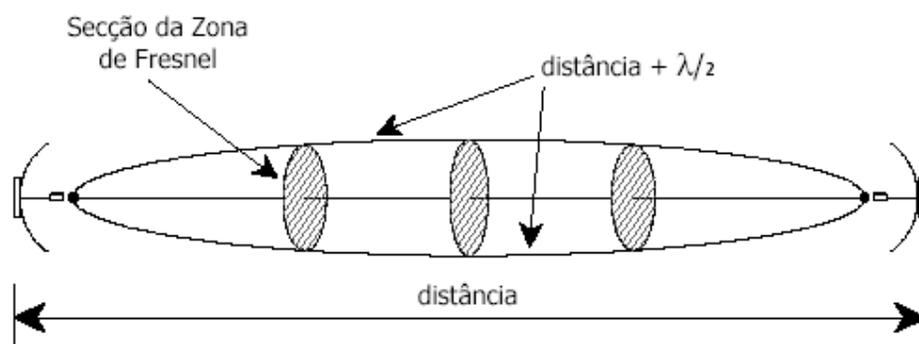


Figura 10: Frentes de onda no elipsóide de Fresnel

3.1.1.1. CÁLCULO DO RAIOS DO ELIPSÓIDE DE FRESNEL

No caso de um enlace real, as antenas – transmissora e receptora – ocupam os pontos focais da elipse, como mostra a Figura 11. Devem ser atendidas as condições de desobstrução de 60% da primeira zona de Fresnel para k mínimo e 100% da primeira zona de Fresnel para k médio (SIZUN, 2003).

O raio da seção reta circular da primeira zona de Fresnel, em um ponto definido (ponto com maior elevação do terreno – ponto crítico) pela distância $D1$ e $D2$, a partir das antenas na trajetória de visada do rádio enlace, pode ser calculado como segue:

$$R_m = 547,72 \cdot \sqrt{\frac{D1 \cdot D2}{f \cdot d}} \quad [13]$$

onde:

R_m = raio de Fresnel (m)

$D1$ = distância AC (km)

$D2$ = distância BC (km)

d = distância do enlace (km)

f = frequência em MHz

Como ilustrado na Figura 11, podemos identificar mais claramente as variáveis utilizadas.

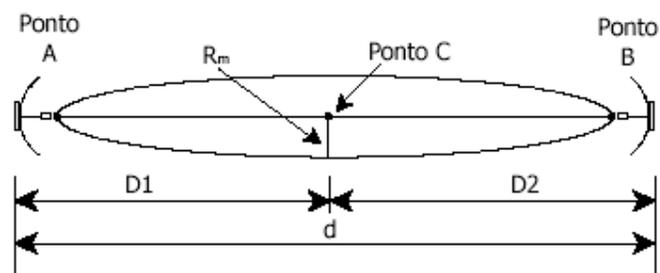


Figura 11: Ilustração do elipsóide da primeira zona de Fresnel

3.1.2. RADIOHORIZONTE

Define-se como radiohorizonte, a linha de horizonte com radio visibilidade para um transmissor ou receptor. Leva-se em conta a curvatura terrestre e a refração atmosférica.

A equação abaixo, indica a máxima distância entre um transmissor e um receptor, em função da altura das antenas para que haja radio visibilidade.

Na Figura 12 podemos ver um enlace com a Zona de Fresnel para K médio e $K_{\text{mínimo}}$, levando em consideração a curvatura da terra.

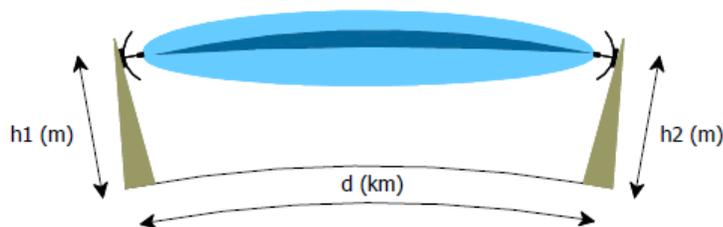


Figura 12: Radiohorizonte

$$d = 4,12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad [14]$$

Onde,

d = distância entre as antenas (km)

h1 = altura da antena 1 (m)

h2 – altura da antena 2 (m)

Para raio equivalente = 4/3

(TSM ANTENAS.

<<http://www.tsm.com.br/visual/arquivos/TutorialRadioEnlace.pdf>>)

3.2. CONCEITO DE RAIOS EQUIVALENTE DA TERRA

Recomenda-se que seja considerado, nos cálculos de desempenho do rádio enlace, dois valores de k: o k médio e o k mínimo. Como k médio, que é superado em mais de 50% do tempo de um ano, pode ser utilizado o valor de 4/3 ou outro valor calculado pelas curvas de refatividade da Recomendação ITU-R P 453-8 (1995). O k mínimo pode ocorrer, estatisticamente, em 0,1% do tempo, em um ano, conforme Recomendação P 530-6 (2007).

A aplicação do conceito de raio equivalente é obtida, na representação gráfica do perfil do terreno, entre as antenas de transmissão e recepção, em gráficos especiais

com raio de curvatura equivalente a $4/3$ do raio terrestre. Esse gráfico apresenta, no eixo horizontal, a distância entre a antena transmissora e receptora e, no eixo vertical, a altitude em relação ao nível do mar.

3.3. CALCULO DA ALTURA DAS ANTENAS

Com os dados do perfil do terreno e da localização dos pontos críticos – pontos de maior altitude que podem provocar obstrução dentro do elipsóide de Fresnel –, pode-se calcular a altura das antenas de transmissão e recepção. O método consiste em arbitrar a altura de uma delas e calcular a altura da outra, obedecendo-se aos critérios de desobstrução da primeira zona de Fresnel, previamente estabelecidos. A Figura 13 apresenta os principais parâmetros utilizados no cálculo:

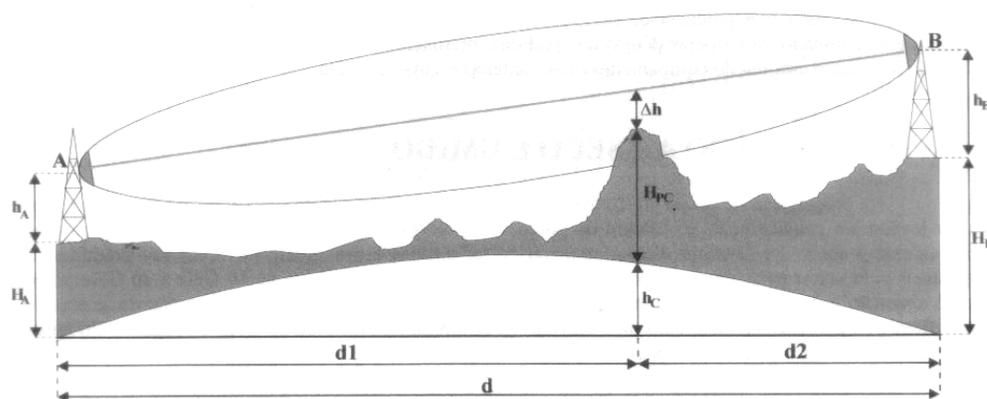


Figura 13: Parâmetros para o cálculo

Onde:

λ = comprimento de onda em metros;

Δh = distância do ponto crítico à linha de visada em metros;

r_1 = raio do elipsóide de Fresnel no ponto crítico em metros;

H_{pc} = altitude do ponto crítico em metros;

H_A = altitude do ponto A em metros;

H_B = altitude do ponto B em metros;

h_c = correção da curvatura da terra no ponto crítico em metros;

h_A = altura da antena A em metros;

h_B = altura da antena B em metros;

d_1 = distância do ponto crítico à antena A em quilômetros;

d_2 = distância do ponto crítico à antena B em quilômetros;

d = distância total entre as duas antenas em quilômetros.

$$h_B = \frac{d(H_{pc} + \Delta h + h_c - H_B) - d_2.(H_A + h_A - H_B)}{d_1} \quad [15]$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{d_1.d_2.\lambda}{d}} \quad [16]$$

$$h_c = \frac{0,078478.d_1.d_2}{k} \quad [17]$$

A partir do nível mínimo de sinal exigido pelo receptor faz-se o somatório das demais variáveis, corrigindo-as sempre que for necessário.

Equação Geral:

$$RX = TX + GT - A_o + GR - PR - PC \quad [18]$$

Onde,

TX – Potência de saída do rádio (dBm);

GT – Ganho da antena do transmissor (dBi);

GR – Ganho da antena do receptor (dBi);

PR – Perda por atenuação no cabo coaxial (dB);

RX – Sensibilidade do receptor (dBm);

Ao – Atenuação por espaço livre (dB);

PC – Atenuação por acoplamento 1+1 (Perda no Duplexer, necessário para realizar a ligação de dois rádios em apenas uma antena), como demonstra a Figura 14.

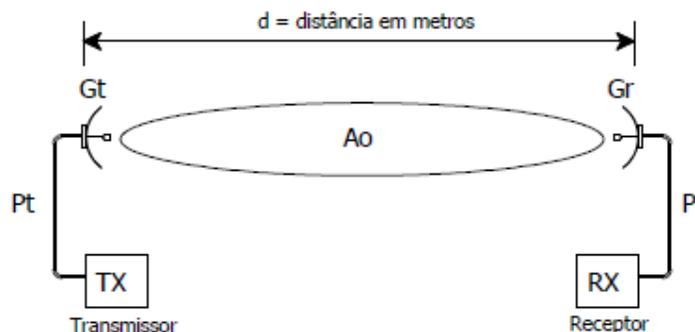


Figura 14: Enlace com elipsóide de Fresnel

Quando é necessário levantar as antenas (colocação de torres) é, então, utilizado um valor igual para ambos os lados. Desta forma as antenas terão a mesma altura, porém, não necessariamente a mesma altitude. Contudo, em alguns casos, as estações estão suficientemente próximas que torna desnecessária a utilização de torres.

Por outro lado, quando se utiliza um software (que para este projeto será o PathLoss), é possível definir alturas diferentes para os dois lados e obter as diferenças nos cálculos instantaneamente e sem esforços adicionais.

3.4. ATENUAÇÃO TOTAL LÍQUIDA

A atenuação total líquida para um enlace é dada por:

$$AT = Ae + Aab + Armf + Aca + Acb + AtTx + AtRx + Atob - (GT + GR)$$

[dB] [19]

Onde:

Ae – atenuação no espaço livre (dB);

Aab – atenuação devido a absorção na atmosfera (dB);

Armf – atenuação total no circuito de ramificação nos lados TX e RX (dB);

Aca – atenuação no guia de onda/cabo de RF da estação A (dB);

Acb – atenuação no guia de onda/cabo de RF da estação B (dB);

AtTx – valor da atenuação no lado do Transmissor (dB);

AtRx - valor da atenuação no lado do Receptor (dB);

Atob – valor da perda por obstrução (dB);

GT + GR – ganhos das antenas de transmissão e recepção (dBi).

4. DIMENSIONAMENTO TEÓRICO DE RADIO ENLACE EM VISIBILIDADE

Para a realização do estudo teórico são consideradas as fórmulas acima e cartas nomográficas como a mostrada abaixo. O resultado obtido ao utilizá-las é aproximado e por isso só deve ser utilizado em condições extremas, pois poderá afetar o planejamento operacional desejado e esperado para o enlace. A Figura 15 mostra um exemplo de carta nomográfica utilizada para cálculos de viabilidade de Rádio Enlace.

