



O Cadete

Revista Científica da Academia Militar

Website da revista: www.am.ac.mz/ocadete



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO RÁDIO MICROONDAS NÃO LICENCIADO ENTRE ACADEMIA MILITAR DE NAMPULA E POSTO ADMINISTRATIVO DE ANCHILO

Nelson Manuel Alfredo Chapala¹, Francisco Fângelo da Costa²

¹ Coronel (Doutor Engº), Director Científico da Academia Militar Marechal Samora Machel, Nampula, Moçambique.

² Capitão (Mestre Engº) Docente e Investigador da Academia Militar Marechal Samora Machel, Nampula, Moçambique

Resumo

O maior desafio para os Engenheiros de Telecomunicações é garantir que os enlaces de rádio funcionem bem 99,999% dos dias do ano. Para isso, os sistemas devem ser devidamente dimensionados para que não haja falhas. Falhas nas redes de comunicação geram transtornos e prejuízos às empresas e seus usuários, bem como à sociedade em geral. Assim, este estudo tem como objectivo analisar os factores que podem contribuir para a indisponibilidade dos serviços de comunicação de enlace de rádio de 2,5 GHz, Academia Militar – Anchilo. Uma vez que o sistema funciona abaixo de 10GHz, foi analisada apenas a probabilidade de interrupção devido à ocorrência de desvanecimentos (plano e selectivo) e equipamentos. Os resultados indicam que as probabilidades de ocorrer desvanecimento e interrupção do sistema por mau funcionamento do equipamento estão acima do mínimo, 99,996%. A probabilidade total do sistema ser interrompido pelo menos uma vez ao ano está abaixo do mínimo (99,406%), influenciada pelo valor da probabilidade de interrupção do sistema por desvanecimento selectivo, também abaixo do mínimo (99,406%). Mesmo assim, considera-se que o sistema projectado é bom e algumas correções podem ser feitas para melhorar o desempenho do enlace, a saber: aumentar as alturas das duas antenas e seus diâmetros.

Palavras-chave: *Fadings* Plano e Selectivo, Equipamento e Indisponibilidade do Enlace e Disponibilidade do Enlace.

Abstract

The biggest challenge for Telecommunications Engineers is ensuring that radio links work well 99.999% of the days of the year. For this, the systems must be properly dimensioned so that failures do not occur. Failures in communication networks generate inconvenience and damage to companies and their users, as well as to society in general. Thus, this study aims to analyze the factors that may contribute to the unavailability of 2.5 GHz radio link communication services, Academia Militar – Anchilo. As the system works below 10GHz, only the Probability of interruption due to fading (flat and selective) and equipment was analyzed. The results indicate that the probabilities of fading and interruption of the system due to equipment malfunction are above the minimum, 99.996%. The total probability of the system being interrupted at least once a year is below the minimum (99.406%), influenced by the value of the probability of interruption of the system by selective fading, also below the minimum (99.406%). Even so, it is considered that the designed system is good and some corrections can be made to improve the performance of the link, namely: increasing the heights of the two antennas and their diameters.

Keywords: Flat and Selective Fading, Unavailability of Equipment and Links and Availability of Links.

Informações do Artigo

Histórico:

Recepção: 12 de Setembro de 2022

Aprovação: 10 de Novembro de 2022

Publicação: 08 de Dezembro de 2022

Contacto

Nelson Alfredo Chapala ✉ nelsonchapala92@gmail.com



1. Introdução

A necessidade do envio de informações de forma ágil faz com que o homem busque, incansavelmente, soluções alternativas para melhorar a eficácia de suas comunicações (Felice, 2005; Kermoal, 2002; Swartz, 1974; Spasojevic & Burns, 2000). Isto pode acontecer se um rádio enlace for bem concebido, com a utilização de equipamentos adequados, boa configuração e identificação dos locais para implantação dos equipamentos de rádio (ITU, 1997; Adediji et al., 2014; Diba et al., 2016; Adelabu et al., 2021; Badarneh & Mohammed, 2015).

No entanto, o processo de planeamento de um sistema de telecomunicações deve acautelar as possíveis interferências e ruídos por forma a evitar a sua interrupção ou perturbação do sinal de transmissão (Djuric et al., 2017; Zheng et al., 2014). Para o caso da interferência, esta pode ameaçar a funcionalidade de equipamento de rede móvel devido aos efeitos de um outro sinal exterior ao sistema de transmissão (Ughegbe et al., 2021, ITU, 1999b). E, como foi dito, ainda nesta secção, para garantir que um enlace não seja interferido ou seja optimizado, deve-se analisar os parâmetros importantes, a fim de se evitar a utilização de margens excessivas (Anees & Manav, 2015; Kurniawan et al., 2006; Moghavvemi & Aliyar, 2011; ITU, 1999a), que além de os encarecer, não traz melhores resultados práticos (Moghavvemi & Aliyar, 2011). E, na situação oposta, para margens estreitas, o risco é do

