

## 2

### Descrição do Problema

A obtenção das regras de convivência entre dois sistemas que compartilham a mesma faixa de frequências são obtidas através do desenvolvimento de estudos que analisam situações, onde um dos sistemas, aqui denominado sistema interferente, efetua transmissões que atingem os receptores do outro sistema, aqui denominado sistema vítima, que são para este último indesejáveis.

Segundo este fundamento, o entendimento de dois conceitos são importantes: (i) o conceito de critério de proteção, que é geralmente definido pelos operadores do sistema vítima e (ii) o conceito de restrições de transmissão, que são impostas aos sistemas interferentes.

Os critérios de proteção servem para estabelecer limites, tais que o sistema vítima consegue operar mantendo um desempenho adequado, dada a presença do sinal indesejável. Já as restrições de transmissão, servem para impor limites máximos permissíveis para as potências dos sinais interferentes, visando garantir o atendimento do critério de proteção estabelecido pelos operadores do sistema vítima, sem que sejam impostas restrições desnecessárias aos sistemas interferentes. Estas restrições de transmissão são usualmente transformadas em *lei* quando incluídas no Regulamento de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações [23].

Assim, o problema a ser analisado consiste em:

- “*Determinar as restrições de transmissão a serem impostas ao sistema interferente de modo que os critérios de proteção do sistema vítima sejam atendidos, sem que sejam impostas restrições desnecessárias aos sistemas interferentes*”.

No caso particular desta dissertação, consideram-se os sistemas de comunicações que utilizam satélites em órbitas altamente inclinadas (HEOs)

operando na faixa de 18 GHz como sendo os sistemas interferentes. Os sistemas vítimas serão caracterizados por enlaces do Serviço Fixo Terrestre (FS) que operam na mesma faixa. Mais especificamente, aqui será tratado o problema das interferências que são geradas pelas transmissões dos satélites dos sistemas HEO que atingem receptores de enlaces do Serviço Fixo Terrestre. Deste modo, o critério de proteção a ser considerado é ditado pelos operadores do Serviço Fixo Terrestre. A Seção 2.1 descreve os critérios de proteção usualmente empregados para proteger os receptores do Serviço Fixo Terrestre.

As restrições a serem impostas ao sistema interferente são definidas pelos limites máximos de densidade de fluxo de potência que as transmissões de cada satélite podem produzir sobre a superfície da Terra. São as chamadas máscaras de *pf<sub>d</sub>* que, conforme comentado no Capítulo 1, existem em diversos artigos do Regulamento de Radiocomunicações [23]. Um exemplo de uma dessas máscaras de *pf<sub>d</sub>* é ilustrado na Figura 2.1.

