

EFEITOS DA TOPOGRAFIA NO CÁLCULO DAS INTERFERÊNCIAS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS POR SATÉLITES NÃO GEO-ESTACIONÁRIOS EM RECEPTORES DO SERVIÇO FIXO

EMANOEL COSTA, MARCELO JIMENEZ

CETUC-PUC/Rio

Rua Marquês de São Vicente 225
22453-900 Rio de Janeiro RJ Brasil

RESUMO

Este trabalho descreve uma metodologia desenvolvida para calcular as distribuições cumulativas de C/N , C/I e $C/(N+I)$ devidas à interferência de um sistema de comunicações móveis por satélites não geo-estacionários (sistemas NGSO/MSS) em receptores do serviço fixo terrestre (FS). A metodologia considera as características específicas dos dois sistemas, assim como a propagação e os efeitos de terreno. Será visto que estes efeitos podem ser significativos e, em particular, que a blindagem introduzida pelo terreno pode efetivamente diminuir a probabilidade de níveis elevados da interferência do enlace de serviço do sistema NGSO/MSS (sentido Espaço-Terra) nos receptores FS.

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de comunicações pessoais por satélites não geo-estacionários tornaram-se operacionais recentemente e outros logo o serão, também. A próxima geração de tais sistemas, que prestarão serviços de faixa larga, já está sendo planejada. Diversas faixas de frequências foram alocadas a ambos os serviços (NGSO/MSS e FS) em base co-primária em todas as regiões do mundo. Portanto, transmissões dos sistemas NGSO/MSS no sentido Espaço-Terra podem causar interferências inaceitáveis nos receptores FS. Este tipo particular de interferência envolve características, tais como geometria, tráfego e condições de propagação, variáveis no tempo. O impacto e aceitabilidade da interferência do enlace de serviço do sistema NGSO/MSS (sentido Espaço-Terra) nos receptores FS poderiam ser avaliados, na maioria dos casos de uma coordenação bilateral detalhada, analisando as distribuições cumulativas de C/N , C/I e $C/(N+I)$, em comparação com critérios de desempenho apropriados.

A metodologia de simulação descrita na próxima seção, baseada principalmente nas Recomendações ITU-R M.1143 [1] e ITU-R M.1319 [2], foi implementada em software de forma relativamente direta. Uma de suas características principais é considerar a informação de tempo. Esta característica poderia ser útil na análise de

tráfego e para a consideração de alguns fenômenos de propagação que variam em base horária. Entretanto, pode exigir recursos computacionais elevados (em particular, tempo de processamento).

A validação do software correspondente (CPqD) foi executada com ajuda da ICO Comunicações Globais, que gentilmente forneceu dados característicos de seu sistema NGSO/MSS e resultados de seus próprios cálculos da interferência deste sistema em receptores FS brasileiros. A Transfinite System Ltd. também forneceu informações muito úteis na fase inicial do procedimento de validação. Entretanto, é importante salientar que os desenvolvedores do software do CPqD em nenhum momento operaram o software da ICO para produzir quaisquer dos resultados obtidos. Estas são implementações em computador totalmente independentes das mesmas metodologias descritas nas referências citadas anteriormente. Também foram comparados resultados do software do CPqD com seus correspondentes da Recomendação ITU-R F.1108-2 [3]. Em todos os casos testados, a concordância obtida entre os resultados correspondentes dos diferentes programas de computador foi boa.

A Figura 1 mostra um instantâneo da janela principal do software do CPqD, obtido durante uma de simulação típica. A topografia de América do Sul, a cobertura da Terra pelos diversos satélites, as interseções dos feixes de um único satélite na superfície da Terra e os percursos interferentes são claramente observados neste instante de tempo.

