

FEIXER - Programa de Feixes Hertzianos

Comece por abrir a célula à direita, identificada por um parêntesis recto com um pequeno triângulo, fazendo duplo uso sobre este.

I. Introdução

II. Ficheiro de Entrada

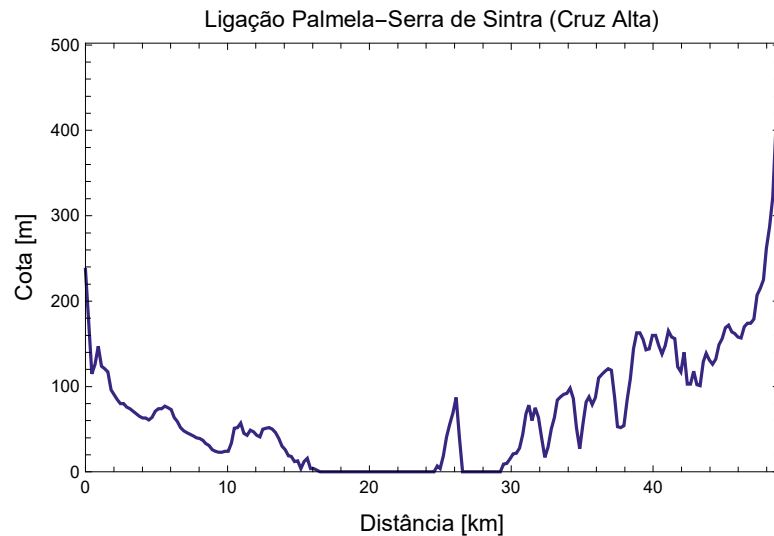
III. Leitura de parâmetros

1. Elementos de Propagação

1.1 Perfil do percurso

1.1.1 Perfil do percurso com Terra plana

Perfil em Terra plana



O percurso tem uma percentagem de cotas inferiores a 100 m de $rc=72.2727\%$.

A distância total da ligação é de 48.877 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

A recomendação da ITU-R [2], propõe um critério em que o valor K (definido como o coeficiente entre o raio aparente e real da Terra) e a fracção do primeiro elipsóide de Fresnel a libertar, é função do comprimento do percurso d e das condições de propagação.

Os pontos de k_e foram extraídos de [2] mas podem igualmente ser vistos em [1], figura 2.35 e no botão, figura de $K_{\min}(d)$. Estes representam os valores de k_e excedidos em aproximadamente 99.9% do tempo do pior mês em clima temperado continental.

No projecto da ligação deve procurar garantir-se o cumprimento da mais severa das seguintes condições:

1. libertação de r_{1e} para o valor de k_e apropriado ao local da ligação (habitualmente $k_e = 4/3$);

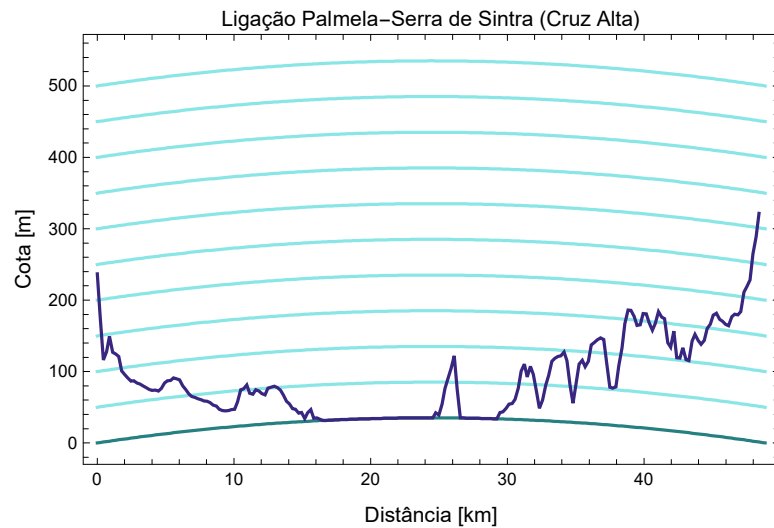
2. libertação de $0.6 r_{1e}$ para o $k_{\min}(d)$, para $d > 30$ km, em climas tropicais;
3. libertação do raio directo (incidência rasante), para $k_{\min}(d)$, em clima temperado se existir apenas um obstáculo ao raio directo no percurso;
4. libertação de $0.3 r_{1e}$ para $k_{\min}(d)$, em clima temperado, se existir um obstáculo extenso no percurso.

