

# **COMPÊNDIO TÉCNICO AVANÇADO: ENGENHARIA DE ESPECTRO, REGULAÇÃO E ALGORITMOS DE PROPAGAÇÃO PARA RADIODIFUSÃO NO BRASIL**

## **1. Introdução**

A gestão do espectro radioelétrico no Brasil, sob a égide da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e do Ministério das Comunicações (MCom), constitui um dos ecossistemas regulatórios e técnicos mais complexos da engenharia de telecomunicações global. A transição dos sistemas analógicos para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), a migração das emissoras de AM para a faixa estendida de FM (eFM) e a densificação das redes de telecomunicações exigem uma precisão sem precedentes nos cálculos de viabilidade técnica.

Este relatório técnico foi elaborado para servir como a referência definitiva para engenheiros de radiodifusão, projetistas de redes e reguladores. O documento transcende a superficialidade das notas técnicas padrão para dissecar, com rigor matemático e procedural, os parâmetros necessários para o licenciamento, alteração e implementação de estações. O foco central reside na implementação algorítmica dos modelos de propagação — especificamente a fusão da Recomendação ITU-R P.1546 com o método determinístico de difração Deygout-Assis — e na plotagem precisa dos contornos de proteção dentro do ambiente do sistema "Mosaico" da ANATEL.

A análise baseia-se numa exaustiva compilação dos atos normativos vigentes, incluindo a Resolução nº 721/2020, o Ato nº 8104/2022 e as especificações técnicas do SBTVD, consolidando a doutrina operacional para a engenharia de espetro no contexto brasileiro.

## **2. O Arcabouço Regulatório Unificado e Processos de Outorga**

O licenciamento de estações no Brasil opera sob uma dualidade jurisdicional: a outorga do serviço (concessão ou permissão pública) gerenciada pelo Ministério das Comunicações e o licenciamento técnico da estação (uso do espetro) administrado pela ANATEL. A compreensão profunda dessa interação é o pré-requisito para qualquer projeto técnico de viabilidade.

### **2.1 A Resolução Nº 721/2020: O Marco Unificador**

Promulgada em 11 de fevereiro de 2020, a Resolução nº 721 representa a espinha dorsal da regulação técnica de radiodifusão no Brasil. Antes de sua vigência, o setor operava sob uma

colcha de retalhos normativa (Resolução 67 para FM, Resolução 284 para TV, entre outras). A Resolução 721 revogou esses dispositivos para criar o "Regulamento sobre Canalização e Condições de Uso de Radiofrequências para os Serviços de Radiodifusão e seus Anciliares". A análise detalhada deste regulamento revela mudanças fundamentais na filosofia de proteção do espectro:

- **Padronização dos Critérios de Proteção:** A resolução define, de forma unívoca, que a proteção não é baseada meramente na distância geográfica, mas sim na relação de sinais (D/U - Desejado/Indesejado) no contorno protegido. Embora tabelas de distância existam como referência inicial, o critério final de viabilidade é sempre o cálculo de interferência baseado em campo elétrico.
- **Faixa Estendida (eFM):** A regulação formalizou os parâmetros para a operação na faixa de 76 a 88 MHz, vital para acomodar a migração das emissoras AM. Engenheiros devem notar que os critérios de proteção nesta faixa diferem ligeiramente da faixa padrão (88-108 MHz) devido às características de ruído man made e eficiência de antenas receptoras nesta banda.
- **Caráter Primário vs. Secundário:** A resolução reafirma a hierarquia do espectro. Estações de caráter primário (a maioria das comerciais e educativas licenciadas) têm direito à proteção contra interferências prejudiciais. O planejamento de novas estações deve garantir, matematicamente, que o contorno protegido das estações primárias existentes não sofra degradação acima dos limites toleráveis.

## 2.2 Procedimentos de Alteração e Inclusão de Canais (Ato 8104/2022)

Enquanto a Resolução 721 fornece a base teórica, o Ato nº 8104, de 10 de junho de 2022, atua como o manual operacional para alterações técnicas no Plano Básico de Distribuição de Canais de Frequência Modulada (PBFM) e Retransmissão de Rádio na Amazônia Legal (RTR).

### 2.2.1 A Regra dos 5% e a Simplificação Administrativa

Uma das diretrizes mais críticas para a eficiência operacional na engenharia de radiodifusão é a chamada "Regra dos 5%". O Ato 8104 estabelece que solicitações de alteração de características técnicas (mudança de local de torre, alteração de diagrama de irradiação, ajuste de altura) que resultem em uma modificação da distância do contorno protegido de **menos de 5%** em qualquer uma das radiais calculadas dispensam o procedimento formal de Consulta Pública e alteração do Plano Básico.

