

Compartilhamento de frequências entre sistemas de alta densidade do serviço fixo por satélite e sistemas do serviço fixo terrestre

Erminio Da Cas Neto e José Mauro Fortes

Resumo—O presente trabalho apresenta um modelo matemático e propõe uma metodologia para sua utilização na determinação de áreas de coordenação em torno de receptores do serviço fixo terrestre (FS) de modo a garantir que, fora destas áreas, estações terrenas do serviço fixo por satélite de alta densidade (HDFSS) possam ser implantadas sem a necessidade de coordenação com o FS. O modelo considera o critério de proteção usual para receptores FS e a caracterização estatística do movimento dos satélites, contemplando tanto terminais que operam com satélites geoestacionários quanto terminais que operam com constelações de satélites não-geoestacionários.

Palavras-Chave—Serviço Fixo Terrestre; Serviço Fixo por Satélite; compartilhamento de frequências; interferência; terminais com distribuição ubíqua.

Abstract—This paper presents a mathematical model and proposes a methodology for its use in determining coordination areas around fixed service (FS) receivers so that, outside these areas, terminals of the high density fixed-satellite service (HDFSS) can be deployed without the need for coordination with the FS. The proposed model considers the usual protection criterion for FS receivers and the statistical characterization of the satellites movement, contemplating terminals operating with both, geostationary and non-geostationary satellites.

Keywords—Fixed Service, Fixed-satellite Service, Frequency sharing, interference, ubiquitously deployed terminals.

I. INTRODUÇÃO

Sistemas de alta densidade do serviço fixo por satélite (High Density Fixed-Satellite Services HDFSS) têm despertado bastante interesse devido à sua flexibilidade no que diz respeito à implantação ubíqua de terminais de pequeno porte, sem a necessidade de coordenação. Este interesse já era claro em 2003, quando a Conferência Mundial de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações (UIT), WRC2003, identificou faixas de frequência específicas para a operação de sistemas HDFSS. Observou-se, entretanto, que grande parte das faixas de frequência identificadas para o serviço é compartilhada, em caráter primário, com os sistemas do serviço fixo terrestre (FS) e, por este motivo, é importante que sejam desenvolvidos estudos e análises técnicas que permitam a regulamentação e o controle deste compartilhamento. Com este objetivo, o Grupo de Estudos 4 do Setor de Radiocomunicações da UIT, que trata do serviço fixo por satélite, tem desenvolvido estudos [1], [2] visando à criação

de uma recomendação contendo metodologias para o compartilhamento de frequências envolvendo estações terrenas (terminais) ubiquamente distribuídas e receptores do FS. Sistemas HDFSS podem operar com satélites em qualquer tipo de órbita, contudo, os satélites não-geoestacionários de órbita baixa (LEOs) e de órbita média (MEOs) são os mais indicados para estes sistemas devido ao tamanho e custo reduzidos de seus terminais.

A coordenação entre sistemas HDFSS e FS pode se tornar excessivamente complexa. Se, por exemplo, um determinado país escolhe destinar determinada faixa de frequências para uso exclusivo de sistemas FS e um país vizinho decide destinar a mesma faixa para uso exclusivo de sistemas HDFSS, é criado um cenário que pode resultar em interferências inaceitáveis na região fronteira entre os dois países. Nesta situação, torna-se necessária a determinação de uma região ao longo da fronteira, na qual a implantação de terminais HDFSS só seja possível através de um processo de coordenação com os receptores FS (região ou área de coordenação). Fora desta região, os terminais do sistema HDFSS podem ser implantados sem a necessidade de coordenação, o que constitui o principal atrativo deste sistema.

O conceito de área de coordenação é antigo e foi desenvolvido inicialmente para definir áreas em torno de estações terrenas do FSS, fora das quais outros sistemas que compartilham a mesma faixa de frequência podem operar sem a necessidade de coordenação. Sua determinação depende diretamente do critério utilizado na proteção do sistema vítima. Uma metodologia para a determinação de áreas de coordenação em torno de estações terrenas é apresentada no Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicações (RR) da UIT [3].

