

PROCESSO N° 53500.016224/2018-04

INTERESSADO: SUPERINTENDÊNCIA DE OUTORGA E RECURSOS À PRESTAÇÃO

1. ASSUNTO

1.1. Estudo de limites de potência de transmissão de estações do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) na faixa de frequências 39,5-40 GHz.

2. REFERÊNCIAS

2.1. ANATEL, Resolução n° 688, de 07 de novembro de 2017.

2.2. E. Souza, A. Linhares, C. Queiroz, L. Valle, U. Dias e A. Barreto, "An open source simulation tool for sharing and compatibility studies between 5G and other radiocommunication systems," 2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), Águas de Lindoia, 2017, pp. 1-5.

2.3. M. Jeruchim, P. Balaban, e K. Hanmugan (Editores), "Simulation of Communication Systems: Modeling, Methodology and Techniques" (2ª edição), Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 2000.

2.4. Recomendação ITU-R M.2101: M.2101 "Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies", 02/2017.

2.5. ITU-R TG 5/1, Contribuição 36, "Liaison statement to Task Group 5/1 - Spectrum needs and characteristics for the terrestrial component of IMT in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz", 02/2017.

2.6. FCC Part 30, Subpart C.

3. ANÁLISE

Introdução

3.1. O parágrafo 5º do Artigo 8º do Anexo à Resolução n° 688, de 07 de novembro de 2017, estabelece que "O limite de potência da Subfaixa X para uso por estações do SCM será definido em Ato específico da Anatel". Este Informe tem por objetivo apresentar os estudos que embasaram a proposta de limites de potência de transmissão de estações do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) na faixa de frequências 39,5-40 GHz, chamada de Subfaixa X no contexto da Resolução n° 688. Para isso, são avaliados indicadores de desempenho de estações SCM e também são realizados dois estudos de convivência: 1) entre estações SCM e estações do Serviço Móvel Pessoal (SMP) e 2) entre estações SCM e estações terrenas do Serviço Fixo por Satélite (SFS).

3.2. A escolha dos serviços de radiocomunicações ou aplicações a serem estudadas quanto à convivência com o SCM, que é um serviço fixo, considerou a expectativa de potencial uso da faixa nos próximos anos. No caso do SMP, está em estudo na União Internacional de Telecomunicações (UIT) a possibilidade de identificar a faixa 37-43,5 GHz, ou partes dela, para o IMT (*International Mobile Telecommunications*), enquanto para o SFS, essa faixa faz parte do que chamamos de Banda Q, sendo que existe a expectativa de termos estações terrenas, do tipo *Gateway* (estação de grande porte) nessa região do espectro.

3.3. Cabe esclarecer que essa faixa já possui atribuição, em caráter primário, harmonizada no mundo (regiões 1, 2 e 3), para os serviços fixo, móvel, fixo por satélite (espaço-para-Terra) e móvel por satélite (espaço-para-Terra).

Metodologia

3.4. A metodologia adotada neste estudo baseia-se no uso de um software chamado SHARC, que está sendo desenvolvido pela Gerência de Espectro, Órbita e Radiodifusão (ORER) com a colaboração de parceiros da indústria e academia. Trata-se de uma ferramenta de simulação em código aberto que tem por objetivo dar suporte a estudos de compartilhamento e compatibilidade entre sistemas IMT e outros serviços de radiocomunicação de acordo com o arcabouço proposto pela Recomendação UIT-R M.2101.

3.5. O software SHARC é um simulador estático baseado no método de Monte Carlo. Este simulador tem diversas funcionalidades comuns a este tipo de ferramenta, tais como conformação de

feixe em arranjo de antenas, controle de potência, alocação de blocos de recursos, entre outros. Este simulador está sendo desenvolvido na linguagem de programação Python e seu código fonte está disponível em <https://github.com/SIMULADOR-WG/SHARC>.

3.6. A cada passo de simulação, estações transmissoras e receptoras são criadas de acordo com as diretivas dos parâmetros de entrada. Diversos cálculos são realizados e, em seguida, alguns indicadores de desempenho são coletados. Este procedimento é repetido por um determinado número de vezes.

Características técnicas

3.7. Esta seção descreve características técnicas das estações do SCM, SMP e SFS e apresenta algumas considerações gerais e premissas de simulação.

Estações SCM

3.7.1. A modelagem das estações SCM no simulador é feita por um conjunto de parâmetros de forma a caracterizar a natureza da transmissão ponto-multiponto deste serviço. Neste estudo, considera-se que a tecnologia empregada nas estações SCM é baseada no 5G. As tabelas abaixo resumem os principais parâmetros de sistema e de implantação das estações SCM.