**Implicação Estratégica:** Projetistas devem utilizar algoritmos de otimização para ajustar os parâmetros da estação (como o tilt elétrico ou a potência de operação) de modo que a cobertura seja maximizada ou a interferência mitigada, mantendo-se estritamente dentro dessa margem de 5%. Isso transforma um processo que poderia levar meses (alteração de plano) em um trâmite de atualização de licença muito mais célere.

### 2.2.2 Viabilidade Técnica e PPDUR

Qualquer solicitação que exceda os limites simplificados exige um Estudo de Viabilidade Técnica (EVT). O EVT deve demonstrar, através de cálculos de propagação (detalhados nas seções subsequentes), que:

1. **Cobertura Obrigatória:** A estação cobrirá, com o nível de sinal mínimo exigido (ex: 66 dB $\mu$ V/m para a sede do município em FM), pelo menos 50% da área urbana ou 50% da

- população do município de outorga.
2. **Proteção de Terceiros:** A relação D/U será respeitada em todos os pontos do contorno protegido das estações co-canal e canais adjacentes num raio de análise definido.

## 2.3 O Ecossistema Mosaico

O sistema Mosaico da ANATEL substituiu os antigos sistemas (STEL/SITAR) e centralizou o fluxo de trabalho. Para o engenheiro, o domínio do Mosaico exige mais do que navegação web; exige a preparação precisa de arquivos de dados.

- **Módulo de Licenciamento:** Onde as características técnicas da estação instalada são declaradas. O sistema valida automaticamente se a ERP (Effective Radiated Power) calculada (Potência do Transmissor - Perdas + Ganho da Antena) corresponde à classe da estação.
- **Formatos de Arquivo:** O Mosaico exige o upload de contornos de proteção em formatos geoespaciais vetoriais. Diferente do passado, onde mapas em PDF ou imagens eram aceitos, o sistema atual prioriza arquivos **KML (Keyhole Markup Language)** ou **Shapefile (SHP)**.
  - *Insight Técnico:* Os polígonos no arquivo KML devem ser fechados e georreferenciados no datum **SIRGAS 2000**. A precisão dos vértices deve ser alta, pois o sistema da ANATEL cruza esses polígonos com as malhas censitárias do IBGE para validar automaticamente a porcentagem de cobertura populacional.

## 3. Parâmetros Físicos e Limites de Campo Elétrico

A precisão dos cálculos de propagação depende fundamentalmente dos valores de entrada (thresholds) definidos pela regulação. A engenharia não pode ser subjetiva; ela deve aderir aos limites exatos estabelecidos nas tabelas da ANATEL.

### 3.1 Níveis Mínimos de Campo (FM e eFM)

A Resolução 721 estabelece os níveis de intensidade de campo elétrico (E) que definem as fronteiras de serviço e proteção. Estes valores variam conforme a faixa de frequência e a finalidade do contorno.

**Tabela 1: Parâmetros de Intensidade de Campo (Resolução 721)**

Faixa de Frequência	Tipo de Contorno	Intensidade de Campo (E)	Nota Técnica
76 – 88 MHz (eFM)	Contorno Protegido	48 dB $\mu$ V/m	Valor mais baixo devido ao menor ruído e maior comprimento de onda.
88 – 108 MHz (FM)	Contorno Protegido	60 dB $\mu$ V/m	O padrão da indústria para serviço estéreo de qualidade.
88 – 108 MHz	Autoproteção Co-canal	66 dB $\mu$ V/m	Límite urbano para garantir superação de ruído urbano denso.

**Análise Crítica:** O valor de 66 dB $\mu$ V/m (aproximadamente 2 mV/m) é frequentemente utilizado como referência para a "Mancha de Cobertura Principal" em áreas urbanas densas, onde o

ruído eletromagnético (EMI) de fontes chaveadas e linhas de transmissão degradada a relação Sinal-Ruído (SNR). Para fins legais de proteção contra terceiros, no entanto, o valor de **60 dB $\mu$ V/m** (1 mV/m) é o parâmetro mandatório para a faixa padrão.