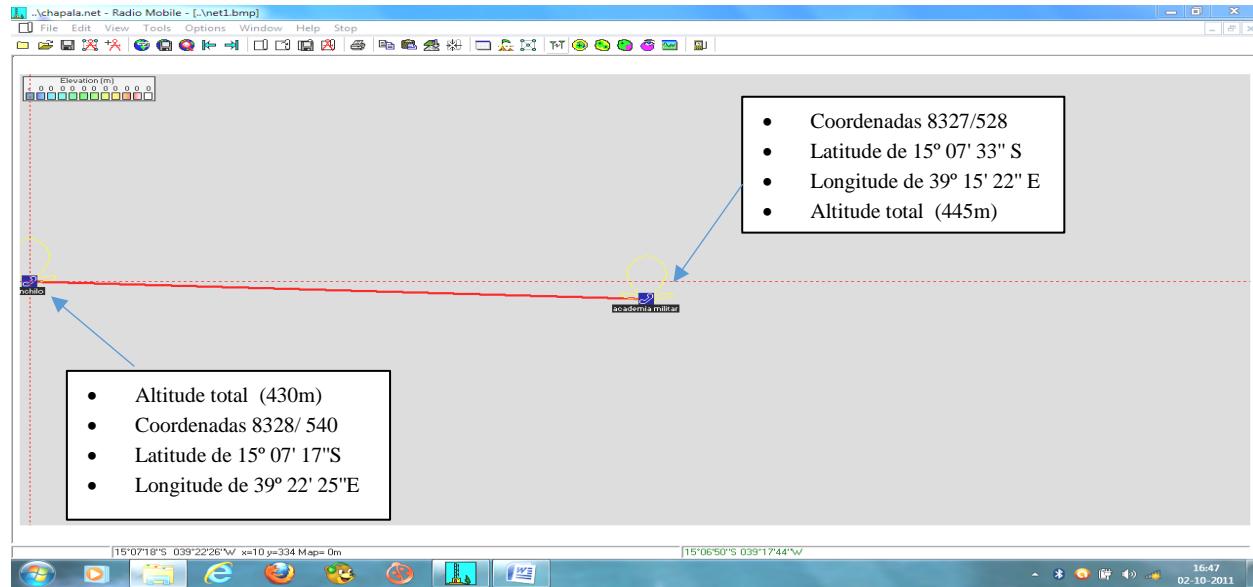
enlace não funcionar ou funcionar não em 100% do tempo (G. Xu & Z. Song, 2021; Piesiewicz et al., 2008; ITU, 1999c). O desempenho, a disponibilidade e a confiabilidade são os principais parâmetros que devem ser mais acautelados durante o processo de concepção (Yang et al., 2014; Dossi et al., 2017; Zong & Da Ku, 2016; Khan et al., 2009; Joseph & Prince, 2014; Tian et.al., 2017, ITU, 1999).

A implantação adequada de enlaces de rádio depende da detecção e anulação das fontes de interferência referidas anteriormente, o que não é uma tarefa simples (Chiasseroni & Rao, 2003). É mais difícil ainda quando o Sistema de Comunicação é instalado em regiões urbanas, pois o espectro é limitado e aberto, e para se ter um bom rádio enlace com bom desempenho e disponibilidade é fundamental escolher a faixa e o plano de frequências adequados (Felice, 2005; G. Xu & Z. Song, 2021).

Este artigo tem como objectivo analisar os parâmetros que podem influenciar no desempenho do enlace ponto-a-ponto para rádios na faixa de 2,4GHz, dimensionado para funcionar a uma distância de 12km, ou seja, da Academia Militar Marechal Samora Machel (na Cidade de Nampula) a Anchilo, um ponto localizado a 12km da mesma Cidade. A estação da Academia Militar possui altitude máxima de 445m e a de Anchilo possui altitude máxima de 430m (Figura 1), incluídas as alturas das antenas.



Figura 1: Os pontos a instalar as antenas



Fonte: [Chapala \(2011\)](#).

Esta pesquisa é considerada relevante, porque até então ninguém, antes, analisou o desempenho do sistema de comunicação da Figura 1. É verdade que existem estudos semelhantes, como são os casos de Lima (2010), que projectou e analisou o desempenho do sistema de comunicação com influência da chuva, desvanecimento plano e selectivo e equipamentos; [Felice \(2005\)](#) que projectou e analisou o desempenho de *links* ponto-a-ponto usando a banda de frequência não licenciada de 2,4 GHz em tecnologia de espectro espalhado; e [Chiasserini e Rao \(2003\)](#), que verificaram os mecanismos de coexistência para mitigar interferências na banda ISM de 2,4 GHz. Mas, mesmo assim, são raros os estudos que avaliam a influência do desvanecimento e equipamentos na operação de enlaces que operam em frequências não licenciadas, especificamente projectados para funcionarem nas diversas zonas moçambicanas.

A pesquisa também é considerada fundamental, porque fornece algumas teorias que podem ser úteis para os estudantes de

Engenharia Electrónica e de Telecomunicações que desejem dimensionar e analisar o desempenho dos sistemas de comunicação.

2. Procedimentos metodológicos

2.1. Clasiificação da pesquisa

Quanto a abordagem, entende-se que é misto, utilizando o método dedutivo. Além disso, foram explorados os estudos relacionados que ajudaram na busca das equações e responder a questão central da pesquisa, “Qual é o desempenho do Sistema de Comunicação da Microonda Anchilo – Academia Militar? O material já publicado também serviu para fundamentar a relevância do estudo e os resultados obtidos. A pesquisa é um estudo de caso, pois analisa o enlace real projectado por [Chapala \(2011\)](#).

2.2. Especificações do sistema em análise

Antes de apresentar-se os métodos utilizados, achou-se conveniente descrever o resumo do sistema em análise. O sistema de comunicação



foi concebido em 2011 e visa estabelecer a comunicação rádio entre a Academia Militar de Nampula e Posto Administrativo de Anchilo. Na ocasião, [Chapala \(2011\)](#) utilizou o *software Mobile Radio* para avaliar se com o enlace era possível estabelecer comunicação entre a Academia Militar Marechal Samora Machel e o Anchilo, numa distância correspondente a 12km e 350m, na frequência de 2,5GHz.