O software do CPqD, portanto, pode considerar os efeitos da topografia nos cálculos das interferências do sistema NGSO/MSS nos receptores FS. Será mostrado que a blindagem introduzida pelo terreno pode efetivamente diminuir a probabilidade de níveis elevados da interferência do enlace de serviço do sistema NGSO/MSS (sentido Espaço-Terra) nos receptores FS. Portanto, pode ser útil considerar os efeitos da topografia nos estágios finais do procedimento de coordenação bilateral detalhado, para analisar interferências que tenham sido consideradas elevadas nos estágios anteriores.

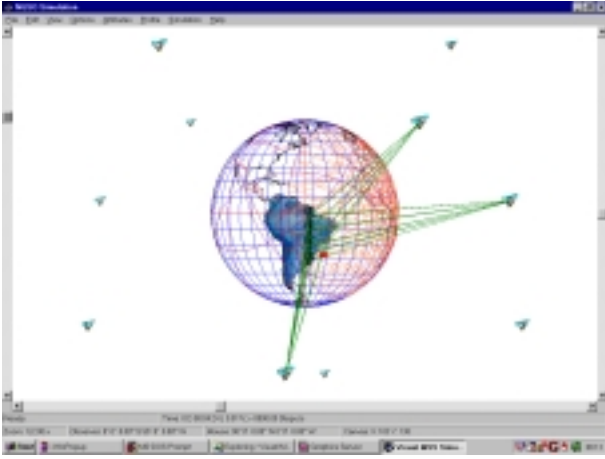


Fig. 1- Instantâneo da janela principal do software do CPQD durante uma simulação típica

2. METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS DISTRIBUIÇÕES CUMULATIVAS DE C/I , C/N E $C/(N+I)$ DEVIDAS À INTERFERÊNCIA DE SISTEMAS NGSO/MSS EM RECEPTORES FS

Passo inicial: Os seguintes procedimentos preliminares são executados para calcular valores de parâmetros e distribuições estatísticas que permanecerão inalterado ao longo da simulação:

a) As antenas das estações de FS são apontadas para máxima recepção, considerando suas latitudes, longitudes e altitudes, assim como o raio equivalente da Terra. Comprimentos e inclinações dos enlaces também resultam destes cálculos. O nível nominal de recepção C_{nom} e o ruído total N (térmico, adicionado ao ruído de interferência devido a outras fontes) são obtidos em cada receptor FS a partir dos dados de entrada apropriados, fornecidos pelo usuário. Se aplicável, a absorção por gases atmosféricos é considerada no cálculo de C_{nom} .

b) Uma representação da distribuição estatística do desvanecimento devido a múltiplos caminhos é obtida para cada receptor FS, com base no modelo da Recomendação ITU-R P.530-7[4]. Para desvanecimentos profundos, o modelo segue uma distribuição de Rayleigh

$$\Pr\{desv \geq A\} = K_1 d^{3.6} f^{0.89} (1 + |\epsilon|)^{-1.4} 10^{-A/10} \quad (1)$$

Este modelo requer informações sobre o comprimento d (km) e a inclinação ϵ (mrad) do enlace, assim como a frequência f (GHz) e um fator geoclimático K_1 apropriado à região na qual o enlace FS se situa. Sempre que aplicável, uma representação da distribuição estatística de atenuação devida à chuva é também obtida para cada receptor FS, usando o modelo apropriado proposto na Recomendação citada imediatamente acima ou um modelo desenvolvido no CETUC-PUC/Rio para considerar medidas regionais.

c) Se o usuário tiver optado por considerar a topografia na simulação, o programa determina a distância de cada estação FS a seu horizonte, assim como a altura de terreno neste ponto, ambas em função do azimute.

d) O incremento de tempo usado na simulação é calculado de modo a permitir que múltiplas amostras consecutivas de um satélite do sistema NGSO/MSS possam ocorrer no interior do:

- feixe principal mais estreito entre aqueles das antenas receptoras de todas as estações FS;
- do ângulos de elevação médio definido pelas estações FS e os horizontes correspondentes, quando a topografia é considerada na simulação.

