

Uma Análise do Compartilhamento de Frequências entre o Serviço Fixo Terrestre e o Serviço Científico nas Faixas de 2,025-2,101 GHz e 2,200-2,290 GHz

José Mauro P. Fortes

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225
Gávea, Rio de Janeiro - RJ 22453

Resumo — Este trabalho visa uma análise do compartilhamento de frequências entre enlaces do Serviço Fixo Terrestre e enlaces de aplicações científicas nas faixas de 2,025-2,110 GHz e 2,200-2,290 GHz. Esta análise se concentra nas faixas 2,023-2,096 GHz e 2,222-2,309 GHz, que correspondem aos canais 5, 6, 5' e 6' do plano de canalização do Serviço Fixo Terrestre [1]. O trabalho apresenta uma modelagem original do problema, que utiliza o Método Analítico proposto em [2] na determinação do comportamento estatístico da interferência produzida por um satélite do serviço científico sobre receptores do Serviço Fixo Terrestre.

I. INTRODUÇÃO

Entre as faixas de frequências atribuídas para os enlaces de derviço do Serviço Móvel por Satélite (MSS) estão as faixas de 1980-2010 MHz e 2170-2200 MHz. No Brasil, estas faixas são compartilhadas com o Serviço Fixo Terrestre (FS), em particular com os rádios digitais de 34 Mbit/s (RADI-234). No caso específico da rede MSS ICO, os enlaces de serviço no Brasil estarão restritos às sub-faixas de frequência 1995-2010 MHz e 2185-2200 MHz, havendo incompatibilidade com os canais 4 e 3' do plano de canalização do FS para estas faixas [1]. Uma das soluções propostas para resolver este problema é a transferência dos enlaces do serviço fixo terrestre que operam nos canais 4 e 3' para os canais 5, 6, 5' e 6', onde não haveria problemas com os enlaces de serviço dos sistemas MSS. Entretanto estes novos canais ocupam faixas de frequência compartilhadas pelos serviços científicos, havendo portanto a necessidade de se analisar a possibilidade de compartilhamento entre estes dois serviços, o que motivou o presente trabalho.

Neste trabalho é feita uma análise do compartilhamento de frequências entre enlaces do Serviço Fixo Terrestre e enlaces de aplicações científicas nas faixas de 2,025-2,110 GHz e 2,200-2,290 GHz. Esta análise se concentra nas faixas 2,023-2,096 GHz e 2,222-2,309 GHz, que correspondem aos canais 5, 6, 5' e 6' do plano de canalização do Serviço Fixo Terrestre. Na Seção II, a utilização desta faixa de frequências no Brasil é comentada. Na Seção III, é examinada a situação particular da interferência produzida por uma estação terrena que opera transmitindo portadoras de telemetria, telecomando e *ranging* para os satélites de coleta de dados e sensoriamento remoto SCD1, SCD2 e CBERS no receptor de um enlace típico do Serviço Fixo terrestre a 34 Mbit/s no Canal 5 (2,038 GHz, RADI-234). Os resultados obtidos indicam que, mesmo sem considerar a discriminação devida ao diagrama de recepção da antena do receptor interferido e o relevo do terreno, as distâncias

necessárias para proteção do receptor do Serviço Fixo terrestre são da ordem de 50 a 170 km, dependendo do tipo de transmissão. Isto significa que a proteção dos receptores do Serviço Fixo Terrestre contra interferências produzidas pelas estações terrenas que atualmente operam no Brasil com os satélites de coleta de dados e sensoriamento remoto pode ser facilmente garantida.

II. UTILIZAÇÃO DAS FAIXAS DE 2,023-2,096 GHz E 2,222-2,309 GHz

No Brasil, as faixas 2,025-2,110 GHz e 2,200-2,290 GHz estão alocadas para o Serviço Fixo Terrestre, o Serviço Móvel, o Serviço de Operação Espacial, o Serviço de Exploração da Terra e o Serviço de Pesquisa Espacial. Atualmente, estas faixas estão sendo basicamente utilizadas pelo Serviço Fixo Terrestre e por estações terrenas transmissoras e receptoras que utilizam os satélites de sensoriamento remoto e coleta de dados.