YAGI-UDA é a antena utilizada, com as seguintes especificações eléctricas:

Frequências (2,4GHz – 2,5GHz), Ganho (16 dBd=18,15 dBi), número de elementos (22), impedância (50 ohm), potência máxima de entrada (50W), VSWR (1,5), HPBWH (32°), HPBWV (36°), F/C (-24°) Conectores (N) (Chapala, 2011). Especificações mecânicas da antena: peso (15 kg), medida (Lxc) (0,5λ x 6λ), polarização (linear ou circular) e área do vento (0,4m²) ([Chapala, 2011](#)). E os outros parâmetros do sistema são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do Sistema de Comunicação AM-Anchilo

Elemento	Valor e sua característica
Frequência tomada como referência	2,5GHz
Distância da estação A até B	12,35km
Tipo de antena escolhida	Yagi-uda
Ganho da antena	18,15dBi
Montagem	Estação A (Academia) e estação B (Anchilo)
Cabo coaxial escolhido	AIRCOM PLUS
Comprimento do cabo coaxial usado	30m
Perdas do cabo usado (30)	-6,3dB
Perdas nos conectores	-0,2dB
Perdas no espaço livre	-121,87
Perdas totais	-128,97dB
Potência nos APs	27dBm
Potência efectivamente irradiada (PER)	≈ 41,6 dB
Sensibilidade do receptor	-65,67dBm
Altitude da estação A	433
Altura da antena da estação A (referencia)	5m
Distância da estação A ao obstáculo C	8,6km
Distância da estação B ao obstáculo C	3,75km
Altitude do obstáculo C	406m
Altitude da estação B	418m
Raio de fresnel (R_m) considerado	18m
Raio de desobstrução (R_{desob}) para k	11,4m
Raio de desobstrução (R_{desob}) para k_{min}	5,7m
h_{ck}	13,3m
h_{ckmin}	10,8m
Altura da antena na estação B para k	16m
Altura da antena na estação B para k_{min}	12,8m
Raio de visibilidade/Horizonte (D)	24km

Fonte: [Chapala \(2011\)](#).



2.3. Cálculo da taxa de bits errados sem desvanecimento

O sistema dimensionado utiliza modulação digital, daí a necessidade de verificar o *Bit Error Rate* ou *Bit Error Rate*, conhecido como BER, um dos principais indicadores de qualidade de um canal de telecomunicações. BER indica a proporção de bits errados recebidos pelo total de bits enviados durante um determinado intervalo de tempo ([ITU, 1999](#); [DJuric et al., 2017](#); [Zheng et al., 2014](#)).

A Tabela 2 apresenta os objectivos de qualidade estabelecidos pela UIT-R, por meio das recomendações 557-4, 594-2, 696-1 e 697-2, no que diz respeito à qualidade do desempenho. Apenas a classe de qualidade média 3 foi apresentada para os enlaces 2E1 a

8E1, que foi utilizada para a análise do sistema em estudo. A escolha desta classe deve-se ao facto de o enlace possuir 12,35km, distância inferior a 50km, e, por conta disso, está sujeito a pouca interrupção ([ITU, 1994](#)).

- a) Taxa de bits errados é determinada pela seguinte expressão 2.1.

$$\frac{d}{D} \times 0,002\% = SES \quad (2.1)$$

- b) Taxa de erro pior em um tempo de 1 minuto foi determinada pela seguinte equação

$$\frac{d}{D} \times 0,16\% = DM \quad (2.2)$$

- c) Taxa de erro sem desvanecimento é determinada pela equação 2.3

$$\frac{d}{D} \times 0,2\% = ES \quad (2.3)$$

Tabela 2: Tabela de erros - Recomendações R F.1330-1

Qualidade	Classe	Distância	Taxa de segundos severamente errados-SES-BER=10 ⁻³	Taxa de segundos com erros= ES	Minutos degradados DM-BER=10 ⁻⁶	Indisponibilidade
Media	Três	d<50km	0,00002	0,0016	0,002	0,0005

Fonte: [ITU \(1999\)](#).

2.4. Interrupção do sistema devido a fading plano e Selectivo

O Fading ou desvanecimento representa alterações por atenuações, reforços e distorções no espectro do sinal ([Gomes, 2021](#); [Felice, 2005](#); [Manito, 2010](#)). O Fading pode ser plano (não selectivo) e selectivo. O desvanecimento plano ocorre devido a efeitos de propagação, como cintilação, e é menos severo ([Ongaratto, 2009](#); [Felice, 2005](#)). O selectivo se deve à existência de um sinal interferente, denominado eco, ou seja, o receptor não consegue distinguir o sinal desejado do indesejado ([Felice, 2005](#); [Manito,](#)

[2010](#); [Ongaratto, 2009](#); [Gomes & Filho, 2000](#)).

Outro elemento que interfere muito nos sistemas de comunicação é a chuva e cabe aos projectistas dimensionar correctamente o enlace para que interrupção seja menos severa ([Fagundes, 2014](#)). E como o sistema em análise opera abaixo de 10 GHz, é apenas analisada a disponibilidade do sistema por desvanecimento e equipamento ([Garcia, 2003](#); [de Souza, 2016](#); [ITU, 2012](#)). No entanto, vale dizer que em análise de disponibilidade por chuva, comumente são utilizados os modelos de Crane, Australian (Documento 3M/38-E, ITU-R), CETUC-98,



ITU-R (Recomendação P.530-10) e ITU-R 838 e 530-7 ([Garcia, 2003](#); [Domingos, 2022](#)).