O incremento de tempo também depende da maior velocidade angular associada com as órbitas dos satélites do sistema NGSO/MSS. O número de instantes de tempo da simulação é definido pelo usuário e deve ser grande o suficiente para caracterizar adequadamente o regime de baixas probabilidades (e interferências intensas) das distribuições cumulativas de C/N , C/I e $C/(N+I)$.

Passos Intermediários: Cálculo, em cada instante de tempo da simulação, da potência interferente agregada I e da potência da portadora C em cada receptor FS, realizando os seguintes procedimentos:

a) Um simulador da dinâmica orbital que considera o precessão das órbitas (incluindo os efeitos do achatamento da Terra nos pólos) calcula a posição de cada satélite do sistema NGSO/MSS em um sistema de coordenadas fixo em relação à Terra. A visibilidade de cada satélite do sistema NGSO/MSS em relação a cada estação FS é determinada considerando os efeitos da refração atmosférica, de acordo com Recomendação ITU-R F.1333 [5], supondo uma Terra lisa e esférica. Isto é, um satélite é visível pela estação FS se

$$\theta_o \geq \theta_m - \tau(h, \theta_m) \quad (2)$$

Nesta inequação, θ_o (graus) é a elevação calculada sob condições de espaço livre (puramente geométrica), h (m) é a altitude da estação FS, o ângulo θ_m (graus) é aproximadamente igual a

$$\theta_m \approx -0.875\sqrt{h} \quad (3)$$

sendo $\tau(h, \theta_m)$ (graus) fornecido pelas equações

$$\tau(h, \theta_m) = \frac{1}{f_1(\theta_m) + f_2(\theta_m) h + 0.008583 h^2} \quad (4)$$

$$f_1(\theta_m) = 1.314 + 0.6437 \theta_m + 0.02869 \theta_m^2 \quad (5)$$

$$f_2(\theta_m) = 0.2305 + 0.09428 \theta_m + 0.01096 \theta_m^2 \quad (6)$$

b) Havendo visibilidade (caracterizada no item anterior), a posição instantânea de cada satélite do sistema NGSO/MSS em relação a cada estação FS e as direções de apontamento de cada feixe de satélite e de cada antena receptora de estação FS são utilizadas para calcular a magnitude de vetor distância, as elevações dos satélites em relação às estações FS, todos os ângulos de discriminação nos feixes e nas antenas, assim como os seguintes parâmetros:

- Perdas no espaço livre e devidas à absorção em cada enlace interferente formado por um satélite do sistema NGSO/MSS e por uma estação FS, desde que haja visibilidade entre ambos;
- O ganho de cada feixe de cada satélite do sistema NGSO/MSS na direção de cada estação FS visível pelo satélite;
- o ganho da antena receptora de cada estação FS na direção de cada satélite do sistema NGSO/MSS visível pela estação.

Considerando, mais uma vez, os efeitos da refração atmosférica, de acordo com Recomendação ITU-R F.1333 [5], a elevação real θ (*graus*) é obtida a partir de θ_o por intermédio da seguinte correção

$$\theta = \theta_o + \tau_s(h, \theta_o) \quad (7)$$

sendo $\tau_s(h, \theta_o)$ (*graus*) fornecido pelas equações

$$\tau_s(h, \theta_o) = \frac{1}{f_3(\theta_o) + f_4(\theta_o) h + f_5(\theta_o) h^2} \quad (8)$$

$$f_3(\theta_o) = 1.728 + 0.5411 \theta_o + 0.03723 \theta_o^2 \quad (9)$$

$$f_4(\theta_o) = 0.1815 + 0.06272 \theta_o + 0.01380 \theta_o^2 \quad (10)$$

$$f_5(\theta_o) = 0.01727 + 0.008288 \theta_o \quad (11)$$

c) Se o usuário tiver optado por considerar a topografia e o enlace interferente formado por um satélite do sistema NGSO/MSS e por uma estação FS encontra-se bloqueado apenas pelas irregularidades do terreno, são calculadas as perdas adicionais devidas à difração, supondo a existência de um obstáculo gume-de-faca isolado situado no horizonte, de acordo com o modelo da Recomendação ITU-R P.526-4 [6]. Estas perdas adicionais L_d (*dB*) são calculadas pela equação