A utilização de $K = 4/3$ (que corresponde ao valor usual de K em países de clima temperado) e a exigência de libertação completa do primeiro elipsóide de Fresnel é comum a vários países.

O efeito provocado pela curvatura dos raios ópticos, num modelo de Terra esférica com atmosfera, deve considerar-se um raio equivalente da Terra, dado por $r_0 = K \times r_T$.

[2]- Recomendação da ITU-R, P.530-8, figura 2.

Figura de $K_{\min}(d)$	Condição 1	Condição 2	Condição 3	Condição 4
-------------------------	------------	------------	------------	------------



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra na condição 1 é $k = \frac{4}{3}$.

O raio equivalente da Terra é $r_{eq} = 8493.33$ km.

1.2 Frequência da ligação

O Feixer permite fazer varrimento de bandas de frequência. Atenção contudo, que se desejar um varrimento diferente do dado por omissão, ao valor inicial e final do vector de frequências. O valor das bandas não pode estar abaixo de 1.7 GHz e acima de 27 GHz, devido à limitação imposta pelos guias existentes em catálogo.

Varrimento de frequência

Frequência de trabalho

Frequência inicial: 12.7545 GHz.

Incremento de frequência: 0 GHz.

A frequência de utilização é $f = \{12.7545\}$ GHz.

O comprimento de onda em utilização é $\lambda = \{0.0235048\}$ m.

1.3 Altura dos mastros das antenas

O valor da altura dos mastros, coincide aqui em termos simplistas com o foco das antenas, do tipo parabólico. Esta altura deve deixar um mínimo de 3 m entre o solo e o extremo inferior da antena.

Mastro de emissão

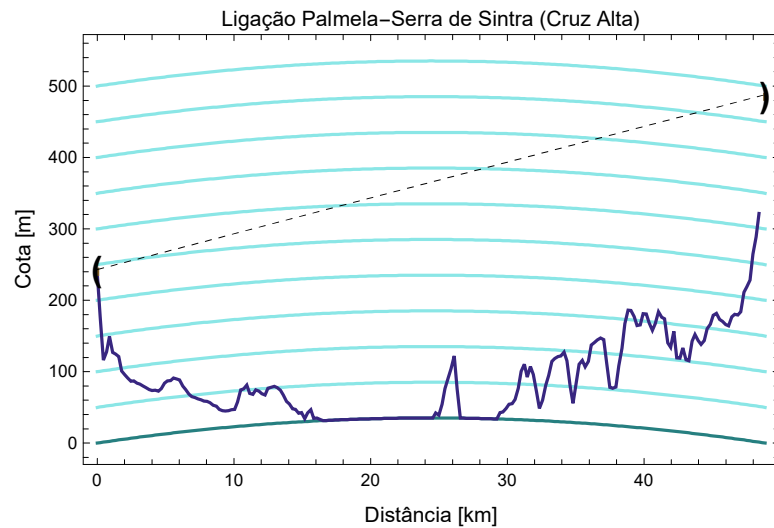
Mastro de recepção

Raio directo

Atenção!! Passe primeiro pela secção 1.botn

Altura do mastro de emissão: 6 m.

Altura do mastro de recepção: 6 m.



1.4 Características das antenas

O diâmetro das antenas emissora e receptora, segundo os fabricantes, pode ser: 0.6, 1, 1.5, 2, 3 e 4,5 metros,

2, 4, 6, 8, 10, 12 e 15 pés (1 pé = 0.3048 m).

Através da introdução do 1º elipsóide de Fresnel ($n=1$) no raio directo, tem-se uma ideia da sua percentagem de interrupção. Num varrimento de frequências, apenas se apresentam os elipsóides correspondentes aos extremos do vector de frequências.

A atenuação do espaço livre é dada pela expressão $L_0 = 32.44 + 20 \log_{10}\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + 20 \log_{10}\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right)$ [dB] visto em [1].