2.4.1. Probabilidade de ocorrência do fading Plano/selectivo

A probabilidade de ocorrência do *fading* plano (PW) considerada neste trabalho é dada por recomendação 530-9 do ITU-R ([ITU, 1994](#)):

$$Pw = K_1 f^{0.89} d^{3.6} (1 + |\epsilon_p|)^{-1.4} \times 10^{(-FFM/10)} \quad (2.4)$$

onde:

K_1 - Parâmetro geoclimático
f - frequências de operação, já conhecidas (2,4Ghz e 2,5GHz)

d - distância do enlace, conhecida (12,35km)

FFM - margem para *fading* plano

ϵ_p - Inclinação de enlace, o quociente da subtração de altitude da estação A (LAM), na Academia Militar, com a da estação B, em Anchilo, incluindo as alturas das torres das antenas e a distância do enlace, ou seja (ITU, 1994a):

$$\epsilon_p = \frac{LAM - LA}{d} \quad (2.5)$$

Em geral, para a determinação da margem líquida do enlace para desvanecimento plano (*fading* plano) é considerada a seguinte relação ([Nascimento, 2000](#)):

$$FFM = C/N_{total} - C/N_{c/degradação} \quad (2.6)$$

onde:

C/N_{total} - relação portadora-ruído (dBm)

$C/I_{c/degradação}$ - relação portadora - interferência por cada degradação (dBm).

O C/N_{total} leva em conta a $C/N_{térmico}$ e C/I . E sabendo-se que o ruído provocado pelo equipamento é muito maior do que o ruído interferente ([Picquenard, 1976](#)), é desprezada a parcela C/I de interferência, pois o sistema projectado neste trabalho é de média capacidade. Assim sendo, a equação da

margem ficou simplificada e ficou da seguinte forma:

$$FFM = P_{RN} - P_L \quad (2.6)$$

onde:

P_{RN} - Potência de recepção nominal (dB) e determinou-se pela equação 2.7 ([Miyoshi e Sanches, 2003](#)). O valor de P_T (potência de transmissão) é apresentados na Tabela 1 e A_T é atenuação total líquida do sistema em dB, determinada pela equação 2.8 ([ITU, 2001](#)).

$$P_{RN} = P_T - A_T \quad (2.7)$$

$$A_T = L + P_{cabo}/30 \text{ m} + 2 \times P_{(conectores e cabo)} - G_{total} \quad (2.8)$$

Onde: L é o cumprimento total de enlace, P são perdas (no cabo e conectores) e G são perdas totais, e todos esses valores constam na Tabela 1.

P_L - Potência de recepção limiar para $TEB = 10^{-3}$ (dB) e determinou-se pela expressão matemática 2.9, sabendo-se que P_{RT} é a potência de ruído térmico e C/N é a relação portadora-ruído para TEB ou $BER = 10^{-3}$.

$$P_L = P_{RT} + C/N \quad (2.9)$$

onde:

$$P_{RT} = 10 \times \log \left(\frac{K \times T_0 \times B}{10^{-3}} \right) + F \quad (2.10)$$

B=4,5MHz (largura de banda), $T_0 = 300^\circ\text{K}$ (temperatura ambiente),

$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/C}$ (constante de Boltzman) e F (figura de ruído em dB) são dadas pela expressão 2.11.

$$F(\text{dB}) = \frac{N_i + N_{ai}}{N_i} = 1 + \frac{N_{ai}}{N_i} \quad (2.11)$$

O sistema projectado é ideal e nestes casos o ruído do amplificador $N_{ai} = 0$, a figura de ruído "F" corresponde à 1dB. A fonte de ruído que origina N_i é padronizada e está em uma temperatura de referência igual a 290°K , para $N_0 = KT_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$.



Vale recordar que a modulação usada no trabalho é QPSK e, para TEB=10⁻³, o C/N= 10dB (o valor obtido na curva prática da C/NxTEB).

Enquanto o factor geoclimático K₁ foi determinado pela seguinte equação (2.12):

$$K_1 = 5 \times 10^{-7} \times 10^{-0,1(C_0 - Clat - Clon)} \times PL^{1,5} \quad (2.12)$$

onde:

- ✓ Co é o factor que depende da altitude das antenas e tipo de terreno ([ITU, 1994/2002/1999.b](#)). Da tabela do [ITU-R \(1999b\)](#), para a zona em estudo serve o valor de 3,5dB, visto que é zona predominada pelas montanhas de altitudes baixas e as alturas das antenas são inferiores a 400m. Ou seja, o terreno em estudo é ondulatório.
- ✓ Clon- coeficiente de longitude e a ITU-R estabeleceu a Tabela 5 para casos práticos ([ITU,1999a](#)).

Tabela 3: Clon para cada continente

Clon(dB)	Região/continente
3	Longitudes da Europa e África
-.3	Longitudes da América do Norte e sul
0	Para os demais casos

Fonte: ITU (1996/2002).

Da Tabela 3, o valor de Clon usado para os cálculos foi de 3dB.

- a) Clat-coeficiente de latitude que depende da latitude L, conforme se segue ([ITU, 1996/2002](#)):
 - * Clat=0dB para L≤ 53° N ou ° S.
 - * Clat= -53+L dB para 53°N ou °S<L<60°N ou °S.
 - *Clat=7dB para L≥60°N ou °S.