Neste trabalho, uma metodologia baseada naquela do Apêndice 7 do RR é proposta para determinação da região de coordenação em torno de um receptor do FS, de modo a protegê-lo das interferências geradas por terminais HDFSS que operam com satélites não-geoestacionários. A metodologia proposta utiliza um modelo matemático que considera os critérios de proteção usualmente utilizados para sistemas terrestres e a caracterização estatística dos parâmetros relacionados ao movimento orbital da constelação de satélites não-geoestacionários. Mais especificamente, foi considerado um critério de proteção análogo ao da Recomendação ITU-R F.1495, que impõe restrições ao comportamento estatístico da razão interferência-ruído na entrada do receptor FS, além de métodos específicos (analíticos ou via simulação) para a determinação do comportamento estatístico das posições dos

Erminio Da Cas Neto e José Mauro Fortes, Centro de Estudos em Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mails: erminio@cetuc.puc-rio.br e jmfortes@cetuc.puc-rio.br.

satélites. Com base no modelo matemático desenvolvido, a metodologia é aplicada a um cenário específico envolvendo a interferência produzida em um receptor FS pela emissão de estações terrenas que utilizam satélites em orbitas baixas - LEO.

A Seção II apresenta, inicialmente, um modelo matemático que permite a determinação da área de coordenação em torno de um receptor FS. O modelo é, em seguida, generalizado para considerar estações terrenas operando com constelações de satélites não-geoestacionários. Na Seção III, o modelo desenvolvido é aplicado a um cenário específico envolvendo sistemas HDFSS e FS operando na faixa de 28 GHz, ilustrando a determinação de uma região de coordenação ao longo da fronteira entre dois países, de modo a proteger o serviço fixo terrestre de um deles da interferência produzida pelo HDFSS do outro. Conclusões são apresentadas na Seção IV.

II. MODELO MATEMÁTICO

Nesta seção são apresentados os modelos matemáticos utilizados na determinação de áreas de coordenação, em torno de receptores do serviço fixo terrestre (FS), que visam proteger estes receptores das interferências geradas pelas transmissões de estações terrenas implantadas de maneira ubíqua. Dois casos são abordados: estações terrenas que utilizam um satélite geoestacionário e estações terrenas que utilizam satélites de uma constelação de satélites não-geoestacionários.

A. Caso geoestacionário

Considere inicialmente a geometria ilustrada na Figura 1, onde a transmissão de uma estação terrena para um satélite geoestacionário interfere em um receptor do serviço fixo terrestre. A potência interferente produzida pela emissão da

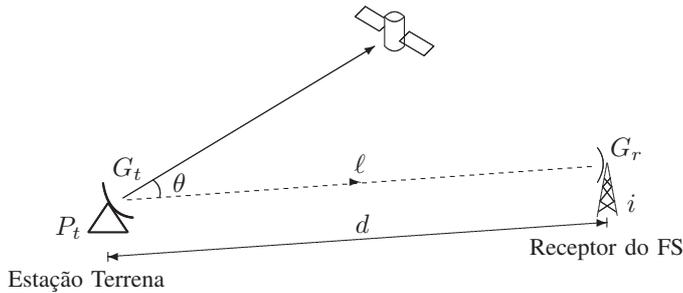


Fig. 1. Esquema ilustrativo da interferência produzida pela estação terrena de um enlace via satélite em um receptor do serviço fixo terrestre.

estação terrena no receptor do FS é dada por

$$i = P_t + G_t(\theta) + G_r - \ell \quad (1)$$

onde P_t é a densidade de potência do sinal transmitido pela estação terrena (em dB[W/MHz]), $G_t(\theta)$ é o ganho da antena transmissora da estação terrena na direção do receptor FS (em dBi), G_r é o ganho máximo de recepção da antena receptora do FS (em dBi) e ℓ é a perda de propagação no percurso estação terrena-receptor FS, em dB. Note que, em (1), foi considerada uma situação de pior caso onde a antena receptora do FS aponta na direção da estação terrena interferente.