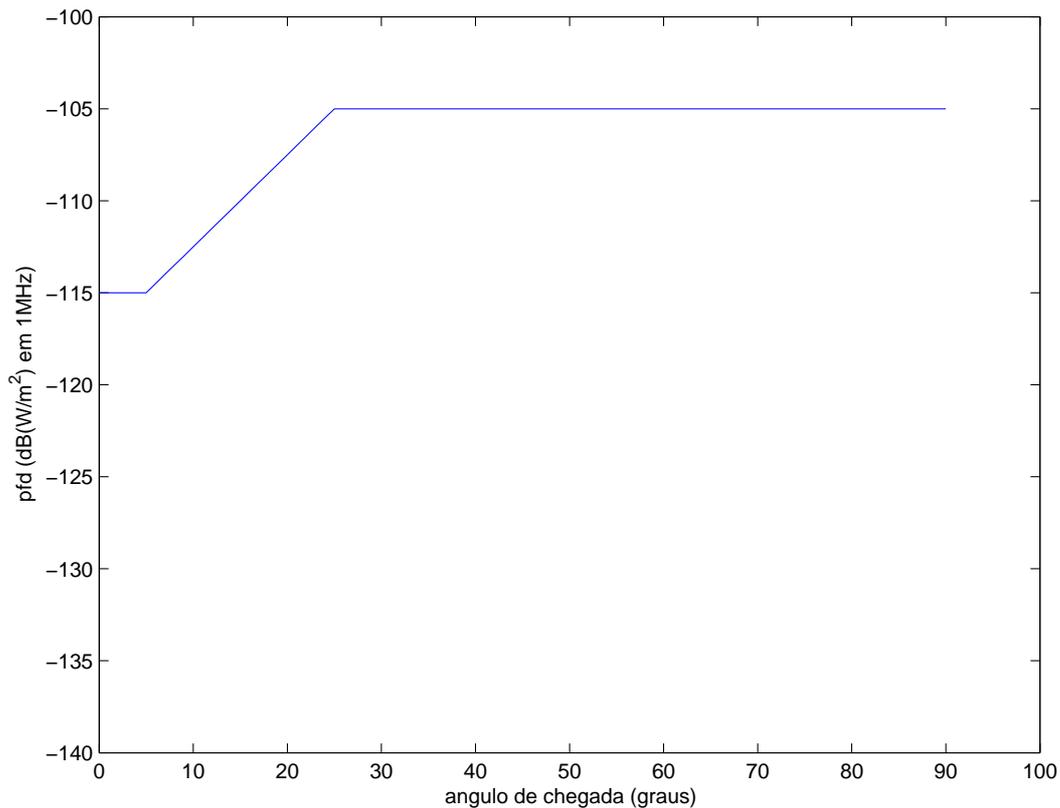


Figura 2.1: Exemplo de máscara de densidade de fluxo de potência.

Uma solução ótima para o problema (garantir atendimento ao critério de proteção para todos os receptores do Serviço Fixo Terrestre que operam sobre a superfície da Terra, e um nível mínimo de restrições impostas

às transmissões dos satélites interferentes) seria praticamente impossível, uma vez que a garantia de proteção a qualquer receptor FS implicaria em restrições muito severas aos sistemas HEO, impedindo-os, em muitos casos, de operar. Por isto, é muito importante que se possa determinar uma solução, mesmo que sub-ótima, onde, em prol da imposição de restrições realistas aos sistemas HEO interferentes, seja permitido que o critério de proteção não seja atendido para uma pequena percentagem de receptores do Serviço Fixo Terrestre. Dois critérios de proteção usualmente utilizados no caso do Serviço Fixo Terrestre são apresentados a seguir.

## 2.1 Critérios de proteção

Os critérios de proteção para os receptores do Serviço Fixo Terrestre, dependem da faixa de frequência considerada. Quando o principal problema de propagação está associado ao desvanecimento -caso das faixas de frequência de 4/6 e 11/12 GHz- o critério utilizado para a proteção dos receptores do serviço fixo terrestre está baseado no conceito de “degradação fracionária de desempenho” ou *fractional degradation in performance - FDP*. Para o caso de sistemas operando na faixa de 18 GHz, onde o desvanecimento não é principal problema de propagação (alguns dos principais problemas são a atenuação por chuvas e absorção atmosférica), o critério de proteção utilizado é o da Recomendação ITU-R F.1495 [4], baseado em pontos da função distribuição de probabilidade da razão  $I/N$ . Cada um desses critérios é apresentado nas seções 2.1.1 e 2.1.2 a seguir.

### 2.1.1 Degradação fracionária de desempenho - *FDP*

Para as faixas de frequência cujo principal problema de propagação é o desvanecimento, o critério de proteção do Serviço Fixo Terrestre a ser adotado é o da “degradação fracionária de desempenho” ou *fractional degradation in performance - FDP*.

Para melhor entender este conceito, considere a condição

$$\frac{C}{N} r \geq K \quad (2-1)$$

onde  $C$  é a potência do sinal desejado que chega no receptor quando não ocorre desvanecimento,  $N$  é a potência do ruído térmico na entrada deste receptor,  $r$  é o fator de desvanecimento, e  $K$  o valor da razão  $C/N$  que corresponde ao desempenho desejado.

Seja  $\mathcal{P}$  a probabilidade da condição em (2-1) não ser atendida, ou seja

$$\mathcal{P} = P\left(\frac{C}{N} r < K\right) \quad (2-2)$$

Na presença de interferência, tratada como ruído gaussiano de potência  $i$ , a nova condição a ser satisfeita passa a ser

$$\frac{C}{N+i} r \geq K \quad (2-3)$$

e a probabilidade  $\mathcal{P}'$  de não atendimento se escreve

$$\mathcal{P}' = P\left(\frac{C}{N+i} r < K\right) \quad (2-4)$$

O aumento relativo da probabilidade de não atendimento ao requisito de desempenho é definido como *degradação fracionária de desempenho*, sendo dado por

$$FDP = \frac{\mathcal{P}' - \mathcal{P}}{\mathcal{P}} \quad (2-5)$$

O conceito de  $FDP$  pode ser utilizado em duas situações: (i) enlaces do Serviço Fixo Terrestre operando sem diversidade e (ii) enlaces do Serviço Fixo Terrestre operando com diversidade.

No caso de Sistemas operando sem diversidade, a  $FDP$  é dada por [1]

$$FDP = \frac{E[i]}{N} \quad (2-6)$$

Já nos sistemas operando com diversidade, tem-se, no caso de combinação por chaveamento, [1]

$$FDP = \frac{2 E[i_c]}{N} + \frac{E[i_c^2]}{N^2} \quad (2-7)$$

e no caso de combinação por máxima potência [1]

$$FDP = \frac{2 E[i]}{N} + \frac{3 E[i^2]}{2 N^2} \quad (2-8)$$

Em (2-6), (2-7) e (2-8),  $N$  representa a potência do ruído térmico na entrada do receptor FS,  $E[i]$  e  $E[i_c^2]$  representam respectivamente os valores médio e médio quadrático da potência do sinal interferente que atinge o receptor FS.

