

## Sumário

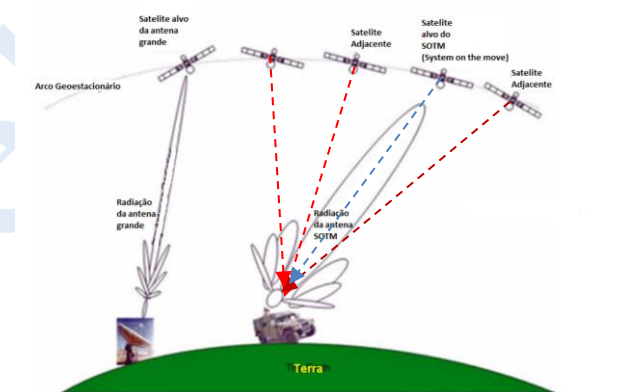
I. Introdução .....	1
II. Cálculo da potência recebida no enlace. ....	1
II.1 Variações da perda no espaço livre .....	2
II.2 Cálculo da potência recebida no enlace, incluindo perdas de conexões .....	3
II.3 Definição de EIRP .....	3
III. Influência do ruído. ....	3
III.1 Combinação dos níveis de ruído de transmissão e recepção .....	4
III.2 Degradação da relação sinal/ruído de recepção por interferências .....	5
III.3 Valores numéricos da degradação da relação sinal/ruído de recepção por interferências .....	6
III.4 Influência de enlaces terrestres ponto a ponto .....	7
III.5 Influência de chuvas .....	7
III.6 Margem de recepção .....	8
V. - Conclusões e comentários .....	11
VI. Referências .....	12

## I. Introdução

Esta nota técnica apresenta uma avaliação resumida da influência dos ganhos das antenas de recepção, e de outros fatores tais como interferências e chuvas, nos enlaces de satélite em banda Ku, nas configurações de recepção mostradas na Figura 1. Nessa figura existem duas configurações de recepção, as quais serão descritas ao longo deste texto. Será mostrado a seguir que, *em céu claro*, sem perdas, nuvens ou chuvas, a margem do sistema pode compensar perdas de ganho das antenas, que podem ocorrer

por desapontamento das antenas ou por pequenas deformações em sua estrutura mecânica, que ocorram ao longo do tempo, ou durante a instalação. Contudo, essas diferenças terão grande impacto na disponibilidade anual do sistema, dependendo da precipitação pluviométrica da região onde está instalada a antena de recepção.

A literatura internacional costuma chamar o sistema de recepção instalado na casa do cliente como CPE (Customer Premises Equipment) que em uma tradução livre refere-se ao sistema de telecomunicações entre a rede do cliente e a rede do provedor (Equipamentos nas instalações do cliente).



**Figura 1 – Esquema simplificado do enlace de satélite para o estudo desta nota técnica (parte de recepção).**

## II. Cálculo da potência recebida no enlace.

Para antenas em campo distante (caso das antenas de recepção de satélites), pode-se demonstrar que a relação entre potência recebida pela antena receptora e a potência transmitida, à uma distância  $R$ , é dada por <sup>[1,2,3,4,5,6,7]</sup>:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{D_T}{4 \cdot \pi R^2} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot D_R}{4 \cdot \pi} \quad (1)$$



## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

[www.betatelecom.com.br](http://www.betatelecom.com.br)

$P_R$  = Potência recebida (W)  
 $P_T$  = Potência transmitida (W)  
 $D_T$  = Diretividade da antena Transmissora  
 $D_R$  = Diretividade da antena Receptora  
 $R$  = Distância entre as antenas (m)  
 $\lambda$  = Comprimento de onda (m)

Colocando a Equação (1) na forma de dB, resulta:

$$\left(\frac{P_R}{P_T}\right) dB = 10\log_{10}(D_T) + 10\log_{10}(D_R) - A$$

$$\left(\frac{P_R}{P_T}\right) dB = D_T(dBi) + D_R(dBi) - A \quad (2)$$

$$A = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (3)$$

As diretividades em dBi, indicam as diretividades calculadas em dB ( $10 \cdot \log_{10}[D]$ ) comparadas com a antena isotrópica [2].

O ganho das antenas é outro parâmetro de definição (menor ou igual a diretividade), e que leva em conta perdas e descasamentos nos sistemas de interligação.