Parâmetro	Estação nodal	Terminal
Parâmetros de sistema		
Frequência central	39,750 GHz	
Duplexação	TDD	
Largura de faixa	200 MHz	
Faixa de guarda	10 %	
Bloco de recurso	180 kHz	
Figura de ruído	10 dB	
Critério de proteção	-6 dB	
Parâmetros de implantação		
Topologia do sistema	Macro célula	Distribuição uniforme
Percentual <i>indoor</i>	0 %	0 %
Reuso de frequência	1	-
Estações ativas por setor	-	3
Raio da célula	2 km	-
Ângulo do setor	120°	-
Apontamento - azimute	60°, 180°, 300°	Apontado para estação base
Apontamento - elevação	-15°	
Altura	25 m	10 m
Fator de carga da rede	50 %	50 %
Controle de potência	Não	Sim
Tipo de antena	Conformação de feixes	Conformação de feixes

Arranjos de antena

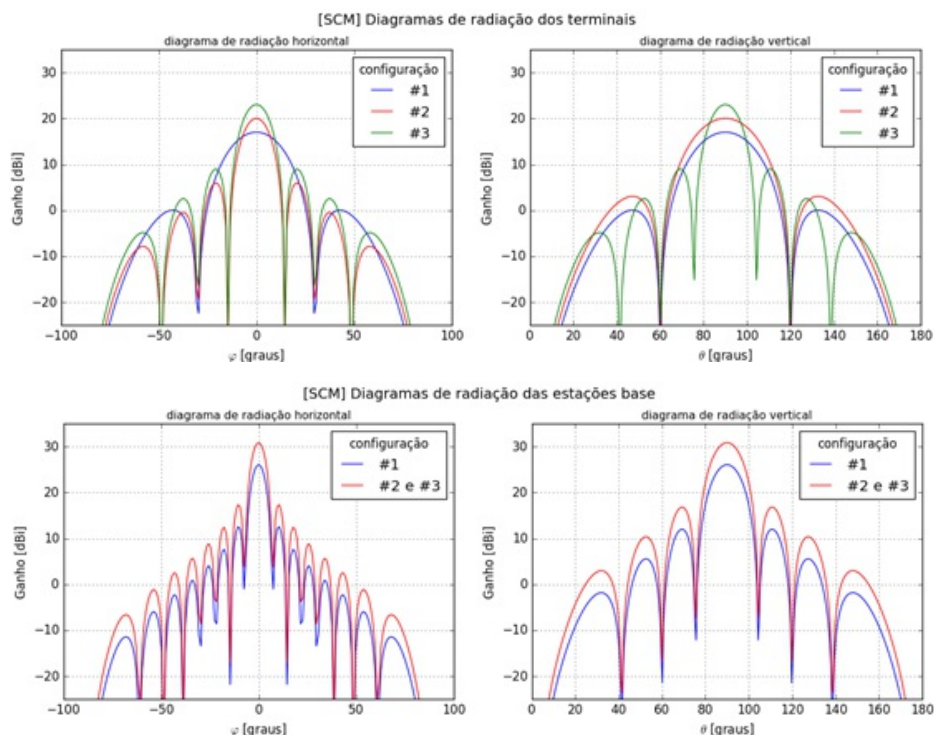
3.7.1.1. A tabela abaixo mostra as diferentes configurações de arranjos de antena que são usadas nas simulações. Trata-se de arranjos de antenas em que os feixes são dinamicamente posicionados na direção da estação transmissora/receptora. Ressalta-se que os valores de potência por elemento de antena são referências para representar a densidade espectral de potência (onda eletromagnética se propagando) nas diversas direções, conforme características esperadas das antenas de múltiplos feixes direcionais (*beamforming*) que serão empregadas nessa faixa.

