SISTEMAS DE RÁDIOCOMUNICAÇÕES
NOÇÕES BÁSICAS E APLICAÇÕES

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

INTRODUÇÃO

Este catálogo foi escrito com a finalidade de ajudar os profissionais que atuam na área de planejamento e projeto de sistemas de rádio a realizarem o dimensionamento de rádio-enlaces de forma objetiva, rápida e eficaz e compatível com as necessidades e condições de contorno envolvendo esses projetos, bem como apresentar nossos produtos.

Em países com dimensões continentais como o Brasil, as comunicações via rádio continuam a exercer um papel preponderante e fundamental como um dos mais importantes meios de transmissão de sinais de telefonia e de dados, independente da capacidade, distância, características e natureza das informações transportadas.

Todas as informações contidas neste catálogo são baseadas e em conformidade com as principais recomendações, normas e regulamentos nacionais e internacionais.

A TSM coloca-se a disposição para os profissionais que tenham interesse em aprofundar os estudos ou pesquisas relativas a aspectos particulares dos tratados neste catálogo.

ÍNDICE

Antenas..... 1
Propagação Rádio-Elétrica.....12
Cálculo de Rádio Enlaces Outdoor.....18
Cálculo de Rádio Enlaces Indoor.....25
Exemplos.....33
Produtos.....44
Glossário.....58

ANTENAS

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

ANTENAS

INTRODUÇÃO

Pode-se definir uma antena como qualquer dispositivo que transmite e recebe ondas eletromagnéticas.

Esta atua como um transdutor entre o meio irradiado (espaço) e o meio guiado (cabo coaxial, guia de onda).

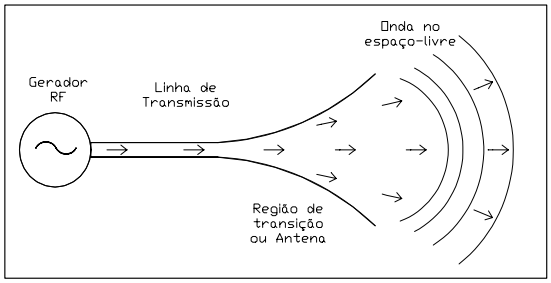
Por um lado a antena recebe a energia eletromagnética da linha de transmissão e transforma em energia capaz de se propagar no espaço.

Essa energia pode ser direcionada para uma região do espaço. Dependendo dessa distribuição a antena vai ser classificada dentro de uma família (yagi, painel setorial, parabólica...).

Por outro lado, a antena recebe a energia disponível no espaço e a transforma em energia capaz de se propagar numa linha de transmissão.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A abertura de uma LT que transporta uma onda eletromagnética guiada provoca o aparecimento de linhas de campo magnético e elétrico variáveis capaz de se propagar no espaço.



PARÂMETROS

Os parâmetros das antenas podem ser divididos em dois grandes grupos:

Parâmetros de transmissão:

Diz respeito à forma que a antena distribui a energia irradiada no espaço:

Diagrama de irradiação, diretividade.

Parâmetros de reflexão:

Diz respeito à capacidade da antena absorver e re-irradiar a energia a ela enviada:

Impedância, ROE, Perda de Retorno.

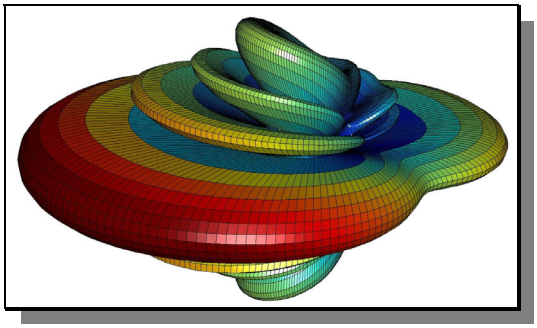
TEOREMA DA RECIPROCIDADE:
UMA ANTENA SE COMPORTA IGUALMENTE EM RECEPÇÃO E EM TRANSMISSÃO

DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

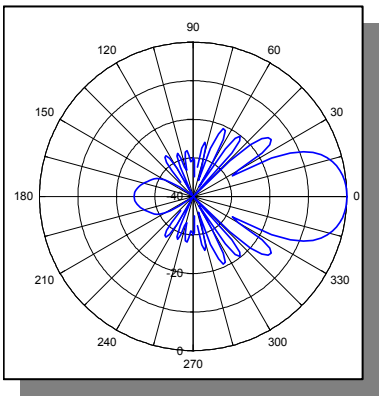
Indica a distribuição no espaço da energia irradiada pela antena.

O diagrama é tridimensional, ou seja, uma antena vai irradiar para todas as direções do espaço. Entretanto a energia estará sendo irradiada com intensidades diferentes para cada sentido (não confundir diagrama tridimensional com omnidirecional).

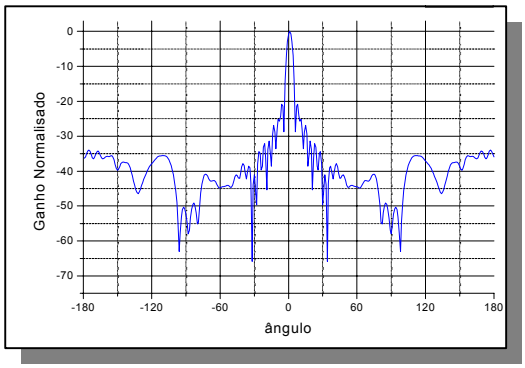
Representações: 3D, Planos E, H (retangular, polar.)



Representação tridimensional



Representação bidimensional na forma polar



Representação bidimensional na forma retangular

Os diagramas de irradiação dos planos E e H da antena são, na verdade, cortes do diagrama 3D. Estes cortes contêm, em ambos, a direção de propagação, além dos vetores campo elétrico (plano E) e campo magnético (plano H).

A representação retangular é utilizada para antenas com feixe mais estreito (por exemplo, antenas parabólicas).

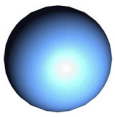
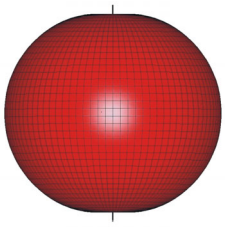
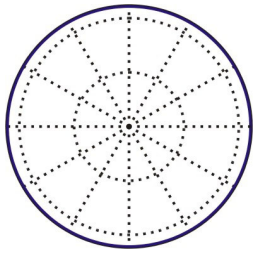
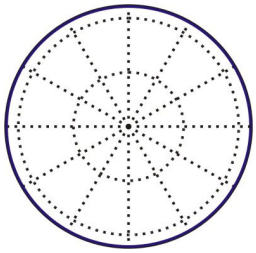
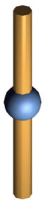
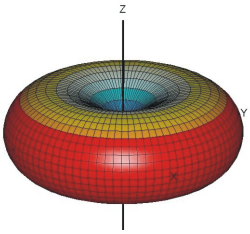
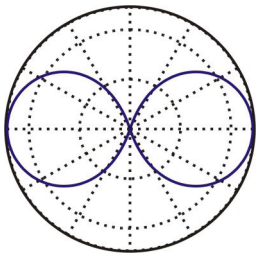
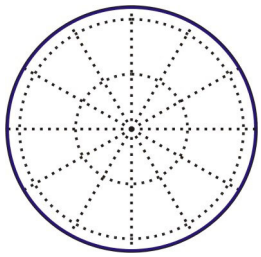
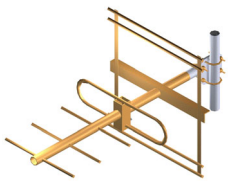
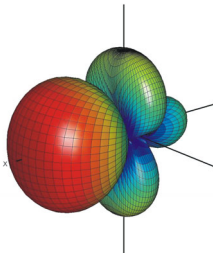
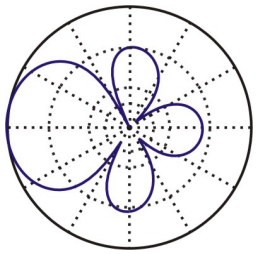
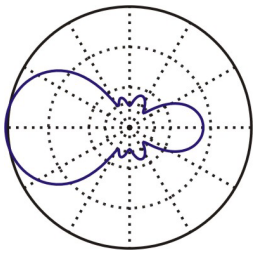
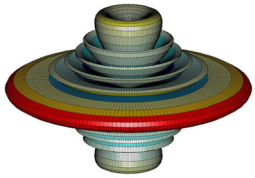
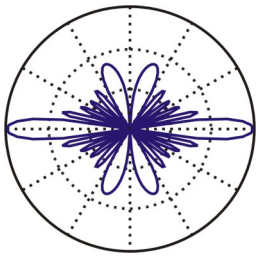
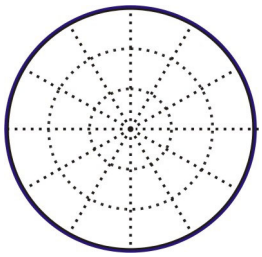
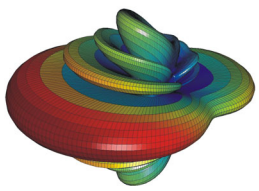
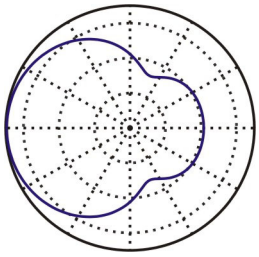
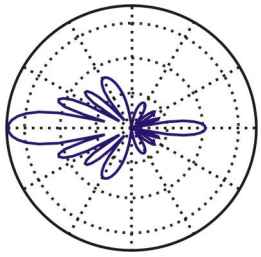
Cabe ressaltar a diferença entre planos E, H e planos horizontal (azimute) e vertical (tilt).

Por exemplo, para um painel setorial o plano horizontal (azimute) representará:

- O plano H se a antena é de polarização vertical;
- O plano E se a antena é de polarização horizontal.

PARÂMETROS

DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO TÍPICOS

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical (Elevação)	Diagrama Horizontal (Azimute)
			
Irradiador Isotrópico	**G = 0 dBi G = - 2,15 dBd**	**Plano Elétrico**	**Plano Magnético**
			
Dipolo de Meia Onda	**G = 2,15 dBi G = 0 dBd**	**Plano Elétrico**	**Plano Magnético**
			
Yagi de 5 elementos	**G = 8 dBi G = 5,85 dBd**	**Plano Magnético**	**Plano Elétrico**
			
Omnidirecional de seis dipolos	**G = 9,5 dBi G = 7,35 dBd**	**Plano Elétrico**	**Plano Magnético**
			
Painel Setorial Polarização Vertical	**G = 12,5 dBi G = 11,35 dBd**	**Plano Magnético**	**Plano Elétrico**

PARÂMETROS

DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO – INFORMAÇÕES RELEVANTES

Feixe de meia potência: range de direções em que o ganho da antena cai pela metade em relação ao maior ganho obtido.

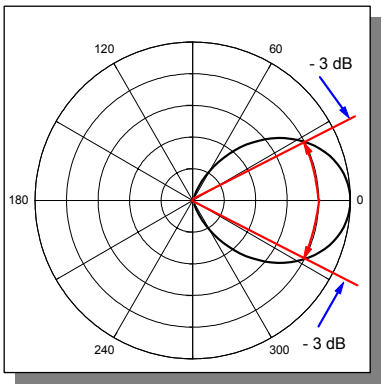
Também chamado de ângulo de meia potência ou ângulo de –3 dB.

O feixe de meia potência é um dos parâmetros mais relevantes na caracterização de uma antena, pois define a região de maior atividade da antena.

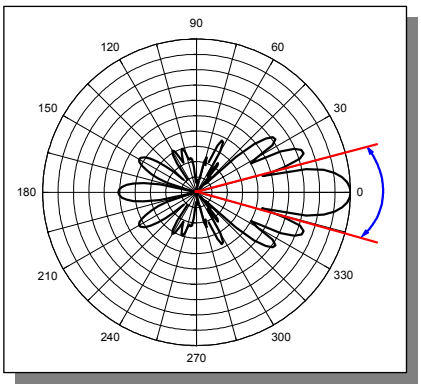
Essa informação é primordial para planejamentos de setorização, repetição e outras soluções comumente implementadas em sistemas de rádio comunicações.

À medida que o feixe de meia potência se estreita, a antena está concentrando a energia irradiada num range menor de direções, aumentando a diretividade.

Feixe entre nulos: margem de direções em que a radiação do lóbulo principal cai a zero. Indica os limites do mesmo.



Feixe de meia potência



Feixe entre nulos

Nível de lóbulos secundários: relação entre o máximo de irradiação dos lóbulos secundários e o máximo de irradiação do lóbulo principal (LP).

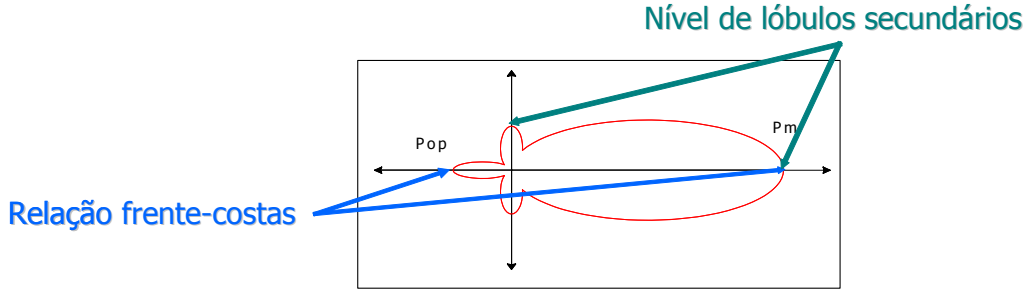
Relação frente-costas: relação entre as amplitudes do LP e a amplitude deslocada 180° do mesmo.

Essa informação se torna muito relevante a partir do momento que se trabalha em rádio enlaces com alto nível de interferência.

Neste caso se busca a minimização destes lóbulos para que as fontes interferentes adjacentes ao rádio enlace exerçam pouca influência.

Quanto mais baixo o nível de lóbulos secundários, melhor vai ser a relação sinal ruído do rádio enlace.

A priori, à medida que aumenta a diretividade da antena, o nível de lóbulos secundários diminuem, e a relação frente-costas aumenta.



PARÂMETROS

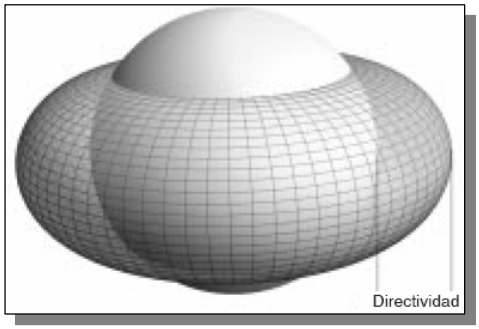
DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO – FUNÇÃO DIRETIVIDADE

Função diretividade: razão entre a densidade de potência irradiada pela antena e a densidade de potência irradiada por uma antena isotrópica, a uma mesma distância.

