

# 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/m<sup>2</sup> 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 antenna transmissora: 34 dBi
- Ganho da antenna 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)

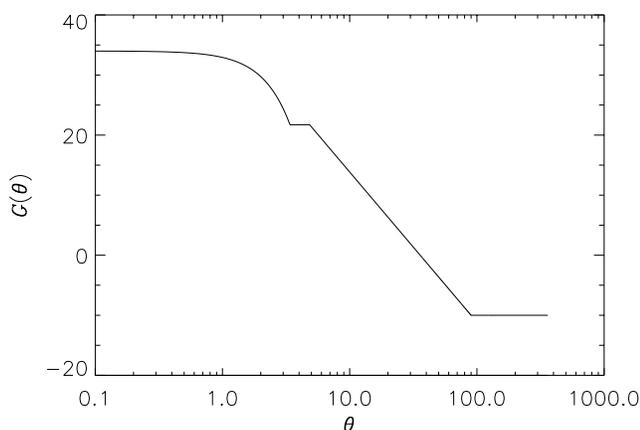


Fig. 1. Diagrama de Radiação da Antena de Recepção do RADI-234

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 antenna transmissora: 45 dBi
- Diagrama de radiação da antenna 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

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

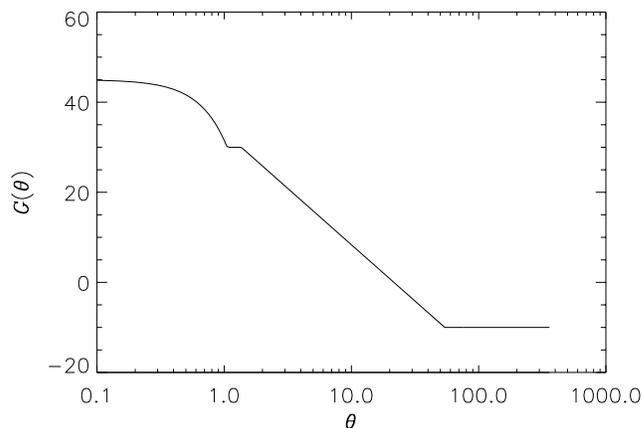


Fig. 2. Diagrama de Radiação da Antena da Estação Terrena (SCD1)

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  $BER = 10^{-6}$

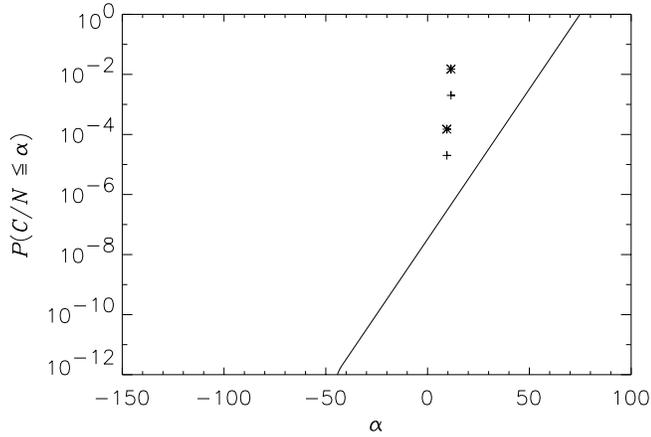


Fig. 3. Função Distribuição de Probabilidade da razão portadora ruído térmico no receptor do enlace RADI-234 considerado ( $C/N$ ) expressa em dB). A figura inclui os critérios de proteção do Serviço Fixo terrestre para enlaces *Medium Grade Class 3* (+) e *Medium Grade ISDN* (\*).

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),  $\beta$  é o ângulo entre a direção de máxima radiação da antena da estação terrena interferente e a direção de azimute  $\gamma$  segundo a qual a estação terrena interferente vê o receptor interferido, conforme ilustrado na Figura 4. Considerando (10) e (13), obtem-se

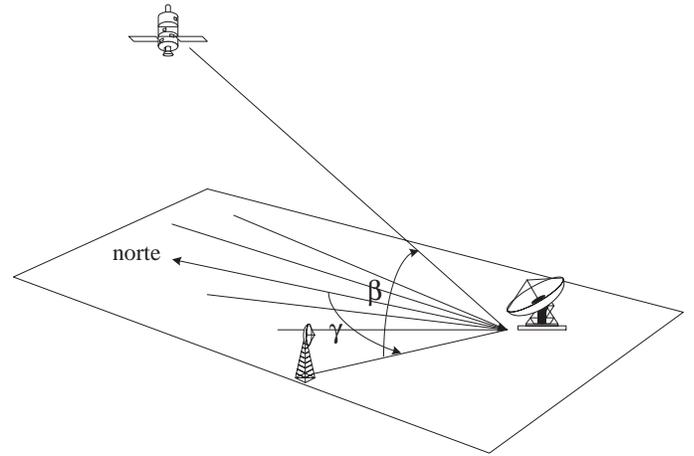


Fig. 4. Ângulo entre a direção de máxima radiação da antena da estação terrena interferente e a direção de azimute segundo a qual a estação terrena interferente vê o receptor interferido.

