

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ESTIMATIVA DE
INTERFERÊNCIA PREJUDICIAL ENTRE SISTEMAS DE
SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS DURANTE O PROCESSO
DE COORDENAÇÃO**

**ANDRÉ RAFAEL MIRANDA DE SOUZA
MARCOS HENRIQUE NASSIF DE ALENCAR**

ORIENTADOR: SEBASTIÃO DO NASCIMENTO NETO

**PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
REDES DE COMUNICAÇÃO**

PUBLICAÇÃO: UnB.LabRedes.PFG.11/2002

BRASÍLIA / DF: AGOSTO/2002

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ESTIMATIVA DE
INTERFERÊNCIA PREJUDICIAL ENTRE SISTEMAS DE
SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS DURANTE O PROCESSO
DE COORDENAÇÃO**

**ANDRÉ RAFAEL MIRANDA DE SOUZA
MARCOS HENRIQUE NASSIF DE ALENCAR**

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO.

APROVADA POR:

**SEBASTIÃO DO NASCIMENTO NETO, Mestre, UnB
(ORIENTADOR)**

**RAFAEL TIMÓTEO DE SOUSA JUNIOR, Doutor, UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 29 DE AGOSTO DE 2002.

FICHA CATALOGRÁFICA

DE SOUZA, ANDRÉ RAFAEL MIRANDA

DE ALENCAR, MARCOS HENRIQUE NASSIF

Ferramenta computacional para estimativa de interferência prejudicial entre sistemas de satélites geoestacionários durante o processo de coordenação. [Distrito Federal] 2002.

xiii, 89 p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Elétrica, 2002).

Projeto Final de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Satélites
2. Interferência
3. Coordenação

I. ENE/FT/UnB. II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

De Alencar, M. H. N., de Souza, A. R. M. (2002). Ferramenta computacional para estimativa de interferência prejudicial entre sistemas de satélites geoestacionários durante o processo de coordenação. Projeto Final de Graduação, Publicação 1º/2002, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: André Rafael Miranda de Souza, Marcos Henrique Nassif de Alencar

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Ferramenta computacional para estimativa de interferência prejudicial entre sistemas de satélites geoestacionários durante o processo de coordenação.

GRAU/ANO: Engenheiro /2002.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste projeto final de graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

André Rafael Miranda de Souza
SQS 302 bloco B apartamento 106
CEP 70.338-020 – Brasília – DF - Brasil

Marcos Henrique Nassif de Alencar
SHIN QI 08 conjunto 4 casa 11
CEP 71.520-240 – Brasília – DF - Brasil

Dedico esta tese aos meus pais pelo amor e compreensão que deles recebi durante esta jornada. Aos meus irmãos e amigos, por todo o companheirismo e apoio a mim dedicados ao longo dos anos. À minha noiva e futuro filho (a) que está por vir, pelos longos anos de felicidade que teremos juntos. Dedico também a todos os professores que tive durante este difícil trajeto de graduação, pois eles foram pessoas nas quais muitas vezes me espelhei, sempre dando tudo de mim, na busca de mais esta vitória em minha vida. A todas as pessoas que em mim acreditaram, obrigado.

André Rafael Miranda de Souza

Dedico esta tese à minha família, em especial minha mãe, que possibilitou a realização de mais este sonho. Aos amigos que adquiri durante esta jornada, agradeço todo o apoio e paciência. Aos mestres, por todo conhecimento e sabedoria transmitidos e a todas as pessoas e empresas que me deram a oportunidade de aumentar meu conhecimento.

Marcos Henrique Nassif de Alencar

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, Prof. MSc. Sebastião do Nascimento Neto, pelo apoio, incentivo dedicação e, acima de tudo, amizade que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o nosso desenvolvimento como pesquisadores.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, que sempre nos deu todo o apoio quando realmente necessitamos.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações, uma entidade do governo brasileiro voltada à regulamentação e fiscalização das telecomunicações no Brasil.

RESUMO

O trabalho descrito nesta dissertação objetiva desenvolver uma ferramenta computacional para auxiliar durante o processo de coordenação, realizando cálculos de verificação da possibilidade de interferência prejudicial entre sistemas de satélites geoestacionários.

ABSTRACT

The work described in this thesis aims at developing a computational tool to assist the coordination process, developing calculation methods for assessing the possibility of harmful interference between geostationary satellite systems.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MÉTODOS DE COORDENAÇÃO TÉCNICA PARA REDES DE SATÉLITES FIXOS	3
2.1.	PROCESSO DE COORDENAÇÃO	4
2.2.	CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS.....	5
2.2.1.	DOMÍNIOS DE INTERFERÊNCIA.....	5
2.2.2.	ABORDAGENS DA COORDENAÇÃO.....	6
2.3.	COORDENAÇÃO MULTILATERAL.....	12
2.4.	MÉTODO DE CÁLCULO DAS PROPORÇÕES PORTADORA-INTERFERÊNCIA EM REDES DE SERVIÇO DE SATÉLITES FIXOS.....	12
2.4.1.	METODOLOGIA.....	12
2.4.2.	ALGORÍTMO GERAL.....	18
2.5.	MÉTODO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA MÉDIA DA BANDA PARA DETERMINAR A INTERFERÊNCIA ENTRE REDES DE SATÉLITES.....	18
2.5.1.	INTRODUÇÃO.....	18
2.5.2.	DESCRIÇÃO.....	19
2.5.3.	APLICAÇÃO DO MÉTODO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA MÉDIA DA BANDA	21
2.5.4.	REQUERIMENTOS DE DADOS.....	30
2.6.	MÉTODO DO ISOLAMENTO.....	31
2.6.1.	O CONCEITO DE ISOLAMENTO.....	31

3.	CÁLCULOS DE PORTADORA-INTERFERÊNCIA ENTRE REDES NO SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO	39
3.1.	DETERMINAÇÃO DAS PROPORÇÕES PORTADORA-INTERFERÊNCIA E DA POTÊNCIA DE RUÍDO BANDA BASE PARA A COORDENAÇÃO DE PORTADORAS NO SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO (FIXED-SATELLITE SERVICE – FSS)	40
3.1.1.	TIPOS DE PORTADORAS INTERFERENTES.....	40
3.1.2.	TIPOS DE PORTADORAS FSS (SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO).....	40
3.1.3.	METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA AVALIAR INTERFERÊNCIAS EM PORTADORAS FSS.....	40
3.1.4.	CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO PARA PORTADORAS FSS	45
4.	APLICAÇÃO DA “ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO” E CÁLCULO DA PROPORÇÃO “PORTADORA-INTERFERÊNCIA”	47
4.1.	INTRODUÇÃO	47
4.2.	PROCEDIMENTOS DO APÊNDICE S8 PARA O CÁLCULO DE $\Delta T/T$	48
4.2.1.	BASE TEÓRICA	48
4.2.2.	INTERFERÊNCIA ENTRE DUAS REDES DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS & CÁLCULOS DE $\Delta T/T$	50
4.3.	COORDENAÇÃO UTILIZANDO $\Delta T/T$ E A ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO	58
4.3.1.	ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO.....	58
4.4.	METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE INTERFERÊNCIA DANOSA ENTRE ESTAÇÕES ESPACIAIS (PROPORÇÕES C/I).....	64
4.5.	ESTUDO DE CASO: CÁLCULOS DE $\Delta T/T$, C/I, C/N E MARGEM M.....	64

4.5.1.	CÁLCULO DE $\Delta T/T$	69
4.5.2.	CÁLCULO DE C/I.....	69
4.5.3.	CÁLCULO DE C/N.....	71
4.5.4.	CÁLCULO DA MARGEM, M.....	72
5.	REGULAMENTAÇÃO DA ANATEL.....	75
6.	ESPECIFICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	76
6.1.	APRESENTAÇÃO GERAL.....	76
6.2.	O SOFTWARE.....	76
6.3.	ENTRADA DE DADOS.....	78
6.4.	CÁLCULOS.....	81
6.5.	FORMATO DA SAÍDA DE DADOS.....	85
7.	CONCLUSÃO.....	87
8.	BIBLIOGRAFIA.....	89

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - DEFINIÇÃO DOS SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	32
TABELA 2 - ISOLAMENTO NECESSÁRIO ENTRE TRANSMISSÕES (DB).....	35
TABELA 3 - MEIOS E DESVIOS PADRÕES DE ISOLAMENTOS DE PORTADORAS REQUERIDOS, DERIVADOS DO MÉTODO DE ISOLAMENTO DE LINK (DB).....	38
TABELA 4 - CÁLCULO DAS PROPORÇÕES PORTADORA-INTERFERÊNCIA (C/I) PARA PORTADORAS FSS	42
TABELA 5 - CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO DE INTERFERÊNCIA DE ENTRADA ÚNICA (SINGLE ENTRY INTERFERENCE - SEI) PARA PORTADORAS FSS	46
TABELA 6 - ESTUDO DE CASO	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CASO I - UPLINK DA REDE DESEJADA DIVIDINDO FREQUÊNCIAS COM O UPLINK DA REDE INTERFERENTE.....	13
FIGURA 2 - CASO II - UPLINK DA REDE DESEJADA DIVIDINDO FREQUÊNCIAS COM DOWNLINK DA REDE INTERFERENTE.....	14
FIGURA 3 - EXEMPLO DA CONSTRUÇÃO DE UMA FUNÇÃO TOTAL UTILIZANDO 5 PONTOS DE DADOS	22
FIGURA 4 - DENSIDADE DE POTÊNCIA - LARGURA DE BANDA MÉDIA - EXEMPLO DE PORTADORA ÚNICA.....	26
FIGURA 5 - DENSIDADE DE POTÊNCIA - LARGURA DE BANDA MÉDIA - EXEMPLO DE PORTADORA MÚLTIPLA NO CAMINHO DE DESCIDA (DOWN PATH).....	29
FIGURA 6 - DENSIDADE DE POTÊNCIA - LARGURA DE BANDA MÉDIA - EXEMPLO DE PORTADORA MÚLTIPLA NO CAMINHO DE SUBIDA (UP PATH)	29
FIGURA 7 - $\Delta T/T$ VERSUS LARGURA DE BANDA MÉDIA - EXEMPLO DE PORTADORA MÚLTIPLA .	30
FIGURA 8 - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIA E TRATAMENTO SEPARADO DE UP E DOWN LINKS - SOBREPOSIÇÃO SOMENTE NO DOWNLINK	51
FIGURA 9 - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIA E TRATAMENTO SEPARADO DE UP E DOWN LINKS - SOBREPOSIÇÃO SOMENTE NO UPLINK	52
FIGURA 10 - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIA CO-DIRECIONAL , SATÉLITE DESEJADO POSSUI UM TRANSPONDER DE MUDANÇA DE FREQUÊNCIAS SIMPLES - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIAS SOMENTE NO DOWNLINK	53
FIGURA 11 - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIA CO-DIRECIONAL , SATÉLITE DESEJADO POSSUI UM TRANSPONDER DE MUDANÇA DE FREQUÊNCIAS SIMPLES - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIAS SOMENTE NO UPLINK	54

FIGURA 12 - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIA CO-DIRECIONAL , SATÉLITE DESEJADO POSSUI UM TRANSPONDER DE MUDANÇA DE FREQUÊNCIAS SIMPLES - SOBREPOSIÇÃO DE FREQUÊNCIAS EM AMBOS OS LINKS	55
FIGURA 13 - USO BIDIRECIONAL DE FREQUÊNCIA - UPLINK DA REDE DESEJADA EM SOBREPOSIÇÃO COM DOWNLINK DA REDE INTERFERENTE	56
FIGURA 14 - USO BIDIRECIONAL DE FREQUÊNCIA - UPLINK DA REDE DESEJADA EM SOBREPOSIÇÃO COM DOWNLINK DA REDE INTERFERENTE	57
FIGURA 15 - ESTUDO DE CASO	74
FIGURA 16 – NOVO SATÉLITE.....	78
FIGURA 17 – NOVO SATÉLITE.....	79
FIGURA 18 – PROPRIEDADES DO SATÉLITE.....	79
FIGURA 19 – ACESSO ÀS PORTADORAS	80
FIGURA 20 – MENU DAS PORTADORAS.....	80
FIGURA 21 – PROPRIEDADES DAS PORTADORAS.....	81
FIGURA 22 – RESULTADOS DO SOFTWARE	86

1. INTRODUÇÃO

O espectro de radiofrequências e a órbita de satélites são recursos naturais escassos, os quais todos os países possuem direitos iguais de uso. Por isso, estes recursos devem ser utilizados de forma racional e efetiva, de forma que todos os interessados possam fazer uso destes recursos sem acarretamento de problemas de maior grandeza, como a interferência de um satélite em outro. Isto quer dizer que, ao se usar uma radiofrequência ou uma posição orbital, deve-se tomar todos os cuidados no sentido de evitar interferências prejudiciais em outros sistemas que já estão em operação ou que ocupam uma determinada posição orbital, cuidados estes que, se não levados em conta, certamente inviabilizariam o funcionamento correto desses sistemas. Por exemplo, a existência de interferência prejudicial no caso dos serviços envolvendo segurança, tal como os serviços móveis aeronáuticos e marítimos, os serviços de radionavegação aeronáutica e marítima e os serviços de pesquisa e operações de resgate no mar e em terra, pode trazer conseqüências desastrosas para a segurança dos passageiros de navios e aeronaves, além de colocar em risco a segurança e soberania nacional.

O uso racional dos recursos de radiofrequências e do arco orbital é tão sério que é tratado ao nível da Organização das Nações Unidas (ONU). Conforme descrita na nota n.º S4.10 do Regulamento de Rádio, publicado pela União Internacional de Telecomunicações - UIT:

“Os Estados Membros reconhecem que os aspectos de segurança da radionavegação e outros serviços de segurança necessitam de medidas especiais para assegurar que estão livres de interferências prejudiciais; é necessário então considerar este fator ao fazer atribuição e uso das radiofrequências”.

Vários casos de interferência prejudicial são oriundos de sistemas operando em não conformidade, ou com emissões fora da faixa de frequências especificada. Estas interferências são geralmente causadas por estações usando altas potências de transmissão e operando em faixas de frequências compartilhadas com outros serviços. Tendo em vista a grande possibilidade de causar interferências danosas, os assuntos relacionados com a não conformidade e operação fora da faixa têm sido motivo de

estudo ao longo dos anos nos diversos grupos de estudos dos organismos internacionais como a UIT.

Como conseqüência da necessidade de se evitar interferência prejudicial em sistemas planejados ou mesmo naqueles já em operação numa determinada faixa de freqüências, é necessário que se realizem, antes que um novo sistema seja implantado, alguns cálculos de verificação da possibilidade deste novo sistema causar interferência nos sistemas existentes.

Assim, antes de se lançar um novo satélite em órbita, é necessário que se realizem alguns cálculos de verificação da possibilidade interferência prejudicial deste novo satélite nos satélites que ocupam as posições orbitais nas proximidades da posição orbital que este novo satélite irá ocupar.

O espaço orbital a rigor não tem dono, isto é, todos os países possuem o mesmo direito de uso. Apesar disso, existe um procedimento de ocupação, coordenado pela UIT, onde todos os países se submetem às mesmas regras. Este procedimento é conhecido internacionalmente como *Processo de Coordenação*.

Este trabalho visa a construção de uma ferramenta computacional que auxilie o Brasil, através da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), neste processo de coordenação. Para tanto, o software, baseado em informações como posição orbital dos satélites interferente e interferido, tipos de portadoras transmitidas, potência de transmissão e banda da freqüência de transmissão, entre muitas outras, elabora os cálculos necessários para que a ANATEL tenha uma base de dados segura ao entrar no processo de coordenação.

2. MÉTODOS DE COORDENAÇÃO TÉCNICA PARA REDES DE SATÉLITES FIXOS

Estas recomendações foram extraídas da recomendação ITU-R S.740.

Considerando que:

- a) Durante o estágio de planejamento de uma rede de satélites seja necessário calcular os potenciais níveis de interferência entre a rede que está sendo planejada e as redes já existentes;
- b) Os métodos utilizados para determinar a necessidade de uma coordenação para redes de satélites são explanados no apêndice S8 das recomendações e regulamentações para rádio, ITU-R S.738 e ITU-R S.739;
- c) Uma vez que a necessidade de coordenação é identificada, se torna necessária uma avaliação do potencial de interferência entre redes de satélites;
- d) O ITU-R tem revisto vários métodos para a administração da órbita de satélites geoestacionários;
- e) O método utilizado no processo detalhado de coordenação técnica é deixado para as administrações interessadas;
- f) Se o potencial de interferência excede os critérios permitidos, as administrações interessadas devem concordar nas condições de operação de suas respectivas redes;
- g) As recomendações ITU-R S.466, ITU-R S.671, ITU-R S.483, ITU-R S.523 e ITU-R S.735 provêm níveis permissíveis de interferência entre redes de serviços de satélite fixo (fixed-satellite service);
- h) Em certos casos, pode existir a necessidade para coordenação multilateral.

O ITU Radiocommunication Assembly recomenda que, no empreendimento da coordenação técnica detalhada para redes de satélites fixos, por acordo entre as partes interessadas (possuidor da rede de satélites existente e possuidor da rede de satélites que está para ser instalada) e na ausência de qualquer outro método acordado por ambas as partes, as técnicas listadas abaixo devem ser utilizadas:

- Técnica de potência de portadora (carrier power technique);
- Técnica da densidade de potência média da banda (power density averaging bandwidth technique);
- Técnica de isolamento (isolation technique), também chamada de técnica de discriminação.

2.1. PROCESSO DE COORDENAÇÃO

O processo de coordenação pode ser dividido em três etapas:

A primeira etapa envolve a inspeção das transmissões atuais ou planejadas das redes envolvidas, além de uma avaliação da interação dessas transmissões com os critérios de interferência “standard”.

A segunda fase do processo é uma investigação de mudanças potenciais para os elementos do plano de transmissão (características de transmissão, planos de frequência) ou para as localizações orbitais, mudanças essas que poderiam levar a soluções de problemas de interferência, anteriormente localizados na fase 1. Na fase 2 não é esperado que nenhuma das duas redes (existente e candidata) aceite restrições sérias a seus modos de operação planejados, como distribuição ou qualidade de serviço. Esta fase deve, levando-se em conta todos os parâmetros técnicos e operacionais, ser capaz de resolver situações específicas e aparentemente relativas de interferência severa entre as redes envolvidas.

A terceira fase, caso necessária, trata de considerações e negociações de modificações de sistemas e de ajustes em cada ou até em ambas as redes envolvidas. Tais mudanças podem afetar a qualidade e o tipo de serviço, além das futuras opções de crescimento das redes envolvidas.

Ao lidar-se com a resolução de condições de interferência, devemos ter em mente que qualquer solução específica encontrada para ambas as redes envolvidas, pode gerar ou mesmo agravar problemas com outras redes. Isso deve ser levado em grande consideração, especialmente ao se considerar a mudança de localização de estações espaciais.

2.2. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Existem, fundamentalmente, duas facetas iniciais no processo de coordenação:

- Acordo no critério de interferência aceitável;
- Acordo nos cálculos de interferência.

As recomendações do ITU-R podem ser utilizadas para critérios de interferência, porém outro critério pode também ser utilizado, ocorrendo aceitação mútua. Os cálculos normalmente envolvem uma translação do critério de “receiver output” para o critério de “receiver input” (RF), além dos parâmetros de caminho de interferência RF. Como vários dos parâmetros sensíveis a modificações são associados ao domínio RF, pode ser conveniente classificar abordagens em coordenação neste domínio, baseado no critério de RF.

2.2.1. DOMÍNIOS DE INTERFERÊNCIA

Um primeiro passo no processo de coordenação é a identificação dos domínios de interferência. Cada banda ou segmento de banda comum a ambas as redes para cada feixe de satélite nos dois segmentos de espaços deve ser identificada. Em cada uma dessas bandas ou segmentos de banda, estas porções, sobre as quais a sensibilidade de recepção das estações espacial e terrestre (G/T) e as densidades de E.I.R.P das estações espacial e terrestre se mantenham constantes em qualquer uma das redes, são identificadas.

Este processo evidencia todos os domínios de interferência. Certas porções do espectro podem aparecer várias vezes, pois elas podem representar reuso de frequência intra-satélite. Nos locais em que as frequências de uplink e downlink ou feixes do satélite, ou ambos, podem estar associadas em uma variedade de maneiras (chaveamento da conectividade do feixe em uma estação espacial), todas as possíveis configurações operacionais necessitam ser consideradas. Assim, o número de domínios será normalmente limitado, pelo menos nas atuais estações espaciais, por organização de transponders nas estações espaciais e poderão, em estações espaciais simples, abranger vários, ou mesmo todos os transponders.

2.2.2. ABORDAGENS DA COORDENAÇÃO

A seleção de métodos utilizados para efetivar a coordenação é determinada por concordância entre as administrações participantes. As características das redes afetadas e a potencial severidade da interferência irão influenciar na escolha da abordagem a ser utilizada na coordenação.

A coordenação de interferência pode, em prática, ser alcançada através de uma variedade de técnicas. Entre elas, estão:

- A comparação das características da *potência total da portadora* em transmissões em relação ao critério da potência interferente recebida aceitável;
- A comparação das características de *densidade de potência* em transmissões, em relação ao critério da *densidade de potência* interferente aceitável recebida;
- A comparação do isolamento inter-rede (perda por ligação inter-rede normalizada) em relação ao critério do isolamento requerido entre transmissões (proporção normalizada entre portadoras desejadas e não desejadas)

Para o primeiro caso, os critérios de RF podem ser expressados como I/N ou C/I , e para o segundo caso, I_0/N_0 ou C_0/I_0 , onde I é a potência interferente, N é a potência do ruído do link interno e C é a potência da portadora desejada, sendo que o subscrito “0” indica a média da potência/Hz em relação a uma largura de banda referência. No terceiro caso, os critérios de interferência são expressados em termos de C/I requerido entre duas transmissões, normalizado pela proporção da densidade portadora-ruído C/N_0 que caracteriza os requisitos de performance para as duas transmissões.

2.2.2.1. TÉCNICA DA POTÊNCIA DA PORTADORA

Esta técnica é mais aplicável nos seguintes casos:

- Em bandas de frequência nas quais as redes de satélite são bem

- desenvolvidas e nas quais a população de satélites é relativamente alta;
- Para modulações as quais estão com níveis corretos e possam ser de qualquer tipo, como por exemplo, SCPC, analógicas, digitais, FM/TV, etc;
 - Em bandas de frequência nas quais este método tenha sido excessivamente utilizado

A informação obrigatória requerida no apêndice S4 da Radio Regulations não é suficiente para servir como base para a coordenação que utiliza as abordagens *I/N* ou *C/I*. É necessário que a administração candidata envie informações mais detalhadas sobre sua rede. Outras administrações possuidoras de redes nas quais a necessidade de coordenação já tenha sido estabelecida também devem fornecer informações mais detalhadas. A efetivação da coordenação utilizando abordagens *I/N* ou *C/I* requer uma completa troca de dados, incluindo informações detalhadas sobre os tipos de portadora, tipos de estações terrenas além do feixe da antena do satélite, incluindo todas as bandas ou segmentos de bandas comuns a ambas as redes. Além disso, onde disponível, planos de frequências individuais. Devido ao fato de que todas estas informações são adequadas para esta abordagem, aparentemente seria desejável a utilização desta abordagem, uma vez que a mesma nos provém uma estimativa mais acurada da interferência.

Os domínios de interferência devem ser primeiramente identificados. Para cada um deles, se torna necessária a identificação dos tipos de portadoras de transmissão utilizadas (ou que se deseja utilizar) em ambas as redes. Na falta de planos de frequências conhecidos, a pior combinação de interferências das portadoras de ambas as redes deve ser utilizada. Quando os planos de frequência são conhecidos, ou ainda onde um arranjo de transmissões em ambas as redes dentro de um dado domínio de interferência é possível, as análises de interferência são simplificadas.

Para cada domínio a interferência de cada tipo de transmissão de uma rede dentro de cada tipo de transmissão de outra rede é calculada pela transmissão de frequências coincidentes (ou, onde disponível, pela transmissão de frequências atual ou planejada) em cada direção (por exemplo, da rede A para a rede B ou vice versa). Assume-se que cada transmissão interferente é originada no ponto de ganho mínimo da antena de uma estação de terra transmissora (por exemplo, aquela que tem o maior e.i.r.p. fora do eixo)

que a usa ou se espera que a use. Quando a transmissão interferente ocupa uma largura de banda muito menor do que a transmissão que está sendo interferida, deve-se assumir que as transmissões do tipo interferente ocupam, em intervalos apropriados, toda a banda ocupada pela transmissão interferida.

É necessário que se compare os valores resultantes calculados de C/I com os valores de entrada única mutuamente aceitos. Caso esses cálculos mostrem que os valores de C/I aceitáveis ocorrem em todos os casos, então uma coordenação bem sucedida foi efetivada.