A antena isotrópica é uma antena fictícia que irradia igualmente em todas direções do espaço.

O valor da função diretividade, em uma certa direção, pode ser maior ou menor que a função diretividade de uma antena isotrópica.

Diretividade: valor máximo da função diretividade. Define o ganho da antena.



Em geral a diretividade e o ganho de uma antena são expressos em escala logarítmica.

A unidade usada será o dBi quando a referência for o dipolo isotrópico e dBd quando a referência for o dipolo de meia onda.

Para conversão de unidades:

dBi = valor em dBd + 2,15

Na análise do diagrama de irradiação de uma antena, a função diretividade é normalizada, ou seja, a mesma é dividida pelo módulo da diretividade (máximo da função). Na prática isso significa que a função diretividade passa a ter um valor máximo de 1 (ou 0 dB numa escala logarítmica).

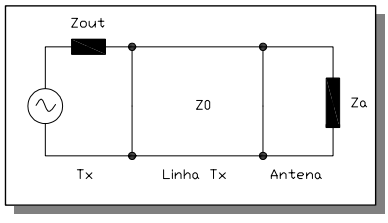
IMPEDÂNCIA E ADAPTAÇÃO

Os dispositivos de RF são caracterizados pela suas impedâncias terminais.

A impedância expressa a relação entre tensão e corrente nos terminais de um dispositivo.

O parâmetro impedância é composto de duas partes: uma resistiva (parte real), que dissipa e uma reativa (parte imaginária) que armazena energia.

No caso de sistemas de RF, os padrões de impedância mais utilizados são: 50 Ohms (Rádio) e 75 Ohms (TV).



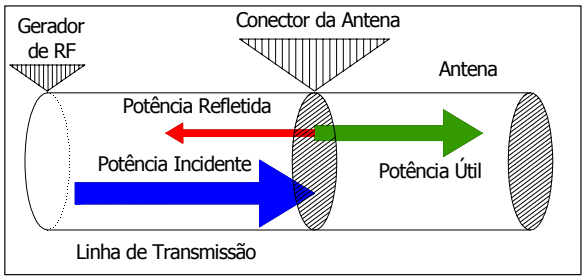
$$Z = R + jX$$

IMPEDÂNCIA E ADAPTAÇÃO – ROE E PERDA DE RETORNO

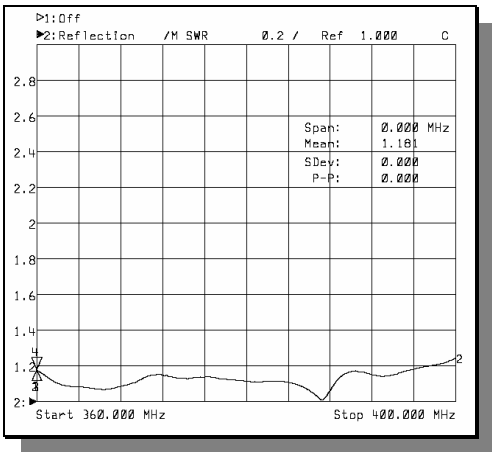
No caso em que não se cumpra a relação entre as impedância terminais, parte da potência enviada pelo rádio para antena será refletida, causando um descasamento de impedâncias.

A adaptação (casamento) de impedâncias é dada por duas grandezas:

- ROE: Relação de Onda Estacionária (VSWR);
- Perda de Retorno (Return Loss)



O DESCASAMENTO DE IMPEDÂNCIA GERA EFEITOS INDESEJADOS NO SISTEMA DE RF COMO: PERDA DA EFICIÊNCIA DO ENLACE (MENOR ALCANCE) E DIMINUIÇÃO DA VIDA ÚTIL DO RÁDIO (DEVIDO A AQUECIMENTO CAUSADO PELA POTÊNCIA REFLETIDA).



ROE: Índice que expressa a amplitude do coeficiente de reflexão. Para que uma antena esteja perfeitamente adaptada o ROE deve ser igual a 1 ao longo de toda a banda.

Na prática a relação de onda estacionária não é igual a 1 ao longo de toda a banda (a antena é uma estrutura estática e seu comportamento varia com a freqüência).

Perda de Retorno (RL): expressa a mesma medida, porém em escala logarítmica.

- ROE = 1,2:1 ➔ 99% da energia é irradiada, 1% é refletida;
- ROE = 1,5:1 ➔ 96% da energia é irradiada, 4% é refletida;
- ROE = 2,0:1 ➔ 90% da energia é irradiada, 10% é refletida.

- RL = -40 dB ➔ ROE ≈ 1,2:1;
- RL = -30 dB ➔ ROE ≈ 1,5:1;
- RL = -20 dB ➔ ROE ≈ 2,0:1.

GANHO

É o parâmetro que une as características de diagrama de irradiação com as características de impedância.

O ganho dá a informação da capacidade da antena concentrar a energia recebida numa determinada direção, ponderada pela capacidade da mesma absorver a energia enviada pelo rádio e irradiá-la.

Diretividade

$$G = \eta_t \cdot D$$

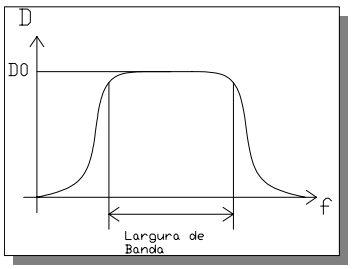
Eficiência

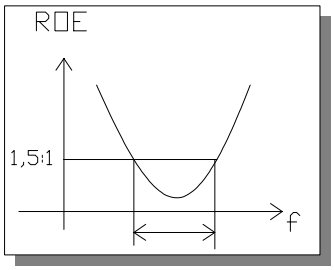
PARÂMETROS

LARGURA DE BANDA

Margem de freqüência em que a antena é operativa, ou seja, seus parâmetros não variam demasiadamente.

Toma-se, a priori, a largura de banda em relação a diretividade, porém somente será válida se o ROE (ou a perda de retorno) estiverem satisfatórias ao longo da faixa considerada.



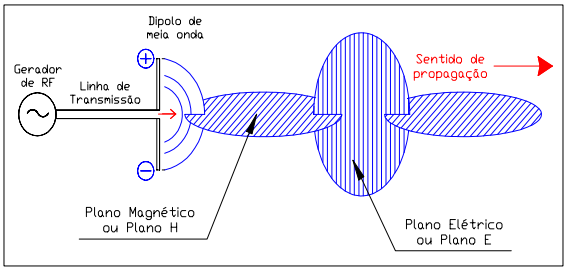


POLARIZAÇÃO

É a figura que descreve o campo elétrico em um ponto fixo do espaço.

Casos:

- Linear (yagis, parabólicas vazadas, omnidirecionais);
- Circular: helicoidais, painéis com polarização circular, parabólicas para comunicação via satélite).



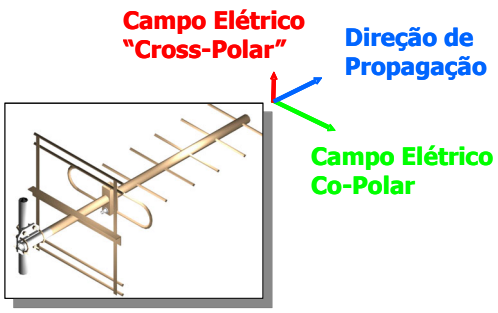
ISOLAÇÃO POR POLARIZAÇÃO CRUZADA (CROSS POLARIZATION)

Parâmetro que mede a "pureza" de polaridade do campo elétrico irradiado por uma antena.

O campo elétrico de uma antena linear (polarização vertical ou horizontal) pode ser decomposto em dois vetores perpendiculares.

A isolação por polarização cruzada indica a relação entre as amplitudes desses dois vetores.

É desejável ter a maior isolação possível, assim os espúrios provenientes de outras fontes não co-polares serão altamente atenuados.



FAMÍLIAS DE ANTENAS

INTRODUÇÃO

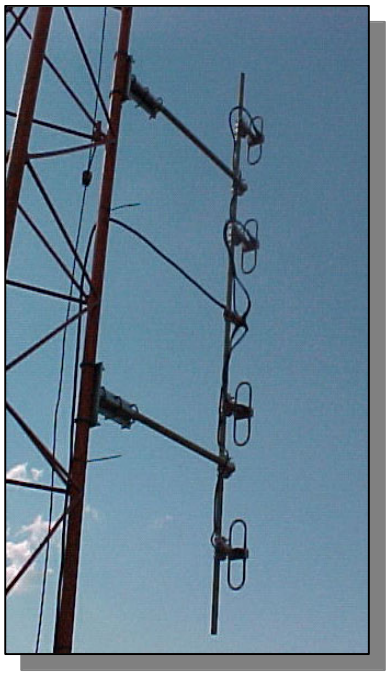
Os tipos de antenas são infinitos, porém podem ser concentrados em alguns grupos ou famílias.

Essas famílias são definidas basicamente pelas características do diagrama de irradiação, o que definirá também sua aplicabilidade (antenas para setorização, para estações móveis, para longas distâncias).

A seguir descreveremos algumas das famílias mais utilizadas:

- Arranjo Colinear de Dipolos
- Omnidirecionais;
- Painéis de Baixo Perfil (Flat);
- Painéis Setoriais;
- Parabólicas Sólidas;
- Parabólicas Vazadas;
- Yagis.

ARRANJOS COLINEARES



Utilização: cobertura de sistemas em baixa freqüência. Seu feixe horizontal é de 360° e apresenta um *ripple* (variação) no ganho, no plano horizontal, devido à presença de um mastro refletor.

Vantagens: Configuração do diagrama (conforme a disposição dos dipolos).

Desvantagens: grandes dimensões, alto nível de lóbulos secundários Polarização: Vertical ou Horizontal.

Diagrama típico: Tipo "rosca". O aumento do ganho é obtido através do empilhamento de dipolos.

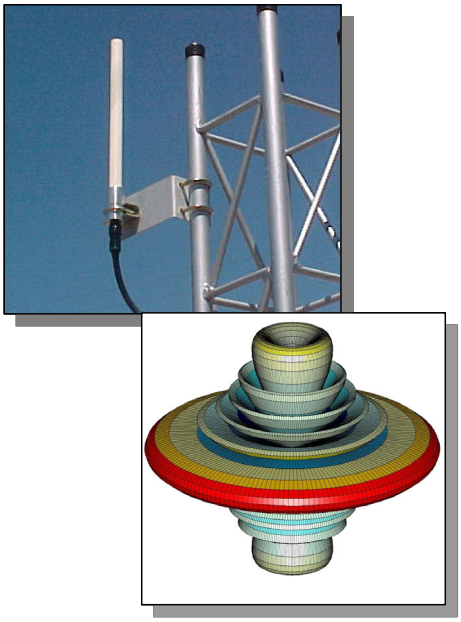
O diagrama afina à medida que aumenta o ganho. A alimentação dos dipolos é feita, geralmente, através de divisores de potência.

Ganhos típicos: De 2,15 a 8 dBi

Freqüências típicas: Entre 100 MHz e 400 MHz.

FAMÍLIAS DE ANTENAS

OMNIDIRECIONAIS



Utilização: cobertura de sistemas celulares, equipamentos que requerem mobilidade, etc. Seu feixe horizontal é de 360° e o feixe vertical se estreita à medida que aumenta o ganho.

Vantagens: boa relação custo-benefício.

Desvantagens: maior sujeição a captação de ruídos, dificuldade de implementar sistema de down-tilt.

Polarização: Vertical ou Horizontal.

Diagrama típico: Tipo "rosca". O aumento do ganho é obtido através do empilhamento de dipolos.

O diagrama afina à medida que aumenta o ganho.

Ganhos típicos: De 2,15 a 15 dBi

Freqüências típicas: Acima de 400 MHz.

PAINÉIS DE BAIXO PERFIL (FLAT)

Utilização: links ponto a ponto ou ponto-multiponto, para ponta do cliente.

Vantagens: estética adequada, facilidade na montagem e alinhamento.

Desvantagens: baixo ganho.

Polarização: Vertical ou Horizontal, Circular

Diagrama típico: Tipo "pincel" (plano vertical e horizontal semelhante). Abertura dos planos E e H parecidos.

Ganhos típicos: De 8 a 25 dBi

Freqüências típicas: Acima de 2 GHz.

PAINÉIS SETORIAIS

Utilização: ERB's, POP's, pontos de acesso (em áreas com maior tráfego), aplicações específicas, etc.

Vantagens: flexibilidade na configuração do cluster, maior isolação de ruídos provenientes de outras direções, iluminação de pontos específicos (indoor).

Desvantagens: pior relação custo-benefício.

Polarização: Vertical ou Horizontal, +/- 45° (GSM, sistema de telefonia celular)

Diagrama típico: Tipo "leque" (plano horizontal semelhante a um leque aberto) Maior abertura no plano horizontal, para setorização. Seu feixe horizontal varia de 60° a 120°.

Ganhos típicos: De 9 a 18 dBi

Freqüências típicas: Acima de 800 MHz.

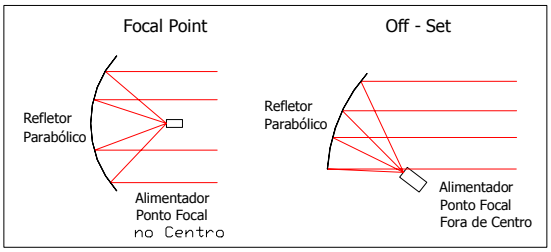
FAMÍLIAS DE ANTENAS

PARABÓLICAS – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Consiste em uma antena (alimentador) que ilumina um refletor parabólico. Este re-irradia essa energia na direção de máximo ganho.

Seu ganho é elevado, conseqüentemente possui pequeno ângulo de abertura.

São utilizados para enlaces de grandes distâncias.



PARABÓLICAS SÓLIDAS

Utilização: enlaces de grandes distâncias ou que exijam uma alta performance do diagrama de irradiação. Os feixes são estreitos devido à alta diretividade das antenas.

Vantagens: maior imunidade a ruídos, maior ganho com menos área.

Desvantagens: maior custo.

Polarização: Vertical ou Horizontal, Circular (Satélite).