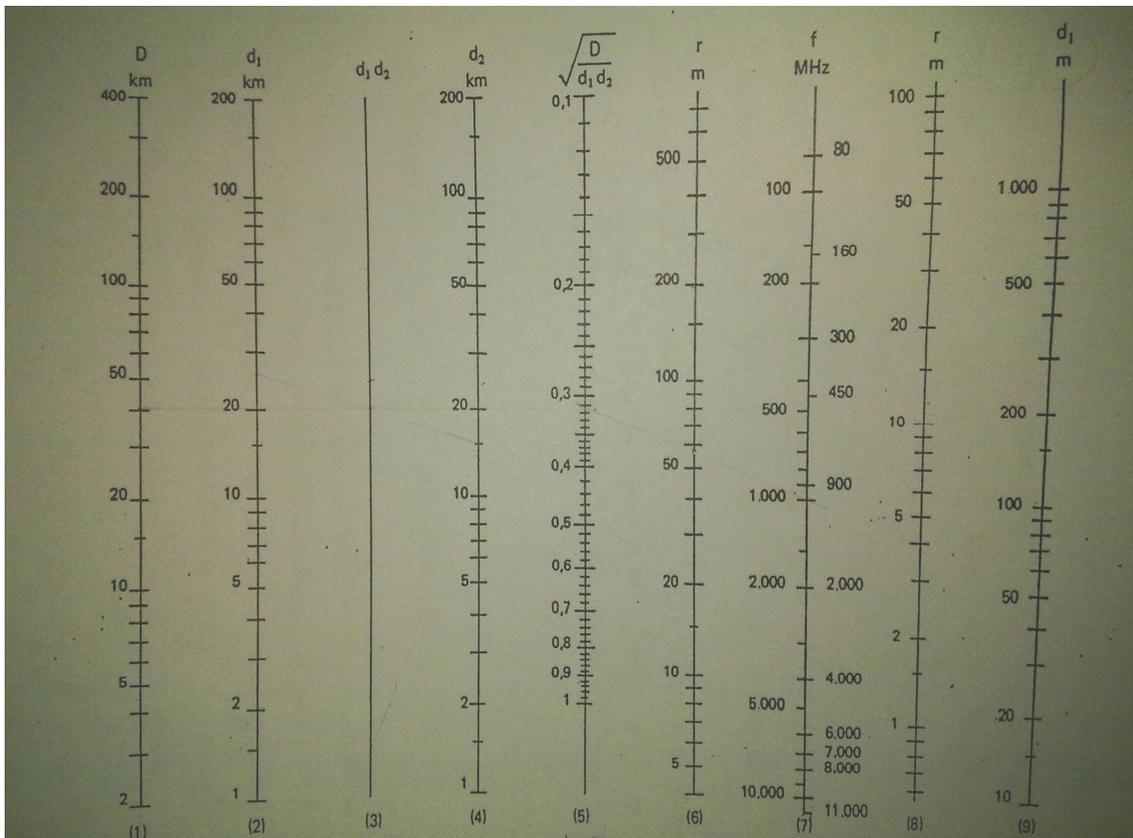


Figura 15: Carta Nomográfica

A carta mostrada acima (Figura 15) é feita para auxiliar no cálculo do raio da zona de Fresnel, possibilitando o cálculo da altura das antenas com base nos valores percentuais deste raio que deve estar livre ao longo do percurso, logo, sua utilização se dará da seguinte forma:

A) Quando o maior obstáculo está longe das duas estações:

- 1) Marca-se sobre as escalas (2) e (4) as distâncias d_1 e d_2 (distâncias entre o ponto considerado às duas extremidades do enlace). Juntar os dois pontos e marcar a intersecção na escala (3);
- 2) Marcar na escala (1) o comprimento total D (distância total do enlace), juntar com o ponto marcado na escala (3) e marcar a intersecção da escala (5);

3) Juntar este último ponto com a frequência de operação do enlace, escala (7) e ler o raio de Fresnel na escala (8).

B) Quando o obstáculo está muito mais próximo de uma das estações:

1) Juntar a frequência de operação do enlace, escala (7), à distância d_1 , do obstáculo até a estação mais próxima dele, escala (9) e ler o raio de Fresnel na escala (8).

C) Determinado o valor do raio de Fresnel em alguns pontos do enlace, traçar sobre o perfil do enlace o elipsóide de Fresnel e verificar se está livre de obstrução.

Todos os métodos utilizando as cartas nomográficas são aproximações dos cálculos analíticos e devem ser tomados com precauções para não resultar em medidas errôneas ou desnecessárias na prática.

Para que o PathLoss possa traçar o perfil certo de cada enlace ele utiliza cartas topográficas geradas e distribuídas pela NASA. Após a inserção da latitude e longitude dos dois lados do enlace o software esboça o perfil exato do terreno.

Assim como qualquer outra ferramenta atual para estudo de viabilidade, o software não pode prever construções e outros obstáculos que podem interferir no desempenho dele.

Por este motivo, é recomendada a visita ao local antes de prosseguir com os estudos. Entretanto, em muitos casos esta visita representa um custo adicional e indesejado, portanto, deve ser evitada sempre que possível.

Para evitar este custo é utilizado o Google Earth. Assim o local pode ser visualizado rapidamente e sem grandes despesas. Contudo, as imagens não estão sempre atualizadas e podem gerar uma margem de erro maior em cada enlace.

Este ainda é um problema carente de uma solução mais barata, rápida e precisa. Logo, a decisão de realizar ou não a visita, após esta série de precauções é feita de maneira subjetiva, contando com a experiência dos profissionais responsáveis pelo estudo.

Após a determinação do perfil do enlace é necessária a inclusão dos dados técnicos dos equipamentos que serão utilizados em ambos os sites (potência, sensibilidade, frequência de operação, dentre outros).

O software, então, analisa os critérios de desobstrução do elipsóide de Fresnel, na qual se verifica o raio da seção reta circular da primeira zona de Fresnel, no ponto crítico do enlace; faz os cálculos necessários para a viabilidade do enlace com base nas informações acrescentadas e gera um relatório com os resultados obtidos.

Verifica-se então, a margem de operação do sistema (na Digitel deve ser maior ou igual a 30 dB) e o tempo de indisponibilidade anual.

Antes de ser liberado, é recomendado o estudo de interferência, por outros enlaces que podem existir próximos ao local onde esse será instalado ou mesmo por outras fontes de ruído que podem existir na região (como estradas e cidades).

Este estudo não será abordado neste projeto, porém, ele é sempre realizado e pode ser feito pelo próprio software PathLoss. Para isto é descarregada uma lista com todos os enlaces que foram registrados na faixa de frequência de operação solicitada para a região escolhida, diretamente do site da ANATEL.

Assim que as informações são passadas para a operadora (neste caso para a Oi) e o enlace é liberado para instalação a Digitel também se encarrega de fazer o registro de cada enlace instalado junto à ANATEL.

5. DIMENSIONAMENTO USANDO SOFTWARE COMERCIAL

Será dimensionado um enlace de rádio digital, buscando atender as necessidades do cliente – Operadora Oi –, no Estado da Paraíba, para posterior implantação em campo.

Para iniciar o projeto, foram necessárias algumas informações importantes, obtidas com os clientes, sobre a localização e infra-estrutura disponibilizada para os equipamentos. Essas coordenadas geográficas, assim como as alturas de torres a serem utilizadas, são dados essenciais. Além dessas informações, o cliente deve, também, informar a taxa de transmissão necessária, geralmente definida em quantidade de E1's (Taxas de transmissão padronizadas pelo ITU-R de 2.048 Mbps), a frequência de operação e o tipo de diversidade (proteção).

De posse dessas informações e com o auxílio do software PathLoss, inicia-se a análise de viabilidade do enlace, verificando-se, primeiramente, se os critérios de desobstrução da primeira zona de Fresnel são atendidos.

Após a comprovação do critério de desobstrução do elipsóide Fresnel, devem-se verificar todas as perdas (atenuações) naturais do enlace. Nessa fase, serão analisadas a atenuação de espaço livre e a atenuação por absorção.

Logo, avaliam-se as especificações técnicas dos equipamentos e materiais disponíveis para definir a melhor solução. Devem-se levar em consideração, também, todos os resultados obtidos anteriormente, buscando atender o nível mínimo de sinal exigido pelo receptor.

Na Figura 25, abaixo, pode ser observado o fluxo de trabalho em um dimensionamento de Rádio Enlace:

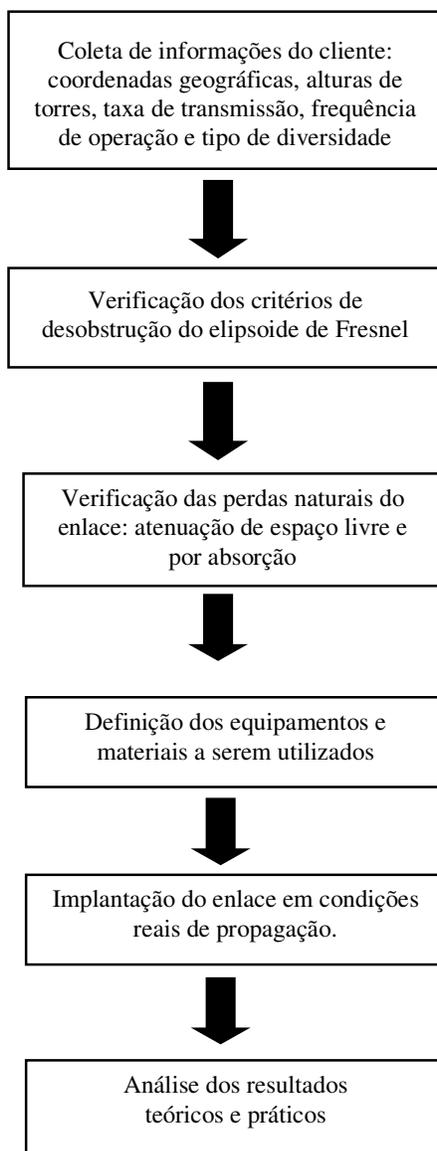


Figura 16: Fluxograma do dimensionamento de um rádio enlace pelo PathLoss

5.1. DIGITEL S/A

A Digitel desenvolve, fabrica, comercializa e suporta uma ampla linha de produtos para comunicação de dados, voz e imagem, utilizando o que há de

mais avançado em termos de tecnologia e qualidade. Tem como principais clientes operadoras de telefonia, companhias de energia elétrica e órgãos públicos.

Por meio do domínio das principais tecnologias de acesso e com uma equipe de Pesquisa e Desenvolvimento voltada para o contínuo aperfeiçoamento de seus produtos, a Digitel busca agregar valor a seus clientes, tornando-os mais competitivos em seus negócios.

Atualmente, seu principal cliente é a Operadora Oi com a qual possui um contrato para fornecimento e instalação de rádios PDH, a nível Brasil.

No próximo capítulo serão apresentados os cálculos teóricos analíticos, via software e medidos em campo de 5 enlaces instalados para a operadora Oi.

