

Áreas de Coordenação associadas a Estações Terrenas em Movimento operando no Serviço Fixo por Satélite na faixa de 27,5-29,5 GHz

Leonardo Leyva Lamas e José Mauro Pedro Fortes

Resumo— O presente trabalho aborda a proteção de receptores do Serviço Fixo Terrestre da interferência gerada por ESIM (*Earth Station in Motion*) a bordo de veículos terrestres, e propõe, inicialmente, uma metodologia para determinar as Áreas de Coordenação em torno da área de serviço da ESIM. Uma segunda metodologia, é também proposta para a determinação de uma Área de Coordenação Alternativa, baseada numa distância D pré estabelecida, de mais fácil aplicação em textos regulamentares. Finalmente, é feita uma análise da redução de potência de transmissão da ESIM (redução que depende de sua localização na área de serviço) necessária para garantir a proteção dos receptores do Fixo Terrestre fora da Área de Coordenação Alternativa proposta. As metodologias aqui desenvolvidas são avaliadas num cenário com relevo predominantemente montanhoso.

Palavras-Chave— Interferência, Estações terrenas em movimento, Serviço Fixo Terrestre, Critérios de Interferência, Área de coordenação, Serviço Fixo por Satélite.

Abstract— The present work deals with the protection of Fixed Service receivers from the interference generated by ESIMs (*Earth Stations in Motion*) on board land vehicles. It initially proposes a methodology to determine the Coordination Areas around the service area of the ESIM. A second methodology is also proposed for the determination of an Alternative Coordination Area, based on a predetermined distance D , of easier application in regulatory texts. An analysis of the ESIM transmission power reduction, which depends on the location of the ESIM in the service area, necessary to guarantee the protection of the fixed service receivers operating outside the proposed alternative coordination area was carried out at the end of the document.

Keywords— Interference, Earth Stations in Motion, Fixed Service, Interference Criteria, Coordination Area, Fixed Satellite Service.

I. INTRODUÇÃO

A prestação de serviços de comunicação por satélite utilizando plataformas móveis, foi tradicionalmente, realizada por sistemas do Serviço Móvel por Satélite (MSS) que operam em faixas de frequência relativamente baixas. Nos últimos quinze anos, houve um crescimento muito elevado no número de conexões de banda larga, devido principalmente a serviços baseados na Internet [1], indicando claramente que o espectro do Serviço Móvel por Satélite não era suficiente para atender a essa necessidade.

Este fato motivou a Conferência Mundial de Radiocomunicações de 2003 a considerar a utilização

Leonardo Leyva Lamas e José Mauro Pedro Fortes, Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: leoleyva@cetuc.puc-rio.br, jmfortes@cetuc.puc-rio.br.

de estações terrenas em movimento operando em faixas alocadas ao Serviço Fixo por Satélite (FSS). Na ocasião foi adotada a Resolução 902 contendo disposições regulamentares e operacionais para a utilização de estações terrenas operando a bordo de embarcações nas faixas de 5925-6425 MHz e 14-14,5 GHz.

O uso de faixas de frequência mais elevadas (e.g. 17,3-30,0 GHz) na prestação de serviços de comunicações, atendendo assim à necessidade de maior taxas de dados, vem sendo consideradas há algum tempo. Documentos regulamentares da ITU como os Relatórios ITU-R S.2223 e ITU-R S.2357 foram criados contendo requisitos técnicos e operacionais relativos ao uso de estações terrenas em movimento (ESIM) operando no FSS.

Mais recentemente, a Conferência Mundial de Radiocomunicações de 2015 (WRC-15) considera em sua Resolução 158 [2] o uso das faixas de frequência 17,7- 19,7 GHz (espaço-Terra) e 27,5-29,5 GHz (Terra-espaço) por estações terrenas em movimento (ESIM) que se comunicam com satélites geoestacionários do FSS, e solicita à União Internacional de Telecomunicações (ITU) estudos de compatibilidade e compartilhamento entre as estações terrenas em movimento e as estações, existentes ou planejadas, de outros serviços que utilizam a mesma faixa de frequências.