Neste trabalho foi usado 0°, visto que o valor da nossa latitude esta abaixo de 53° S.

b) PL- indica o gradiente do índice de refracção e inferior -100N/Km no pior mês de ano ([ITU, 1999](#)). O PL é percentual do tempo, em Moçambique considerou-se 20% do mês de Fevereiro, o mês com chuvas intensas. O valor foi retirado das curvas estabelecidas pela ITU-R para continente Africano.

2.4.2. Probabilidade de interrupção devido ao *Fading* plano e selectivo

As probabilidades de interrupção devido a *Fading* plano e selectivo são dadas pelas fórmulas 2.13 e 2.14 ([Barradas, 1978; Miyoshi & Sanches, 2002](#)).

$$P_n = P_w \times 10^{-FFM/10} [\%] \quad (2.13)$$

onde: P_n é a probabilidade de interrupção a *fading* plano e FFM é a margem para *fading* plano.

Seguindo as normas da Recomendação ITU-R F1093-1, pode-se encontrar a probabilidade de ocorrência de desvanecimento selectivo (P_d), utilizando o desvanecimento plano P_n descrito na REC. ITU-R P530-14. E P_d pode ser calculada pela equação:

$$P_d = 1 - e^{-0,2(P_n)0,75} \quad (2.14)$$

2.5. Probabilidade de interrupção devido ao equipamento

Esta é a percentagem em que o equipamento ficará fora de operação e foi determinada a partir da expressão a baixo e da seguinte maneira (Barradas, 1978):

$$I_{eq} = \frac{2 \times MTTR}{MTBF} \times 100 (\%) \quad (2.15)$$

onde:

MTTR-Tempo médio entre os reparos e o seu valor é dado (5h).



MTBF-Tempo médio entre falhas do sistema. Para este trabalho, optou-se por um valor da configuração em *standby* que corresponde à 2000000h.

O factor multiplicativo 2 da expressão 2.15 diz respeito a indisponibilidade bidirecional, ou seja, considerando as falhas nos dois sentidos da transmissão.

A indisponibilidade total I_t do enlace é obtida pela seguinte expressão matemática:

$$I_t = I_{eq} + P_d + P_n \quad (2.16)$$

3. Resultados e discussão

3.1. Taxa de erros

A pior taxa de *bits* SES é 0,00049%, aceitável, pois a pior em 1 minuto é 0,04% ([ITU-R, 1996/1999a](#)). A taxa SES não devem ser excedidas em nenhum mês, durante a operação do sistema, pois, caso contrário, o sistema pode não funcionar correctamente ou ser interrompido ([ITU-R, 1996/1999a](#)).

Tabela 4: Valores dos parâmetros determinados

Resultados	Valores
Atenuação total líquida do sistema em dB (A_T)	72,17dB
Potência de recepção nominal (P_{RN})	-45,17dB
Potência de ruído térmico (PRT)	-106,3dB
Potência de recepção limiar para $TEB=10^{-3}$ (dBm) (P_L)	- 96,3dBm
FFM (FA)	51,13dB
Factor geoclimatico (K_1)	0,000016
Probabilidade de ocorrência de fading plano (Pw)	0,00000097% $N_{Pw}=100-Pw = 99,999\%$
Probabilidade de interrupção de fading plano (P_n)	7.5272E-12% $N_{Pn}=100-P_n=99,999\%$
Probabilidade de interrupção de fading selectivo (P_d)	0,59343 $N_{Pd}=100- P_d = 99,406575\%$
Probabilidade de interrupção devido ao equipamento (I_{eq})	0,0005% $N_{Ieq}=100- I_{eq}=99,9995\%$
Probabilidade de interrupção total (I_t)	0,594% $N_{It}=100- I_t=99,406\%$

O resultado mostra que o sinal recebido será melhor porque variará pouco no pior mês. A probabilidade do sistema ser

O SES é utilizado para medir erros de transmissão de dados que ocorrem por diversos motivos como: indução electromagnética, falhas de sincronização entre o transmissor e o receptor, defeitos de componentes, ruídos, etc. ([Miyoshi e Sanches, 2008](#); Sizun, 2003). E outra solução para verificar se o sistema de comunicação está funcionar ou vai funcionar é verificar a taxa de erro sem desvanecimento (ES), medida com o tempo de integração de 15 minutos e para o caso do enlace de 12,35km, a taxa não deve exceder 0,049% (Eq. 2.3) ([ITU, 2007](#)).

3.2. Probabilidade de interrupção do sistema devido a fading plano

O quociente da subtracção de altitude da estação A com a da estação B, incluídas as alturas das torres das antenas com a distância do enlace ([ITU, 2001](#)) é de 1,21 mrad. Outros parâmetros são apresentados na Tabela 4.

interrompido devido a equipamentos (Iq) é de 0,0005% (Eq.2.15). Este resultado é bom e mostra que o sistema pode funcionar, pois a



recomendação [ITU – R \(1994\)](#) P.530-14 prevê que a indisponibilidade total deve ser inferior a 0,01% durante 52 minutos ao ano. Para o comprimento do enlace inferior a 50Km, o limite de indisponibilidade deve ser de 0,05%. Porém, destes resultados, do ponto de vista da interrupção do equipamento, pode-se concluir que o enlace está dentro dos limites estabelecidos.