$$L_d = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad (12)$$

sendo

$$v = h_{ob} \sqrt{\frac{2}{\lambda d_{ob}}} \quad (13)$$

Nesta equação, a altura h_{ob} do obstáculo acima do raio entre o satélite do sistema NGSO/MSS e a estação FS, a

distância d_{ob} do obstáculo à estação FS e o comprimento de onda λ devem ser fornecidos na mesma unidade.

d) Com base em distribuições pré-armazenadas de tráfego, dependentes da hora do dia e das coordenadas geográficas, o tráfego total transportado em cada feixe de cada satélite do sistema NGSO/ MSS é calculado.

e) A potência interferente agregada I_k no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS devida a todos os feixes ativos de todos os satélites visíveis do sistema NGSO/ MSS pela estação correspondente é calculada usando a seguinte equação

$$I_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S E_{ij} \frac{B_w}{B_{ij}} \frac{G_{SP}(\alpha_{ij}) \cdot G_{FS}(\theta_{ki})}{L_{ik} L_{gik} L_{dik}} \frac{1}{F_k} \frac{1}{P_{ij}} \quad (14)$$

Nesta equação,

- i indica qualquer dos N satélites do sistema NGSO/MSS visíveis da estação FS;
- j indica qualquer dos S feixes ativos do $i^{\text{ésimo}}$ satélite cuja faixa de frequências se superpõe (mesmo que parcialmente) à do $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- E_{ij} é a *eirp* deste feixe na sua direção axial, considerando o seu tráfego total e o método de acesso múltiplo;
- B_{ij} é a faixa de frequências deste feixe, considerando o seu tráfego total e o método de acesso múltiplo;
- B_w é a superposição entre a faixa de frequências do $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS e B_{ij} ;
- α_{ij} é o ângulo entre o eixo do feixe j do satélite i e o vetor direção da estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS em relação a este satélite;
- $G_{SP}(\alpha_{ij})$ é a discriminação do feixe j do satélite i na direção α_{ij} ;
- θ_{ki} é o ângulo entre o eixo da antena receptora da estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS e o vetor direção do satélite i em relação à esta estação;
- $G_{FS}(\theta_{ki})$ é o ganho de antena receptora da estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS na direção θ_{ki} ;
- L_{ik} é a perda no espaço livre no enlace interferente, função de sua frequência e da distância entre o satélite i e a estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- L_{gik} é a perda devida à absorção por gases atmosféricos no enlace interferente, função de sua frequência e da elevação do satélite i em relação à estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- L_{dik} representa as perdas por difração no enlace interferente entre o satélite i e a estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- F_k representa as perdas no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- P_{ij} é um fator que considera o descaimento entre as polarizações do feixe j do satélite i na direção α_{ij} e da antena receptora da estação correspondente ao $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS na direção θ_{ki} ;

f) O nível de potência C em cada receptor FS é calculado a partir do seu nível nominal pré-armazenado,

considerando o desvanecimento devido a multipercursos a atenuação devida à chuva (se aplicável). Estas perdas devidas à propagação são consideradas por intermédio de geradores de números aleatórios consistentes com as distribuições cumulativas pré-armazenadas, conforme descrição apresentada no *Passo Inicial*. Em geral, as variações da interferência I no tempo são mais lentas que os efeitos do desvanecimento devido a multipercursos sobre o nível da potência recebida C . Portanto, o incremento de tempo especificado para os geradores de números aleatórios é menor que o utilizado nos cálculos de interferência, sendo obtidos múltiplos valores de C para cada receptor FS durante um único passo da simulação de interferência.