Caso os critérios de interferência não estejam satisfeitos em um ou mais casos, então cada caso deve ser individualmente considerado. Nos locais onde os critérios foram excedidos em apenas um pouco, pode ser acordado que estes níveis de interferência podem ser toleradas por qualquer uma das redes. Em particular, a administração candidata pode decidir, unilateralmente, que os níveis de interferência dentro de sua rede, mesmo que excedendo os valores desejados, podem ser aceitáveis, caso não exista nenhuma outra área de desacordo, podendo automaticamente reivindicar a efetivação de uma coordenação bem sucedida.

Mais adiante, na seção 4 mostraremos as metodologias para o cálculo de C/I para redes de satélites geostacionários.

2.2.2.2. TÉCNICA DE DENSIDADE DE POTÊNCIA

Esta técnica pode ser mais aplicável nos seguintes casos:

- Em bandas de frequência nas quais as redes de satélites estão nos estágios iniciais de desenvolvimento, e nas quais a população de satélites é pequena;
- Para modulações que têm uma densidade espectral de potência praticamente uniforme, como por exemplo, modulações digitais;
- Quando os cálculos $\Delta T/T$ iniciais resultam em valores os quais são aceitáveis para cada administração. Este pode ser o caso para alguns domínios comuns entre as redes;
- Quando existe um considerável nível de flexibilidade em uma ou ambas as redes, assim permitindo que os valores de densidade de potência possam ser modificados.

Nesta abordagem, a avaliação inicial da interferência pode ser feita utilizando os dados do Apêndice S4 para cada um dos domínios de interferência. Esta avaliação pode identificar os domínios nos quais a interferência potencial é mais severa e também qual das duas interferências, de uplink ou downlink, é a mais dominante. Cada grupo pode utilizar os valores de I_0/N_0 aceitáveis para si, baseados nos tipos de modulação de portadora utilizados.

É possível que estes cálculos possam resultar em valores de I_0/N_0 mutuamente aceitos. Neste caso, uma coordenação bem sucedida foi realizada. Caso os valores de I_0/N_0 não sejam aceitáveis, então vários outros passos que devem ser tomados. Se a interferência uplink é a fonte dominante, mudanças na densidade de potência e nos ganhos de transmissão do uplink podem ser feitas para reduzir a interferência mútua. Adicionalmente, o remanejamento dos acessos por segmentos de banda pode ser feito, implicando em uma modificação nos domínios de interferência, para que um maior grau de homogeneidade exista entre as duas redes, reduzindo então a interferência mútua.

A densidade de potência média em um transponder pode ser utilizada para determinar um espaçamento prático mínimo entre os satélites, o que pode ser uma medida efetiva de um espaçamento realizável entre satélites no processo de coordenação. Devido ao fato de que a potência do transponder é limitada, a densidade de potência média sobre a largura de banda do transponder também é limitada. Utilizando esta densidade de potência média, o espaçamento dos satélites pode ser determinado por critérios de interferência dados, levando-se em consideração a esperada não homogeneidade do tráfego em uma coordenação detalhada entre as redes. O espaçamento entre os satélites pode ser utilizado na coordenação do processo como uma base para determinar um espaçamento realizável entre satélites. Caso as densidades de potência aumentem, chegando a ficar maiores que esta densidade de potência média, as densidades existem em uma porção da banda do transponder, então densidades de potencia menores que a média devem também existir em outras porções da banda do transponder. Esta é uma condição que pode ser utilizada no processo de coordenação.

Também pode ser apropriado utilizar uma referência, ou bandas médias consistentes com as portadoras utilizadas, ao invés das bandas de referência de 4 kHz e 1 MHz do Radio Regulations. Esses irão geralmente resultar em valores de I_0/N_0 menores, e podem facilitar o processo de coordenação, particularmente onde

portadoras de banda estreita em um satélite operam contrárias a portadoras de banda larga em outro satélite. Neste caso, um espaçamento entre satélites, baseado nos critérios de interferência de portadoras de banda estreita, pode ser utilizado para se obter critérios de interferência aceitáveis para portadoras de banda larga, então evitando um planejamento detalhado da frequência da portadora. Interferências em portadoras de banda estreita, causadas por portadoras de banda larga, serão relativamente uniformes, caso a densidade de potência da portadora de banda larga seja relativamente uniforme.

Nos lugares onde portadoras de banda larga exibem densidades de potência mais altas em pequenas porções de um transponder (FM-TV analógica ou FDM-FM de baixo índice e alta densidade), espaçamentos de satélites mínimos podem ser alcançados pelas portadoras de banda estreita, evitando regiões de densidade de potência alta. Nesta situação, uma melhor utilização do espectro pode ser alcançada caso uma função de dispersão triangular de energia não seja utilizada nas portadoras de banda larga. Entretanto, podem existir outros fatores que justificariam o uso de uma dispersão de energia mínima, levando-se em conta os sistemas existentes e a proteção de sistemas de rádio terrestre.

A abordagem do C_0 / I_0 para a coordenação é essencialmente uma extensão da abordagem I_0 / N_0 . Nesta abordagem, um parâmetro adicional, a densidade de potência mínima em cada rede é identificada. Pode ser determinado que valores de C_0 / I_0 mutuamente aceitáveis são atingíveis, mesmo que valores de I_0 / N_0 aceitáveis não são atingíveis. Esta abordagem permite a consideração da compensação de potência em transponders, implicando que potências maiores podem ser assunto de transmissões destinadas a interferências maiores e menos potência para aqueles com pequena interferência, então eliminando ou moderando severidades de interferências individuais. Compensação de potência seria uma medida operacional. Esta abordagem de C_0 / I_0 necessita de estudo e explicação mais profundos.

2.2.2.3. TÉCNICAS DE ISOLAMENTO

Os conceitos de isolamento convencional e o isolamento de link serão discutidos mais adiante. Este é um outro método o qual não envolve o uso de potência transmitida, densidade de potência e potência de ruído.

2.2.2.3.1 MÉTODO DE ISOLAMENTO CONVENCIONAL

Dentro da abordagem de isolamento convencional, uma comparação é feita entre o isolamento inter-rede existente – uma medida do acoplamento entre duas redes – e o isolamento requerido entre duas transmissões interferentes.

O isolamento requerido é a medida razoavelmente precisa da “incompatibilidade de interferência” entre duas transmissões, sendo que valores maiores de isolamento requeridos indicam maior incompatibilidade. O isolamento é expresso através da proporção da potência permissível entre as portadoras desejadas e não desejadas de duas transmissões e seus respectivos requerimentos de performance (na forma da proporção de densidade do link portadora-ruído requerida, C/N_0 , para cada transmissão).

Para se aplicar o conceito do isolamento, a pessoa deve identificar domínios de isolamento e determinar, em cada domínio, o isolamento disponível. Um domínio de isolamento é caracterizado pelas características de radiação das antenas das estações de terra e de espaço de quaisquer duas redes, por suas temperaturas de ruído de sistemas receptor e por seus ganhos de transmissão de links.

Em cada domínio, combinações de portadoras interferentes são identificadas. De tabelas ou gráficos, o isolamento requerido entre duas portadoras específicas é obtido e comparado com o isolamento disponível no domínio. Uma combinação de portadoras as quais o isolamento necessário excede o isolamento disponível no domínio pertinente requer que essas portadoras sejam coordenadas umas com as outras.

A diferença entre o isolamento requerido e o disponível é uma medida quantitativa da severidade da incompatibilidade. A sua magnitude é um guia útil com passos a serem dados para que a compatibilidade seja alcançada.

2.2.2.3.2 MÉTODO DE ISOLAMENTO DE LINK

Neste método, o isolamento de link disponível também é comparado com o isolamento de portadora requerido, para determinar a necessidade de coordenação. Quando o valor do isolamento de link disponível é menor que o isolamento de portadora requerido, coordenação detalhada se torna necessária.

Sob esta abordagem, o isolamento de link disponível é determinado na base da informação relacionada com os back-offs de entrada e saída do transponder, a e.i.r.p. do

satélite e a densidade do fluxo de saturação juntos, com os parâmetros de design do link principal. Não é necessário recorrer a parâmetros de portadora detalhados como é feito no método de isolamento convencional.

Os isolamentos de portadoras requeridos são expressados em termos da proporção de potência de portadoras desejadas e não desejadas de entrada simples entre duas transmissões e suas respectivas proporções de densidade portadora-ruído de downlink.

2.3. COORDENAÇÃO MULTILATERAL

Ainda que o processo de coordenação seja feito de maneira bilateral, a coordenação pode também ser feita de maneira multilateral. Isso poderia ser a maneira mais rápida para a realização da coordenação quando as redes de satélites de mais de dois administradores são afetadas. Os métodos e técnicas gerais aqui descritos podem ser aplicados durante as coordenações bilaterais e multilaterais.

2.4. MÉTODO DE CÁLCULO DAS PROPORÇÕES PORTADORA-INTERFERÊNCIA EM REDES DE SERVIÇO DE SATÉLITES FIXOS

2.4.1. METODOLOGIA

A geometria de interferência entre duas redes de satélites é mostrada nas figuras 1 e 2. O ângulo mínimo de espaçamento topocêntrico (visto como um ponto na terra) dos satélites deve levar em conta o ângulo geocêntrico nominal de espaçamento entre satélites, as incertezas de posição (nós de longitude da órbita e inclinações orbitais) e a localização geográfica de cada uma das estações de terra. O uso do espaçamento angular geocêntrico, φ , ao invés do ângulo de espaçamento topocêntrico dos satélites, é mais simples para a computação e seu uso é justificado pelo fato de que ambos os ângulos são praticamente iguais. Ainda, o ângulo de espaçamento topocêntrico sempre é maior que o ângulo de espaçamento geocêntrico. Assim, os cálculos baseados em ângulos de espaçamento geocêntrico são conservativos.

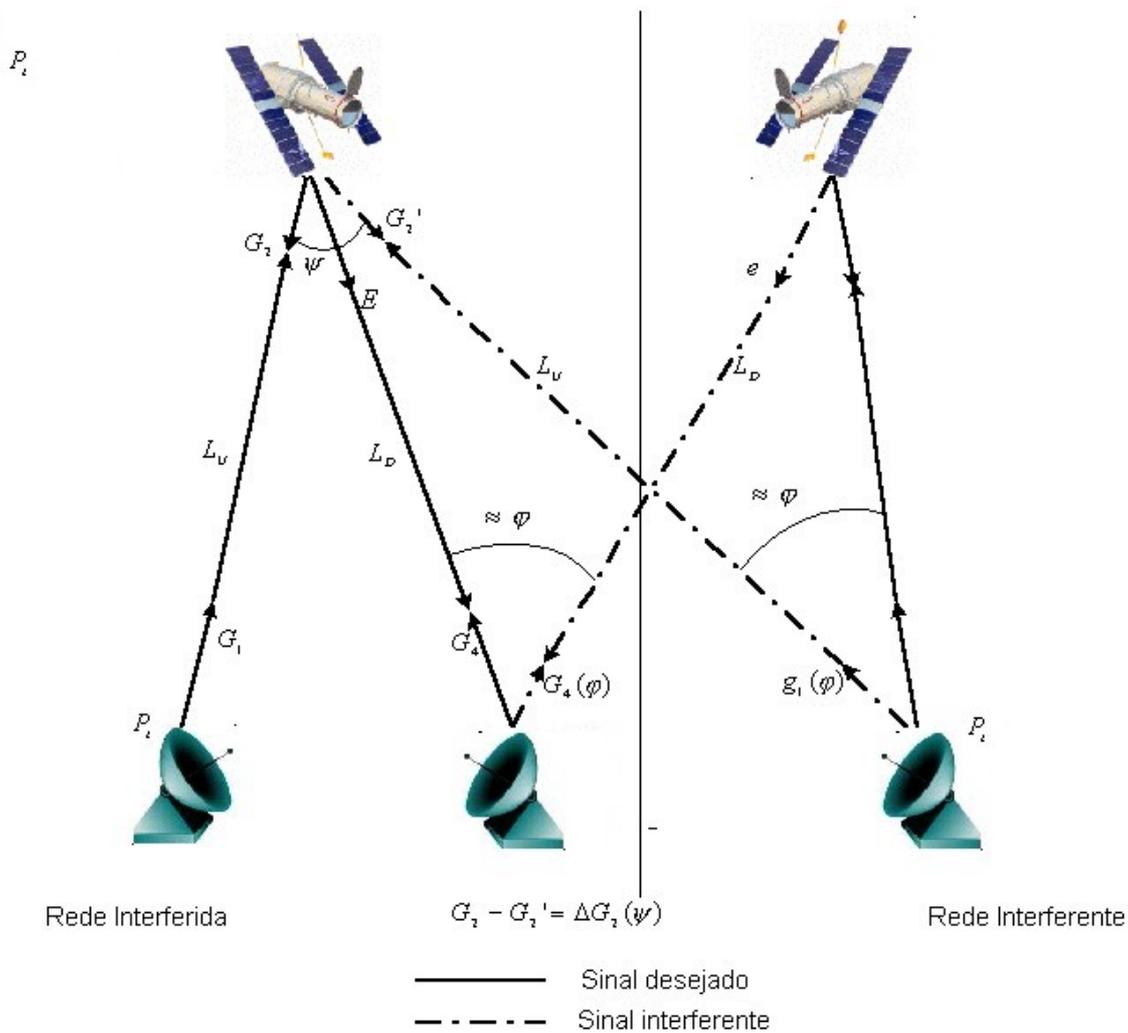


Figura 1 - Caso I - Uplink da rede desejada dividindo frequências com o uplink da rede interferente.

Satélites de radiocomunicação requerem a atribuição de frequências em duas bandas, uma para o uplink e outra para o downlink. A prática atual é a de associar as bandas de frequência em pares, uma delas sendo utilizada para o uplink e a outra para o downlink. O caso I, mostrado na figura 1 acima, leva em conta a possibilidade de interferência entre duas redes que têm bandas de frequência atribuídas desta maneira. Assim, os sinais de interferência uplink invadem os sinais de uplink desejados, e os sinais de interferência downlink invadem os sinais desejados de downlink. Entretanto, algumas redes podem utilizar um par de bandas de frequência de maneira reversa, ou seja, o sinal uplink de uma banda sendo o downlink da adjacente e vice-versa. Nestas circunstâncias a interferência do uplink entra no downlink desejado e a interferência do downlink entra no uplink desejado. Este é o caso II, mostrado na figura 2.

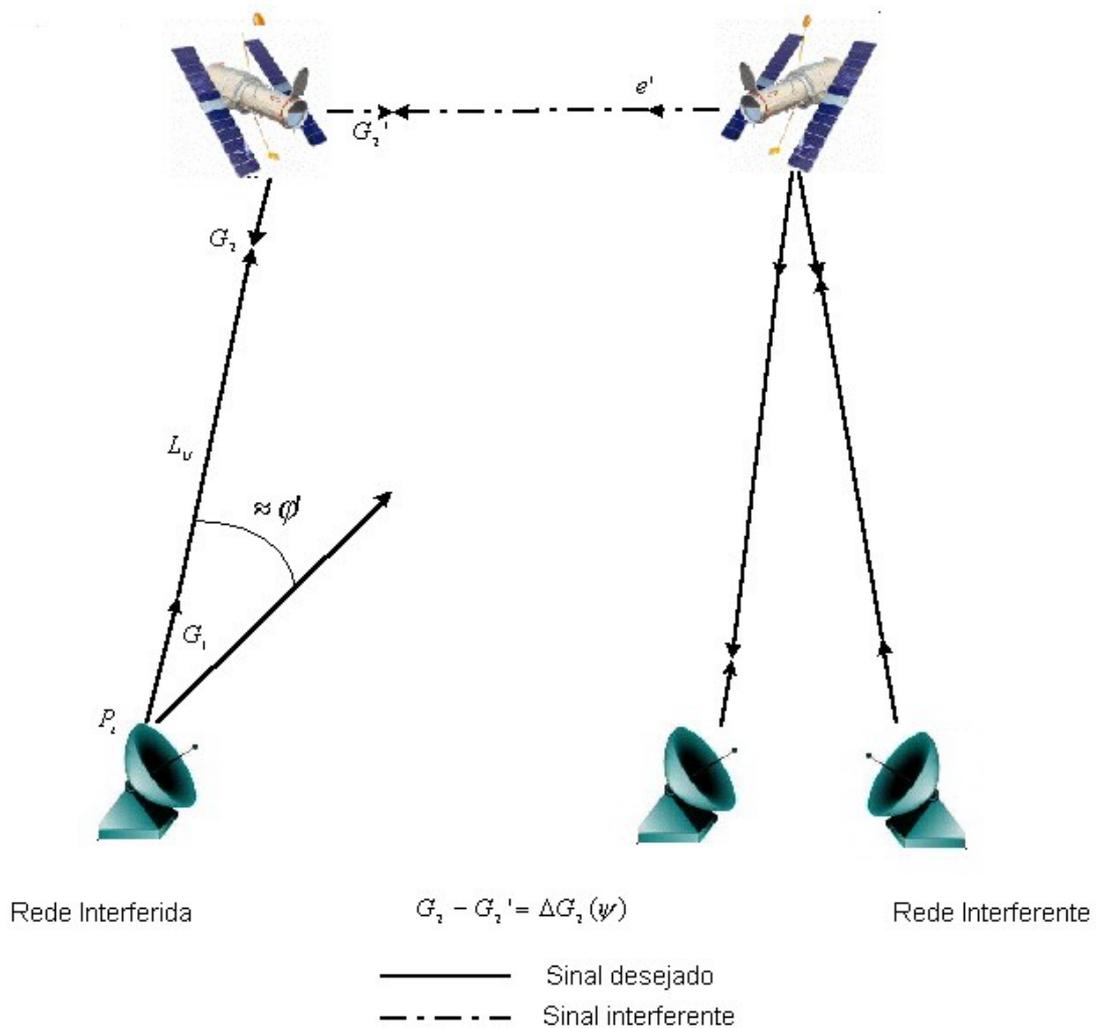


Figura 2 - Caso II - Uplink da rede desejada dividindo freqüências com downlink da rede interferente.

2.4.1.1. CASO I

As condições de propagação a seguir serão assumidas para aplicarmos a proporção entre as portadoras desejadas e interferentes de uplink e downlink.

- Devido a efeitos de propagação e precipitação local, ambos os sinais interferente e desejado, os quais são transmitidos por estações de terra situadas em diferentes pontos da superfície da terra irão flutuar. A menos que a e.i.r.p das estações de terra seja ajustada de maneira que os níveis recebidos pelos satélites sejam sempre os mesmos, uma margem deve ser

introduzida ao se calcular o valor de interferência média para a equação de uplink;

- A proporção entre o nível de sinal desejado e o nível de sinal interferente no downlink não varia com o tempo. Qualquer interferência, forte o bastante para ter um efeito apreciável, seria causada por outros satélites próximos àqueles da rede desejada, para que o discernimento devido à direção da antena da estação de terra seja insuficiente para separar o sinal desejado do interferente. Então, os sinais desejado e interferente serão atenuados para um mesmo nível quando as proporções de propagação variarem, pois eles irão viajar através das mesmas áreas perturbadas. Conseqüentemente, flutuações causadas no sinal desejado recebido não terão efeito significativo no nível de interferência produzido na banda base e, assim, uma margem de downlink pode, normalmente ser negligenciada.

Os procedimentos computacionais requerem a solução de 2 equações:

$$(C/I)_U = P_t + G_1 - \Delta L_U - M_U - p_t - g_1(\varphi) + \Delta G_2 + Y_U \quad \text{dB} \quad (1)$$

e

$$(C/I)_D = E + G_4 - \Delta L_D - e - G_4(\varphi) + Y_D \quad \text{dB} \quad (2)$$

Onde:

$(C/I)_{U,D}$: proporção entre as portadoras desejada e interferente de downlink e uplink (dB)

P_t, p_t : potência transmitida das portadoras desejada e interferente entregues à antena da estação de terra associada (dBW)

G_1, G_4 : ganhos das antenas transmissora e receptora de uma ou mais estações de terra (dB)

ΔL_U : diferencial de perda de caminho no uplink para o satélite de duas estações de terra,
 $\Delta L = L_{DESEJADO} - L_{INTERFERENTE}$ (Db)

ΔL_D : diferencial de perda de caminho no downlink para a estação de terra desejada dos dois satélites, ΔL como acima (dB)

M_U : margem de uplink na rede desejada (dB)

$g_1(\varphi)$:	componente de ganho de antena na estação de terra não desejada em direção ao satélite desejado (dB)
φ :	espaçamento angular geocêntrico mínimo do satélite na estação de terra interferente (dB)
ΔG_2 :	diferencial em ganhos de antenas de recepção no satélite desejado em direção às duas estações de terra, $\Delta G_2 = G_{2DESEJADO} - G_{2INTERFERENTE} \text{ (dB)}$
Y_U :	discriminação de polarização mínima entre a portadora interferente de uplink e a antena de recepção do satélite desejado (dB)
Y_D :	discriminação de polarização mínima entre a portadora interferente de downlink e a antena de recepção da estação de terra desejada (dB)
E, e :	e.i.r.p das portadoras desejada e interferente na direção da estação de terra desejada (dBW)
$G_4(\varphi)$:	componente de ganho da antena na estação de terra desejada em direção ao satélite interferente (dB)

Algumas notas em relação aos fatores das equações acima:

- Potências e ganhos de antena, associados com a rede desejada, estão em letras maiúsculas, aqueles associados com a rede interferente estão em letras minúsculas. Sufixos associados a ganhos de antena variados seguem a seguinte legenda:
 - 1 = estação de terra transmissora
 - 2 = satélite receptor
 - 3 = satélite transmissor
 - 4 = estação de terra receptora
- Os ganhos de antena $g_1(\varphi)$ e $G_4(\varphi)$ devem, se possível, serem computados utilizando-se padrões de antena de estações de terra. Entretanto, para cálculos preliminares, o padrão de radiação da antena da estação de terra dado pela recomendação ITU-R S.465 pode ser utilizado.
- Para cálculos bastante precisos, os ângulos topocêntricos podem ser utilizados nas expressões para g_1 e G_4 .
- Os termos ΔG_2 , E e e devem, se possível, serem computados usando padrões de antenas de satélite medidos. Variações da geometria do caminho com o tempo podem afetar estes termos, embora estas variações têm a tendência de serem pequenas e podem, normalmente, serem

negligenciadas.

- Na falta de informação, na polarização da antena do satélite, os fatores Y_U e Y_D devem ser considerados como 0 dB.

2.4.1.2. CASO II

Quando uma dada transmissão em frequência de uplink em uma rede é a mesma que a transmissão em frequência de downlink em uma rede interferente, a proporção portadora-interferência de uplink na rede desejada pode ser aproximada por:

$$(C/I)'_U = P_t + G_1 - M_U + \Delta G'_2 - e' + Y' + 20 \log \phi' - 35.2 \quad \text{dB} \quad (3)$$

onde (adicionalmente às definições anteriores)

$\Delta G'_2$: diferencial em ganhos de antena de recepção no satélite desejado, nas direções das estações de terra transmissoras desejadas e o satélite interferente:

$$\Delta G'_2 = G_{2\text{DESEJADO}} - G_{2\text{INTERFERENTE}} \quad \text{dB}$$

e' : e.i.r.p do satélite da portadora interferente em direção ao satélite desejado (dBW)

Y' : discriminação de polarização mínima entre a portadora do satélite interferente e a antena de recepção do satélite desejado (dB)

ϕ' : espaçamento angular geocêntrico mínimo do satélite para a estação de terra desejada (em graus)

2.4.1.3. PROPORÇÃO ENTRE LINKS DE PORTADORAS DESEJADAS E INTERFERENTES

Para o Caso I, a proporção entre os links de portadoras desejadas e interferentes é obtida por uma combinação de resultados das equações (1) e (2), utilizando a fórmula a seguir:

$$C/I = -10 \log \left[10^{\frac{(C/I)_U}{10}} + 10^{\frac{(C/I)_D}{10}} \right] \quad \text{dB} \quad (4)$$

Para o Caso II, a proporção entre os links de portadoras desejadas e interferentes é obtida diretamente da equação (3). Devido ao fato que diferentes critérios e condições

de propagação se aplicam, a interferência entre as estações de terra deve ser considerada separadamente.

2.4.2. ALGORÍTMO GERAL

Um método passo a passo para o cálculo dos níveis de interferência portadora-interferência entre duas redes de satélites fixas segue os passos a seguir

- 1 - designe um satélite como desejado e outro como interferente;
- 2 - escolha os parâmetros requeridos para resolver as equações (1), (2) ou (3) baseado na interferência potencial e nos parâmetros designados de acordo com “1” acima;
- 3 - resolva, de acordo com os parâmetros escolhidos, as equações (1), (2) ou (3);
- 4 - determine a proporção entre as portadoras desejada e interferida para a rede de acordo com o parágrafo 2.4.1.3 acima;
- 5 - utilizando o resultado de “4” acima, a modulação e o espaçamento de frequências das portadoras em investigação determine, de acordo com a recomendação ITU S. 741, a potência de ruído de interferência em relação à portadora interferida;
- 6 - repita os passos acima com as designações de “desejada” e “interferente” invertidas, quando aplicável;
- 7 - repita os passos acima para todas as combinações de portadoras e estações de terra que possam causar interferência nas duas redes.