Outro parâmetro que deve ser analisado durante o dimensionamento do sistema de comunicação por rádio microonda é o efeito de desvanecimento ([Seybold, 2005](#)). O efeito de desvanecimento é muito fundamental, quando se pretende avaliar os níveis de limiar de recepção, pois é a partir deste que se pode observar se existe ou não grandes discrepâncias do sinal recebido em relação ao sinal nominal ([Miyoshi e Sanches, 2008, Seybold, 2005](#)).

No entanto, ainda, nesta secção, dissemos que para que ocorra a interrupção do enlace é necessário que o desvanecimento tenha profundidade suficiente. O que garante que o nível de recepção esteja abaixo do limiar SES (Miyoshi e Sanches, 2008; ITU, 1996), mas esta situação foi analisada na subsecção 4.1., onde foi referido que o erro SES é aceitável.

Relativamente à probabilidade do desvanecimento (Pw) não ocorrer junto ao sistema em análise, da equação 2.4 obteve-se 99,999%. Este PW é aceitável, uma vez que, pelo menos em função dos limites referenciados pelos [Ongarotto \(2009\)](#) e [ITU \(1999d\)](#), esse parâmetro está um pouco superior a 99,996%. No entanto, vale referir que essa probabilidade depende do atraso médio do sinal reflectido e da curva de assinatura, que, em algumas situações, este valor aparece na ficha técnica do fabricante ([Sanches, 2007](#)), que não é o caso do sistema em análise.

Para concluir se o desempenho do sistema de comunicação é bom ou não é analisado o total das probabilidades (Eq.216). Em relação

ao desempenho total do sistema (It) em análise, pela Tabela 4, pode-se observar que não atende aos requisitos mínimos (99,406%), o que significa que, a probabilidade do sistema ser afectado pelo eco de outras rádios é maior. Mas esta situação pode ser corrigida tomando algumas acções correctivas e uma delas é melhorar o espaçamento vertical entre a antena principal e antena de diversidade ([Seybold, 2005](#)).

4. Considerações finais

Como parâmetros importantes para determinar a viabilidade de um rádio enlace consideram-se o nível de recepção (PRN), a margem líquida do enlace (FFM) e a indisponibilidade ou disponibilidade do mesmo (vide os valores na Tabela 4). No entanto, normalmente, a indisponibilidade é avaliada em função do equipamento, *fading* plano e selectivo e chuva. O presente estudo avaliou os primeiros casos, pois as chuvas afectam mais os enlaces que operam em frequências acima de 10GHz.

Relativamente aos resultados obtidos, vale referir que disponibilidade mínima, considerada como base neste estudo, é 99,996%, da hierarquia Digital Síncrono (PDH). Mas dos cálculos, obteve-se uma disponibilidade total de 99,406%, abaixo das exigências mínimas para se estabelecer uma comunicação quase perfeita entre Anchilo e Academia Militar. Este problema pode ser corrigido aumentando-se o tamanho das duas antenas. E essa acção pode permitir o aumento do ganho das antenas e, como consequência disso, a disponibilidade, principalmente, no *fading* selectivo (Pd) que está em 99,406575%. É importante, ainda, aumentar o diâmetro das antenas e observar a capacidade das torres e a ocupação das mesmas. Na prática, começa-se aumentando o diâmetro da antena, na torre que tenha o menor nível de ocupação e maior capacidade



de carregamento. Mesmo assim, em geral, pode-se concluir que o sistema de comunicação reúne requisitos para ser implementado.

5. Referências

- Adediji, Adekunle Titus; Ismail, Mahamod; & Mandeep, Jit Singh. (2014). Performance analysis of microwave radio refractivity on radio field strength and radio horizon distance over Akure, Nigeria. *Wireless personal communications*, 79(3), 1893-1909 (<https://doi.org/10.1007/s11277-014-1963-0>).
- Adelabu, Michael Adedosu, Agbotiname Lucky Imoize and Glory Uzuazobona Ughegbe (2021, October). Performance evaluation of radiofrequency interference measurements of microwave links in dense urban cities. In *Telecom Vol. 2, No. 4*, pp. 328-368, MDPI (Doi: 10.3390/telecom2040021).
- Anees, Sanya; & Bhatnagar, Manav R. (2015). Performance evaluation of decode-and-forward dual-hop asymmetric radio frequency-free space optical communication system. *IET Optoelectronics*, 9(5), 232-240 (<https://doi.org/10.1049/iet-opt.2014.0118>).
- Badarneh, Osamah S.; & Aloqlah, Mohammed S. (2015). Performance Analysis of Digital Communication Systems Over $\alpha\eta\mu$ Fading Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(10), 7972-7981 (Doi:10.1109/TVT.2015.2504381).
- Barradas, Ovídio. (1978). *Sistemas em Rádio visibilidade*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Brasil.
- Chapala, Nelson Manuel Alfredo. (2011). *Sistema de comunicação via rádio por microondas*. Monografia, Academia Militar Marechal Samora Machel, Moçambique.
- Chiassserini, Carla-Fabiana; & Rao, Ramesh R. (2003). Coexistence mechanisms for interference mitigation in the 2.4-GHz ISM band. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2(5), 964-975 (Doi:10.1109/TWC.2003.817417).
- de Souza, Rodrigo Martins. (2006). *Previsão da Atenuação por Chuvas Através de uma Modelagem Semi-Empírica Consistente para Enlaces Rádio Terrestre e Via Satélite*. Tese de Doutoramento, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. (https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9528/9528_1.PDF).
- Diba, FD; Afullo, TJ; & Alonge, AA. (2016). Taxa de chuva e análise de desempenho de atenuação em micro-ondas e bandas milimétricas para o projeto de *links* de rádio terrestres de linha de visão na Etiópia. *SAIEE Africa Research Journal*, 107 (3), 177-186 (Doi: 10.23919/SAIEE.2016.8532241).
- Djuric, Nikola; Antic, Danka; Kljajic, Dragan; Fanti, Alessandro; & Djuric, Snezana. (2017). O suporte de banco de dados do SEMONT para monitoramento de banda quádrupla da exposição a EMF. *Medição*, 99, 78-89 (<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.019>).
- Domingos, Andreia Coelho. (2022) "Comparação entre as redes LVO e MLP na previsão da atenuação provocada pela chuva. Repositório Institucional, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil (<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35062>)
- Dossi, Laura; Reggiani, Luca; & Filiberti, Gaudenzio. (2017). Performance evaluation of LoS MIMO microwave radio systems over frequency selective multipath fading channels. *Wireless Personal Communications* 97(1): 999-1014 (<https://doi.org/10.1007/s11277-017-4548-x>).
- Fagundes, Igor Freitas. (2014). *Previsão da Atenuação por Chuvas a partir de Dados Meteorológicos Globais*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia



- Universidade Católica, Rio de Janeiro. (<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24384/24384.PDF>).
- Felice, Fernando. (2005). *Análise do Desempenho de Enlaces Ponto-a-Ponto utilizando a faixa de Frequência não Licenciada de 2, 4GHz em Tecnologia Spread Spectrum*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil.
- García, Nelson Alexander Pérez. (2003). *Modelamento de Efeitos de Atenuação por Chuvas em Enlaces Terrestres Ponto-a-ponto e Ponto-multiponto*. Tese de Doutoramento, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. (https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0016240_03_pretextual.pdf)
- Gomes, Eduardo Gonçalves. (2021). *Avaliação de desempenho de sistemas de comunicação sem fio assistidos por superfícies inteligentes reconfiguráveis em canais com desvanecimento Nakagami-m*. Repositório Institucional, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil.
- Gomes, Geraldo Gil R; & Filho, Renato Baldini. (2000). Limitação da Taxa de Transmissão em Sistemas de Rádios Digitais. *Revista Científica Periódica-Telecomunicações*, Universidade de Campinas, São Paulo.
- ITU - RECOMMENDATION ITU-R P.530-7. (2007). Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. International Telecommunication Union, Geneva (<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.530/en>).
- ITU - RECOMMENDATION ITU-R F.1093-1. (2002). *Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*. International Telecommunication Union, Geneva
- (<https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1093-1-200201/en>).
- (<https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1093/en>).
- ITU - RECOMMENDATION ITU-R P.530-14. (2012). *Effects of multipath propagation on the design and operation of line-of-sight digital radio-relay systems*. International Telecommunication Union Geneva (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-14-201202-S!!PDF-E.pdf).
- ITU - T. RECOMMENDATION ITU-T G.821. (1996). *Error Performance of an International Digital Connection Operating at a Bit Rate Below the Primary Rate and Forming Part of an Integrated Services Digital Network*, ITU -T tech. rep. Genebra, Suíça (<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.821>).
- ITU - T. RECOMMENDATION ITU-R 525-2. (1994). *Calculation of Free-Space Attenuation*, ITU - T. Genebra, Suíça (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-E.pdf).
- ITU - T. RECOMMENDATION ITU-R 525-2. (1994a). *Calculation of Free-Space Attenuation*, ITU - T. Genebra, Suíça (<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525/en>).
- ITU - T. RECOMMENDATION ITU-R F.1330-01. (1999d). *Performance Limits for Bringing into Service of the Parts of International Plesiochronous Digital Hierarchy and Synchronous Digital Hierarchy Paths and Sections Implemented by Digital Radio Relay Systems*. ITU - T tech. Rep. Genebra, Suíça (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1330-1-199905-S!!PDF-E.pdf).
- ITU - T. RECOMMENDATION ITU-R P.676-04. (1999b). *Attenuation by atmospheric gases*. ITU - T tech. rep. Genebra, Suíça. 1999b. (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-04-199904-S!!PDF-E.pdf).