6. ESTUDO DE CINCO RÁDIO-ENLACES INSTALADOS PARA A OPERADORA OI

6.1. ENLACE BARAÚNA-CUITÉ

Dados Técnicos dos Equipamentos, apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6:

Rádio ClearWave 8,5 GHz 16E1 1+1	
Potência de transmissão	22 dBm
Tolerância	+/- 3 dB
Limiar de recepção	-78 dBm
Máximo sinal de entrada (saturação)	-25 dBm

Antenas Brasilsat			
Modelo	Diâmetro	Ganho	Tolerância
ADS77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi
ADS77-18	1,8 m	41,1 dBi	+/- 0,5 dBi

Perdas do sistema de derivação	
Acoplamento ODU 1+1	3 dB
Conectores	0,25 dB
Guia de Onda	0,25 dB

Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6: Dados técnicos

Dados Técnicos do Enlace, mostrados na Tabela 7:

Estação: Baraúna	Estação: Cuité
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 06 38 35.20 S	Latitude: 06 29 11.80 S
Longitude: 036 15 16.10 W	Longitude: 036 09 22.70 W
Altura da antena: 21 metros	Altura da antena: 47 metros
Localidade: Baraúna - Paraíba	Localidade: Cuité - Paraíba

Tabela 7: Dados do Enlace

Cálculos e resultados:

$$R_m = 547 \cdot \sqrt{\frac{D1 \cdot D2}{f \cdot d}} = 547 \cdot \sqrt{\frac{20 \cdot 0,43}{8500 \cdot 20,43}} = 3,85m \quad [20]$$

$$R_m = 3,85m$$

Onde:

$D1 = 20 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Baraúna até o ponto crítico do enlace

$D2 = 0,43 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Cuité até o ponto crítico do enlace

$f = 8500 \text{ MHz} \Rightarrow$ frequência de operação do enlace

$d = 20,43 \text{ km} \Rightarrow$ distância total do enlace

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o enlace possui liberação de 100% da primeira zona do elipsóide de Fresnel para k médio; portanto, pode-se afirmar que o mesmo não sofrerá difração devido a obstáculos (atenuação).

O próximo passo consiste em calcular todas as atenuações naturais do enlace.

Verificam-se as atenuações de espaço livre e de absorção, respectivamente.

Obtém-se então a atenuação de espaço livre:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 137,26 \text{ dB}$$

[21]

onde:

$$f = 8500 \text{ MHz}$$

$$d = 20,43 \text{ km}$$

Logo, calcula-se a atenuação devido à absorção:

$$A_{ab} = (\gamma_p + \gamma_w).d_o = (6,73 \times 10^{-3} + 4,58 \times 10^{-3}).20,43 = 0,23 \text{ dB} \quad [22]$$

onde:

$$\gamma_p = 6,73 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$\gamma_w = 4,58 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$d_o = 20,43 \text{ km}$$

Valores de atenuação do ar e do vapor de água obtidos ao substituir os dados na equação [11].

Considerando as informações técnicas dos equipamentos utilizados, chega-se aos resultados pretendidos:

Potência do sinal recebido (RX) será igual à soma:

$$RX = TX + GT + GR - A_{ab} - A_o - PR - PC \quad [23]$$

Onde,

RX – Potência Recebida;

TX – Potência Transmitida;

GT – Ganho da Antena Transmissora;

GR – Ganho da Antena Receptora;

A_{ab} – Atenuação por absorção;

A_o – Atenuação em Espaço Livre;

PR – Atenuação nos cabos coaxiais;

PC – Perdas de conexão 1+1.

Logo,

$$RX = 22 + 37,6 + 41,1 - 0,23 - 137,26 - 1 - 3 \quad [24]$$

Portanto,

$$RX = -40,79 \text{ dBm [dentro dos valores exequíveis pelos equipamentos]}$$

A seguir, são apresentadas as informações disponibilizadas pelo cliente para realização deste projeto, Tabela 8:

Estação: Baraúna	Estação: Cuité
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 06 38 35.20 S	Latitude: 06 29 11.80 S
Longitude: 036 15 16.10 W	Longitude: 036 09 22.70 W
Altura da antena: 21 metros	Altura da antena: 47 metros
Localidade: Baraúna - Paraíba	Localidade: Cuité - Paraíba

Tabela 8: Dados de Projeto

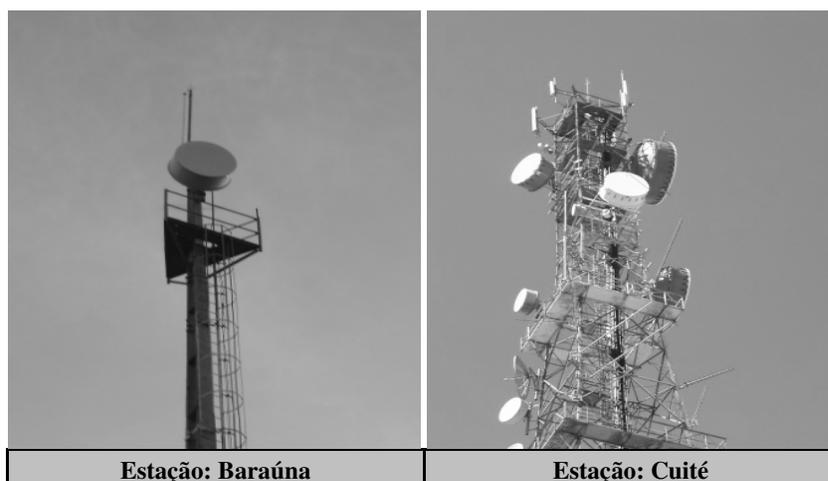


Figura 17 e Figura 18: IMAGENS DAS TORRES E INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS PELO CLIENTE

As Figuras 16 e 17 mostram as torres onde foram instaladas as antenas do enlace em questão.

Deve-se registrar, no software PathLoss, as coordenadas geográficas, as alturas de antenas e a frequência de operação do enlace.

O software PathLoss utiliza, como base topográfica, imagens de alta resolução capturadas pelos satélites da NASA e, com base nessas imagens, apresenta seus primeiros resultados:

- a) ângulo de azimute (graus);
- b) distância total do enlace (km);
- c) elevação do terreno (m);
- d) traçado da linha de visada;
- e) traçado do elipsoide de Fresnel.

Abaixo (Figura 18) segue a imagem da interface de inserção de dados iniciais do PathLoss, já com as informações do enlace postadas.

Nome do site		CUITE	
Chamada			
Código da estação			
Estado			
Código do proprietário			
Latitude	06 38 35.20 S	06 29 11.80 S	
Longitude	036 15 16.10 W	036 09 22.70 W	
Azimuth verdadeiro (°)	32.11	212.09	
Calculated Distance (km)		20.43	
Profile Distance (km)		20.43	
Datum	WGS 1984		
Elevação (m)	616.75	664.63	
Altura da torre (m)			
Altura da antena TR (m)	21.00	47.00	
Code			
Perda na Transmissão	0.00	0.00	
Perda na Recepção	0.00	0.00	

Operator code	
Modelo do Rádio - Capacidade	
Code	
Designação de emissão - Modulação	
Traffic code	
Potência de TX (dBm)	
Frequência (MHZ)	8500.00
Polarização	Horizontal
Atenuação de espaço livre (dB)	137.26
Potência Efetivamente Irradiada -EIRP- (dBm)	
Nível de sinal recebido (dBm)	
Radio configuration	

Figura 19: Imagem da tela do software PathLoss em que as informações disponibilizadas pelo cliente são registradas. Nessa tela, são apresentados o ângulo de azimute, a distância do enlace e a elevação do terreno

Após a inserção desses dados no software é possível buscar o perfil do terreno entre os dois pontos do enlace. O PathLoss faz esta procura e carrega o perfil correto segundo as cartas fornecidas pela Agência Espacial Americana (NASA). Neste perfil podem ser visualizados todos os pontos de declive e acentive, bem como seus máximos e mínimos, mostrando onde eles ocorrem e permitindo uma pré-avaliação do enlace. Caso esteja visualmente muito obstruído não há a necessidade de progredir com os estudos, afirmando a inviabilidade deste.

Abaixo (Figura 19) segue o perfil selecionado pelo PathLoss para o enlace em estudo:

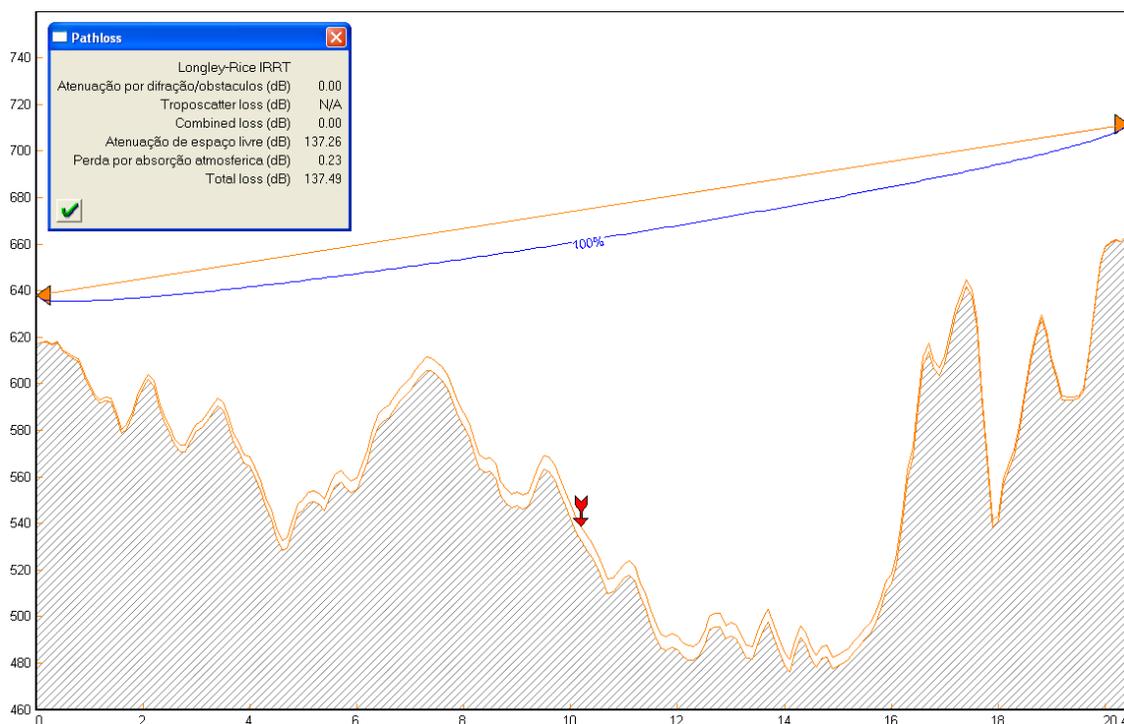


Figura 20: Perfil do enlace para k médio gerado pelo PathLoss com base nas imagens topográficas da NASA.

É importante observar que neste perfil não são expostas edificações e arvoredos que possam existir no local. Para minimizar os riscos pode ser feita uma visualização pelo Google Earth das coordenadas indicadas. Porém, ainda há problemas quanto ao crescimento de civilização em torno do enlace ou mesmo arvores de grande porte, ocasionando a obstrução parcial ou total da visada.

Abaixo segue a visualização deste enlace pelo Google Earth, Figura 20:



Figura 21: Imagem do Google Earth

De acordo com a necessidade do cliente e condições do enlace, verificam-se as especificações técnicas dos equipamentos e materiais a serem utilizados para seu o atendimento.

É necessário, também, incluir uma margem de desvanecimento e também para os sinais interferentes, próximos à banda de frequências utilizada pelo enlace. Para a transmissão de dados e voz, o fabricante recomenda trabalhar com uma margem de, aproximadamente, 30dB.

Por fim, o PathLoss gera o relatório final (report), apresentando todos os resultados do cálculo de dimensionamento, verificando-se, assim, a viabilidade do enlace.