No presente trabalho, são propostas duas metodologias para a determinação de áreas de coordenação associadas às áreas de serviço de estações terrenas em movimento. Na Seção II, a modelagem matemática e metodologias propostas são desenvolvidas. A primeira delas considera uma densidade de potência de transmissão constante para as ESIM, e a segunda propõe uma Área de Coordenação Alternativa obtida a partir de uma distância D , pré-especificada e determinada de acordo com uma análise envolvendo curvas do tipo ROC (*Receiver Operating Characteristics*). Na Seção III as metodologias desenvolvidas são aplicadas numa região geográfica predominantemente montanhosa. Finalmente na Seção IV, as conclusões resultantes do estudo realizado são apresentadas.

II. MODELO MATEMÁTICO

Considerando-se a geometria apresentada na Figura 1, tem-se que a densidade de potência interferente produzida na entrada do receptor FS (*Fixed Service*) pela transmissão de uma estação terrena localizada na posição $\mathbf{r} \in \Omega_r$, expressa em [W/MHz], é dada por

$$i = \frac{p_t g_t(\theta) g_r(\phi)}{\ell} \quad (1)$$

onde p_t é a densidade de potência de transmissão da ESIM, dada em [W/MHz], $g_t(\theta)$ caracteriza o ganho da antena transmissora da ESIM na direção do receptor FS, $g_r(\phi)$ caracteriza o ganho da antena receptora do FS na direção da estação terrena interferente e ℓ é a perda de propagação sofrida pelo sinal no percurso entre a ESIM e a estação vítima do FS. A perda de propagação ℓ é modelada por uma variável aleatória.

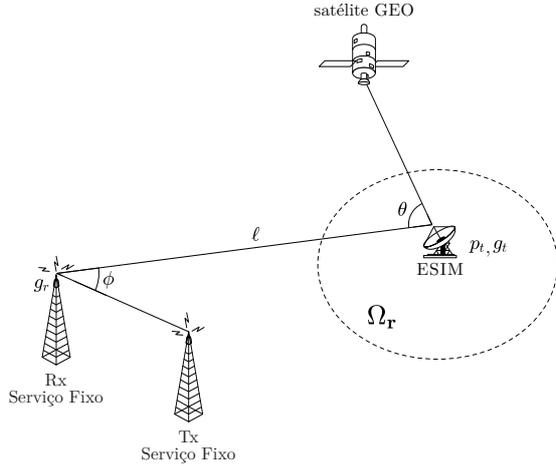


Fig. 1. Esquema ilustrativo da interferência gerada por uma ESIM em $\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}$ na entrada de um receptor do Serviço Fixo Terrestre.

Neste estudo é considerada a situação de pior caso, na qual a antena receptora da estação vítima do FS aponta na direção da ESIM, ou seja,

$$g_r(\phi) = g_r(0), \quad (2)$$

Neste caso, (1), é reescrita em dB como

$$i_{\text{dB}} = p_{t_{\text{dB}}} + g_{t_{\text{dB}}}(\theta) + g_{r_{\text{dB}}}(0) - \ell_{\text{dB}} \quad (3)$$

Note que em (3), i_{dB} e $p_{t_{\text{dB}}}$ estão expressos em [dB(W/MHz)], $g_{t_{\text{dB}}}(\theta)$ e $g_{r_{\text{dB}}}(0)$ expressos em [dBi] e a perda de propagação ℓ_{dB} em [dB].

A FDP (*Função Distribuição de Probabilidade*) da variável aleatória ℓ_{dB} , é obtida a partir da Recomendação ITU-R P.452-16 que fornece para um dado valor $P \in [1.0 \times 10^{-3}, 50]$, o valor L da perda de propagação não excedida durante $P\%$ do tempo, expressa em dB. Assim, variando-se o valor de P , é possível construir a FDP de variável aleatória ℓ_{dB} no intervalo $[L_{0.001}, L_{50}]$, dada por,

$$F_{\ell_{\text{dB}}}(L) = P(\ell_{\text{dB}} \leq L) = \frac{P}{100} \quad ; \quad L_{0.001} \leq L \leq L_{50} \quad (4)$$

com $L_{0.001}$ e L_{50} denotando, respectivamente, os níveis de atenuação excedidos durante 0,001% e 50% do tempo.