g) O nível de potência C_k no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS é determinado usando a seguinte equação

$$C_k = \frac{C_{nomk}}{L_{dk} L_{rk}} \quad (15)$$

Nesta equação,

- C_{nomk} é o nível nominal da portadora no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- L_{dk} representa os efeitos do desvanecimento devido a multipercursos sobre o nível da potência no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;
- L_{rk} representa a atenuação devida à chuva no nível da potência no $k^{\text{ésimo}}$ receptor FS;

h) Em cada passo da simulação, múltiplos valores de C/I , C/N e $C/(N+I)$ são calculados e os histogramas correspondentes são atualizados para cada receptor de FS, usando os múltiplos valores de C obtidos, o valor de I corrente e o valor constante de N .

Passo Final: As distribuições cumulativas de C/I , C/N e $C/(N+I)$ são obtidas a partir dos histogramas correspondentes para cada receptor de FS considerados na simulação.

3. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Existem no Brasil várias centenas de enlaces FS compartilhando a faixa de 2 GHz alocada para os enlaces de serviço dos sistemas NGSO/MSS (1980-2025 MHz e 2160-2200 MHz). Considerando que a maioria destes enlaces têm comprimentos inferiores a 55 km, foi considerado útil executar simulações de piores casos, descritas a seguir.

Para cada latitude da estação FS e cada inclinação e altitude das órbitas dos satélites do sistema NGSO/MSS, existe um número muito pequeno de azimutes de apontamento da antena receptora da estação FS que maximizam a probabilidade de interferências *em linha*. Estas interferências ocorrem através dos feixes principais das antenas interferente e interferida, causando, portanto, valores muito elevados de I . Se as distribuições cumulativas de $C/(N+I)$ de enlaces de 55 km de comprimento, situados nas latitudes dos enlaces

reais e orientados nas direções dos piores azimutes satisfizerem os critérios de compartilhamento, os enlaces reais também o farão. Esta estratégia reduz o tempo de simulação total ao eliminar a necessidade de realização de procedimentos de coordenação mais detalhados envolvendo tais enlaces reais. Deve-se observar que os piores azimutes não dependem longitude da estação FS [7].

A Tabela 1 descreve quatro enlaces FS com as características de pior caso cujas latitudes cobrem o território brasileiro com a resolução de 10°. Os demais parâmetros destes enlaces FS utilizados na simulação estão listados na Tabela 2.

Tabela 1. Enlaces FS Brasileiros do Tipo Pior Caso

	TX LAT (S)	TX LON (W)	RX LAT (S)	RX LON (W)
1	00° 22.80'	51° 41.16	00° 0.00	52° 0.00
2	10° 21.06	51° 38.40	10° 0.00	52° 0.00
3	20° 19.80	51° 36.00	20° 0.00	52° 0.00
4	30° 19.14	51° 33.60	30° 0.00	52° 0.00

Os seguintes parâmetros do sistema NGSO/MSS foram usados na simulação:

- altitude de 10350 km;
- inclinação de 45°;
- dois planos orbitais, com cinco satélites por plano;
- diferença de 180° entre as longitudes dos nós ascendentes dos dois planos;
- defasagem nula entre os dois planos.

Adicionalmente, foi suposto que o enlace de serviço (sentido Espaço-Terra) do sistema NGSO/MSS opera co-canal com os enlaces FS na faixa de 2 GHz e que cada satélite produz, na superfície da Terra, os valores de limiar de coordenação prescritos na Recomendação ITU-R M.1141-1 [8] para a densidade de fluxo de potência (pdf). Estes valores são $-123 \text{ dB}(W/m^2)$ por 1 MHz para elevações inferiores a 5°, $-113 \text{ dB}(W/m^2)$ por 1 MHz para elevações superiores a 25°, sendo a pdf obtida por intermédio de interpolação linear no intervalo (5°, 25°).