### 2.1.2

#### **Critério baseado em pontos da função distribuição de probabilidade da razão $I/N$**

Quando o desvanecimento não representa o principal problema de propagação, para estas faixas de frequências, os critérios usualmente empregados na proteção do Serviço Fixo Terrestre são baseados em pontos da função distribuição de probabilidade da razão  $I/N$ .

Um desses critérios é o apresentado na Recomendação ITU-R F.1495 [4], aplicável ao caso de interferências variantes no tempo, e produzidas por sistemas de outros serviços que operam na mesma faixa de frequências. Este critério estabelece que a razão *interferência agregada - ruído térmico*,  $I/N$ , na entrada dos receptores do Serviço Fixo Terrestre deve satisfazer às seguintes condições:

- para interferências de longo prazo (*Long Term*),
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do serviço fixo terrestre não deve exceder -10 dB durante mais do que 20% do tempo (critério LT);
- para interferências de curto prazo (*Short Term*),
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do serviço fixo terrestre não deve exceder +14 dB durante mais do que 0,01% do tempo (primeiro critério de *short term* - ST1);
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do serviço fixo terrestre não deve exceder +18 dB durante mais do que 0,0003% do tempo (segundo critério de *short term* - ST2);

Dois tipos análise são usualmente empregados na avaliação do efeito de interferências em receptores do Serviço Fixo Terrestre: (i) análise por

rotas e (ii) análise estação-a-estação. Uma descrição destes dois tipos de análise é feita a seguir.

## 2.2

### Tipos de análise

Para avaliar o efeito da interferência produzida por sistemas de comunicação que utilizam satélites não-geoestacionários, no desempenho de enlaces do Serviço Fixo Terrestre, são usualmente empregados dois métodos: (i) a avaliação por rotas e (ii) a avaliação estação-a-estação.

A diferença entre estes dois métodos está apenas na maneira pela qual é feita a escolha das posições geográficas dos receptores-vítima do Serviço Fixo Terrestre. Em ambos os métodos, a função densidade de probabilidade da potência interferente  $I$  que atinge cada um dos receptores-vítima considerados, é estimada com base na simulação do movimento dos satélites não-geoestacionários.

As seções 2.2.1 e 2.2.2 descrevem as metodologias utilizadas para escolher a posição geográfica dos receptores-vítima do serviço fixo terrestre em cada um dos métodos mencionados.

#### 2.2.1

##### Análise por rotas

No caso da análise por rotas, o posicionamento geográfico dos receptores do serviço fixo terrestre é feito da seguinte maneira (ver Figura 2.2): (i) para um ponto  $P$  da superfície da Terra com latitude  $\theta_p$ , determina-se aleatoriamente uma direção  $D$  para a rota - *direção da rota* (isto é geralmente feito escolhendo-se aleatoriamente um valor de azimute para a reta tangente à superfície da Terra no ponto  $P$ ); (ii) coloca-se o primeiro transmissor da rota em um ponto  $A$  qualquer; (iii) a posição do segundo repetidor da rota é obtida caminhando-se uma distância  $d$  (comprimento do enlace) numa direção que forma um ângulo  $\phi$  com a direção  $D$  da rota, onde  $\phi$  é escolhido aleatoriamente (usualmente considera-se que  $\phi$  é uma variável aleatória com função densidade de probabilidade uniforme no intervalo  $[0, \phi_{max}]$  - alguns dos estudos efetuados consideraram  $\phi_{max} = 25$  graus); (iv) o procedimento em (iii) é repetido até que sejam colocados

todos os repetidores da rota; (v) o ponto central da rota caracteriza a localização da rota; (vi) os procedimentos (i) a (iv) são repetidos para gerar um número de rotas que seja adequado ao estudo a ser realizado. O comportamento estatístico da interferência que afeta receptores de rotas localizadas em uma determinada latitude  $\theta$  é obtido considerando-se todos os receptores das rotas localizadas em pontos de latitude  $\theta$  ou bem próxima de  $\theta$ . A Figura 2.2 ilustra o posicionamento geográfico das estações receptoras do FS no caso da análise por rotas.