Antena de emissão

Antena de recepção

1.º elipsóide de Fresnel

O diâmetro da antena emissora é de 3 m, sendo o seu rendimento de $\eta_e = 0.5$.

O diâmetro da antena receptora é de 3 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r = 0.5$.

A área física da antena de emissão é $a_{fe} = 7.06858 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_e} = 3.53429 \text{ m}^2$.

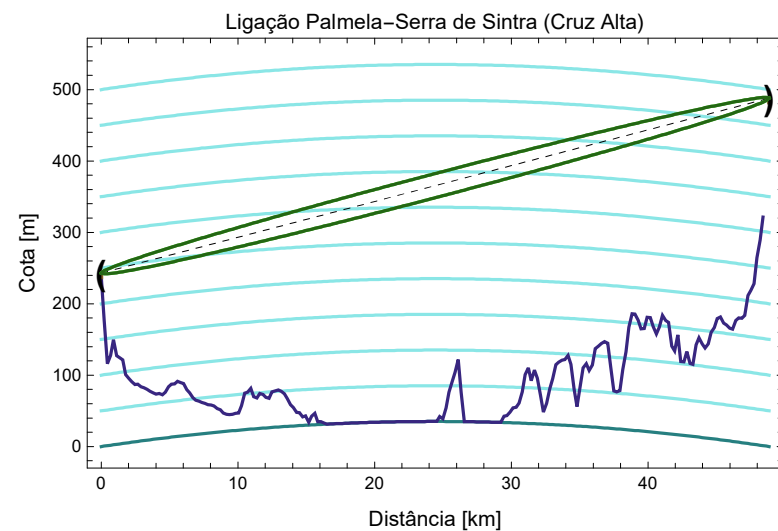
A área física da antena de recepção é $a_{fr} = 7.06858 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_r} = 3.53429 \text{ m}^2$.

Ganho da antena de emissão:

$g_e = \{49.052\} \text{ dBi}$.

Ganho da antena de recepção:

$g_r = \{49.052\} \text{ dBi}$.



A atenuação em espaço livre entre antenas é:

$L_0 = \{148.343\} \text{ dB}$.

1.5 Atenuação de obstáculo

Com vista à possível necessidade de implantar um ou mais repetidores no projecto, o Feixer encontra o ponto a que corresponde o obstáculo principal, que deve ser visualizado pela definição geométrica do obstáculo.

No projecto da ligação podemos optar por três processos de calcular a atenuação de obstáculo:

1. Segundo a Norma 526-7 da ITU-R (aplicável para terreno irregular),
2. Atenuação calculada segundo o método do Obstáculo em Lâmina,
3. Atenuação calculada segundo o método de Deygout.

Usando um dos botões obteremos a atenuação segundo o método pretendido.

Definição geométrica

Método 1

Método 2

Método 3

O percurso não tem obstáculo.

graficobst2

Atenuação de obstáculo calculada pelo método 1, entre a antena emissora e receptora:

$A_{\text{obst}} = \{0\}$ dB.

1.6 Atenuação atmosférica

Habitualmente, os sistemas de feixes hertzianos utilizam frequências entre 1 e 55 GHz.

O cálculo da atenuação atmosférica é calculado com base em algoritmos segundo a norma P676-5 ds ITU-R referenciada no capítulo 2.5.2 de [1].

Em Portugal os valores do conteúdo de vapor de água no ar ρ são:

Portugal	Temperatura [°C]	Humidade [%]	ρ [g/m ³]
Inverno	10	85	7.3
Verão	25	50	11.3

Características da atmosfera

Atenuação da atmosfera

Pressão atmosférica: $p = 1013$ milibar.

Temperatura do ambiente: $T = 25$ °C.

Humidade relativa: $H = 85$ %.

Atenuação específica do oxigénio:

$$\gamma_{ox} = \{0.00780038\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

A pressão parcial do vapor de água saturado é $e_s = 31.6703$ hPa.

A pressão parcial do vapor de água no ar húmido é $e = 26.9198$ hPa.

A concentração de vapor de água é $\rho = 19.5559$ g/m³.