De acordo com informações fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial), as emissões Terraespaço se restringem a portadoras de telemetria, telecomando, *ranging* e testes para os satélites SCD1 e SCD2 (Satélite de Coleta de Dados). Estações terrenas transmissoras estão localizadas em Cuiabá (MT), Cachoeira Paulista (SP), Alcântara (MA), Natal (RN) e futuramente em Santa Maria (RS). No sentido espaço-Terra, existem operando atualmente a estação de recepção de imagens de Cuiabá, além de estações de TT&C localizadas em Alcântara, Natal, Manaus (AM, estação de recepção do SIVAM) e Santa Maria (previsão). Estas estações visam receber sinais dos satélites SCD1, SCD2, CBERS. Além disso, está prevista a instalação de estações de recepção de plataformas de coleta de dados que deverão operar com os satélites SCD1, SCD2, CBERS1, CBERS2 e SCD3. Operam ainda nestas faixas estações receptoras associadas a outras aplicações científicas que incluem o Espectrógrafo Decimétrico Digital em São José dos Campos (SP), o projeto GEM (*Galactic Emission Mapping*) em Cachoeira Paulista e a estação VLBI em Eusébio (CE). Os satélites que operam no Brasil na Banda S incluem o SPOT, o ERS, o LandSat5, o LandSat7, o Topex/Poseidon, além dos já citados SCD1, SCD2 e CBERS.

III. SITUAÇÃO ANALISADA E RESULTADOS NUMÉRICOS

De acordo com dados fornecidos pelo INPE, correspondentes a um enlace típico do SCD1, o lance de descida opera com uma densidade de fluxo de potência na superfície da Terra da ordem de 164 dBW/m² numa banda de 800

kHz, não impondo dificuldades ao compartilhamento com o Serviço Fixo Terrestre. Assim, optou-se por um exame do lance de subida, onde a Estação terrena opera com uma *e.i.r.p.* típica de 58 dBW. Considerou-se a situação particular em que uma estação terrena do SCD1 interfere num receptor do Serviço Fixo Terrestre que opera num enlace com as seguintes características (RADI-234):

- Potência de Transmissão: 3 dBW
- Distância: 55 km
- Ganho da antena transmissora: 34 dBi
- Ganho da antena receptora: 34 dBi
- Taxa de transmissão: 34 Mbit/s
- Faixa ocupada: 20 MHz
- Frequência: 2,038 GHz (Canal 5)
- Outras perdas no receptor (cabos, alimentadores, etc.): 3,5 dB
- Temperatura de ruído do sistema: 1567,1 K
- Diagrama de radiação das antenas: ITU-R Rec. F.699 (ver Figura 1)

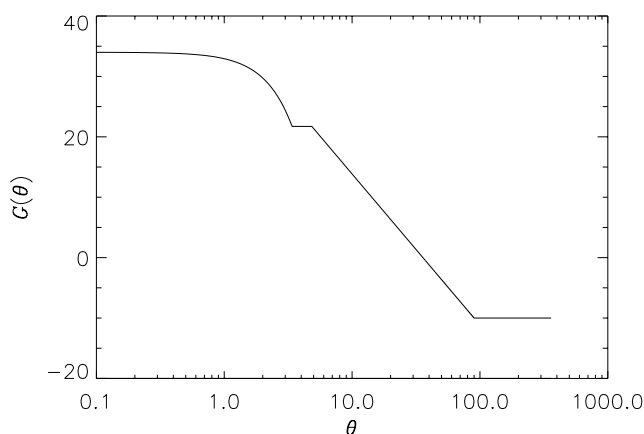


Fig. 1. Diagrama de Radiação da Antena de Recepção do RADI-234

Neste enlace, a potência recebida (*clear sky*) C_{CS} é igual a 35,93 dBm, e a potência de ruído térmico N é igual a 93,6382 dBm, obtendo-se uma razão portadora ruído térmico (*clear sky*)

