

Efeito de modificações nas áreas de cobertura das alocações brasileiras do Plano de Serviço de Radiodifusão por Satélite da UIT no ambiente interferente do Plano

Américo A. Rubin de Celis Vidal e José Mauro P. Fortes

Resumo—A utilização de satélites geostacionários proporcionou um enorme crescimento nas comunicações de longa distância. Sendo a órbita de satélites geostacionários (GSO) um recurso limitado, existe motivação para a elaboração de planejamentos a priori desse recurso de modo a garantir, na prática, para todos os países, acesso à GSO. Esses planejamentos envolvem estudos, análises e modelagens que dependem das características específicas dos sistemas envolvidos. Motivado por interesses específicos da administração brasileira, este trabalho apresenta uma análise dos efeitos de modificações nos parâmetros técnicos das alocações do Brasil no Plano do Serviço de Radiodifusão por Satélite da União Internacional de Telecomunicações nas interferências geradas e sofridas pelos demais sistemas do Plano.

Palavras-Chave—Interferência, margem de proteção equivalente total, satélites, comunicações.

Abstract—The use of geostationary, allowed for a large development in long distance communications and broadcasting. Since the geostationary satellite orbit (GSO) is limited resource, there is motivation for a priori planning of the use of this resource so that access to the GSO is guaranteed to all countries. These a priori planning involve studies, analysis and modeling that depend of the specific characteristics of the systems being planned. Motivated by specific interests of the Brazilian administration, this work presents a precise analysis of the effect that changes in the technical parameters of the Brazilian allocations in the ITU Broadcasting Satellite Service Plan would have on the interferences generated and experienced by the systems in the Plan.

Keywords—Interference, overall equivalent protection margin, satellite, communications.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação por satélites geostacionários estão entre os mais amplamente utilizados em todo o mundo. Sendo a órbita de satélites geostacionários (*geostationary satellite orbit - GSO*) um recurso limitado, existe motivação para a elaboração de planejamentos a priori desse recurso de modo a garantir, na prática, para todos os países, acesso equitativo à GSO. Com este objetivo, foram desenvolvidos, no âmbito da União Internacional de Telecomunicações (UIT), planejamentos de alguns serviços de comunicações por satélite. Estes planejamentos tiveram início em 1977 com a elaboração do Plano do Serviço de Radiodifusão por Satélite da Europa e Ásia para a Banda *Ku* (11-14 GHz). Em 1983, este

planejamento foi complementado para incluir os países das Américas (Região 2 da UIT) [1], [2]. Em 1988, o planejamento chegou ao Serviço Fixo por Satélite (FSS) e deu origem ao Plano Mundial do Serviço Fixo por Satélite para partes das bandas *C* e *Ku* (4-6 GHz e 11-14 GHz) [3]. Em todos estes planos, foi introduzido o conceito de flexibilidade de modo garantir a adequação do Plano a desenvolvimentos tecnológicos futuros. O Plano do Sistema de Radiodifusão por Satélite (BSS), por exemplo, que é parte dos Apêndices 30 e 30A do Regulamento de Radiocomunicações da UIT [1], [2], inclui procedimentos regulamentares que permitem a implementação de sistemas diferentes dos planejados desde que algumas exigências sejam satisfeitas: são as chamadas Modificações ao Plano. Neste planejamento, a faixa de 12.2 a 12.7 GHz foi dividida em 32 canais. Para o planejamento, cada país apresentou como requisito básico o conjunto das regiões geográficas a serem servidas pelo BSS (áreas de serviço). Com base num conjunto pre-estabelecido de parâmetros técnicos (e.g. potências, diagramas de radiação de antenas, modelos de propagação, etc.) o planejamento associou, a cada uma destas áreas de serviço, uma posição orbital e subconjuntos de canais. Esta associação foi feita de modo a garantir que cada um dos sistemas planejados pudessem operar sem produzir uma interferência excessiva sobre os demais. No Plano do BSS, as alocações do Brasil são caracterizadas por nove áreas de cobertura (feixes), conforme ilustrado em linhas mais fortes na Figura 1. Oito destas áreas de cobertura estão agrupadas em quatro grupos (ver Figura 2, cada um deles associado a uma posição orbital. Uma outra posição orbital está associada à nona área de cobertura. Assim, as alocações do Brasil neste Plano envolvem nove áreas de serviço e cinco posições orbitais. Motivado por interesses da administração brasileira (Anatel), o presente trabalho analisa o efeito de modificações específicas nas alocações do Brasil no Plano do BSS no ambiente interferente gerado pelos sistemas do Plano.

II. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Conforme ilustrado na Figura 2, as alocações do Brasil no Plano do BSS não permitem que o serviço de radiodifusão por satélite possa ser oferecido a todo o território nacional a partir de uma única posição orbital (objetivo de grande interesse da administração brasileira). Para possibilitar este tipo de cobertura, é necessário que o Plano do BSS seja

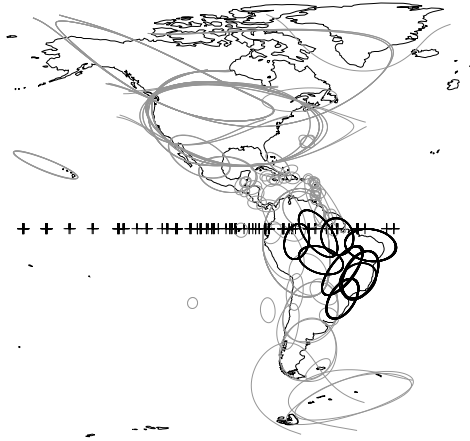


Fig. 1. Feixes dos Sistemas Planejados Brasileiros e dos Sistemas Planejados da Região 2 - UIT.

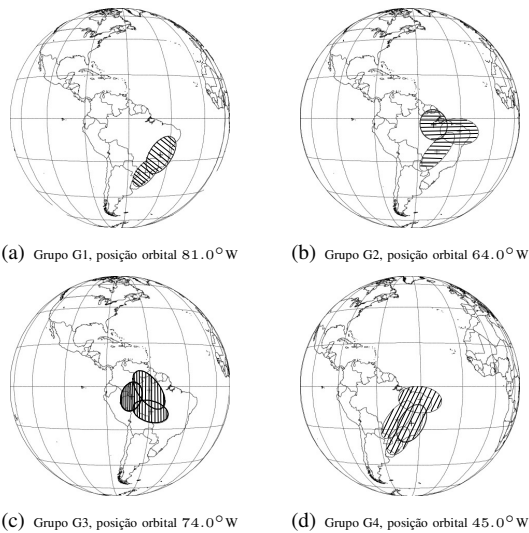


Fig. 2. Áreas de cobertura e Grupos brasileiros.

modificado de modo que os feixes de cobertura das alocações brasileiras pertencentes a um mesmo grupo sejam substituídos por um feixe nacional formatado conforme o ilustrado na Figura 3. Obviamente, modificações ao Plano implicam numa variação de seu ambiente interferente e consequentemente, num possível aumento de níveis de interferência. Conforme mencionado anteriormente, os procedimentos regulamentares associados a um planejamento a priori permitem que modificações propostas ao Plano sejam aceitas e efetivadas se certas condições técnicas são satisfeitas. No caso do Plano do BSS, estas condições são impostas às chamadas OEPM's (*Overall Equivalent Protection Margins*), associadas aos diversos pontos de teste do Plano.

Com o objetivo de definir o conceito de OEPM, considere inicialmente que C_j seja a potência correspondente ao sinal desejado, transmitido no Canal j ($j = 1, \dots, 32$). Adicionalmente, considere $I_{0j}, I_{1j}, I_{2j}, I_{3j}, I_{4j}$ como sendo as potências correspondentes, respectivamente, a cinco tipos de transmissões interferentes: co-canal, no primeiro e segundo canais adjacentes à esquerda e à direita do Canal j . Sejam $(\frac{C}{I_k})_j$, $k = 0, 1, 2, 3, 4$, as razões portadora-interferência asso-

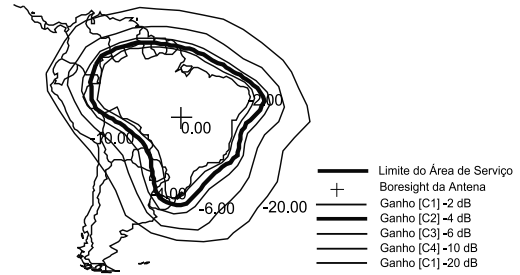


Fig. 3. Feixe Formatado proposto: B SAT1X

ciadas a cada uma destas transmissões interferentes. As margens de proteção do Canal j , correspondentes às transmissões interferentes consideradas, são então dadas por