Quando as antenas de transmissão e recepção não apresentarem perdas e não houver onda estacionária nas linhas de interligação, a diretividade (D) das antenas pode ser considerada igual ao ganho (G) e a Expressão 2 apresenta-se como:

$$\left(\frac{P_R}{P_T}\right) dB = G_T(dBi) + G_R(dBi) - A \quad (4)$$

A Equação 4 é chamada de Equação de Friis, e define a potência de sinal recebida em função dos parâmetros do transmissor e da antena receptora. O termo definido pela Equação 3 (expressão em log na base 10) é chamado de Atenuação do Espaço Livre, e representa a perda intrínseca do enlace devido à queda da densidade de potência com a distância esférica.

Este termo não inclui as perdas dissipativas características de cada meio e, para ser utilizado na Expressão 4, deve sempre apresentar valor positivo quando as condições de campo distante do enlace são atendidas.

No caso de enlaces de satélites geoestacionários, o valor de R vai depender da posição geográfica da antena receptora em relação à posição do satélite em órbita.

É importante salientar, novamente, que as condições de utilização das Expressões 1 a 4 consideram o enlace no espaço livre, sem reflexões, e que as antenas estão na condição de campo distante, onde os diagramas de radiação com as diretividades nominais estão perfeitamente formados.

Apenas como um exemplo interessante, cita-se o enlace da nave Voyager, lançada pelos EUA em setembro de 1977. É impressionante verificar a perda de espaço livre ( $> 314,5$  dB), no enlace em 8415 MHz [8], calculada quando a distância da nave à Terra era de 15 bilhões de km (atualmente passa dos 20 bilhões de km).

#### II.1 Variações da perda no espaço livre

De uma forma mais completa pode-se generalizar a perda no espaço livre dado pela Equação 4, como:

$$A = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 10n\log_{10}(R) \quad (5)$$

O valor de “n” na Expressão 5 depende das condições de propagação no meio entre os pontos de transmissão e recepção. No caso do espaço livre de obstáculos entre o transmissor e o receptor (como é o caso para recepções de satélites geoestacionários corretamente instalados), o valor de n é igual a 2, e “A” assume o valor dado pela Expressão 3. É importante repetir que o valor de A não leva em conta perdas dissipativas do meio, as quais, se



## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

existirem, devem ser adicionadas às perdas totais do enlace. Deve ser também enfatizado que, embora esse modelo de atenuação seja amplamente aceito e utilizado, ele é só uma aproximação e, no melhor dos casos, fornece apenas uma atenuação média. Além do mais ele deve ser considerado como de faixa estreita e não necessariamente prevê as atenuações de todas as frequências contidas em um sinal de faixa larga. Para propagação de ondas eletromagnéticas em geral, em ambientes considerados interiores, como armazéns, prédios, e outros semelhantes, o valor de  $n$  pode variar entre 2 e 3,5, devido à obstáculos na alvenaria do prédio. Por outro lado, se um corredor de reflexões for formado no interior dos prédios, ou reflexões ocorram adequadamente em prédios enfileirados em uma avenida, a configuração pode se tornar um guia de ondas e a perda no espaço livre (que já não é mais espaço livre), pode ser bem menor que o caso em  $n=2$ .

#### II.2 Cálculo da potência recebida no enlace, incluindo perdas de conexões.

Geralmente entre o transmissor e a antena de transmissão existem perdas causadas pelas linhas de conexão (cabos ou guias de ondas) e pelos combinadores de canais, que diminuem a potência realmente entregue à antena. Na antena receptora as perdas das linhas de conexão também devem ser levadas em conta. Portanto, denominando-se  $L_T$  as perdas da transmissão em dB e  $L_R$  as perdas de recepção em dB, e a Expressão 4 pode ser modificada para:

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) - L_T(dB) + G_R(dBi) - L_R(dB) - 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}\right) \quad (6)$$

#### II.3 Definição de EIRP

O termo

$$P_T(dBm) + G_T(dBi) - L_T(dB) \quad (7)$$

é chamado de “potência efetiva radiada em relação à antena isotrópica” (definido em inglês pela sigla EIRP).

Esse termo é muito utilizado em normas da Anatel, pois permite ao usuário combinar a potência de transmissão e o ganho da antena para definir um determinado valor de campo. Contudo, em uma opção de escolha de ganho baixo da antena e potência alta do transmissor, é preciso verificar as condições de interferências no enlace.

