

Referências Bibliográficas

- [1] *Technical characteristics of earth stations on board vessels communicating with FSS satellites in the frequency bands 5 925-6 425 MHz and 14-14.5 GHz which are allocated to the fixed-satellite service*, Recommendation ITU-R S.1587-2, Genebra, 2007.
- [2] *Provisions relating to earth stations located on board vessels which operate in fixed-satellite service networks in the bands 3700 - 4200 MHz and 5925 - 6425 MHz*, resolução 82, emitida pela Conferência Mundial de Radiocomunicações, 2000.
- [3] *Characteristics of earth stations on-board vessels operating in the FSS frequency bands 3700-4200MHz and 5926-6425 MHz*, Documento 4A/84-E, liaison statement to Working party 4A. Internacional Telecommunications Union, outubro 2000.
- [4] *Working document toward the identification of technical and operational characteristics of earth stations aboard vessels operating in the fixed satellite service in the bands 3700-4200 MHz and 5925-6425 MHz*, Documento 4A/40-E e 9D/28-E . Internacional Telecommunications Union, fevereiro 1998.
- [5] *The minimum distance from the baseline beyond which in-motion earth stations located on board vessels would not cause unacceptable interference to the terrestrial service in the bands 5925-6425 MHz and 14-14.5 GHz*, Recommendation ITU-R SF.1650, Genebra, 2005.
- [6] *Interference effect of transmissions from earth stations on board vessels operating in fixed-satellite service networks on co-frequency stations*, Documento 4A/203E, submetido pela administração dos Estados Unidos para o item 1.8 resolução 909 da agenda do World Radiocommunication Conference 2015.
- [7] *Working document towards a preliminary draft new report on the interference effect of transmissions from earth stations on board vessels operating in fixed-satellite service networks on fixed service stations*, Documento

- 4A/37E, submetido pela administração dos Estados Unidos para o item 1.8 resolução 909 da agenda do World Radiocommunication Conference 2015.
- [8] *Some elements of a working document towards a preliminary draft new Report ITU-R S.[ESV] on the interference effect of transmissions from earth stations on board vessels operating in fixed-satellite service networks on terrestrial co-frequency stations*, Documento 4A/125E, anexo 11 do Working Party 4A Chairman's Report.
- [9] *Provisions relating to earth stations located on board vessels which operate in fixed-satellite service networks in the uplink bands 5925-6425 MHz and 14-14.5 GHz*, Resolução 902, World Radiocommunication Conference, Genebra 2003.
- [10] *Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz*, Recommendation ITU-R P.452-14, Genebra, 2009.
- [11] *Satellite communications technology*, K. Miya, Second Edition, pp 424-425, 1985.
- [12] *Reference earth-station radiation pattern for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz*, Recommendation ITU-R S.465-5, Genebra, 1993.
- [13] *Use of earth stations on board vessels operating in the 11/14 GHz bands*, Documento 4A/79-E, 8A/31-E, 8B/23-E, liaison statement to Working Parties 4A, 8A and 8B. Internacional Telecommunications Union, outubro 2000.
- [14] *Characteristics of earth stations on board vessels operating in the frequency bands 3700-4200 MHz, and 5925-6425 MHz*, Documento 4A/16-E, draft new recommendation, setembro 2000.
- [15] *Technical and operating characteristics of earth stations on board vessels in the bands 3700-4200 MHz and 5925-6425 MHz*, Documento 4A/417-E, liaison statement to working party 4A. Internacional Telecommunications Union, abril 1999.
- [16] *Technical and operating characteristics of earth stations on board vessels in the band 3700 - 4200 MHz and 5925 - 6425 MHz*, Documento 4A/193-E, liaison statement to working party 4A. Internacional Telecommunications Union, outubro 1998.