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{CS_{dB}} = 57,70 \text{ dB} \quad (1)$$

A estação terrena interferente opera com o satélite SCD1 e tem as seguinte características:

- Potência de transmissão: 13 dBW
- Banda ocupada: 600 kHz
- Ganho da antena transmissora: 45 dBi
- Diagrama de radiação da antena transmissora: RR Apêndice S8 (ver Figura 2)
- Mínimo ângulo de elevação para operação: 5 graus
- Características do satélite: Altura: 750 km, Inclinação: 25 graus

Na ausência de interferência, a razão portadora ruído térmico no receptor do Serviço Fixo terrestre se escreve

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{1}{b} \left(\frac{C}{N}\right)_{CS} \quad (2)$$

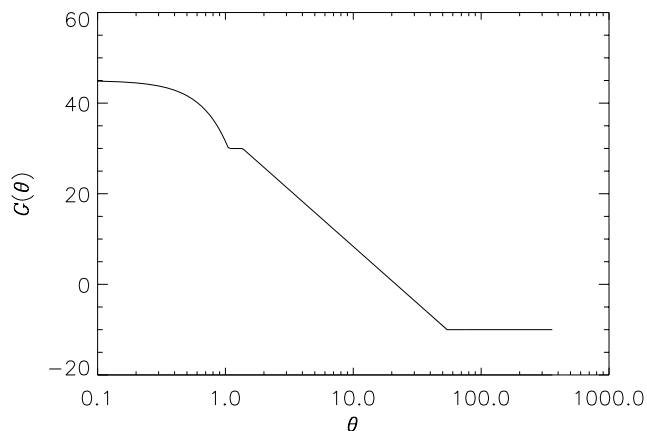


Fig. 2. Diagrama de Radiação da Antena da Estação Terrena (SCD1)

onde $\frac{1}{b}$ é o fator de desvanecimento e $(C/N)_{CS}$ é a razão portadora ruído térmico em *clear sky*, neste exemplo dada por (1). Em dB, tem-se

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{N}\right)_{CS_{dB}} - b_{dB} \quad (3)$$

Neste trabalho, considera-se que b_{dB} é modelado por uma variável aleatória com Função Distribuição de Probabilidade dada por

$$F_{b_{dB}}(M) = P(b_{dB} \leq M) = 1 - \frac{1}{100} \frac{K_1 d_h^{3,6} f^{0,89}}{\left(1 + \frac{D}{d_h}\right)^{1,4}} 10^{-\frac{M}{10}} \quad (4)$$

onde K_1 é o fator topográfico climático, tomado igual a $8,1 \times 10^{-6}$, d_h é o comprimento do enlace em [km], f é a frequência da portadora em [GHz] e D é o módulo da diferença entre as altitudes das antenas transmissora e receptora em [m]. Considerando-se (3) e (4) é possível determinar a função distribuição de probabilidade da razão portadora ruído térmico no receptor do Serviço Fixo Terrestre obtendo-se

$$\begin{aligned} F_{(C/N)_{dB}}(\alpha) &= P\left(\left(\frac{C}{N}\right)_{dB} \leq \alpha\right) \\ &= P\left(\left(\frac{C}{N}\right)_{CS_{dB}} - b_{dB} \leq \alpha\right) \\ &= P\left(b_{dB} > \left(\frac{C}{N}\right)_{CS_{dB}} - \alpha\right) \\ &= 1 - F_{b_{dB}}\left(\left(\frac{C}{N}\right)_{CS_{dB}} - \alpha\right) \end{aligned} \quad (5)$$

No caso em exame, envolvendo o receptor de um enlace RADI-234 onde $(C/N)_{CS} = 57,70$ dB, esta função distribuição de probabilidade é apresentada na Figura 3. Esta figura ilustra também os critérios de proteção do Serviço Fixo terrestre para enlaces *Medium Grade Class 3 (+)* e *Medium Grade ISDN (*)*. Estes critérios são expressos por:

- *Medium Grade Class 3*
 $P((C/N)_{dB} \leq 9,5) \leq 0,00002$ para $BER = 10^{-3}$
 $P((C/N)_{dB} \leq 11,5) \leq 0,002$ para $BER = 10^{-6}$

- *Medium Grade ISDN*
 $P((C/N)_{dB} \leq 9,5) \leq 0,00015$ para $BER = 10^{-3}$
 $P((C/N)_{dB} \leq 11,5) \leq 0,015$ para $BER = 10^{-6}$

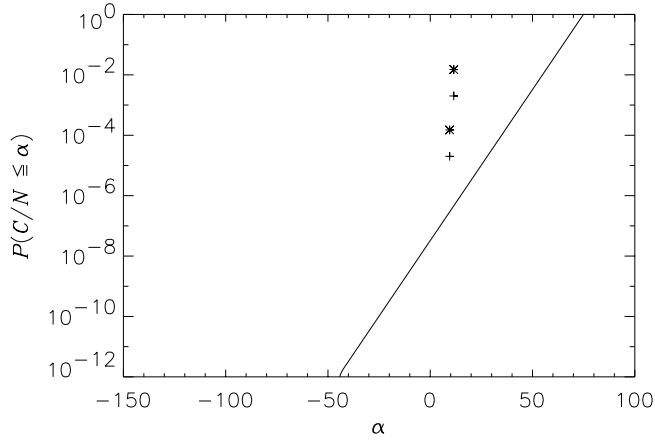


Fig. 3. Função Distribuição de Probabilidade da razão portadora ruído térmico no receptor do enlace RADI-234 considerado (C/N) expressa em dB). A figura inclui os critérios de proteção do Serviço Fixo terrestre para enlaces *Medium Grade Class 3* (+) e *Medium Grade ISDN* (*).

Na presença de interferência, a razão portadora ruído total (ruído térmico mais interferência) se escreve

$$\frac{C}{N+I} = \frac{\frac{C}{N}}{\left(1 + \frac{I}{N}\right)} \quad (6)$$

Esta razão, expressa em dB, é neste trabalho caracterizada por uma variável aleatória z que, a partir de (6), é dada por

$$z = \left(\frac{C}{N+I}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{N}\right)_{dB} - 10 \log \left(1 + \frac{I}{N}\right) \quad (7)$$

ou seja,

$$z = x + y \quad (8)$$

com as variáveis aleatórias x e y dadas respectivamente por

$$x = \left(\frac{C}{N}\right)_{dB} \quad (9)$$

e

$$y = -10 \log \left(1 + \frac{I}{N}\right) \quad (10)$$

Note que a variável aleatória x corresponde à razão portadora ruído térmico definida em (3), sendo portanto dependente do fator de desvanecimento $\frac{1}{b}$. Sua função distribuição de probabilidade é apresentada na Figura 3. Por outro lado, a variável aleatória y reflete o comportamento estatístico da potência interferente I , podendo portanto ser considerada estatisticamente independente de x . Desse modo, a função densidade de probabilidade da variável aleatória z se escreve

$$p_z(Z) = p_x(X) * p_y(Y) \quad (11)$$

sendo a sua função distribuição de probabilidade dada por

$$F_z(Z) = F_x(X) * p_y(Y) \quad (12)$$

Para a determinação da função densidade de probabilidade da variável aleatória y , considere a situação em que o receptor do Serviço Fixo está situado a uma distância d do local da estação terrena interferente, com sua antena receptora apontada na direção desta estação interferente. Nesta condições, a razão interferência ruído térmico no receptor do Serviço Fixo se escreve

$$\left(\frac{I}{N}\right)_{dB} = K + G_T(\beta) - 20 \log d \quad (13)$$

onde $G_T(\beta)$ é o ganho de transmissão da antena da estação terrena interferente na direção do receptor interferido e K é uma constante que depende da potência interferente transmitida, da frequência de transmissão, e de características do sistema de recepção interferido que incluem temperatura de ruído, ganho da antena receptora e perdas de cabos e alimentadores (no caso particular em exame, $K = 128,51$ dB). Note que, em (13), β é o ângulo entre a direção de máxima radiação da antena da estação terrena interferente e a direção de azimute γ segundo a qual a estação terrena interferente vê o receptor interferido, conforme ilustrado na Figura 4. Considerando (10) e (13), obtem-se