#### III. Influência do ruído.

Em qualquer sistema de comunicação o parâmetro mais importante para avaliação é a relação PotênciaRecebida/Ruído (ou Portadora/Ruído), que pode ser calculada pela seguinte expressão <sup>[9,10]</sup>:

$$\frac{P_R}{N_R}(dB) = EIRP(dBm) - L_R(dB) + -20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}\right) - 10 \cdot \log_{10}(k) + -10 \cdot \log_{10}(B_n) + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{G_R}{T_T}\right) \quad (8)$$

Onde

$k$  = cte. de Boltzman =  $1,38 \times 10^{-23}$  (Joule/Kelvin)

$B_n$  = Faixa equivalente de ruído do sistema (Hz)

$T_T$  = Temperatura de Ruído do sistema (K).

$G_R$  = Ganho numérico da antena receptora.

$T_T$  é dado pela soma da temperatura de ruído da antena ( $T_a$ ) e a temperatura de ruído do receptor ( $T_r$ ) conectado à antena.



## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

$$T_T = T_a + T_r \quad (9)$$

O último termo da Expressão 16,  $10 \cdot \log_{10} \left( \frac{G_R}{T_T} \right)$ , é o Fator de Mérito do

sistema de recepção e diz que, para aumentar a relação sinal/ruído na recepção, é preciso aumentar o ganho da antena receptora ( $G_R$ ) ou diminuir a Temperatura Total de Ruído ( $T_T$ ) (através, por exemplo, de um amplificador ou conversor com menor Figura de Ruído).

Não é demais salientar que a temperatura de ruído do sistema, ou das antenas, não é sua temperatura física que se mede com termômetros. A temperatura de ruído indica a quantidade de ruído presente no sistema, e varia com a frequência, e diagrama da radiação das antenas. No caso das antenas, a sua temperatura de ruído está também ligada ao seu ganho [10]. As definições mais detalhadas de temperatura de ruído estão apresentadas na nota técnica já citada.

O leitor pode exercitar alguns cálculos, utilizando a facilidade de calculadora do site da Beta Telecom. [item 6 – “Cálculo de enlaces de micro-ondas em visada direta no vácuo) <https://betatelecom.com.br/testewp/calculadora/>]

### III.1 Combinação dos níveis de ruído de transmissão e recepção

Nos cálculos anteriores foi considerado apenas o ruído gerado no sistema de recepção. Em condições reais existe também o ruído adicionado pelo sistema de transmissão, que deve ser avaliado. As potências de ruído de transmissão e recepção devem ser somadas para obtenção da relação sinal/ruído total do sistema. Normalmente as relações sinal/ruído de recepção e transmissão são disponíveis na forma de dB. Para somar as contribuições das

potências de ruído de transmissão e recepção a seguinte expressão deve ser usada:

$$\left( \frac{C}{N} \right)_{tot} = \frac{1}{\left( \frac{C}{N} \right)_t^{-1} + \left( \frac{C}{N} \right)_r^{-1}} \quad (10)$$

onde:

$(C/N)_{tot}$  = relação portadora ruído total do enlace

$\left( \frac{C}{N} \right)_t^{-1}$  = inverso da relação sinal ruído do enlace na transmissão

$\left( \frac{C}{N} \right)_r^{-1}$  = inverso da relação sinal ruído do enlace na recepção

Os valores C/N anteriores devem ser utilizados na sua forma numérica, e não em dB.

Exemplo:

Em um sistema de transmissão tem-se:

$$(C/N)_t(\text{dB}) = 47$$

$$(C/N)_r(\text{dB}) = 23$$

Calcular a relação portadora ruído total na recepção.

Os valores numéricos das relações anteriores são:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_t^{-1} = 2 * 10^{-5}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_r^{-1} = 5.01 * 10^{-3}$$

O valor Total de C/N será, então:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{tot} = \frac{1}{2,0 \cdot 10^{-05} + 5,01 \cdot 10^{-3}} = 198,73$$

Em dB, tem-se:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{dB} = 22,98 \text{ dB}$$

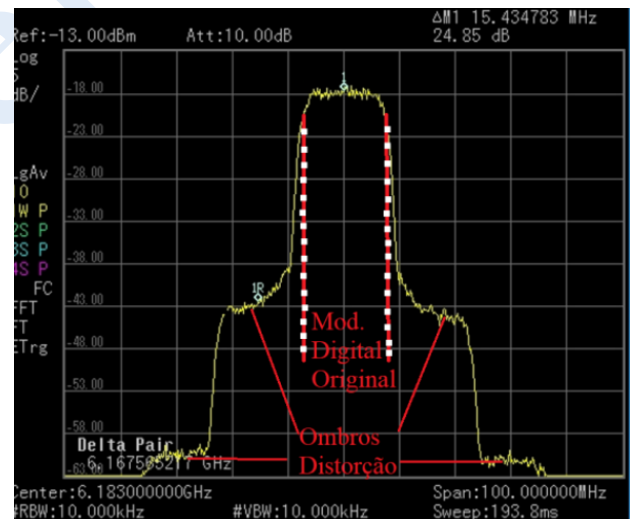
### III.2 Degradação da relação sinal/ruído de recepção por interferências