Abaixo segue a imagem deste relatório, Tabela 9:

	BARAUNA	CUITE
Elevação (m)	616.75	664.63
Latitude	06 38 35.20 S	06 29 11.80 S
Longitude	036 15 16.10 W	036 09 22.70 W
Azimute verdadeiro (°)	32.11	212.09
Ângulo vertical (°)	0.14	-0.28
Modelo de Antena	ADS 77-12 (L)	ADS 77-18 (L)
Altura da antena (m)	21.00	47.00
Ganho da antena (dBi)	37.60	41.10
Tipo de cabo TX	RGC 8	RGC 8
Comprimento do cabo TX (m)	82.00	134.00
Perda unitaria no cabo TX (dB /100 m)	0.00	0.00
Atenuação no cabo TX (dB)	0.00	0.00
Atenuação em conector (dB)	0.50	0.50
Atenuação em RF coupler (dB)	3.00	3.00
Frequência (MHZ)	8500.00	
Polarização	Vertical	
Distância do enlace (km)	20.43	
Atenuação de espaço livre (dB)	137.26	
Perda por absorção atmosférica (dB)	0.23	
Margem de segurança (dB)	1.00	
Atenuação por difração/obstáculos (dB)	0.00	
Atenuação líquida (dB)	66.79	66.79
Modelo do Rádio - Capacidade	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1
Potência de TX (Watts)	0.16	0.16
Potência de TX (dBm)	22.00	22.00
Potência Efetivamente Irrradiada -EIRP- (dBm)	56.10	59.60
Designação de emissão - Modulação	14MOD7W - TCM	14MOD7W - TCM
Critério de limiar de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nível limiar de RX(dBm)	-78.00	-78.00
Nível máximo de sinal de RX(dBm)	-25.00	-25.00
Nível de sinal recebido (dBm)	-44.79	-44.79
Margem de desvanecimento	33.21	33.21

Tabela 9: Resultados apresentados pelo software PathLoss

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o enlace atende o limiar de recepção (-44,79 dBm) com uma margem de desvanecimento de 33,21 dBm. Com a confirmação da viabilidade do enlace apresentado pelo PathLoss, dá-se início à implantação do enlace em condições reais de propagação.

6.2. ENLACE AROEIRAS- UMBUZEIRO

Dados Técnicos dos Equipamentos, Tabelas 10, 11 e 12:

Rádio ClearWave 8,5 GHz 16E1 1+1	
Potência de transmissão	22 dBm
Tolerância	+/- 3 dB
Limiar de recepção	-78 dBm
Máximo sinal de entrada (saturação)	-25 dBm

Antenas Brasilsat			
Modelo	Diâmetro	Ganho	Tolerância
ADS 77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi
ADS 77-18	1,8 m	41,1 dBi	+/- 0,5 dBi

Perdas do sistema de derivação	
Acoplamento ODU 1+1	3 dB
Conectores	0,25 dB
Guia de Onda	0,25 dB

Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12: Dados Técnicos

Dados Técnicos do Enlace, Tabela 13:

Estação: AROEIRAS	Estação: UMBUZEIRO
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 07° 31' 10.01" S	Latitude: 07° 41' 46.49" S
Longitude: 35° 41' 11.99" W	Longitude: 35° 40' 50.91" W
Altura da antena: 25 metros	Altura da antena: 59 metros
Localidade: Aroeiras - Paraíba	Localidade: Umbuzeiro - Paraíba

Tabela 13: Dados do Enlace

Cálculos e resultados:

$$R_m = 547 \cdot \sqrt{\frac{D1 \cdot D2}{f \cdot d}} = 547 \cdot \sqrt{\frac{10,2 \cdot 0,43}{8500 \cdot 19,53}} = 13,09m \quad [20]$$

$$R_m = 13,09 m$$

Onde:

$D1 = 10,2 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Aroeiras até o ponto crítico do enlace

$D2 = 0,43 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Umbuzeiro até o ponto crítico do enlace

$f = 8500 \text{ MHz} \Rightarrow$ frequência de operação do enlace

$d = 19,53 \text{ km} \Rightarrow$ distância total do enlace

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o enlace possui liberação de 100% da primeira zona do elipsóide de Fresnel para k médio; portanto, pode-se afirmar que o mesmo não sofrerá difração devido a obstáculos (atenuação).

O próximo passo consiste em calcular todas as atenuações naturais do enlace. Verificam-se as atenuações de espaço livre e de absorção, respectivamente.

Obtém-se então a atenuação de espaço livre:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 136,80 \text{ dB} \quad [21]$$

onde:

$$f = 8500 \text{ MHz}$$

$$d = 19,53 \text{ km}$$

Logo, calcula-se a atenuação devido à absorção:

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w) \cdot d_o = (6,73 \times 10^{-3} + 4,58 \times 10^{-3}) \cdot 19,53 = 0,22 \text{ dB} \quad [22]$$

onde:

$$\gamma_o = 6,73 \times 10^{-3} \text{ dB/km}$$

$$\gamma_w = 4,58 \times 10^{-3} \text{ dB/km}$$

$$d_o = 19,53 \text{ km}$$

Valores de atenuação do ar e do vapor de água obtidos ao substituir os dados na equação [11].

Considerando as informações técnicas dos equipamentos utilizados, chega-se aos resultados pretendidos:

Potência do sinal recebido (RX) será igual à soma:

$$RX = TX + GT + GR - A_{ab} - A_o - PR - PC \quad [23]$$

Onde,

RX – Potência Recebida;

TX – Potência Transmitida;

GT – Ganho da Antena Transmissora;

GR – Ganho da Antena Receptora;

A_{ab} – Atenuação por absorção;

A_o – Atenuação em Espaço Livre;

PR – Atenuação nos cabos coaxiais;

PC – Perdas de conexão 1+1.

Logo,

$$RX = 22 + 37,6 + 41,1 - 0,22 - 136,80 - 1 - 3 \quad [24]$$

Portanto,

$$RX = - 40,32 \text{ dBm [dentro dos valores exequíveis pelos equipamentos]}$$

Abaixo segue o perfil selecionado pelo PathLoss para o enlace em estudo, Figura 21:

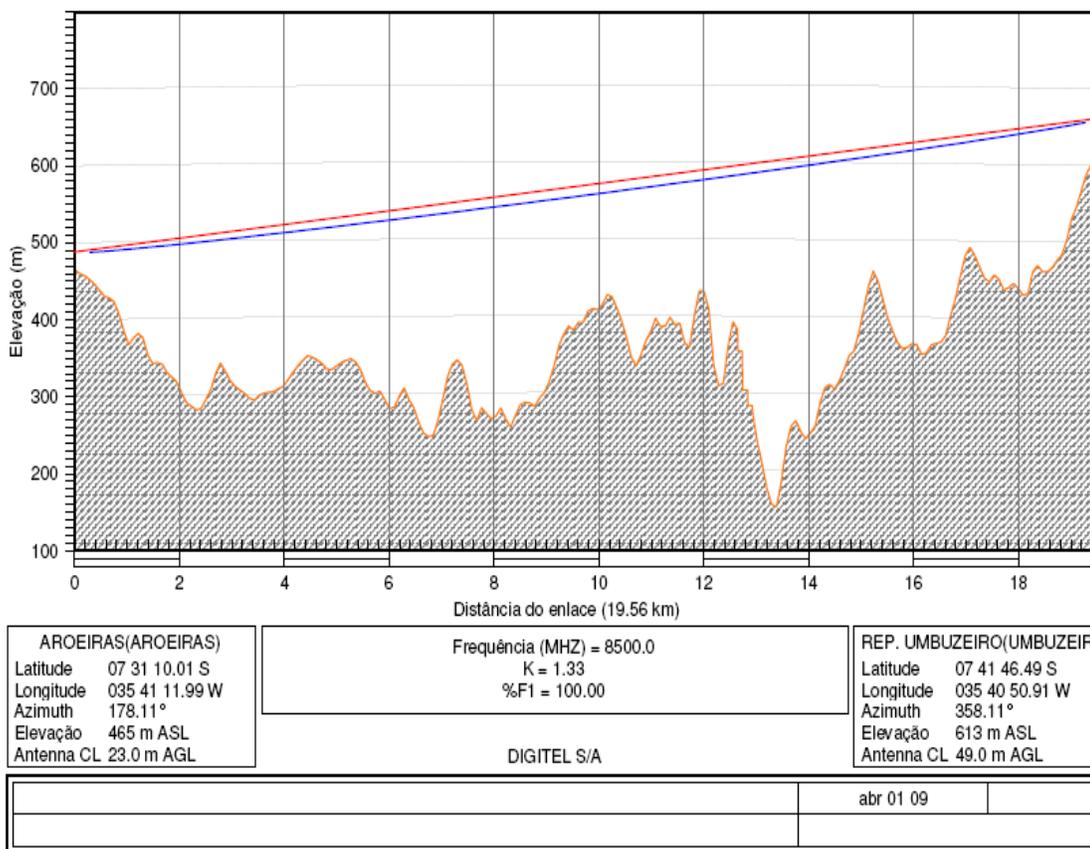


Figura 22: Perfil do Enlace

Abaixo (Tabela 14) segue a imagem do relatório gerado pelo PathLoss após a inserção dos dados no software:

	AROEIRAS(AROEIRAS)	REP. UMBUZEIRO(UMBUZEIR)
Elevação (m)	465.36	613.21
Latitude	07 31 10.01 S	07 41 46.49 S
Longitude	035 41 11.99 W	035 40 50.91 W
Azimute verdadeiro (°)	178.11	358.11
Ângulo vertical (°)	0.44	-0.58
Modelo de Antena	ADS 77-12 (L)	ADS 77-18 (L)
Altura da antena (m)	23.00	49.00
Ganho da antena (dBi)	37.60	41.10
Tipo de cabo TX	RGC 8	RGC 8
Comprimento do cabo TX (m)	86.00	138.00
Perda unitaria no cabo TX (dB /100 m)	0.00	0.00
Atenuação no cabo TX (dB)	0.00	0.00
Atenuação em conector (dB)	0.50	0.50
Atenuação em RF coupler (dB)	3.00	3.00
Frequência (MHZ)	8500.00	
Polarização	Vertical	
Distância do enlace (km)	19.56	
Atenuação de espaço livre (dB)	136.88	
Perda por absorção atmosferica (dB)	0.22	
Margem de segurança (dB)	1.00	
Atenuação por difração/obstaculos (dB)	0.00	
Atenuação líquida (dB)	66.40	66.40
Modelo do Rádio - Capacidade	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1
Potência de TX (Watts)	0.16	0.16
Potência de TX (dBm)	22.00	22.00
Potência Efetivamente Irrradiada -EIRP- (dBm)	56.10	59.60
Designação de emissão - Modulação	14M0D7W - TCM	14M0D7W - TCM
Critério de limiar de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nível limiar de RX(dBm)	-78.00	-78.00
Nível máximo de sinal de RX(dBm)	-25.00	-25.00
Nível de sinal recebido (dBm)	-44.40	-44.40
Margem de desvanecimento	33.60	33.60
Fator geoclimatico	2.98E-05	
Inclinação do enlace (mr)	8.89	
Fator de ocorencia de desvanecimento (Po)	3.16E-04	
SESR para o pior mês (segundos/mês)	1.25E-07	1.25E-07
Indisponibilidade por multipercurso no pior mês (segundos /mês)	0.33	0.33
	2.76E-08	2.76E-08
	0.07	0.07
0,01% Intensidade de chuva(mm/hr)	115.00	
Margem de desvanecimento plano - Chuva (dB)	33.60	33.60
Atenuação por chuva (dB)	33.60	33.60
Periodo anual indisponível por chuva (min)	2.61	2.61
Indisponibilidade anual (minutos/ano)	4.97E-06	4.97E-06
	2.61	2.61

Tabela 14: Cálculos do Dimensionamento por meio do PathLoss

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o enlace atende o limiar de recepção (-44,40 dBm) com uma margem de desvanecimento de 33,60 dBm. Com a confirmação da viabilidade do enlace apresentado pelo

PathLoss, dá-se início à implantação do enlace em condições reais de propagação.