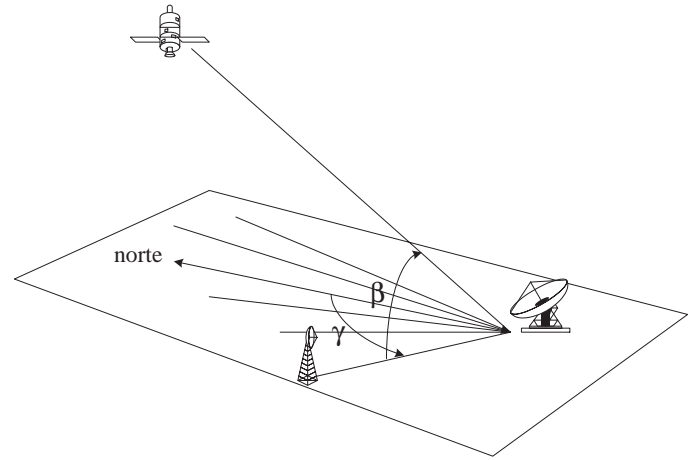


Fig. 4. Ângulo entre a direção de máxima radiação da antena da estação terrena interferente e a direção de azimute segundo a qual a estação terrena interferente vê o receptor interferido.

$$y = -10 \log \left(1 + 10^{\frac{K+G_T(\beta)-20 \log d}{10}}\right) \quad (14)$$

Note que para um dado valor de d , as características estatísticas de y dependerão apenas das características estatísticas do ângulo β , sendo então possível determinar a função densidade de probabilidade de y a partir da função densidade de probabilidade de β .

Considerando-se a estação terrena de Cuiabá e o satélite SCD1, utilizou-se o Método Analítico [2, 3, 4] para determinar a função densidade de probabilidade do ângulo β . Esta função densidade de probabilidade foi determinada para valores de γ variando de 0 a 359 graus. A função densidade de probabilidade de y foi então obtida a partir de (14), permitindo finalmente a obtenção de $F_z(Z)$ a partir de (12).

A Figura 5 apresenta a função distribuição de probabilidade $F_z(Z)$ da razão portadora ruído total do sistema

(ruído térmico mais interferência) para $\gamma = 10$ graus. Esta figura ilustra também os critérios de proteção do Serviço Fixo terrestre para enlaces *Medium Grade Class 3* (+) e *Medium Grade ISDN* (*), que no caso de enlaces sujeitos a interferência, são expressos por:

- *Medium Grade Class 3*
 $P(z \leq 9,5) = P((C/(N+I))_{dB} \leq 9,5) \leq 0,00002$
para $BER = 10^{-3}$
 $P(z \leq 11,5) = P((C/(N+I))_{dB} \leq 11,5) \leq 0,002$
para $BER = 10^{-6}$
- *Medium Grade ISDN*
 $P(z \leq 9,5) = P((C/(N+I))_{dB} \leq 9,5) \leq 0,00015$
para $BER = 10^{-3}$
 $P(z \leq 11,5) = P((C/(N+I))_{dB} \leq 11,5) \leq 0,015$
para $BER = 10^{-6}$