2.5. MÉTODO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA MÉDIA DA BANDA PARA DETERMINAR A INTERFERÊNCIA ENTRE REDES DE SATÉLITES

2.5.1. INTRODUÇÃO

No processo de computação da interferência entre redes de satélites, três níveis de detalhes devem ser postulados:

- a) os cálculos de $\Delta T/T$ iniciais, utilizando o apêndice S8 das regulamentações de radio (Radio Regulations);
- b) se o limiar de $\Delta T/T$ é excedido, cálculos mais detalhados baseados em

informações adicionais aonde a potência da interferência nas bandas das portadoras de interesse é estimada;

- c) caso uma interferência inaceitável permaneça depois de “b)”, o planejamento das frequências das portadoras pode vir a ser necessário.

Um método simples para a determinação da interferência entre redes de satélites nos níveis de detalhamento postulados em “a)” e “b)” acima será descrito a seguir.

2.5.2. DESCRIÇÃO

Este método para estimar a interferência mútua entre satélites é baseado em se prover informação suficiente para permitir a computação da potência da interferência I em qualquer portadora interferida. A potência de interferência I é proporcional à densidade de potência interferente p_0 vezes a banda interferida de interesse b_r . O pior caso p_0 é determinado para qualquer banda transmissora b_t , achando-se a porção de uma banda de largura b_t na qual a potência total p é máxima. Desta maneira, $p_0(b_t) = p/b_t$.

Para se determinar I para qualquer banda de portadora b_r é necessário que haja uma função quantitativa da densidade de potência média da banda de interesse. A banda total sobre a qual esta função será provida é a banda sobre a qual portadoras contínuas ou potencialmente contínuas existem. Isto seria tipicamente a banda de um transponder de um serviço de satélite fixo. Pode ser demonstrado que somente um pequeno número de bandas médias com densidades de potência a elas associadas são necessárias para, com razoável certeza, descrever uma completa função de densidade de potência média da banda sobre a banda de um transponder. Uma seleção criteriosa dos valores médios das bandas pode resultar em uma pequena quantidade de erros de reconstrução para as funções.

Estes dados da densidade de potência da banda média serão providos para o caminho de subida (valores de P_e e bandas associadas) e para o caminho de descida (valores de P_s e bandas associadas) incluindo os valores de P_e e P_s para as bandas médias correntemente definidas. Uma administração com a rede interferida pode, assim, construir uma função total.

Utilizando estas funções reconstruídas, ou as equações apropriadas, podemos computar os valores para $\gamma\Delta T_s$ e ΔT_e para todas as bandas de portadora de interesse utilizando o apêndice S8 do RR. Destes valores, os valores de $\Delta T/T$ podem ser computados para todas as portadoras e a potência de interferência de todas as portadoras pode também ser computada, implicando em $I = \Delta T \times k \times b_r$, onde k é a constante de Boltzmann. Então, a administração com a rede interferida pode ser computada para cada uma das portadoras: $\Delta T/T$, I/N e (sabendo a potência da portadora, C), C/I . Desta informação de interferência, uma administração pode decidir se existe a necessidade de coordenação, se uma análise mais detalhada é necessária ou se os níveis de interferência são aceitáveis.

Um requisito importante para qualquer método de determinação de interferência é a habilidade de propriamente considerar fontes de interferência múltipla em uma portadora de banda larga. Por exemplo, um número de portadoras SCPC transmitidas de estações de terra diferentes e recebidas por estações de terra diferentes em uma rede, estações de terra estas que são fontes comuns de interferência para uma portadora de banda larga em uma rede interferida. Este método possui esta necessidade e conta com a possibilidade de múltiplas fontes de interferência na determinação das densidades de potência onde esta situação existe. Os valores das densidades de potência, onde portadoras múltiplas devem ser levadas em consideração, seriam limitadas a poucas bandas médias. O ponto importante a ser notado é que estes valores seriam determinados pela administração para sua própria rede.

Em lugares onde as estações de terra transmissoras são idênticas, as densidades de potência e as densidades de e.i.r.p. fora do eixo podem ser obtidas, e terão as mesmas funções de potências densidade-banda que a função do transponder do satélite. Quando existem diferenças nos ganhos das antenas das estações de terra transmissoras, a composição da função densidade de potência de banda pode ser diferente da função de densidade de e.i.r.p. Um método que pode ser utilizado para prover uma função de potência densidade-banda para cada tipo de estação (assume-se que as portadoras em todas as estações de terra de um tipo estão em uma estação de terra daquele tipo). A interferência fora do eixo de cada tipo de estação de terra pode, então, ser computada em bandas de interesse. O pior caso de interferência para uma dada banda pode então ser estimado pela comparação dos valores dos diferentes tipos de estações de terra.

Uma implementação específica deste método é descrita na seção 2.5.3. Exemplos

são dados utilizando implementações específicas para indicar a melhora na exatidão que talvez possa ser atingida quando comparada com o método do apêndice S8 do RR.

2.5.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA MÉDIA DA BANDA

2.5.3.1. FORMULAÇÃO GERAL

Dada uma banda com portadoras sobrepostas ou potencialmente sobrepostas, o pior caso de densidade de potência p_0 em uma banda b é determinado achando-se a porção da banda de largura b na qual a potência total é p máxima.

$$p_0 = p/b \quad (5)$$

Dados os valores de densidade de potência p_{01} e p_{02} para as bandas b_1 e b_2 , o valor máximo de p_0 entre b_1 e b_2 é limitado de acordo com o seguinte:

$$p_0 = p_{01} \quad \text{para} \quad b_1 \leq b \leq b_2(p_{02}/p_{01}) \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{p_{02}b_2}{b} \quad \text{para} \quad b_1(p_{02}/p_{01}) \leq b \leq b_2 \quad (7)$$

e o mínimo de p_0 entre b_1 e b_2 é:

$$p_0 = \frac{p_{01}b_1}{b} \quad \text{para} \quad b_1 \leq b \leq b_2(p_{01}/p_{02}) \quad (8)$$

$$p_0 = p_{02} \quad \text{para} \quad b_1(p_{02}/p_{01}) \leq b \leq b_2 \quad (9)$$

A diferença obtida entre estas funções ao se conectar os pontos de dados é o erro máximo possível.

Quando densidades de potência são expressas em dB(W/Hz) e plotadas em relação à banda, em uma escala logarítmica, o paralelogramo de erro é formado como mostrado na figura 3 abaixo. Como mostrado nesta figura, o mesmo processo é utilizado entre

pontos subsequentes (P_{02}, b_2 e P_{03}, b_3 , etc.). O erro é uma função de b e de $(P_{01} - P_{02})$.

Para um erro igual entre pontos (P_{01}, b_1) , (P_{02}, b_2) , (P_{03}, b_3) , (P_{04}, b_4) etc., um espaçamento geométrico, ou seja, $b_2/b_1 = b_3/b_2 = b_4/b_3$ etc. deve ser utilizado.

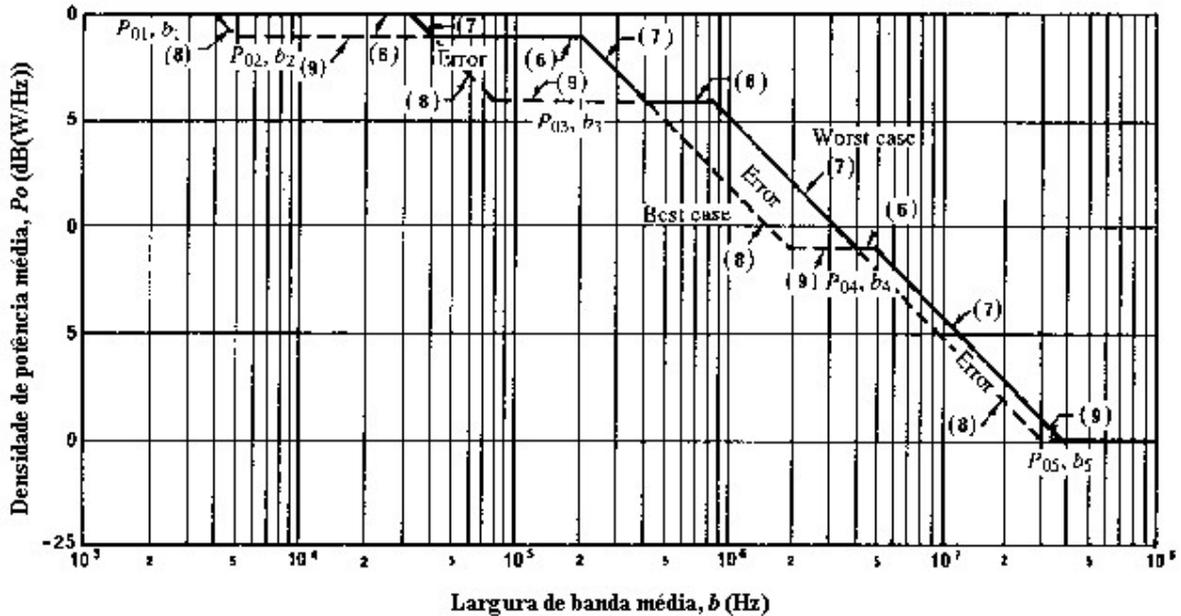


Figura 3 - Exemplo da construção de uma função total utilizando 5 pontos de dados

2.5.3.2. FORMULAÇÃO ESPECÍFICA

A densidade de potência p , média sobre a banda, b , pode ser computada pelas expressões seguintes, que se aplicam para ambas as direções, Terra-Espaço e Espaço-Terra:

$$\left. \begin{aligned}
 p(b)_{\max} &= p_1 & \text{para} & & b_1 \leq b \leq p_2 b_2 / p_1 & \text{W/Hz} \\
 p(b)_{\max} &= p_2 b_2 / b & \text{para} & & p_2 b_2 / p_1 \leq b \leq b_2 & \text{W/Hz} \\
 p(b)_{\max} &= p_2 & \text{para} & & b_2 \leq b \leq p_3 b_3 / p_2 & \text{W/Hz}
 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

e continuando para $b = b_i$.

Caso da portadora única

O ponto de dados (p_1, b_1) é, atualmente, dado requerido. O próximo ponto de

dados mais importante é (p_t, b_t) . Para a FSS, b_t é mais comumente uma banda de transponder e p_t é o limite da potência do transponder p_t dividido por b_t para a direção Espaço-Terra. Para a direção Terra-Espaço, p_t seria limitada à potência de transmissão da estação de terra requerida para produzir uma máxima saída do transponder.

O ponto de dados (p_t, b_t) limita a largura de banda sobre a qual p_t pode existir e, desta maneira, extrapolação de p_t para bandas mais largas não irá resultar em potências totais não realistas. Estes dois pontos de dados:

$$\left. \begin{array}{ll} p(b)_{\max} = p_t & \text{para } b_1 \leq b \leq p_t / p_1 \\ p(b)_{\max} = p_t / b & \text{para } p_t / p_1 \leq b \leq b_t \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{W/Hz} \\ \text{W/Hz} \end{array} \quad (11)$$

Isto representa o pior caso de densidade de potência média da banda para uma portadora única de largura banda b_t e para o caso de portadoras múltiplas em uma dada banda.

Caso da portadora múltipla

Quando múltiplas portadoras estão contidas em b_t , é provável que as densidades de potência médias da banda entre b_1 e b_t serão menores que aquelas da equação (11). Um terceiro ponto de dados pode ser obtido para este caso, considerando-se as seguintes informações:

- a maior potência de portadora simples, p_a , e
- a potência da portadora p_b e a banda por ela ocupada, b_b , na qual p_b/b_b se torna o maior possível.

Assim, p_b/b_b é p_2 e b_2 é $b_b p_a / p_b$. O pior caso de densidade para qualquer banda b é:

$$\begin{array}{llll}
p(b)_{\max} = p_1 & \text{para} & b_1 \leq b \leq p_a / p_1 & \text{W/Hz} \\
p(b)_{\max} = p_a / b & \text{para} & p_a / p_1 \leq b \leq p_a b_b / p_b & \text{W/Hz} \\
p(b)_{\max} = p_b / b_b & \text{para} & p_a b_b / p_b \leq b \leq p_t b_b / p_b & \text{W/Hz} \\
p(b)_{\max} = p_t / b & \text{para} & p_t b_b / p_b \leq b \leq b_t & \text{W/Hz}
\end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}} \right\} \quad (12)$$

2.5.3.3. EXEMPLOS

Caso da portadora única

Um acesso comum em portadora única seria a portadora FM/TV. Para um exemplo, um transponder de 36 MHz operando na banda 6/4 GHz com uma potência máxima de saída de 4W é assumido, e esta portadora utiliza uma taxa de espalhamento de frame de 1 MHz. Baseando-se nestes dados, na direção espaço-Terra, temos:

$$P_t = 6 \text{ dBW (4W) (potência máxima do transponder)}$$

$$b_t = 36 \text{ MHz (largura de banda do transponder)}$$

$$b_1 = 4 \text{ KHz (largura de banda média)}$$

$$P_1 = 6 - 10 \log(1 \text{ MHz}) = -54 \text{ dB(W/Hz) (densidade de potência máxima em 4KHz devido à taxa de dispersão de energia dos frames)}$$

Para este caso, a equação (11) define o pior caso para a densidade como uma função de banda média:

$$P(b)_{\max} = -54 \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 4 \text{ KHz} \leq b \leq 1 \text{ MHz}$$

$$P(b)_{\max} = 6 - 10 \log b \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 1 \text{ MHz} \leq b \leq 36 \text{ MHz}$$

A função espaço para terra, para uma Estação de terra particular teria a mesma forma com valores diferentes de P_t e P_1 . Parâmetros exemplo para a determinação da densidade de potência média da banda terra para espaço são:

Ganho da antena transmissora da estação de terra = 55 dB

Ganho da antena receptora da estação de terra = 51 dB

Ganho da antena transmissora do satélite = 22 dB

Ganho da antena receptora do satélite = 22 dB

Ganho de transmissão = -13 dB

Temperatura de ruído equivalente = 275 K

A potência da estação de terra transmissora que produz uma saída de transponder de 6 dBW é 19 dBW. Utilizando uma barra para designar os parâmetros do caminho de subida, temos:

$\bar{P}_t = 19$ dBW (potência máxima de transmissão da estação de terra)

$\bar{b}_t = 36$ MHz (largura de banda da estação de terra transmissora)

$\bar{b}_1 = 4$ KHz (largura de banda média)

$\bar{P}_1 = 19 - 10 \log(1 \text{ MHz}) = -41$ dB(W/Hz) (densidade de potência máxima em 4KHz).

Para o qual a densidade de potência do pior caso como uma função da banda média é:

$$(\bar{P}(b) \text{ max}) = -41 \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 4\text{KHz} \leq b \leq 1\text{MHz}$$

$$(\bar{P}(b) \text{ max}) = 19 - 10 \log(1\text{MHz}) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 1\text{MHz} \leq b \leq 36\text{MHz}$$

Estas funções de caminhos de subida e descida são mostradas na figura 4.

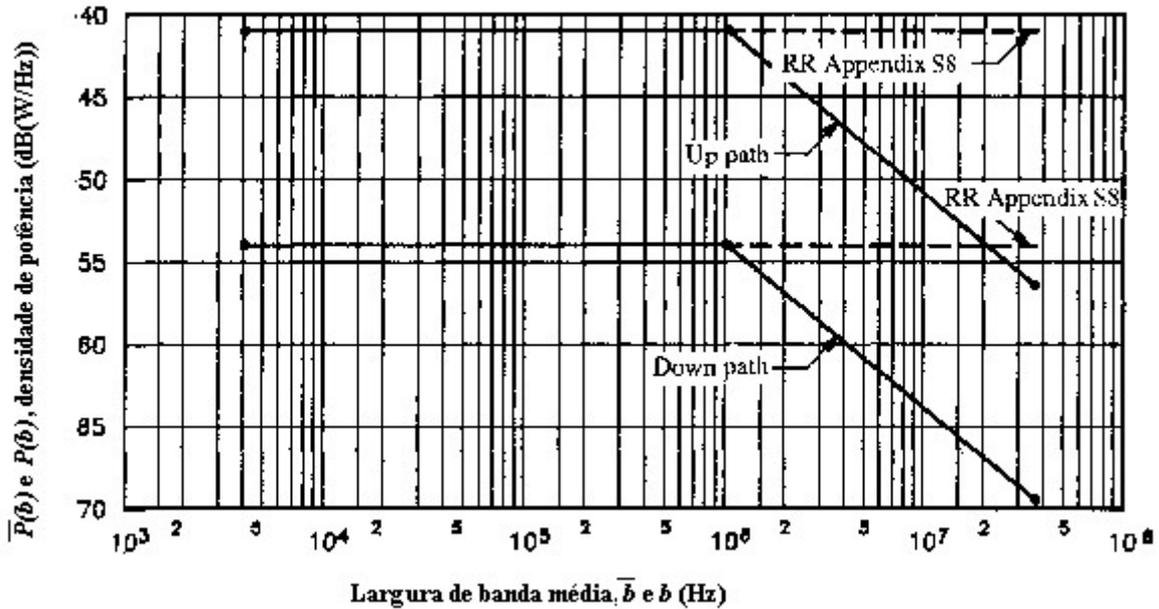


Figura 4 - Densidade de potência - Largura de banda média - Exemplo de portadora única.

Caso da portadora múltipla

Para um exemplo de um transponder acessado por múltiplas portadoras, os mesmos parâmetros do transponder do caso de portadora única são assumidos. A portadora simples com a maior potência P_a é assumida como sendo a portadora FDM/FM requerendo -3 dBW de potência de transponder, e tem uma largura de banda b_a de 2 MHz. A largura de banda desta portadora deve ser maior do que a banda média de referência, que neste caso é de 4 KHz. O valor de P_a / b_a é de -66 dB (W/Hz). Assumimos que portadoras FM/SCPC necessitam de -18 dBW de potência de transponder P_b e 25 KHz de largura de banda b_b . O valor de P_b / b_b é -62 dB(W/Hz) que é maior que o valor da portadora de maior potência. Para este tipo de SCPC, P_b pode existir em 4KHz para que $P_1 = -54$ dB seja assumido como sendo a maior densidade de potência média sobre 4 KHz no transponder. A equação (12) é aplicada, e os parâmetros pertinentes para a direção espaço para terra são:

- $P_t = 6$ dBW (4W) (potência máxima do transponder)
- $b_t = 36$ MHz (largura de banda do transponder)
- $P_a = -3$ dBW (maior potência da portadora única ou simples)

$$b_a = 2 \text{ MHz (largura de banda de } P_a)$$

$$P_b = -18 \text{ dBW (potência da portadora com maior } (P_b / b_b))$$

$$b_b = 25 \text{ KHz (largura de banda de } P_b)$$

$$P_1 = 6 - 10 \log(1 \text{ MHz}) = -54 \text{ dB(W/Hz) (densidade de potência máxima em 4 KHz devido à taxa de dispersão de energia dos frames)}$$

$$b_1 = 4 \text{ KHz (largura de banda média)}$$

Assim, o pior caso de densidade de potência para qualquer banda média entre 4 KHz e 36 MHz é:

$$P(b)_{max} = -54 \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 4 \text{ KHz} \leq b \leq 126 \text{ KHz}$$

$$P(b)_{max} = -3 - 10 \log b \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 126 \text{ KHz} \leq b \leq 791 \text{ KHz}$$

$$P(b)_{max} = -62 \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 791 \text{ KHz} \leq b \leq 6.30 \text{ MHz}$$

$$P(b)_{max} = -6 - 10 \log b \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 6.30 \text{ KHz} \leq b \leq 36 \text{ MHz}$$

Parâmetros exemplo para a determinação das funções de densidade de potência da banda média são aqueles dados pelo exemplo de acesso por portadora única acima, adicionados dos parâmetros da estação de terra a seguir:

Ganho da antena transmissora da estação de terra = 47 dB

Ganho da antena receptora da estação de terra = 43 dB

Ganho de transmissão = -21 dB

Temperatura de ruído de link equivalente = 212 K

Estes ganhos de antena da estação de terra correspondem a uma antena com um diâmetro de aproximadamente 4.5 m, enquanto aqueles ganhos mostrados previamente correspondem a uma antena com diâmetro aproximado de 11 m. As portadoras de 2 MHz não são utilizadas com as antenas de 4.5 m das estações de terra. As portadoras SCPC são utilizadas entre quaisquer combinações de antenas de estação de terra de 4.5 m e 11 m. No dito anterior, um conjunto de parâmetros para cada tipo de estação de terra é desenvolvido. Para propósitos de exemplo, o pior caso de P_i é assumido para

cada tipo de estação de terra, ou seja, utilizando um P_t que produz a maior potência de saída do transponder. Novamente, utilizando uma barra para indicar os parâmetros do caminho de subida, temos os seguintes parâmetros para cada tipo de estação de terra.

Para as estações de terra com antenas de 11 m

$$\begin{array}{ll} \bar{P}_t = 19 \text{ dBW} & \bar{b}_t = 36 \text{ MHz} \\ \bar{P}_a = 10 \text{ dBW} & \bar{b}_a = 2 \text{ MHz} \\ \bar{P}_b = -5 \text{ dBW} & \bar{b}_b = 25 \text{ KHz} \\ \bar{P}_1 = -41 \text{ dB (W/Hz)} & \bar{b}_1 = 4 \text{ KHz} \end{array}$$

Para as estações de terra com antenas de 4.5 m

$$\begin{array}{ll} \bar{P}_t = 27 \text{ dBW} & \bar{b}_t = 36 \text{ MHz} \\ \bar{P}_a = \bar{P}_b = 3 \text{ dBW} & \bar{b}_a = \bar{b}_b = 25 \text{ KHz} \\ \bar{P}_1 = -33 \text{ dB (W/Hz)} & \bar{b}_1 = 4 \text{ KHz} \end{array}$$

Aplicando-se os resultados da equação (12) com os dados acima, temos:

Para as estações de terra com antenas de 11 m

$$\begin{array}{llll} \bar{P}(b)_{max} = -41 & \text{dB(W/Hz)} & \text{para} & 4 \text{ KHz} \leq b \leq 126 \text{ KHz} \\ \bar{P}(b)_{max} = 10 - 10 \log b & \text{dB(W/Hz)} & \text{para} & 126 \text{ KHz} \leq b \leq 791 \text{ KHz} \\ \bar{P}(b)_{max} = -49 & \text{dB(W/Hz)} & \text{para} & 791 \text{ KHz} \leq b \leq 6.30 \text{ MHz} \\ \bar{P}(b)_{max} = 19 - 10 \log b & \text{dB(W/Hz)} & \text{para} & 6.30 \text{ KHz} \leq b \leq 36 \text{ MHz} \end{array}$$

Para as estações de terra com antenas de 4.5 m

$$\bar{P}(b)_{max} = 3 - 10 \log b \text{ dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 4 \text{ KHz} \leq b \leq 25 \text{ KHz}$$

$$\bar{P}(b)_{max} = -41 \quad \text{dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 25 \text{ KHz} \leq b \leq 6.30 \text{ MHz}$$

$$\bar{P}(b)_{max} = 27 - 10 \log b \text{ dB(W/Hz)} \quad \text{para} \quad 6.30 \text{ KHz} \leq b \leq 36 \text{ MHz}$$

Estas funções são mostradas nas figuras 5 e 6.