6.3. ENLACE GADO BRAVO-UMBUZEIRO

Dados Técnicos dos Equipamentos, Tabelas 15, 16 e 17:

Rádio ClearWave 8,5 GHz 16E1 1+1	
Potência de transmissão	22 dBm
Tolerância	+/- 3 dB
Limiar de recepção	-78 dBm
Máximo sinal de entrada (saturação)	-25 dBm

Antenas Brasilsat			
Modelo	Diâmetro	Ganho	Tolerância
ADS 77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi
ADS 77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi

Perdas do sistema de derivação	
Acoplamento ODU 1+1	3 dB
Conectores	0,25 dB
Guia de Onda	0,25 dB

Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17: Dados Técnicos dos Equipamentos

Dados Técnicos do Enlace, Tabela 18:

Estação: GADO BRAVO	Estação: UMBUZEIRO
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 07° 34' 58.07" S	Latitude: 07° 41' 46.49" S
Longitude: 35° 47' 42.05" W	Longitude: 35° 40' 50.91" W
Altura da antena: 24 metros	Altura da antena: 51 metros
Localidade: Gado Bravo - Paraíba	Localidade: Umbuzeiro - Paraíba

Tabela 18: Dados Técnicos do Enlace

Cálculos e resultados:

$$R_m = 547 \cdot \sqrt{\frac{D1 \cdot D2}{f \cdot d}} = 547 \cdot \sqrt{\frac{1,8 \cdot 15,98}{8500 \cdot 17,78}} = 7,54m$$

[20]

$$R_m = 7,54 \text{ m}$$

Onde:

$D_1 = 1,8 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Gado Bravo até o ponto crítico do enlace

$D_2 = 15,98 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Umbuzeiro até o ponto crítico do enlace

$f = 8500 \text{ MHz} \Rightarrow$ frequência de operação do enlace

$d = 17,78 \text{ km} \Rightarrow$ distância total do enlace

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o enlace possui liberação de 100% da primeira zona do elipsóide de Fresnel para k médio; portanto, pode-se afirmar que o mesmo não sofrerá difração devido a obstáculos (atenuação).

O próximo passo consiste em calcular todas as atenuações naturais do enlace. Verificam-se as atenuações de espaço livre e de absorção, respectivamente.

Obtém-se então a atenuação de espaço livre:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 135,98 \text{ dB} \quad [21]$$

onde:

$$f = 8500 \text{ MHz}$$

$$d = 17,78 \text{ km}$$

Logo, calcula-se a atenuação devido à absorção:

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w) \cdot d_o = (6,73 \times 10^{-3} + 4,58 \times 10^{-3}) \cdot 17,78 = 0,20 \text{ dB} \quad [22]$$

onde:

$$\gamma_o = 6,73 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$\gamma_w = 4,58 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$d_o = 17,78 \text{ km}$$

Valores de atenuação do ar e do vapor de água obtidos ao substituir os dados na equação [11].

Considerando as informações técnicas dos equipamentos utilizados, chega-se aos resultados pretendidos:

Potência do sinal recebido (RX) será igual à soma:

$$RX = TX + GT + GR - Aab - Ao - PR - PC \quad [23]$$

Onde,

RX – Potência Recebida;

TX – Potência Transmitida;

GT – Ganho da Antena Transmissora;

GR – Ganho da Antena Receptora;

Aab – Atenuação por absorção;

Ao – Atenuação em Espaço Livre;

PR – Atenuação nos cabos coaxiais;

PC – Perdas de conexão 1+1.

Logo,

$$RX = 22 + 37,6 + 37,6 - 0,20 - 135,98 - 1 - 3 \quad [24]$$

Portanto,

$$RX = -42,98 \text{ dBm [dentro dos valores exequíveis pelos equipamentos]}$$

Abaixo segue o perfil selecionado pelo PathLoss para o enlace em estudo, como mostra a Figura 22:

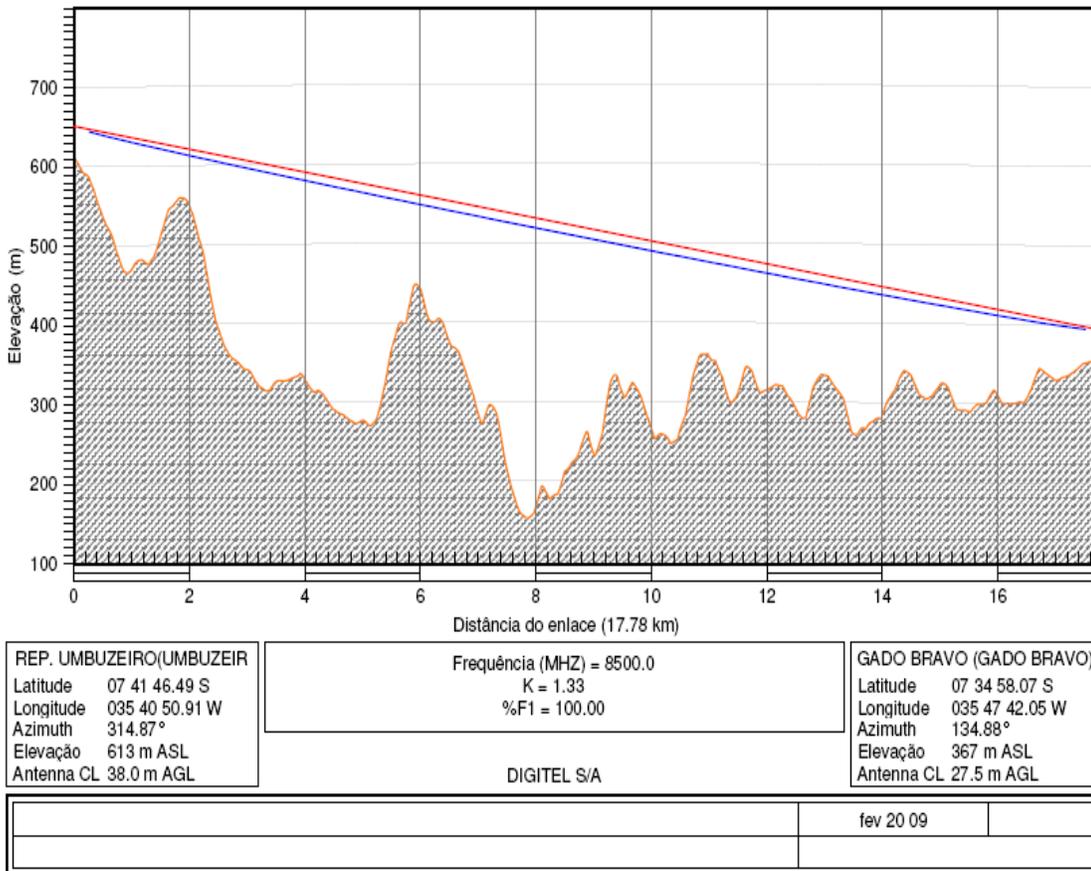


Figura 23: Perfil do Enlace

Abaixo (Tabela 19) segue a imagem do relatório gerado pelo PathLoss após a inserção dos dados no software:

	REP. UMBUZEIRO(UMBUZEIR	GADO BRAVO (GADO BRAVO)
Elevação (m)	613.21	367.24
Latitude	07 41 46.49 S	07 34 58.07 S
Longitude	035 40 50.91 W	035 47 42.05 W
Azimute verdadeiro (°)	314.87	134.88
Ângulo vertical (°)	-0.89	0.77
Modelo de Antena	ADS 77-12 (L)	ADS 77-12 (L)
Altura da antena (m)	38.00	27.50
Ganho da antena (dBi)	37.60	37.60
Tipo de cabo TX	RGC 8	RGC 8
Comprimento do cabo TX (m)	116.00	95.00
Perda unitaria no cabo TX (dB /100 m)	0.00	0.00
Atenuação no cabo TX (dB)	0.00	0.00
Atenuação em conector (dB)	0.50	0.50
Atenuação em RF coupler (dB)	3.00	3.00
Frequência (MHZ)	8500.00	
Polarização	Vertical	
Distância do enlace (km)	17.78	
Atenuação de espaço livre (dB)	136.06	
Perda por absorção atmosferica (dB)	0.20	
Margem de segurança (dB)	1.00	
Atenuação por difração/obstaculos (dB)	0.00	
Atenuação líquida (dB)	69.05	69.05
Modelo do Rádio - Capacidade	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1
Potência de TX (Watts)	0.16	0.16
Potência de TX (dBm)	22.00	22.00
Potência Efetivamente Irrradiada -EIRP- (dBm)	56.10	56.10
Designação de emissão - Modulação	14M0D7W - TCM	14M0D7W - TCM
Critério de limiar de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nível limiar de RX(dBm)	-78.00	-78.00
Nível máximo de sinal de RX(dBm)	-25.00	-25.00
Nível de sinal recebido (dBm)	-47.05	-47.05
Margem de desvanecimento	30.95	30.95
Fator geoclimatico	3.03E-05	
Inclinação do enlace (mr)	14.42	
Fator de ocorencia de desvanecimento (Po)	1.84E-04	
SESR para o pior mês (segundos/mês)	1.23E-07 0.32	1.23E-07 0.32
Indisponibilidade por multipercurso no pior mês (segundos /mês)	3.32E-08 0.09	3.32E-08 0.09
0,01% Intensidade de chuva(mm/hr)	115.00	
Margem de desvanecimento plano - Chuva (dB)	30.95	30.95
Atenuação por chuva (dB)	30.95	30.95
Periodo anual indisponível por chuva (min)	3.20	3.20
Indisponibilidade anual (minutos/ano)	6.09E-06 3.20	6.09E-06 3.20

Tabela 19: Dimensionamento por meio do PathLoss

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o enlace atende o limiar de recepção (-47,05 dBm) com uma margem de desvanecimento de 30,95 dBm. Com a confirmação da viabilidade do enlace apresentado pelo

PathLoss, dá-se início à implantação do enlace em condições reais de propagação.

6.4. ENLACE SÃO JOSÉ DE PRINCESA-LAGOA DA CRUZ

Dados Técnicos dos Equipamentos, Tabelas 20, 21 e 22:

Rádio ClearWave 8,5 GHz 16E1 1+1	
Potência de transmissão	22 dBm
Tolerância	+/- 3 dB
Limiar de recepção	-78 dBm
Máximo sinal de entrada (saturação)	-25 dBm

Antenas Brasilsat			
Modelo	Diâmetro	Ganho	Tolerância
ADS 77-18	1,8 m	41,1 dBi	+/- 0,5 dBi
ADS 77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi

Perdas do sistema de derivação	
Acoplamento ODU 1+1	3 dB
Conectores	0,25 dB
Guia de Onda	0,25 dB

Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22: Dados Técnicos do Equipamento

Dados Técnicos do Enlace, Tabela 23:

Estação: S. J. DE PRINCESA	Estação: LAGOA DA CRUZ
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 07° 43' 54.00" S	Latitude: 07° 42' 49.63" S
Longitude: 38° 05' 29.00" W	Longitude: 37° 55' 17.15" W
Altura da antena: 40 metros	Altura da antena: 25 metros
Localidade: S. J. De Princesa - PB	Localidade: Lagoa da Cruz - PB

Tabela 23: Dados Técnicos do Enlace

Cálculos e resultados:

$$R_m = 547 \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot D_2}{f \cdot d}} = 547 \cdot \sqrt{\frac{17,85 \cdot 1}{8500 \cdot 18,85}} = 5,77m \quad [20]$$

$$R_m = 5,77 \text{ m}$$

Onde:

$D_1 = 17,85 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação S. J. De Princesa até o ponto crítico do enlace;

$D_2 = 15,98 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Lagoa da Cruz até o ponto crítico do enlace;

$f = 8500 \text{ MHz} \Rightarrow$ frequência de operação do enlace;

$d = 18,85 \text{ km} \Rightarrow$ distância total do enlace.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o enlace possui liberação de 100% da primeira zona do elipsóide de Fresnel para k médio; portanto, pode-se afirmar que o mesmo não sofrerá difração devido a obstáculos (atenuação).