Neste trabalho, a perda de propagação ℓ é modelada por uma variável aleatória. Sua função distribuição de probabilidade $F_\ell(L) = P(\ell \leq L)$ foi determinada utilizando-se o modelo matemático apresentado no Anexo 1 do Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicações (RR) da UIT [3]. Note que, sendo a perda ℓ modelada por uma variável aleatória, a densidade de potência interferente i que atinge o receptor FS será também uma variável aleatória, e sua função distribuição de probabilidade pode ser determinada a partir da função distribuição de probabilidade da variável ℓ e do relacionamento expresso em (1). Mais especificamente,

$$F_i(I) = P(i \leq I) = 1 - F_\ell(P_t + G_t(\theta) + G_r - I) \quad (2)$$

Suponha agora que o critério de proteção do receptor FS seja especificado por um nível de densidade de potência interferente I_p que não pode ser excedido por mais que $P\%$ do tempo. Em termos probabilísticos isto equivale a dizer que

$$P(i > I_p) \leq p \quad (3)$$

com $p = P/100$. Em outras palavras, a condição a ser satisfeita seria

$$1 - F_i(I_p) \leq p \quad (4)$$

Caso esta condição não seja satisfeita, é necessário que se proceda a um processo de coordenação entre os operadores dos sistemas envolvidos visando à elaboração de acordos de operação. Considerando-se (2), a condição em (4) se escreve

$$F_\ell(P_t + G_t(\theta) + G_r - I_p) \leq p \quad (5)$$

ou ainda,

$$F_\ell(L_p) = P(\ell \leq L_p) \leq p \quad (6)$$

com

$$L_p = P_t + G_t(\theta) + G_r - I_p \quad (7)$$

Note que, à medida que a distância d entre a estação terrena e o receptor FS aumenta, a função distribuição de probabilidade $F_\ell(L)$ da perda de propagação se desloca para a direita e, conseqüentemente, $F_\ell(L_p)$ diminui. Seja, então, d_p a distância para a qual a condição $F_\ell(L_p) = p$ é satisfeita. Observe que

$$\begin{cases} \text{se } d < d_p, & \text{tem-se } P(\ell \leq L_p) > p \\ \text{se } d = d_p, & \text{tem-se } P(\ell \leq L_p) = p \\ \text{se } d > d_p, & \text{tem-se } P(\ell \leq L_p) < p \end{cases} \quad (8)$$

Isto significa que d_p é a menor distância capaz de garantir que a restrição em (6) seja satisfeita. Distâncias menores do que d_p implicam na necessidade de coordenação entre os sistemas e, por este motivo, d_p é usualmente conhecida como distância de coordenação.

B. Caso não-geoestacionário

Observe que no caso da estação terrena estar utilizando um satélite geoestacionário, a única variável aleatória em (1) é a perda por propagação ℓ . No caso de um satélite não-geoestacionário, devido à variação de apontamento da estação terrena transmissora (pois a posição do satélite é variável), o ganho da antena da estação terrena na direção do receptor FS é também uma variável aleatória, se considerarmos como aleatória a posição do satélite não-geoestacionário. Mais especificamente, o ângulo entre o enlace de comunicação estação

terrena-satélite e a direção do receptor FS é uma variável aleatória e, conseqüentemente, o ganho da antena da estação terrena nesta direção é também uma variável aleatória.