$$M_{k_j} = \left(\frac{C}{I_k} \right)_j - \left(\frac{C}{I_k} \right)_{req} \quad (1)$$

com $(\frac{C}{I_k})_{req}$, $k = 0, 1, 2, 3, 4$, denotando os valores de razão portadora-interferência requeridos para cada uma das transmissões interferentes consideradas. Estas margens de proteção são então combinadas, gerando a Margem de Proteção Equivalente Total do Canal j ($OEPM_j$), no Plano do BSS é definida por

$$OEPM_j = -10 \log \left(\sum_{k=0}^4 10^{-M_{k_j}/10} \right) \quad (2)$$

Note que os valores de OEPM dos diversos canais, podem ser calculados em cada um dos pontos de teste do Plano. Assim é possível associar a um ponto de teste qualquer, por exemplo o i -ésimo ponto de teste, um valor representativo de OEPM. Este valor é definido como o valor de $OEPM_j$ correspondente ao canal sujeito ao maior nível de interferência, ou seja,

$$OEPM_{PT_i} = \min_{j=1,2,3,\dots,32} OEPM_j \quad (3)$$

O ambiente interferente do Plano é então caracterizado pelo conjunto dos valores de OEPM associados aos diversos pontos de teste do Plano. Assim, sempre que uma modificação ao Plano é aprovada um novo conjunto de valores de OEPM é determinado. Esse novo conjunto de valores reflete o novo ambiente interferente do Plano, e é registrado pela UIT. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto das mudanças pretendidas no ambiente interferente ao Plano do BSS para a Região 2 (Américas). Para tal tomou-se como referência a situação correspondente ao Plano do Serviço de Radiodifusão por Satélite, aprovado pela UIT em 25 de março de 2011 (aqui denominado Plano Base). O conjunto de valores de OEPM associados a este Plano Base foram tomados como referência na análise desenvolvida ($OEPM_{ref}$).

III. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Dada a alta complexidade dos cálculos envolvidos na análise das interferências de Planos a priori, optou-se em utilizar o software MSPAGE [4] que é basicamente um software da UIT para a análise de interferências e determinação dos requisitos de coordenação de redes espaciais pertencentes aos

serviços planejados do Apêndices 30, 30A e 30B do Regulamento de Radiocomunicações (RR). O MSPACEg utiliza a base de diagramas de radiação de antenas de satélite da UIT, que é parte integrante de seu Sistema Gráfico de Gestão de Interferência - GIMS [5]. As dificuldades encontradas na utilização do MSPACEg incluem: o fato do arquivo de entrada do MSPACEg, que contém as características do Plano a ser analisado é uma base de dados bastante complexa que contém 80 tabelas, 1162 campos e 2124085 registros; o fato do MSPACEg estar disponível apenas em sua versão compilada não sendo possível o acesso ao programa fonte. Assim, a utilização do MSPACEg para os objetivos pretendidos requer o desenvolvimento de software adicional para a elaboração de alguns cálculos externos ao MSPACEg. Detalhes sobre os cálculos externos e sobre as modificações efetuadas nas tabelas, campos e registros da base de dados podem ser encontrados em [6].

Na metodologia utilizada é feita, inicialmente, uma análise de interferências considerando-se o Plano em sua versão de 25 de março de 2011, sem qualquer modificação a seus parâmetros técnicos. Esta análise serve para caracterizar as interferências presentes no Plano, e são utilizadas posteriormente como base de comparação nas análises de interferências das situações analisadas neste trabalho. Numa segunda etapa, são efetuadas análises do ambiente interferente resultante de modificações nas áreas de cobertura das alocações brasileiras. Esta metodologia é ilustrada no diagrama em blocos da Figura 4. Foi necessária uma investigação detalhada da base de dados de entrada do MSPACEg (Bloco I), e a identificação dos cálculos externos (Bloco II) necessários para a modificação adequada desta base de dados em cada uma das situações analisadas.