- r/rec/p/R-REC-P.676-4-199910-S!!PDF-E.pdf)
- ITU – T. RECOMMENDATION ITU-R P. 838-2. (1999a). *Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling*. ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça. (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-2-200304-S!!PDF-E.pdf)
- ITU – T. RECOMMENDATION ITU-R P.530-09. (1994). *Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line-of-Sight Systems*, ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-17-201712-S!!PDF-E.pdf).
- ITU – T. RECOMMENDATION ITU-R P.530-09. (2001). *Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line-of-Sight Systems*, ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-17-201712-S!!PDF-E.pdf).
- ITU – T. RECOMMENDATION ITU-T G. 821. (1996). *Error Performance of an International Digital Connection Operating at a Bit Rate Below the Primary Rate and Forming Part of an Integrated Services Digital Network*. ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça (<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.821>).
- ITU – T. RECOMMENDATION ITU-T G. 826. (1999c). *Error Performance Parameters and Objectives for International Constant Bit Rate Digital Paths at or Above the Primary Rate*. ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça (<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.826>)
- ITU-T. RECOMMENDATION ITU-R F.1330-1. (1999c). *Performance limits for bringing into service of the parts of international plesiochronous digital hierarchy and synchronous digital hierarchy paths and sections implemented by digital radio-relay systems*. The ITU Radiocommunication Assembly (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1330-1-199905-S!!PDF-E.pdf)
- ITU-T. RECOMMENDATION ITU-R P.526-06. (1999). *Method for Propagation by Diffraction*. ITU – T tech. rep. Genebra, Suíça. (https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-6-199910-S!!PDF-E.pdf).
- Joseph, Arun; & Shanthi Prince. (2014). Performance analysis and optimization of radio over fiber link. International Conference on Communication and Signal Processing. IEEE (DOI: 10.1109/ICCP.2014.6950118).
- Kermoal, Jean Philippe. (2002). *Measurement, modelling and performance evaluation of the MIMO radio channel*. Department of Electronic Systems, Aalborg University (<https://vbn.aau.dk/en/publications/measurement-modelling-and-performance-evaluation-of-the-mimo-radi>).
- Khan, Imdad; Hall, Peter S.; Serra, Andrea A. ; Guraliuc, Anda R. ; & Nepa, Paulo. (2009). Diversity performance analysis for on-body communication channels at 2.45 GHz. *IEEE Transactions on Antennas and propagation* 57(4): 956-963 (DOI: 10.1109/TAP.2009.2014530).
- Kurniawan, Teddy; Nirmalathas, Ampalavanapillai; Lim, Cristina, Novak, Dalma; & Waterhouse, Rod (2006). Performance analysis of optimized millimeter-wave fiber radio links. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 54(2), 921-928 (DOI: 10.1109/TMTT.2005.863047).
- Manito, Rodrigo da Rocha. (2010). *Estudo de viabilidade de rádio enlace*. Repositório Digital, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil



- (<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/33078>).
- Miyoshi, Edson Mitsugo; & Sanches, Carlos Alberto. (2002). *Projetos de Sistemas Rádio*. São Paulo.
- Moghavvemi, Mahmoud; Attaran, Aliyar. (2011). Performance Review of High-Quality-Factor, Low-Noise, and Wideband Radio-Frequency LC-VCO for Wireless Communication [Application Notes]. *IEEE Microwave Magazine*, 12(4), 130-146 (DOI: 10.1109/MMM.2011.940602).
- Nascimento, Juarez. (2000). *Telecomunicações*, Makron Books, São Paulo, Brasil.
- Ongaratto, Diogo Atiê Schaeffer. (2009). *Projeto de sistemas de comunicação microondas: rádio ponto a ponto*. *Repositório Digital, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Escola de Engenharia, Brasil (<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24303>).
- Picquenard, Armel. (1976). *Complementos de telecomunicações*, Editora da Universidade de São Paulo, Brasil.
- Piesiewicz, Radoslaw; Jacob, Martin; Koch, Martin; Schoebel, Joerg; & Thomas Kurner. (2008). Performance analysis of future multigigabit wireless communication systems at THz frequencies with highly directive antennas in realistic indoor environments. *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 14(2), 421-430 (10.1109/JSTQE.2007.910984).
- Sanches, Carlos Alberto. (2007). *Projetando Redes WLAN*. São Paulo: São Paulo, Ed. Érica.
- Seybold, John S. (2005). *Introduction to RF propagation*. John Wiley & Sons. Sizun, H. *Radio Wave propagation for telecommunication application*. Belfort: Ed. Springer, 2003.
- Spasojevic, Zoran; & Burns, John. (2000). Performance comparison of frequency hopping and direct sequence spread spectrum systems in the 2.4 GHz range. *In 11th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*. PIMRC 2000. Proceedings (Cat. No. 00TH8525) (Vol. 1, pp. 426-430). IEEE (DOI: 10.1109/PIMRC.2000.881461).
- Swartz, Tammy. L. (1974). Performance analysis of a three-level modified duobinary digital FM microwave radio system. *In International Conference on Communications, 10 th*, Minneapolis, Minn (p. 5).
- Tian, Yu, et al. "Performance evaluation of CoMP for downlink 60-GHz radio-over-fiber fronthaul." *2017 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)*. IEEE, 2017.
- Ughegbe, Glory Uzuazobona; Adelabu, Michael Adedosu; & Imoize, Agbotiname Lucky (2021). *Experimental data on radio frequency interference in microwave links using frequency scan measurements at 6 GHz, 7 GHz, and 8 GHz*. *Data in Brief*, 35, 106916 (<https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106916>).
- Xu, Guanjun; Song, Zhaohui. (2020). Performance analysis for mixed κ - μ fading and M-distribution dual-hop radio frequency/free space optical communication systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(3), 1517-1528 (Doi: 10.1109/TWC.2020.3034104).
- Xu, Shugong; & Saadawi, Tarek. Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop wireless ad hoc networks? *IEEE communications Magazine*, 39(6), 130-137 (DOI: 10.1109/35.925681).
- Yang, G.; Khalighi, M. A.; Bourennane, S.; & Ghassemlooy, Z. (2014). Fading correlation and analytical performance evaluation of the space-diversity free-space optical communications system. *Journal of Optics*, 16(3), 035403 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2040-8978/16/3/035403/meta>).
- Zheng, Gan; Krikidis, Ioannis; Masouros, Christos; Timotheou, Stelios;



Toumpakaris, Dimitris-Alexandros; & Ding, Zhiguo. (2014). Rethinking the role of interference in wireless networks.

IEEE Communications Magazine,
52(11), 152-158 (DOI:
10.1109/MCOM.2014.6957156).



Anexos:

Figura 2: vista de frente da zona onde se encontra a Academia Militar de Nampula (imagem retirada do Google earth)



Figura 3: A elevação onde deve ser montada a torre da antena na estação B em Anchilo (Chapala, 2011)