Parâmetro	Estação base		
	#1	#2	#3
Configuração			
Número de elementos	8x16	8x16	8x16
Potência por elemento	8 dBm/200MHz	14 dBm/200MHz	29 dBm/200MHz
Ganho do elemento	5 dBi	9,8 dBi	9,8 dBi
Espaçamento	0,5 λ	0,5 λ	0,5 λ
θ_{3dB} horiz. e vertical	65°	65°	65°
Relação frente/costas	30 dB	30 dB	30 dB
Potência de transmissão	29 dBm	35 dBm	50 dBm
Ganho do arranjo	26 dBi	31 dBi	31 dBi
Perdas ôhmicas	3 dB	3 dB	3 dB
EIRP	52 dBm/200MHz	63 dBm/200MHz	78 dBm/200MHz ¹
Parâmetro	Terminal		

Configuração	#1	#2	#3
Número de elementos	4x4	4x8	8x8
Potência por elemento	10 dBm/200MHz	22 dBm/200MHz	20 dBm/200MHz
Ganho do elemento	5 dBi	5 dBi	5 dBi
Espaçamento	0,5 λ	0,5 λ	0,5 λ
θ_{3dB} horiz. e vertical	65°	65°	65°
Relação frente/costas	30 dB	30 dB	30 dB
Potência de transmissão	22 dBm	37 dBm	38 dBm
Ganho do arranjo	17 dBi	20 dBi	23 dBi
Perdas ôhmicas	3 dB	3 dB	3 dB
EIRP	36 dBm/200MHz	54 dBm/200MHz	58 dBm/200MHz

¹ 78 dBm/200 MHz é equivalente a 75 dBm/100 MHz, que é o limite de potência definido pela FCC para aplicações equivalentes, e é equivalente a 72 dBm/50 MHz, que é o limite de potência vigente para o SARC, RpTV e CFTV.

3.7.1.2. As figuras abaixo mostram os diagramas de radiação das configurações de arranjo usadas tanto nas estações base quanto nos terminais SCM. Nestas figuras observa-se o impacto do ganho do elemento e do número de elementos do arranjo no diagrama de radiação.



Controle de potência no enlace de subida

3.7.1.3. O algoritmo para controle de potência no enlace de subida é similar ao usado em redes 4G. Ele baseia-se no ajuste da potência de transmissão do terminal para que as perdas por propagação sejam compensadas de modo que a intensidade do sinal recebido na estação base ou nodal tenha um determinado nível de potência. Este mecanismo de controle de potência é modelado da seguinte maneira:

$$P = \min(P_{CMAX}, 10 \log_{10} M_{PUSCH} + P_{0_PUSCH} + \alpha \cdot CL)$$

onde:

P_{CMAX} é a máxima potência de transmissão do terminal, em dBm;

M_{PUSCH} é a quantidade de blocos de recurso alocados ao terminal;

P_{0_PUSCH} é a potência de recepção desejada para cada bloco de recurso, em dBm;

α é o fator de balanceamento usado para compensar parcial ou totalmente as perdas

de propagação;

CL é o termo que indica todas as perdas a que o sinal transmitido está sujeito, incluindo perdas por propagação e perdas ôhmicas, descontando-se os ganhos das antenas de transmissão e recepção, em dB.

3.7.1.4. A tabela abaixo mostra, para cada configuração, os parâmetros usados pelo algoritmo de controle de potência.

Parâmetro	Valor		
	#1	#2	#3
P_{CMAX}	22 dBm	37 dBm	38 dBm
M_{PUSCH}	333		
P_{0_PUSCH}	-85 dBm		
α	1		

3.7.1.5. Considerando que cada bloco de recursos tem $B = 180 \text{ kHz}$ de largura de faixa e que a figura de ruído da estação base SCM é igual a $NF = 10 \text{ dB}$, tem-se que o nível de ruído do sistema é igual a:

$$N = 10 \cdot \log_{10}(KTB) + NF = -111,42 \text{ dBm}$$

onde K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura do sistema. Como a potência de recepção desejada para cada bloco de recurso, P_{0_PUSCH} , foi definida como igual a -85 dBm , então o algoritmo de controle de potência atuará de modo que a relação sinal-ruído em um bloco de recursos no enlace de subida seja igual a $SNR = -85 - (-111,42) = 26,42 \text{ dB}$

Eficiência espectral

3.7.1.6. A estimativa de eficiência espectral do SCM é calculada pelas seguintes expressões:

$$eff = \begin{cases} 0 & \text{para } SINR < SINR_{min} \\ \alpha \cdot S(SINR) & \text{para } SINR_{min} < SINR < SINR_{max} \\ \alpha \cdot S(SINR_{max}) & \text{para } SINR > SINR_{max} \end{cases}$$

onde:

$S(SINR)$ é o limite de Shannon, $S(SINR) = \log_2(1 + SINR)$ bits/s/Hz;

α é o fator de atenuação, representando perdas da implementação;

$SINR_{min}$ é a mínima $SINR$, em dB;

$SINR_{max}$ é a máxima $SINR$, em dB;