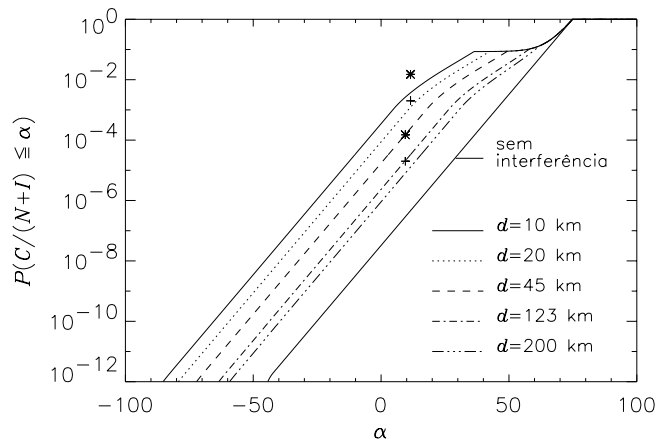


Fig. 5. Função Distribuição de Probabilidade da razão portadora ruído total do sistema (ruído térmico mais interferência, expressa em dB) para $\gamma = 10^\circ$ e diversos valores da distância d entre o transmissor interferente e o receptor interferido. Estão ilustrados na figura os critérios de proteção do Serviço Fixo terrestre para enlaces *Medium Grade Class 3* (+) e *Medium Grade ISDN* (*).

Note, da Figura 5, que no caso da direção caracterizada por os critérios de proteção para enlaces *Medium Grade ISDN* são atendidos para $d > 45$ km e os critérios de proteção para enlaces *Medium Grade Class 3* são atendidos para $d > 123$ km. As figuras 6 e 7 apresentam curvas da distância mínima para proteção do Serviço Fixo em função do azimute para enlaces *Medium Grade ISDN* e *Medium Grade Class 3*, respectivamente. A região de exclusão que garante a proteção do Serviço Fixo Terrestre contra a interferência gerada pela estação terrena localizada em Cuiabá é ilustrada nas figuras 8 e 9. Na Figura 8 estão também indicadas as localidades brasileiras onde existem (ou existirão em futuro próximo) estações terrenas que operam com os satélites de coleta de dados e sensoriamento remoto na Banda S. Com relação aos resultados obtidos, as seguintes observações são importantes:

1. O resultado obtido corresponde à situação onde a discriminação devida ao diagrama de recepção da antena do receptor RADI-234 não é considerada, ou seja, a antena do receptor aponta diretamente para a estação terrena interferente.
2. O relevo de terreno não foi considerado nos cálculos. A consideração do relevo do terreno irá certamente conduzir a distâncias de proteção menores.

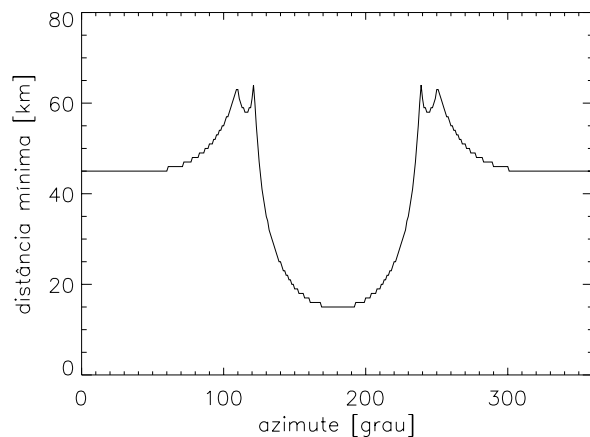


Fig. 6. Distância mínima para proteção do Serviço Fixo (*Medium Grade ISDN*).

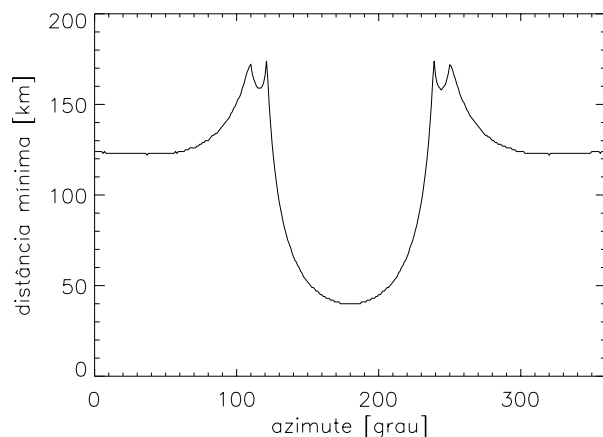


Fig. 7. Distância mínima para proteção do Serviço Fixo (*Medium Grade Class 3*.)