- [17] *Transfer of a proposed draft new question on earth stations on board vessels*, Documento 4A/62-E, liaison statement to working party 4A. Internacional Telecommunications Union, março 1998.
- [18] *Provisions relating to earth stations located on board vessels wich operate in fixed-satellite service networks in the uplink bands 5925-6425 MHz and 14-14.5GHz*, Resolução 909, World Radiocommunication Conference, Genebra 2012.
- [19] *Earth Stations on Mobile Platforms Consultation on the authorisation of Earth Stations on Mobile Platforms*, documento de consulta, submetido pela autoridade reguladora para as indústrias de comunicações do Reino Unido a opinião pública, agosto 2013.
- [20] *ITU Radio regulatory framework for space services*, União Internacional de Telecomunicações, Genebra 1995.

Glossario

Anatel	Agencia Nacional de Telecomunicações
CDF	Cumulative distribution function
EIRP	Equivalent isotropically radiated power
ESV	Earth Station on-board Vessel
FS	Fixed service
FSS	Fixed-satellite service
ITU	International Telecommunication Union
PFD	Power Flux Density
SSP	Sub-satellite Point
UIT	União Internacional de Telecomunicações
WRC	World Radiocommunication Conference

A

Procedimento para determinar o valor L_p da perda de propagação que não é excedido durante $p\%$ do tempo

A recomendação UIT P.452 fornece um conjunto de procedimentos para avaliação da interferência entre estações sobre a superfície da terra. São procedimentos gerais e bastante complexos que abrangem um amplo conjunto de modelos de propagação, previsões que englobam sistemas operando na faixa de frequência de 0.7GHz a 50 GHz, estes procedimentos podem ser aplicados em estações terrenas com uma distancia de separação máxima de 10 000 km.

A recomendação aborda duas metodologias (ver Figura A.1). A primeira delas diz respeito à predição de interferência no céu claro e compreende cinco modelos de propagação (propagação em visibilidade, difração, reflexão e refração nas camadas atmosféricas, espalhamento troposférico e perdas devidas ao ambiente em torno das estações). Estes modelos são combinados de modo a fornecer estatísticas da perda total de propagação em céu claro, o que permite a predição da interferência. Esta metodologia se aplica tanto a enlaces em visibilidade quanto a enlaces trashorizonte.

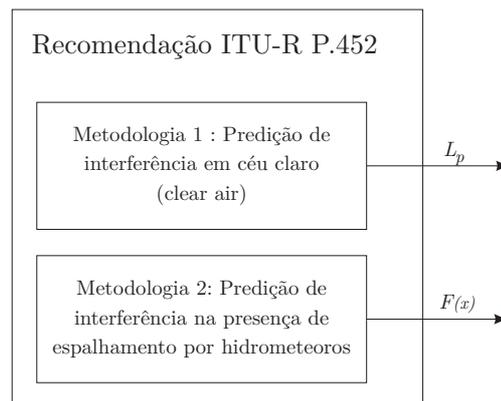


Figura A.1: Metodologias oferecidas na Recomendação ITU-R P.452

A segunda metodologia que não foi considerada neste trabalho, refere-se à predição da interferência avaliando-se o espalhamento por hidrometeoros, esta abordagem conduz à função densidade de probabilidade da perda de transmissão experimentada pelo sinal interferente. Este tipo de espalhamento

pode ser uma fonte potencial de interferência para estações sobre a superfície da terra podendo agir quase omnidirecionalmente, contudo os níveis dos sinais interferentes são bastante baixos e geralmente não representam uma perda significativa para as bandas de frequência nas quais foi desenvolvido este trabalho.

Assim, este apêndice apresenta apenas uma descrição resumida da metodologia para a predição de interferência em céu claro. Um diagrama em blocos das etapas de cálculo desta metodologia é apresentado na Figura A.2. No diagrama estão indicadas as seções da Recomendação ITU-R P.452 que contém as expressões matemáticas utilizadas nos cálculos. Cada um dos blocos deste diagrama é discutido nas seções seguintes.