### 3.2 Relações de Proteção (D/U)

A Relação de Proteção é o parâmetro mais sensível em estudos de viabilidade. Ela define a diferença mínima em decibéis entre o sinal Desejado ( $E_d$ ) e o sinal Interferente ( $E_u$ ) necessária para garantir a qualidade da recepção.

**Tabela 2: Relações de Proteção para FM (Resolução 721)**

Separação de Frequência (\Delta f)	Configuração	Relação de Proteção (Mono)	Relação de Proteção (Estéreo)
<b>0 kHz (Co-canal)</b>	Mesma Frequência	<b>28 dB</b>	<b>36 dB</b>
<b>200 kHz (1º Adjacente)</b>	\pm 200 kHz	<b>6 dB</b>	<b>10 dB</b>
<b>400 kHz (2º Adjacente)</b>	\pm 400 kHz	<b>-30 dB</b>	<b>-25 dB</b>
<b>600 kHz (3º Adjacente)</b>	\pm 600 kHz	<b>-40 dB</b>	<b>-35 dB</b>

**Implementação Algorítmica da Relação Negativa:** É crucial notar que para o 2º e 3º adjacentes, a relação é *negativa*. Isso significa que o sinal interferente pode ser *mais forte* que o sinal desejado.

- Exemplo (2º Adjacente Estéreo): Se o sinal desejado na borda do contorno é 60 dB $\mu$ V/m, o sinal interferente pode chegar a até  $60 - (-25) = 85 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  antes de ser considerado prejudicial.
- *Erro Comum:* Em softwares de predição, engenheiros frequentemente esquecem de aplicar o sinal negativo, resultando em restrições de viabilidade desnecessárias. O algoritmo deve tratar: Limite\_Interferente = Campo\_Desejado - (Relação\_Proteção).

### 3.3 Parâmetros para TV Digital (ISDB-T)

Para a televisão digital, regida pela Portaria 925/2014, os limiares são baseados na robustez da modulação (geralmente 64-QAM, Code Rate 3/4 para HDTV fixo).

- **Contorno de Serviço:** Tipicamente **51 dB $\mu$ V/m** (VHF Baixo), **56 dB $\mu$ V/m** (VHF Alto) e variações no UHF dependendo das perdas de penetração urbana consideradas.
- **Probabilidade de Localização:** A norma exige que o campo mínimo seja atendido em pelo menos 50% dos locais (pixels de análise) para cobertura geral, e 70% ou mais para recepção "boa". Isso implica que o cálculo de propagação P.1546 deve considerar o desvio padrão estatístico do sinal ( $\sigma_L$ ) para ajustar a margem de desvanecimento.

## 4. Metodologia Detalhada de Cálculo: P.1546 + Deygout-Assis

Esta seção constitui o núcleo técnico do relatório, detalhando "os mínimos detalhes" como implementar o motor de cálculo híbrido exigido pela ANATEL. A abordagem brasileira combina a estatística da recomendação ITU-R P.1546 com o determinismo geométrico do modelo

Deygout com correção de Assis (Deygout-Assis).

## 4.1 A Recomendação ITU-R P.1546: Estrutura e Interpolação

A ITU-R P.1546 ("Method for point-to-area predictions...") não é uma fórmula única, mas uma família de curvas empíricas. Sua implementação em software não envolve calcular a física da onda do zero, mas sim interpolar valores a partir de tabelas de dados pré-existentes (tabulated curves).

### 4.1.1 O Algoritmo de Interpolação P.1546

Para calcular a intensidade de campo E em um ponto específico, o software deve seguir uma sequência rigorosa de interpolações:

1. **Determinação da Altura Efetiva ( $h_{\text{eff}}$ )**: A ANATEL não utiliza a altura acima do solo (AGL) no ponto do transmissor para a leitura das curvas. A altura efetiva é calculada subtraindo a cota da base da torre pela cota média do terreno (HATA - *Height Above Average Terrain*) no segmento entre 3 km e 15 km ao longo da radial em análise. *Detalhe de Implementação*: Se a radial for menor que 15 km, a média é calculada até o ponto final.
2. **Leitura das Curvas Base**: O sistema deve carregar na memória as tabelas da ITU correspondentes a:
  - Frequências nominais: 100, 600, 2000 MHz.
  - Alturas nominais: 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1200 m.
  - Tempos: 50% (para cobertura), 1% e 10% (para interferência).
3. **Interpolação Logarítmica de Distância**: Para uma distância d entre dois pontos tabulados  $d_1$  e  $d_2$ :
4. **Interpolação de Altura ( $h_1$ )**: A recomendação especifica uma interpolação não-linear para alturas. Para alturas muito baixas ou negativas (comuns em terrenos acidentados brasileiros), utiliza-se curvas auxiliares ou fórmulas de correção específicas do Anexo 5 da recomendação.
5. **Interpolação de Frequência**: Linear em escala logarítmica de frequência:
6. **Correção do Ângulo de Clutter (TCA - Terrain Clearance Angle)**: Este é o ponto onde o método P.1546 puro frequentemente falha em representar a realidade brasileira e onde a ANATEL introduz o método ponto-a-ponto. O TCA ajusta o campo baseado no ângulo de elevação do horizonte visto do receptor. No entanto, para estudos de *viabilidade*, a ANATEL exige o método Deygout-Assis para tratar obstruções específicas.