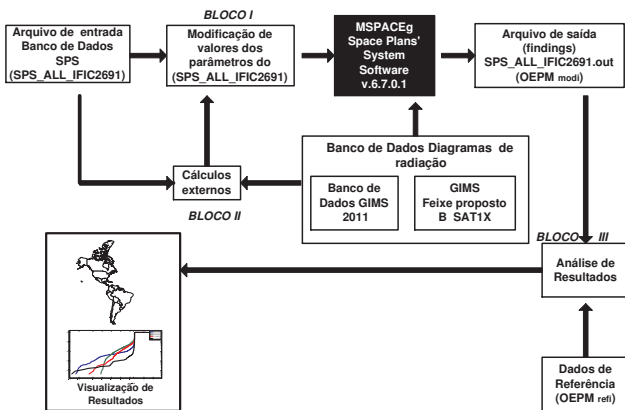


Fig. 4. Diagrama de blocos proposta na metodologia usada

Adicionalmente, utilizou-se o software GIMS para incluir o diagrama da Figura 3 no banco de dados de diagramas de radiação utilizado pelo MSPACEg. Para possibilitar a utilização deste novo diagrama, foi necessária a modificação e a inclusão de parâmetros técnicos na base de dados de entrada (e.g ganho das antenas, tipo de feixe, pontos de teste, etc.). Note que modificações ao Plano Base implicam numa variação nos valores das $OEPM$ s nos diversos pontos de teste.

Seja $OEPM_{ref_i}$ o valor da OEPM de referência no i -ésimo

ponto de teste do Plano Base. O Nível de Referência N_{ref_i} associado ao i -ésimo ponto de teste do Plano Base é definido por

$$N_{ref_i} = \begin{cases} 0 & OEPM_{ref_i} \geq 0 \\ OEPM_{ref_i} & OEPM_{ref_i} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A modificação de parâmetros técnicos no plano resulta numa alteração dos valores de OEPM nos diversos pontos de teste do Plano. Assim, seja $OEPM_{mod_i}$ o valor da OEPM no i -ésimo ponto de teste, após a modificação do Plano Base. De acordo com os procedimentos regulamentares constantes do Apêndice 30 do RR, as condições técnicas requeridas para a aprovação de uma modificação ao Plano dependem da diferença entre os valores de $OEPM_{mod_i}$ e N_{ref_i} , ou seja, do parâmetro Δ_i definido por

$$\Delta_i = OEPM_{mod_i} - N_{ref_i} \quad (5)$$

ou, considerando-se (4),

$$\Delta_i = \begin{cases} OEPM_{mod_i} & OEPM_{ref_i} \geq 0 \\ OEPM_{mod_i} - OEPM_{ref_i} & OEPM_{ref_i} < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Mais especificamente, a condição para a aprovação da modificação ao Plano é dada pela restrição

$$\Delta'_i > -0.25dB \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{PT} \quad (7)$$

onde N_{PT} é o número de pontos de teste do Plano e

$$\Delta'_i = \begin{cases} \Delta_i & ; \Delta_i < 0 \\ 0 & ; \Delta_i \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Note que Δ'_i , é menor ou igual a zero.

Na verdade, os procedimentos regulamentares do Plano permitem que modificações sejam aprovadas mesmo que em algum dos pontos de teste a condição em (7) não seja satisfeita. Neste caso é necessária a concordância oficial dos países responsáveis pelos sistemas afetados. Note que diante da condição de aprovação em (7), é possível se dizer que um ponto de teste i é considerado afetado se $\Delta'_i < -0.25dB$.

IV. RESULTADOS NUMÉRICOS

Neste trabalho quatro situações específicas são analisadas. Na primeira delas (Caso I), apenas um dos grupos das alocações brasileiras tem sua área de cobertura modificada para cobrir todo o território nacional. Nas demais (casos II III e IV), respectivamente, dois três e quatro dos grupos das alocações brasileiras têm suas áreas de cobertura simultaneamente modificadas para cobrir todo o território nacional. Em cada um destes casos as interferências geradas foram comparadas àquelas presentes no Plano Base. Esta comparação é feita com base em estimativas da Função Distribuição de Probabilidade da variável Δ'_i , definida por $F_{\Delta'_i}(\alpha) = P(\Delta'_i \leq \alpha)$. Estas estimativas, feitas a partir dos valores de OEPM em todos os pontos de teste do Plano, foram utilizadas para identificar as posições orbitais mais adequadas para cobertura nacional. Os resultados correspondentes a cada um dos casos analisados são apresentados nas seções a seguir.