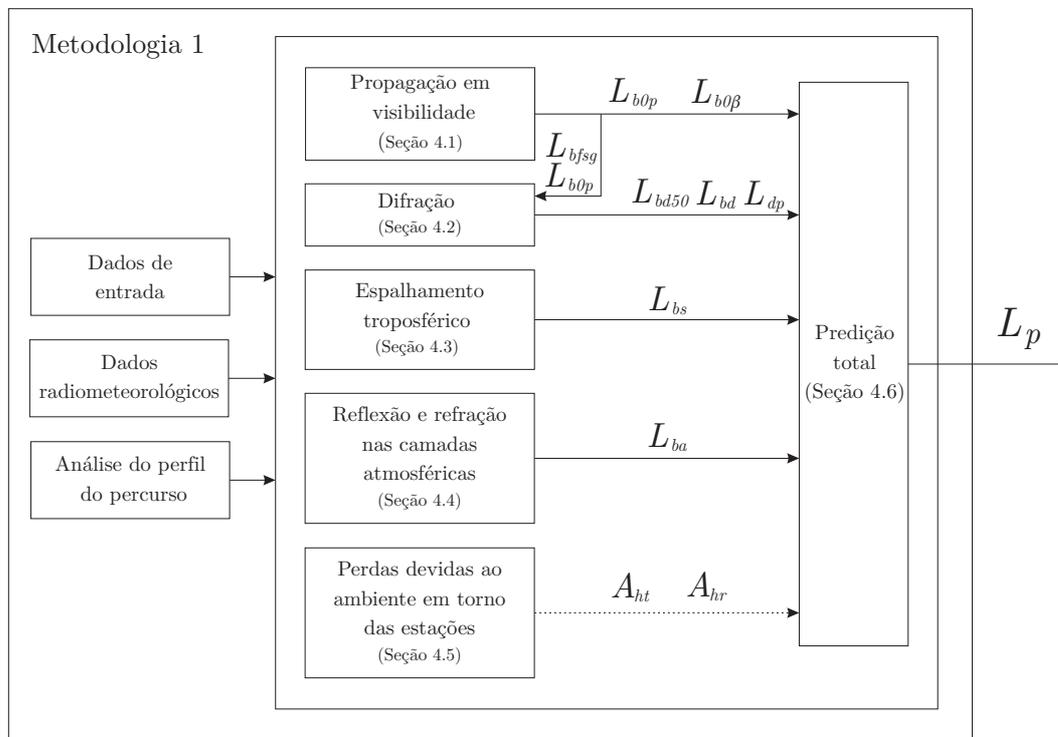


Figura A.2: Etapas de cálculo da metodologia 1 da Recomendação ITU-R P. 452

Dados de Entrada

Os parâmetros básicos, necessários para a aplicação da Metodologia 1 da recomendação ITU-R P.452 são os seguintes:

- f : frequência de trabalho [GHz]
- p : percentagem de tempo para a qual o valor L_p da perda de propagação não é excedido[%]

- ϕ_t : latitude da localização da estação ESV [graus]
- ψ_t : longitude da localização da estação ESV [graus]
- ϕ_r : latitude da localização da estação receptora FS [graus]
- ψ_r : longitude da localização da estação receptora FS [graus]
- h_{tg} : altura sobre o nível do mar da antena da estação ESV [metros]
- h_{rg} : altura sobre o nível do mar da estação receptora FS [metros]
- G_t : ganho da antena da estação ESV na direção do horizonte ao longo do caminho do grande círculo [dBi]
- G_r : ganho da antena da estação receptora FS na direção do horizonte ao longo do caminho do grande círculo [dBi]

Dados radiometeorológicos

Três parâmetros radiometeorológicos são necessários para descrever a variação do ambiente e condições de propagação anômalas nas diferentes partes do mundo:

- ΔN : representa a taxa de variação do índice de refração médio com a altura, ao longo do primeiro quilômetro da atmosfera. A Figura A.3 fornece as curvas do valor médio anual de ΔN no mundo [N-unidades/Km]
- β_0 : nos primeiros 100 metros da atmosfera baixa, é a percentagem de tempo na qual a taxa de variação do índice de refração médio, ultrapassa as 100 N-unidades/km [%]
- N_0 : descreve o valor da refração ao nível do mar. A Figura A.4 fornece as curvas deste valor no mundo [N-unidades]

Análise do perfil do percurso

Para realizar os cálculos da Metodologia 1, precisa-se de um conjunto de parâmetros relacionados com o perfil do percurso. Os seguintes, podem ser extraídos após o análise descrito no apêndice 2 do anexo 1 da recomendação ITU-R P.452.