Neste caso, o ganho $G_t(\theta)$ que aparece em (1) é modelado por uma variável aleatória g_t . Tem-se assim

$$i = P_t + g_t + G_r - \ell \quad (9)$$

ou ainda,

$$i = P_t + G_r - x \quad (10)$$

onde

$$x = \ell - g_t \quad (11)$$

Note que a função distribuição de probabilidade da variável aleatória x pode ser obtida a partir da função distribuição de probabilidade da perda ℓ e da função densidade de probabilidade do ganho g_t . Com efeito, é possível mostrar que, considerando-se ℓ e g_t variáveis aleatórias estatisticamente independentes,

$$F_x(X) = p_{g_t}(-X) * F_\ell(X). \quad (12)$$

onde “*” denota a operação de convolução e $p_{g_t}(\cdot)$ é a função densidade de probabilidade da variável g_t . Ainda em (12), a função $F_\ell(X)$ é obtida, como no caso de satélites geoestacionários, utilizando-se o modelo matemático presente no Anexo 1 do Apêndice 7 do Regulamento de Radiocomunicações da UIT. A função $p_{g_t}(X)$ pode ser obtida por dois meios: pelo Método Analítico [4] ou pela simulação do movimento orbital do satélite. O Método Analítico é um método muito preciso, utilizado, em geral, quando os cálculos envolvem probabilidades menores que 10^{-6} . A simulação do movimento orbital possui implementação mais simples, sendo mais indicada para cálculos que não envolvam probabilidades extremamente pequenas.

A função distribuição de probabilidade da densidade de potência interferente i pode ser determinada a partir da função distribuição de probabilidade da variável x e do relacionamento expresso em (10), obtendo-se

$$F_i(I) = P(i \leq I) = 1 - F_x(P_t + G_r - I) \quad (13)$$

Considerando-se (13), a condição em (4) se escreve

$$F_x(P_t + G_r - I_p) \leq p \quad (14)$$

ou ainda,

$$F_x(X_p) = P(x \leq X_p) \leq p \quad (15)$$

com

$$X_p = P_t + G_r - I_p \quad (16)$$

Note que, à medida que a distância d entre a estação terrena e o receptor FS aumenta, a função distribuição de probabilidade $F_x(X)$ da variável aleatória x se desloca para a direita e, conseqüentemente, $F_x(X_p)$ diminui. Novamente, seja d_p a distância para a qual a condição $F_x(X_p) = p$ é satisfeita. Observe que

$$\begin{cases} \text{se } d < d_p, & \text{tem-se } P(x \leq X_p) > p \\ \text{se } d = d_p, & \text{tem-se } P(x \leq X_p) = p \\ \text{se } d > d_p, & \text{tem-se } P(x \leq X_p) < p \end{cases} \quad (17)$$

Isto significa que d_p é a menor distância capaz de garantir que a restrição em (15) seja satisfeita (distância de coordenação).

Cabe ressaltar ainda que neste trabalho o critério utilizado para a proteção do receptor FS é um critério análogo ao

descrito na Rec. ITU-R F.1495 [5]. Critérios deste tipo impõem restrições à distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-ruído. Mais especificamente, as restrições são da forma

$$P\left(\frac{\mathcal{I}}{\mathcal{N}} > A_j\right) < p_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (18)$$

onde $\left(\frac{\mathcal{I}}{\mathcal{N}}\right)$ corresponde à razão interferência-ruído expressa como razão de densidade de potências. Na Rec. ITU-R F.1495, por exemplo, o número de restrições m é 3 e $A_1 = 10^{-1}$, $p_1 = 0, 2$, $A_2 = 10^{1,4}$, $p_2 = 10^{-4}$, $A_3 = 10^{1,8}$, $p_3 = 3 \times 10^{-6}$.