3.7.1.7. Os parâmetros acima são definidos de acordo com a implementação da tecnologia e com as condições do enlace. Nas simulações realizadas com o SHARC, foram escolhidos os valores listados na tabela a seguir, de acordo com as seguintes premissas estabelecidas por especialistas na ITU-R:

- Antenas simples (1 elemento);
- Modelo de canal AWGN;
- Adaptação de enlace (ver tabela);
- Sem HARQ (*Hybrid automatic repeat request*)

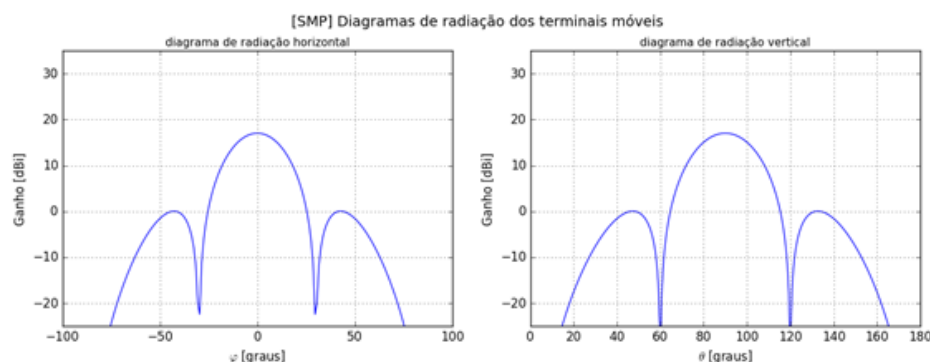
Parâmetro	DL	UL	Observações
α	0,6	0,4	Representa perdas da implementação
$SINR_{min}$	-10	-10	DL: QPSK, taxa 1/8 UL: QPSK, taxa 1/5
$SINR_{max}$	30	22	DL: 256-QAM, taxa 0,93 UL: 64-QAM, taxa 0,93

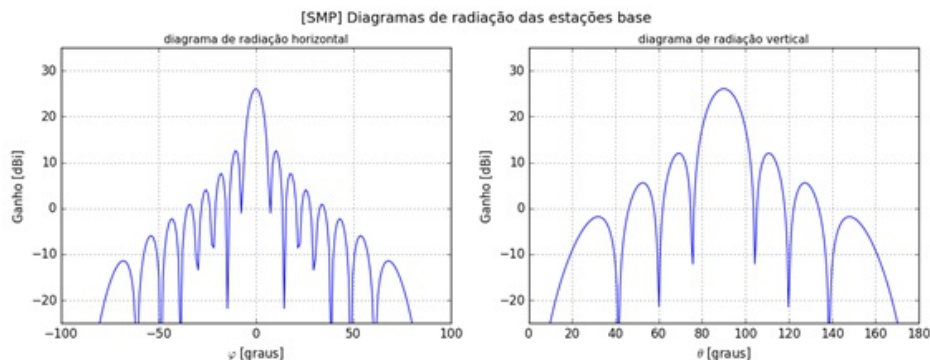
3.7.1.8. Assim como as estações SCM, considera-se que a tecnologia empregada nas

estações SMP também é baseada no 5G. O que difere destes dois tipos de estação é o fato de as estações base do SMP terem características de *hotspots* e os terminais SMP serem caracterizados como estações móveis. O enlace de subida do SMP utiliza um mecanismo de controle de potência semelhante ao usado no SCM, mas com parâmetros ligeiramente diferentes e adequados às suas características. As tabelas a seguir apresentam os parâmetros que são usados nas simulações. Tais parâmetros são tipicamente utilizados em estudos na UIT-R.

Parâmetro	Estação base	Terminal móvel
Parâmetros de sistema		
Frequência central	39,750 GHz	
Duplexação	TDD	
Largura de faixa	200 MHz	
Banda de guarda	10 %	
Bloco de recurso	180 kHz	
Figura de ruído	10 dB	
Critério de proteção	-6 dB	
Parâmetros de implantação		
Topologia do sistema	Hotspot	Nota ¹
Percentual <i>indoor</i>	0 %	0 %
Reuso de frequência	1	-
Estações ativas por setor	-	3
Raio da célula	100 m	-
Ângulo do setor	120°	-
Apontamento - azimute	60°, 180°, 300°	-60° a 60°
Apontamento - elevação	-10°	-90° a 90°
Altura	6 m	1,5 m
Fator de carga da rede	50 %	50 %
Controle de potência	Não	Sim
P_{CMAX}	-	22 dBm
M_{PUSCH}	-	333
P_{0_PUSCH}	-	-95 dBm
α	-	1
Tipo de antena	Conformação de feixes	Conformação de feixes
Número de elementos	8x16	4x4
Potência por elemento	8 dBm/200MHz	10 dBm/200MHz
Ganho do elemento	5 dBi	5 dBi
Espaçamento	0,5 λ	0,5 λ
θ_{3dB} horiz. e vertical	65°	90°
Relação frente/costas	30 dB	25 dB
¹ distância entre estação base e terminal móvel modelada por uma distribuição de Rayleigh ($\sigma = 32$) e ângulo relativo modelado por distribuição Normal (de acordo com estudos conduzidos na UIT-R).		