Nos sistemas de recepção de satélites com modulação digital, os sinais são considerados “noise like (quase igual ao ruído), e vários outros fatores interferentes devem ser considerados como ruído no cálculo da relação sinal/ruído de recepção. São eles:

- Rejeição de polarização cruzada das antenas (cross pol).
- Intermodulação do sistema (\*).
- Interferência co-canal.
- Interferência de canal adjacente do mesmo satélite.
- Interferência de satélite adjacente (\*\*).
- Interferências nos locais de recepção. Esse é o principal motivo da migração de banda C para banda Ku <sup>[11]</sup>.

g) Influência de chuvas.

(\*) Nos esquemas de modulações digitais, mesmo com uma única portadora os processos de intermodulação criam componentes adicionais nos sinais, que são considerados nos chamados “ombros” de sinais digitais (ver Figura 2). Idealmente, o sinal de saída do amplificador deve ser idêntico ao sinal de entrada, apresentando somente aumento de potência <sup>[12,13]</sup>. Com sinais digitais, a não linearidade do amplificador degrada a taxa de erro de bits (BER) do sinal. Ou seja, funcionar com o amplificador em saturação, ou muito perto dela, mesmo com uma única portadora modulada, faz com que o sinal digital já seja transmitido com degradação que irá piorar a taxa de erros no sistema de recepção.



**Figura 2 – Aparecimento de ombros em modulações digitais devido à intermodulação.**

(\*\*) O problema de interferência de satélite adjacente é um dos mais difíceis de serem detectados, pois o pior caso ocorre quando os satélites adjacentes



## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

emitem na mesma banda de frequência do satélite alvo. Essa condição é descrita, pela Figura 1 (as linhas pontilhadas azuis indicam recepção pelo satélite alvo desejado. As linhas pontilhadas em vermelho indicam interferências de satélites adjacentes). Esse tipo de interferência fica “por baixo” do espectro de sinal do satélite alvo, prejudicando a relação sinal/ruído de recepção e, na maioria das vezes só pode ser avaliada desligando-se o transponder do satélite alvo. Mas essa é uma condição geralmente recusada pelas operadoras de satélite. O problema ocorre principalmente em sistemas móveis, que não tem antenas grandes, ou mesmo em sistemas fixos, com antenas deficientes. No caso dos sistemas fixos, mesmo que o sinal do satélite entre por um ângulo fora do eixo da antena (ver Figura 1), se as potências de emissões dos satélites interferentes forem muito maiores que a emissão do satélite alvo, problemas vão ocorrer.

### III.3 Valores numéricos da degradação da relação sinal/ruído de recepção por interferências

A relação portadora/ruído na recepção  $(C/N)_{totr}$ , será dada por:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{totr} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_{int}^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_{coch}^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_{crospol}^{-1} + \dots \dots} \quad (11)$$

Considere o exemplo da Tabela 1, onde a relação portadora/ruído sem qualquer tipo de interferência (Sinal/ruído sem interf.) é de 6 dB. Levando em conta os valores de rejeição de interferências mostrados na tabela, “Caso 1”, a degradação da relação portadora / ruído é muito pequena. Mas pode chegar a 1 dB, ou mais, nas condições do “Caso 2”.

**Tabela 1 – Considerações sobre interferências em sistemas digitais em enlaces de satélites.**

Exemplos de cálculo de interferências				
	Caso 1		Caso 2	
tipo	valor em dB ( C/I)	valor numérico	valor em dB ( C/I)	valor numérico
Sinal/ruído sem interf.	6,000	0,251	6,000	0,251
Cross pol antenas	30,000	0,001	18,000	0,016
Co-canal	30,000	0,001	18,000	0,016
canal adjacente	30,000	0,001	30,000	0,001
satelite djacente	30,000	0,001	18,000	0,016
interf. local	30,000	0,001	20,000	0,010
Total		0,256		0,310
Total S/N com interf. dB	5,914		5,090	

As simulações da Tabela 1 tem a finalidade de mostrar que as degradações dos níveis de

interferências podem produzir o mesmo efeito que perda de ganho na antena. Ou seja, a

recepção do sinal de satélites é um conjunto de fatores que deve atender às especificações individuais de cada componente do sistema. Se um desses fatores estiver muito fora de suas especificações o desempenho total do sistema vai sofrer.