Expressando-se \mathcal{I} e \mathcal{N} em dB[W/MHz], as restrições em (18) se escrevem

$$P(i > 10 \log A_j + N) < p_j \quad j = 1, \dots, m \quad (19)$$

onde $i = 10 \log \mathcal{I}$ e $N = 10 \log \mathcal{N}$. Note que, para um dado valor de j , a condição em (19) é exatamente igual àquela em (4) com $I_p = 10 \log A_j + N$ e $p = p_j$. Assim os critérios de proteção do FS nos casos de interferências produzidas por transmissões de estações terrenas que operam com satélites geoestacionários (6) e não-geoestacionários (15) podem ser escritas, respectivamente, como

$$F_\ell(L_{p_j}) = P(\ell \leq L_{p_j}) \leq p_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (20)$$

com

$$L_{p_j} = P_t + G_t(\theta) + G_r - 10 \log A_j - N \quad (21)$$

e

$$F_x(X_{p_j}) = P(x \leq X_{p_j}) \leq p_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (22)$$

com

$$X_{p_j} = P_t + G_r - 10 \log A_j - N \quad (23)$$

A igualdade em (22), ou seja, $F_x(X_{p_j}) = p_j$, conduz à distância de coordenação associada à j -ésima restrição do critério de proteção em (18). O cálculo desta distância para os diversos azimutes em torno de um determinado receptor do FS conduz à área de coordenação associada a este receptor. A metodologia descrita nesta seção pode ainda ser utilizada na determinação de uma região de coordenação ao longo da fronteira entre dois países, utilizada para proteger o serviço fixo terrestre de um deles das interferências geradas por estações terrenas do serviço fixo por satélite, distribuídas ubiquamente, no outro país. Para isso, a metodologia deve ser aplicada a receptores do FS uniformemente distribuídos ao longo da fronteira entre os dois países.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Nesta seção, a modelagem matemática descrita na Seção II é aplicada a um cenário onde as transmissões de estações terrenas que utilizam uma constelação de satélites não-geoestacionários interferem em receptores do serviço fixo terrestre. Inicialmente foi determinada a área de coordenação em torno de um receptor FS com uma localização geográfica específica. A metodologia foi também aplicada a receptores FS uniformemente distribuídos ao longo de uma determinada fronteira, gerando uma região de coordenação ao longo da mesma.

O critério utilizado na proteção do receptor FS é o definido em (18), com $m = 2$, $p_1 = 0, 2$, $p_2 = 0, 0001$, $A_1 = 10^{-1}$ e $A_2 = 10^{1,4}$. Os dados pertinentes, relativos ao receptor FS são

TABELA I
PARÂMETROS DO RECEPTOR FS.

frequência [GHz]	28
ganho máximo da antena receptora [dBi]	48
ângulo de elevação da antena [graus]	0
feeder loss [dB]	0
densidade do ruído [dB[W/MHz]]	-140

apresentados na Tabela I. Eses parâmetros são considerados típicos de um enlace FS na faixa de 28 GHz.

No cenário analisado, foi considerada a interferência produzida por estações terrenas que utilizam uma constelação de satélites de baixa órbita (LEO). A constelação LEO considerada tem características orbitais análogas às do sistema GlobalStar, conforme indicado na Tabela II. Esta tabela inclui ainda dados referentes à estação terrena transmissora (típicos de um terminal de pequeno porte operando na faixa de 28 GHz). A Figura 2 ilustra, parcialmente, as trilhas dos 48

TABELA II
PARÂMETROS DO SISTEMA LEO

Parâmetros orbitais da constelação:	
número de satélites	48
número de planos	6
número de satélites por plano	8
inclinação do plano orbital [graus]	52
excentricidade da órbita [graus]	0
altura orbital [km]	1.414
Dados da estação terrena:	
frequência [GHz]	28
diâmetro da antena da estação terrena [m]	1,5
ganho máximo da antena transmissora [dBi]	56,3
densidade de potência da estação transmissora [dBW/MHz]	-24,09

satélites da constelação LEO.