O próximo passo consiste em calcular todas as atenuações naturais do enlace. Verificam-se as atenuações de espaço livre e de absorção, respectivamente.

Obtém-se então a atenuação de espaço livre:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 136,5 \text{ dB} \quad [21]$$

onde:

$$f = 8500 \text{ MHz}$$

$$d = 18,85 \text{ km}$$

Logo, calcula-se a atenuação devido à absorção:

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w) \cdot d_o = (6,73 \times 10^{-3} + 4,58 \times 10^{-3}) \cdot 18,85 = 0,21 \text{ dB} \quad [22]$$

onde:

$$\gamma_o = 6,73 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$\gamma_w = 4,58 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$d_o = 18,85 \text{ km}$$

Valores de atenuação do ar e do vapor de água obtidos ao substituir os dados na equação [11].

Considerando as informações técnicas dos equipamentos utilizados, chega-se aos resultados pretendidos:

Potência do sinal recebido (RX) será igual à soma:

$$RX = TX + GT + GR - A_{ab} - A_o - PR - PC \quad [23]$$

Onde,

RX – Potência Recebida;

TX – Potência Transmitida;

GT – Ganho da Antena Transmissora;

GR – Ganho da Antena Receptora;

A_{ab} – Atenuação por absorção;

A_o – Atenuação em Espaço Livre;

PR – Atenuação nos cabos coaxiais;

PC – Perdas de conexão 1+1.

Logo,

$$RX = 22 + 41,1 + 37,6 - 0,21 - 136,5 - 1 - 3 \quad [24]$$

Portanto,

$$RX = -40,01 \text{ dBm [dentro dos valores exequíveis pelos equipamentos]}$$

Abaixo (Figura 23) segue o perfil selecionado pelo PathLoss para o enlace em estudo:

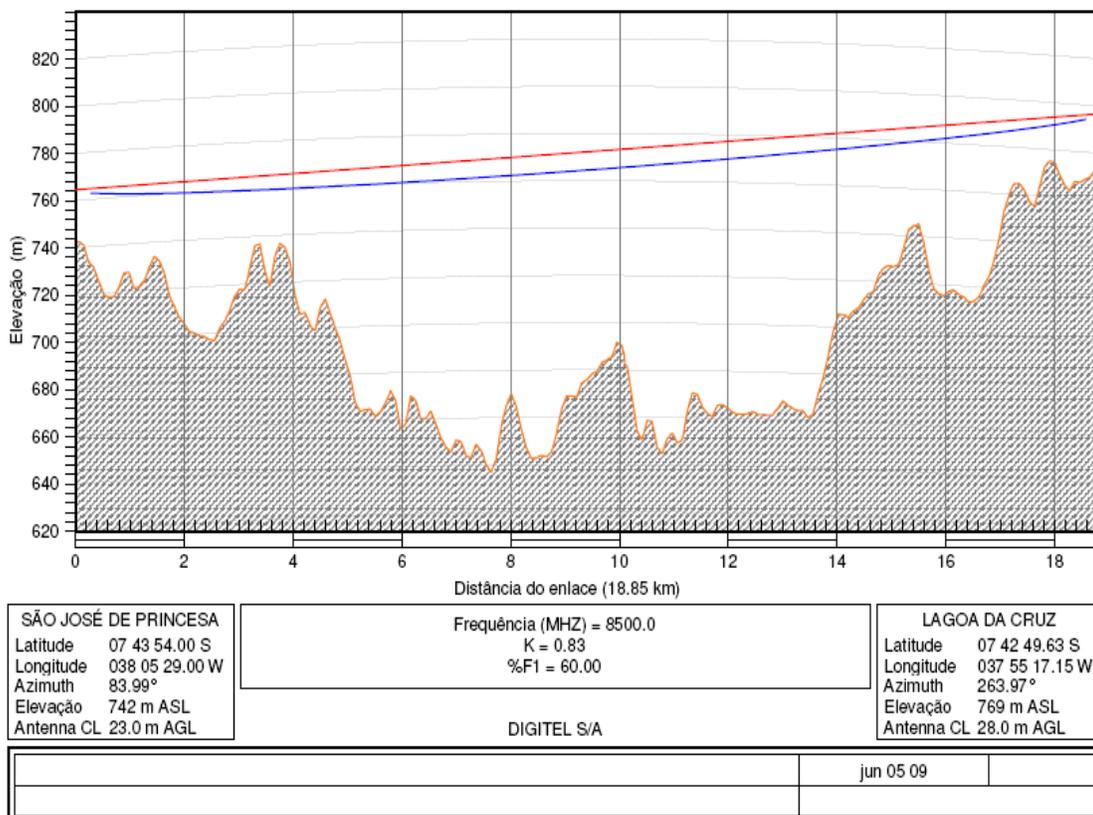


Figura 24: Perfil do Enlace

Abaixo (Tabela 24) segue a imagem do relatório gerado pelo PathLoss após a inserção dos dados no software:

	SÃO JOSÉ DE PRINCESA	LAGOA DA CRUZ
Elevação (m)	741.67	768.81
Latitude	07 43 54.00 S	07 42 49.63 S
Longitude	038 05 29.00 W	037 55 17.15 W
Azimute verdadeiro (°)	83.99	263.97
Ângulo vertical (°)	0.03	-0.16
Modelo de Antena	ADS 77-12 (L)	ADS 77-18 (L)
Altura da antena (m)	23.00	28.00
Ganho da antena (dBi)	37.60	41.10
Tipo de cabo TX	RGC 8	RGC 8
Comprimento do cabo TX (m)	86.00	96.00
Perda unitaria no cabo TX (dB /100 m)	0.00	0.00
Atenuação no cabo TX (dB)	0.00	0.00
Atenuação em conector (dB)	0.50	0.50
Atenuação em RF coupler (dB)	3.00	3.00
Frequência (MHZ)	8500.00	
Polarização	Horizontal	
Distância do enlace (km)	18.85	
Atenuação de espaço livre (dB)	136.56	
Perda por absorção atmosférica (dB)	0.21	
Margem de segurança (dB)	1.00	
Atenuação por difração/obstáculos (dB)	0.00	
Atenuação líquida (dB)	66.07	66.07
Modelo do Rádio - Capacidade	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1
Potência de TX (Watts)	0.16	0.16
Potência de TX (dBm)	22.00	22.00
Potência Efetivamente Irradiada - EIRP - (dBm)	56.10	59.60
Designação de emissão - Modulação	14M0D7W - TCM	14M0D7W - TCM
TX canal - High ou Low - Dplexer - Frequência - Polarização	1A L 8286.0000H 5B L 8314.0000H	1A H 8412.0000H 5B H 8440.0000H
Critério de limiar de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nível limiar de RX(dBm)	-78.00	-78.00
Nível máximo de sinal de RX(dBm)	-25.00	-25.00
Nível de sinal recebido (dBm)	-44.07	-44.07
Margem de desvanecimento	33.93	33.93
Fator geoclimático	4.04E-05	
Inclinação do enlace (mr)	1.71	
Fator de ocorrência de desvanecimento (Po)	7.76E-04	
SESR para o pior mês (segundos/mês)	3.12E-07	3.12E-07
Indisponibilidade por multipercurso no pior mês (segundos /mês)	0.82	0.82
	2.89E-08	2.89E-08
	0.08	0.08
0,01% Intensidade de chuva(mm/hr)	115.00	
Margem de desvanecimento plano - Chuva (dB)	33.93	33.93
Atenuação por chuva (dB)	33.93	33.93
Periodo anual indisponível por chuva (min)	5.22	5.22
Indisponibilidade anual (minutos/ano)	9.94E-06	9.94E-06
	5.23	5.23

Tabela 24: Dimensionamento por meio do PathLoss

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o enlace atende o limiar de recepção (-44,07 dBm) com uma margem de desvanecimento de 33,93 dBm. Com a confirmação da viabilidade do enlace apresentado pelo PathLoss, dá-se início à implantação do enlace em condições reais de propagação.

6.5. ENLACE LEME DO PRADO-BERILO

Dados Técnicos dos Equipamentos, Tabelas 25, 26 e 27:

Rádio ClearWave 8,5 GHz 16E1 1+1	
Potência de transmissão	22 dBm
Tolerância	+/- 3 dB
Limiar de recepção	-78 dBm
Máximo sinal de entrada (saturação)	-25 dBm

Antenas Brasilsat			
Modelo	Diâmetro	Ganho	Tolerância
ADS 77-18	1,8 m	41,1 dBi	+/- 0,5 dBi
ADS 77-12	1,2 m	37,6 dBi	+/- 0,5 dBi

Perdas do sistema de derivação	
Acoplamento ODU 1+1	3 dB
Conectores	0,25 dB
Guia de Onda	0,25 dB

Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27: Dados Técnicos do Equipamento

Dados Técnicos do Enlace, Tabela 28:

Estação: LEME DO PRADO	Estação: BERILO
Especificação do equipamento: Rádio 8500 MHz 16E1 1+1	
Latitude: 17° 02' 33.00" S	Latitude: 17° 00' 43.893" S
Longitude: 42° 42' 37.99" W	Longitude: 42° 29' 42.09" W
Altura da antena: 20 metros	Altura da antena: 32 metros
Localidade: Leme do Prado - MG	Localidade: Berilo - MG

Tabela 28: Dados Técnicos do Enlace

Cálculos e resultados:

$$R_m = 547 \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot D_2}{f \cdot d}} = 547 \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 18}{8500 \cdot 24}} = 12,58m \quad [20]$$

$$R_m = 12,58 \text{ m}$$

Onde:

$D_1 = 6 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Leme do Prado até o ponto crítico do enlace;

$D_2 = 18 \text{ km} \Rightarrow$ distância da estação Berilo até o ponto crítico do enlace;

$f = 8500 \text{ MHz} \Rightarrow$ frequência de operação do enlace;

$d = 24 \text{ km} \Rightarrow$ distância total do enlace.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o enlace possui liberação de 100% da primeira zona do elipsóide de Fresnel para k médio; portanto, pode-se afirmar que o mesmo não sofrerá difração devido a obstáculos (atenuação).

O próximo passo consiste em calcular todas as atenuações naturais do enlace. Verificam-se as atenuações de espaço livre e de absorção, respectivamente.