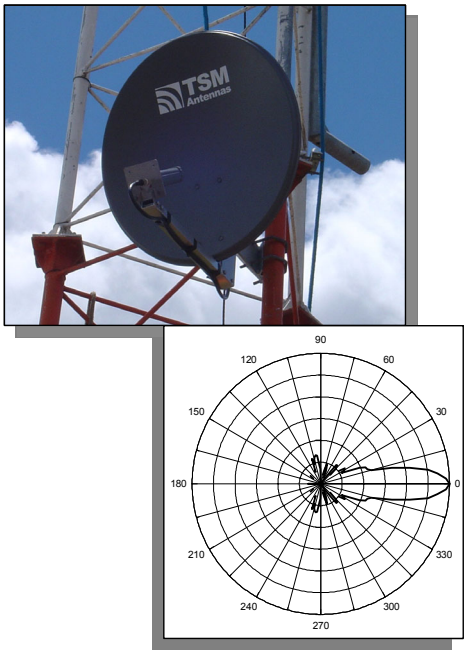
Diagrama típico: Tipo "pincel". Maior relação frente-costas e nível de lóbulos secundários.

O aumento da diretividade é obtido pelo aumento da área do prato.

Ganhos típicos: Acima de 20 dBi.

Freqüências típicas: Acima de 2,4 GHz.

Desvantagem: Maior carga de vento.



PARABÓLICAS VAZADAS

Utilização: enlaces de grandes distâncias, para faixa alta de UHF.

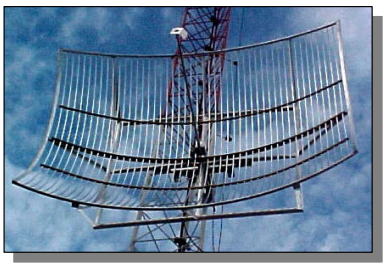
Para atingir tais ganhos os pratos parabólicos são muito grandes, e a área de ventos dos mesmos passa a ser um problema.

Vantagens: alto ganho, pouca carga de ventos para as torres.

Desvantagens: dificuldade de transporte.

Ganhos típicos: Entre 17 e 35 dBi.

Freqüências típicas: Entre de 800 MHz e 2,4 GHz.



FAMÍLIAS DE ANTENAS

YAGIS

São antenas compostas de um refletor (simples ou grade) um dipolo (simples ou dobrado) e diretores.

Utilização: enlaces de grandes distâncias e baixas freqüências (VHF, UHF baixa).

Vantagens: peso, facilidade de transporte e montagem, baixa carga de vento.

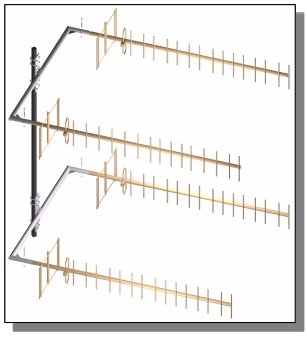
Desvantagens: limitação no ganho (o incremento no ganho para antena acima de 17 dBi fica inviável fisicamente).

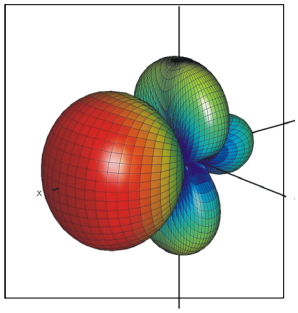
Polarização: Vertical ou Horizontal.

Diagrama típico: Tipo "pincel". O aumento da diretividade é obtido pelo aumento do número de elementos e, posteriormente, pelo agrupamento de várias antenas por um divisor de potências.

Ganhos típicos: Entre 6 e 25 dBi.

Freqüências típicas: Entre de 30 MHz e 2,4 GHz. As yagis de freqüências acima de 1,5 GHz necessitam o uso de radome, para proteção da água da chuva.





ANOTAÇÕES

PROPAGAÇÃO RÁDIO-ELÉTRICA

PROPAGAÇÃO RÁDIO-ELÉTRICA

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

www.tsm.com.br

PROPAGAÇÃO RÁDIO-ELÉTRICA

INTRODUÇÃO

As ondas eletromagnéticas (OEM) são capazes de se propagar no vácuo, onde sofrem somente uma atenuação contínua denominada atenuação de espaço livre.

Para rádio enlaces implementados na superfície terrestre, a atmosfera impõe alguns efeitos sobre as OEM.

Esses efeitos podem ser mensurados por alguns parâmetros que são bastante úteis no dimensionamento de um sistema de RF.

- Atenuação de espaço livre;
- Refração devido aos gases atmosféricos;
- Fator K ➔ Efeito do raio terrestre;
- Rádio horizonte;
- Elipsóide de Fresnel.

ATENUAÇÃO DE ESPAÇO LIVRE (FSL)

A energia emitida por uma fonte se propaga em todas as direções de igual forma.

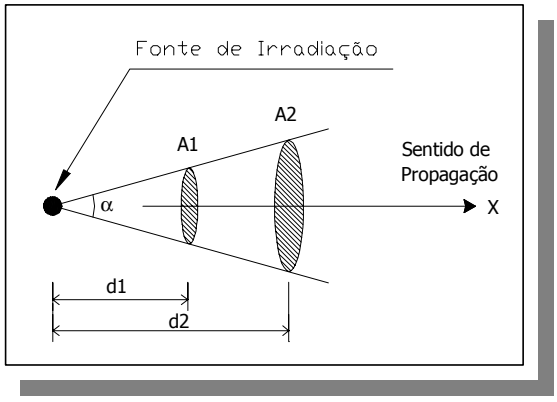
Isso significa que, caso uma antena se reduzisse a um ponto, a "energia" emitida poderia ser representada por flechas radiais a esse ponto. Essas flechas podem ser mais intensas para uma direção que para outras (diretividade da antena).

A atenuação de espaço livre é conseqüência da distribuição da energia emitida pela fonte (antena) em esferas cada vez maiores.

A densidade de potência (W/m²) diminui à medida que nos afastamos da mesma.

É proporcional à distância e à freqüência.

A sigla FSL vem do inglês, *Free Space Loss*.

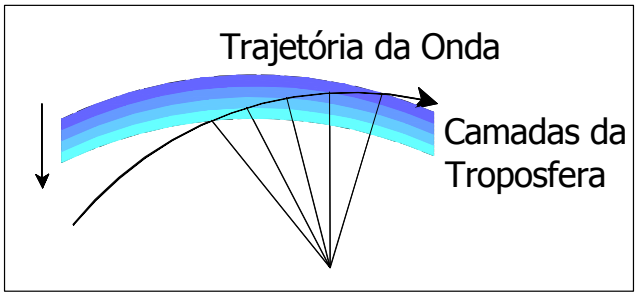


$$FSL = 32{,}45 + 20 \cdot \log d(km) + 20 \cdot \log f(MHz)$$

REFRAÇÃO

A densidade da atmosfera diminui com o aumento da altitude, gerando uma variação no índice de refração do meio (o índice de refração diminui com o aumento da altitude).

As OEM sofrem um encurvamento da trajetória em direção ao solo, em função da sua passagem por um meio com índice de refração variável com a altitude.



Além disso, os gases absorvem e dispersam os raios, aumentando as perdas.
Entretanto os raios chegarão mais longe do que o horizonte visual.

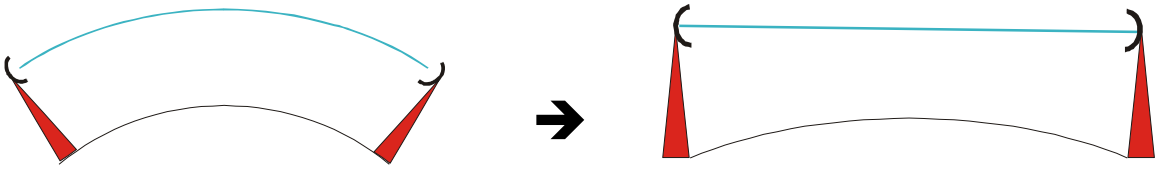
FATOR K

Corrige a curvatura da Terra para que os raios (traçados para o dimensionamento do RE) se tornem linhas retas.

Esse fator leva em conta o índice de refração local.

Raio terrestre sem correções: a = 6370 km.

Para atmosfera padrão, K=4/3.



Terra real ➔ Raio terrestre = a

Terra fictícia ➔ Raio terrestre = K.a

Casos de refração:

- K < 1 ➔ Refração inversa: a trajetória real da onda é uma curva no sentido solo-espaço acentuada;
- K = 4/3 ➔ Refração normal: o raio terrestre é levemente aumentado, de maneira que a Terra se aplaina;
- K = infinito ➔ Refração crítica: a trajetória da onda é paralela à superfície terrestre;
- K < 0 ➔ Super refração: a curvatura virtual da Terra passa a ser negativa. Há a formação de dutos de refração que conduzem a onda a grandes distâncias.

PROPAGAÇÃO RÁDIO-ELÉTRICA

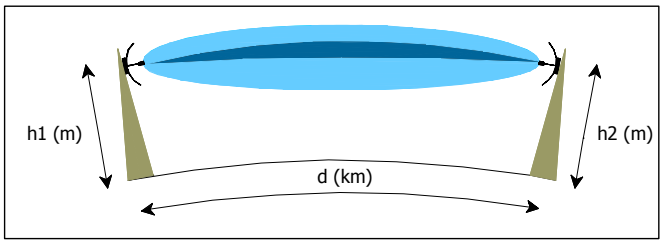
RÁDIO HORIZONTE

Também chamado de alcance rádio elétrico.

É a linha de horizonte com rádio visibilidade para um transmissor ou receptor.

A equação indica a máxima distância entre os terminais, em função da altura das antenas para que haja rádio visibilidade.

A partir da mesma equação pode-se definir as alturas das torres necessárias para se obter rádio visibilidade.



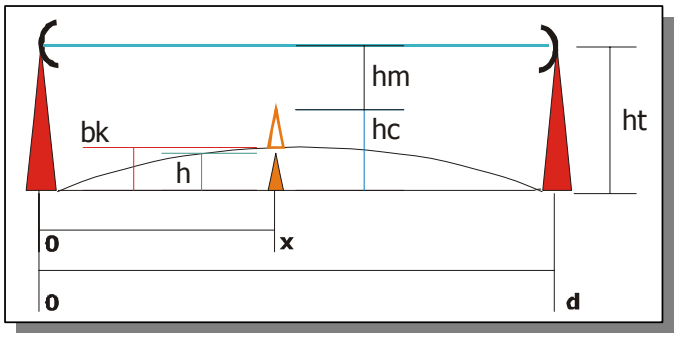
$$d(km) = 4{,}12 \cdot \left(\sqrt{h1(m)} + \sqrt{h2(m)}\right)$$

ALTURA DE UM OBSTÁCULO À LINHA DE VISADA

Na correção do raio terrestre as alturas dos obstáculos também sofrem alterações.

Nos cálculos de rádio enlace se faz necessário saber qual é a altura dos obstáculos em relação à linha de visada.

As informações necessárias iniciais são: distância do enlace, altura das torres, K, distância do obstáculo e altura do mesmo.



- bk: protuberância terrestre;
- d: distância do enlace;
- h: altura do obstáculo;
- hc: altura do obstáculo corrigido;
- hm: distância do obstáculo corrigido até a linha de visada;
- ht: Altura da torre;
- x: distância do obstáculo até a torre de referência.

$$bk(m) = 0{,}07849 \cdot \frac{x(km) \cdot (d(km) - x(km))}{K}$$

$$hc(m) = bk(m) + h(m)$$

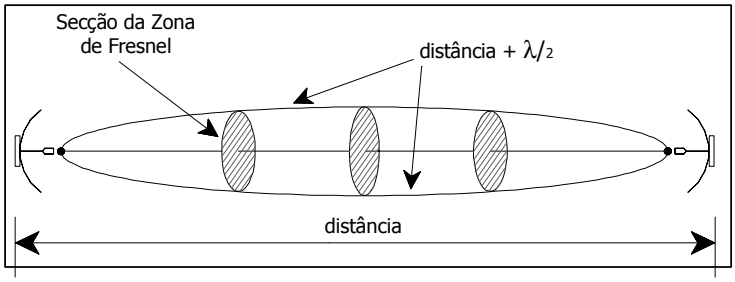
$$hm(m) = ht(m) + hc(m)$$

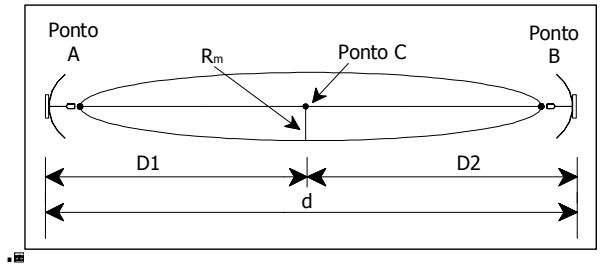
ELIPSÓIDE DE FRESNEL

Região dos pontos entre as duas antenas que possui comprimento igual a soma da distância entre as antenas e meio comprimento de onda, região também denominada primeira zona de Fresnel.

Serve para verificar as obstruções da primeira zona e as perdas causadas pelas mesmas.

Primeira Zona de Fresnel livre de obstruções ➔ propagação no espaço livre





$$r_m(m) = 547\sqrt{\frac{D_1(km).D_2(km)}{f(MHz).d(km)}}$$

- rm = raio de Fresnel (m)
- D1 = Distância AC (km)
- D2 = Distância BC (km)
- d = Distância do Enlace (km)
- f = Freqüência em MHz

FADING

Os elementos do meio (solo, clima, etc.) dão lugar ao surgimento de perdas de propagação.

Esses elementos são variáveis, assim as perdas também o são.

A potência que chega ao rádio não é constante. Na verdade esta possui um valor instantâneo que varia em torno de um valor médio.

Essa variação recebe o nome de Fading.

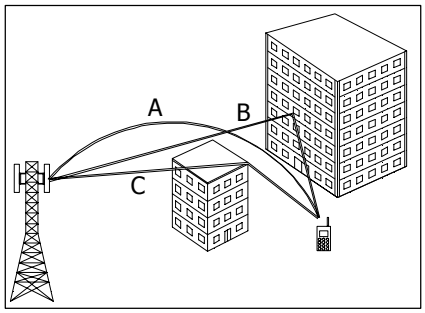
A seguir veremos alguns conceitos fundamentais na caracterização de um RE.

- *Fading* lento e rápido;
- Margem de fading;
- Probabilidade de corte e disponibilidade do rádio enlace.

PROPAGAÇÃO RÁDIO-ELÉTRICA

FADING

- Fading Lento (Slow Fading): variações lentas, pouco profundas (3 a 6 dB), causada por mudanças atmosféricas (índice de refração);
- Fading Rápido (Fast Fading): variações rápidas, muito profundas (> 20 dB). Causada por efeito multi caminho.



MARGEM DE FADING

Indica a diferença entre a potência média recebida e a sensibilidade do receptor.

Depende, por um lado, das características intrínsecas do RE (freqüência, distância) e das características ambientais (relevo e clima) do meio.