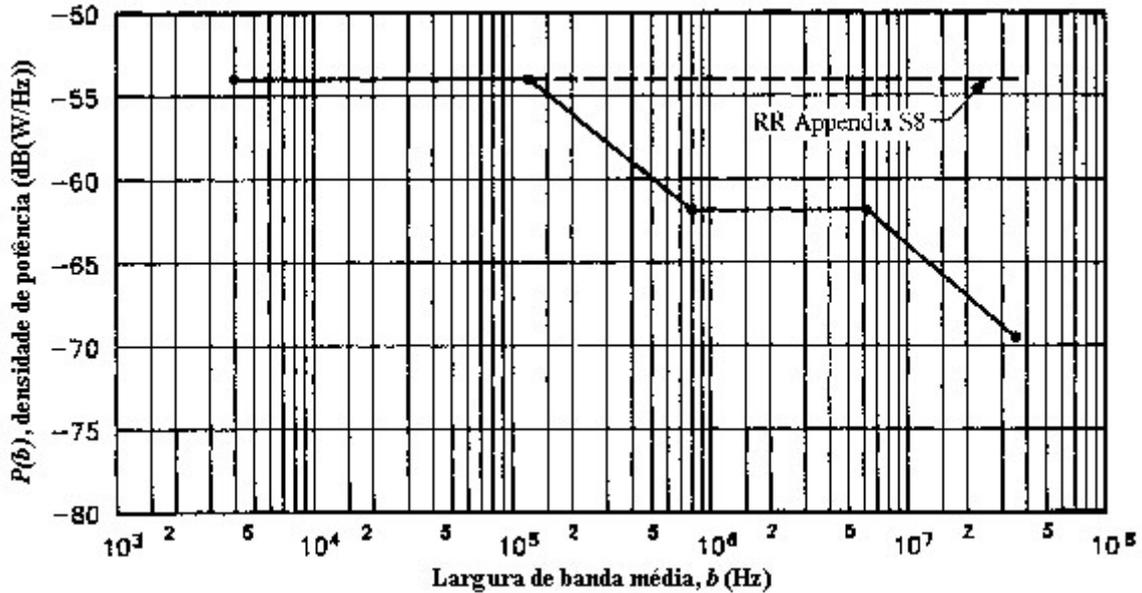


Figura 5 - Densidade de potência - Largura de banda média - Exemplo de portadora múltipla no caminho de descida (down path)

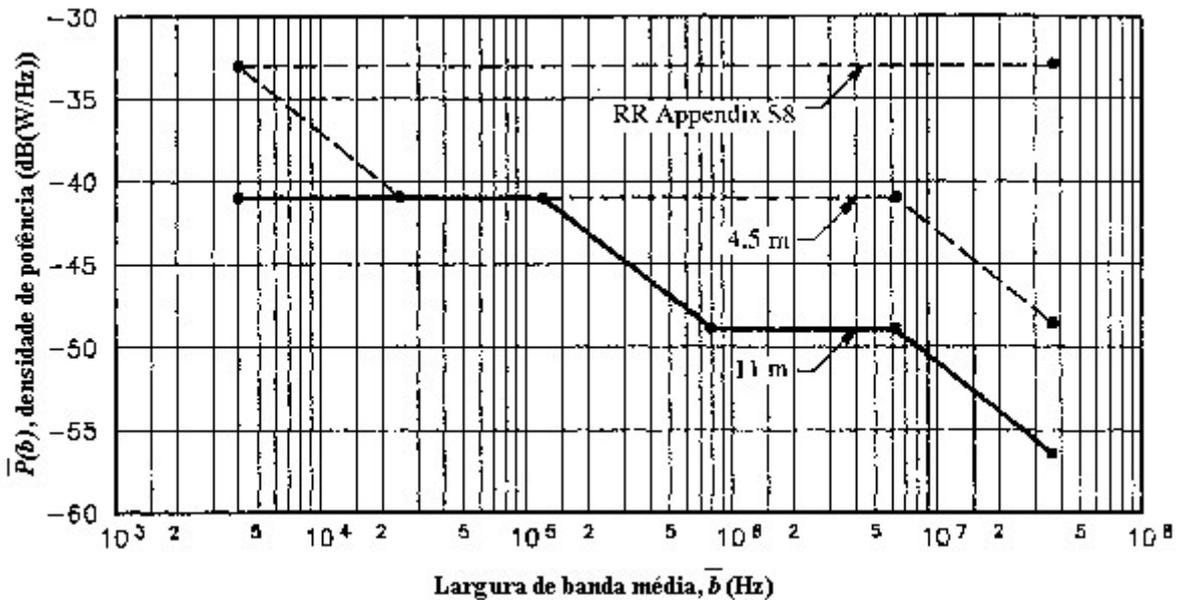


Figura 6 - Densidade de potência - Largura de banda média - Exemplo de portadora múltipla no caminho de subida (up path)

A interferência de caminho de subida também é uma função do ganho fora do eixo

da antena de transmissão da estação de terra assim como da densidade de potência. Caso os ganhos fora do eixo fossem os mesmos do exemplo acima, o envelope das duas funções é o pior caso da densidade de potência para qualquer banda média. Caso os ganhos fora do eixo sejam diferentes, então o pior caso da função de densidade de e.i.r.p. fora do eixo pode ser desenvolvido.

Utilizando o exemplo de portadoras múltiplas acima, os cálculos de $\Delta T/T$ podem ser feitos onde $p(b)_{\max}$ é utilizado para p_s e $\bar{p}(b)_{\max}$ é utilizado para p_e no apêndice S8 do RR. Um ângulo topocêntrico de 4° , um envelope de lóbulo lateral da estação de terra de $29-25\log\phi$ e uma co-cobertura são condições assumidas. A rede interferida tem as mesmas características da rede interferente, com exceção das portadoras. Os resultados destes cálculos são mostrados na figura 7 abaixo. Os cálculos atuais do Apêndice S8 do RR mostram um $\Delta T/T$ de 36% para todas as bandas interferidas. Utilizando este método, um $\Delta T/T$ de 14% é indicado para portadoras interferidas de banda de 25 KHz a 126 KHz e o $\Delta T/T$ é menor que 6% para portadoras interferidas de banda superior a 600 KHz. Com este método, o valor numérico de $\Delta T/T$ é igual ao I/N da banda das portadoras interferidas.

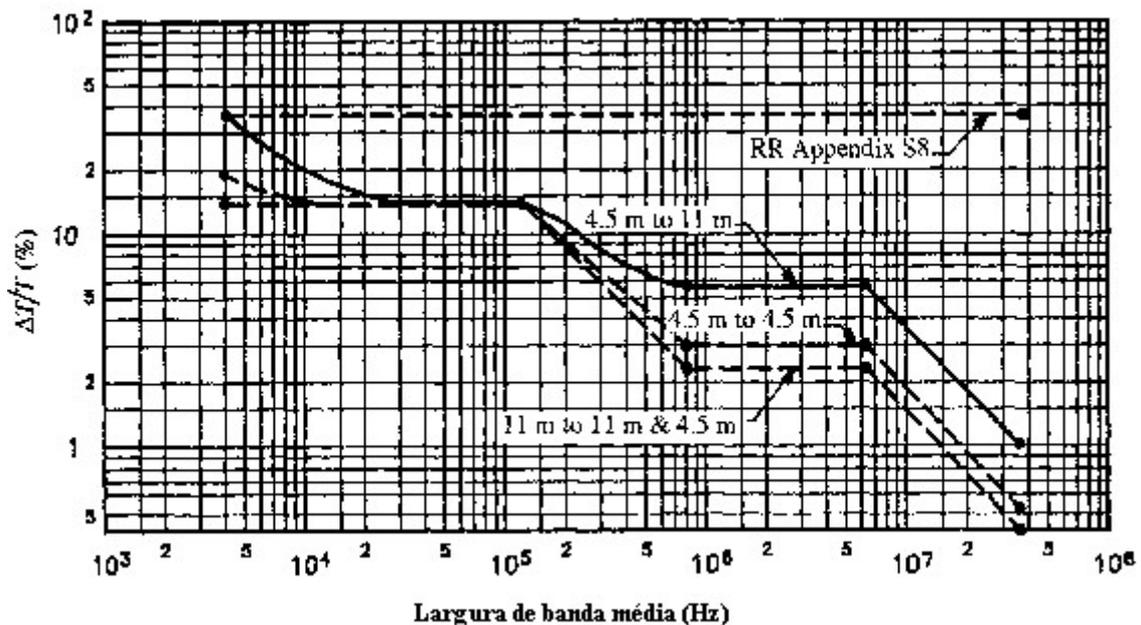


Figura 7 - $\Delta T/T$ versus largura de banda média - Exemplo de portadora múltipla

2.5.4. REQUERIMENTOS DE DADOS

Este método de densidade de potência da banda média foi desenvolvido com a

intenção de minimizar a quantidade de dados adicionais requeridos e a disponibilidade destes dados, ao mesmo tempo, provendo uma melhora significativa nas estimativas de interferência.

2.6. MÉTODO DO ISOLAMENTO

2.6.1. O CONCEITO DE ISOLAMENTO

2.6.1.1. MÉTODO DE ISOLAMENTO CONVENCIONAL

O isolamento entre duas redes pode ser obtido da seguinte maneira: na equação básica de c/i . (A definição de símbolos está na tabela 1)

$$c/i = \left[\frac{p'_1 g'_1(\varphi) g_2(\psi')}{p_1 g_1 g_2} + \frac{p'_3 g'_3(\varphi) g_4(\psi')}{p_3 g_3 g_4} \right]^{-1} \quad (13)$$

As proporções $p'_1/(p_1 g_1 g_2)$ e $p'_3/(p_3 g_3 g_4)$ podem ser substituídas dos orçamentos internos de potência do uplink e do downlink nas redes interferente e interferida de acordo com o que se segue:

$$p'_1/(p_1 g_1 g_2) = \frac{(c/n)'_u b' T_2}{(c/n)_u b T_2 g'_1 g'_2} \quad (14)$$

$$p'_3/(p_3 g_3 g_4) = \frac{(c/n)' T'_1 b'}{(c/n) T_1 b g'_3 g'_4} \quad (15)$$

Definindo

$$(c/n)'/(c/n)'_u = n'_1 \quad (16)$$

$$(c/n)/(c/n)_u = n_1 \quad (17)$$

Transferindo-se b , b' , (c/n) e $(c/n)'$ para o lado esquerdo produzimos a “equação de isolamento”:

$$(c/i) \frac{(c/n)' b'}{(c/n) b} = \left[\frac{n_1 (g_2/T_2) g'_1(\varphi)}{n'_1 (g'_2/T'_2) g'_1 \Delta g_2(\psi')} + \frac{(g_4/T_1) g_4(\varphi')}{(g'_4/T'_1) g_4 \Delta g'_3(\psi)} \right]^{-1} \quad (18)$$

transmissão contra interferência inaceitável de outra, normalizada com o respeito para as proporções das densidades portadora-ruído necessárias c/n_0 de ambas as transmissões.

Isolamento disponível (perda por acoplamento inter-rede) de uma rede A relativo a uma rede B é definido como a proporção de potências recebidas em dois pontos de uma transmissão sendo originada em B, normalizada com respeito às temperaturas de ruído efetivas nos pontos de recepção. Os dois pontos de recepção são os receptores nas redes A e B, respectivamente.

A equação de isolamento básica é assunto para um refinamento complementar:

- Quando uma transmissão interferente tem uma largura de banda necessária menor do que a transmissão desejada, algumas concessões para adicionais contribuições da interferência no termo c/i devem ser feitas. Seria conveniente assumirmos que, neste caso, toda interferência seria devido a uma série de portadoras interferentes de um mesmo tipo, igualmente espaçadas na frequência. No caso de transmissões FM interferidas, caso $(c/i)_{nec_j}$ fosse denotado como proporção de c/i necessária para a j -ésima portadora interferente. Caso assumíssemos que $(c/i)_{nec_j}$ produz toda a interferência permitida, o c/i efetivo que deveria ser utilizado como o termo c/i no lado esquerdo da equação (18) seria:

$$(c/i)_{nec_efe} = \sum_{todos_j} (c/i)_{nec_j} \quad (19)$$

com a soma das contribuições de todas as portadoras cujas bandas necessárias se sobrepõem às bandas das portadoras interferidas. Uma expressão equivalente pode ser desenvolvida para o caso de uma transmissão digital seja o alvo da interferência;

- Em alguns casos, discriminação de polarização downlink e uplink podem estar disponíveis. Esta discriminação iria aumentar o isolamento disponível ou mesmo diminuir o espaçamento inter-satélite necessário. Boas estimativas de discriminação de polarização são disponíveis para condições nas quais satélites

estejam bem próximos ou tenha a mesma área de cobertura. ($\psi, \psi', \varphi, \varphi' = 0^\circ$).
Para outras condições, dados adicionais devem ser coletados;

- os termos n_1/n'_1 , T_l e T'_l não são independentes dos parâmetros de transmissão assumidos. O termo n_1/n'_1 é controlável através da incorporação de passos de ganho do satélite apropriados no design do satélite e na escolha de configurações apropriadas, por conseguinte afetando as exigências de potência de uplink. As temperaturas de ruído dos links T_l e T'_l podem ser divididos em componentes dependentes da transmissão e componentes independentes da transmissão. Os componentes dependentes da transmissão poderiam fazer parte do isolamento necessário;
- O conceito de isolamento necessita ser adaptado para ser utilizável em rede as quais têm somente uma das interferências, uplink ou downlink, ou mesmo aquelas que possuem outros transponders que não sejam transponders de satélite de translação de frequência;
- Considerações sobre a condição de ψ e/ou $\psi' < 0^\circ$, ou seja, onde ocorre uma sobreposição das áreas de serviço, devem ser tomadas.

Um tipo de homogeneidade implica em igualdade em todos os principais parâmetros de design e de operação, nas duas (ou mais) redes. Outro tipo de homogeneidade implica na necessidade de um espaçamento inter-satélite igual e recíproco para duas redes. Igualdade no valor do isolamento disponível para duas redes, cada uma com relação à outra, geralmente não implica em igualdade no espaçamento inter-satélite necessário correspondente, ou seja, isolamento igual e recíproco disponível não produz homogeneidade de espaçamento inter-satélite. O mesmo é verdade para os parâmetros gerais C/I e $\Delta T/T$. Dois sistemas são homogêneos se, enquanto calculando a interferência real, um valor permissível em uma das direções é alcançado em uma separação angular de satélites φ_{1-2} e inversamente φ_{2-1} , e $\varphi_{1-2} = \varphi_{2-1}$. Estes sistemas homogêneos podem alterar seus parâmetros e ainda assim ter o mesmo isolamento necessário.

Exemplos de aplicação

A tabela 2 mostra uma matriz de tipos de portadoras, mostrando também o isolamento que seria necessário entre as redes para limitar a interferência simples a 600 pW0p e também para limitar o ruído de banda básica para TV em 4%.

Tabela 2 - Isolamento necessário entre transmissões (dB)

Desejado \ Interferente		High-index FDM-FM				Medium-index FDM-FM				TV-FM	
		12 ch	60 ch	252 ch	792 ch	60 ch	132 ch	432 ch	792 ch	600 ⁽¹⁾	2 000 ⁽¹⁾
SCPC	PSK	30.2	29.4	30.5	33.4	38.4	38.0	38.7	39.8	47.8	44.7
	CFM	29.2	28.4	29.5	32.4	37.4	37.0	37.7	38.8	44.7	40.5
High-index FDM-FM	12 ch	27.6	28.4	29.7	32.6	36.8	37.0	37.9	39.0	40.5	35.9
	60 ch	24.5	26.7	29.4	32.5	33.4	35.2	37.6	38.9	37.4	35.2
	252 ch	24.5	23.6	27.4	32.0	32.0	31.4	35.3	37.7	32.4	32.1
	792 ch	24.5	23.6	24.4	29.9	32.0	31.6	31.9	34.6	27.9	27.9
Medium-index FDM-FM	60 ch	24.5	27.5	29.6	32.6	34.6	36.0	37.7	38.9	38.5	35.5
	132 ch	24.6	25.5	29.1	32.5	32.0	34.0	37.2	38.7	35.9	34.5
	432 ch	24.6	24.1	26.4	31.6	32.1	32.3	34.3	37.0	31.5	31.0
	792 ch	24.6	23.9	24.5	30.3	32.2	31.8	32.3	35.2	29.1	28.9
TV	TV-FM	27.4	28.0	28.8	31.8	32.0	34.0	36.6	37.5	33.0	33.0
Índice de modulação r.m.s.		2.65	2.17	1.55	1.24	1.10	0.96	0.82	0.76		

⁽¹⁾ Desvio pico a pico (kHz) da dispersão de energia da taxa de frames.

ch : canais.

2.6.1.2. MÉTODO DO ISOLAMENTO DO LINK

No método do isolamento do link, a equação (18) é modificada, substituindo-se o cluster c/n no termo entre parênteses à direita por termos alternativos apropriados. Da recomendação ITU-R S. 738, anexo 1, com uma pequena modificação da equação (14), temos:

$$\frac{(c/n)}{(c/n)_u} = \frac{4\pi b_i e_{sat} g_4 T_2}{\lambda_u^2 b_0 f_{sat} \ell_d g_2 T_\ell} \quad (20)$$

onde:

λ_u : comprimento de onda da portadora uplink

b_i, b_0 : back-off de entrada e saída do transponder respectivamente

e_{sat} : e.i.r.p. saturado do transponder

f_{sat} : potência de saturação da densidade de fluxo

Combinando os parâmetros de (20) para as redes desejada e interferente e inserindo seu resultado em (18), temos:

$$(c/i) \frac{(c/n)' b'}{(c/n) b} = g'_4 \frac{T_\ell}{T'_\ell} \left[\frac{e_{sat} b_i}{e'_{sat} b'_i} \cdot \frac{f'_{sat} b'_0}{f_{sat} b_0} \cdot \frac{g_4 g'_1(\varphi)}{g'_1 \Delta g_2(\psi')} + \frac{g_4(\varphi')}{\Delta g'_3(\psi)} \right]^{-1} \quad (21)$$

Nota-se que mesmo que o termo entre colchetes da equação (21) seja basicamente independente de uma combinação de portadoras, T_i e T'_i são ambos para portadoras específicas.

A dependência do isolamento disponível pelos parâmetros das portadoras é tratada da seguinte forma.

A temperatura de ruído do link T_i é expressada da seguinte forma:

$$T_\ell = \frac{(c/n)_d}{(c/n)} T_4 \quad (22)$$

onde T_4 é a temperatura de ruído recebida da estação de terra. Substituindo-se a equação (22) na equação (21), os termos (c/n) e $(c/n)'$ aparecem em ambos os lados da equação (21) e assim podem ser eliminados. Depois, movendo os termos $(c/n)_d$ e $(c/n)'_d$ para o lado esquerdo da equação, temos que a equação de isolamento do link assume a forma:

$$(c/i) \frac{(c/n)'_d b'}{(c/n)_d b} = \frac{g'_4/T_4}{g_4/T_4} \left[\frac{e_{sat} f'_{sat} h}{e'_{sat} f_{sat} h'} \cdot \frac{g'_1(\varphi)}{g'_1 \Delta g_2(\psi')} + \frac{g_4(\varphi')}{\Delta g'_3(\psi) g_4} \right]^{-1} \quad (23)$$

onde $h = b_1/b_0$ e $h' = b'_1/b'_0$. Como h e h' são parâmetros operacionais de transponder, eles são constantes para todas as portadoras envolvidas nos links tratados. (Tenha em vista que um link de satélite consiste de um tipo de estação de terra transmissora, um tipo de estação de terra receptora e do caminho relacionado através de um transponder

de satélite com características específicas, como configurações de ganho e back-offs operacionais).

O isolamento de link disponível é unicamente informação dada e determinada em back-offs operacionais e configurações de ganho de um transponder juntamente com outras características da rede, incluindo tipos de estações de terra transmissoras e receptoras. O isolamento de link disponível para um par de links é, então, uma constante independente das portadoras específicas transmitidas em cada um dos links.

Os isolamentos de portadora necessários são específicos de link, porém valores representativos podem ser determinados através de análise teórica e/ou análise estatística dos dados disponíveis para redes de satélite existentes.

Exemplos de valores de isolamento necessários para algumas combinações de portadoras são dadas na tabela 3. Estes valores foram obtidos pela análise de parâmetros operacionais das portadoras, assim como utilizando-se critérios da ITU-R para interferência de portadora única.

Caso a interferência esteja somente no uplink ou somente no downlink, uma expressão ligeiramente diferente para a equação (23) é utilizada. Entretanto, as características principais do método de isolamento de links descritas acima irão permanecer as mesmas.

Tabela 3 - Meios e desvios padrões de isolamentos de portadoras requeridos, derivados do método de isolamento de link (dB)

Portadora interferente \ Portadora desejada		FDM/FM						SCPC		Banda larga (wideband) Digital		TV/FM
		36 ch 2.5 MHz	72 ch 5.0 MHz	132 ch 7.5 MHz	192 ch 10.0 MHz	312 ch 15.0 MHz	972 ch 36.0 MHz	FM	PSK	60 Mbit/s 30.0 MHz	120 Mbit/s 60.0 MHz	Dispersão $2M_{p-p}$
FDM/FM	36 ch/2.5 MHz	31.6/2.4 ⁽¹⁾	31.2/2.2	32.9/2.2	32.9/2.5	34.1/2.3	36.4/2.6	28.9/2.6	35.3/2.4	39.5/2.2	35.5/1.0	48.5/1.7
	72 ch/5.0 MHz	32.3/2.1	29.5/1.9	31.6/1.9	31.9/2.2	33.4/2.1	36.1/2.1	27.6/2.5	34.1/2.3	38.3/2.1	34.7/0.7	47.1/1.5
	132 ch/7.5 MHz	33.1/2.2	31.4/1.5	31.6/2.1	32.3/2.2	34.0/2.1	37.2/2.2	27.8/2.6	34.3/2.4	38.7/2.2	35.8/1.3	46.5/1.6
	192 ch/10.0 MHz	32.9/2.7	32.7/1.8	33.7/1.9	31.2/2.6	34.8/2.3	37.3/2.3	28.7/2.6	35.1/2.5	39.6/2.4	36.1/1.3	46.4/1.8
	312 ch/15.0 MHz	32.9/3.0	32.3/2.1	33.5/2.2	32.8/2.6	33.3/2.9	36.6/2.6	28.0/3.0	34.4/2.8	39.1/2.6	37.3/2.3	44.0/2.1
972 ch/36.0 MHz	31.3/2.6	29.3/2.1	34.4/1.7	31.8/2.2	32.2/2.1	33.4/2.3	27.0/2.6	33.5/2.4	38.5/2.2	34.4/1.3	38.0/2.8	
SCPC	FM	32.8/2.9	31.9/3.0	33.3/3.1	32.5/3.0	33.1/2.8	34.5/2.9	32.4/1.9	30.9/2.0	35.1/3.0	32.3/2.5	51.5/3.2
	PSK	30.3/3.0	30.4/2.9	31.7/2.9	30.6/3.0	32.1/3.2	33.1/2.7	31.6/2.4	28.8/2.0	33.6/2.9	30.8/2.4	51.8/2.6
Banda larga (wideband) Digital	60 Mbit/s/30 MHz	23.6/3.0	23.0/2.3	24.3/2.3	23.3/2.8	24.4/2.7	26.8/2.9	18.7/2.8	27.9/2.7	30.8/2.2	28.4/1.6	30.5/2.1
	120 Mbit/s/60 MHz	29.9/2.4	29.3/1.4	30.5/1.5	29.6/2.2	30.7/2.0	33.1/2.2	25.0/2.1	34.2/2.0	32.7/2.4	31.1/1.8	34.8/2.0
TV/FM		25.5/3.2	24.8/2.6	25.0/3.0	25.2/3.0	26.0/3.0	26.7/2.3	19.6/3.4	27.1/2.8	31.0/2.7	31.4/2.6	32.6/2.6

⁽¹⁾ X/Y X: valor médio do isolamento de portadora desejado (dB).

Y: desvio standard ascendente do isolamento de portadora (dB).

3. CÁLCULOS DE PORTADORA-INTERFERÊNCIA ENTRE REDES NO SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO

De acordo com a recomendação ITU-R S.741-2:

Considerando que:

- a) Durante o estágio de planejamento de uma rede de satélites, pode ser útil calcular-se as proporções portadora-interferência (C/I) entre as portadoras das redes interferidas e interferentes com o propósito de determinar os níveis de interferência;
- b) Tais cálculos dependem da geometria relativa da rede de satélites envolvida;
- c) As proporções portadora-interferência podem ser utilizadas na determinação dos níveis de interferência que contribuem para uma degradação da performance;
- d) As proporções portadora-interferência podem ser utilizadas para todos os métodos de modulação e todos os tipos de sinais;
- e) Os cálculos portadora-interferência podem ser um elemento de uma completa coordenação de frequências de redes de satélites de acordo com o Radio Regulations;
- f) Métodos alternativos podem ser utilizados, sempre por um acordo entre as administrações preocupadas em calcular os níveis de interferência entre as redes de satélites.

O ITU Radiocommunication Assembly recomenda que, quando proporções portadora-interferência (C/Is) são utilizadas para calcular os níveis de interferência entre redes de satélites:

- O método mostrado na seção 2.4 dos “Métodos de Coordenação Técnica para Redes de Satélites Fixos” mostrada anteriormente pode ser utilizado como base para estes cálculos, enquanto considerações geométricas são levadas em conta;
- Os métodos descritos na seção 3.1 a seguir podem ser utilizados para calcular a potência de interferência na portadora interferida.
-

3.1. DETERMINAÇÃO DAS PROPORÇÕES PORTADORA-INTERFERÊNCIA E DA POTÊNCIA DE RÚIDO BANDA BASE PARA A COORDENAÇÃO DE PORTADORAS NO SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO (FIXED-SATELLITE SERVICE – FSS)

3.1.1. TIPOS DE PORTADORAS INTERFERENTES

Os tipos de interferências experimentadas por portadoras FSS (serviço de satélite fixo) de redes adjacentes podem ser classificadas como:

- Interferência do tipo ruído;
- Aparecimento de interferência de varredura lenta de uma portadora TV-FM modulada somente com um sinal de dispersão de energia (ED – energy dispersal);
- Interferência de uma portadora TV-FM em outra

3.1.2. TIPOS DE PORTADORAS FSS (SERVIÇO DE SATÉLITE FIXO)

Os tipos de portadoras normalmente utilizadas em redes FSS são:

- Analógicas:
 - FDM-FM e CFDM-FM;
 - TV-FM;
 - canal único por portadora (single-channel-per-carrier), SCPC-FM.
- Digitais
 - portadoras de banda estreita e intermediária com ou sem codificação FEC (exemplo: SCPC-PSK)
 - portadoras de banda larga (exemplo: TDMA, CDMA).