## 4.2 O Método Deygout-Assis: Implementação Algorítmica Profunda

O método Deygout-Assis é a fusão do algoritmo de "múltiplos gumes de faca" proposto por Jacques Deygout (1966) com a correção de curvatura cilíndrica desenvolvida pelo engenheiro brasileiro Mauro S. Assis (1971). Esta correção é vital porque tratar morros como "facas" (knife-edge) subestima a perda por difração, resultando em previsões de cobertura otimistas demais e, consequentemente, interferências reais não previstas.

A seguir, detalha-se o algoritmo passo a passo para implementação em código (Python/C++/Matlab).

## **Passo 1: Construção do Perfil Topográfico**

Extraia o perfil do terreno  $h_{\{terreno\}}(i)$  entre o Transmissor (Tx) e o Receptor (Rx). Aplique a correção da curvatura da terra para obter a altura efetiva de cada ponto  $i$  do obstáculo em relação à corda que une Tx e Rx. A fórmula padrão utiliza o raio efetivo da terra ( $k \cdot R_{\{terra\}}$ , onde  $k=4/3$ ):

Onde  $d_i$  é a distância do ponto  $i$  ao Tx e  $D_{\{total\}}$  é a distância total.

## **Passo 2: Cálculo do Parâmetro de Difração ( $\lnu$ )**

Para cada ponto do perfil, calcula-se o parâmetro de Fresnel-Kirchhoff ( $\lnu$ ). Este parâmetro determina se o ponto obstrui a Zona de Fresnel.

- $h_i$ : Distância vertical (altura) do topo do obstáculo até a linha de visada (LoS) direta entre os extremos do sub-segmento atual. Se o obstáculo está acima da linha,  $h$  é positivo.
- $\lambda$ : Comprimento de onda (c/f).
- $d_1, d_2$ : Distâncias do obstáculo aos extremos do segmento.

## **Passo 3: Identificação do Obstáculo Principal (Lógica Deygout)**

O algoritmo de Deygout é recursivo:

1. Varra todo o perfil entre Tx e Rx. O ponto com o maior  $\lnu$  ( $\lnu_{\{max\}}$ ) é designado como o **Obstáculo Principal (M)**.
2. Se  $\lnu_{\{max\}} < -0.7$ , a zona de Fresnel está livre. Perda de difração = 0.
3. Se houver obstrução, calcule a perda de difração ( $L_{\{faca\}}$ ) para este obstáculo principal usando a aproximação de Lee:

## **Passo 4: Recursividade (Sub-Trajetos)**

Uma vez identificado o obstáculo principal M, o perfil é dividido em dois:

- Segmento 1: Tx  $\rightarrow$  M.
- Segmento 2: M  $\rightarrow$  Rx. O algoritmo é executado novamente (recursivamente) para o Segmento 1 (encontrando um obstáculo secundário M\_1) e para o Segmento 2 (encontrando M\_2). A perda total por gume de faca é a soma:  $L_{\{Deygout\}} = L(M) + L(M_1) + L(M_2) + \dots$  Nota: A ANATEL geralmente limita a recursividade a 1 ou 2 níveis (até 3 obstáculos principais).

## **Passo 5: A Correção de Assis (O Cilindro)**

Aqui reside a especificidade da engenharia brasileira. Para cada obstáculo identificado como "Principal" no passo anterior, não o tratamos apenas como uma faca. Aproximamos seu topo por um cilindro parabólico.