Como a perda ℓ_{dB} sofrida pelo sinal é modelada por uma variável aleatória podemos, a partir de (3), observar que a densidade de potência interferente i_{dB} é também uma variável aleatória. Sua Função Distribuição de Probabilidade é dada por,

$$F_{i_{\text{dB}}}(I) = P(i_{\text{dB}} \leq I) \quad (5)$$

ou, considerando-se (3),

$$F_{i_{\text{dB}}}(I) = P(i_{\text{dB}} \leq I) = P(p_{t_{\text{dB}}} + g_{t_{\text{dB}}}(\theta) + g_{r_{\text{dB}}}(0) - \ell_{\text{dB}} \leq I). \quad (6)$$

Fazendo-se uma manipulação de variáveis em (6) e supondo-se que a perda ℓ_{dB} sofrida pelo sinal no percurso é uma variável aleatória contínua, tem-se,

$$F_{i_{\text{dB}}}(I) = 1 - F_{\ell_{\text{dB}}}(p_{t_{\text{dB}}} + g_{t_{\text{dB}}}(\theta) + g_{r_{\text{dB}}}(0) - I) \quad (7)$$

A. Critérios de proteção contra a interferência

Os critérios de proteção são usualmente definidos por um conjunto de pares do tipo,

$$(I_j, P_j) \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

tal que os níveis de densidade de potência interferente $\{I_j, j = 1, \dots, M\}$ não podem ser excedidos por mais do que o $P_j\%$ do tempo. Em termos de probabilidade, estas condições podem ser expressas como,

$$P(i_{\text{dB}} > I_j) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

onde i_{dB} é a densidade de potência interferente gerada na entrada do receptor vítima e $p_j = P_j/100$.

Considerando-se a Função Distribuição de Probabilidade Complementar (CDF - *Complementary Distribution Function*) da variável aleatória i_{dB} , definida por $C_{i_{\text{dB}}}(I) = P(i_{\text{dB}} > I)$, as restrições em (9) podem ser reescritas como

$$C_{i_{\text{dB}}}(I_j) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

B. Determinação da Área de Coordenação

A metodologia aqui utilizada tem como base a garantia de que, fora da Área de Coordenação, o critério de interferência em (9), ou equivalentemente em (10) são satisfeitos. Inicialmente, introduz-se o conceito de distância de coordenação, $D_{\mathbf{r}}^j(\alpha)$, associada a uma ESIM na posição $\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}$, numa direção de azimute $\alpha \in (0, 2\pi]$, correspondente à j -ésima condição do critério de proteção em (9). O esquema ilustrativo da distância de coordenação para uma ESIM na posição $\mathbf{r} = \mathbf{R}$ numa direção de azimute $\alpha = A$ é apresentado na Figura 2.

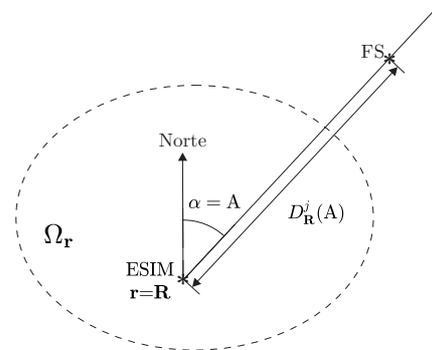


Fig. 2. Esquema ilustrativo da distância de coordenação $D_{\mathbf{r}}^j(\alpha)$, numa posição $\mathbf{r} = \mathbf{R}$ no azimute $\alpha = A$

À medida que a distância d entre a ESIM e o receptor FS aumenta, a probabilidade da densidade de potência interferente

i_{dB} ser maior que I_j diminui, dessa maneira, a distância de coordenação $D_{\mathbf{R}}^j(A)$ pode ser definida como a menor distância d tal que a j -ésima condição do critério de proteção é satisfeita $\forall d > D_{\mathbf{R}}^j(A)$.