3.1.3. METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA AVALIAR INTERFERÊNCIAS EM PORTADORAS FSS

3.1.3.1. INTERFERÊNCIA EM PORTADORAS FDM-FM E CFDM-FM

O efeito de interferência em portadoras FDM-FM ou CFDM-FM é tratado em termos da

potência de ruído da interferência em banda base em um canal de telefonia, e é dado pela seguinte expressão:

$$10 \log (np) = 87.5 - B - 10 \log (c/i) \quad (1)$$

Onde:

np : potência de interferência pesada (pW0p)

B : fator de redução de interferência (dB)

c : potência da portadora desejada (W)

i : potência da portadora interferente (W)

O fator B depende das características do sinal de ambas as portadoras, desejada e interferente, além da separação de frequência entre a frequência de centro das duas portadoras.

3.1.3.2. INTERFERÊNCIA EM PORTADORAS NÃO FDM-FM

A avaliação da interferência em uma portadora não FDM-FM depende da natureza (analógica, digital ou de varredura lenta) da portadora interferente e do fato de a largura de banda da portadora interferente ser menor ou maior do que a largura de banda ocupada pela portadora desejada.

A tabela 4 mostra as proporções C/I para diferentes combinações de portadoras desejadas e interferentes.

Tabela 4 - Cálculo das proporções portadora-interferência (C/I) para portadoras FSS

Portadoras interferentes	Caso	Portadoras desejadas				
		FDM-FM ou CFDM-FM	SCPC-FM	Digital banda estreita	Digital banda larga	TV-FM
FDM-FM or CFDM-FM or TV-FM Com modulação ao vivo	$BW_{Ia} \leq BW_D$	Veja detalhes na expressão (1) ou na recomendação ITU-R SF.766	Não aplicável	$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Ia})$		
	$BW_{Ia} > BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i) - A$			
SCPC-FM ou digital banda estreita	$BW_{Ia} \leq BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Ia})$			
	$BW_{Ia} > BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Io})$			
Digital banda larga	$BW_{Ia} \leq BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Ia})$			
	$BW_{Ia} > BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Io})$			
TV-FM (somente modulação do sinal de dispersão de energia)	$BW_{Ia} \leq BW_D$		Não aplicável			$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Ia})$
	$BW_{Ia} > BW_D$		$C/I = 10 \log (c/i)$ (Nota 1)			$C/I = 10 \log (c/i)$

BW_D : largura de banda ocupada pela portadora desejada

BW_{Io} : largura de banda ocupada pela portadora interferente

BW_{Ia} : largura de banda alocada pela portadora interferente

c : potência da portadora desejada (W)

i : potência da portadora interferente (W)

C/I : proporção (dB) entre a potência da portadora desejada e a potência total da interferência na banda da portadora desejada

A : fator de vantagem de largura de banda (dB) como mostrado nas expressões (5)-(8).

Nota – A “banda de frequência atribuída” pode ser utilizada nos lugares de “largura de banda ocupada” e “largura de banda alocada”, quando estes não são disponíveis.

3.1.3.3. INTERFERÊNCIA DE PORTADORAS DIGITAIS DO TIPO RUÍDO

A proporção entre as potências de portadora e de ruído na banda do sinal da portadora desejada, por operação co-frequência das portadoras desejadas e interferentes é dada por:

$$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (M) \quad \text{para } BW_D > BW_{Ia} \quad (2)$$

$$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (BW_D / BW_{Io}) \quad \text{para } BW_D \leq BW_{Ia} \quad (3)$$

Onde:

C/I : proporção (dB) entre a potência da portadora desejada e a potência da interferência total na banda da portadora desejada

c : potência da portadora desejada (W)

i : potência da portadora interferente (W)

$$M \leq BW_D / BW_{Ia}$$

BW_D : largura de banda ocupada pela portadora desejada

BW_{Io} : largura de banda ocupada pela portadora interferente

BW_{Ia} : largura de banda alocada pela portadora interferente

A expressão (2) leva em consideração o efeito de portadoras interferente múltiplas (M) afetando a portadora desejada que tem uma banda larga.

Para o caso de um offset de frequências entre portadoras, a resultante C/I pode ser determinada pela equação a seguir:

$$C/I = 10 \log (c/i) - A$$

Onde:

A : fator de vantagem de largura de banda

O fator A é a proporção entre a potência da portadora interferente contida na banda do sinal desejado e a potência total da portadora interferente, assumindo-se que a portadora interferente tem uma densidade espectral de potência uniforme por toda a banda ocupada.

3.1.3.4. INTERFERÊNCIA DE PORTADORAS ANALÓGICAS DO TIPO RUÍDO

A proporção de potência portadora-interferência na banda do sinal desejado devido a portadoras analógicas interferentes como FDM-FM ou TV-FM moduladas por vídeo ao vivo é dada por:

$$C/I = 10 \log (c/i) - 10 \log (M) \quad \text{para } BW_D > BW_{Ia} \quad (4)$$

$$C/I = 10 \log (c/i) - A \quad \text{para } BW_D \leq BW_{Ia} \quad (5)$$

Onde:

$$M \leq BW_D / BW_{Ia}$$

A : fator de vantagem de largura de banda (dB).

O fator A é a proporção entre a potência da portadora interferente contida na banda do sinal desejado e a potência total da portadora interferente. A determinação do fator A depende das características espectrais da portadora analógica interferente e é a proporção entre a integral do espectro de potência interferente na banda da portadora desejada e a potência total da portadora interferente. O fator A é o inverso do fator de rejeição dependente de frequência (FDR – frequency-dependant rejection factor), assumindo-se que a seletividade do filtro receptor ($H(f)$)=1.

Entretanto, se o espectro de potência interferente não é conhecido, um cálculo para o pior caso de interferência pode ser feito com a seguinte aproximação: A densidade espectral de potência da portadora interferente é constante na banda da portadora desejada e é igual ao valor máximo. A potência interferente pode então ser calculada como o produto da densidade espectral de potência interferente máxima e da banda ocupada da portadora desejada, contanto que o resultado não exceda a potência total da portadora interferente.

Definindo a largura de banda equivalente (BW_{eq}) da portadora interferente como a proporção entre a sua potência total e a sua densidade espectral de potência máxima, o fator A pode ser escrito como:

$$A = 10 \log (BW_D / BW_{eq}) \quad \text{for } BW_D \leq Bw_{eq}$$

(6)

$$A = 0 \quad \text{for } BW_D > Bw_{eq}$$

(7)

$$BW_{eq} = i / i_0$$

(8)

Onde:

i : potência total da portadora interferente

i_0 : densidade espectral de potência máxima da portadora interferente

No caso de interferência de portadoras FDM-FM ou CFDM-FM, a distribuição espectral

de potência é bastante próxima a uma distribuição Gaussiana com um desvio r.m.s. de σ . Assim, a largura de banda equivalente pode ser escrita como:

$$BW_{eql} = \sigma \cdot \sqrt{2\pi}$$

3.1.3.5. INTERFERÊNCIA DE PORTADORAS DE TV DE VARREDURA LENTA

A avaliação da interferência de TV de varredura lenta é dada em termos da proporção entre a potência da portadora desejada e toda a potência da portadora de TV.

Os critérios para a proteção de portadoras de banda estreita contra portadoras de TV de varredura lenta interferentes são dados de acordo com a recomendação ITU-R S.671. Os critérios de interferência do tipo ruído são utilizados para avaliar o potencial de interferência em portadoras de banda larga, as quais as larguras de banda são maiores do que a banda de dispersão de energia da portadora TV-FM.

O efeito de interferentes múltiplos é dado pela expressão (4), caso a banda da portadora desejada seja maior do que a banda alocada para a portadora TV-FM interferente.

3.1.4. CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO PARA PORTADORAS FSS

As recomendações ITU-R S.466, ITU-R S.483, ITU-R S.523, ITU-R S.671 e ITU-R S.735 lidam com a permissividade de ruído interferente feita nos orçamentos para portadoras FSS.

A tabela 5 abaixo mostra os critérios de proteção de interferência de entrada única (single entry interference – SEI) para portadoras FSS, os quais têm sido desenvolvidos com base nas recomendações relevantes da ITU-R.

Tabela 5 - Critérios de proteção de interferência de entrada única (Single entry interference - SEI) para portadoras FSS

Portadora FSS	ITU-R Recomendações para SEI	Tipo de interferência	Critérios de proteção para SEI	
			PAI antes de 1987	PAI depois de 1987
FDMA-FM CFDMA-FM	Rec. ITU-R S.466	Qualquer tipo	600 pW0p	800 pW0p
TV-FM	Rec. ITU-R S.483	Tipo ruído	$C/N + 14$ (dB)	$C/N + 14$ (dB)
Digital	Rec. ITU-R S.523	Tipo ruído	$C/N + 14$ (dB)	$C/N + 12.2$ (dB)
SCPC-FM	(1)	Tipo ruído	$C/N + 14$ (dB)	$C/N + 12.2$ (dB)
SCPC-FM	Rec. ITU-R S.671	Varredura lenta	$13.5 + 2 \log(\delta) - 3 \log(i/10)$ (dB)	
Digital banda estreita:				
– com codificação	Rec. ITU-R S.671	Varredura lenta	$C/N + 9.4 + 3.5 \log(\delta) - 6 \log(i/10)$ (dB)	
– sem codificação	Rec. ITU-R S.671	Varredura lenta	$C/N + 6.4 + 3 \log(\delta) - 8 \log(i/10)$ (dB)	

PAI : Publicação avançada de Informações de redes (Advanced Publication of Information of networks- API).

C/N : Proporção (dB) entre a portadora e a potência total do ruído que inclui todo o ruído interno do sistema e interferência de outros sistemas.

δ : Proporção entre a banda do sinal desejado e o desvio pico a pico da portadora de TV causado pelo sinal de dispersão de energia.

i : Potência de interferência da pré-demodulação na banda do sinal desejado expressada como porcentagem do total da potência de ruído de pré-demodulação.

(1) Os critérios para interferências do tipo ruído são utilizados com o propósito de coordenação.

4. APLICAÇÃO DA “ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO” E CÁLCULO DA PROPORÇÃO “PORTADORA-INTERFERÊNCIA”.

4.1. INTRODUÇÃO

Interferência em uma rede de satélites geoestacionários faz com que a temperatura do ruído do sistema aumente. Este aumento, ΔT , é calculado sem considerar a extensão da sobreposição de frequências, nível do sinal desejado, o formato do espectro do sinal interferente e as características do filtro do receptor. A proporção entre ΔT e a temperatura de ruído equivalente do link de satélite (Equivalent Satellite Link Noise Temperature – ESLNT (T)) expressada como uma porcentagem $(\Delta T/T)*100$, é comparada ao valor limiar de 6% para estabelecer a necessidade para coordenação.

Como parte das medições temporárias para o melhoramento da coordenação da rede de satélites e também dos procedimentos de notificação, o WRC-2000 introduziu a abordagem do arco da coordenação. Aqui, a simples existência de uma rede de satélites fixa (fixed satellite service – FSS) em certas bandas de frequência dentro de um arco GSO pré-definido é utilizado como gatilho de coordenação.

Um valor de $\Delta T/T$ calculado maior do que 6% somente alerta para a possibilidade de interferência. A extensão da interferência, sua aceitabilidade e medida para a solução dos mesmos problemas que requerem atenção das direções responsáveis. Uma vez que a necessidade de coordenação está estabelecida, uma detalhada análise requer o cálculo de C/I considerando-se várias combinações de portadoras digitais ou analógicas, de banda estreita ou larga e sua comparação com os valores de C/I mínimos desejados em específicos pontos de teste dentro da área de serviço da rede de satélite afetada para avaliar a compatibilidade com redes de satélites possivelmente interferentes. Os critérios de proteção acordados mutuamente entre as administrações ou os critérios de proteção da interferência de entrada única (SEI – Single Entry Interference) como os contidos da recomendação ITU-R S.741 são utilizados.

4.2. PROCEDIMENTOS DO APÊNDICE S8 PARA O CÁLCULO DE $\Delta T/T$

4.2.1. BASE TEÓRICA

A performance de qualquer sistema de radiocomunicação é dita satisfatória, enquanto a proporção C/N_{tot} , potência da portadora desejada sobre a potência total do ruído na entrada do demodulador do receptor, entregue a qualidade de sinal desejada na saída do receptor. A potência total de ruído, N_{tot} representa o ruído térmico (N) adicionado da interferência externa (I) no sistema desejado.

Degradação do sistema devido a qualquer interferência externa I é avaliada pela computação de I/N , ou seja, a proporção da interferência externa em relação ao ruído térmico do sistema. Isto basicamente explica os princípios por trás dos procedimentos do Apêndice S8.

Para a determinação da necessidade de coordenação entre duas redes de satélites geostacionários, caso I/N seja maior do que o valor limiar, expressado em termos do ruído térmico do sistema desejado, N , a coordenação é necessária. Caso contrário, a necessidade de coordenação não existe se I/N é menor que o valor limiar. Isto filosoficamente assegura que uma co-existência harmoniosa durante operação simultânea de ambas as redes de satélite.

O ruído térmico do sistema N do sistema desejado é representado como: $N=KTB$

Onde,

K é a constante de Boltzman = -228.6 dB (J/K);

T é a temperatura de ruído do receptor, em °K;

B é a largura de banda do receptor, em Hz.

Se N_0 representa a densidade de ruído do espectro do ruído plano,

então: $N = N_0B$

e ainda: $N_0 = KT$

Diferentemente do espectro do ruído térmico, a interferência I não pode ser considerada plana, e seu valor deve ser obtido pela integração da sua densidade espectral não uniforme

sobre a banda do receptor.

Caso I_m represente a densidade espectral máxima da interferência que chega, o valor de I deve sempre ser menor ou igual a $I_m B$,

$$\text{Assim: } I \leq I_m B$$

$$\text{e: } I/N \leq I_m N_0, \quad \text{pois } N = N_0 B$$

Caso a proporção $I_m N_0$ obedeça o valor limiar requerido para operação satisfatória, então I/N também irá obedecer este valor limiar, com alguma margem.

Isto claramente evita com que haja a necessidade de se ter o conhecimento da banda B do receptor e a integração da densidade espectral de interferência nesta banda para se encontrar o valor total da interferência I .

A densidade espectral de interferência máxima I_m pode também ser expressada em termos do aumento na temperatura de ruído do sistema ΔT por ela causada:

$$I_m = K \Delta T$$

$$\text{ou } \Delta T = I_m / K$$

Caso p' represente a densidade de potência máxima do transmissor interferente, então:

$$I_m = p' G_t' G_r' / L$$

Onde

G_t' = Ganho do transmissor interferente na direção do receptor desejado

G_r' = Ganho da antena receptora desejada em direção do transmissor interferente

L = Perda de caminho pela distância D entre o transmissor interferente e o receptor desejado,

expressada como: $L = (4\pi D / \lambda)^2$ em termos do comprimento de onda λ .

Agora nós temos: $\Delta T = I_m / K = p' G_t' G_r' / LK$.

Então: $\Delta T = p' G_t' G_r' / LK$

O valor limiar de $(\Delta T / T) * 100$ é 6%. Aqui, $\Delta T / T$ representa o valor máximo de I/N ,

pois $I/N \leq I_m N_0$. Isto claramente mostra que uma vez que a condição dos 6% é satisfeita, o potencial para interferência não existe, assim, a necessidade por cálculos detalhados de interferência é suspensa.

4.2.2. INTERFERÊNCIA ENTRE DUAS REDES DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS & CÁLCULOS DE $\Delta T/T$

O cálculo de $\Delta T/T$ entre duas redes de satélites geoestacionários (redes desejada e interferente) é necessário quando sobreposição de frequência existe, seja no uplink, no downlink ou em ambos. Dois casos deste tipo são discutidos:

CASO I:

Sobreposição de frequência entre as redes de satélites desejada e interferente é co-direcional e downlink e uplink são tratados independentemente:

- 1 **Sobreposição de frequência somente no downlink.** Aqui, o satélite transmissor interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_E na saída da antena receptora da estação de terra desejada (figura 8). Assim:

$$\Delta T_E / T_E = p_s 'G_3' G_4(\theta_W) / L_D K T_E$$

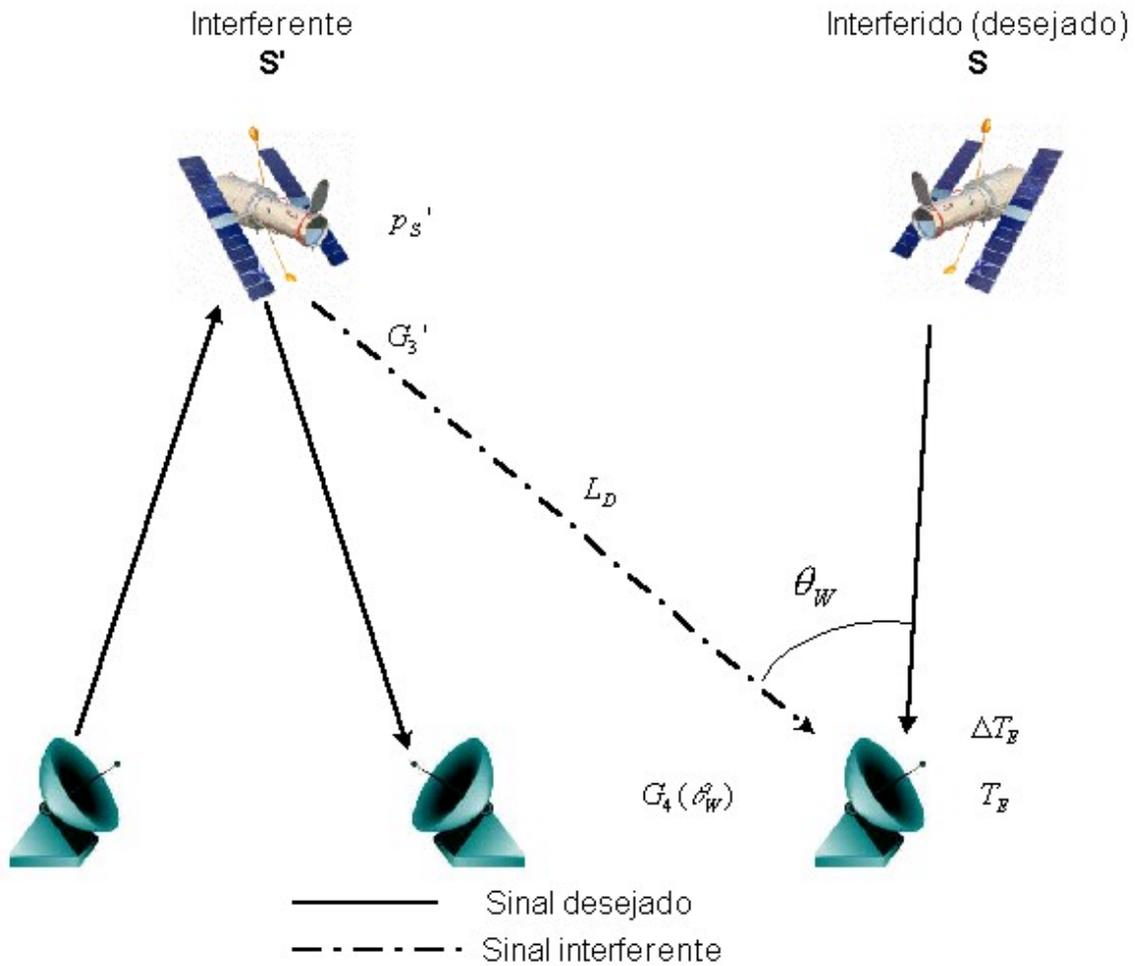


Figura 8 - Sobreposição de frequência e tratamento separado de up e down links - Sobreposição somente no downlink

- 2 **Sobreposição de frequência somente de uplink.** Aqui, a estação de terra transmissora interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_S na saída da antena receptora do satélite desejado (figura 9). Assim:

$$\Delta T_S / T_S = p_e' G_1'(\theta_i) G_2 / L_u K T_S$$

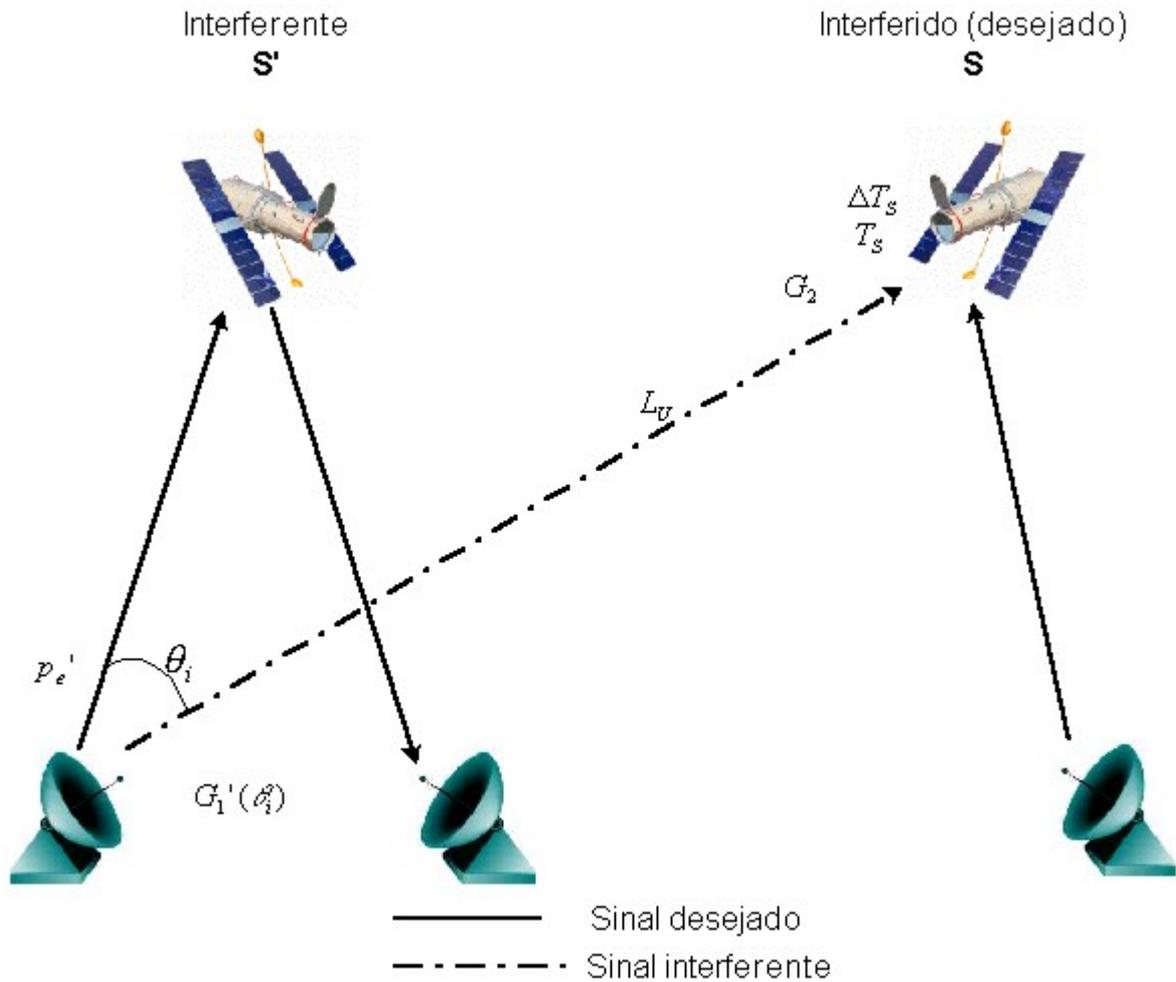


Figura 9 - Sobreposição de frequência e tratamento separado de up e down links - Sobreposição somente no uplink

Sobreposição de frequência entre as redes de satélites desejada e interferente é co-direcional e a ‘rede desejada’ possui um transponder de mudança de frequências simples:

- 1 **Sobreposição de frequência somente no downlink.** O transmissor do satélite interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_E na saída da antena receptora da estação de terra desejada. Este aumento na temperatura do ruído é comparada com a ESLNT total ($T_E + \gamma T_S$) da seguinte maneira (figura 10):

$$\Delta T_E / (T_E + \gamma T_S) = p_S' G_3' G_4(\theta_w) / L_D K (T_E + \gamma T_S)$$