Está, por outro lado, relacionado com a probabilidade de corte e disponibilidade do RE.

$$M(dB) = \overline{P_r}(dB) - P_S(dB)$$

PROBABILIDADE DE CORTE E DISPONIBILIDADE DO RE

A probabilidade de corte é o percentual do tempo que a potência média recebida estará abaixo da sensibilidade. A disponibilidade do rádio enlace será o percentual do tempo em que o RE estará operativo.

$$P_{corte} = 6 \cdot 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-M/10}$$

$$A = 1 - P_{corte}$$

- f ➔ freqüência central de trabalho (GHz);
- d ➔ distância do rádio enlace (km);
- M ➔ margem de fading (dB)
- a ➔ fator geográfico:
  - a = 4 ➔ Terreno muito liso (incluindo água do mar);
  - a = 1 ➔ Terreno normal;
  - a = 1/4 ➔ Terreno muito acidentado;
- b ➔ fator climático:
  - b = 1/2 ➔ Zonas muito úmidas, costeira;
  - b = 1/4 ➔ Zonas interioranas (normais);
  - b = 1/8 ➔ Zonas muito secas;

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES OUTDOOR

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES OUTDOOR

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES OUTDOOR

INTRODUÇÃO

São considerados rádios enlaces de microondas aqueles cuja banda de operação está acima de 900 MHz;

Aplicações típicas: Redes de telecomunicações: canais de TV, canais de voz, dados.

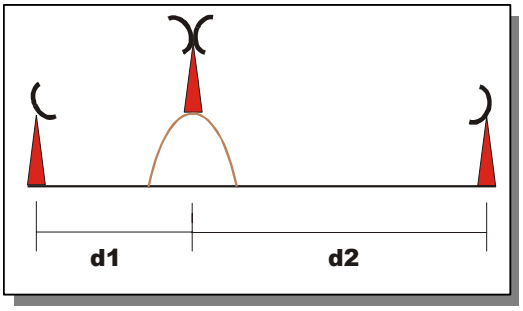
Etapas:

- ✓ **Planejamento;**
- ✓ **Análise do canal radioelétrico;**
- ✓ **Considerações sobre o tipo de modulação.**

PLANEJAMENTO

Número de repetidores;
Natureza: Analógica ou digital;
Objetivos de qualidade:

- CCIR: Comitê Internacional de Radiocomunicações;
- UTI-R: União Internacional de Telecomunicações (Seção Rádio).



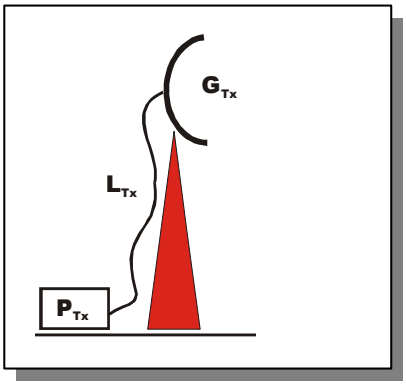
Outras considerações:

- ✓ **Características climáticas;**
- ✓ **Condições anômalas de propagação (espelhos d'água, cortinas verdes, etc.)**

POTÊNCIA ERP

Potência efetivamente irradiada pelo terminal. É dada pela soma dos ganhos e perdas dos terminais (transmissor, cabos, amplificadores, antenas...).

É uma grandeza utilizada para facilitar cálculos de rádio enlace.



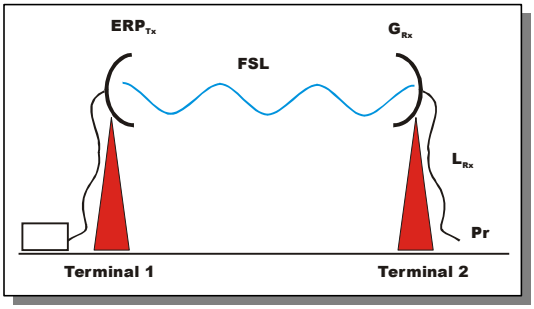
$$ERP_{Tx} = P_{Tx}(dB) - L(dB) + G_{Tx}(dB)$$

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES OUTDOOR

BALANÇO DE POTÊNCIAS

Define o nível médio da potência recebida no terminal receptor $(\overline{P_r})$.

É obtida pela soma da potência ERP, ganhos e perdas do terminal receptor (ERP_{Tx}), das perdas de propagação - *free space loss* (FSL) e perdas por difração de obstáculos e reflexão (L_{prop}^{add}).- e as perdas das linhas de transmissão do terminal receptor (L_{Rx}).



$$\overline{Pr} = ERP_{Tx} - FSL - L_{prop}^{add} + G_{Rx} - L_{Rx}$$

O balanço de potências não inclui a potência emitida pelo Tx do terminal 2

RUÍDO

A potência de ruído é definida pela temperatura equivalente de ruído, pela largura de banda em FI (freqüência intermediária) e pela figura de ruído do receptor.

A figura de ruído do receptor é alterada pela inserção de perdas (cabos, amplificadores, etc).

$$P_n(dBm) = -174 + 10 \cdot \log(B_{FI}) + F(dB)$$

- *Caso não seja especificada, considerar a F = 0.*

RELAÇÃO PORTADORA RUÍDO

Relação entre o nível de potência recebido e o nível de potência do ruído.

$$\frac{C}{N}(dB) = \overline{P_r} - P_n$$

SENSIBILIDADE

Para cada tipo de modulação existe uma relação portadora ruído mínima necessária para que o receptor seja capaz de demodular corretamente.

A sensibilidade é a potência média recebida mínima necessária para viabilizar a detecção e demodulação.

$$P_S = \left.\frac{C}{N}\right|_{mín} + P_n$$

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES OUTDOOR

ESTRUTURAÇÃO BÁSICA DO CÁLCULO DE RÁDIO ENLACE

Dados necessários:

- Transceptores:
  - Potência de saída;
  - Sensibilidade.
- Canal radioelétrico:
  - Freqüência de trabalho;
  - Detalhamento das condições físicas do meio (perfil do terreno, clima, etc.).

$$\left.\begin{array}{l} \left.\begin{array}{l} P_n \\ C/N\,\big|_{mín} \end{array}\right\} P_S \\ A \rightarrow P_{corte} \rightarrow M \end{array}\right\} \overline{P_r} \Rightarrow \text{Balanço de Potências}$$

Em geral, os dados sobre a sensibilidade dos transceptores são previamente fornecidos pelos fabricantes.

A relação portadora-ruído mínima é definida por informações como *Bit Error Rate (BER)* e modulação.

Assim, à medida que a potência de ruído aumenta a potência mínima necessária para excitar o rádio (sensibilidade) também aumentará.

Da mesma maneira, à medida que as condições do meio pioram, a margem de fading aumenta.

Isso afetará diretamente na definição da potência média recebida e, conseqüentemente, no balanço de potências.

Por sua vez o balanço de potências é definido pelas características dos componentes do rádio enlace (antenas, cabos, conectores, amplificadores, etc.)

TÉCNICAS DE DIVERSIDADE

Para aumentar a disponibilidade do RE, deve-se diminuir a probabilidade de corte.

As técnicas de diversidade consistem em enviar a informação de forma redundante por vários caminhos entre Tx e Rx.

Será definido um fator de melhora que dividirá a probabilidade de corte antiga para definir uma nova probabilidade.

Diversidade em espaço

Duplicam-se as antenas e os equipamentos em Rx.

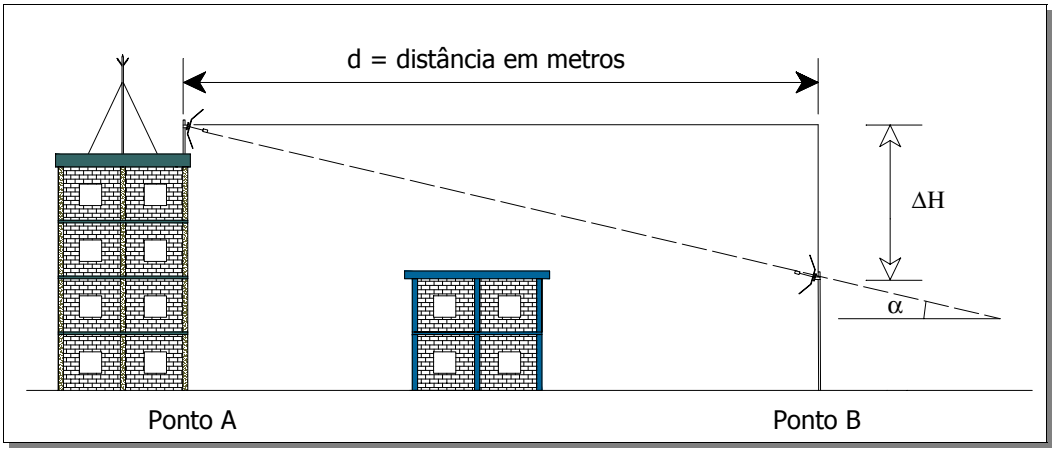
A separação entre as antenas deve ser tal que, quando ocorra Fading num enlace, não ocorra no outro.

$$I_{sd} = 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot f(GHz) \cdot s(m)^2 \cdot \frac{10^{M(dB)/10}}{d(km)}$$

$$P_{corte}^{diversidade} = \frac{P_{corte}}{I_{sd}}$$

CÁLCULO DO ÂNGULO DE DOWN-TILT

No direcionamento de duas antenas instaladas em diferentes alturas temos que calcular o ângulo de cada uma em relação a linha do horizonte, que permitirá uma visada direta entre elas. Este ângulo é conhecido como ângulo de *down-tilt*.



$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta H}{d}\right)$$

- $\alpha(^\circ)$ ➔ Ângulo em graus;
- $\Delta H(m)$ ➔ Diferença de altura entre os pontos A e B;
- $d(m)$ ➔ Distância entre o ponto A e B.

EXEMPLO

Distância = 600 metros
Altura do Ponto A = 45 metros
Altura do Ponto B = 5 metros
△H = 45 – 5 = 40 metros

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta H}{d}\right) = \arctan\left(\frac{40}{600}\right) = \arctan(0{,}067) = 3{,}8^0$$

Conclusão: Ao instalar a antena no ponto A, deve-se dirigir a antena 3,8º na direção do solo, de modo que ela fique apontada para a antena B.

A antena do ponto B deve ser dirigida 3,8º para cima, de modo que fique direcionada para a antena do ponto A.

Observação: em algumas calculadoras a função arco tangente (arctan) pode estar indicada como tan-1. É importante verificar também a unidade em que a calculadora está especificando o ângulo, se em radianos ou graus. Caso seja necessário fazer a conversão entre as duas unidades, utiliza-se a seguinte relação:

$$\angle(^\circ) = \frac{\angle(rad)\times 360^\circ}{2\times\pi}$$

ANOTAÇÕES

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

INTRODUÇÃO

Atualmente as redes sem fio (WLANs) constituem o meio mais rápido e eficiente de prover acesso à redes de computadores onde é difícil ou caro estruturar uma rede de dados via cabo.

A demanda de utilização de redes sem fio em ambientes fechados vem crescendo dia-a-dia, devido à necessidade de automação e controle de sistemas dos mais diversos tipos.

O dimensionamento de uma rede *indoor* apresenta várias dificuldades adicionais em relação aos enlaces efetuados em ambientes externos (*outdoor*) devido à difícil predição do comportamento do canal radioelétrico.

Este trabalho traz algumas técnicas utilizadas para planejar a rede de dados e minimizar os erros durante sua implementação.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS - THROUGHPUT

Throughput é a capacidade de tráfego de dados do enlace no tempo. É ele que vai definir o número máximo de usuários da rede. A mesma terá que ser dimensionada, ou seja, o número de *Acces Points* deverá fornecer um *throughput* máximo igual à soma dos *throughputs* de cada usuário.

$$n_{AP} = \frac{n_{\substack{\text{médio usuários} \\ \text{simultâneos}}} \cdot throughput_{\substack{\text{médio} \\ \text{usuários}}}}{throughput_{\text{AP}}}$$

Throughput real de um AP gira em torno de 40% a 50% do valor nominal devido à utilização de uma parte da banda para envio de pacotes destinados à sinalização.

Ambiente	Aplicação	Tráfego médio
Corporativo	Web, E-mail, Download	150 a 300 kbits/usuário
Acesso Público	Web, E-mail	100 kbits/usuário

CONSIDERAÇÕES INICIAIS - COBERTURA

Fatores que devem ser considerados no planejamento da cobertura:

- Área a ser coberta;
- Tráfego;
- Custo da infra-estrutura.

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

CONSIDERAÇÕES INICIAIS - COBERTURA

As topologias de rede mais empregadas são:

Peer-to-peer:

As estações de trabalho estabelecem comunicação entre si sem a necessidade de um AP.

Infra-estrutura:

Access Point estabelece comunicação com um conjunto de estações de trabalho.
Configurações:

- ***Unicelular;***
- ***Com Superposição Celular;***
- ***Multicelular.***

- Configuração Unicelular ➔ O tráfego total é atendido por um ponto de acesso;
- Configuração com Superposição Celular ➔ O tráfego total não é atendido por um único AP e se deseja que não haja nenhum *gap* na continuidade da comunicação;
- Configuração Multicelular ➔ Alta densidade de tráfego. As células se sobrepõem fortemente. As células devem operar em canais diferentes.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS - INTERFERÊNCIAS

As interferências são oriundas da existência de sinais indesejados no canal radioelétrico e constitui um dos maiores limitantes na performance do sistema de comunicações. Elas provêm dos mais diversos tipos de fontes como: espaço, automóveis, outros sistemas de rádio e o próprio sistema.

Em ambientes fechados, várias tecnologias desenvolvidas utilizando mesma faixa do espectro (redes sem fio, Bluetooth, equipamentos domésticos, etc.) são obrigadas a co-existir;

Durante o planejamento é necessário dimensionar essa interferência com todos os sistemas co-existentes em funcionamento.

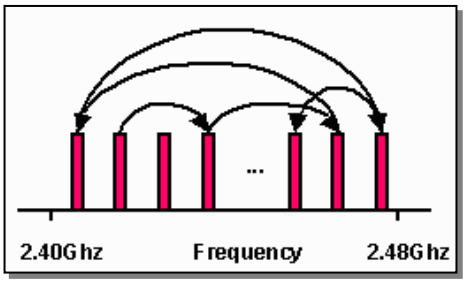
Para minimizar as interferências intra-sistêmicas algumas técnicas de modulação e multiplexação são usadas: FHSS, DSSS, OFDM.

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ➔ O sinal é transmitido em uma portadora de faixa estreita, por um curto período de tempo. Após decorrido esse período (dwell time), salta para outra portadora;
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ➔ Se aplica uma modulação ao sinal de banda estreita por um sinal banda larga (códigos ortogonais ou pseudonoise - PN). Assim o ruído de alta potência em banda estreita passa a comportar-se como um ruído branco de baixa potência em banda larga;

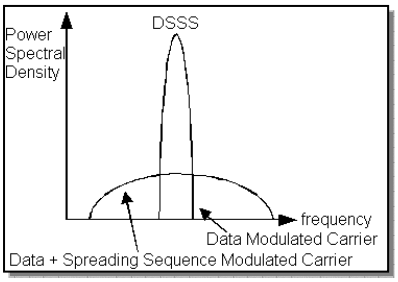
CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

CONSIDERAÇÕES INICIAIS - INTERFERÊNCIAS

- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ➔ Utiliza-se de múltiplas portadoras fixas. A informação é dividida em partes e cada sub-portadora envia uma das partes do sinal.