### III.4 Influência de enlaces terrestres ponto a ponto

Um enlace de visado ponto a ponto instalado na superfície terrestre pode, inclusive, provocar interferências em estações de recepção de satélites localizadas bem distantes do enlace em estudo, pela existência de dutos atmosféricos, que se comportam como guias de onda para as certas frequências dos enlaces. A Figura 3 ilustra esses problemas.



**Figura 3 – Enlaces ponto a ponto em condições reais.**

### III.5 Influência de chuvas

A Tabela 2 e a Figura 4 mostram o resultado médio da influência de chuvas na recepção de banda Ku [14]. Note-se que mesmo uma chuva mediana pode causar mais problemas que todos os outros fatores do sistema. Por isso, em banda

Ku, a sinal tende a desaparecer quando chuvas fortes estão presentes.

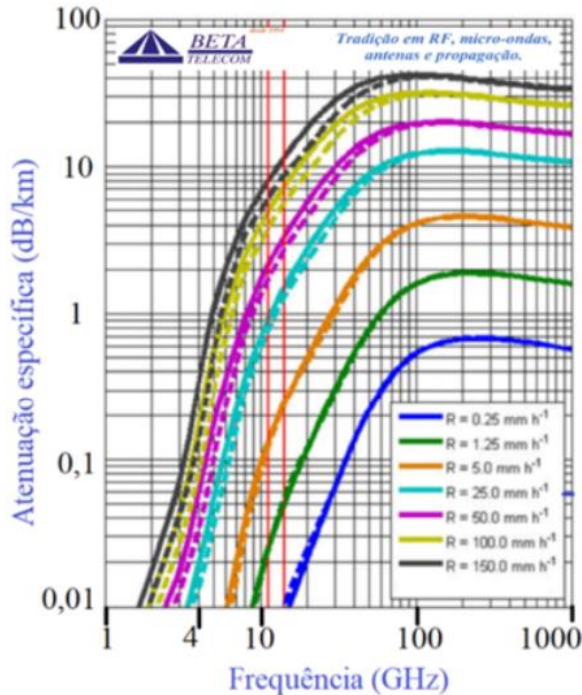
A chuva afeta a transmissão de um sinal eletromagnético de três maneiras: (1) Atenua o sinal; (2) aumenta a temperatura do ruído do sistema; e (3) muda a polarização. Todos estes três mecanismos causam uma degradação na qualidade do sinal recebido, e tornam-se cada vez mais significativos à medida que a frequência da portadora aumenta.

O aumento da atenuação da chuva e, portanto, da temperatura do ruído da antena reduz o valor G/T de um receptor. A polarização horizontal é a mais afetada, enquanto a polarização vertical é a menos afetada. Como tal, para transmissões em regiões com alta incidência de chuvas, é melhor usar a abordagem de polarização vertical. Mas é importante calcular a diferença entre as polarizações.

A Tabela 2 e a Figura 4 mostram também que em frequências mais baixas (por exemplo, banda C em 4 GHz), o efeito das mais pesadas chuvas é desprezível. Por isso os antigos sistemas de recepção em banda C nunca ficavam fora do ar. Em 4 GHz, mesmo uma chuva forte de 50 mm/h não causa mais que 0,1 dB de atenuação por km. Em 11 GHz esse valor fica acima de 2 dB/km.

**Tabela 2 – Classificação das chuvas**

Classificação de chuvas	
mm/h	Tipo de chuva
2,5	fraca
12,5	média
25	pesada
50	forte
100	torrencial (tropical)



**Figura 4 – Influência da chuva na atenuação dos sinais eletromagnéticos, de acordo com a frequência e precipitação pluviométrica (valores médios).**

### III.6 Margem de recepção

Nas condições reais de propagação nota-se que o nível do campo recebido varia em torno do valor previsto em espaço livre, apresentando flutuações no tempo. Esse fenômeno é denominado desvanecimento (*fading* em inglês). Isso acontece porque, como será descrito em outra nota de aplicação, os diversos fatores que influem na propagação têm suas características variáveis no tempo.

Para levar em conta este fato, define-se para uma ligação real uma atenuação suplementar, que deve ser adicionada ao valor da atenuação em espaço livre, podendo-se assim prever, de forma estatística, o comportamento do sistema. À essa atenuação suplementar denomina-se margem de recepção do sistema.