3.7.1.9. As figuras abaixo mostram os diagramas de radiação das estações SMP.



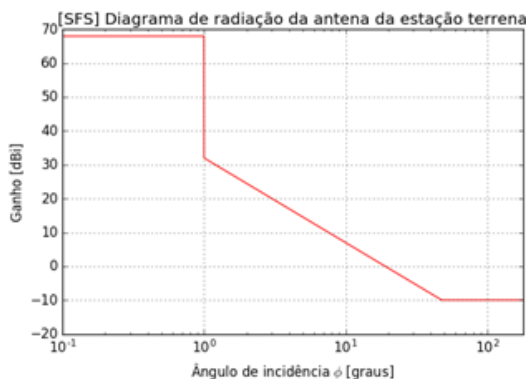


Estação terrena do SFS

3.7.1.10. No Brasil, a faixa de frequências de 39,5-40 GHz encontra-se atribuída primariamente ao Serviço Fixo por Satélite (enlace espaço-Terra). Assim, as estações terrenas deste serviço estariam sujeitas a interferência gerada por estações SCM e SMP que por ventura estejam usando esta mesma faixa de frequência. Os parâmetros das estações terrenas do SFS que são usados nas simulações são listados abaixo e estão alinhados com parâmetros tipicamente usados em estudos na UIT-R.

Parâmetro	Valor
Frequência central	39,750 GHz
Largura de banda	200 MHz
Altura da antena	6 m
Diagrama de antena	Recomendação UIT-R S.465-6
Diâmetro da antena	6,8 m
Ganho de pico da antena	68 dBi
Temperatura de ruído	250 K
Ângulo de elevação	30°
Azimute	-180°
Critério de proteção longo prazo	-10 dB excedido em 20% do tempo

3.7.1.11. A figura abaixo mostra o diagrama de radiação da antena da estação terrena do SFS, descrita na Recomendação UIT-R S.465-6. Esta é uma antena simétrica, na qual o ganho numa determinada direção é definido em função do ângulo formado por esta direção e pela direção do lobo principal da antena. Este ângulo é indicado no gráfico abaixo como ângulo de incidência ϕ , em graus.



Modelos de propagação

3.7.1.12. As simulações consideram os modelos de propagação de acordo com a seguinte tabela.

Enlace	Descrição do modelo	Linha de visada	Sombreamento	Perdas por clutter
SCM ↔ SCM	3GPP Urban Macro	Sim	$\sigma_{LoS} = 4 \text{ dB}$	Não
SMP ↔ SMP	3GPP Urban Micro	De acordo com o modelo ¹	$\sigma_{LoS} = 4 \text{ dB}$ $\sigma_{NLoS} = 7,82 \text{ dB}$ $\sigma_{\dots} = 4 \text{ dB}$	Não