- a_e : radio efetivo da terra [km]
- d : distância total do percurso do grande círculo [km]

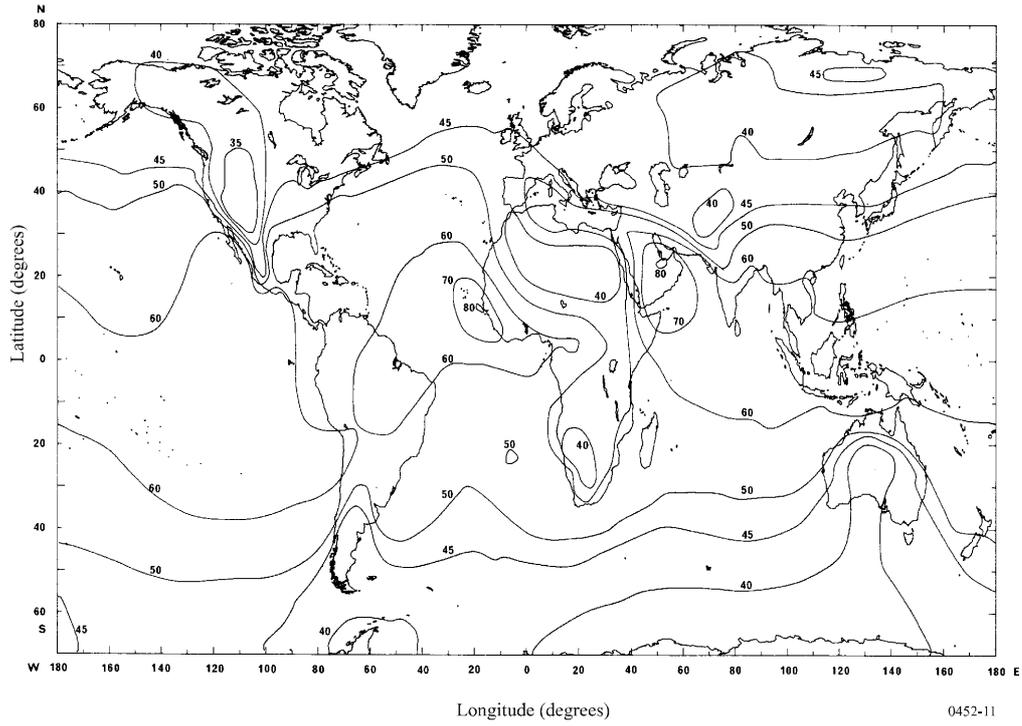


Figura A.3: Valor médio anual de ΔN [10]