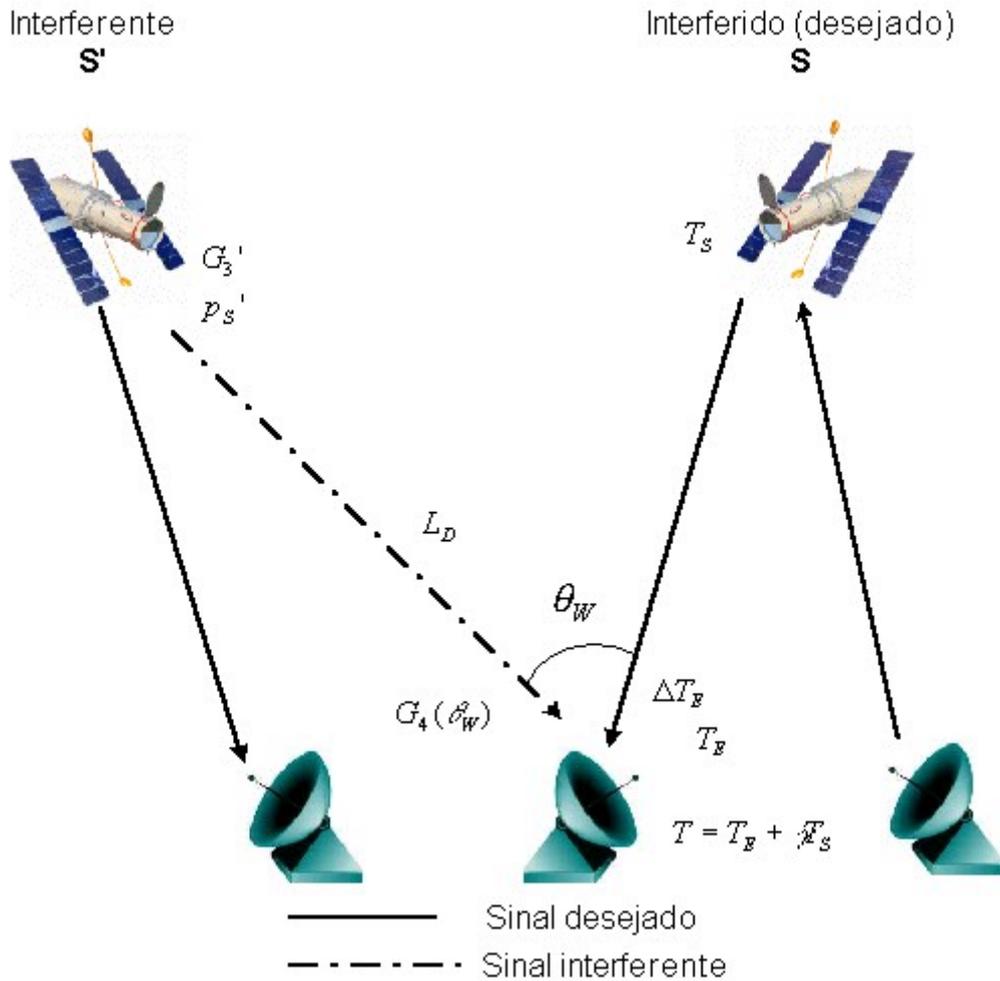


Figura 10 - Sobreposição de frequência co-direcional , satélite desejado possui um transponder de mudança de frequências simples - Sobreposição de frequências somente no downlink

- 2 **Sobreposição de frequência somente no uplink.** O transmissor da estação de terra interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_S na saída da antena receptora do satélite desejado. Este aumento na temperatura do ruído referido à antena receptora da estação de terra desejada é comparado com o ESLNT total ($T_E + \gamma T_S$) da seguinte maneira (figura 11):

$$\gamma \Delta T_S / (T_E + \gamma T_S) = \gamma p_e' G_3' G_1'(\theta_i) G_2 / L_u K (T_E + \gamma T_S)$$

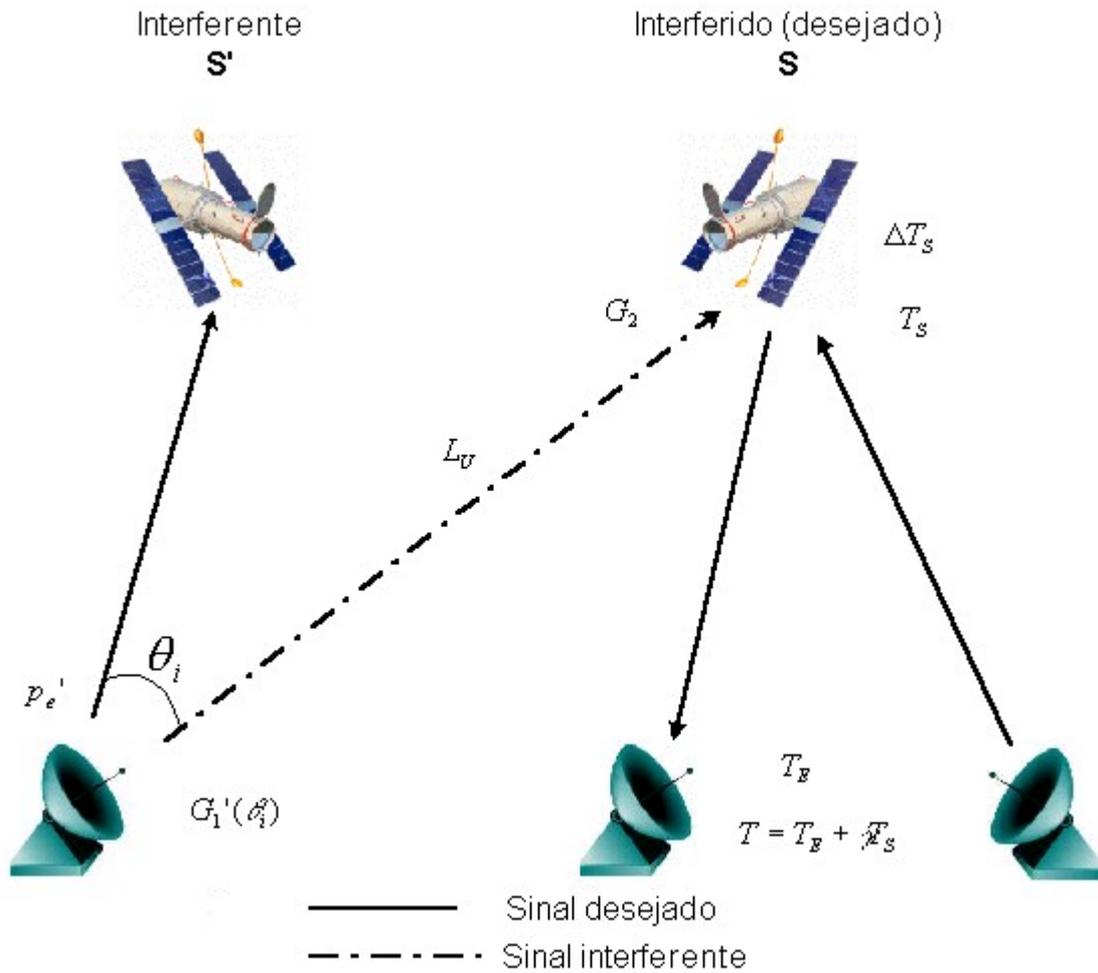


Figura 11 - Sobreposição de frequência co-direcional , satélite desejado possui um transponder de mudança de frequências simples - Sobreposição de frequências somente no uplink

3 **Sobreposição de frequência no uplink e no downlink.** O transmissor da estação de terra interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_S na saída da antena receptora do satélite desejado e o satélite transmissor interferente causa um aumento na temperatura de ruído ΔT_E na saída da antena receptora da estação de terra desejada. O aumento de temperatura total, referido à saída da antena receptora da estação de terra ($\Delta T_E + \gamma \Delta T_S$) é comparado com o ESLNT total ($T_E + \gamma T_S$) da seguinte maneira (figura 12):

$$(\Delta T_E + \gamma \Delta T_S) / (T_E + \gamma T_S) = 1 / K (T_E + \gamma T_S) \{ (p_s' G_3' G_4(\theta_w) / L_D) + \gamma (p_e' G_1'(\theta_i) G_2 / L_u) \}$$

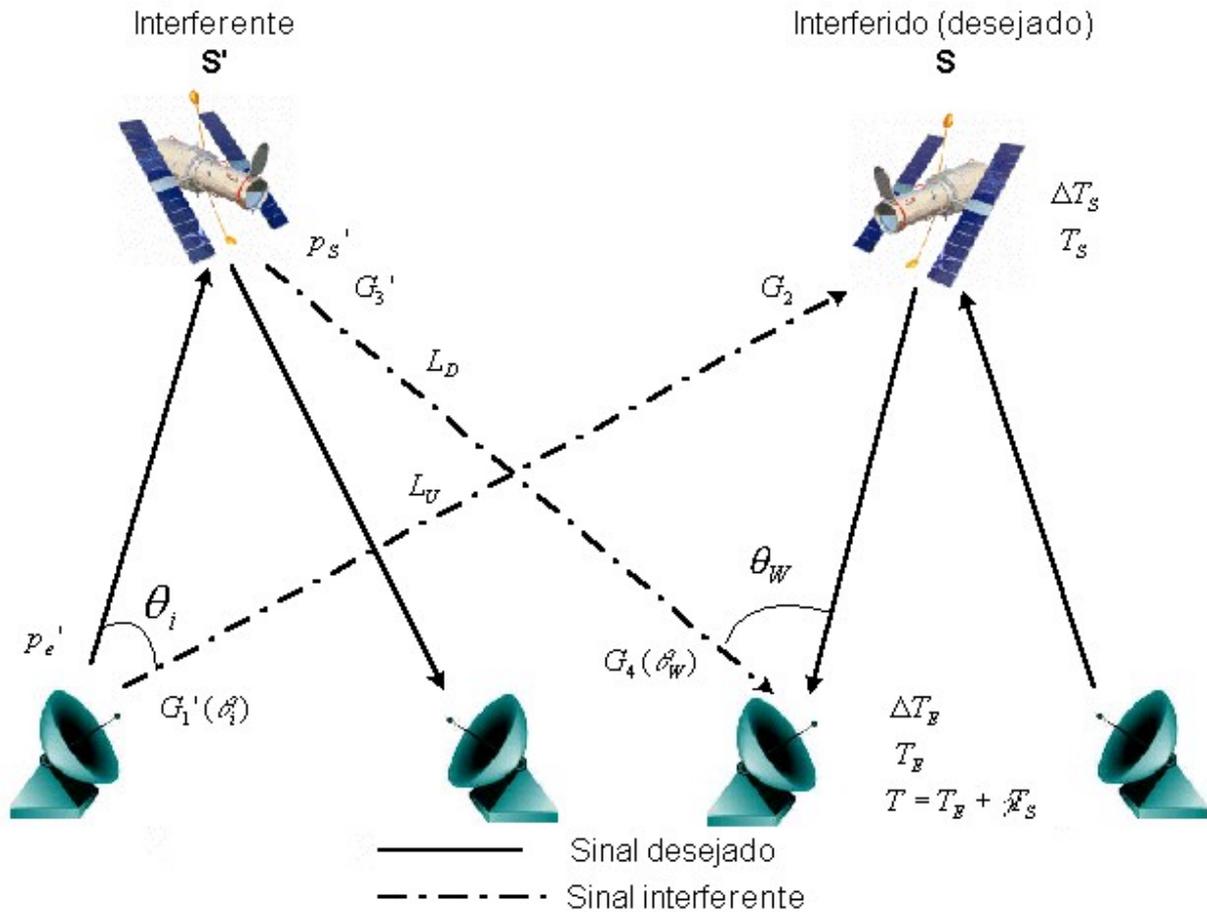


Figura 12 - Sobreposição de frequência co-direcional , satélite desejado possui um transponder de mudança de frequências simples - Sobreposição de frequências em ambos os links

CASO II:

Redes de satélites desejada e interferente Têm sobreposição de frequência em direções opostas à transmissão (uso bidirecional):

1 Transponder de mudança de frequência simples no satélite desejado.

Transmissor do satélite interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_S na saída da antena receptora do satélite desejado e o aumento aparente do ESLNT é $\gamma \Delta T_S$ na saída da antena receptora da estação de terra desejada. Isto é comparado com o ESLTN total ($T_E + \gamma T_S$) da seguinte maneira (figura 13):

$$\gamma \Delta T_S / (T_E + \gamma T_S) = \gamma p_{S'} G_3'(\eta_s) G_2(\delta_s) / L_S K (T_E + \gamma T_S)$$

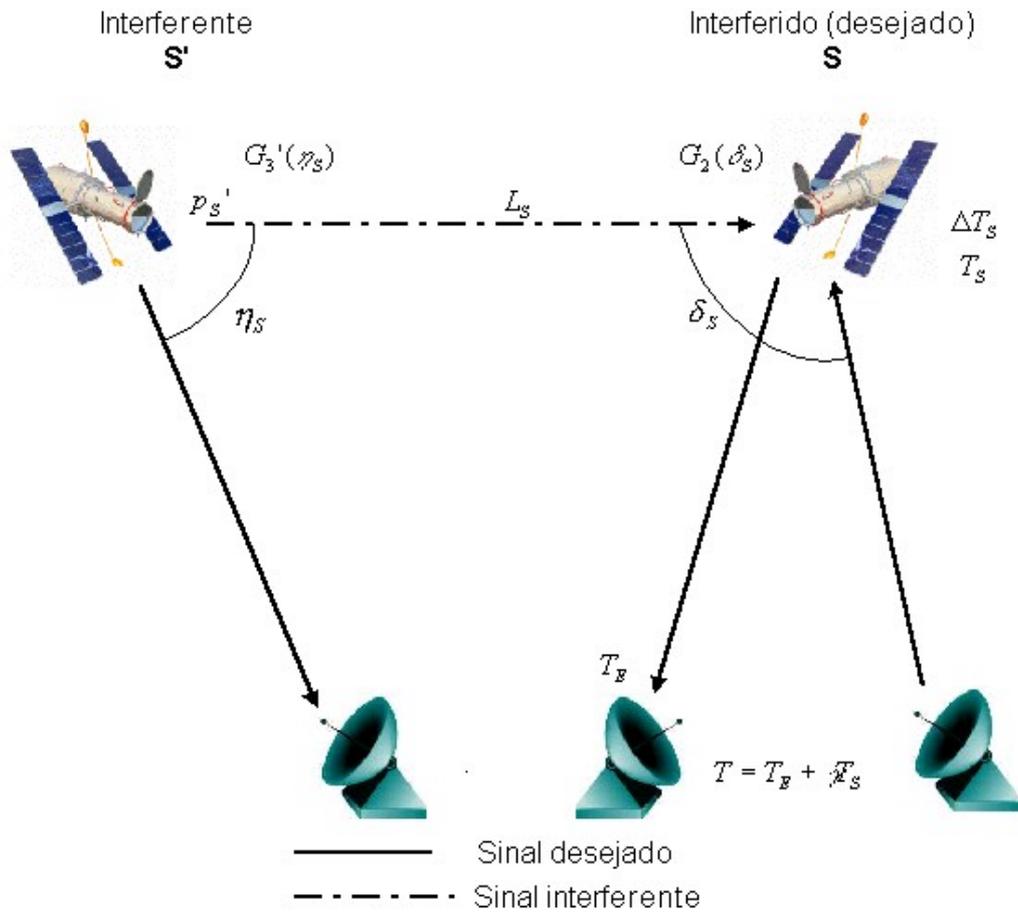


Figura 13 - Uso bidirecional de frequência - Uplink da rede desejada em sobreposição com downlink da rede interferente

- 2 **Tratamento independente do uplink.** Transmissor do satélite interferente causa uma temperatura de ruído adicional ΔT_s na saída da antena receptora do satélite desejado (figura 14). Então:

$$\Delta T_s / T_s = p_{s'} G_3'(\eta_s) G_2(\delta_s) / L_s K T_s$$

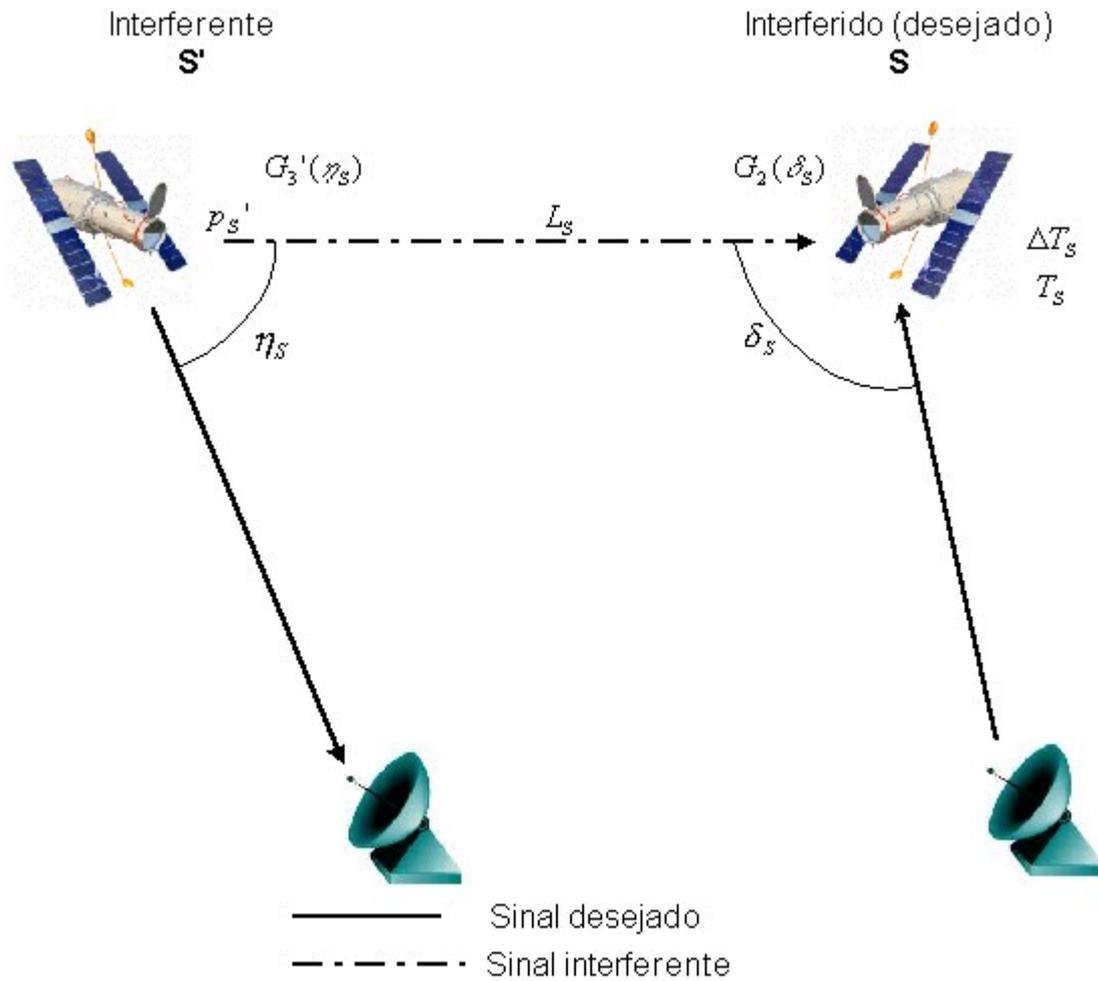


Figura 14 - Uso bidirecional de frequência - Uplink da rede desejada em sobreposição com downlink da rede interferente

Onde:

p_s' densidade de potência máxima do satélite interferente

G_3' ganho da antena de transmissão do satélite interferente em direção ao receptor da estação de terra desejada

$G_4(\theta_w)$ ganho da antena de recepção da estação de terra desejada em direção ao satélite interferente

θ_w ângulo de offset da antena de recepção da estação de terra desejada em direção ao satélite interferente

L_D perda de caminho entre o satélite interferente e o receptor da estação de terra desejada

T_E temperatura de ruído do receptor da estação de terra desejada

p_e'	densidade de potência máxima da estação de terra interferente
$G_1'(\theta_i)$	ganho da antena de transmissão da estação de terra interferente em direção ao receptor do satélite desejado
θ_i	ângulo de offset da antena da estação de terra interferente em direção ao satélite desejado
G_2	ganho da antena de recepção do satélite desejado em direção à estação de terra interferente
L_u	perda de caminho entre a estação de terra interferente e o receptor do satélite desejado
T_S	temperatura do ruído do receptor do satélite desejado
$G_3'(\eta_s)$	ganho da antena transmissora do satélite interferente em direção ao satélite desejado
η_s	ângulo de offset da antena transmissora do satélite interferente em direção ao satélite desejado
$G_2(\delta_s)$	ganho da antena receptora do satélite desejado em direção ao satélite interferente
δ_s	ângulo de offset da antena receptora do satélite desejado em direção ao satélite interferente
γ	ganho de transmissão da rede desejada igual à proporção entre as potências das antenas receptoras da estação de terra desejada e do satélite desejado
T	Temperatura de ruído de link de satélite equivalente (ESLNT – Equivalent Satellite Link Noise Temperature), expressada por $T_E + \gamma T_S$

4.3. COORDENAÇÃO UTILIZANDO $\Delta T/T$ E A ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO

4.3.1. ABORDAGEM DO ARCO DE COORDENAÇÃO

Serviço de satélite fixo (FSS – Fixed Satellite Service) é responsável pela maioria das notificações de redes de satélites geoestacionários que são preenchidos pelas administrações. Com o objetivo primário de reduzir o peso da coordenação nas administrações, a decisão de introduzir a “Abordagem do arco de coordenação” em certas bandas FSS (4/6, 11/12/14, 20/30 GHz) foi tomada pela WRC-2000.

Com a “Abordagem do arco de coordenação”, coordenação é engatilhada, sem o uso do

cálculo de $\Delta T/T$ entre a rede de satélites geoestacionários que estão por vir e as redes de satélites geoestacionários existentes, as quais estão localizadas ao redor da rede que está por vir, dentro de um arco GSO pré definido e têm sobreposição de frequências co-direcionais com a rede que esta por vir em certas bandas FSS (4/6, 11/12/14, 20/30 GHz).

O uso do “Serviço de operações do espaço” (Space operation service) (Classe de estação ED, EK, ER) também está sujeita à abordagem do arco de coordenação nas bandas de frequências FSS onde a abordagem do arco de coordenação é aplicável.

4.3.1.1. CÁLCULOS DE $\Delta T/T$ PELO TRATAMENTO SEPARADO DOS LINKS UP E DOWN

Quando uma rede de satélites orbitais geoestacionários nova tem sobreposição de frequência em certas bandas FSS (4/6, 11/12/14, 20/30 GHz) com redes já existentes localizadas fora do arco de coordenação, coordenação NÃO é engatilhada, porém pode ser requisitada pela administração responsável pela rede já existente. Uma requisição como esta é feita considerando um valor de $\Delta T/T$ maior que 6%, calculado considerando-se o uplink separadamente do downlink.

Para redes de satélites orbitais geoestacionários utilizando transponders de mudança de frequência simples, a separação dos links up e down leva a uma facilidade na análise e a um monte de cálculos de $\Delta T/T$ no Radiocommunication Bureau (BR). O enorme número de combinações de frequências de up e down links que necessitam ser processadas quando as frequências de uplink e de downlink são conectadas é evitado ao se tratar o uplink separadamente do downlink ao se calcular $\Delta T/T$. Ainda, qualquer erro nos dados (por exemplo, ganho de transmissão, ESLNT, etc.) submetido à administração (erros estes que podem atrasar o processo de preparação da nova rede para uma avaliação) é evitado.

O tratamento do uplink separadamente do downlink para o cálculo de $\Delta T/T$ (ao invés de agregados, onde as conexões são consideradas) aumenta em aproximadamente 5% a 6% o número de administrações envolvidas na coordenação e em aproximadamente 10% o número de redes envolvidas na coordenação. O número de redes omitidas, quando comparadas à abordagem global do $\Delta T/T$ é marginal, ou seja, $< 1\%$. Este resultado é baseado em um estudo feito pelo BR.

4.3.1.2. CONDIÇÕES PARA COORDENAÇÃO ENTRE REDES DE SATÉLITES ORBITAIS GEOESTACIONÁRIOS NOVAS E AQUELAS JÁ EXISTENTES

Com a aplicação da ‘Abordagem do arco de coordenação’, o processo de coordenação entre redes que estão por vir e aquelas já existentes é feito de acordo com as seguintes circunstâncias:

4.3.1.2.1.

A coordenação deve ser engatilhada sem qualquer cálculo de $\Delta T/T$, com todas as redes de satélites orbitais geoestacionários que tenham sobreposição de frequências co-direcionais com a rede nova (ou que está por vir) em certas bandas de frequências FSS (veja Nota 1) e que estejam localizadas dentro de um arco de coordenação fixo (veja Nota 1) ao redor da rede de satélites nova (ou que está por vir);

4.3.1.2.2.