Técnica de espalhamento espectral FHSS



Técnica de espalhamento espectral DSSS

PLANEJAMENTO

O planejamento eficiente de cobertura e desempenho requer conhecimento do meio de transmissão. Em sistemas *wireless indoor*, os efeitos do ambiente sobre o canal radioelétrico são complexos devido a diversos fatores que desviam e degradam o sinal. Os mais importantes são:

- Reflexão e difração em objetos;
- Passagem por paredes, pisos e outros obstáculos;
- Tunelamento de energia em corredores;
- Movimento de pessoas e objetos no recinto.

Esses fatores degradam o sinal através da atenuação, mudança de polarização, variação temporal e espacial.

O canal pode ser caracterizado por três efeitos:

- ✓ ***Dependência com a distância;***
- ✓ ***Variabilidade de larga escala (Slow fading);***
- ✓ ***Variabilidade de pequena escala (Fast fading).***

Qualquer sinal tem seu nível de potência atenuado à medida que se propaga no canal. Dependendo da morfologia do ambiente essas perdas podem acentuar-se, elevando a dependência à quarta ou quinta potência (em espaço livre essa dependência é quadrática).

A variabilidade de larga escala (*slow fading*) é conhecida como efeito de sombreamento, está associada a flutuações do nível de potência em torno do seu valor médio, em razão das características do relevo e da morfologia (por exemplo, mudança do mobiliário de um escritório).

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

PLANEJAMENTO

A variabilidade de pequena escala é causada pelo efeito multi caminho: a onda percorre diferentes trajetos (devido aos fenômenos de reflexão, refração, difração e espalhamento), chegando ao receptor com amplitudes e fases diferentes.

A fase é mais sensível à medida que aumenta a freqüência de trabalho. Nas freqüências acima de 1 GHz pequenos deslocamentos podem levar a profundos desvanecimentos no sinal. Em compensação sua duração é curta.

MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Existem, basicamente, dois tipos de modelo de propagação:

- Teóricos: baseiam-se no traçado de raios e na resolução da equação de onda. Não requerem ajustes. Apresentam tempo de computação elevado;
- Empíricos: são embasados em medidas em diferentes tipos de ambientes.

Seguem exemplos de modelos teóricos e empíricos:

Modelos teóricos:
- ✓ ***Dois raios: propagação outdoor;***
- ✓ ***Seis raios: ambientes indoor e outdoor (ruas com edifícios e muros).***

Modelos semi-empíricos:
- ✓ ***Log-distance;***
- ✓ ***ITU-R P. 1238-1;***
- ✓ ***COST 231 Keenan e Motley;***
- ✓ ***COST 231 Multi-Wall.***

MODELOS DE PROPAGAÇÃO – LOG-DISTANCE

Os modelos empíricos mais simples para a perda de propagação em ambientes fechados podem ser apresentados na forma geral:

$$L_{total} = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(d)$$

L_0 ➔ Perda a 1 metro da antena transmissora. Em 2,4 GHz esse valor é 40 dB;

n ➔ Coeficiente de atenuação devido à distância dependente do ambiente;

d ➔ distância em (m);

Desvios no nível de potência devido à movimentação de pessoas ou objetos (short fading) devem ser contabilizados à parte. Medidas realizadas sugerem uma perda média de 8 a 10 dB em 2,4 GHz.

CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES INDOOR

MODELOS DE PROPAGAÇÃO – LOG-DISTANCE

Valores para Coeficiente de Atenuação com a Distância (*n*)	
Espaço livre	**2**
Área urbana	**2,7 – 3,5**
Área Urbana Obstruída	**3 - 5**
Indoor LOS	**1,6 – 1,8**
Indoor NLOS (pavilhões)	**2 - 3**
Indoor NLOS (escritórios)	**4 - 6**

MODELOS DE PROPAGAÇÃO – ITU P. 1238-1

Desenvolvido pelo ITU-R para predição de sinais em ambientes fechados;

Os valores definidos para a banda mais próxima a 2,4 GHz são referentes à faixa de 1,8 – 2 GHz;

Leva em conta:

- Reflexão e difração em objetos fixos;
- Transmissão através de paredes, pisos e outros obstáculos;
- Confinamento de energia em corredores;
- Pessoas e objetos em movimento no ambiente.

$$L_{total} = 20 \cdot \log(f) + n \cdot \log(d) + L_f - 28$$

Onde:

- ✓ f ➔ Freqüência de operação (MHz)
- ✓ n ➔ Coeficiente de atenuação com a distância
- ✓ d ➔ distância percorrida (m)
- ✓ kf ➔ número de pisos (andares) atravessados
- ✓ Lf ➔ coeficiente de atenuação por piso atravessado

Valores para Coeficiente de Atenuação com a Distância (n)			
Ambiente	**Residencial**	**Escritório**	**Comercial**
n	28	30	22

Valores para Coeficiente de Atenuação por Andar Atravessado *Lf*			
Ambiente	**Residencial**	**Escritório**	**Comercial**
Lf	4 *kf*	15 + 4 (*kf* -1)	6 + 3 (*kf* – 1)

MODELOS DE PROPAGAÇÃO – COST 231

Além dos apresentados, outros modelos mais completos são propostos.

Estes, porém, requerem um grande número de dados para definir o valor dos parâmetros de entrada.

Dois exemplos de modelo bastante usado são:

- ✓ Modelo o proposto por **Keenan e Motley**: leva em conta o número de pisos e paredes a serem atravessados.
- ✓ Modelo **multi-wall**: baseia-se no modelo de Keenan e Motley, porém considera um comportamento não linear da atenuação por múltiplos pisos.

A tabela indica alguns valores padronizados para os modelos:

Obstáculo	**1,8 GHz**	**2,4 GHz**	**5,2 GHz**
Concreto espesso (sem janelas)	13 dB	17 dB	36 dB
Vidraça	2 dB	13 dB	15 dB
Parede com janela	2 a 13 dB	13 a 17 dB	15 a 36 dB

MODELOS DE PROPAGAÇÃO – OUTROS EFEITOS DE PROPAGAÇÃO

- ✓ Água e objetos úmidos tendem a absorver grande parte do sinal incidente. A perda de penetração em pisos e paredes úmidas aumenta em, aproximadamente, 10% em relação aos mesmos secos.

- ✓ As múltiplas reflexões geram, além de uma infinidade de caminhos percorridos, rotações de fase da onda propagada.

Estas são oriundas do fato de haver outros obstáculos (além do solo) presentes: paredes, janelas, prateleiras, pessoas, etc.

Para melhorar a performance do enlace, recomenda-se o uso de diversidade espacial ou de polarização.

- ✓ Obstáculos metálicos sólidos impedem quase que completamente a propagação da onda.

- ✓ Obstáculos sólidos de madeira, de plástico e tijolos refletem uma parte da energia e permitem que outra seja transmitida.

ANOTAÇÕES

EXEMPLOS DE CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES

MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE TSM Antennas.

EXEMPLOS DE CÁLCULO DE RÁDIO ENLACES

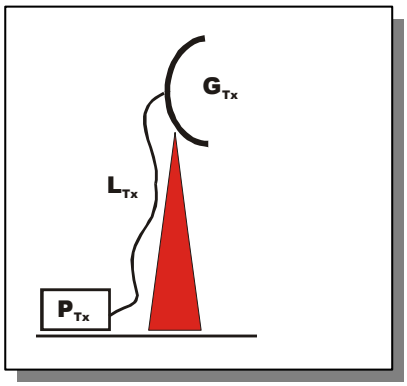
CÁLCULO DE POTÊNCIA ERP (EFFECTIVE RADIATED POWER)

Calcule a potência ERP de uma estação rádio base (ERB):

- Sistema ponto-multiponto;
- Faixa de freqüência: 2,4 – 2,5 GHz;
- Cobertura: 3 setores de 60°;
- Potência de saída do rádio: 50 mW;
- Cabo de alimentação: RGC-08 com 5 metros;
- Divisor utilizado: DP2400-03;
- Jumpers: RGC-08 com 2 metros;
- Antenas utilizadas: PS240015-60.

Solução:

A potência ERP é dada pela soma dos ganhos e perdas dos terminais:



$$ERP_{Tx} = P_{Tx}(dB) - L(dB) + G_{Tx}(dB)$$

Logo precisamos quantificar as informações dadas:

Potência de saída do rádio:	$P_{Tx} = 10\log\left(\frac{50(mW)}{1(mW)}\right) = 17(dBm)$
Perda do cabo de alimentação:	$L_{Feeder} = 0{,}243(dB/m)\cdot 5(m) = 1{,}215(dB)$
Perda de inserção do divisor:	$L_{Divisor} = 5(dB)$
Perda dos *jumpers* (isolados):	$L_{Jumper} = 0{,}243\,(dB/m)\cdot 2(m) = 0{,}486\,(dB)$
Ganho das antenas (isoladas):	$G_{TX} = 15(dBi)$

Logo a potência ERP será:

$$ERP_{Tx} = 17 - 1{,}215 - 5 - 0{,}486 + 15 = 15{,}3(dBm)$$

Este é o valor da potência efetivamente irradiada por cada antena. Cabe ressaltar que o mesmo está sendo considerado na direção de máximo ganho. O cálculo foi efetuado sem considerar as conexões. Para esta faixa uma perda adicional de 0,2 dB por conexão deve ser deduzida da potência ERP.

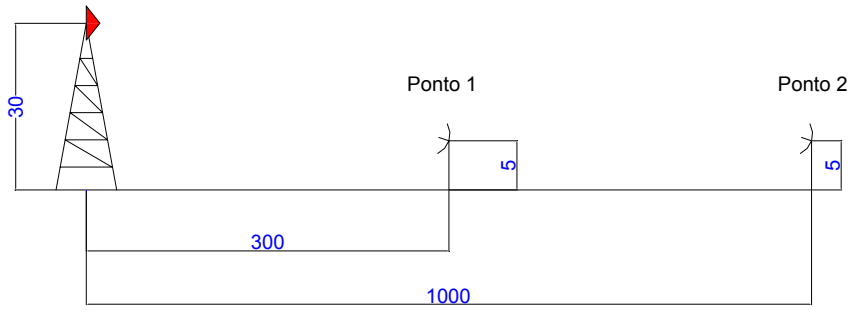
SISTEMAS PONTO-MULTIPONTO: GANHO DAS ANTENAS E FSL

Em sistemas ponto-multiponto, a maioria dos clientes encontra-se fora da direção de máxima irradiação (máximo ganho) da antena.

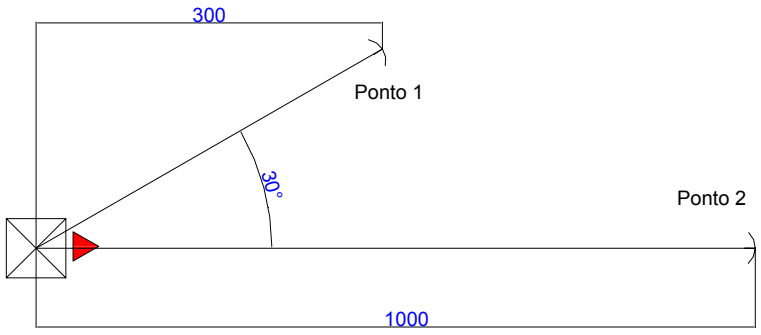
Essa atenuação do diagrama de irradiação deve ser contabilizada na potência ERP de cada enlace isoladamente.

Calcule o ganho da antena PS250018-66H para dois clientes localizados segundo o esquema abaixo:

Vista de Perfil do Terreno
(Elevação)



Vista de Topo do Terreno
(Azimute)



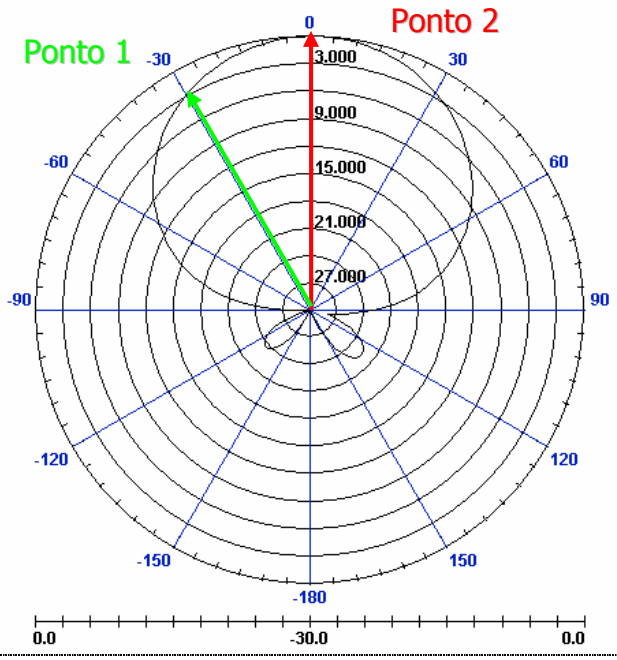
Solução:

Primeiramente devemos achar o ângulo de elevação e azimute em relação ao posicionamento da antena.

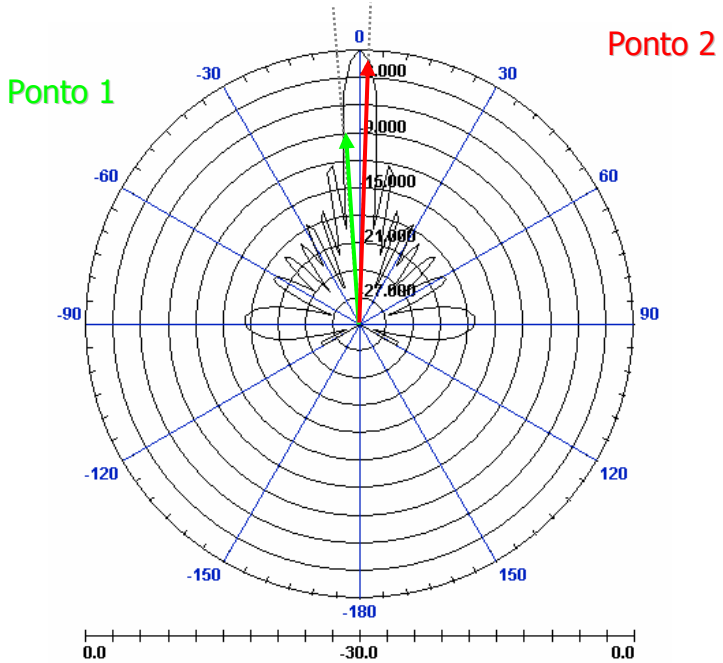
Ponto	**1**	**2**
Elevação	$\alpha_1 = a\tan\left(30-5/300\right) \approx 4{,}8°$	$\alpha_2 = a\tan\left(30-5/1000\right) \approx 1{,}4°$
Azimute	$\beta_1 = 30°$	$\beta_2 = 0$

A partir dos ângulos encontrados será definido o ganho da antena na direção dada através da análise dos diagramas nos planos vertical e horizontal.