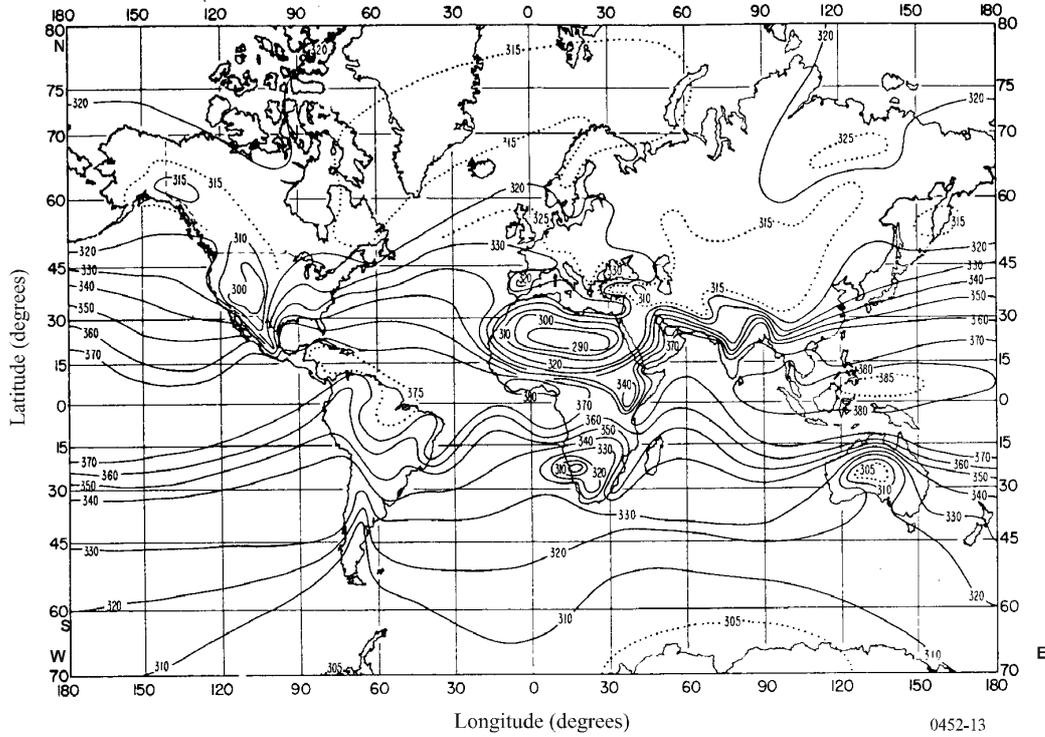


Figura A.4: Refratividade da superfície ao nível do mar N_0 [10]

- d_i : distância do grande círculo desde a estação ESV até o i -ésimo ponto do trajeto [km]
- d_{ii} : incremento da distância para os dados do perfil do trajeto [km]
- f : frequência [GHz]
- λ : comprimento de onda [m]
- h_{ts} : altura da antena da estação ESV sobre o nível do mar [m]
- h_{rs} : altura da antena do receptor FS sobre o nível do mar [m]
- θ_t : ângulo de elevação com relação ao horizonte local, medido na estação ESV (para uma trajetória transhorizonte). Ângulo de elevação da antena do receptor FS (para uma trajetória com linha de visada)
- θ_r : ângulo de elevação com relação ao horizonte local, medido no receptor FS (para uma trajetória transhorizonte). Ângulo de elevação da antena da estação ESV (para uma trajetória com linha de visada)
- θ : distância angular do trajeto [mrad]
- h_i : altura do i -ésimo ponto do trajeto sobre o nível do mar [m]
- h_m : rugosidade do terreno
- h_{te} : altura efetiva da estação ESV
- h_{re} : altura efetiva do receptor FS

Após obter as coordenadas geográficas da estação ESV y o receptor FS deve-se ter uma base de dados das alturas do terreno ao longo do trajeto do percurso do sinal transmitido, precisa-se estabelecer um incremento de distância que se ajuste e capture as principais características do terreno. A recomendação considera a localização da ESV como ponto zero e a localização da estação receptora FS como ponto n , portanto o perfil do trajeto consiste em $n + 1$ pontos. A figura A.5 fornece um exemplo de um perfil do percurso do sinal transmitido, apresentando os diferentes parâmetros descritos acima.