A topografia é caracterizada pelo Modelo Digital de Elevação (DEM) para América do Sul (resolução de 30 segundos de arco) resultante de um projeto da USGS/EROS/EDC patrocinado pela NASA e pela UNEP/GRID. O DEM foi obtido no [site edcftp.cr.usgs.gov](http://site.edcftp.cr.usgs.gov).

Foram executadas duas simulação. A primeira supôs uma Terra lisa e esférica e a segunda considerou os efeitos de topografia. As distribuições cumulativas correspondentes de C/I resultantes de ambas as simulação estão apresentadas nas Figuras 2 a 5 (em linhas contínuas para resultados que consideram os

efeitos de topografia e em linhas tracejadas para resultados que supõem uma Terra lisa e esférica).

Tabela 2. Parâmetros dos Enlaces FS

Frequência da Portadora	2193.0 MHz
Faixa Ocupada	20 MHz
EIRP	37 dBW
Tipo de antena	ITU-R F.1245
Temperatura da Antena	300 K
Temperatura do Alimentador	300 K
Fator de Ruído	3.5 dB
Perdas na Recepção	3.5 dB

As curvas correspondentes (em cada Figura) concordam consistentemente na região de valores elevados de C/I e probabilidades, determinada por satélites visíveis com grandes elevações. Realmente, efeitos de terreno não são importantes neste regime. Por outro lado, um comportamento completamente diferente é observado na região de baixos valores de C/I e probabilidades, determinada por satélites com pequenas elevações. Neste regime, o bloqueio do sinal interfere pelo terreno, causando sua atenuação, pode ocorrer com maior probabilidade. As curvas resultantes da primeira de simulação (considerando os efeitos da topografia) consistentemente apresentam, para o mesmo valor de probabilidade, valores de C/I entre 5 dB e 10 dB inferiores aos seus correspondentes na segunda simulação (supondo uma Terra lisa e esférica). As Figuras indicam, portanto, que o bloqueio pelo terreno pode diminuir efetivamente a probabilidade de ocorrência de valores elevados de interferências.