O contorno de coordenação $\mathcal{C}_{\mathbf{r}}^j$, correspondente à j -ésima condição do critério de proteção, demarca o limite geográfico ao redor de uma ESIM na posição $\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}$ onde os receptores do FS precisam coordenar com o sistema interferente. Este contorno de coordenação é definido pelas distâncias de coordenação obtidas para todos os azimutes em torno da posição \mathbf{r} da ESIM, ou seja,

$$\mathcal{C}_{\mathbf{r}}^j = D_{\mathbf{r}}^j(\alpha) \quad ; \quad 0 < \alpha < 2\pi, \quad (11)$$

O esquema ilustrativo do contorno de coordenação para uma ESIM na posição $\mathbf{r} = \mathbf{R}$ é apresentado na Figura 3.

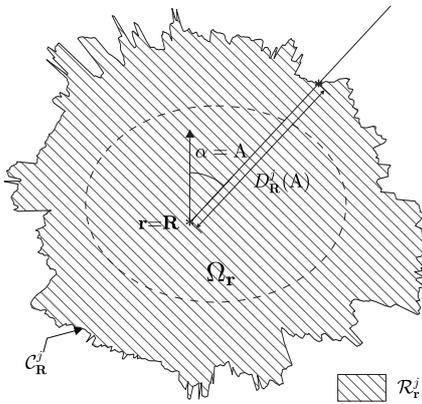


Fig. 3. Esquema ilustrativo do Contorno de Coordenação ao redor de uma estação terrena em movimento (ESIM) na posição $\mathbf{r} = \mathbf{R}$.

Para uma estação localizada em $\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}$, o contorno de coordenação $\mathcal{C}_{\mathbf{r}}^j$ associado à j -ésima condição do critério de interferência em (9), delimita uma Região de Coordenação $\mathcal{R}_{\mathbf{r}}^j$, definida como

$$\mathcal{R}_{\mathbf{r}}^j = \{\mathbf{y} \in \mathbb{R}^2 : |\mathbf{y} - \mathbf{r}| \leq D_{\mathbf{r}}^j(\text{azim}(\mathbf{y} - \mathbf{r}))\} \quad (12)$$

onde $\text{azim}(\cdot)$ é o operador que indica o azimute de um vetor, ou seja, o azimute de um vetor \mathbf{x} é dado por $\text{azim}(\mathbf{x})$.

A Área de Coordenação associada à área de serviço $\Omega_{\mathbf{r}}$, e correspondente à j -ésima condição do critério de proteção, é definida como a região fora da qual os receptores do FS podem operar sem a necessidade de coordenação com a estação terrena interferente, independentemente de sua localização. Esta área de coordenação é então dada por

$$\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j = \bigcup_{\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}} \mathcal{R}_{\mathbf{r}}^j \quad (13)$$

C. Área de Coordenação Pré Especificada

Dada a dificuldade em se utilizar áreas de coordenação como as obtidas a partir da metodologia descrita na seção II-B (ver Figura 13) em um texto de regulamentação, existe a possibilidade de, com base na região de coordenação obtida, se especificar uma distância fixa D , medida a partir da borda da área de serviço $\Omega_{\mathbf{r}}$, a partir da qual receptores do FS

podem operar sem a necessidade de coordenação. Entretanto, a escolha de D deve ser feita criteriosamente. Para isso, seja $\mathcal{R}_{\mathbf{r}}(D)$ a Região de Coordenação definida pela distância pré estabelecida D e associada a uma ESIM localizada na posição $\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}$, ou seja,

$$\mathcal{R}_{\mathbf{r}}(D) = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^2 : |\mathbf{x} - \mathbf{r}| \leq D\} \quad (14)$$

Neste caso, a área de Coordenação definida pela distância pré estabelecida D , e associada a toda a área de serviço $\Omega_{\mathbf{r}}$, é dada por

$$\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D) = \bigcup_{\mathbf{r} \in \Omega_{\mathbf{r}}} \mathcal{R}_{\mathbf{r}}(D) \quad (15)$$

Note que, conforme ilustrado na Figura 4, a utilização de uma área de coordenação associada a uma distância D pré estabelecida (*Área de Coordenação Pré-estabelecida*) gera algumas distorções quando comparada à área de coordenação real obtida pela metodologia apresentada na Seção II-B.