A. Caso I

Neste caso, considera-se que apenas um dos grupos das alocações brasileiras tem sua área de cobertura modificada. Nesta situação, existem quatro cenários possíveis: Cenário BG2G3G4 (modificação da área de cobertura do Grupo G1, na posição orbital de 81.0°W); Cenário G1BG3G4 (modificação da área de cobertura do Grupo G2, associada à posição orbital de 64.0°W); Cenário G1G2BG4 (modificação da área de cobertura do Grupo G3, associada à posição orbital de 74.0°W); e Cenário G1G2G3B (modificação da área de cobertura do Grupo G4, associada à posição orbital de 45.0°W). Estimativas das funções de distribuição de probabilidade da variável Δ'_i , referentes a cada um destes cenários, são apresentadas na Figura 5. As curvas desta figura indicam claramente que a posição orbital 45°W é a mais adequada quando desejar-se apenas uma cobertura nacional, partir de uma única posição orbital. Este fato é ratificado pelos valores da probabilidade de Δ'_i ser inferior a $-0,25$ apresentados na Tabela I para cada um dos cenários analisados. Além disso, os resultados indicam que a segunda, terceira e quarta melhores posições orbitais correspondem as posições: 81°W, 74°W e 64°W.

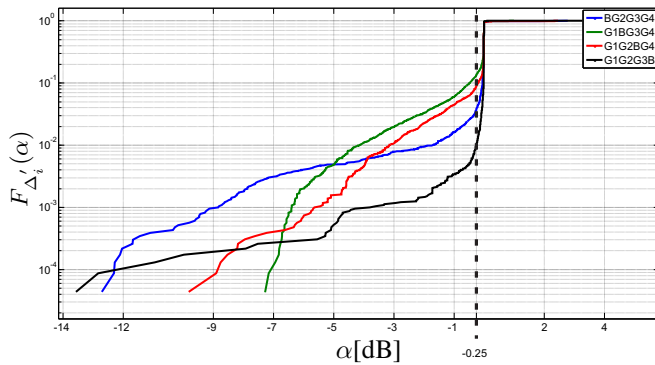


Fig. 5. Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BG2G3G4, G1BG3G4, G1G2BG4 e G1G2G3B.

TABELA I

VALORES DE $P(\Delta'_i < -0.25)$, PARA CADA CENÁRIO DO CASO I

Cenários	$P(\Delta'_i < -0.25)$	Posição Orbital
BG2G3G4	0.038685	81.0°
G1BG3G4	0.134129	64.0°
G1G2BG4	0.08902	74.0°
G1G2G3B	0.010158	45.0°

B. Caso II

Neste caso, dois dos grupos das alocações brasileiras têm sua área de cobertura modificada. Nesta situação, existem seis cenários possíveis: Cenário BBG3G4 (modificação da área de cobertura do Grupo G1 e G2, associada à posição orbital de 81.0°W e 64.0°W); Cenário BG2BG4 (modificação da área de cobertura do Grupo G1 e G3, associada à posição orbital de 81.0°W e 74.0°W); Cenário BG2G3B (modificação da área de cobertura do Grupo G1 e G4, associada à posição orbital de 81.0°W e 45.0°W); Cenário G1BBG4 (modificação da área

de cobertura do Grupo G2 e G3, associada à posição orbital de 64.0°W e 74.0°W); Cenário G1BG3B (modificação da área de cobertura do Grupo G2 e G4, associada à posição orbital de 64.0°W e 45.0°W); e Cenário G1G2BB (modificação da área de cobertura do Grupo G3 e G4, associada à posição orbital de 74.0°W e 45.0°W). Estimativas das funções de distribuição de probabilidade da variável Δ'_i , referentes a cada um destes cenários, são apresentadas na Figura 6. As curvas desta figura indicam que o par de posições orbitais mais adequado para se ter duas coberturas nacionais a partir de posições orbitais distintas é dado pelas posições orbitais 81°W e 45°W. Este fato é ratificado pelos valores da probabilidade de Δ'_i ser inferior a $-0,25$ apresentados na Tabela II para cada um dos cenários analisados. Além disso, os resultados indicam que o terceiro, quarto, quinto e sexto melhores pares de posições orbitais correspondem aos pares (74°W, 45°W), (81°W, 74°W), (64°W, 45°W), (64°W, 74°W) e (81°W, 64°W).