1. **Ajuste Parabólico:** Selecione o ponto do pico  $i$  e seus vizinhos ( $i-k \dots i+k$ ). Ajuste uma parábola  $y = ax^2 + bx + c$  a esses pontos.
2. **Raio de Curvatura (R):** O raio de curvatura no vértice da parábola é dado pela segunda derivada: Implementação: Se o terreno for muito pontiagudo ( $R \rightarrow 0$ ), a correção tende a zero. Se for plano/arredondado ( $R$  grande), a perda aumenta.
3. **Fator de Correção ( $L_{\{Assis\}}$ ):** A fórmula de correção de Assis adiciona uma perda

extra ( $L_{\text{cilindro}}$ ) baseada no raio  $R$  e no ângulo de difração  $\theta$  (em radianos). A formulação clássica derivada por Assis e utilizada em softwares homologados é uma aproximação das funções de Airy/Hankel para difração em superfícies lisas. Uma forma prática utilizada é: Ou, utilizando o parâmetro de curvatura  $\chi$ : E aplicando a expansão em série para a perda adicional.

#### Passo 6: Perda Total

## 5. Implementação Prática: Plotagem de Contornos e D/U

A plotagem dos contornos de proteção não é meramente desenhar um círculo. É o resultado de milhares de iterações do algoritmo acima.

### 5.1 Algoritmo de Plotagem de Contorno

Para gerar o arquivo KML/SHP exigido pelo Mosaico:

1. **Definição das Radiais:** O sistema deve gerar 72 radiais ( $0^\circ$  a  $355^\circ$  em passos de  $5^\circ$ ). Para maior precisão, pode-se usar 360 radiais (passo de  $1^\circ$ ).
2. **Cálculo da ERP por Azimute:** Em cada azimute  $\phi$ , a Potência Efetiva Radiada é:  
*Nota:* O diagrama vertical também deve ser considerado se houver *beam tilt* elétrico ou mecânico significativo, corrigindo o ganho para o ângulo de depressão em cada ponto da radial.
3. **Iteração de Distância:** Ao longo de cada radial, avance ponto a ponto (ex: a cada 100m) calculando a intensidade de campo  $E$  usando o método híbrido (P.1546 para distâncias < 15km ou visada direta clara; Deygout-Assis para obstruções > 15km).
4. **Detecção do Limiar (Threshold):** Identifique a distância onde o campo cai abaixo do limite (ex: 60 dB $\mu$ V/m). *Regra de Monotonicidade:* Devido a obstruções e reflexões, o sinal pode cair abaixo de 60 e subir novamente mais à frente (efeito de recuperação pós-obstáculo). A ANATEL exige uma abordagem conservadora para proteção: considere o **ponto mais distante** onde o sinal ainda supera o limiar de proteção. Se houver "ilhas" de cobertura desconectadas, o contorno deve englobar a mais distante se ela for significativa.
5. **Fechamento do Polígono:** Conecte os pontos de corte das 72 radiais para formar um polígono fechado. Exporte as coordenadas (Lat, Long) para KML.

### 5.2 Cálculo da Relação D/U (Interferência)

Para verificar a viabilidade de uma nova estação (Interferente) contra uma existente (Vítima):

1. **Reconstrução do Contorno da Vítima:** Utilize os dados da base da ANATEL para plotar o contorno protegido da estação vítima (campo  $E_{\text{min}}$ ).
2. **Pontos de Teste:** Selecione pontos discretos ao longo deste contorno (ex: a cada 1 km).
3. **Cálculo Simultâneo:** Para cada ponto de teste  $P_k$ :
  - Calcule o campo da Vítima:  $D_k$  (deve ser  $\approx E_{\text{min}}$ ).
  - Calcule o campo da Nova Estação:  $U_k$  (usando Deygout-Assis, considerando o diagrama da nova antena na direção de  $P_k$ ).
4. **Discriminação da Antena Receptora:** Se a vítima for uma estação de TV, a antena

receptora doméstica tem diretividade. Aplique a discriminação da antena receptora baseada no ângulo entre a Vítima e a Interferente. (Para FM, assume-se recepção omnidirecional/monopolio, discriminação = 0).

5. **Verificação:** Se a condição falhar em qualquer ponto, a alteração é inviável, exigindo redução de potência ou alteração de diagrama (ex: uso de painéis com supressão na direção da vítima).

## 6. Conclusão e Recomendações

A engenharia de espectro no Brasil evoluiu de um modelo determinístico simples para um modelo híbrido complexo que exige alta capacidade computacional e precisão de dados. A integração das curvas estatísticas da **ITU-R P.1546** com o rigor geométrico do método **Deygout-Assis** permite uma modelagem fidedigna do relevo brasileiro, caracterizado por difrações múltiplas em topos arredondados.