Assim é possível se associar a probabilidade de se ter uma localização onde a Área de Coordenação Pré-estabelecida $\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D)$ indique a necessidade de coordenação quando, na realidade, a coordenação não é necessária a uma probabilidade de falso alarme, estimada pela razão

$$P_{fa}(D) = \frac{\text{area}(\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D) \cap \bar{\mathcal{A}}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j)}{\text{area}(\bar{\mathcal{A}}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j)} \quad (16)$$

onde $\bar{\mathcal{A}}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j = \{\mathbf{x} \in \Omega_{\mathbf{s}} : \mathbf{x} \notin \mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j\}$, com $\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j$ dado por (13) e $\Omega_{\mathbf{s}}$ representando a região geográfica onde os serviços vítima (FS) e interferente (FSS/ESIM) compartilham a mesma faixa de frequências.

Além disso, é possível se associar a probabilidade de se ter uma localização onde a Área de Coordenação Pré-estabelecida $\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D)$ indique a necessidade de coordenação quando ela é realmente necessária a uma probabilidade de detecção, estimada pela razão

$$P_d(D) = \frac{\text{area}(\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D) \cap \mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j)}{\text{area}(\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j)} \quad (17)$$

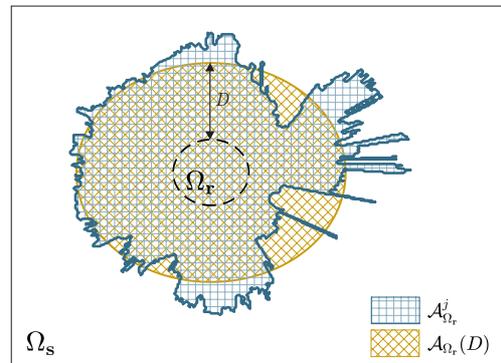


Fig. 4. Ilustração da Área de Coordenação Pré Estabelecida $\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}(D)$ e da Área de Coordenação Real $\mathcal{A}_{\Omega_{\mathbf{r}}}^j$ obtida a partir da metodologia descrita na Seção II-B.

O compromisso na escolha desses dois parâmetros é usualmente analisado a partir de curvas de $P_d(D) \times P_{fa}(D)$. Na

teoria de detecção, estas curvas são denominadas Curvas ROC (*Receiver Operating Characteristics*). O ideal seria se ter $P_d(D) = 1$ e $P_{fa}(D) = 0$.

D. Reduções na densidade de potência da ESIM

Até agora considerou-se que, independentemente de sua localização, a ESIM opera com uma densidade de potência de transmissão fixa. Uma solução para aumentar a probabilidade de detecção $P_d(D)$, é considerar que, dependendo de sua localização, a ESIM pode ser obrigada a operar com densidades de potência de transmissão reduzidas.

Assim, para cada localização $\mathbf{r} \in \Omega_r$, é possível determinar a densidade de potência máxima de transmissão p_r^j da ESIM que garanta que receptores do FS localizados fora de $\mathcal{A}_{\Omega_r}(D)$ satisfaçam a j -ésima restrição do critério de proteção, como

$$p_r^j = \min_{s \in \bar{\mathcal{A}}_{\Omega_r}(D)} p_{rs}^j \quad (18)$$

onde p_{rs}^j é a maior densidade de potência com a qual uma ESIM localizada em $\mathbf{r} \in \Omega_r$ pode operar, garantindo que um receptor do FS localizado em $\mathbf{s} \in \bar{\mathcal{A}}_{\Omega_r}(D)$ esteja protegido de acordo com a j -ésima restrição do critério de proteção. Uma análise do comportamento de p_r^j em Ω_r pode indicar o quão útil é $\mathcal{A}_{\Omega_r}(D)$. A necessidade de grandes reduções em p_r^j , indica que a utilização de $\mathcal{A}_{\Omega_r}(D)$ impõe restrições que podem impedir a operacionalização do serviço prestado pelas ESIM.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