Um $\Delta T/T$ global maior do que 6% deve engatilhar a coordenação entre a rede nova (ou que está por vir) e aquelas redes de satélites orbitais geoestacionários as quais, independentemente de suas localizações, operam em bandas de frequências quaisquer que não sejam as de uso co-direcional de 4/6, 11/12/14 e 20/30 GHz para FSS ou que empreguem quaisquer destas bandas de frequência (veja Nota 1) para serviços que não sejam FSS;

4.3.1.2.3.

Redes de satélites orbitais geoestacionários localizadas fora do arco de coordenação (veja Nota 1) e que tenham sobreposição de frequência com a rede nova (ou que está por vir) em certas bandas de frequências FSS (4/6, 11/12/14 e 20/30 GHz) (veja Nota 1), para as quais o valor de $\Delta T/T$ calculado considerando-se o uplink e o downlink separadamente, e é $> 6\%$, devem ser incluídas nos procedimentos de coordenação quando requisitadas pela administração responsável. Da mesma maneira, no caso de existência de redes de satélites orbitais geoestacionários com sobreposição de frequência, com o valor de $\Delta T/T$ calculado

considerando-se os links up e down separadamente e $\leq 6\%$, devem ser isentas dos procedimentos de coordenação quando requisitadas por uma administração.

Nota 1:

Bandas de frequências (MHz/GHz)	Arco de coordenação aplicável
3400-4200; 5725-5850 (RG1); 5850-6725.	+/- 10° da posição orbital nominal de uma rede proposta no serviço de satélite fixo – FSS
10.95-11.2; 11.45-11.7; 11.7-12.2 (RG2); 12.2-12.5 (RG3); 12.5-12.75 (RG1&3); 13.75-14.5.	+/- 9° da posição nominal orbital de uma rede proposta no serviço de satélite fixo – FSS
17.7-20.2; 27.5-30.	+/- 8° da posição nominal orbital de uma rede proposta no serviço de satélite fixo – FSS

4.3.1.3. APLICAÇÃO DA APROXIMAÇÃO DO ARCO DE COORDENAÇÃO PELO BUREAU

As informações de coordenação para o satélite geoestacionário, novo ou modificado, após a bem sucedida validação, são sujeitadas aos vários procedimentos de cálculos do Apêndice S8. Os resultados são colocados em duas categorias:

- S1 → Resultados da aplicação da abordagem do arco de coordenação. Contém nomes de administrações afetadas com redes de satélites orbitais geoestacionários, tendo sobreposição de frequência co-direcional com a nova rede em certas bandas de frequência FSS (4/6, 11/12/14 e 20/30 GHz) e dentro do arco de coordenação em volta da nova rede de satélites orbitais geoestacionários.
- S2 → Resultados dos cálculos de $\Delta T/T$ de acordo com o apêndice S8 para casos nos quais a abordagem do arco de coordenação não se aplica.

4.3.1.4. APLICAÇÃO DO APÊNDICE S8 PELAS ADMINISTRAÇÕES

4.3.1.4.1. IDENTIFICAÇÃO DE REDES DE SATÉLITES ORBITAIS GEOESTACIONÁRIOS E INFORMAÇÕES TÉCNICAS RELACIONADAS

Para qualquer rede de satélites orbitais geoestacionários nova ou modificada, existe a necessidade de coordenação com outras redes existentes que já tiveram seus processos de coordenação iniciados (ou seja, a informação de coordenação completa já fora recebida pelo Bureau no formato apropriado), ou que tenha sido notificada ao Bureau ou para gravação no registro máster internacional de frequências (Master International Frequency Register – MIFR), ou que já tenha sido gravada pelo MIFR.

Para obter informações sobre redes de satélites orbitais geoestacionários existentes e seus parâmetros técnicos requeridos para o cálculo de $\Delta T/T$, as administrações podem checar o CD-ROM no SRS (Space Radiotelecommunication Stations) para:

- Todas as redes de satélites orbitais geoestacionários existentes no status C (coordenação) ou N (notificação) que tenham sobreposição de bandas de frequência em relação à nova rede de satélites.
- Detalhes sobre posição orbital; área de serviço; geo-coordenadas das estações de terra; estação espacial; características de ganho das antenas de transmissão e recepção das estações de terra; ganhos de transmissão; temperaturas de ruído T_E , T_S e T (ESLNT). Sobreposições de frequência precisas são estabelecidas somente no downlink, somente no uplink, ou até mesmo em ambos, conectados ou não. Os links interferentes irão causar interferência estando conectados ou não, e assim a informação de conexão dos links não faz diferença.

A necessidade do processo de coordenação entre as redes “existente” e “nova” pode ser determinada pelas abordagens a seguir:

4.3.1.4.2 ABORDAGEM 1:

As redes interferente e desejada (ou afetada) têm sobreposição de frequência em certas bandas de frequências FSS (4/6, 11/12/14, 20/30 GHz).

Aqui, $\Delta T/T$ deve ser calculado tratando-se os links up e down da rede de satélites desejada (ou afetada) separadamente, de acordo com os procedimentos mencionados nos parágrafos 2.2.1.2 e 3.2 do apêndice S8. Os resultados podem ser categorizados da seguinte maneira:

Caso o valor de $\Delta T_E/T_E$ ou $\Delta T_S/T_S$ seja maior do que 6% e a rede de satélites existente está localizada dentro do arco de coordenação, a coordenação com a rede nova (ou que está por vir) se torna necessária.

Caso o valor de $\Delta T_E/T_E$ ou $\Delta T_S/T_S$ seja maior do que 6% e a rede de satélites existente está localizada fora do arco de coordenação, a administração responsável pela rede existente pode requisitar ao Radiocommunication Bureau uma inclusão para o processo de coordenação com a rede nova (ou que está por vir).

4.3.1.4.3 ABORDAGEM 2:

Para sobreposições de frequência entre as redes interferente e desejada (ou interferida) em bandas de frequências FSS diferentes daquelas mencionadas anteriormente (4/6, 11/12/14, 20/30 GHz), ou então, o uso dessas frequências para serviços diferentes de FSS (serviço de satélite fixo), o $\Delta T/T$ global deve ser calculado utilizando-se os procedimentos do apêndice S8 e considerando-se a informação de conexão de frequências das redes desejadas. Valores de $\Delta T/T > 6\%$ devem engatilhar a coordenação.

O pior cenário de interferência é escolhido enquanto se calcula $\Delta T/T$ entre duas redes de satélites. Uma escolha é feita pelas características da rede de satélites desejada mais susceptíveis a receber interferência e por aquelas da rede de satélites interferente, que são prováveis de causar uma interferência máxima na rede desejada. Para este propósito, o seguinte é considerado:

- os maiores valores de ganho das antenas dos satélites desejado e interferente; ou em outras palavras:
 - estação de terra transmissora da rede de satélites interferente na direção a qual o ganho da antena receptora do satélite desejado é máximo;
 - estação de terra receptora desejada na direção da qual, o ganho da antena transmissora do satélite interferente é máximo;
- densidade de potência máximas p_s' e p_e' das emissões interferentes;
- Os menores valores de T , Temperatura de ruído equivalente do link de satélite (Equivalent Satellite Link Noise Temperature - ESLNT);
- Maior valor do ganho de transmissão γ para a rede desejada.

A administração pode requerer ao BR (Radiotelecommunication Bureau) a inclusão ou exclusão de redes de satélites no processo de coordenação baseados em seus cálculos. O Bureau deve considerar suas requisições e, se necessário, publicar um addendum.

4.4. METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE INTERFERÊNCIA DANOSA ENTRE ESTAÇÕES ESPACIAIS (PROPORÇÕES C/I)

A metodologia utilizada é baseada na seção 3 deste documento, que mostra os “Critérios de proteção de interferência de entrada única (SEI – single entry interference) para portadoras FSS”. A metodologia é descrita neste documento, sob o título “Cálculos de portadora-interferência entre redes no serviço de satélite fixo”. A tabela 5 da seção 3.1.4 de “Cálculos de portadora-interferência entre redes no serviço de satélite fixo” mostra todos estes critérios e quando eles devem ser utilizados.

4.5. ESTUDO DE CASO: CÁLCULOS DE $\Delta T/T$, C/I, C/N E MARGEM M

Tabela 6 - Estudo de Caso

	Rede de satélites interferente (nova ou que está por vir) MARECS IND-1 (64.5° E +/- 0.1°) satélite: S'	Rede de satélites desejada (já existente) INTELSAT AT7 66E (66° E +/- 0.1°) satélite: S
Administração notificadora	F/ESA	USA/IT

Informação recebida pelo Bureau em:	7 de março de 1991	29 de agosto de 1990
Sobreposição de frequências a serem cheçadas: frequências de uplink e downlink	6422.5 +/- 2.5 MHz 4197.25 +/- 2.75 MHz desconectados (desagregados)	6402.5 +/- 20.5 MHz no uplink, agregado a 4177.5 +/- 20.5 MHz no downlink. Valor correspondente do ESLNT = 2309° K Ganho de transmissão: $\gamma = -6.1$ dB
Portadoras desejada e interferente	1M10G1D	41M0F8W
Sobreposição de frequências entre as redes interferente e desejada	6420 a 6423 MHz no uplink e 4194.5 a 4198 MHz no downlink	
Geo-coordenadas da estação de terra transmissora interferente e estação de terra receptora desejada	Coordenadas da estação de terra transmissora: 080E00 06N00 A posição de uma estação de terra transmissora típica da rede interferente está dentro de sua área de serviço onde o ganho da antena receptora da estação de terra desejada é máximo.	Coordenadas da estação de terra receptora 080E00 06N00 A posição de uma estação de terra receptora típica da rede desejada está dentro de sua área de serviço onde o ganho da antena transmissora da estação de terra interferente é máximo.
d_1 = distância entre a estação de terra desejada e o satélite S d_2 = distância entre a estação de terra receptora desejada e o satélite S d_3 = distância entre a estação de terra transmissora interferente e o satélite S d_4 = distância entre a estação de terra receptora desejada e o satélite S' d_5 = distância entre a estação de terra transmissora interferente e o satélite S'	Os valores de d_1, d_2, d_3, d_4 e d_5 são calculados pelas expressões: $d = 42644(1 - 0.2954 \cos \psi)^{1/2}$ $\psi = \cos(\text{lat. de E/S}) \cdot \cos(\text{dif. de long. Entre E/S e o satélite})$ $d_1 = d_2 = d_3 = 36060 \text{ km}$ $d_4 = d_5 = 36110 \text{ km}$	

L_1 =perda de caminho entre a estação de terra transmissora desejada e o satélite S L_2 =perda de caminho entre a estação de terra receptora desejada e o satélite S L_3 =perda de caminho entre a estação de terra transmissora interferente e o satélite S L_4 =perda de caminho entre a estação de terra receptora e o satélite S'	Os valores de L_1 , L_2 , L_3 e L_4 são calculados da expressão: $L = 20\{\log f + \log d\} + 32.45$. Então: $L_1 = 199.743$ dB; $L_2 = 196.007$ dB; $L_3 = 199.744$ dB; $L_4 = 196.061$ dB. $L_5 = 199.756$ dB.	
Ângulo geocêntrico (θ_g)	$\theta_g = \{(66-0.1)-(64.5+0.1)\} = 1.3^\circ$;	
Ângulo de offset da antena receptora da estação de terra desejada em direção ao satélite interferente (θ_w)	$\theta_w = \cos^{-1}[\{d_2^2 + d_4^2 - (84332 \sin(\theta_g / 2))^2\} / 2d_1d_2]$ $\theta_w = 1.519^\circ$	
Ângulo de offset da antena transmissora da estação de terra em direção ao satélite desejado (θ_l)	$\theta_l = \cos^{-1}[\{d_4^2 + d_5^2 - (84332 \sin(\theta_g / 2))^2\} / 2d_4d_5]$ $\theta_l = 1.519^\circ$	
Ganho máximo transmitido do satélite interferente (G_{3m}')	$G_{3m}' = 20.7$ dB	
Contorno do ganho relativo da antena transmissora do satélite interferente em direção à estação de terra receptora	0.7 dB	
Ganho da antena transmissora do satélite interferente em direção à estação de terra receptora (G_3')	$G_3' = G_{3m}' - 0.7 = 20.7 - 0.7 = 20$ dB	
	Rede de satélites interferente (nova ou que está por vir) MARECS IND-1 (64.5 ^o E +/- 0.1 ^o) satélite: S'	Rede de satélites desejada (já existente) INTELSAT AT7 66E (66 ^o E +/- 0.1 ^o) satélite: S

<p>Ganho da antena receptora da estação de terra desejada em direção ao satélite interferente $\{ G_4(\theta_w) \}$</p>	<p>-</p>	<p>27.461 dB calculados da seguinte maneira: D/λ (diam/comp. de onda) para a antena receptora da estação de terra desejada é calculado de $20 \log D/\lambda = G_{MAX} - 7.7$; $G_{MAX} = 49.1$ dB. Então $D/\lambda = 117.49$. Assim: $G_4(\theta_w) = 32 - 25 \log(\theta_w) = 32 - 25 \log(1.519)$ $G_4(\theta_w) = 27.461$ dB</p>
<p>Ganho da antena transmissora da estação de terra interferente em direção ao satélite desejado $\{ G_1(\theta_i) \}$</p>	<p>$G_1'(\theta_i) = 27.461$ dB calculado da seguinte maneira: $20 \log D/\lambda = G_{MAX} - 7.7$ $G_{MAX} = 54$ dB. Então $D/\lambda = 117.49$. Assim: $G_4(\theta_i) = 32 - 25 \log(\theta_i)$ $G_4(\theta_i) = 27.461$ dB</p>	
<p>Ganho máximo da antena receptora do satélite desejado (G_{2m})</p>		<p>$G_{2m} = 26$ dB</p>
<p>Contorno de ganho relativo da antena de recepção do satélite desejado em direção à estação de terra transmissora interferente</p>		<p>0 dB</p>
<p>Ganho da antena receptora do satélite desejado em direção à estação de terra transmissora (G_2)</p>	<p>-</p>	<p>$G_2 = 26 - 0 = 26$ dB</p>
<p>Contorno de ganho relativo da antena de recepção do satélite desejado em direção à estação de terra transmissora desejada</p>		<p>-5.0 dB</p>
<p>Ganho da antena receptora do satélite desejado em direção à estação de terra transmissora desejada (G_{2m-1})</p>		<p>$G_{2m-1} = 26 - 5 = 21$ dB</p>

Ganho máximo da antena de recepção da estação de terra desejada (G_{4m})		$G_{4m}=49.1$ dB
Potência máxima do satélite interferente (P_s')	$P_s'=-1.6$ dBW	
Densidade de potência máxima do satélite interferente (p_s')	$p_s'=-60.4$ dBW/Hz	
Potência máxima da estação de terra interferente (P_e')	$P_e'=19$ dBW	
Densidade de potência máxima da estação de terra interferente (p_e')	$p_e'=-39.9$ dBW/Hz	
Potência máxima transmitida pela estação de terra desejada (P_e) para feixe CSR		$P_e=22.7$ dBW
Ganho máximo transmitido da estação de terra desejada (G_{1m}) para feixe CSR		$G_{1m}=53$ dBW
Potência máxima transmitida pelo satélite desejado (P_s) para feixe GBL		$P_s=12.9$ dBW
Ganho máximo transmitido pelo satélite desejado (G_{3m}) para feixe GBL		$G_{3m}=21$ dB
Contorno de ganho relativo da antena transmissora do satélite desejado em direção à estação de terra desejada para feixe GBL		0 dB
Ganho da antena transmissora do satélite desejado em direção à estação de terra desejada (G_{3m}) para feixe GBL		$G_{3m}=21$ dB
Temperatura de ruído do sistema receptor da estação de terra desejada (T_e)		$T_e=161^\circ$ K
Temperatura de ruído do sistema receptor do satélite desejado (T_s)		$T_s=1000^\circ$ K

4.5.1. CÁLCULO DE $\Delta T/T$

$$\Delta T_E = p_s' + G_3' - L_4 + G_4(\theta_w) = -60.4 + 20 - 196.061 + 27.461 = -209.0 \text{ dB}$$

$$\Delta T_S = p_e' + G_1'(\theta_i) - L_3 + G_2 = -39.9 + 27.461 - 199.74 + 21 = -191.179 \text{ dB}$$

Os valores numéricos de ΔT_E , ΔT_S e de γ são expressados como:

$$\delta t_e = 10^{-20.9} = 1.258925 * 10^{-21}$$

$$\delta t_s = 10^{-19.1179} = 7.6225 * 10^{-20}$$

$$\gamma = 10^{-0.6} = 0.2511$$

$$\delta t = \delta t_e + \gamma \delta t_s = 1.258925 * 10^{-21} + 0.2511 * 7.6225 * 10^{-20} = 2.0399 * 10^{-20}$$

pois,

$$t = 2309^\circ \text{ K} \quad e,$$

$$K = 1.38 * 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K} \text{ (constante de Boltzmann)}$$

Assim, temos:

$$(\delta t / t) * 100 = (2.0399 * 10^{-20}) * 100 / 2309 * 1.38 * 10^{-23}$$

$$(\delta t / t) * 100 = 64\%$$

4.5.2. CÁLCULO DE C/I

$$C_{uplink} = P_e + G_{1m} - L_1 + G_{2m-1}$$

$$C_{uplink} = 22.7 + 53 - 199.743 + 21$$

$$C_{uplink} = -103.043 \text{ dB}$$

$$I_{uplink} = P_e' + G_1'(\theta_i) - L_3 + G_2 - I_a$$

Aqui, I_a é o fator de ajustamento da largura de banda expressado por:

$$I_a = (Largura_de_Banda_{potência_interferente} - Largura_de_Banda_{potência_desejada})$$

somente se:

$$Largura_de_Banda_{potência_interferente} > Largura_de_Banda_{potência_desejada}$$

Caso contrário:

$$I_a = 0$$

Neste caso, devido ao fato de que a largura de banda da potência desejada é 41 MHz e que a banda da potência interferente é de somente 1.10 MHz, nós temos:

$$Largura_de_Banda_{potência_interferente} = 10\log(1.1) = 0.4139 \text{ dB}$$

$$Largura_de_Banda_{potência_desejada} = 10\log(41) = 16.128 \text{ dB}$$

Portanto: $I_a = 0$

$$I_{uplink} = P_e' + G_1'(\theta_i) - L_3 + G_2 - I_a$$

$$I_{uplink} = 19 + 27.461 - 199.744 + 26 - 0$$

$$I_{uplink} = -127.283 \text{ dB}$$

Por conseguinte, o valor ajustado de C/I de uplink será:

$$(C/I)_{uplink} = -97.043 - (-127.283)$$

$$(C/I)_{uplink} = 25.24 \text{ dB}$$

$$C_{downlink} = P_s + G_{3m} - L_2 + G_{4m}$$

$$C_{downlink} = 12.9 + 21 - 196.007 + 49.1$$

$$C_{downlink} = -113.007 \text{ dB}$$

$$I_{downlink} = P_s' + G_3' - L_4 + G_4(\theta_W) - I_a$$

$$I_{downlink} = -1.6 + 20 - 196.061 + 27.461 - 0$$

$$I_{downlink} = -150.200 \text{ dB}$$

O valor ajustado de C/I de downlink será:

$$(C/I)_{downlink} = -113.007 - (-150.200)$$

$$(C/I)_{downlink} = 37.193 \text{ dB}$$

Utilizando a expressão para o (C/I) total temos:

$$(C/I)_{Total} = -10 \log \left[10^{\frac{(C/I)_U}{10}} + 10^{\frac{(C/I)_D}{10}} \right]$$

então,

$$(C/I)_{Total} = 24.94 \text{ dB}$$

4.5.3. CÁLCULO DE C/N

Se N_u representa o ruído térmico do satélite desejado, então:

$$N_u = -228.6 + 10[\log(\text{temp. de ruído do receptor do sat. desej.}) + 10\log(\text{larg. de banda do sist. receptor do sat. desejada})]$$

$$N_u = -228.6 + 10[\log(1000) + \log(41 \cdot 10^6)]$$

$$N_u = -122.472 \text{ dB}$$

Como $C_{uplink} = -103.043 \text{ dB}$,

Então:

$$(C/N)_u = 19.429 \text{ dB}$$

Caso N_d represente o ruído térmico do receptor da estação de terra desejada, então:

$N_d = -228.6 + 10[\log(\text{temp. de ruído do receptor da est. de terra desej.}) + 10\log(\text{larg. de banda do sist. receptor da est. de terra desejada})]$

$$N_d = -228.6 + 10[\log(161) + \log(41 \cdot 10^6)]$$

$$N_d = -130.4039 \text{ dB}$$

Como $C_{\text{downlink}} = -113.007 \text{ dB}$

Então:

$$(C/N)_d = 17.3969 \text{ dB}$$

Como

$$(C/N)_{\text{Total}} = -10 \log \left[10^{-\frac{(C/I)_U}{10}} + 10^{-\frac{(C/I)_D}{10}} \right]$$

Então:

$$(C/N)_{\text{Total}} = 15.284 \text{ dB}$$

4.5.4. CÁLCULO DA MARGEM, M

De acordo com a recomendação ITU S.741-2, os critérios de proteção de entrada única para este caso de interferência devem ser:

$$(C/I)_{\text{mínimo_requerido}} = (C/N)_{\text{Total}} + 12.2 \text{ dB}$$

$$(C/I)_{\text{mínimo_requerido}} = 15.284 + 12.2$$

$$(C/I)_{\text{mínimo_requerido}} = 27.484 \text{ dB}$$

A margem, M é dada pela expressão:

$$M = (C/I)_{\text{Total}} - (C/I)_{\text{mínimo_requerido}}$$

$$M = 24.97 - 27.484$$

Então:

$$M = -2.514 \text{ dB}$$

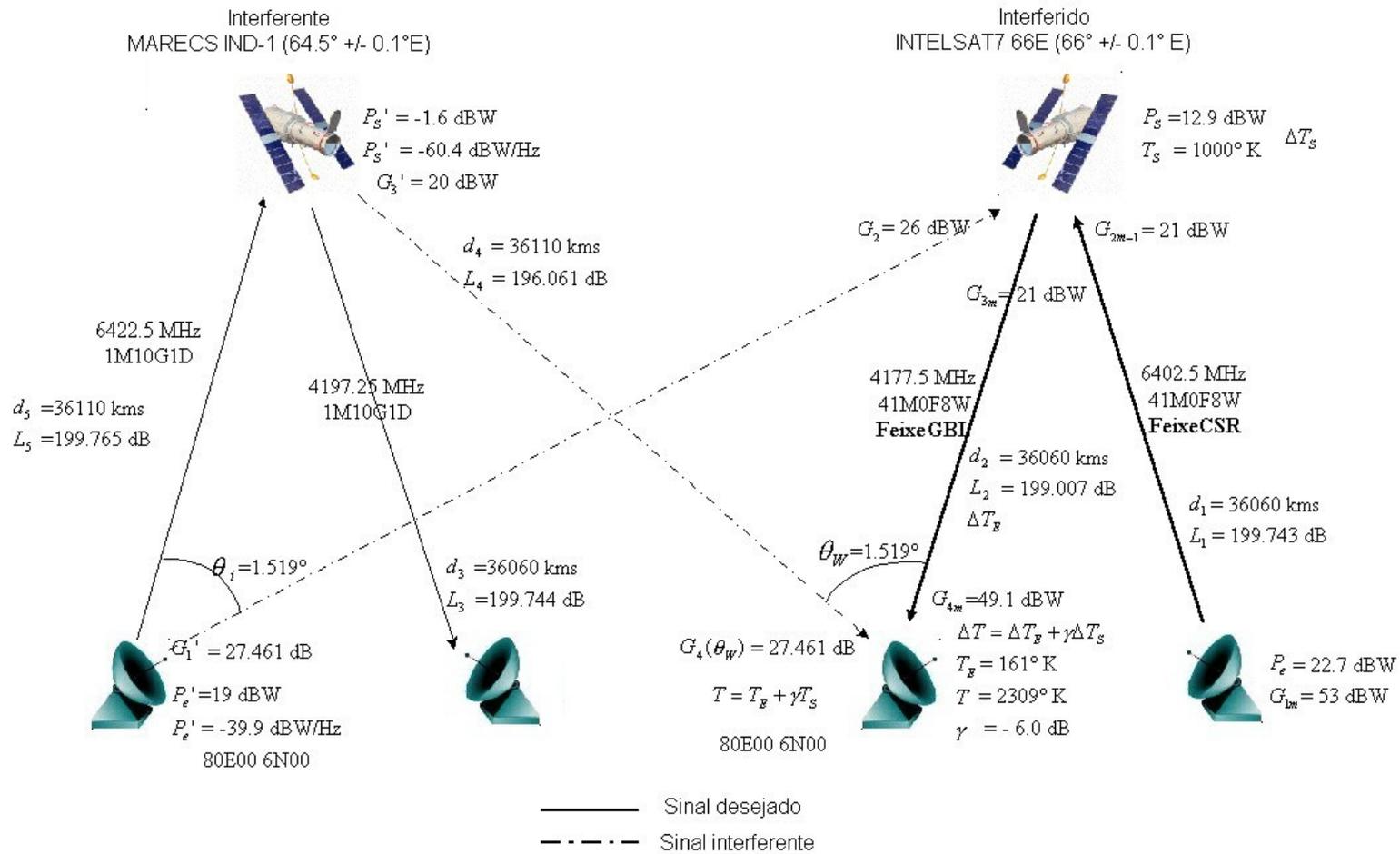


Figura 15 - Estudo de caso

5. REGULAMENTAÇÃO DA ANATEL

A ANATEL desenvolveu um extenso trabalho chamado Regulamentação Brasileira Aplicável ao Segmento Satélite. Por ser uma regulamentação bastante extensa, decidimos apenas citar os pontos de maior importância para o desenvolvimento desta tese. A regulamentação completa pode ser acessada através do site da ANATEL (www.anatel.gov.br).