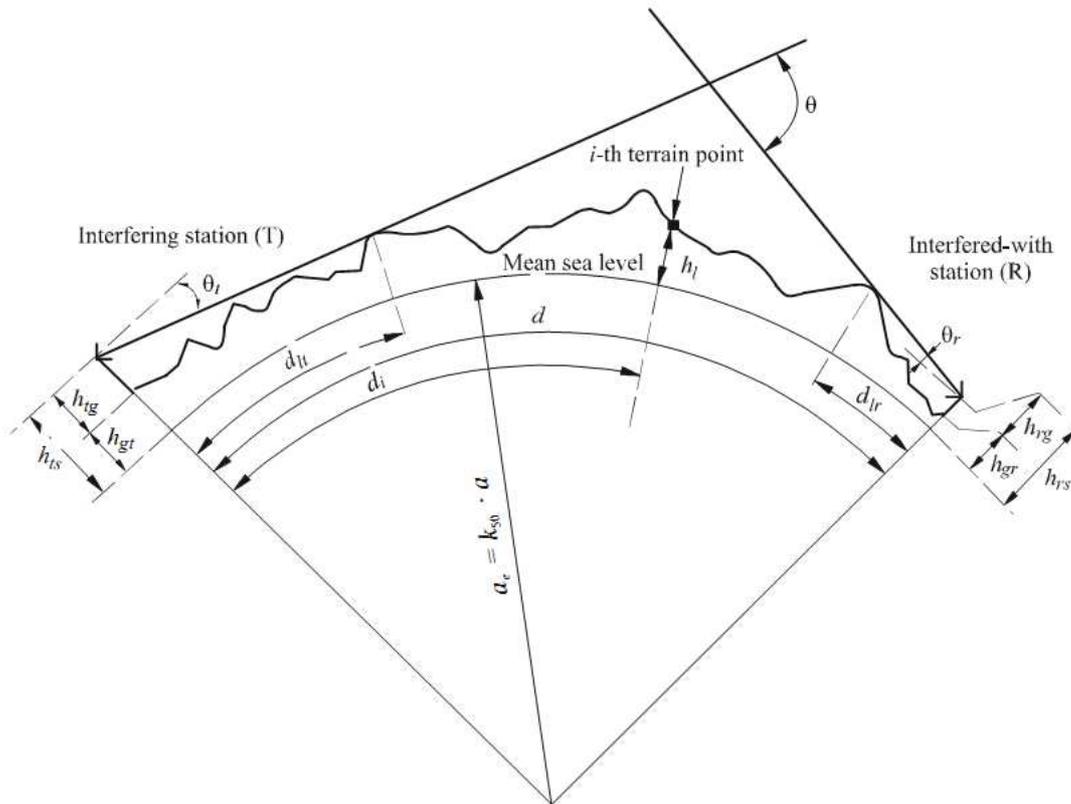
Conforme a recomendação, o trajeto tem-se que classificar entre um percurso com linha de visada ou transhorizonte, para poder determinar as distâncias d_{lt} e d_{lr} , e os ângulos de elevação θ_t e θ_r . Deste modo a classificação do percurso é feita da seguinte forma:

o trajeto entre as duas estações é transhorizonte se

$$\theta_{max} > \theta_{td} \quad (A-1)$$

onde

$$\theta_{max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad (A-2)$$



Note 1 – The value of θ_i as drawn will be negative.

0452-14

Figura A.5: Exemplo de um perfil de percurso transhorizonte

sendo θ_i o ângulo de elevação no i -ésimo ponto do trajeto, expresso por

$$\theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2a_e} \quad (\text{A-3})$$

e θ_{td} expresso por

$$\theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2a_e} \quad (\text{A-4})$$

Se a condição em (A-1) não é cumprida, o percurso do sinal transmitido se encontra em linha de visada e os parâmetros como θ_r e θ_t podem ser achados de acordo com as indicações estabelecidas na listagem anterior, pelo contrário se o percurso do sinal é transhorizonte, os seguintes parâmetros podem ser derivados:

ângulo de elevação do horizonte da antena da estação ESV, com θ_{max} definido em (A-2)

$$\theta_t = \theta_{max} \quad (\text{A-5})$$

distância ao horizonte da antena da estação ESV

$$d_{lt} = d_i \text{ para } \max(\theta_i) \quad (\text{A-6})$$

ângulo de elevação do horizonte da antena do receptor FS

$$\theta_r = \max_{j=1}^{n-1}(\theta_j) \quad (\text{A-7})$$

onde

$$\theta_j = \frac{h_j - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 (d - d_j)}{2a_e} \quad (\text{A-8})$$

distância ao horizonte da antena do receptor FS

$$d_{lr} = d - d_j \text{ para } \max(\theta_j) \quad (\text{A-9})$$

e a distância angular como

$$\theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad (\text{A-10})$$

No presente trabalho apresentou-se um cenário particular na hora da construção do perfil, sendo que o trajeto do sinal transmitido é na sua totalidade sobre zona marítima, ou seja, a altura de qualquer ponto do trajeto é igual a zero, isto é:

$$h_i = 0 \quad \longrightarrow \quad i = 1, 2, \dots, d \quad (\text{A-11})$$

A influência do fato anterior aparece no momento de classificar o trajeto entre linha de visada ou transhorizonte. Neste caso as equações vão ser simplificadas a seguir:

a partir de (A-11), (A-3) pode ser reescrita como

$$\theta_i = -\frac{h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2a_e} \quad (\text{A-12})$$

maximizando θ_i em (A-12), a distância d_{lt} pode-se escrever

$$d_{lt} = \sqrt{\frac{h_{ts} 2 a_e}{10^3}} \quad (\text{A-13})$$

do mesmo modo, a partir de (A-11), (A-8) pode-se escrever como

$$\theta_j = -\frac{h_{rs}}{d} - \frac{10^3 d}{2a_e} \quad (\text{A-14})$$

maximizando θ_j na equação anterior tem-se

$$d_{lr} = \sqrt{\frac{h_{rs} 2a_\epsilon}{10^3}} \quad (\text{A-15})$$

Conhecendo as distâncias definidas em (A-13) e (A-15) é possível encontrar os ângulos θ_t e θ_r . Lembrar que para encontrar d_{lt} e d_{lr} foram maximizados os ângulos θ_i e θ_j , então as distâncias encontradas são as que geram os ângulos máximos, a saber

$$\theta_t = -\frac{h_{ts}}{d_{lt}} - \frac{10^3 d_{lt}}{2a_\epsilon} \quad (\text{A-16})$$

e

$$\theta_r = -\frac{h_{rs}}{d_{lr}} - \frac{10^3 d_{lr}}{2a_\epsilon} \quad (\text{A-17})$$

Propagação em visibilidade

Este tipo de propagação tem que ser avaliada tanto para enlaces com linha de visada como para enlaces transhorizonte. Nesta seção são estimadas as perdas básicas de transmissão devido a propagação em espaço livre e atenuação por gases atmosféricos. Obtendo-se como resultado duas quantidades: a perda básica de transmissão devido a propagação em espaço livre, não excedida para uma percentagem de tempo $p\%$

$$L_{b0p} \quad (\text{A-18})$$

e a perda básica de transmissão devido a propagação em espaço livre, não excedida para uma percentagem de tempo $\beta\%$

$$L_{b0\beta} \quad (\text{A-19})$$

Difração

A perda por difração é calculada utilizando um método híbrido, esse método fornece uma estimação da perda por difração para todos os tipos de caminhos, incluindo trajetos com percursos totalmente sobre o mar ou completamente sobre a terra e independentemente se o terreno é liso ou rugoso. Detalhes do bloco do diagrama da Figura A.2 que calcula as perdas por difração são apresentados nas figuras A.6, A.7 e A.8, nelas apresenta-se os cálculos envolvidos em cada uma das subseções do modelo de propagação.