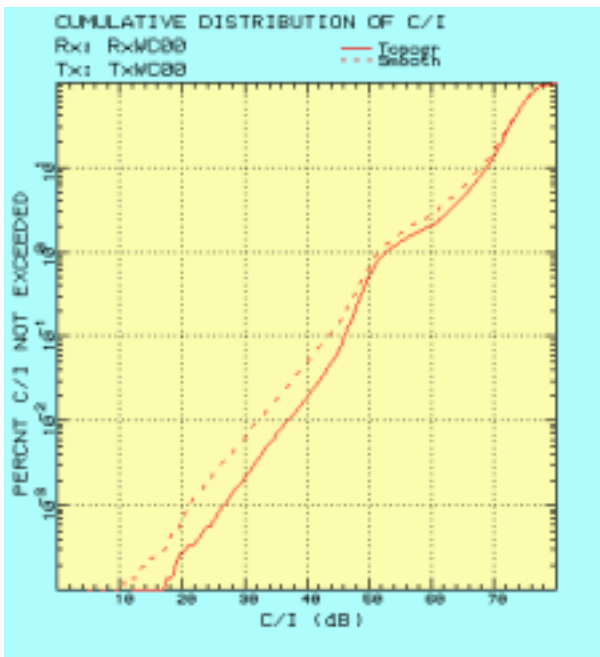


Fig. 2 - Resultados do software do CPqD para o primeiro enlace da Tabela 1

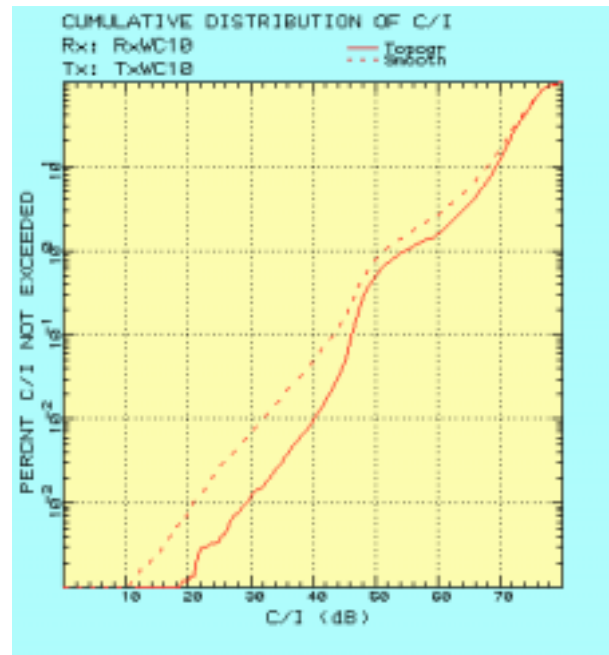


Fig. 3 - Resultados do software do CPqD para o segundo enlace da Tabela 1

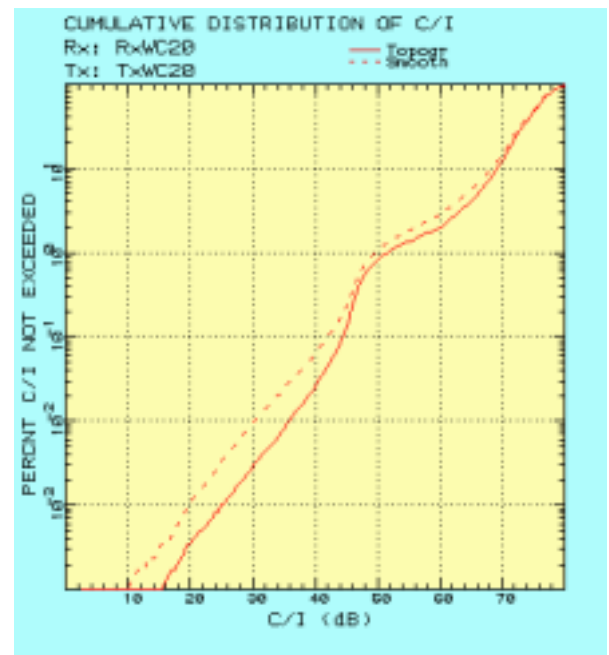


Fig. 4 - Resultados do software do CPqD para o terceiro enlace da Tabela 1

4. OBSERVAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma metodologia para o cálculo das distribuições cumulativas de C/N , C/I e $C/(N+I)$ devidas às interferências do enlace de serviço de um sistema NGSO/MSS em receptores FS, considerando efeitos de propagação e do terreno. Em seguida, foi mostrado que o bloqueio através do bloqueio pelo terreno foi capaz de diminuir efetivamente a probabilidade de ocorrência de valores elevados de interferências em quatro casos de teste.