A margem vai definir o parâmetro denominado de disponibilidade do sistema (C), que é dado em porcentagem no período de 1 ano. Sistemas bem definidos, como os enlaces de satélites, que tenham levado em conta todas as interferências possíveis, terão sua disponibilidade anual dependendo das condições pluviométricas do local. Se não chover, e as perdas e valores de interferências não se alteram, o nível de sinal recebido também não se altera.

Nas modulações digitais a relação sinal/ruído necessária para o funcionamento adequado do sistema aumenta à medida que o grau de modulação fique mais sofisticado. Por exemplo, um sistema que opere em QPSK, vai exigir menor relação sinal/ruído que um sistema que opere em 8 PSK. Sistemas QAM, que modificam a amplitude da portadora, além de sua fase instantânea, necessitam de relação sinal/ruído ainda maior. Por isso, em determinado sistema, em que as condições já estão definidas (antena, LNBF, perdas) a margem vai diminuindo à medida que a complexidade de modulação vai aumentando.

As Tabelas 3 e 4 mostram uma simulação de computador, em algumas cidades brasileiras, para o cálculo da margem de um enlace de satélite, banda Ku, modulação 8PSK de 36 Mbps, taxa de código de 2/3, nas condições sem chuva (denominada de margem térmica), e com valores de chuva em mm/h nas localidades indicadas. Esse valor de precipitação é o maior que ocorre em 0.01% do tempo na localidade sob análise. Ou seja, varia com as condições geográficas do sítio de recepção. Portanto, é evidente que, em regiões com escassez de chuva, o sinal de recepção do satélite, depois de consideradas todas as influências interferentes, e considerando que não existe degradação nos equipamentos CPE, praticamente não se altera ao longo de 1 ano. Contudo, em banda Ku, mesmo nuvens espessas ou carregadas de gotículas, quando estiverem no caminho de recepção, podem produzir alguma atenuação,





## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

[www.betatelecom.com.br](http://www.betatelecom.com.br)

que varia de 1 a 1,5 dB, dependendo do tipo de nuvem.

Os resultados da Tabela 4 foram obtidos com a planilha de cálculo de enlaces *uplink* e *downlink*, desenvolvida pela Beta Telecom <sup>[14]</sup>.

**Tabela 3 – Algumas cidades brasileiras usadas nos cálculos da Tabela 4**

Cidade	Estado	EIRP	Localização
Belém	PA	48 dBW	1.49°S 48.44°W
Sorriso	MT	49 dBW	12.57°S 55.77°W
Manaus	AM	48 dBW	3.17°S 59.98°W
Porto Alegre	RS	49 dBW	30.05°S 51.21°W
São Paulo	SP	52 dBW	23.59°S 46.69°W

Os cálculos apresentados na Tabela 4 e gráfico 5, foram feitos com as EIRP indicadas na Tabela 3, e com a precipitação de chuva em 0,01% do tempo de 25 mm/h, apenas com o intuito de comparação. Os valores mais realísticos devem ser obtidos com as precipitações reais em mm/h, a serem obtidas por medidas localizadas. Contudo, é possível verificar que, se em algum local a precipitação em 0,01% for maior que 25 mm/h, a disponibilidade do sistema será menor, visto que a margem com chuvas vai ficar ainda menor que os valores apresentados na Tabela 4.