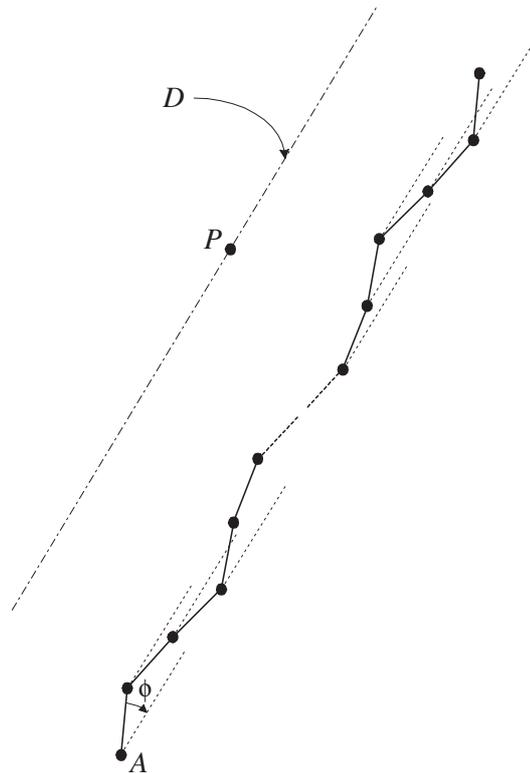


Figura 2.2: Posicionamento dos receptores-vítima na simulação por rotas ( $D$  caracteriza a direção da rota).

### 2.2.2 Análise estação-a-estação

No caso da análise estação-a-estação, o posicionamento geográfico dos receptores do serviço fixo terrestre é feito da seguinte maneira: (i) para uma dada latitude  $\theta$  (ver Figura 2.3), os receptores são distribuídos uniformemente em longitude ao longo do paralelo que corresponde à latitude  $\theta$ ; (ii) especifica-se um valor para o ângulo de elevação  $\epsilon$  da direção de apontamento das antenas dos receptores (usualmente considera-se um valor de  $\epsilon$  entre 0 e 3 graus); (iii) para cada um dos receptores da latitude  $\theta$

são considerados vários valores de azimute para a direção de apontamento das antenas receptoras (vários dos estudos consideraram azimutes que variavam de 0 a 360 graus, de grau em grau). O comportamento estatístico da interferência que afeta receptores localizados na latitude  $\theta$  é então obtido considerando-se todos os receptores e, para cada um deles, todas as possibilidades de azimute. A Figura 2.3 ilustra o posicionamento geográfico das estações receptoras do FS no caso da análise estação-a-estação.

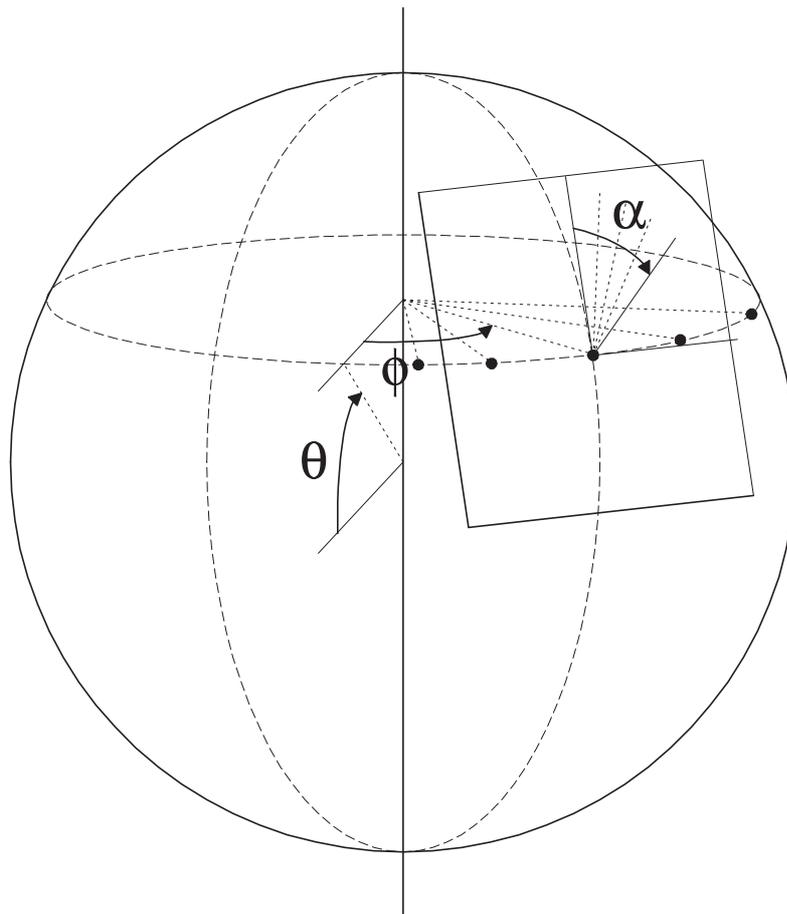


Figura 2.3: Posicionamento dos receptores-vítima na simulação estação por estação.