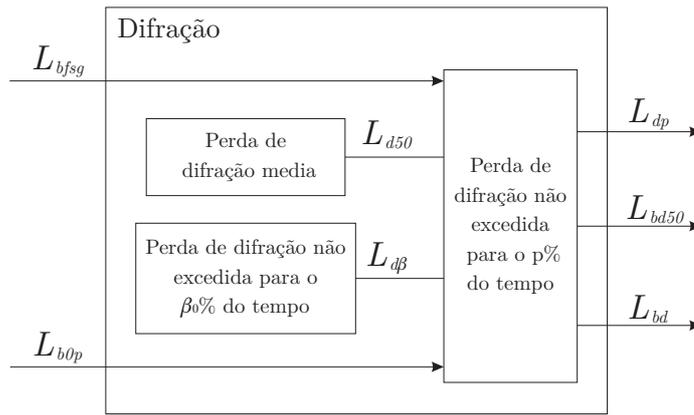


Figura A.6: Bloco do modelo de propagação correspondente a Difração

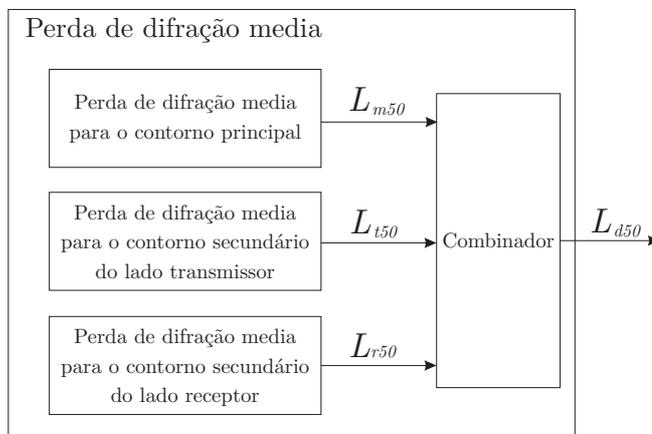


Figura A.7: Sub-bloco 1 correspondete ao bloco de Difração

Espalhamento troposférico

O modelo aplicado nesta Recomendação permite uma predição contínua da perda de propagação devido ao espalhamento troposférico ao longo do intervalo de 0.001% até 50% para o parâmetro de percentagem de tempo p (para a qual o valor L_p da perda de propagação não é excedido). Portanto, liga o modelo de reflexão e refração nas camadas atmosféricas para as percentagens de tempo pequenas com o modo de dispersão apropriado para maiores percentagens de tempo. No final desta seção é obtida a perda básica de transmissão devido ao espalhamento troposférico não excedida para qualquer percentagem de tempo p inferior a 50%, L_{bs} .

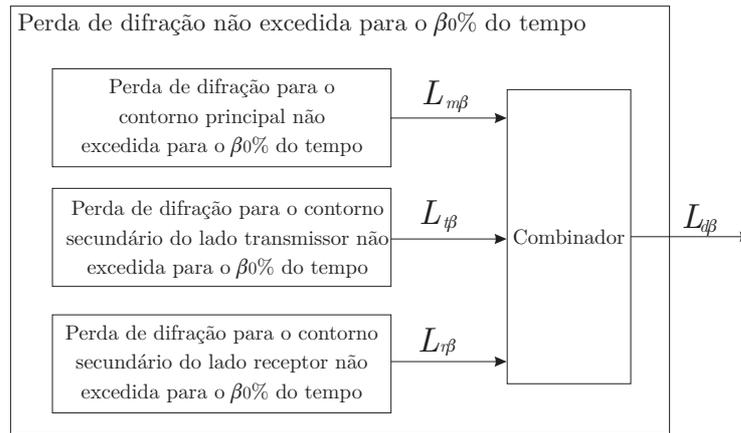


Figura A.8: Sub-bloco 2 correspondete ao bloco de Difração

Reflexão e refração nas camadas atmosféricas

Nesta seção é encontrada a predição da perda básica de transmissão L_{ba} , que acontece durante períodos de propagação anômala.

Perdas devido ao ambiente em torno das estações

Este tipo de perdas são apropriadas em termos de proteção de interferência, quando as antenas das estações receptoras estão localizadas em terrenos perto de ambientes saturados (edificações e florestas). Dado que neste trabalho foi estudado um caso particular de transmissões com trajetos inteiramente sobre o mar as perdas descritas nesta seção, não foram tidas em conta na hora de fazer a predição total da perda de propagação L_p , que não é excedida durante $p\%$ do tempo.