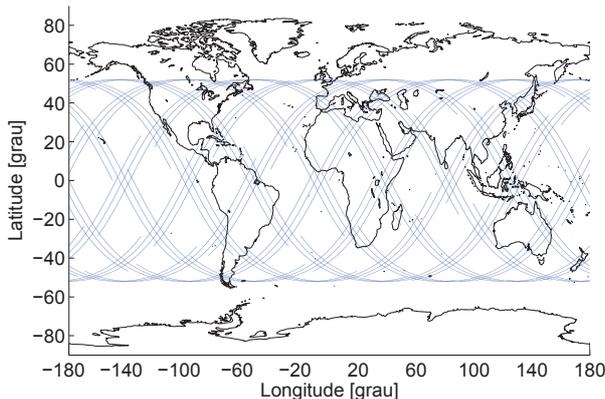


Fig. 2. Ilustração das trilhas da constelação LEO.

Para o estabelecimento de um enlace de comunicação entre a estação terrena e um dos satélites da constelação (dentre os possíveis satélites visíveis à estação terrena) foram utilizadas duas premissas: a primeira diz respeito ao ângulo de elevação da estação terrena e a segunda diz respeito à regra de escolha do satélite com o qual um enlace de comunicação será estabelecido. Neste trabalho, um ângulo de elevação mínimo de 15° foi considerado. Isto equivale a dizer que qualquer satélite visto pela estação terrena com um ângulo de elevação superior a 15° é elegível a estabelecer um enlace de comunicação com a estação terrena. No que tange a regra da escolha do

satélite com o qual a estação terrena estabelecerá um enlace, considerou-se que todos os satélites da constelação visto pela estação terrena com um ângulo de elevação superior a 15° têm a mesma probabilidade de ser escolhido.

O diagrama de radiação utilizado para a antena transmissora da estação terrena interferente é baseado nas recomendações ITU-R F.1245-1 e ITU-R S.465-6, sendo dado por

$$G_t(\theta) = \begin{cases} G_{max} - 2.5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\theta\right)^2 & ; 0^\circ < \theta \leq \theta_1 \\ G_1 & ; \theta_1 < \theta \leq \theta_2 \\ 32 - 25 \log \theta & ; \theta_2 < \theta \leq 48^\circ \\ -10 & ; 48^\circ < \theta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (24)$$

onde G_{max} é o ganho máximo da antena (em dBi), D é o diâmetro da antena (em metros), λ é comprimento de onda (em metros) e G_1 é o ganho do primeiro lóbulo lateral (em dBi), dado por $G_1 = 2 + 15 \log(D/\lambda)$. Ainda em (24), $\theta_1 = 20\lambda\sqrt{G_{max} - G_1}/D$ e $\theta_2 = 10^{\frac{32-G_1}{25}}$.

A função densidade de probabilidade do ângulo θ , entre a direção de apontamento da antena da estação terrena e a direção do receptor FS pode ser determinada de duas maneiras: simulando-se o movimento orbital dos satélites da constelação ou utilizando-se o Método Analítico desenvolvido em [4]. Optou-se pela simulação do movimento dos satélites (simulado por 735 períodos com intervalo de amostragem de 5 segundos). A partir de $F_\theta(\Theta)$, a função densidade de probabilidade $p_{g_t}(G)$, do ganho g_t da antena transmissora da estação terrena na direção do receptor FS, foi determinada considerando-se (24). A função distribuição de probabilidade de variável aleatória x foi determinada utilizando-se (12) e as distâncias de coordenação foram obtidas considerando-se a igualdade em (22), ou seja, $F_x(X_{p_j}) = p_j$ com X_{p_j} e p_j especificados por (23) e pelo critério de proteção do FS em (19). O cálculo das distâncias de coordenação para todos os azimutes em torno do receptor FS permitiu a determinação da área de coordenação associada ao receptor FS. A Figura 3 apresenta as áreas de coordenação obtidas para um receptor FS localizado nas coordenadas geográficas ($62,2444^\circ W, 13,1267^\circ S$) e associadas ao critério de proteção em (19) com $m = 2$. Os contornos em preto correspondem a $p_1 = 0,0001$ e $A_1 = 10^{1,4}$ e os contornos em vermelho a $p_2 = 0,2$ e $A_2 = 10^{-1}$. Na figura, os