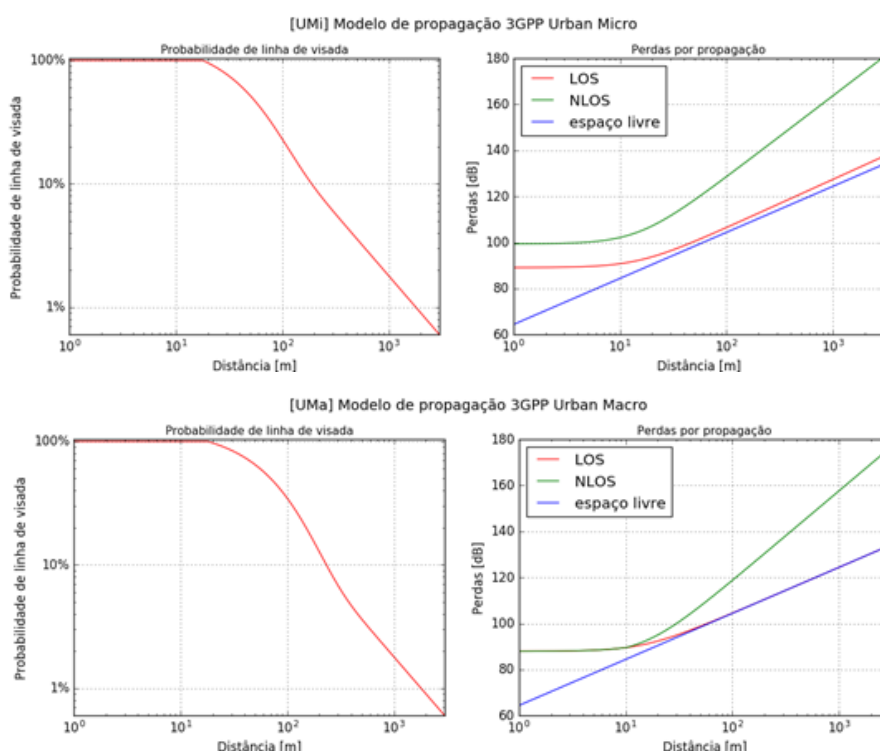
Estação base SCM ↔ SMP	3GPP Urban Macro	De acordo com o modelo ¹	$\sigma_{LOS} = 1,42 dB$ $\sigma_{NLOS} = 6 dB$	Não
Terminal SCM ↔ SMP	3GPP Urban Micro	De acordo com o modelo ¹	$\sigma_{LOS} = 4 dB$ $\sigma_{NLOS} = 7,82 dB$	Não
SCM → estação terrena SFS	Rec. UIT-R P.452-16 ²	Sim	Não	Rec. UIT-R P.2108 ³

¹ Calcula-se a probabilidade de linha de visada de acordo com o respectivo modelo de propagação

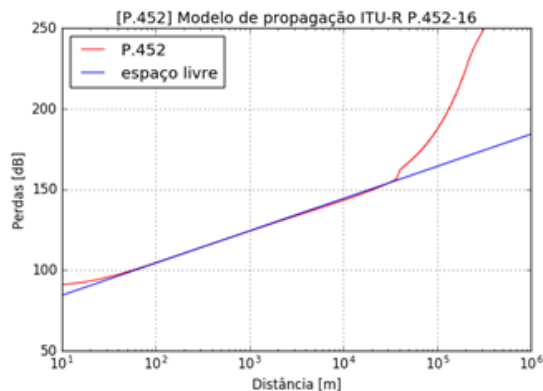
² Recomendação UIT-R P.452-16: *Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz*

³ Recomendação UIT-R P.2108-0: Prediction of clutter loss

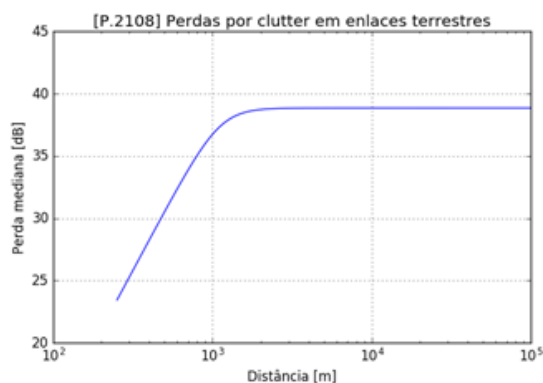
3.7.1.13. Abaixo encontram-se os gráficos que descrevem os modelos de propagação 3GPP Urban Macro (UMa) e Urban Micro (UMi). As perdas por propagação em espaço livre também são incluídas para fins de comparação. No caso do UMa, as perdas em enlaces com linha de visada (LOS) são iguais às perdas em espaço livre quando a distância entre transmissor e receptor é superior a 60 metros.



3.7.1.14. A Recomendação ITU-R P.452-16 (*Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz*) apresenta um modelo de propagação destinado à avaliação da interferência entre estações na superfície da Terra, aplicando-se a frequências entre 100 MHz e 50 GHz. A implementação no simulador SHARC considera informações climáticas referentes à localização das estações e inclui os mecanismos de propagação de longo prazo (linha de visada, difração e espalhamento troposférico). A figura abaixo mostra as perdas por propagação considerando o enlace entre uma estação base SCM (interferente) e uma estação terrena do SFS (interferido), ambos com características descritas nas seções anteriores.