Para o engenheiro ou gestor de radiodifusão, o sucesso no licenciamento depende de três pilares:

1. **Dados de Entrada:** Uso de modelos digitais de elevação (SRTM) de alta resolução (1 ou 3 segundos de arco) e diagramas de antena precisos.
2. **Algoritmo Correto:** Implementação fiel da correção de raio de curvatura de Assis, evitando o pessimismo do modelo de gume de faca puro.
3. **Estratégia Regulatória:** Aproveitamento da "Regra dos 5%" do Ato 8104 para otimizações ágeis e uso correto dos formatos KML/SHP no sistema Mosaico.

A observância estrita destes parâmetros e metodologias não apenas garante a conformidade legal junto à ANATEL, mas maximiza a eficiência técnica do ativo de radiodifusão, garantindo cobertura robusta e livre de interferências.

### Referências citadas

1. Resolução nº 721, de 11 de fevereiro de 2020 - arctel-cplp, <http://arctel-cplp.org/wp-content/uploads/2022/12/Resolucao-n.o-721-de-11-de-fevereiro-de-2020-Regulamento-sobre-Canalizacao-de-Radiofrequencias-para-Servicos-de-Radiodifusao.pdf>
2. Regulamentação — Agência Nacional de Telecomunicações - Portal Gov.br, <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/radiodifusao/regulamentacao>
3. Resolução nº 721, de 11 de fevereiro de 2020 - Anatel, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1383-resolucao-721>
4. Anatel divulga novos regulamentos técnicos de rádio e TV - ABERT, <https://abert.org.br/site/imprensa/noticias/anatel-divulga-novos-regulamentos-tecnicos-de-radio-e-tv>
5. Ato nº 8104, de 10 de junho de 2022 - Anatel - Agência Nacional de Telecomunicações, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2022/1687-ato-8104>
6. sistema mosaico - Agência Nacional de Telecomunicações, <https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=343193&pub=original&filtro=1&documentoPath=343193.pdf>
7. Manual-Licenciamento-Mosaico 2022-05-17 v3 - 1 | PDF | Antena (rádio) - Scribd, <https://pt.scribd.com/document/652441377/Manual-Licenciamento-Mosaico-2022-05-17-v3-1>
8. Download - Repositório Institucional da UFRN, <https://repositorio.ufrn.br/bitstreams/740f1525-ac62-4b9d-ba14-2d8d23872a62/download>
9. Programa Morar, Conviver e Preservar - UFPA,

[https://www.editoranaea.ufpa.br/publicacao\\_doi/LIVRO\\_REURB\\_2022\\_ebook.pdf](https://www.editoranaea.ufpa.br/publicacao_doi/LIVRO_REURB_2022_ebook.pdf) 10. Digital TV Channel Prediction Using Clustering Algorithms and Statistical Learning - Journal of Communication and Information Systems, <https://jcis.sbrt.org.br/jcis/article/download/759/540>

11. RECOMMENDATION ITU-R P.1546-6( - Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz, [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!!PDF-E.pdf)

12. P.1546 : Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz - ITU, <https://www.itu.int/rec/r-rec-p.1546>

13. Resolução nº 398, de 7 de abril de 2005 (REVOGADA) - Anatel, <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2005/288-resolucao-398>

14. Modelos de Radiopropagação | PDF | Reflexão (Física) | Ondas, <https://pt.scribd.com/document/129478698/Modelos-de-radiopropagacao>

15. 2nd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), <https://digital-library.theiet.org/doi/pdf/10.1049/ic.2007.1468?download=true>

16. Handbook - RADIOWAVE PROPAGATION INFORMATION FOR DESIGNING TERRESTRIAL POINT-TO-POINTS LINKS Edition 2008 - ITU, [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-E.pdf?fbclid=IwAR3VA4BugaFB-Kby1vOLS3zWaJuHai8kS\\_PMUM3U3xRP01rQzJFDy87s7MI](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-54-2009-OAS-PDF-E.pdf?fbclid=IwAR3VA4BugaFB-Kby1vOLS3zWaJuHai8kS_PMUM3U3xRP01rQzJFDy87s7MI)

17. Reflections and Obstructions - ResearchGate, [https://www.researchgate.net/publication/319548582\\_Reflections\\_and\\_Obstructions](https://www.researchgate.net/publication/319548582_Reflections_and_Obstructions)