Atenuação específica do vapor de água:

$$\gamma_{va} = \{0.0334099\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

Atenuação da atmosfera:

$$a_{atmos} = \{2.01424\} \text{ dB}.$$

1.7 Distribuição da indisponibilidade

Comprimentos máximos das secções rádioeléctricas e objectivos de indisponibilidade para cada uma das classes de qualidade de ligação rádioeléctrica, nos termos da recomendação F.696-2 da ITU-R.

Classe	Comprimento [km]	Indisponibilidade [%]
1	280	0.033
2	280	0.05
3	50	0.05
4	50	0.1

No sentido da despenalização das ligações muito curtas, a recomendação F.695 da ITU-R sugere limitar o valor da distância de ligação (dkm) ao mínimo de 280.

Compete ao projectista da ligação distribuir a indisponibilidade total pelas diferentes causas.

Comprimento da ligação

Distribuição da indisponibilidade máxima

Indisponibilidade

Comprimento do circuito fictício de referência da ligação: 280 km.

Fracção da indisponibilidade máxima para a chuva: 0.1 .

Fracção da indisponibilidade máxima para o equipamento: 0.4 .

Fracção da indisponibilidade máxima para outras causas: 0.5 .

A indisponibilidade máxima para a ligação é $\mathcal{I}_{\text{máx}} = \{3.36 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $\mathcal{I}_{\text{chuva}} = \{3.36 \times 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $\mathcal{I}_{\text{equip}} = \{1.344 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $\mathcal{I}_{\text{outros}} = \{1.68 \times 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

Os valores de κ e α (funções da frequência, da temperatura, da forma e distribuição estatística da dimensão das gotas de água), para as polarizações horizontal e vertical, estão descritas pela recomendação P.838-1 da ITU-R.

A distribuição acumulada da intensidade da precipitação r_i (mm/h) nas zonas H e K (a do continente Europeu) observa-se da seguinte tabela (esta faz parte da recomendação P.837-1 da ITU-R).

Intensidade de precipitação (mm/h) Zona H	Intensidade de precipitação (mm/h) Zona K	Percentagem de tempo, no ano, em que o valor da intensidade de precipitação é excedido
2	1.5	1
4	4.2	0.3
10	12	0.1
18	23	0.03
32	42	0.01
55	70	0.003
83	100	0.001

Intensidade de precipitação

Percentagem de tempo no ano

Polarização vertical

Polarização horizontal

Antenas utilizando polarização horizontal:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

Fracção de tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido: $\{3.36 \times 10^{-5}\} \%$.

Valor de κ à frequência imposta é:

$$\kappa = \{ \{ 2.25706 \times 10^{-2} \} \}.$$

Valor de α à frequência imposta é:

$$\alpha = \{ 1.19978 \}.$$

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$$\gamma = \{ 2.00029 \}.$$

O comprimento eficaz do percurso é Def=13.4943 km.

Atenuação da chuva não excedida em mais de 0.01% do tempo:

$$A_r = \{ 26.9924 \} \text{ dB}.$$

Atenuação da chuva não excedida em mais de Panual= $\{3.36 \times 10^{-5}\} \%$ do tempo:

$$A_{chuva} = \{ 39.621 \} \text{ dB}.$$

1.9 Atenuação dos guias

Os guias de secção elíptica (os mais utilizados) correspondem aos da figura 7.6, capítulo 7.7 de [1].

O valor do comprimento do guia é dado pela soma da altura dos mastros emissor/receptor e das folgas necessárias para que este chegue às antenas e/ou cabine do equipamento. Na folga, é usual colocar 10 metros em ambos os mastros.

Esta secção apenas designa guias para frequência inferiores a 27 GHz.

Folga dos guias

Atenuação dos guias

Gráfico dos guias

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 12.7545 GHz tem a designação EW127.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$$A_{ge} = \{ 1.82042 \} \text{ dB}.$$

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$$A_{gr} = \{ 1.82042 \} \text{ dB}.$$

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

1.10.2 Atenuação de obstáculo

1.11 Desvanecimento rápido

O desvanecimento rápido é calculado segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Classificação do percurso

Probabilidade \mathcal{P}_A

Atenção!! Se desejar colocar um repetidor passivo volte à secção 1.10.1
Os calculos seguintes são para uma ligação em raio directo.

Valor de c_0 : 6 .

Valor de c_{Lat} : 0 .

Valor de c_{Long} : 3 .