A atenuação do diagrama poderá ser obtida graficamente. O diagrama horizontal da antena é dado abaixo:



E o diagrama vertical:



	Máximo ganho (dBi)	Atenuação no plano horizontal (dB)	Atenuação no plano vertical (dB)	Ganho na direção (dBi)
Ponto 1	18	– 3	– 9	6
Ponto 2		0	– 1,5	16,5

Podemos verificar que o deslocamento da direção de máxima propagação pode alterar sensivelmente a potência ERP entre dois enlaces utilizando a mesma estação rádio base.

O mesmo ocorre, claro, para a perda de espaço livre, uma vez que os pontos estão localizados a distâncias diferentes.

Para uma maior precisão no cálculo da FSL, deve-se obter a distância em linha reta entre os terminais de maneira mais precisa possível.

Para isso utilizaremos a expressão:

$$d = {}^{l}\!/_{\cos\alpha \cdot \cos\beta}$$

Ponto 1	Ponto 2
$d_1 = {}^{l_1}\!/_{\cos\alpha_1 \cdot \cos\beta_1}$	$d_2 = {}^{l_2}\!/_{\cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2}$
$d_1 = {}^{300}\!/_{\cos(4{,}8°) \cdot \cos(30°)} = 347{,}6(m)$	$d_2 = {}^{1000}\!/_{\cos(1{,}4°) \cdot \cos(0)} = 1003(m)$

Outras relações podem ser utilizadas para o cálculo da distância entre os terminais, como Pitágoras ou relação de senos.

Assim a perda de espaço livre para cada ponto será:

$$FSL(dB) = 32{,}45 + 20 \cdot \log d(km) + 20 \cdot \log f(MHz)$$

Ponto 1	Ponto 2
$FSL_1 = 32{,}45 + 20 \cdot \log d_1 + 20 \cdot \log f$	$FSL_2 = 32{,}45 + 20 \cdot \log d_2 + 20 \cdot \log f$
$FSL_1 = 32{,}45 + 20 \cdot \log(0{,}346) + 20 \cdot \log(2450)$	$FSL_2 = 32{,}45 + 20 \cdot \log(1{,}003) + 20 \cdot \log(2450)$
$FSL_1 = 91(dB)$	$FSL_2 = 100(dB)$

- As perdas de espaço livre são fixas, uma vez que as localizações geográficas dos pontos também são;
- Uma técnica largamente utilizada para otimizar a cobertura e minimizar as atenuações devido ao diagrama de irradiação é o ajuste dos ângulos de *down-tilt* (elevação). Inclinações típicas giram de 0 a 13°;
- Para facilitar a localização dos pontos utiliza-se um equipamento de GPS (Global Positioning System).

PLANEJAMENTO DE ENLACES EXTERNOS

PLANEJAR UM RÁDIO ENLACE (RE) OPERANDO NA BANDA DE OPERAÇÃO DO PROTOCOLO 802.11A.

Informações disponíveis:

- Dados gerais:
  - Enlace ponto-a-ponto digital;
  - Freqüência central de operação: 5.8 GHz;
  - Disponibilidade solicitada: 99,9%
- Dados geográficos:
  - Distância: 30 km;
  - Atmosfera padrão;
  - Terreno normal;
  - Clima úmido;
- Dados dos equipamentos e infra-estrutura disponível:
  - Altura das torres: 30 m;
  - Potência de saída do rádio: 21 dBm;
  - Sensibilidade do rádio: -82 dBm;
  - Cabo tipo RGC-08 (atenuação @ 5,8 GHz de 0,21 dB/m);
  - Antenas disponíveis:
    - TSM PO580032 ➔ 32 dBi;
    - TSM PO580028 ➔ 28,5 dBi;
  - Atenuação das conexões➔ 0,5 dB/conexão.

Uma vez que já estão definidos os objetivos de qualidade e a natureza do rádio enlace, partiremos diretamente para análise do canal radioelétrico.

Verificaremos, primeiramente, se existe rádio visibilidade.

Como a atmosfera considerada é padrão, $K = 4/3$ e a distância máxima para qual existe rádio-horizonte é:

$$d(km) = 4{,}12 \cdot \left(\sqrt{h1(m)} + \sqrt{h2(m)}\right)$$

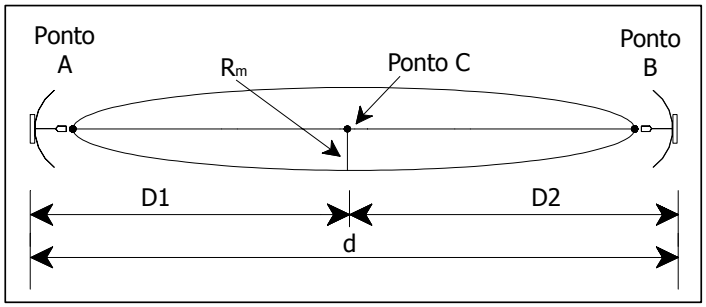
$$d(km) = 4{,}12 \cdot \left(\sqrt{30} + \sqrt{30}\right)$$

$$d(km) = 45{,}1$$

A distância do RE é menor que o valor obtido. Logo o enlace, nas condições dadas, possui rádio visibilidade.

O segundo passo será a análise da primeira zona de Fresnel, a fim de que esta esteja livre de obstruções e que a atenuação a ser contabilizada seja somente a de espaço livre.

Abaixo será calculado o raio do elipsóide de Fresnel no meio do trajeto, ponto onde este alcança sua maior dimensão.



$$r_m(m) = 547 \cdot \sqrt{\frac{D_1(km).D_2(km)}{f(MHz).d(km)}}$$

$$r_m(m) = 547 \cdot \sqrt{\frac{15 \cdot 15}{5800 \cdot 30}}$$

$$r_m(m) = 19{,}7$$

O resultado acima será utilizado para verificação se há alguma obstrução na primeira zona (no ponto médio do RE). Posicionando-nos na linha de visada e olhando em direção a uma das antenas a primeira zona de Fresnel descreve um círculo de raio r_m. Caso haja alguma estrutura que obstrua essa região deveremos proceder a verificação de qual a proporção da zona estará bloqueada.

Será necessário efetuar o cálculo para outros pontos do trajeto, sempre que este apresente um obstáculo que possa vir a obstruir essa região.

Neste caso, além do raio da primeira zona no ponto, será necessário calcular a altura do obstáculo corrigida pela curvatura da terra.

Uma vez feito isso, verifica-se o nível de obstrução da primeira zona. O raio da mesma deverá estar livre um mínimo de 60%. Neste caso, as perdas por difração em obstáculos serão desprezíveis (ou seja, será considerada propagação em espaço livre).

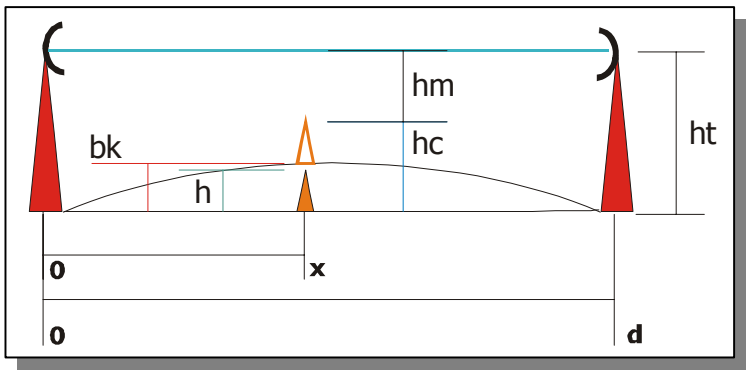
Por exemplo, um obstáculo é detectado como uma possível obstrução. O mesmo está a 10 km de um dos terminais e possui uma altura de 10 m.

O raio do elipsóide será:

$$r(m) = 547 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 20}{5800 \cdot 30}}$$

$$r(m) = 18{,}6$$

Por outro lado, para o cálculo do obstáculo corrigido, será necessário calcular primeiramente a magnitude da correção:



$$bk(m) = 0{,}07849 \cdot \frac{x(km) \cdot [d(km) - x(km)]}{K}$$

$$bk(m) = 0{,}07849 \cdot \frac{10 \cdot [30 - 10]}{4/3}$$

$$bk(m) = 11{,}78$$

A altura corrigida do obstáculo será de:

$$hc(m) = bk(m) + h(m)$$

$$hc(m) = 11{,}78 + 10$$

$$hc(m) = 21{,}78$$

A distância que o ponto mais alto do obstáculo estará da linha de visada é dada por:

$$hm(m) = ht(m) - hc(m)$$

$$hm(m) = 30 - 21{,}78$$

$$hm(m) = 8{,}22$$

Assim, para que as perdas por difração possam ser consideradas desprezíveis, a seguinte condição precisa ser cumprida:

$$hm(m) \Big/ r(m) < 0{,}6 \,.$$

Como:

$$hm(m) \Big/ r(m) = 8{,}22 \Big/ 18{,}6$$

$$hm(m) \Big/ r(m) = 0{,}44$$

Logo, foi cumprida a condição de desobstrução do enlace neste ponto. Caso não fosse, perdas por difração deveriam ser adicionadas no balanço de potências.

Cabe recordar que o elipsóide de Fresnel é tridimensional. Logo possíveis obstruções como prédios e construções devem ser avaliadas.

Além disso, se faz necessário levantar possíveis cortinas verdes em crescimento e edificações em andamento que possam comprometer o funcionamento do rádio enlace no futuro.

Uma vez analisada as condições do terreno, deveremos agora obter o nível de potência média a ser recebido para atingir os níveis de qualidade preestabelecidos (disponibilidade do enlace). Utilizaremos o esquema para guiar-nos:

$$\left.\begin{array}{r} \left.\begin{array}{r} P_n \\ C/N\big|_{mín} \end{array}\right\} P_S \\ A \rightarrow P_{corte} \rightarrow M \end{array}\right\} \overline{P_r} \Rightarrow \text{Balanço de Potências}$$

Como a sensibilidade do rádio *(P_s)* já é dada, e estamos trabalhando em condições normais de ruído, não necessitamos das informações de potência de ruído *(P_n)* e relação portadora-ruído mínima $\left(C/N\big|_{mín}\right)$. Basta-nos calcular a margem de fading *(M)* a partir da probabilidade de corte P_{corte} do enlace:

$A = 1 - P_{corte}$	$A \Rightarrow$ Disponibilidade do enlace
$0{,}999 = 1 - P_{corte}$	
$P_{corte} = 0{,}001$	

A margem de f*ading* dependerá, por sua vez, da probabilidade de corte, freqüência de operação, distância do enlace, condições do terreno e do clima na região:

$P_{corte} = 6 \cdot 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-M/10}$	$P_{corte} = 0{,}001$
	$a = 1$ ➔ Relevo normal
	$b = 1/2$ ➔ Clima úmido
	$f = 5.8$ ➔ Freqüência de trabalho
	$d = 30$ ➔ Distância do enlace
$0{,}001 = 6 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot {}^{1}\!/_{2} \cdot 5.8 \cdot (30)^3 \cdot 10^{-M/10}$	
$M(dB) = -10 \cdot \log\left({}^{0{,}001}\!/_{6 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5.8 \cdot (30)^3} \right)$	
$M(dB) = -10 \cdot \log\left({}^{0{,}001}\!/_{0{,}04698} \right)$	
$M(dB) = 16{,}72$	

No caso de querermos uma disponibilidade de 99,99%, a margem de *fading* será:

$M(dB) = -10 \cdot \log\left({}^{0{,}0001}\!/_{0{,}04698} \right)$
$M(dB) = 26{,}72$

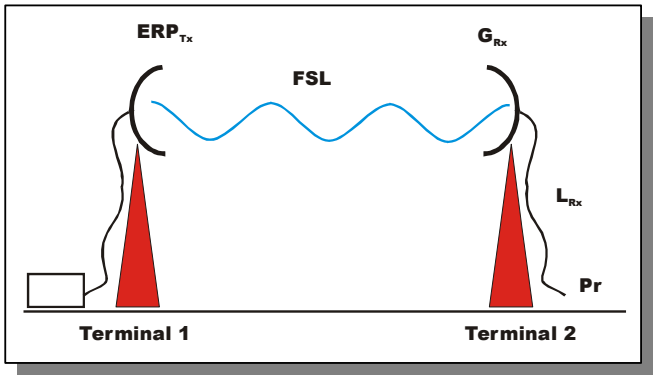
Note que, para uma melhora de 0,09% (99,9% ➔ 99,99%) temos que aumentar a margem de *fading* em 10 dB.

Logo a potência média recebida $\overline{P_r}$ deverá ser:

$\overline{P_r}(dBm) = M(dB) + P_S(dBm)$
$\overline{P_r}(dBm) = 16{,}72 - 82$
$\overline{P_r}(dBm) = -65{,}28$

Uma vez encontrada a potência média recebida, iniciaremos a análise do rádio-enlace no que tange aos equipamentos empregados e à atenuação do canal radioelétrico.

Seja a configuração básica de um rádio-enlace ilustrada abaixo:



O rádio enlace será composto de dois transceptores (um para cada terminal), antenas direcionais tipo parabólicas, cabos coaxiais para alimentação e conectores coaxiais com baixas perdas.

Devido à condição imposta de desobstrução da primeira zona de Fresnel, a única atenuação que o canal radioelétrico (atmosfera) irá impor será a atenuação de espaço livre (FSL).

O balanço de potências dá o valor da potência média recebida em função dos ganhos e perdas envolvidos:

$$\overline{Pr} = ERP_{Tx} - FSL + G_{Rx} - L_{Rx}$$

$ERP_{Tx}(dBm)$ ➔ Potência efetivamente irradiada pelo transmissor.

$FSL(dB)$ ➔ Perda de espaço livre.

$G_{Rx}(dBi)$ ➔ Ganho da antena receptora.

$L_{Rx}(dB)$ ➔ Perdas com cabos coaxiais, conectores, divisores de potência, atenuadores, etc. no terminal receptor.

A potência média recebida resultante do balanço terá que ser igual ou maior à potência média calculada anteriormente pela margem de *fading* e sensibilidade. Porém é necessário cuidar para não sobre-dimensionar o enlace, pois há o risco de saturação do receptor (comum em RE de curtas distâncias).