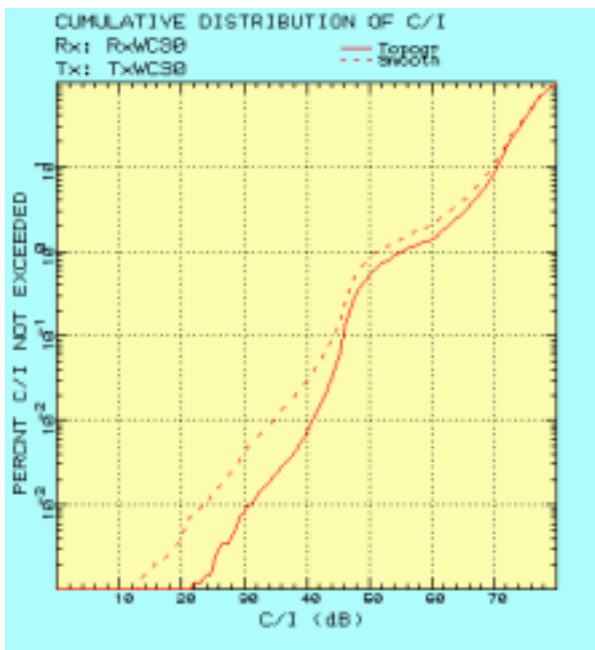


Fig. 5 - Resultados do software do CPqD para o quarto enlace da Tabela 1

É importante ressaltar que os testes apresentados aqui não são suficientemente exaustivos para garantir que os resultados anteriores seriam sempre válidos. Em princípio, seria possível imaginar um ambiente no qual a altitude de uma estação FS particular seria tão proeminente sobre o terreno circunvizinho que o efeito inverso também pudesse acontecer. Estudos mais detalhados dos efeitos do terreno sobre a probabilidade de ocorrência de valores elevados de interferências de um sistema NGSO/MSS em receptores FS serão realizados.

Por outro lado, o espectro de frequências é um recurso escasso, que deve ser compartilhado, sempre que possível. Os procedimentos de coordenação necessários para isto podem exigir recursos computacionais elevados. Para diminuir esta necessidade, pode ser vantajoso, em alguns casos, realizar a coordenação em estágios de complexidade crescente. Na análise das interferências do enlace de serviço de um sistema NGSO/MSS em receptores FS, um estágio de procedimento de coordenação envolveria apenas os receptores que não satisfizessem os critérios de desempenho apropriados, sob as hipóteses simplificadoras do estágio anterior (por exemplo, a hipótese de uma Terra lisa e esférica). Este trabalho indica que, em alguns casos, a inclusão dos efeitos do terreno nos cálculos de interferências nos estágios finais do procedimento de coordenação bilateral detalhado pode viabilizar um compartilhamento anteriormente considerado impossível.

Agradecimentos: O software do CPqD foi desenvolvido no âmbito dos Contratos P&D/DRT / 766 / 97-JPqD e CTO/P&D/054/98 entre a Fundação Centro Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (proprietária do software) e o CETUC-PUC/Rio. Os autores agradecem ao Eng. Decival Scavasin, gerente de ambos os contratos no CPqD, pelo interesse continuado durante todo o desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU-R, System Specific Methodology for Coordination of non-Geostationary Space Stations (Space-to-Earth) Operating in the Mobile-Satellite Service with the Fixed Service, Recomendação ITU-R M.1143-1, Geneva, 1997.
- [2] ITU-R, The Basis of a Methodology to Assess the Impact of Interference from a Time Division Multiple Access/Frequency Division Multiple Access (TDMA/FDMA) non-Geostationary Orbit Mobile-Satellite Service Satellite (non-GSO MSS) Satellite System Operating in the 2 GHz Range on the Performance of Line-of-Sight Fixed Service Receivers, Recomendação ITU-R M.1319, Geneva, 1997.
- [3] ITU-R, Determination of the Criteria to Protect Fixed Service Receivers from the Emissions of Space Stations Operating in Non-Geostationary Orbits in Shared Frequency Bands, Recomendação ITU-R F.1108-2, Geneva, 1997.
- [4] ITU-R, Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line-of-Sight Systems, Recomendação ITU-R P.530-7, 1997.
- [5] ITU-R, Estimation of the Actual Elevation Angle from a Station in the Fixed Service Towards a Space Station Taking into Account Atmospheric Refraction, Recomendação ITU-R F.1333, Geneva, 1997.
- [6] ITU-R, Propagation by Diffraction, Recomendação ITU-R P.526-4, Geneva, 1995.
- [7] Azzarelli, A., and R. Manohar, Visibility of non-GSO Satellites from a Terrestrial Station and Applications to Inter-System Interference, Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation, Conference Publication no. 424, 106-109, IEE, 1996.
- [8] ITU-R, Sharing in the 1-3 GHz Frequency Range Between non-Geostationary Space Stations Operating in the Mobile-Satellite Service and Stations in the Fixed Service, Recomendação ITU-R M.1141-1, Geneva, 1997.