Tempo em que o gradiente médio da refractividade é inferior a -100 N/km: $p_L = 20$ %.

Latitude do percurso colocada: $\eta_{Lat} = 42^\circ$.

Classificação do percurso: terrestre .

O factor geoclimático no mês mais desfavorável, no percurso terrestre é $K = \{2.24138 \times 10^{-7}\}$.

O módulo da inclinação da ligação é $\epsilon_p = 5.01258$ miliradianos.

O parâmetro q_t calculado com um desvanecimento de $\{25\}$ dB, é:
 $q_t = \{0.958146\}$.

Ligação total:

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:

$PA2 = \{\{6.678 \times 10^{-4}\}\}$.

1.12 Reflexões no terreno

Esta secção pretende mostrar os possíveis troços da ligação com reflexões e calcular a relação entre a potência recebida do raio directo com a potência reflectida ou dispersa no solo.

No segundo botão, definição das características do terreno, é pedido o valor de s , parâmetro que caracteriza a inclinação das rugosidades da superfície (capítulo 2.8.2 [1]). A introdução do valor de s é feita troço a troço. Sabendo de ante-mão que s colocar para cada tipo de superfície da ligação, basta introduzir os pontos referentes ao início e fim de cada troço. O formato é o seguinte:

1 único troço na ligação; $\{\{1, \text{ponto final}, s\}\}$

2 troços na ligação; $\{\{1, \text{ponto intermédio}, s_1\}, \{\text{ponto intermédio}, \text{ponto final}, s_2\}\}$

Os pontos dos troços, estão no ficheiro de entrada.

Pode observar-se a **côr vermelha** os troços com reflexões na figura apresentada pelo primeiro botão. A **côr azul** visualiza-se a área iluminada por duas antenas não simultaneamente.

Troços com reflexões

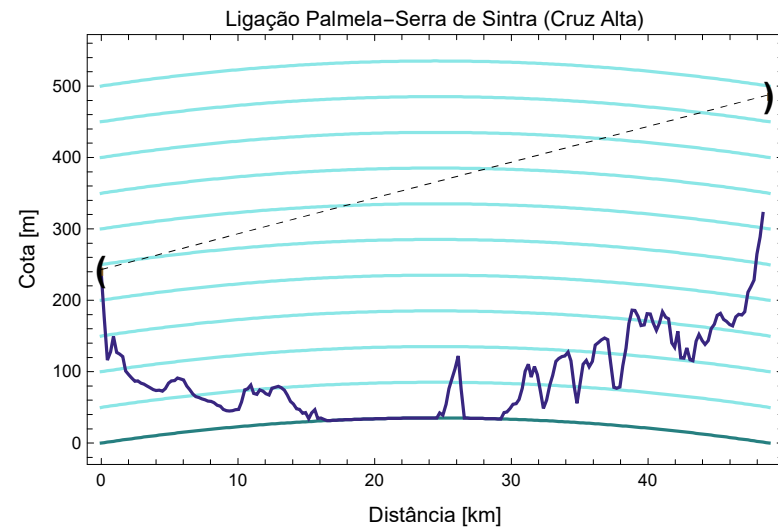
Definição das características do terreno

Cálculo das reflexões

O número de divisões utilizadas entre dois pontos para o cálculo de reflexões é de 1 .

Atenção, este processamento demora algum tempo!!!

O perfil com as zonas de reflexão é para a frequência de 12.7545 GHz.



O valor da relação $\frac{p_s}{p_d}$ para a frequência de 12.7545 GHz é de $-\infty$ dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de recepção é calculada pela fórmula de Friis, para valores de zona distante da antena de maiores dimensões, $p_{\min} \leq \frac{2 \times D_{\text{ant}}^2}{\lambda}$. No caso desta não estar na zona distante, introduza uma atenuação suplementar (consultar capítulo 2.12, fig. 2.62 [1]).

Atenuação suplementar

Potência de emissão

Potência de recepção

A potência de emissão é:

$p_e = \{-4.81698\}$ dBW.

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:

$p_r = \{-60.7112\}$ dBW.

2. Feixes Hertzianos Analógicos

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Os ritmos binários e o número de canais úteis de 64 kbit/s para as hierarquias digitais plesiócronicas (PDH), são observáveis no capítulo 5.5.1, respectivamente nas tabelas 5.4 e 5.5 [1].