Assim devemos calcular os parâmetros solicitados. Iniciaremos pela potência ERP_{Tx}, que é dada por:

$$ERP_{Tx}(dBm) = P_{Tx}(dBm) - L(dB) + G_{Tx}(dBi)$$

$P_{Tx}(dBm)$ ➔ Potência de saída do rádio

$L(dB)$ ➔ Perdas com cabos coaxiais, conectores, divisores de potência, atenuadores, etc. no terminal transmissor.

$G_{Tx}(dBi)$ ➔ Ganho da antena transmissora.

A potência de saída do rádio já está preestabelecida.

Utilizaremos, *a priori*, *jumper*s com 3 metros de comprimento para alimentar as antenas, e antenas parabólicas PO580028 em ambos os terminais.

Assim:

Potência de saída do radio:

$$P_{Tx}(dBm) = 21.$$

Perda na linha de transmissão:

$$L(dB) = L_{conexão} + L_{cabo} \cdot d_{cabo} + L_{conexão}$$
$$L(dB) = 0{,}5 + 3 \cdot 0{,}21 + 0{,}5$$
$$L(dB) = 1{,}63.$$

Ganho da antena transmissora:

$$G_{Tx}(dBi) = 28{,}5.$$

Logo:

$$ERP_{Tx}(dBm) = P_{Tx}(dBm) - L(dB) + G_{Tx}(dBi)$$
$$ERP_{Tx}(dBm) = 21 - 1{,}63 + 28{,}5$$
$$ERP_{Tx}(dBm) = 47{,}87.$$

Os limites de potência ERP são determinados pela Anatel e variam segundo a faixa de freqüência e o tipo de serviço.

A perda de espaço livre é dada por:

$$FSL(dB) = 32{,}45 + 20 \cdot \log d(km) + 20 \cdot \log f(MHz)$$
$$FSL(dB) = 32{,}45 + 20 \cdot \log 30 + 20 \cdot \log 5800$$
$$FSL(dB) = 32{,}45 + 29{,}54 + 75{,}27$$
$$FSL(dB) = 137{,}26.$$

O ganho da antena receptora é:

$$G_{Rx}(dBi) = 28{,}5.$$

E a perda da linha de transmissão na recepção será a mesmo que a da transmissão, já que os cabos são iguais:

$$L(dB) = 1{,}63.$$

Logo a potência recebida será:

$$\overline{Pr}(dBm) = ERP_{Tx} - FSL + G_{Rx} - L_{Rx}$$
$$\overline{Pr}(dBm) = 47{,}87 - 137{,}26 + 28{,}5 - 1{,}63$$

$$\overline{Pr}(dBm) = -62{,}52\ .$$

Comparando com o nível de potência recebido obtido no balanço e o nível obtido através do cálculo da disponibilidade do enlace, pode-se afirmar que - sob as condições de relevo, clima e ruído dado - a configuração escolhida atende à demanda.

Para otimização do enlace, no caso de degradação do espectro devido ao ruído ou condições climáticas adversas, busca-se aumentar o nível de sinal recebido através de mudança de linhas de transmissão (cabos com menor perda) e antenas de alto ganho.

ANOTAÇÕES:

PRODUTOS

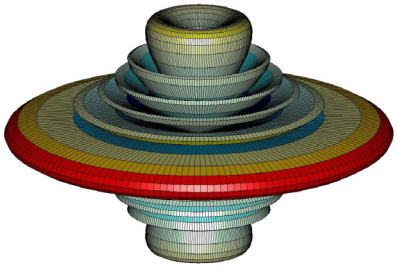
MATERIAL ELABORADO E DE PUBLICAÇÃO EXCLUSIVA DE
DADOS SUJEITOS A ALTERAÇÕES SEM AVISO PRÉVIO.

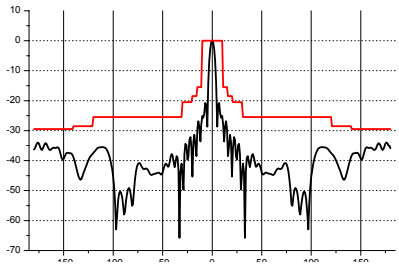
PRODUTOS

PROJETO

Os projetos seguem as definições para os limites de irradiação dados pela Anatel e pelas normas ETSI, garantindo que seu comportamento elétrico esteja otimizado para um melhor aproveitamento do espectro de RF.

A rede de alimentação passa por um esmerado projeto mecânico para evitar dilatações ou oxidações na sua extensão.





MATERIAIS EMPREGADOS E CONSTRUÇÃO

As antenas são construídas com perfis e chapas de alumínio e latão de liga naval.

As conexões metálicas são feitas em solda TIG, MIG ou prata e as fixações em abraçadeiras e parafusos de aço inoxidável.

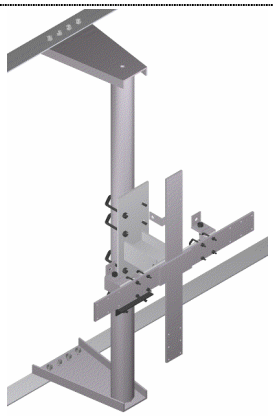
A estrutura ainda é reforçada com tarugos de nylon technyl e PTFE, garantindo a rigidez da estrutura e reduzindo os produtos de intermodulação.

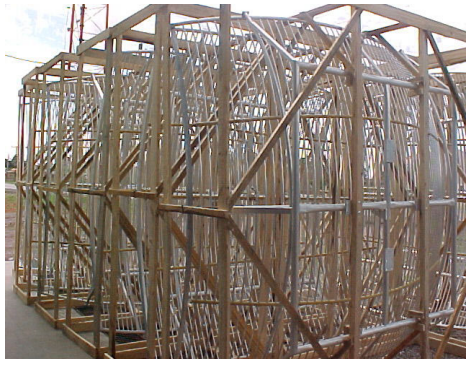
Os radomes são construídos em fibra de vidro e resinas plásticas de alto impacto e com proteção anti-UV, retardando o envelhecimento e evitando rachaduras.

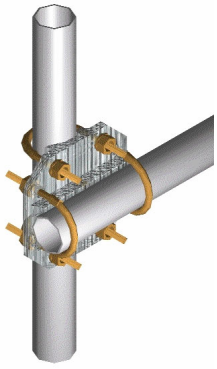
EMBALAGENS E FERRAGENS

Os suportes das antenas são construídos em aço galvanizados a fogo, alumínio de liga naval e aço inoxidável, conferindo maior durabilidade e resistência da estrutura inclusive em ambientes *off-shore*.

As embalagens, em madeira ou papelão, foram projetadas para proporcionar uma proteção adequada durante o transporte, e também evitar custos extras com volumes excessivos.







138 – 144 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y14007-03S	Linear	8,0	65	126	25	18	1,3
Y14011-08S	Linear	11,4	48	55	22	29	1,3
Y14013-11S	Linear	13,0	43	45	22	22	1,3
2Y14013-11S	Linear	15,5	44	24	22	23	1,3
4Y14013-11S	Linear	18,0	23	25	22	23	1,3

144-148 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y14607-03S	Linear	8,0	65	126	25	18	1,3
Y14611-08S	Linear	11,4	48	55	22	29	1,3
Y14613-11S	Linear	13,0	43	45	22	22	1,3
2Y14613-11S	Linear	15,5	44	24	22	23	1,3
4Y14613-11S	Linear	18,0	23	25	22	23	1,3

148-156 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y15207-03S	Linear	8,0	65	126	25	18	1,3
Y15211-08S	Linear	11,4	48	55	22	29	1,3
Y15213-11S	Linear	13,0	43	45	22	22	1,3
2Y15213-11S	Linear	15,5	44	24	22	23	1,3
4Y15213-11S	Linear	18,0	23	25	22	23	1,3

156-164 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y16007-03S	Linear	8,0	65	126	25	18	1,3
Y16011-08S	Linear	11,4	48	55	22	29	1,3
Y16014-12S	Linear	14,2	36	39	22	22	1,3
2Y16014-12S	Linear	16,8	38	19	27	23	1,3
4Y16014-12S	Linear	19,6	17	20	26	23	1,3
4Y16014-12S	Linear	19,6	17	20	26	23	1,3

156-164 MHz

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP160-02	2	-3	<0,2	1,2
DP160-04	4	-6	<0,2	1,2

164-171 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y16807-03S	Linear	8,0	65	126	25	18	1,3
Y16811-08S	Linear	11,4	48	55	22	29	1,3
Y16814-12S	Linear	14,2	36	39	22	22	1,3
2Y16814-12S	Linear	16,8	38	19	27	23	1,3
4Y16814-12S	Linear	19,6	17	20	26	23	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP168-02	2	-3	<0,2	1,2
DP168-04	4	-6	<0,2	1,2

244-262 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y25011-07SG	Linear	12,0	55	44	27	25	1,3
Y25015-17SG	Linear	15,0	34	35	22	29	1,3
2Y25015-17SG	Linear	18,0	31	18	27	30	1,3
4Y25015-17SG	Linear	20,8	17	18	29	26	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP250-02	2	-3	<0,2	1,2
DP250-04	4	-6	<0,2	1,2

360-400 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y38011-07SG	Linear	11,5	48	55	22	24	1,3
Y38014-13SG	Linear	13,8	40	43	22	25	1,3
Y38017-27SG	Linear	17,0	28	29	22	25	1,3
2Y38017-27SG	Linear	20	13	28	22	25	1,3
4Y38017-27SG	Linear	23	14	13	22	25	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP380-02	2	-3	<0,2	1,2
DP380-04	4	-6	<0,2	1,2

ARRANJOS COLINEARES DE DIPOLOS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
AD38006	Vertical	6,0	11	22	1,4

406-430 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y42011-07SG	Linear	11,4	49	64	33	24	1,3
Y42014-13SG	Linear	14,0	37	41	22	27	1,3
Y42017-27SG	Linear	17,0	28	27	22	31	1,3
2Y42017-27SG	Linear	20,0	13	28	27	30	1,3
4Y42017-27SG	Linear	23,0	13	14	26	30	1,3
7Y42017-27SG	Linear	25,0	12	9	24	30	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 400-02	2	-3	<0,2	1,2
DP 420-04	4	-6	<0,2	1.2
DP 420-07	7	-8,5	<0,2	1,3

406-430 MHz

ARRANJOS COLINEARES DE DIPOLOS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
AD42006	Vertical	6,0	12	22	1,4

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV43017	2,0	17,0	19	21	23	29	1,4
PV43018	2,4	17,9	16	17	28	27	1,4
PV43020	3,0	20,0	14	13	30	30	1,4

415-450 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y43011-07SG	Linear	11,4	46	55	22	24	1,3
Y43014-13SG	Linear	14,0	38	42	22	31	1,3
Y43017-27SG	Linear	17,0	28	29	22	25	1,3
2Y43017-27SG	Linear	20,0	13	30	22	25	1,3
4Y43017-27SG	Linear	23,0	13	14	22	25	1,3
7Y43017-27SG	Linear	25,0	12	9	23	25	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 400-02	2	-3	<0,2	1,2
DP 430-04	4	-6	<0,2	1,2
DP 430-07	7	-8,5	<0,2	1,3

SUPRESSORES DE SURTO

Modelo	Saídas	Perda de Inserção (dB)	Conector	R.O.E máx.
SCS430	2	<0,2	N Fêmea	1,3

ARRANJOS COLINEARES DE DIPOLOS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
AD43006	Vertical	6,0	11	22	1,4

415-450 MHz

ARRANJOS COLINEARES DE DIPOLOS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
AD43006	Vertical	6,0	11	22	1,4

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV43017	2,0	17,0	19	21	23	29	1,4
PV43018	2,4	17,9	16	17	28	27	1,4
PV43020	3,0	20,0	14	13	30	30	1,4

440-470 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y46007-03S	Linear	7,5	60	116	22	22	1,3
Y46011-07SG	Linear	11,8	58	46	23	24	1,3
Y46014-13SG	Linear	14,0	37	39	22	28	1,3
Y46017-27SG	Linear	17,0	28	27	22	28	1,3
2Y46017-27SG	Linear	20,0	13	30	27	25	1,3
4Y46017-27SG	Linear	23,0	13	14	26	27	1,3

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 400-02	2	-3	<0,2	1,2
DP 460-04	4	-6	<0,2	1,2

ARRANJOS COLINEARES DE DIPOLOS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
AD46006	Vertical	6,0	11	22	1,4

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV43017	2,0	17,0	19	21	23	29	1,4
PV43018	2,4	17,9	16	17	28	27	1,4
PV43020	3,0	20,0	14	13	30	30	1,4

806-860 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y83011-07SG	Linear	10,5	50	59	22	21	1,4
Y83014-11SG	Linear	13,5	40	43	22	28	1,4
Y83017-29SG	Linear	17,0	24	23	22	28	1,4
2Y83017-29SG	Linear	20,0	13	24	22	28	1,4
4Y83017-29SG	Linear	23,0	13	14	22	28	1,4

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV85018	1,2	17,0	15	17	27	28	1,4
PV85022	2,0	21,9	12	12	30	31	1,4

OMNIDIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de Down-Tilt	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
LP85906-RAIL	Vertical	6	32	60	22	1,4

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 860-02	2	-3	<0,2	1,3

824-894 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y86011-07SG	Linear	10,8	43	55	22	21	1,5
Y86014-11SG	Linear	13,5	34	35	22	21	1,5
Y86017-29SG	Linear	17,0	24	23	22	25	1,5
2Y86017-29SG	Linear	20,0	13	24	22	25	1,5
4Y86017-29SG	Linear	23,0	13	14	22	25	1,5

824-894 MHz

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV85018	1,2	17,0	15	17	27	28	1,4
PV85022	2,0	21,9	12	12	30	31	1,4

OMNIDIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de Down-Tilt	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
LP85906-RAIL	Vertical	6	32	60	22	1,4

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 860-02	2	-3	<0,2	1,3

890-960 MHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y92511-07SG	Linear	10,5	54	63	23	17,5	1,4
Y92514-11SG	Linear	13,5	36	37	24	24	1,4
Y92517-29SG	Linear	17,0	26	25	24	30	1,4
2Y92517-29SG	Linear	20,0	13	26	24	30	1,4
4Y92517-29SG	Linear	23,0	13	14	22	28	1,4

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV92519	1,2	18,3	15	16	28	30	1,4
PV92525	2,4	24,3	8	9	34	35	1,4

OMNIDIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de Down-Tilt	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
LP85906-RAIL	Vertical	6	32	60	22	1,4

890-960 MHz

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 860-02	2	-3	<0,2	1,3

SUPRESSORES DE SURTO

Modelo	Saídas	Perda de Inserção (dB)	Conector	R.O.E máx.
SCS925	2	<0,2	N fêmea	1,3