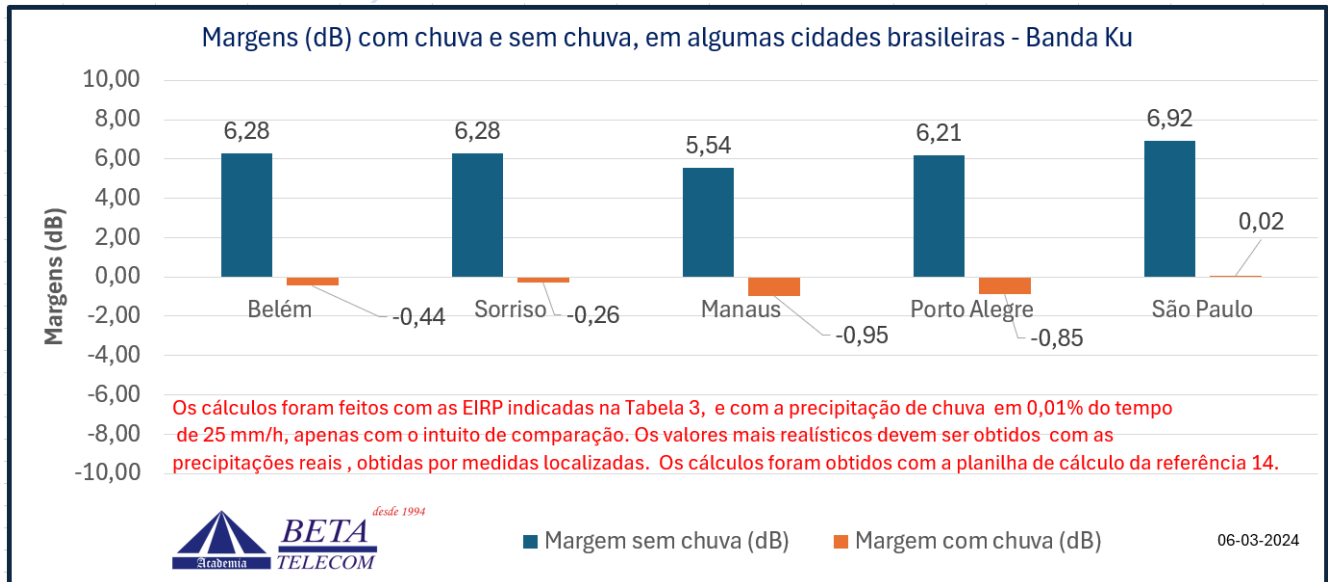
**Tabela 4 – Exemplos de Resultados de margem em enlaces de satélites em banda Ku, com e sem chuvas.**

Local=	Belém	Sorriso	Manaus	Porto Alegre	São Paulo
Lat (graus)=	-1,49	-12,57	-3,17	-30,05	-23,59
Long (graus) =	-48,44	-55,77	-59,98	-51,21	-46,69
Satélite Long (graus)	-70	-70	-70	-70	-70
altitude(km) em relação nível do mar=	0,01	0,367	0,092	0,01	0,76
EIRP(dBW)=	49,01	49,01	48,03	49,01	52,00
Frequência ( MHz)=	11000,00	11000,00	11000,00	11000,00	11000,00
Mod=	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK	8PSK
Taxa do código	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Taxa de bits (Mbps)	36,38	36,38	36,38	36,38	36,38
Diâmetro antena (m)=	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6
rendimento antena (%)=	70	70	70	70	70
Ganho da antena (dBi)	38,8	38,8	38,8	38,8	35,2
Temp. LNBF(K)=	80	80	80	80	80
Noise Figure LNBF (dB)=	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Temp antena (K)=	28	28	28	28	28
C/I Interf co-canal (+dB)=	30	30	30	30	30
C/I Interf canal adjacente (+dB)=	100	100	100	100	100
Discriminação pol antena recep. (dB)=	22	22	22	22	22
Intermodulação recep (+ dB)=	30	30	30	30	30
Outras interferências (+ dB) =	30	30	30	30	30
Precipitação 0,01% ( mm/h)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Outras perdas (dB)=	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Distância ao satélite ( km) =	36031,90	36026,58	35810,84	36918,40	36682,90
Margem sem chuva (dB)	6,28	6,28	5,54	6,21	6,92
Margem devido às chuvas (dB)=	-0,44	-0,26	-0,95	-0,85	0,02

## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

[www.betatelecom.com.br](http://www.betatelecom.com.br)



**Figura 5- Margens (dB) com chuva e sem chuva, em algumas cidades brasileiras - Banda Ku, de acordo com tabelas 3 e 4.**

A Figura 5 apresenta resultados de cálculo para definição do tamanho das antenas, de acordo com o satélite, a posição geográfica, disponíveis no site indicado na referência 15. Embora seja uma referência importante, as dimensões das antenas obtidas não levam em conta os outros fatores que são compilados na Tabela 4.