Ritmos binários das hierarquias digitais síncronas (SDH), estão no capítulo 5.5.2, tabela 5.6 [1].

Ritmo binário

Número mínimo de níveis por palavra

Ritmo binário: $f_b = 8$ Mbits/s.

Largura de banda para a transmissão: $\text{largura}_b = \{3.5\}$ MHz.

Factor de excesso de banda: $\beta = 0.1$.

O número mínimo de níveis na modulação é de $\{5.71315\}$ por palavra de código.

3.2 Fiabilidade do equipamento

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra

Largura de banda em RF

Número de níveis por palavra: $m = \{8\}$.

A largura de banda em rádio-frequência é $b_{rf} = \{2.93333\}$ MHz.

3.4 Tipo de modulação da portadora

Nesta secção, tem a hipótese de escolher uma das seguintes modulações: AM, FSK, PSK ou QAM.

Se optar pela modulação em amplitude (AM), escolhe-se o código do sinal em banda de base, unipolar, bipolar ou multinível.

Se optar pela modulação por desvio na frequência (FSK), escolhe-se o processo de desmodulação, coerente ou incoerente.

Modulação da portadora

Taxa de erros binária

Modulação colocada: PSK .

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a $f = 12.7545$ e nº níveis = 8 é $P_{ber} = \frac{1}{3} \operatorname{Erfc} \left[\sqrt{10 \frac{C}{10 N_0}} \sin \left[\frac{\pi}{8} \right] \right]$.

3.5 Relação portadora/ruído em rádio-frequência (c/p)

A temperatura vista pelas antenas é de 293 K.

Factor de ruído

Relação portadora/ruído em RF

O factor de ruído da ligação é:

$n_f = \{8.27545\}$ dB.

Temperatura observada pela antena: $T = 293$ K.

O ruído térmico é $n_0 = \{-139.671\}$ dBW.

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$n_{ruído} = \{-131.395\}$ dBW.

A relação portadora/ruído em condições ideais de propagação é:

$\left(\frac{C}{N} \right)_{rf} = \{70.6841\}$ dB.

3.6 Recomendações da ITU

De acordo com as recomendações F.1189-1 e P.530-8 da ITU-R e G.826 da ITU-T, os novos critérios de qualidade estão definidos pelo cumprimento das cláusulas SESR, BBER e ESR. Estas cláusulas são obtidas através de um valor X , normalmente definido com o valor 0,08 .

Ritmo binário (kbits / s)	esr	sesr	bber
$1 \times 500 - 5 \times 000$	$0.04 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 5 \times 000 - 15 \times 000$	$0.05 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 15 \times 000 - 55 \times 000$	$0.075 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 55 \times 000 - 160 \times 000$	$0.16 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$

Segundo P.530-8 da ITU-R estão definidos, na tabela 2 da mesma recomendação, os valores da taxa de erros binários ber_{SES} e número de blocos por segundo para cada ritmo binário/Tipo de percurso.

Tipo de percurso	Ritmo binário (kbits / s)	ber_{SES}	blocos / s	Bits / bloco
VC – 11	1×500	5.4×10^{-4}	2000	832
VC – 12	2×000	4.0×10^{-4}	2000	1120
VC – 2	6×000	1.3×10^{-4}	2000	3424
VC – 3	34×000	6.5×10^{-5}	8000	6120
VC – 4	140×000	2.1×10^{-5}	8000	18 792
STM – 1	155×000	2.3×10^{-5}	8000	19 440

Parâmetros de qualidade

rber

Cálculos auxiliares

O valor de ber_{SESR} é de 0.0001

O valor de n é de 2000.

O valor de N_b é de 4000.

O valor de r_{ber} é de $1. \times 10^{-12}$

3.7 Desvanecimento

O desvanecimento rápido é calculado usando o segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Distância da ligação

Desvanecimento da ligação

Distância da ligação introduzida: 48.877 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$$k_t = \{2.584\}$$

3.8 Margem Uniforme

Com base nos cálculos auxiliares da secção 3.6 são calculados os C/N correspondentes e as respectivas margens uniformes.