3.7.1.15. As perdas por clutter descritas na Recomendação ITU-R P.452-16 não estão implementadas no simulador, pois requerem informações específicas sobre a localização das estações e dos obstáculos entre elas. Para fins de simulação, é usado o modelo de perdas por clutter em enlaces terrestres descrito na Recomendação ITU-R P.2108 (*Prediction of Clutter Loss*). Este é um modelo estatístico que pode ser usado para descrever perdas por clutter em áreas urbanas e suburbanas. A figura abaixo mostra a mediana da perda em função da distância para a frequência de **39,5 GHz**.

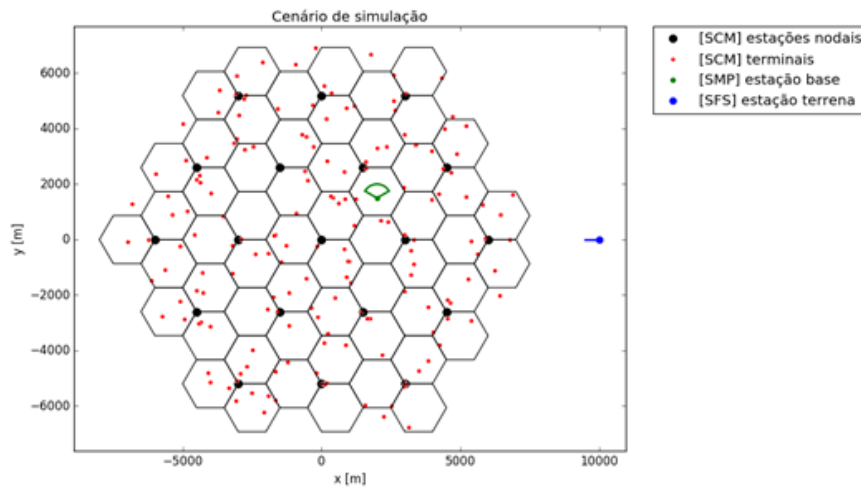


Cenário de simulação

3.7.1.16. O cenário de simulação consiste em estações base SCM fixas, em ambiente aberto, distribuídas em macro células e formando um grid hexagonal regular, conforme mostrado na figura a seguir. Trata-se de estações base setorizadas, com cada setor tendo um ângulo de abertura igual a 120°. Considera-se que os terminais são estações portáteis instaladas em postes ou no alto de casas de forma que o enlace com a respectiva estação base esteja em linha de visada. A cada passo de simulação, os terminais SCM são posicionados em locais aleatórios dentro da área de cobertura das estações base, de acordo com a parametrização apresentada nas seções acima.

3.7.1.17. Além disso, a figura ilustra posicionamento, orientação e área de cobertura de uma estação base SMP, que está sujeita a interferência co-canal gerada por estações SCM. Embora não indicados na figura, os terminais SMP são distribuídos dentro da área de cobertura de sua respectiva estação base. A cada passo de simulação, a estação base SMP também é posicionada aleatoriamente dentro do cenário de modo que várias configurações sejam avaliadas.

3.7.1.18. Por fim, a figura também indica posicionamento e orientação da estação terrena SFS, que, neste exemplo, encontra-se a 10 km do centro da rede SCM. Diferentemente das estações dos outros serviços, durante a simulação a estação terrena permanece sempre na mesma posição e sua antena, com a mesma orientação, de acordo com os parâmetros técnicos apresentados acima.



3.7.1.19. A interferência gerada pela n -ésima estação SCM na estação interferida, seja ela SMP ou estação terrena SFS, é dada pela seguinte expressão:

$$I_{SCM,n} = P_n + G_n + G_{SMP} - PL$$

onde:

P_n é potência de transmissão da n -ésima estação SCM, em dBm;

G_n é o ganho da antena da n -ésima estação SCM na direção da estação interferida, em dBi;

G_{SMP} é o ganho da antena da estação SMP na direção da n -ésima estação interferida, em dBi;

PL representa as perdas por propagação e as perdas ôhmicas associadas às antenas de ambas as estações, em dB