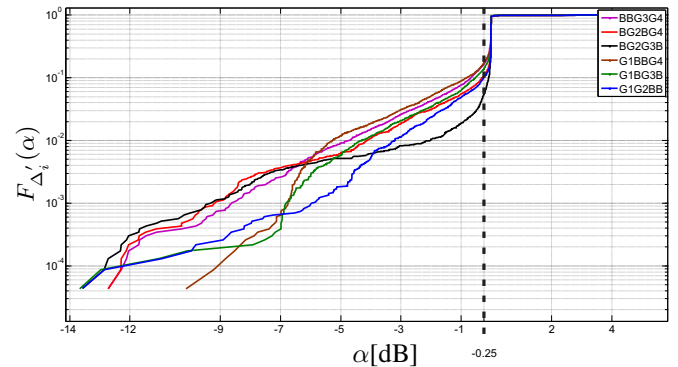


Fig. 6. Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BBG3G4, BG2BG4, BG2G3B, G1BBG4, G1BG3B e G1G2BB.

TABELA II

VALORES DE $P(\Delta'_i < -0.25)$, PARA CADA CENÁRIO DO CASO II

Cenários	$P(\Delta'_i < -0.25)$	Posição Orbital
BBG3G4	0.162369	81° e 64°W
BG2BG4	0.107149	81° e 74°W
BG2G3B	0.053483	81° e 45°W
G1BBG4	0.170113	64° e 74°W
G1BG3B	0.137207	64° e 45°W
G1G2BB	0.099466	74° e 45°W

C. Caso III

Neste caso, três dos grupos das alocações brasileiras têm sua área de cobertura modificada. Nesta situação, existem quatro cenários possíveis: Cenário BBG4 (modificação da área de cobertura dos Grupos G1, G2 e G3 associada à posição orbital de 81.0°W, 64.0°W e 74.0°W); Cenário BBG3B (modificação da área de cobertura dos Grupos G1, G2 e G4 associada à posição orbital de 81.0°W, 64.0°W e 45.0°W); Cenário BG2BB (modificação da área de cobertura dos Grupos G1, G3 e G4 associada à posição orbital de 81.0°W, 74.0°W e 45.0°W) e Cenário G1BBB (modificação da área de cobertura dos Grupos G2, G3 e G4 associada à posição orbital de 64.0°W, 74.0°W e 45.0°W). Estimativas das funções

de distribuição de probabilidade da variável Δ'_i , referentes a cada um destes cenários, são apresentadas na Figura 7. As curvas desta figura indicam que a trinca de posições orbitais mais adequado para se ter três coberturas nacionais a partir de posições orbitais distintas é dado pelas posições orbitais: 81°W , 74°W , 45°W . Este fato é ratificado pelos valores da probabilidade de Δ'_i ser inferior a $-0,25$ apresentados na Tabela III para cada um dos cenários analisados. Além disso, os resultados indicam que o a segunda, terceira e quarta melhores trincas correspondem as posições orbitais: (81°W , 64°W , 45°W), (64°W , 74°W , 45°W) e (81°W , 64°W , 74°W).

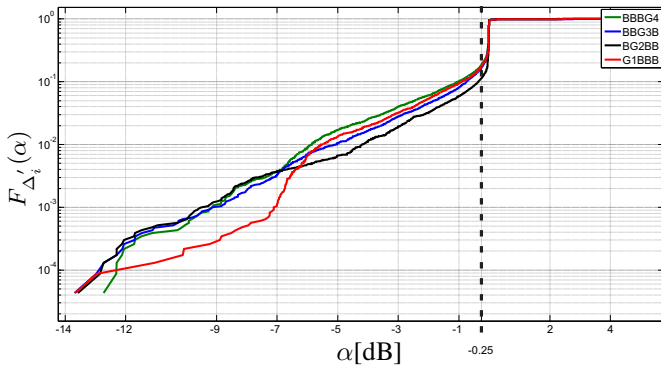


Fig. 7. Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BBBG4, BBG3B, BG2BB e G1BBB.

TABELA III

VALORES DE $P(\Delta'_i < -0,25)$, PARA CADA CENÁRIO DO CASO III

Cenários	$P(\Delta'_i < -0,25)$	Posição Orbital
BBBG4	0.185787	81° , 64° e 74°W
BBG3B	0.166256	81° , 64° e 45°W
BG2BB	0.11427	81° , 74° e 45°W
G1BBB	0.172955	64° , 74° e 45°W

Além disso, observa-se que a segunda, terceira e quarta melhores trincas correspondem as posições orbitais: (81° , 64° , 45°), (64° , 74° , 45°) e (81° , 64° , 74°W).