Margem uniforme

A relação portadora/ruído correspondente a ber_{SESR} é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{SESR}} = \{16.4958\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a rber é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{rber}} = \{22.2072\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a $\text{ber} = 10^{-3}$ é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{ind}} = \{14.7814\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a ber_{SESR} é $\text{MuSESR} = \{54.1883\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a rber é $\text{Murber} = \{48.4769\}$ dB.

3.9 Margem Selectiva

A margem selectiva pode ser calculada de uma das seguintes formas:

1. Método B da recomendação F1093-1 da ITU-R.
para $\text{mniveis} \leq 64$

2. Método alternativo (área da assinatura).

Para sistemas sem igualação são típicos os seguintes valores de assinatura [s] (capítulo 5.8.3 [1]):

0.5 a 0.8 MHz, para 34 Mbit/s com modulação 4-PSK

25 a 30 MHz, para 140 Mbit/s com modulação 16-QAM

Os factores de redução da área da assinatura para diferentes tipos de igualadores num sistema a 140Mbit/s com modulação são observáveis no cap. 5.8.4, tabela 5.8 [1].

16-QAM

Igualação adaptativa

Método 1

Método 2

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase mínima: $i_{mp} = 490$.

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase não mínima: $i_{nmp} = 35$.

Assinatura introduzida: $\{0.1\}$ MHz.

O factor de melhoria na margem selectiva devido à igualação é de 65.3333 dB.

A margem selectiva é $M_s = \{67.1822\}$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=12.7545$ - Cláusula cumprida, $sesr=0.000010345$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP_SESR} = \{58.591\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Parâmetros α_1 e α_2

BBER

Valor da norma BBER = 0.00002

$f=12.7545$ - Cláusula cumprida, $bber=8.27762 \times 10^{-6}$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP_BBER} = \{66.8024\}$ dB.

3.10.3 Cláusula ESR

ESR

Valor da norma ESR = 0.006

f=12.7545 - Cláusula cumprida, esr=0.0000255396

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{CIP_ESR}} = \{45.2001\}$ dB.

Cláusulas devido à chuva

Neste momento as cláusulas devido à chuva encontram-se em estudo na ITU. Por isso considera-se o valor de $Y=0$ (Rec.ITU-R P.530-8, página 30) que será mantido até a actualização da norma. Assim sendo, as cláusulas devido à chuva consideram-se sempre cumpridas!

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

f=12.7545 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros α_1 e α_2

BBER devido à chuva

Valor da norma BBER = 0.00002

f=12.7545 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4. \times 10^{-9}$

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

f=12.7545 - Cláusula cumprida, $\text{esrchuva}=8. \times 10^{-6}$

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

Indisponibilidade devido à chuva

f=12.7545 - Cláusula cumprida, $(C/N)=70.6841$ dB; $(C/N)_{\min}=54.4024$ dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{CIP_ind}}=\{54.4024\}$ dB.

3.10.8 C/N necessária para cumprimento da ligação

C/N necessária para cumprir as recomendações

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

$$(C/N)_{SESR} = \{58.591\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$$(C/N)_{BBER} = \{66.8024\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$$(C/N)_{ESR} = \{45.2001\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para as cláusulas da chuva é:

$$(C/N)_{chuva} = \{0.\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

$$(C/N)_{IND} = \{54.4024\} \text{ dB.}$$

A relação Sinal-Ruído mínima necessária para cumprir todas as cláusulas é:

$$(C/N)_{NECmin} = \{66.8024\} \text{ dB.}$$

A relação Sinal-Ruído da ligação em condições ideais de propagação é:

$$(C/N)_{CIP} = \{70.6841\} \text{ dB.}$$

A margem de segurança da ligação $((C/N)_{CIP} - (C/N)_{NECmin})$ é:

$$\{3.88172\} \text{ dB.}$$

A frequência óptima é $f = 12.7545 \text{ GHz}$ ($M_{seg} = 3.88172 \text{ dB}$).

Não é possível cumprir as recomendações da ITU para as frequência assinaladas a "*".

3.10.9 Gráfico da margem crítica

3.11 Dimensões do repetidor passivo

3.12 Margens críticas com diversidade

3.13 Dimensões do repetidor passivo com diversidade

IV. Gravação de dados em ficheiro