**Figura 6- Exemplo de resultados de cálculo para definição do tamanho das antenas, disponível na internet.**

## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

#### V. - Conclusões e comentários

Este estudo mostra que a escolha adequada dos elementos de um sistema de recepção em banda Ku vai definir seu desempenho ao longo do tempo. Durante instalações nas condições denominadas de céu claro (*clear sky*), resultados adequados podem ser obtidos, mesmo que alguma degradação das características elétricas dos componentes do sistema exista. Por exemplo, antenas de ganho menor que o especificado, LNBF com Figura de ruído maior, perdas e desapontamentos nas antenas. Contudo, essas degradações terão grande impacto quando o local da instalação tiver ou sofrer interferências, bem como a incidência de chuvas. Sistemas bem montados, e que atendam as especificações, apresentam margem de recepção no sistema, e vão ter valores de disponibilidade maiores que aqueles instalados em desacordo com as especificações. Disponibilidade menor significa que eles sairão do ar mais cedo que os bem especificados, e instalados, quando houver chuvas. Por isso, em banda Ku, é necessário garantir, com testes elétricos, as principais características dos componentes de sistema, antes de serem enviados ao campo. Em bandas de frequências maiores, o problema agrava-se mais ainda.

## Nota Técnica BTNT79-2024

### Influência do ganho das antenas, e outros fatores, nos enlaces de satélites em banda Ku ver.A

[www.betatelecom.com.br](http://www.betatelecom.com.br)

## VI. Referências

- 1) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 03/2020, "Fórmula de Friis aplicada a enlaces no espaço livre", 08-05-20 rev. C, S.J. Campos – SP – disponível no site da Beta Telecom.
- 2) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 17/2020, "Medidas de diagramas de antenas em campo próximo", 04-04-2020 rev. A, S.J. Campos – SP – disponível no site da Beta Telecom.
- 3) Esteves, L.C.; "Antenas – Teoria Básica e aplicações", Editora Mcgraw-Hill do Brasil, 1981, São Paulo, SP
- 4) Fleming, W.J.; Curso de propagação; Beta Telecom BT 3937/14, 2014, INPE-LIT, São Jose dos Campos, SP.
- 5) Kraus, J.D.; "Antennas", Mcgraw-Hill book Company, Inc, 1950, USA
- 6) Kraus, J.D.; Carver, K.R.; "Eletromagnetismo", Guanabara Dois, 1978, Rio de Janeiro, Brasil
- 7) Ribeiro, J.A.J., "Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações, Érica, 2012, São Paulo, SP.
- 8) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 63/2022, "O sistema telecom das Voyagers 1 e 2", 30-04-20 rev. A, S.J. Campos – SP. disponível no site da Beta Telecom.
- 9) Fleming, W.J; Galvão, B.S.M.C.; "Projetos de alta frequência e antenas auxiliados por microcomputadores", 1987; Editora Mcgraw Hill Ltda; São Paulo, Brasil.
- 10) Beta Telecom documento interno, Nota Técnica -BTNT 68/2022, "Temperatura de ruído de antenas", 06-06-2022, rev. A, S.J. Campos – SP.
- 11) <https://telaviva.com.br/09/03/2022/emissoras-indicam-satelites-da-starone-e-sky-para-receber-sinais-de-banda-ku/> , acessado em 11/03/24
- 12) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 18/2020, "Ponto de compressão e Ponto de Intercepção de 3ª ordem (IP3)", 11-08-20 rev.A, S.J. Campos – SP. disponível no site da Beta Telecom.
- 13) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 57/2021, "Ponto de compressão de TWTAs e SSPAs (GaAs)", 01-12-2021 rev. B, S.J. Campos – SP. disponível no site da Beta Telecom.
- 14) Beta Telecom, Extrato da Nota Técnica -BTNT 72/2020, "Efeitos da chuva em banda C e banda Ku", 20-11-22 rev. A, S.J. Campos – SP. disponível no site da Beta Telecom.
- 15) Beta Telecom, documento interno BT221-24, "Planilha de cálculo de enlaces de satélite (up e down link atualizada em 06-03-2024, 06-06-2022, rev. A, S.J. Campos – SP.
- 16) <https://www.satbeams.com/footprints> , acessado em 11/03/24
- 17) Collin, R.E., "Foundations for Microwave Engineering", Mcgraw-Hill Kogakusha, Ltd, 1966, Tokyo, Japan.
- 18) Beta Telecom, Nota Técnica -BTNT 02/2020, "Linhas de transmissão – Parte 1", 17-02-20 rev. B, S.J. Campos – SP.
- 19) Beta Telecom, "Radioenlaces e Propagação INPE-LIT, Eng. Wilton J. Fleming, MsC Maio/2015 BT.2972/14
- 20) <https://www.lemmymorgan.com/satellite-tv-glossary-definitions/>, acessado em 11/03/24
- 21) <https://www.multicominc.com/lbns-what-they-do-and-how-they-work/>, acessado em 11/03/24
- 22) <https://www.broadbandsearch.net/definitions/customer-premises-equipme>, acessado em 11/03/24