900-930 MHz

OMNIDIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
OM91509	Vertical	9	13	30	1,5

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 860-02	2	-3	<0,2	1,3

1,425-1,535 GHz

PARABÓLICAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV150023	1,2	22,4	10	10	32	35	1,4
PV150027	2,0	27,0	7	6	34	35	1,4
PV150029	2,4	28,4	5	5	30	36	1,4
PV150031	3,0	30,5	5	6	30	38	1,4

1,71-1,88 GHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y180011-07S	Linear	11,0	50	61	22	25	1,4
Y180014-15S	Linear	14,7	38	41	23	25	1,4
Y180017-28S	Linear	17,1	24	26	22	26	1,5

1,85-1,99 GHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y190011-07S	Linear	11,0	50	61	22	25	1,4
Y190014-14S	Linear	14,0	38	41	22	25	1,5
Y190017-25S	Linear	17,0	26	27	22	26	1,4

2,30-2,50 GHz

PARÁBOLAS VAZADAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PV240027	1,2	26,5	5	7	37	47	1,4
PV240031	2,0	31,2	4	4	30	35	1,4
PV240033	2,4	32,6	3	4	31	36	1,4
PV240035	3,0	34,5	3	3	30	39	1,4

2,40-2,50 GHz

YAGIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
Y240010-05S	Linear	10,5	52	63	22	25	1,3
Y240016-20S	Linear	16	28	32	22	29	1,4

PAINÉIS SETORIAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PS240012-90	Vertical	12,5	14	90	22	24	1,5
PS240009-120	Vertical	9,0	26	120	25	30	1,5
PS240015-60	Vertical	15,0	16	60	22	20	1,4
PS240015-90	Vertical	15	8	90	30	20	1,4
PP240009	Linear	9,5	58	79	22	22	1,4
PS250015-66H	Horizontal	14,8	66	12	25	24	1,4

2,40-2,50 GHz

SUPRESSORES DE SURTO

Modelo	Saídas	Perda de Inserção (dB)	Conector	R.O.E máx.
SCS2400-1	2	<0.2	N fêmea / N fêmea	1,4
SCS2400-2	2	<0.2	N macho / N fêmea	1,4

OMNIDIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	R.O.E máx.
OM240005	Vertical	5,5	40	25	1,5
OM240008	Vertical	8,1	12	28	1,5
OM240015	Vertical	15	3	30	1,5

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 2400-02	2	-3	<0,2	1,4
DP 2400-03	3	-4,8	<0,2	1,4
DP 2400-04	4	-6	<0,2	1,4

PARABÓLICAS SÓLIDAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PO240020	0,45	20,5	14	16	22	35	1,4
PO240023	0,60	23,5	10	12	22	42	1,4
PO240027	0,90	26,5	8	7	22	45	1,4

4,9-5,0 GHz

PARABÓLICAS SÓLIDAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PO490025	0,45	25,1	8	10	22	35	1,4
PO490027	0,60	27,1	6	7	22	35	1,4
PO490030	0,90	30,6	5	4	22	35	1,4

5,250-5,725 GHz

PARABÓLICAS SÓLIDAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PO530026	0,45	26,5	7	8	22	40	1,4
PO530028	0,60	28,5	5	6	22	40	1,4
PO530032	0,90	32,0	4	4	22	40	1,4

5,725-5,875 GHz

PARABÓLICAS SÓLIDAS

Modelo	Dimensão (m)	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PO580026	0,45	26,5	7	8	22	40	1,4
PO580028	0,60	28,5	5	6	22	40	1,4
PO580032	0,90	32,0	4	4	22	40	1,4

PAINÉIS SETORIAIS E PAINÉIS DIRECIONAIS

Modelo	Polarização	Ganho (dBi)	Ângulo de ½ potência plano E (º)	Ângulo de ½ potência plano H (º)	Isolação por polarização cruzada (dB)	Relação frente-costas (dB)	R.O.E máx.
PMS580019	Linear	19,0	18	15	22	26	1,5
PS580017-60	Vertical	17,0	8	60	22	25	1,5

DIVISORES DE POTÊNCIA

Modelo	Saídas	Atenuação (dB)	Perda de Inserção (dB)	R.O.E máx.
DP 5800-02	2	-3	<0.5	1,5

PRODUTOS

ANOTAÇÕES

GLOSSÁRIO

Acoplador	Dispositivo usado para direcionar a energia transmitida de maneira eficiente para um caminho específico.
Admitância	Medida da facilidade com que uma corrente alternada percorre um circuito. Recíproco da impedância.
Amplitude	A magnitude da variação de um valor variável em relação ao seu zero. Esta toma designações diferentes ao expressar quantidades específicas como: pico, rms,...
Antena	Dispositivo usado para irradiar ou captar energia eletromagnética no espaço. Estrutura fundamental para transmissão e recepção de sinais eletrônicos.
Antena adaptativa	Também chamada "smart antenna". Sistema que possui elementos de circuito e elementos irradiantes associados de maneira que as propriedades das antenas são controladas pelo sinal recebido.
Antena direcional	Antena que possui a propriedade de irradiar ou receber energia eletromagnética mais eficientemente em algumas direções do que outras.
Antenas impressas	Antenas feitas pelo processo de corrosão/fresamento de placas de circuito impresso.
Antena móvel	Qualquer antena montada sobre um veículo.
Antena parabólica	Antena que consiste num refletor parabólico e uma fonte próxima ou sobre o foco.
Antena setorial	Antena diretiva cuja abertura (feixe de -3 dB) é maior do que 45°. Podem ser usadas em aplicações ponto-multiponto ou ainda combinadas com várias antenas para formar uma estação rádio base.
Arranjo colinear	Sistema de duas ou mais antenas dispostas linearmente e interligadas para gerar um diagrama de irradiação direcional.
Atenuação	Decréscimo do sinal com o aumento da distância na direção de propagação. Atenuação pode ser expressa como a relação da potência/tensão de entrada e da potência/tensão de saída. Potência de sinais eletromagnéticos perdidos na transmissão entre dois pontos.
Banda larga	Refere-se a sistemas capazes de obter uma largura de banda grande.
Cabo coaxial	Cabo composto por um condutor central, uma camada de material isolante e um condutor externo, trançado ou sólido, podendo ter uma capa externa de material isolante.
Campo distante	A porção do campo eletromagnético irradiado onde os vetores campo elétrico e magnético são ortogonais um em relação ao outro.
Campo próximo	A porção do campo eletromagnético irradiado onde os vetores campo elétrico e magnético estão num estado indefinido, e não numa relação de ortogonalidade.
Capacitor	Dispositivo utilizado para armazenar energia elétrica. Composto em geral de dois metais separados por um dielétrico.

GLOSSÁRIO

Carga	Entidade elétrica para qual a potência é entregue. O sistema irradiante é uma carga para um transmissor.
Coeficiente de reflexão	Relação entre a corrente (ou tensão) incidente e refletida.
Comprimento de onda (λ)	Distância percorrida por uma OEM na direção de propagação durante um ciclo $\lambda(m) = \frac{c}{f} \times v(\%)$, onde: c = velocidade da luz no vácuo (3 x 10^8 m/s) f = freqüência da OEM (Hz) $v(\%)$ = fator de velocidade
Comprimento elétrico	O comprimento de qualquer condutor, como uma antena ou uma linha de transmissão, expressado em comprimentos de onda, radianos ou graus.
Condutividade	Medida da capacidade de um material conduzir corrente elétrica quando submetido a um campo elétrico.
Condutor	Corpo de metal que permite a passagem de corrente elétrica.
Conector	Dispositivo utilizado para prover conexão entre cabos elétricos e outras terminações.
Constante dielétrica	Propriedade dos materiais que descrevem seu comportamento num campo elétrico, sendo um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento de uma linha de transmissão.
Corrosão	Produtos oriundos da interação entre metais não nobres e o meio. A contaminação pela corrosão nas conexões pode tornar os sistemas não confiáveis, passíveis de falhas por produtos de intermodulação.
dBm	Medida relativa da potência onde a referência é 0 dBm = 1 miliwatt.
Decibel (dB)	Dez vezes o logaritmo de base dez da relação entre duas potências.
Densidade de potência	Potência por unidade de área normal à direção de propagação, expressada tipicamente na unidade de watts por metro quadrado (W/m2).
Diagrama de radiação	Representação gráfica da distribuição da potência irradiada por uma antena.
Dielétrico	Num cabo coaxial (linha de transmissão) é a isolação entre o condutor externo e interno. O mesmo influencia significativamente nas características elétricas, como impedância, capacitância e velocidade de propagação.
Dipolo	Radiador linear, geralmente alimentado no centro, que produz a radiação máxima no plano normal ao seu eixo. Um dipolo normal mede metade do comprimento de onda que está sintonizado.

GLOSSÁRIO

Diretividade	Característica de uma antena concentrar energia em uma única direção, tanto na transmissão quanto na recepção.
Eficiência	Relação entre potência de entrada e potência de saída.
Espectro de radiofreqüência	Intervalo de freqüências compreendidas entre 300 kHz e 100 GHz.
Farad (F)	Unidade de capacitância. Definido como a relação entre a carga e a diferença de potencial.
Fase	Ponto particular durante um ciclo medido a partir de um ponto arbitrário. Expresso usualmente em graus onde 360° representa 1 ciclo.
Fator de velocidade	Relação entre a velocidade de propagação de uma OEM num determinado dielétrico e no vácuo. $v(\%) = \frac{v}{c} \times 100$, onde: v = velocidade da luz no dielétrico c = velocidade da luz no vácuo (3 x 10^8 m/s)
Feixe de meia potência	Num plano contendo a direção de máximo ganho, o ângulo entre duas direções onde a potência irradiada cai pela metade.
Ganho	Valor prático da diretividade de uma antena e leva em conta a eficiência de toda a estrutura.
Ganho (de potência)	Relação entre a intensidade máxima de irradiação de uma antena e a intensidade emitida por um radiador isotrópico ou dipolo.
Gigahertz (GHz)	Um bilhão de ciclos por segundo.
Guia de onda	Dispositivo em forma de tubo metálico usado para conduzir a energia provinda de fonte emissora, como um transmissor de microondas, para uma antena.
Hertz (Hz)	Unidade que expressa freqüência (f). Um Hertz equivale a um ciclo por segundo.
Impedância	Relação entre tensão e corrente em um dispositivo. É composta de uma parte resistiva e uma parte reativa.
Indutância	Capacidade de um elemento armazenar energia na forma de campo magnético quando percorrido por uma corrente elétrica.
Intensidade de campo elétrico	Magnitude do campo elétrico expressado em volts por metro (V/m).
Intensidade de campo magnético (H)	Amplitude do vetor campo magnético, expressado em ampères por metro (A/m).
Largura de banda	Faixa de freqüências na qual a performance fica dentro dos limites especificados.
Linha de transmissão	Dispositivo que possibilita a energia de RF gerada pelo rádio ser entregue à antena. Ex: cabo coaxial, microstrip, guias de onda etc.
Lóbulo:	Parte do diagrama de irradiação de uma antena compreendido entre dois mínimos adjacentes.
Megahertz (MHz)	1 milhão de ciclos por segundo.

GLOSSÁRIO

Monopolo	Literalmente um pólo, como um elemento irradiador vertical operando sobre um plano de terra.
OEM	Abreviação para onda eletromagnética
Omnidirecional	Antena que irradia uniformemente no plano horizontal. Usada quando é requerida cobertura em todas as direções.
Ortogonal	Ter, encontrar-se ou estar determinado por um ângulo reto.
Perda no cabeamento	Descreve a potência perdida na transmissão de um sinal por um cabo de comprimento conhecido.
PIM	Abreviação de "passive intermodulation". Geração de novos sinais – chamados produtos de intermodulação – na faixa de comportamento não-linear dos elementos de transmissão.
Plano terra	Dispositivo metálico colocado perto da antena para simular o efeito da superfície terrestre.
Polarização	Sentido que a antena irradia a onda podendo ser vertical, horizontal, elíptica ou circular.
Ponto-a-ponto	Canal de comunicação estabelecido entre dois pontos.
Ponto-multiponto	Canal de comunicação estabelecido de um para vários pontos.
Potência EIRP (equivalent isotropically radiated power):	Produto da potência fornecida à antena e seu ganho relativo ao radiador isotrópico.
Potência ERP (effective radiated power):	Produto da potência fornecida à antena e seu ganho relativo ao dipolo de meia onda.
Proteção catódica:	Meio para controlar a corrosão do metal através do recobrimento da peça por um anodo metálico
Protetor de surto	Dispositivo desenvolvido para proteger o sistema de transientes como picos de tensão e corrente. Existem vários tipos incluindo protetores a gás e com "stub" de um quarto de onda.
R.O.E. ou C.O.E.	Abreviação para relação – ou coeficiente - de onda estacionária. É dada como a relação entre a tensão máxima e mínima provocada por reflexões numa linha de transmissão ou antena.
Radiador	Um condutor que irradia energia eletromagnética numa antena.
Radiador isotrópico:	Antena capaz de irradiar ou receber igualmente bem em todas as direções, e ser suscetível a todas as polarizações do campo elétrico e/ou magnético.
Radome	Dielétrico rígido que protege a estrutura elétrica da antena, geralmente separada da mesma por um "gap" de ar. A origem do nome vem de radar + dome (em português domo, carapaça, proteção). Serve para proteger a estrutura de fenômenos atmosféricos e contaminação por sujeira. Ainda pode ser utilizado com propósito de melhorar a aerodinâmica da antena.

Receptor (Rx)	Dispositivo eletrônico que possibilita que um determinado sinal seja separado dos outros e após converter o formato do sinal em informação – dados, voz ou vídeo.
Relação frente-costas	Relação entre a potência irradiada no sentido de máximo ganho e no sentido oposto.
RF:	Radiofreqüência
Ruído	Qualquer sinal indesejado e não modulado na radiocomunicação. Está sempre presente nos sinais de RF.
Transmissor	Equipamento eletrônico composto de um oscilador, um modulador e outros circuitos que produzem sinais por ondas eletromagnéticas no espectro de RF para serem irradiados para atmosfera pela antena.
Velocidade de propagação	Aplicada a linhas de transmissão, indica a velocidade do sinal elétrico dentro da mesma. $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon r}}$, onde: c = velocidade da luz no vácuo (3 x 10^8 m/s) ε_r = constante dielétrica
VSWR	Abreviação de Voltage Standing Wave Ratio, o mesmo que R.O.E.
Wireless	Terminologia utilizada para comunicação sem fio por rádio, geralmente empregada em sistemas de comunicação de tecnologia mais recente como celular ou rádio digital.
WLAN	Abreviação de *Wireless Local Area Network*: rede de computadores interligada, em um raio curto, por comunicação via rádio.
Yagi	Antena direcional que usa um ou mais elementos parasitas.

ANOTAÇÕES