Obtém-se então a atenuação de espaço livre:

$$A_o \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) = 138,59 \text{ dB} \quad [21]$$

onde:

$$f = 8500 \text{ MHz}$$

$$d = 24 \text{ km}$$

Logo, calcula-se a atenuação devido à absorção:

$$A_{ab} = (\gamma_o + \gamma_w) \cdot d_o = (6,73 \times 10^{-3} + 4,58 \times 10^{-3}) \cdot 24 = 0,27 \text{ dB} \quad [22]$$

onde:

$$\gamma_o = 6,73 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$\gamma_w = 4,58 \times 10^{-3} \text{ dB / km}$$

$$d_o = 24 \text{ km}$$

Valores de atenuação do ar e do vapor de água obtidos ao substituir os dados na equação [11].

Considerando as informações técnicas dos equipamentos utilizados, chega-se aos resultados pretendidos:

Potência do sinal recebido (RX) será igual à soma:

$$RX = TX + GT + GR - A_{ab} - A_o - PR - PC \quad [23]$$

Onde,

RX – Potência Recebida;

TX – Potência Transmitida;

GT – Ganho da Antena Transmissora;

GR – Ganho da Antena Receptora;

A_{ab} – Atenuação por absorção;

A_o – Atenuação em Espaço Livre;

PR – Atenuação nos cabos coaxiais;

PC – Perdas de conexão 1+1.

Logo,

$$RX = 22 + 41,1 + 37,6 - 0,27 - 138,59 - 1 - 3 \quad [24]$$

Portanto,

$$RX = -42,16 \text{ dBm [dentro dos valores exequíveis pelos equipamentos]}$$

Abaixo (Figura 24) segue o perfil selecionado pelo PathLoss para o enlace em estudo:

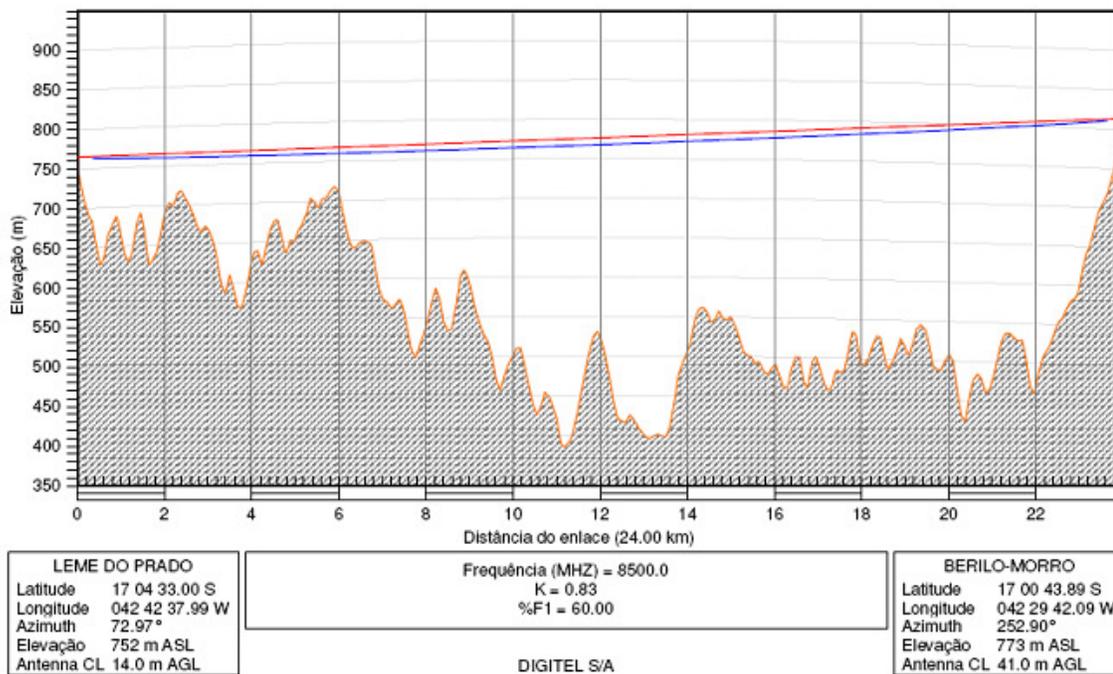


Figura 25: Perfil do Enlace

Abaixo (Tabela 29) segue a imagem do relatório gerado pelo PathLoss após a inserção dos dados no software:

	LEME DO PRADO	BERILO-MORRO
Elevação (m)	751.61	773.44
Latitude	17 04 33.00 S	17 00 43.89 S
Longitude	042 42 37.99 W	042 29 42.09 W
Azimuth verdadeiro (°)	72.97	252.90
Ângulo vertical (°)	0.04	-0.20
Modelo de Antena	ADS 77-12 (L)	ADS 77-18 (L)
Altura da antena (m)	14.00	41.00
Ganho da antena (dBi)	37.60	41.10
Tipo de cabo TX	RGC 8	RGC 8
Comprimento do cabo TX (m)	68.00	122.00
Perda unitária no cabo TX (dB /100 m)	0.00	0.00
Atenuação no cabo TX (dB)	0.00	0.00
Atenuação em conector (dB)	0.50	0.50
Atenuação em RF coupler (dB)	3.00	3.00
Frequência (MHZ)	8500.00	
Polarização	Horizontal	
Distância do enlace (km)	24.00	
Atenuação de espaço livre (dB)	138.66	
Perda por absorção atmosférica (dB)	0.27	
Margem de segurança (dB)	1.00	
Atenuação por difração/obstáculos (dB)	0.00	
Atenuação líquida (dB)	68.23	68.23
Modelo do Rádio - Capacidade	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1	CLEARWAVE 8.5GHZ - 16E1
Potência de TX (Watts)	0.16	0.16
Potência de TX (dBm)	22.00	22.00
Potência Efetivamente Irrradiada -EIRP- (dBm)	56.10	59.60
Designação de emissão - Modulação	14M0D7W - TCM	14M0D7W - TCM
TX canal - High ou Low - Duplexer - Frequência - Polarização	3A L 8300.0000H 9B L 8342.0000H BER 10-6	3A H 8426.0000H 9B H 8468.0000H BER 10-6
Critério de limiar de RX		
Nível limiar de RX(dBm)	-78.00	-78.00
Nível máximo de sinal de RX(dBm)	-25.00	-25.00
Nível de sinal recebido (dBm)	-46.23	-46.23
Margem de desvanecimento	31.77	31.77
Fator geoclimático	4.42E-05	
Inclinação do enlace (mr)	2.03	
Fator de ocorrência de desvanecimento (Po)	1.65E-03	
SESR para o pior mês (segundos/mês)	1.04E-06 2.73	1.04E-06 2.73
Indisponibilidade por multipercurso no pior mês (segundos /mês)	1.40E-07 0.37	1.40E-07 0.37
0,01% Intensidade de chuva(mm/hr)	115.00	
Margem de desvanecimento plano - Chuva (dB)	31.77	31.77
Atenuação por chuva (dB)	31.77	31.77
Periodo anual indisponível por chuva (min)	8.12	8.12
Indisponibilidade anual (minutos/ano)	1.55E-05 8.13	1.55E-05 8.13

Tabela 29: Dimensionamento por meio do PathLoss

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o enlace atende o limiar de recepção (-46,23 dBm) com uma margem de desvanecimento de 31,77 dBm. Com a confirmação da viabilidade do enlace apresentado pelo PathLoss, dá-se início à implantação do enlace em condições reais de propagação.

7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS MEDIDOS

Em seguida, Figura 26, é apresentado o mapa com a localização da região no estado da Paraíba onde o enlace Baraúna Cuieté foi ativado:



Figura 26: Mapa de localização das estações

Então são apresentadas imagens dos equipamentos instalados em campo: antenas, rádios (unidades outdoor - ODU e indoor - IDU), cabos e acoplamentos neste enlace.

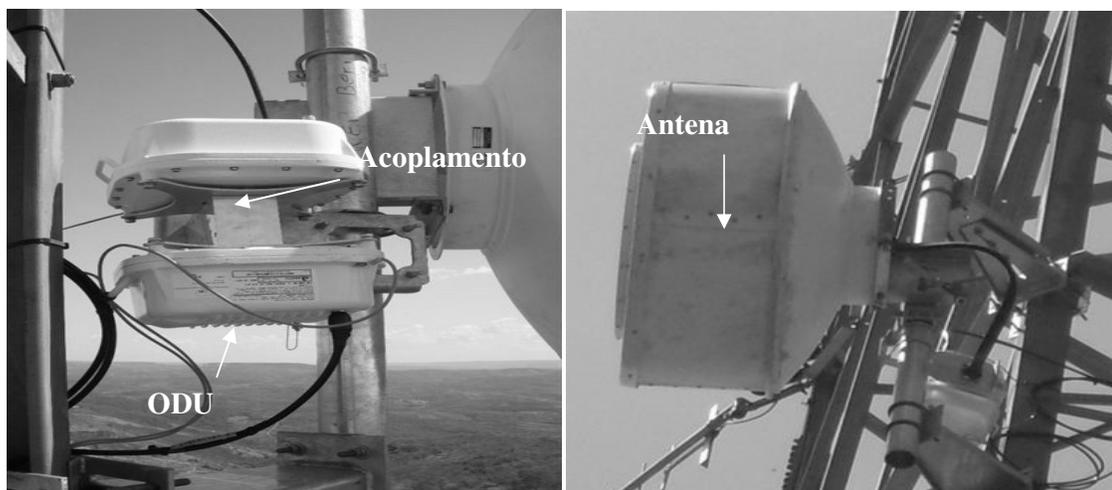


Figura 27 e Figura 28: Imagens da implantação do enlace Baraúna



Figura 29 e Figura 30: Imagens da implantação do enlace Cuite

Nas Figuras 29 e 30 são apresentadas imagens de onde e como os equipamentos foram instalados, assim como a linha de visada entre as estações.

Concluída a instalação dos equipamentos, parte-se para a etapa do processo: o alinhamento do enlace.

Nessa etapa, verificam-se os resultados apresentados pelo software, ou seja, ajusta-se o ângulo de azimute até obter o nível de recepção apresentado pelo projeto. Devido à tolerância dos equipamentos, o nível de recepção pode apresentar pequenas variações.

O nível de sinal recebido pode ser obtido através do próprio rádio que permite a consulta via console, conectando-o a um laptop. Abaixo, são apresentadas as leituras realizadas nos equipamentos que comprovam os níveis de recepção obtidos em campo. São apresentadas duas leituras por estação, pois o enlace apresenta diversidade em frequência, ou seja, utiliza dois transmissores por ponta.

A diversidade em frequência é a capacidade de ter redundância da transmissão das informações. Significa que há dois equipamentos por estação transmitindo sinais em diferentes canais de frequência, permitindo, desta forma, que não ocora perda de sinal caso um dos lados do enlace fique fora de operação, pois o outro equipamento seguirá transmitindo.

Este tipo de solução é muito empregada para capacidades de transmissão acima de 4 E1s. Como este enlace possui uma transmissão de 16E1s já era de se esperar algum tipo de proteção contra perdas (redundância). Além disto, a diversidade de frequencias pode compensar as perdas, e também o desvanecimento.