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho examinou a situação particular envolvendo a interferência produzida por uma estação terrena que opera transmitindo portadoras de telemetria, telecomando e ranging para os satélites de coleta de dados e sensoriamento remoto SCD1, SCD2 e CIBERS no receptor de um enlace típico do Serviço Fixo terrestre operando a 34 Mbit/s no Canal 5 (2,038 GHz, RADI-234). Os resultados obtidos indicam que, mesmo sem considerar a discriminação devida ao diagrama de recepção da antena do receptor interferido e o relevo do terreno, as distâncias necessárias para proteção do receptor do Serviço Fixo terrestre da interferência produzida pela estação terrena são da ordem de 50 a 150 km. Isto significa que a proteção dos receptores do Serviço Fixo terrestre contra interferência s produzidas pelas estações terrenas que atualmente operam no Brasil com os satélites de coleta de dados e sensoriamento remoto pode ser facilmente garantida.

REFERÊNCIAS

- [1] *Condições de Utilização da Faixa de 1706 a 2301 MHz Atribuída*



Fig. 8. Região de exclusão para a proteção do Serviço Fixo Terrestre contra a interferência gerada pela estação terrena localizada em Cuiabá.

aos Serviços Fixo e Móvel, Norma 02/79 do Ministério das Comunicações, Fevereiro 1979.

- [2] J. M. Fortes, R. Sampaio Neto e J. E. A. Maldonado, *An Analytical Method for Assessing Interference in Interference Environments Involving NGSO Satellite Networks*, International Journal of Satellite Communications, Vol. 17, pp. 399-419, Novembro-Dezembro 1999.
- [3] *Functional Description to be Used in Developing Software for Determining Conformity of non-GSO FSS Networks with Limits Contained in Article S22 of the Radio Regulations*, Recommendation ITU-R S.1503, Maio 2000.
- [4] *Analytical Method for Determining the Statistics of Interference between Non-GSO FSS Systems and other Non-GSO FSS or GSO FSS Systems*, Draft New Recommendation ITU-R S.[4A/TEMP/5(Rev.1)], Outubro 2000.

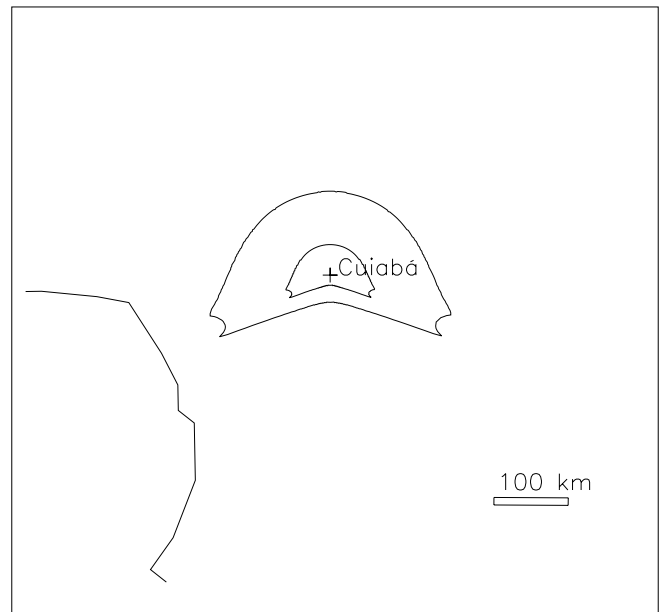


Fig. 9. Região de exclusão para a proteção do Serviço Fixo Terrestre contra a interferência gerada pela estação terrena localizada em Cuiabá: vista expandida.