Res. 220, de 05 de abril de 2000 aprova o Regulamento Sobre o Direito de Exploração de Satélite para Transporte de Sinais de Telecomunicações.

Dispõe sobre as condições para conferir Direito de exploração de satélite brasileiro e estrangeiro e seu uso para transporte de sinais de telecomunicações;

Res. 288: de 21 de janeiro de 2002 aprova a Norma de Condições de Operação de Satélites Geostacionários em banda Ku com cobertura sobre o território brasileiro.

A entrada em operação de redes de satélites sem restrições dificultava a convivência entre as redes de satélites e restringia os tipos de serviços a serem oferecidos;

A Norma estabelece critérios que possibilitam a operação de satélites em banda Ku com até dois graus de espaçamento;

Res. 267: Aprova o Regulamento que dispõe sobre o pagamento das publicações de informações de redes de satélites;

Res. 75: aprova o Regulamento Condições de Uso de Radiofrequência abaixo de 1GHz por Sistemas de Satélites não Geoestacionários;

Norma 16/97 dispõe sobre o Serviço Móvel Global por Satélite.

6. ESPECIFICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

6.1. APRESENTAÇÃO GERAL

O software tem como objetivo o cálculo da interferência entre satélites geoestacionários voltado para o uso da ANATEL.

6.2. O SOFTWARE

No software foi utilizado tecnologia QT (www.trolltech.com) e linguagem C++ utilizando muitos recursos da linguagem orientada ao objeto.

Produtos Qt da Trolltech são renomados no mundo pela excelente qualidade e funcionalidade. Em mais de 45 países, milhares de usuários Trolltech dependem do Qt em seu desenvolvimento de softwares comerciais. Para este projeto utilizamos a versão “Qt/desktop product family” de ferramentas de uso profissional para desenvolvimento de aplicações para MS Windows, Linux, Unix e Mac. A maioria dos softwares desenvolvidos no KDE utilizam o Qt, que já vem instalado na versão de desenvolvimento do Red Hat 7.X.

Qt é um kit de ferramentas em C++ para desenvolvimento de aplicações. Ele facilita aos desenvolvedores de aplicações desenvolverem para todos os maiores sistemas operacionais com um mesmo código.

Qt provem uma independência do sistema operacional utilizado, centrando todas as funcionalidades numa única plataforma. Essas funções são: GUI (interface gráfica), acesso a banco de dados (database access), rede, tratamento de arquivos (file handling), etc. O Qt encapsula as diferentes APIs dos sistemas operacionais, provendo à aplicação do programador uma API simples e comum aos sistemas operacionais. As APIs nativas ao C são encapsuladas num conjunto de bem desenvolvidas e completas classes C++.

As vantagens são melhora de produtividade e redução do risco de erro para portar para outras plataformas, menor perda de tempo em versões e línguas diferentes, aparência igual ao tipo do sistema operacional e performance, pois o Qt não é baseado em emulação do sistema operacional, nem interpretação run-time (Java).

O Qt é nativo, compilado em C++ para cada plataforma.

- O “Qt/Desktop product family” é dividido em :
- Qt/Windows é designado para MS Windows 95/98/ME, NT4, 2000 e XP.
- Qt/X11 é designado para Linux, Solaris, HP-UX, IRIX, AIX, e muitas outras

variações de Unix.

- Qt/Mac é designado para Apple Mac OS X.

Desenvolvedores podem usar para uma ou mais plataformas.

O versão utilizada no projeto foi a não comercial para Qt/X11 que é o kit de ferramentas padrão C++ para aplicações de interface gráfica no linux. O ambiente desktop do KDE é desenvolvido em Qt/X11.

Os mais importantes aspectos técnicos do Qt são: Orientação ao objeto, suporte a componentes, Documentação On-line, fácil personalização gráfica, portabilidade, Internacionalização, conjunto completo de janelas, implementações de alta performance, emulação de interface gráfica, operações avançadas de desenvolvimento gráfico e camadas gráficas em 2D/3D.

Com fins de padronização, os nomes das classes começam em “PF” seguidas de palavras concatenadas começando com letra maiúscula, sendo que todos os arquivos foram nomeados com letras minúsculas do nome da classe.

O software é gerenciado pela classe pai (janela principal “PFMainWinDlg”) e foi criada uma classe pai (“PFCarriersDlg”) da qual suas propriedades e métodos são derivados para a construção das janelas que contém portadoras interferentes (“PFInterCarriersUpDlg” e “PFInterCarriersDownDlg”) e interferidas (“PFBrasilCarriersUpDlg” e “PFBrasilCarriersDownDlg”) nos sentidos de down link e up link. Foram feitas janelas diferentes para os sentidos de transmissão para facilitar o entendimento e separar os cálculos.

Esta classe pai como todas as outras classes de janelas são filhas da janela base que vem do tipo de implementação do QT. Entretanto, também foram criadas classes sem o uso de janelas para a base dos dados: uma de acesso aos dados em arquivos de extensão “.pfu” (PFSatFile) e outra para manter os dados, atuando como uma tabela interna do software (PFTabela).

Foram criadas duas janelas para a apresentação dos resultados dos cálculos realizados divididos em up link e down link (“PFResultadosDownDlg” e “PFResultadosUpDlg”), uma janela para a manutenção de dados dos satélites (“PFSateliteDlg”) e uma para a manutenção dos dados das portadoras (“PFEntidadesDlg”).

Todas as classes são mostradas abaixo:

- pfBrasilCarriersDOWN_
- pfBrasilCarriersUP_
- pfControleJanela_
- PFEntidadesDlgBase
 - PFEntidadesDlg
- PFInterCarriersDlgBase
 - PFCarriersDlg
 - PFBrasilCarriersDlgDown
 - PFBrasilCarriersDlgUp
 - PFInterCarriersDlgDown
 - PFInterCarriersDlgUp
 - PFResultadosDownDlg
 - PFResultadosUpDlg
- pfInterCarriersDOWN_
- pfInterCarriersUP_
- PFMainWinDlgBase
 - PFMainWinDlg
- pfNewSatelite_
- pfPs_
- PFSateliteDlgBase
 - PFSateliteDlg
- PFSatFile
- PFTabela

A indentação mostra o parentesco entre as classes.

6.3. ENTRADA DE DADOS

Para a inserção de um novo satélite (interferente) o usuário deve clicar primeiramente no menu “File” -> “New” ou no botão “novo” (figuras 16 e 17). O software irá apresentar uma nova janela de dados gerais de um satélite geostacionário (figura 18):

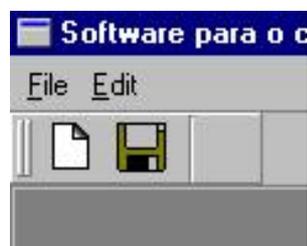


Figura 16 – Novo satélite



Figura 17 – Novo satélite

Figura 18 – Propriedades do satélite

Com o preenchimento dos dados, os campos Off axis angle (ângulo fora do eixo) e Geocentric separation (separação geocêntrica) serão calculados automaticamente.

Para abrir as janelas das portadoras dos satélites, o usuário deve clicar duas vezes nos itens da lista criados (figura 19), dependendo do caso: “Portadoras interferentes no down link”, “Portadoras interferentes no up link”, “Portadoras interferidas no down link” e “Portadoras interferidas no up link”.

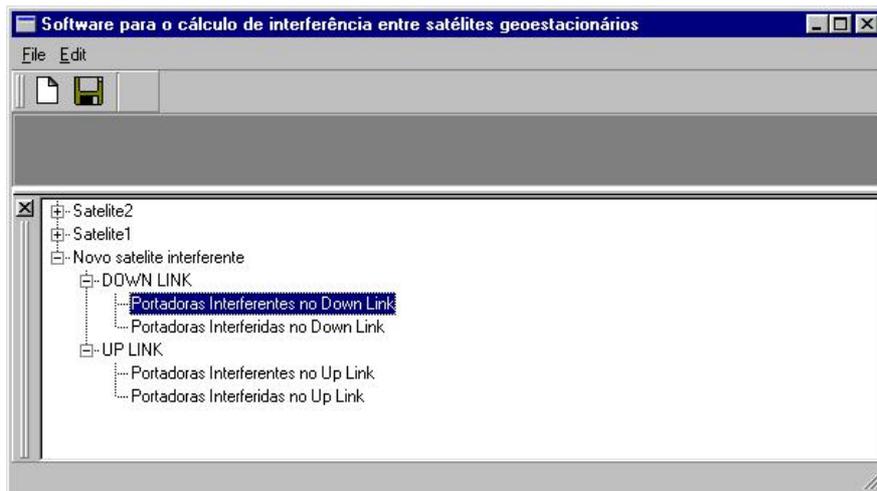


Figura 19 – Acesso às portadoras

Existem duas maneiras para a inserção e exclusão de novas portadoras do satélite:

A primeira delas é clicando com o botão direito na tabela escolhida e selecionando uma opção “Novo” ou ”Apagar” (figura 20). A segunda, clicando no botão “Novo” ou ”Apagar” (figura 20).

Também existem, no mesmo menu, as opções de copiar e colar portadoras.

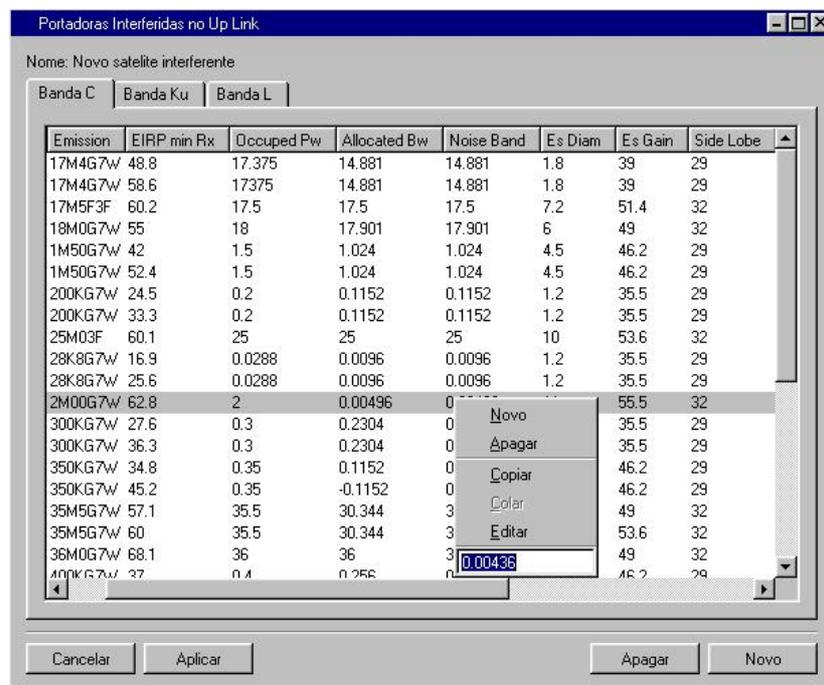


Figura 20 – Menu das portadoras

Na opção de nova portadora, a janela da portadora será aberta com os campos necessários, dependendo qual o seu tipo (figura 21): interferente no down link, interferente no up link, Interferida no down link e interferida no up link.

Nome	Portadora1
Emission	2M00G7W
EIRPMinRx	62.8
Occuped Bandwidth	2
Allocated Bandwidth	0.00496
Noise Band	0.00436
ES Diameter	11
ES Gain	55.5
Side Lobe	32
C/N	9
Down Link Frequency	4
Up Link Frequency	6

Figura 21 – Propriedades das portadoras

Feitas as alterações, os dados somente serão passados para a tabela a partir do momento que o botão “aplicar” for apertado. Caso contrário, as alterações não serão efetuadas.

6.4. CÁLCULOS

Aqui, mostraremos quais os cálculos que, embasados na teoria, são realizados pela ferramenta computacional.

Dados dos satélites interferidos no Down link:

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| - EIRPmin Rx (dBi) | (E.I.R.P. mínima recebida) |
| - Occuped Bw (MHz) | (Banda ocupada) |
| - Allocated Bw (MHz) | (Banda alocada) |
| - Noise Band (MHz) | (Banda de ruído) |
| - ES Diam (m) | (Diâmetro da antena) |
| - ES Gain (dBi) | (Ganho da antena) |
| - Sidelobe (dBi) | (Lóbulo lateral da antena) |

- C/N (dB) (Relação Sinal portadora/ ruído)
- EIRP density (dBW/Hz) (Densidade de potência isotrópica efetiva irradiada)

Fórmula: $E.I.R.P_{MIN} - 10 * \log(noiseband) * 10^6$

- Downlink freq. (GHz) (Frequência de down link)
- Uplink freq. (GHz) (Frequência de up link)
- λ (lambda) (m) (Comprimento de onda)

Fórmula: $(3 * 10^8) / freq.downlink * 10^9$

- D / λ (Diâmetro da antena / comprimento de onda)

- G1 (dB) (Ganho do primeiro lóbulo lateral)

Fórmula: $-21 + 25 \log(D / \lambda)$ se $35 \leq (D / \lambda) < 100$
 $-1 + 15 \log(D / \lambda)$ se $(D / \lambda) \geq 100$

- ϕ_m

Fórmula: $20 * (\lambda / D) * \sqrt{ESgain - G1}$

- ϕ_r (Graus)

Fórmula: $100 * (\lambda / D)$ se $35 \leq (D / \lambda) < 100$
 $15.85 * (D / \lambda)^{-0.6}$ se $(D / \lambda) \geq 100$

Valores intermediários para definição do ganho fora do eixo:

- GI Fórmula: $ESgain - (2.5 * 10^3) * ((D / \lambda) * (off_axis_angle))^2$

- GII Valor: G1

- GIII Fórmula: $sidelobe - 25 * \log(off_axis_angle)$

- GIV Valor: -10

- G (ϕ) (dB) (Ganho fora do eixo)

Fórmula: GI se $35 \leq (D / \lambda) < 100$ se $0 \leq (off_axis_angle) < \phi_m$
 GII se $\phi_m \leq (off_axis_angle) < 100 * (\lambda / D)$
 GIII se $100 * (\lambda / D) \leq (off_axis_angle) < 36$
 GIV se $36 \leq (off_axis_angle) \leq 180$

GI	se $(D/\lambda) \geq 100$	se $0 \leq (off_axis_angle) < \phi_m$
GII		se $\phi_m \leq (off_axis_angle) < \phi_r$
GIII		se $\phi_r \leq (off_axis_angle) < 36$
GIV		se $36 \leq (off_axis_angle) \leq 180$

- Margin (dB) (Margem de distância entre o total e o requerido)

Fórmula: $C/N+12,2$

Dados dos satélites interferidos no Up link:

- EIRPmin Rx (dBi) (E.I.R.P. mínima recebida)
- Occuped Bw (MHz) (Banda ocupada)
- Allocated Bw (MHz) (Banda alocada)
- Noise Band (MHz) (Banda de ruído)
- ES Diam (m) (Diâmetro da antena)
- ES Gain (dBi) (Ganho da antena)
- Sidelobe (dBi) (Lóbulo lateral da antena)
- C/N (dB) (Relação Sinal portadora/ ruído)
- EIRP density (dBW/Hz) (Densidade de potência isotrópica efetiva irradiada)

Fórmula : $E.I.R.P_{MIN} - 10 * \log(noiseband) * 10^6$

- Downlink freq. (GHz) (Frequência de down link)
- Uplink freq. (GHz) (Frequência de up link)
- Margin (dB) (Margem de distância entre o total e o requerido)

Fórmula: $C/N+12,2$

Dados dos satélites interferentes no Up link:

- Max Peak Pwr (W) (Máxima potência de pico)
- Density Pw_(dBW/Hz) (Densidade de potência)
- Occuped Bw (MHz) (Banda ocupada)
- Allocated Bw (MHz) (Banda alocada)
- ES Diam (m) (Diâmetro da antena)

- ES Gain (dBi) (Ganho da antena)
- Sidelobe (dBi) (Lóbulo lateral da antena)
- Downlink freq. (GHz) (Frequência de down link)
- Uplink freq. (GHz) (Frequência de up link)
- λ (lambda) (m) (Comprimento de onda)

Fórmula: $(3 * 10^8) / freq.downlink * 10^9$

- D/λ (Diâmetro da antena / comprimento de onda)
- G1 (dB) (Ganho do primeiro lóbulo lateral)

Fórmula: $-21 + 25 \log(D/\lambda)$ se $35 \leq (D/\lambda) < 100$
 $-1 + 15 \log(D/\lambda)$ se $(D/\lambda) \geq 100$

- ϕ_m

Fórmula: $20 * (\lambda / D) * \sqrt{ESgain - G1}$

- ϕ_r (Graus)

Fórmula: $100 * (\lambda / D)$ se $35 \leq (D/\lambda) < 100$
 $15.85 * (D/\lambda)^{-0.6}$ se $(D/\lambda) \geq 100$

Valores intermediários para definir o ganho fora do eixo:

- GI Fórmula: $ESgain - (2.5 * 10^3) * ((D/\lambda) * (off_axis_angle))^2$
- GII Valor: G1
- GIII Fórmula: $sidelobe - 25 * \log(off_axis_angle)$
- GIV Valor: -10
- G (ϕ) (dB) (Ganho fora do eixo)

Fórmula: GI se $35 \leq (D/\lambda) < 100$ se $0 \leq (off_axis_angle) < \phi_m$
 GII se $\phi_m \leq (off_axis_angle) < 100 * (\lambda / D)$
 GIII se $100 * (\lambda / D) \leq (off_axis_angle) < 36$
 GIV se $36 \leq (off_axis_angle) \leq 180$
 GI se $(D/\lambda) \geq 100$ se $0 \leq (off_axis_angle) < \phi_m$
 GII se $\phi_m \leq (off_axis_angle) < \phi_r$
 GIII se $\phi_r \leq (off_axis_angle) < 36$

GIV

se $36 \leq (off_axis_angle) \leq 180$

- Margin (dB) (Margem de distância entre o total e o requerido)

Fórmula: $C/N+12,2$

Dados dos satélites interferente no Down link:

- Max Peak Pwr (W) (Máxima potência de pico)
- Max Density Pw_(dBW/Hz) (Densidade de potência)
- Sat Ant Gain (dBi) (Ganho da antena do satélite)
- Occuped Bw (MHz) (Banda ocupada)
- Allocated Bw (MHz) (Banda alocada)

Para os cálculos do resultado de interferencia do Down link de cada portadora interferente com cada interferida

E.I.R.P Density (interferido) + ESGain (interferido) – Ganho fora do eixo (interferido) – Max Density Pw (interferente) – Sat Ant Gain (interferido) + Down Link Discrimination (Satélite)

Para os cálculos do resultado de interferencia do Up link de cada portadora interferente com cada interferida

E.I.R.P Density (interferido) + Up Link Discrimination (Satélite) – Density pw (interferente) – Ganho fora do eixo (interferente)

6.5. FORMATO DA SAÍDA DE DADOS

Para a realização dos cálculos o usuário deve clicar duas vezes nos itens da lista dependendo do caso: “DOWN LINK” ou “UP LINK”.

Os resultados são mostrados da seguinte maneira: Nos campos nos quais aparece “-”, podemos dizer que não haverá interferência prejudicial entre as portadoras. Nos campos os quais aparece um resultado numérico, existe a possibilidade de ocorrer a interferência prejudicial, sendo que o valor numérico indica em quanto o limite máximo foi ultrapassado. A figura 22 abaixo ilustra a saída de resultados.

Caso o usuário clique no checkbox “Resultados de C/I”, esse terá acesso aos valores da relação sinal-interferência para todas as combinações de portadoras possíveis.

DOWN LINK

Nome: Novo satellite interferente Resultados C/I

Banda C Banda Ku Banda L

Interfering	25M0F3F	17M5F3F	FDM/60	SCPCFM	8PSK	BPSK	QPSK	28K8G7W	350KG7
36M0F3F	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0F3F	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0F3F	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0F3F	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0G7W	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0G7W	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0G7W	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
36M0G7W	-1.7249	-1.87588	--	--	--	--	--	-2.56821	--
51K0G7W	-0.524901	-0.675881	--	--	--	--	--	-1.36821	--
51K0G7W	-1.3249	-1.47588	--	--	--	--	--	-2.16821	--
51K0G7W	-2.2249	-2.37588	--	--	--	--	--	-3.06821	--
51K0G7W	-4.0249	-4.17588	-1.3661	-1.4249	--	--	--	-4.86821	-0.66002
5M55G7W	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5M55G7W	--	--	--	--	--	--	--	-0.068213	--
5M55G7W	-0.124901	-0.275881	--	--	--	--	--	-0.968213	--
5M55G7W	-1.9249	-2.07588	--	--	--	--	--	-2.76821	--
77K0G7W	--	--	--	--	--	--	--	--	--
77K0G7W	--	--	--	--	--	--	--	--	--
77K0G7W	--	--	--	--	--	--	--	-0.168213	--

Cancelar Aplicar

Figura 22 – Resultados do software

7. CONCLUSÃO

Nos dias de hoje, a coordenação se tornou de extrema importância para o bom aproveitamento dos recursos do espectro de radiofrequências e do espaço orbital para a colocação de satélites.

O caso mostrado na seção “4.5” ilustra o que pode acontecer entre duas redes. De acordo com os cálculos mostrados, $\Delta T/T$ é 64% e a análise detalhada de C/I indica incompatibilidade (o valor calculado de C/I é 24.97 dB, enquanto o valor requerido é 27.48 dB), resultando em uma margem M negativa de 2.514 dB. Isto mostra que quando os resultados de $\Delta T/T$ excedem 6%, as necessidades de cálculos de C/I não indicam necessariamente uma interferência inaceitável. Além do mais, a combinação de sinais que produzem o pior caso de $\Delta T/T$ não necessariamente produz os piores casos de C/I . Isto acontece pois a natureza de $\Delta T/T$ representa o limite superior de I/N , enquanto a margem em uma combinação de portadoras pode ser grande em alguns casos e pequena em outros.

O uso da abordagem do arco de coordenação em certas bandas de frequências FSS possibilita que administrações afetadas sejam identificadas em uma pequena, porém provável porção do arco sem fazer o cálculo de $\Delta T/T$. Espera-se que esta abordagem diminua a sobrecarga muitas vezes causada pela coordenação com novas redes de satélites nestas frequências FSS, além de permitir que as redes já existentes fora do arco de coordenação participem do processo de coordenação independentemente dos detalhes de conexão, empregando uma técnica mais simples para o cálculo de $\Delta T/T$ (separação dos links up e down, reservado até agora pouco para casos como telemetria e telecomandos).

A coordenação pode parecer desnecessária para o usuário leigo, que desconhece os princípios mais básicos da transmissão de sinais. Caso uma rede de satélites seja implantada, e passe a interferir com uma rede já existente, alguns dos serviços mais básicos, como a televisão, podem ser impossibilitados de funcionar corretamente.

A ferramenta computacional desenvolvida será de grande utilidade, uma vez que, de acordo com os parâmetros desejados ela é de extrema importância para a prevenção de problemas que possam vir a ocorrer caso as medidas necessárias não venham a ser tomadas. Dispondo de uma ferramenta de fácil utilização, de grande precisão e velocidade (caso estes cálculos tenham que ser feitos “no papel”, muito tempo será despendido, reduzindo muitas vezes a eficácia das negociações com administrações de outros países) a ANATEL estará

melhor preparada para administrar o seu próprio sistema de satélites com maior eficácia.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Technical coordination methods for fixed-satellite networks. Recommendation ITU-R S.740, 1992.
- [2] Carrier-to-Interference calculations between networks in the fixed-satellite service. Recommendation ITU-R S.741-2, 1992, 1993, 1994..
- [3] MEHROTRA, R. Appendix S8 of Radio Regulations. Coordination Arc Approach calculation of C/I ratio, Geneva, novembro de 2000.
- [4] Regulamento de Radiocomunicação- Editora UIT, versão 2001
- [5] Sodha, J. Digital Communications – Satellite Communications. Acessado em 18/04/2002 em <http://scitec.uwichill.Edu.bb/cmp/online/e131q/e131q.htm>
- [6] ANATEL. Acessado em 12/08/2002 em <http://www.anatel.gov.br>