No trabalho, são considerados os critérios de proteção formulados em duas recomendações do ITU-R: Recomendação ITU-R F.758-6 [3] (critério de longo prazo - $p_1 = 0,2$) e Recomendação ITU-R SM.1448 [4] (curto prazo - $p_2 = 5 \times 10^{-5}$).

O diagrama de radiação utilizado para a antena transmissora das ESIM é baseado nas recomendações ITU-R F.1245-2 [5] e ITU-R S.465-6 [6]. O diagrama de radiação utilizado é dado por

$$g_{\text{tab}}(\theta) = \begin{cases} G_{\text{max}} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{\mathcal{D}}{\lambda}\theta\right)^2 & ; 0^\circ < \theta < \theta_1 \\ G_1 & ; \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2 \\ 32 - 25 \cdot \log\theta & ; \theta_2 < \theta < 48^\circ \\ -10 & ; 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (19)$$

onde G_{max} é o ganho máximo da antena em (dBi), \mathcal{D} é o diâmetro da antena (metros), λ é o comprimento de onda (metros) e G_1 é o ganho do primeiro lóbulo lateral (dBi).

Em todos os cenários analisados, considerou-se que, a ESIM transmite a maior densidade de potência tal que os níveis de e.i.r.p. (*equivalent isotropically radiated power*) transmitidos fora do eixo satisfaçam aos limites contidos na Recomendação ITU-R S.524-9 [7]. No caso de antenas com diâmetros de 0,5 metros, a densidade de potência máxima é de aproximadamente igual a 1 dB(W/MHz). Além disso, foram utilizados, em todos os cenários, os parâmetros técnicos apresentados na Tabela I.

A região considerada refere-se a uma região geográfica em torno da longitude 107°O e latitude 35°N , localizada no estado

TABELA I

OUTROS PARÂMETROS UTILIZADOS NOS EXEMPLOS APRESENTADOS NAS SEÇÕES SEGUINTE.

| Parâmetro | Valor |
|-------------------------------------|--------|
| frequência [GHz] | 29 |
| diâmetro antena do receptor FS [m] | 0,5 |
| altitude satélite [km] | 35.786 |
| altura sobre o solo ESIM [m] | 2 |
| diâmetro da antena ESIM [m] | 0,5 |
| altura sobre o solo receptor FS [m] | 100 |

de New Mexico, no Estados Unidos, onde o nível do terreno varia de 1.500 a 4.000 metros aproximadamente. Considerou-se o satélite do FSS servindo as ESIM na posição orbital $107,5^\circ\text{O}$. A região de serviço das ESIM Ω_r considerou-se um trecho de aproximadamente 215 km da rodovia interestadual I-40, localizado entre as cidades de Gallup e Albuquerque. Para a implementação dos procedimentos descritos nas seções II-C e II-D, as possíveis posições da ESIM ao longo da rodovia foram discretizadas em pontos espaçados de aproximadamente 1 km.

Os resultados obtidos pela aplicação do procedimento descrito na Seção II-C são apresentados na Figura 5, onde

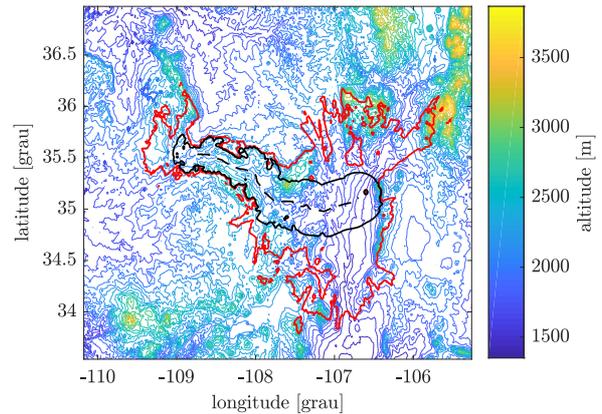


Fig. 5. Áreas de Coordenação (ESIMs operando em um trecho da rodovia I-40), numa região com topografia predominantemente montanhosa.