D. Caso IV

Neste caso, os quatro grupos das alocações brasileiras têm sua área de cobertura modificada. A estimativa da função de distribuição de probabilidade da variável Δ'_i foi determinada e está incluída na Figura 8 que contém ainda as funções de distribuição de probabilidade da variável Δ'_i correspondentes aos melhores cenários de cada caso analisado.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho considerou quatro situações específicas relativas à possibilidade de coberturas nacionais (Brasil) para o serviço planejado de radiodifusão por satélite, feitas a partir das posições orbitais do Brasil no Plano do BSS dos apêndices 30 e 30A do Regulamento de Radiocomunicações da UIT. Em cada uma delas, diferentes cenários foram analisados e os resultados obtidos permitiram avaliar o impacto dessas coberturas nacionais nas interferências geradas e sofridas pelos demais sistemas do Plano. Conforme esperado, os níveis de

interferência do Plano aumentam com o número de posições orbitais, nas alocações do Brasil no Plano do BSS, que têm sua área de cobertura modificada para cobertura nacional. As curvas da Figura 8 permitem quantificar estes aumentos de interferência. Os resultados obtidos permitiram ainda, conforme indicado na Tabela IV, identificar quais as posições orbitais mais adequadas para cobertura nacional quando, se deseja uma, duas ou três coberturas nacionais a partir de posições orbitais distintas.

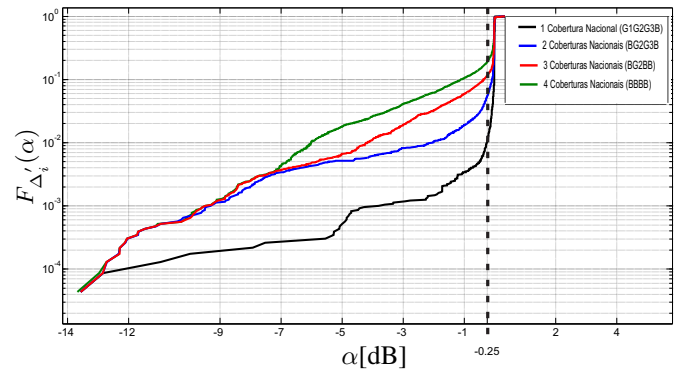


Fig. 8. Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i de cada um dos melhores cenários BBBB, BG2BBB, BG2G3B e G1G2G3B, para cada um dos Casos I, II, III e IV.

TABELA IV

VALORES DE $P(\Delta'_i < -0,25)$, PARA CADA UM DOS MELHORES CENÁRIOS DO CASO I, II, III E IV

Cenários	$P(\Delta'_i < -0,25)$	Posição Orbital
BBBB	0.186798	81° , 64° , 74° e 45°W
BG2BB	0.11427	81° , 74° e 45°W
BG2G3B	0.053483	81° e 45°W
G1G2G3B	0.010158	45°W

REFERÊNCIAS

- [1] Provisions for all services and associated Plans and List for the broadcasting-satellite service in the frequency bands 11.7-12.2 GHz (in Region 3), 11.7-12.5 GHz (in Region 1) and 12.2-12.7 GHz (in Region 2), Appendix 30, ITU Radio Regulations, 2011.
- [2] Provisions and associated Plans and List for feeder links for the broadcasting-satellite service (11.7-12.5 GHz in Region 1, 12.2-12.7 GHz in Region 2 and 11.7-12.2 GHz in Region 3) in the frequency bands 14.5-14.8 GHz 2 and 17.3-18.1 GHz in Regions 1 and 3, and 17.3-17.8 GHz in Region 2, Appendix 30A, ITU Radio Regulations, 2011.
- [3] Provisions and associated Plan for the fixed-satellite service in the frequency bands 4 500-4 800 MHz, 6 725-7 025 MHz, 10.70-10.95 GHz, 11.20-11.45 GHz and 12.75-13.25 GHz Appendix 30B, ITU Radio Regulations, 2011.
- [4] Malaguti, N., *Space Plans System (SPS) Software for Determination of Coordination Requirements for Space Networks of the Planned Services*. ITU World Radiocommunication Seminar, Genebra, November 2004.
- [5] Olivier, E. *Graphical Interference Management System (GIMS)*, International Telecommunications Union, Genebra, Dezembro 2008.
- [6] Vidal, A. A. R., *Efeito de modificações nas áreas de cobertura das alocações brasileiras no Plano do Serviço de Radiodifusão por Satélite da UIT no ambiente interferente do Plano*, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, agosto 2012.