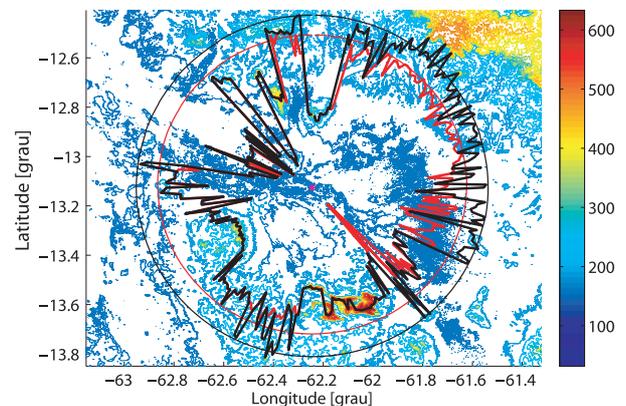


Fig. 3. Área de coordenação de um receptor FS localizado em ($62,2444^\circ W, 13,1267^\circ S$), considerando o relevo do entorno, comunicando com a constelação LEO.

contornos de traço mais fino representam áreas de coordenação determinadas sem se considerar o relevo do terreno. A forma aproximadamente circular das áreas de coordenação se deve às características de simetria da constelação LEO considerada e à existência de um impulso de área 0,83 em -10 dBi na função densidade de probabilidade do ganho g_t , o que faz com que este ganho torne-se predominante em todos os azimutes. Ainda na Figura 3, os contornos de bordas mais grossas correspondem a áreas de coordenação determinadas considerando-se o relevo do terreno no entorno do receptor FS. Note que a inclusão do relevo causou uma forte diminuição das distâncias de coordenação em algumas direções. Com efeito, ao longo de uma dada direção, características do perfil do relevo como elevações (colinas, serras, montanhas, etc) podem ser impactantes no resultado final. Caso se deseje que os dois critérios de proteção ($p_1 = 0,0001$ e $p_2 = 0,2$) sejam simultaneamente atendidos, o contorno de coordenação será definido pela maior das distâncias de coordenação em cada azimute.

O efeito do movimento dos satélites na área de coordenação pode ser observado comparando-se a Figura 3 com a Figura 4, na qual os contornos de coordenação foram determinados considerando-se um apontamento fixo para a antena transmissora da estação terrena interferente (apontamento na direção de um hipotético satélite parado num ponto do espaço com longitude $77,59^\circ\text{W}$, latitude $30,98^\circ\text{S}$ e distância 7792 km ao centro da Terra). Como na Figura 3, os contornos de traço mais

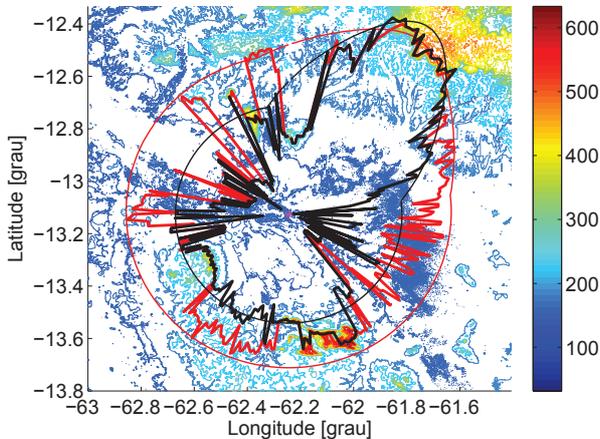


Fig. 4. Área de coordenação de um receptor FS localizado em $(62,2444^\circ\text{W}, 13,1267^\circ\text{S})$ comunicando com um único satélite constelação LEO.

fino representam as distâncias de coordenação quando o relevo não é considerado nos cálculos. Note que, conforme esperado, a área de coordenação possui um alongamento na direção oposta à direção de apontamento da antena transmissora da estação terrena.