Seguem as leituras dos rádios em Baraúna, Figuras 31 e 32:

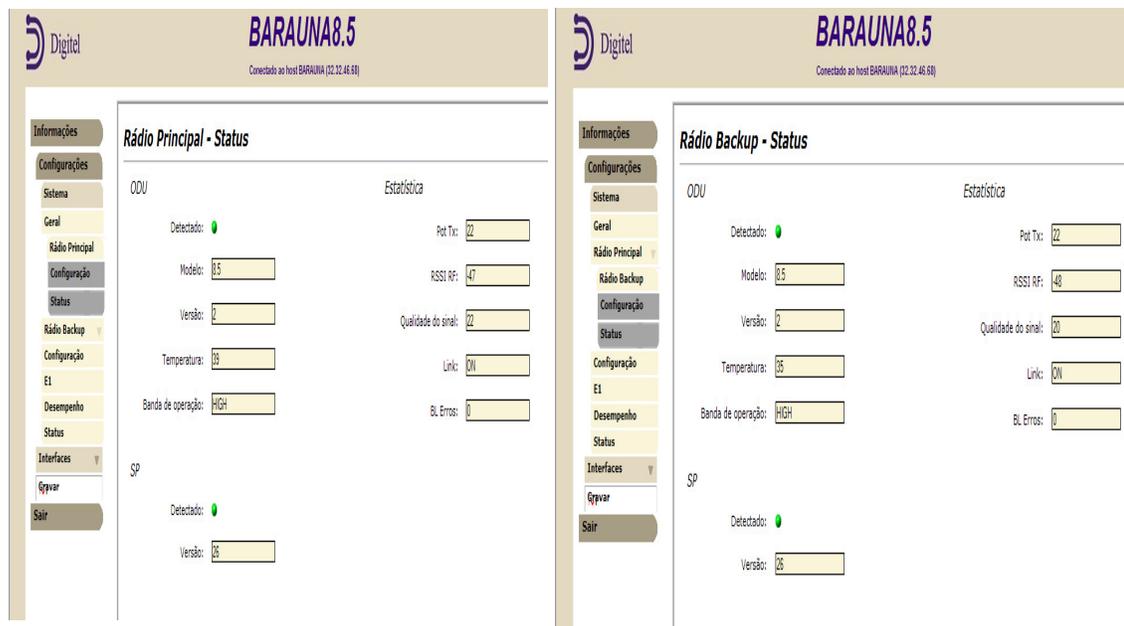


Figura 31 e Figura 32: Leitura apresentada nos receptores instalados na estação Baraúna (rádio principal RSSI RF = -47dBm / rádio backup RSSI RF = -48dBm)

Este sistema de proteção também é conhecido como 1 + 1 heterofrequência. Onde um dos rádios irá operar como “principal” e o outro como “backup”. Desta forma as informações são transmitidas de forma redundante, mas sem causar sobreposição de dados no destino.

Logo abaixo seguem as leituras dos rádios em Cuité, Figuras 33 e 34:

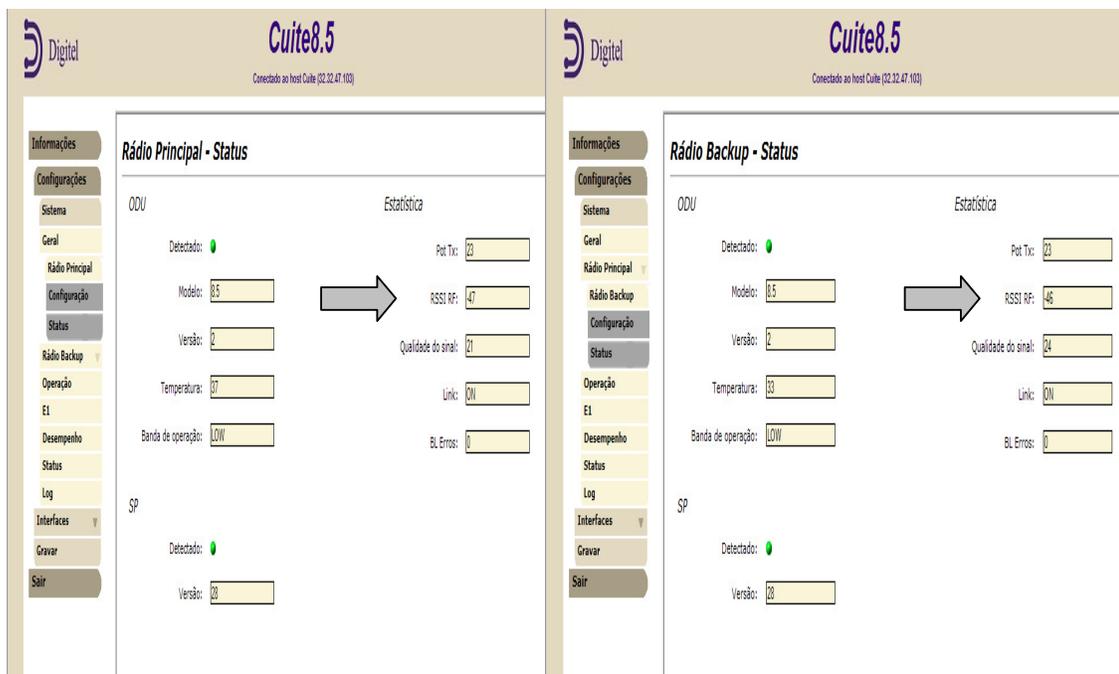


Figura 33 e Figura 34: Leitura apresentada nos receptores instalados na estação Cuité (rádio principal RSSI RF = -47dBm/rádio backup RSSI RF = -46dBm)

8. COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

A partir das análises feitas é realizada a comparação dos resultados dos estudos teóricos analíticos com os estudos calculados via software e ainda com os valores medidos em campo. Faz-se, então, um comparativo desses resultados apresentados nas Tabelas 30, 31, 32, 33 e 34:

Nível de recepção	Resultado (dBm)
PathLoss	-44,79
Teórico - Calculado	-40,79
Medido em Baraúna – Link principal	-47
Medido em Cuité - Link principal	-47

Tabela 30: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo

Nível de recepção	Resultado (dBm)
PathLoss	-44,40

Teórico - Calculado	-40,32
Medido em Aroeiras – Link principal	-47
Medido em Umbuzeiro - Link principal	-47

Tabela 31: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo

Nível de recepção	Resultado (dBm)
PathLoss	-47,05
Teórico - Calculado	-42,92
Medido em Gado Bravo – Link principal	-49
Medido em Umbuzeiro - Link principal	-49

Tabela 32: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo

Nível de recepção	Resultado (dBm)
PathLoss	-44,07
Teórico - Calculado	-40,01
Medido em S. J. de Princesa – Link principal	-44
Medido em Lagoa da Cruz - Link principal	-44

Tabela 33: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo

Nível de recepção	Resultado (dBm)
PathLoss	-46,23
Teórico - Calculado	-42,16
Medido em Leme do Prado – Link principal	-46
Medido em Berilo - Link principal	-46

Tabela 34: Nível de sinal recebido calculado pelo PathLoss e medido em campo

Como se verifica, os resultados calculados pelo software atendem as expectativas, levando-se em conta a tolerância dos rádios e antenas utilizados, apesar das diferenças encontradas.

Os resultados teóricos também garantiram, ainda que tenha discrepância com os obtidos pelo PathLoss e identificados em campo. Porém, os resultados via software são bem mais precisos. Nos dias atuais quanto mais precisos e exatos forem os valores calculados com aqueles obtidos na prática melhor para a empresa. Pois a concorrência neste setor vem aumentando gradativamente, exigindo das empresas uma resposta rápida e segura.

Os gastos para se obter o software e a licença necessários para a realização desses estudos totalizam 50 mil reais, aproximadamente.

Além disto, se faz necessária uma mão-de-obra especializada e eficaz para desenvolver um número satisfatório de estudos diários. Este M-D-O representa um custo de aproximadamente 5 mil reais por mês. Além desses gastos, existem equipamentos básicos para a realização desse processo, como computador, internet, espaço físico e etc. Podem-se estimar esses gastos em aproximadamente 5 mil reais (dado o exemplo desenvolvido na própria Digitel).

Ou seja, todos os custos para iniciar a operação com o software somam 55 mil reais, além dos 5 mil fixos mensais devido ao operador do PathLoss.

Em contra partida, um operador desses com alguns meses de dedicação e experiência pode realizar mais de 20 estudos diários.

Cada estudo pode fornecer até 3 mil reais de receita, podendo este valor sofrer grandes variações. Contudo em apenas 1 dia de operação a empresa pode faturar até 60 mil reais.

Todo este processo via software pode ser viabilizado, como foi apresentado acima, desde que exista uma demanda de estudos mínima igual a 2 ou 3 enlaces por semana.

Confrontando com a realidade dos estudos teóricos, o PathLoss não apresenta desvantagem nenhuma. Pois é mais acurado e mantém uma precisão que nenhum recurso humano poderia obter e se mostra muito mais rentável, uma vez que um analista experiente pode conseguir calcular até 5 enlaces por dia, no máximo. A receita desses estudos também não pode ultrapassar o valor de 3 mil reais por enlace, pois este é o valor ditado pelo mercado.

Logo, ficam claras as vantagens de se realizar um estudo via software, porém, para uma demanda pequena, abaixo de 2 ou 3 enlaces por semana, a opção por estudos teóricos se apresenta como a melhor solução.

9. COMENTARIOS, CONCLUSOES E SUGESTOES PARA OS PROXIMOS TRABALHOS

A partir desse trabalho de diplomação, foi concluída a importância que as redes de telecomunicações que utilizam sistemas de transmissão wireless representam para as operadoras e para a sociedade em geral.

O avanço no desenvolvimento de novos equipamentos mais robustos, eficientes e inteligentes faz com que a ANATEL possa exigir metas rigorosas das operadoras, proporcionando benefícios para grande parte da população, principalmente aos povos mais distantes, em locais de difícil acesso.

Por outro lado, há ondas eletromagnéticas em excesso percorrendo nossa atmosfera, assim como nossos corpos e mentes. Muitos danos causados pelo acúmulo de OEM no espaço atmosférico já foram apresentados a sociedade em alerta para que seja criada uma regulamentação prevendo um avanço ainda maior por esses fenômenos.

É possível abstrair, também, de todos os resultados obtidos que, para uma empresa como a Digitel, cuja demanda por estudos de viabilidade ultrapassam facilmente 10 enlaces por semana, é via software, como o PathLoss, adotado pela empresa há aproximadamente 2 anos.

Contudo, empresas pequenas, normalmente familiares, com uma demanda baixa por estudos devem se ater ao recurso analítico e teórico para um melhor custo-benefício.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BEAN, B.R.; DUTTON, E.J. *Radio meteorology*. US: Department of Commerce National Bureau of Standards Monograph, 1966.

[2] BEZERRA FILHO, Francisco. *Modulação, transmissão e propagação das ondas de rádio*. São Paulo: Érica, 1980.

[3] CRANE, Robert K. *Propagation handbook for wireless communication system design*. Florida: CRS Press, 2003.

[4] RECOMMENDATION ITU-R P. 453-8. The radio refractive index: its formula and refractivity data. Geneva. 1995.

[5] RECOMMENDATION ITU-R P. 530-6. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. Geneva. 2007.

[6] RECOMMENDATION ITU-R P. 676-3. Attenuation by atmospheric gases. Geneva. 1995.

[7] SIZUN, H. *Radio Wave propagation for telecommunication applications*. Belfort: Springer, 2003.

[8] SIWIAK, Kazimierz. *Radiowave propagation and antennas for personal communications*. Boston: Artech House, 1998.

[9] TSM ANTENAS. Antenas e sistemas de rádio-enlace. Disponível em: <<http://www.tsm.com.br/visual/arquivos/TutorialRadioEnlace.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2010.

[10] FELICE, FERNANDO. Dissertação Mestrado, análise do desempenho de enlaces ponto-à-ponto utilizando a faixa de frequência não licenciada de 2,4 GHz em tecnologia Spread Spectrum

[11] LIMONGI, FÁBIO. Projeto de Diplomação, Dimensionamento de Rádio Enlace.