$\mathcal{A}_{\Omega_r}^1$ em vermelho, corresponde à restrição de longo prazo ($p_1 = 0,2$) e $\mathcal{A}_{\Omega_r}^2$ em preto, corresponde à restrição de curto prazo ($p_2 = 5 \times 10^{-5}$).

Note que a área de coordenação correspondente à restrição de longo prazo é mais restritiva do que a área de coordenação correspondente à restrição de curto prazo. Observe que, nos primeiros 100 km da rodovia a partir da cidade de Gallup, os limites das duas áreas de coordenação são bastante parecidos, devido a que a rodovia é margeada, em ambos os lados, por altas elevações.

A aplicação do procedimento descrito na Seção II-C a este cenário, indicou, com base na curva ROC correspondente ao critério de longo prazo, que a distâncias $D = 70$ km e $D = 90$ km parecem ser as candidatas mais apropriadas conforme ilustrado na Figura 6.

Os contornos associados as $(\mathcal{A}_{\Omega_r}(70)$ e $\mathcal{A}_{\Omega_r}(90))$, estão

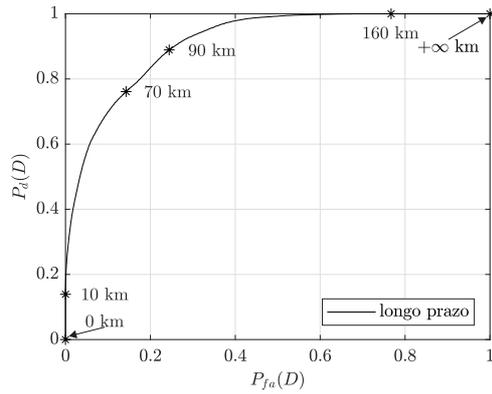


Fig. 6. Curva ROC associada ao critério de longo prazo ($p_1 = 0, 2$).

ilustrados na Figura 7.

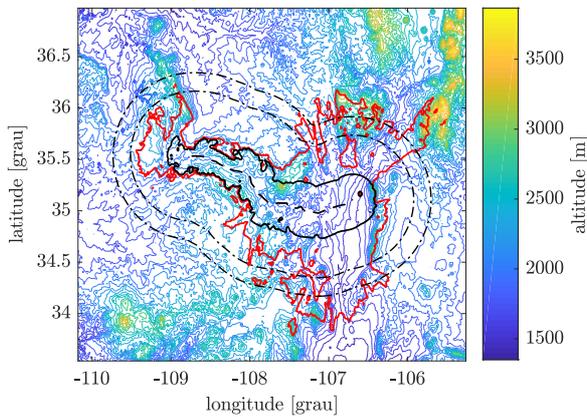


Fig. 7. Áreas Pré-Especificada para distâncias $D = 70$ km e $D = 90$ km ao redor de uma rodovia numa região predominantemente montanhosa.

A figura 8 apresenta os valores p_r^j da máxima densidade de potência que garante que a j -ésima condição do critério de proteção seja atendida, definida em (18), em função da posição $\mathbf{r} \in \Omega_r$ da ESIM, para distância D igual a 90 km. Note que, em sistemas onde é preciso operar com a máxima densidade de potência de transmissão permitida pela Recomendação ITU-R S.524-9, neste caso igual a 1 dB(W/ MHz), vai-se impor restrições à densidade de potência de transmissão baseadas no critério de longo prazo, podendo chegar a reduções de até 11 dB. Resultados que consideram outros tipos de relevo e outros tipos de áreas de serviço podem ser encontrados em [8].