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

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

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  $\beta$ . Esta função densidade de probabilidade foi determinada para valores de  $\gamma$  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  $BER = 10^{-6}$

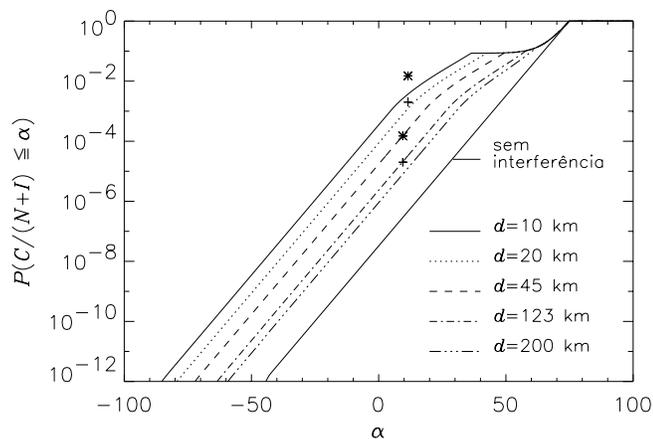


Fig. 5. Função Distribuição de Probabilidade da razão portadora ruído total do sistema (ruído térmico mais interferência, expressa em dB) para  $\gamma = 10^\circ$  e diversos valores da distância  $d$  entre o transmissor interferente e o receptor interferido. Estão ilustrados na figura os critérios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

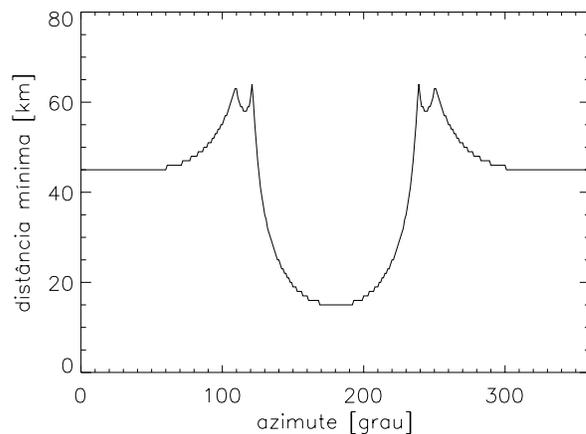


Fig. 6. Distância mínima para proteção do Serviço Fixo (*Medium Grade ISDN*).

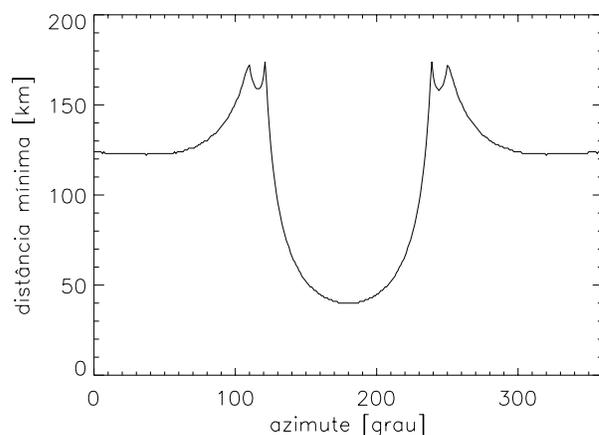


Fig. 7. Distância mínima para proteção do Serviço Fixo (*Medium Grade Class 3*.)

#### 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.

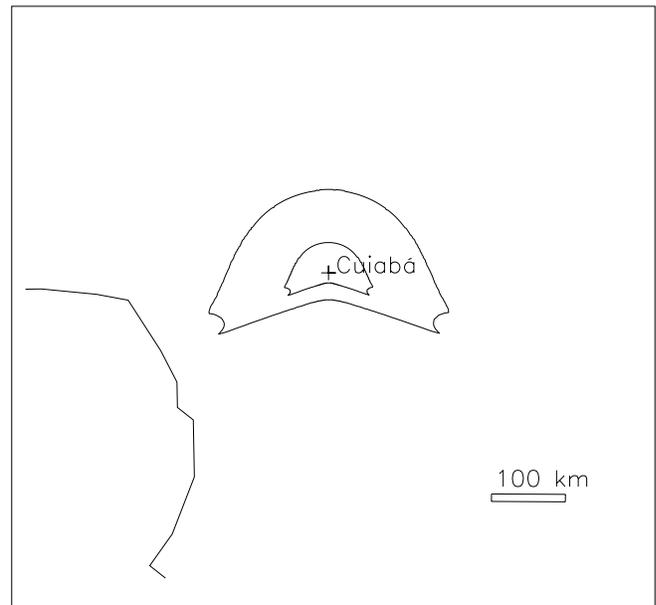


Fig. 9. Região de exclusão para a proteção do Serviço Fixo Terrestre contra a interferência gerada pela estação terrena localizada em Cuiabá: vista expandida.