Conforme já mencionado, a metodologia utilizada na determinação das áreas de coordenação em torno de receptores FS pode ser também utilizada na determinação de regiões de coordenação ao longo da fronteira de dois países, quando um deles destina uma faixa de frequência para uso exclusivo do HDFSS e o outro destina a mesma faixa para o FS. Para isso, basta considerar um conjunto de receptores FS com distribuição uniforme ao longo da fronteira dos dois

países. Este procedimento foi utilizado na determinação de uma região de coordenação em parte da fronteira entre o Brasil e a Bolívia (FS na Bolívia e HDFSS no Brasil). Foram considerados 28 receptores FS ao longo da fronteira com espaçamento de 10 km entre eles. A região de coordenação foi determinada de modo que ambas as restrições do critério de proteção em (19) fossem atendidas. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5. Vale lembrar que fora da região de coordenação (ver Figura 5), estações terrenas operando num sistema HDFSS no Brasil, podem ser implantadas sem a necessidade de coordenação com o serviço fixo terrestre do país vizinho (Bolívia).

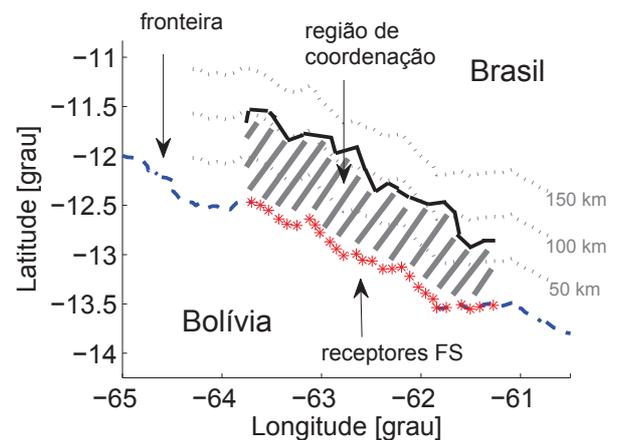


Fig. 5. Região de coordenação, baseada na constelação LEO, na fronteira entre o Brasil e a Bolívia.

IV. CONCLUSÕES

Foi apresentado um modelo matemático e proposta uma metodologia para sua utilização na determinação de áreas de coordenação em torno de receptores do FS de modo a protegê-los das interferências geradas por terminais do HDFSS ubiquamente distribuídos. O modelo proposto considera o critério de proteção usual para receptores FS e é aplicável a sistemas do HDFSS que operam com satélites geoestacionários ou não-geoestacionários. Um exemplo ilustrou a aplicação do modelo, com sucesso, na determinação de uma região de coordenação ao longo da fronteira entre dois países. Fora desta região, terminais HDFSS podem ser implantados em um dos países, de maneira ubíqua, sem a necessidade de coordenação com o FS do outro.

REFERÊNCIAS

- [1] *Possible methodology for frequency sharing between ubiquitously deployed earth stations of the fixed-satellite service and terrestrial services*, Anexo 4, Doc. 4A/290, Grupo de Trabalho 4A, UIT, Setembro 2013.
- [2] *Possible methodology for frequency sharing between ubiquitously deployed earth stations of the fixed-satellite service and stations of the terrestrial services in adjacent areas for sharing situations described in Appendix 7 of the Radio Regulations*, Anexo 5, Doc. 4A/468, Grupo de Trabalho 4A, UIT, Fevereiro 2014.
- [3] *Regulamento de Radiocomunicações*, União Internacional de Telecomunicações, 2012.
- [4] J.M. Fortes and R. Sampaio Neto, *An analytical method for assessing interference in interference environments involving NGSO satellite networks*, International Journal of Satellite Communications, Vol.17, pp 399-419, 1999.
- [5] *Interference criteria to protect the fixed service from time varying aggregate interference from other services sharing the 17.7-19.3 GHz band on a co-primary basis*, Rec. ITU-R F.1495, UIT, 1996.