IV. CONCLUSÕES

No trabalho considerou-se, inicialmente, que as ESIM operam com a mesma densidade de potência em toda a área de serviço (maior densidade de potência que satisfaz os limites de densidade de *e.i.r.p.* da Recomendação ITU-R S.524-9). Devido ao relevo do terreno as áreas de coordenação obtidas tendem a ter uma forma bastante complexa, sendo assim de difícil aplicação em procedimentos regulamentares. Assim, foi proposta, uma Área de Coordenação Alternativa de mais fácil

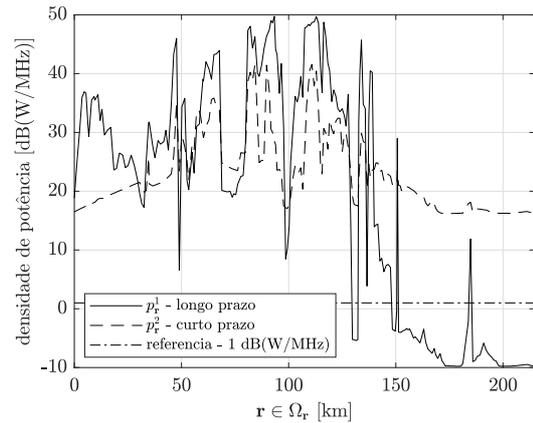


Fig. 8. Máxima densidade de potência de transmissão das ESIM ao longo do trecho da rodovia I-40 considerado. A posição $\mathbf{r} \in \Omega_r$ é caracterizada pela distância ao longo da rodovia, medida a partir da cidade de Gallup.

aplicação prática, baseada em uma distância fixa D , escolhida a partir do análise de curvas do tipo ROC.

A teoria desenvolvida foi aplicada um trecho de rodovia numa região geográfica com relevo predominantemente montanhoso. Em termos de áreas de coordenação, verificou-se que, o critério de proteção de longo prazo mostrou-se mais restritivo, produzindo uma área de coordenação maior do que aquela gerada pelo critério de curto prazo. Também no caso da redução de potência, verificou-se que o critério de proteção de longo prazo impunha reduções de potência maiores do que as impostas pelo critério de curto prazo.

REFERÊNCIAS

- [1] *Operation of earth stations in motion (ESIM) communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service allocations at 17.7-19.7 GHz and 27.5-29.5 GHz*, Annex 16, Doc. 4A/196-E, ITU-R Radiocommunication Study Groups, Geneva, October 2016.
- [2] *Use of the frequency bands 17.7-19.7 GHz (space-to-earth) and 27.5-29.5 GHz (earth-to-space) by earth stations in motion communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service*, Resolution 158, Geneva, 2015.
- [3] *System parameters and considerations in the development of criteria for sharing or compatibility between digital fixed wireless systems in the fixed service and systems in other services and other sources of interference*, Recommendation ITU-R F.758-6, Geneva, September 2015.
- [4] *Determination of the coordination area around an earth station in the frequency bands between 100 MHz and 105 GHz*, Recommendation ITU-R SM.1448, Geneva, May 2000.
- [5] *Mathematical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio-relay system antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz*, Recommendation ITU-R F.1245-1, Geneva, May 2000.
- [6] *Reference radiation pattern for earth station antennas in the fixed satellite service for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to 31 GHz*, Recommendation ITU-R S.465-6, Geneva, January 2010.
- [7] *Maximum permissible levels of off-axis e.i.r.p. density from earth stations in geostationary-satellite orbit networks operating in the fixed satellite service transmitting in the 6 GHz, 13 GHz, 14 GHz and 30 GHz frequency bands*, Recommendation ITU-R S.524-9, Geneva, 2006.
- [8] L. Leyva, *Áreas de Coordenação associadas a Estações Terrenas em Movimento operando no Serviço Fixo por Satélite na faixa de 27,5-29,5 GHz.*, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Março 2018.