3.7.1.20. A interferência agregada gerada por todas as estações SCM na estação interferida é dada pela soma das interferências individuais, ou seja:

$$I = \sum_{n=1}^N I_{SCM,n}$$

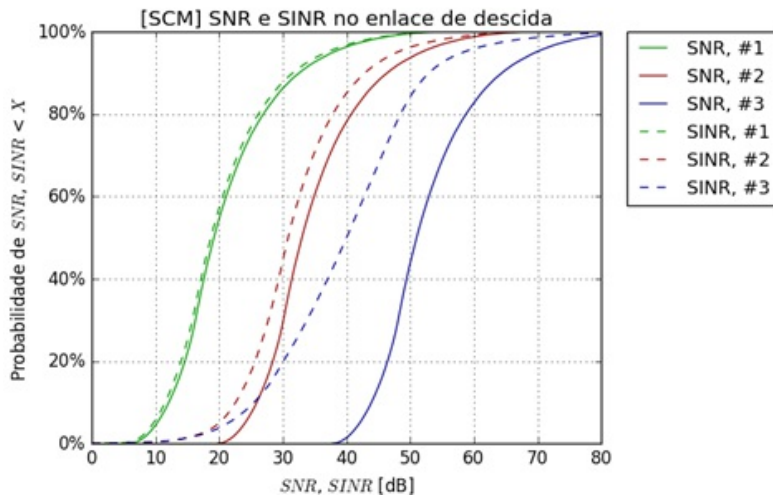
3.7.1.21. O critério de proteção da estação interferida é definido em termos da relação interferência-ruído, I/N , em que N é o nível de ruído. Assim, a cada passo de simulação, calcula-se a interferência agregada conforme a equação acima e, em seguida, a relação I/N . Ao final da simulação, realiza-se a análise estatística dos valores de I/N que foram calculados em cada passo de simulação.

Resultados de simulação

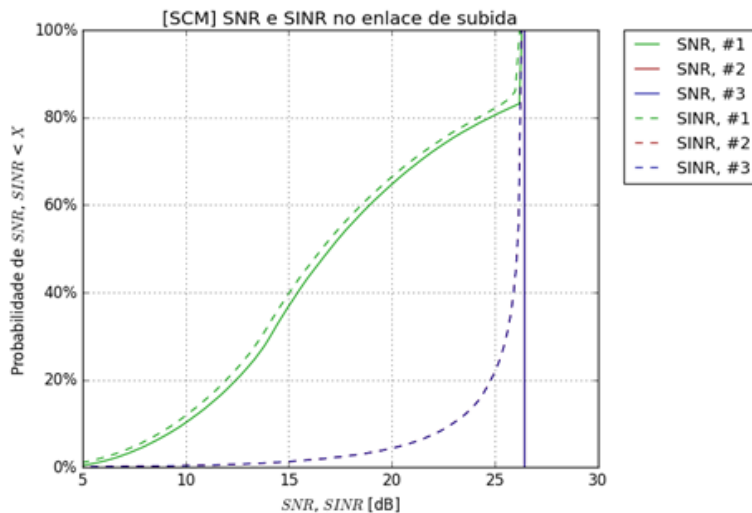
3.7.1.22. São apresentados nesta seção os principais resultados de simulação para cada um dos cenários analisados.

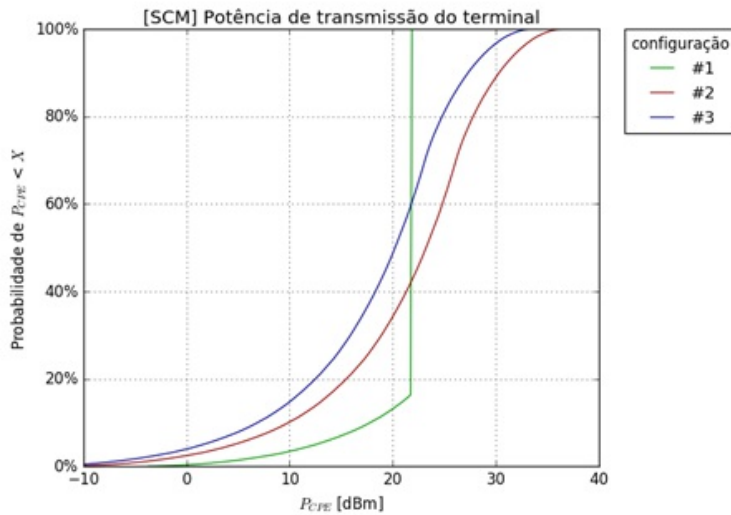
Indicadores de desempenho do SCM

3.7.1.23. A figura abaixo mostra a distribuição acumulada da relação sinal-ruído (SNR) e da relação sinal-ruído+interferência ($SINR$) do enlace de descida do SCM. Para um determinado enlace, consideram-se como interferência os enlaces formados por estações nodais e terminais SCM em células adjacentes que compartilham a mesma frequência. Observa-se que, com o aumento da EIRP nas configurações #2 e #3, a degradação devido à interferência intercelular aumenta consideravelmente.



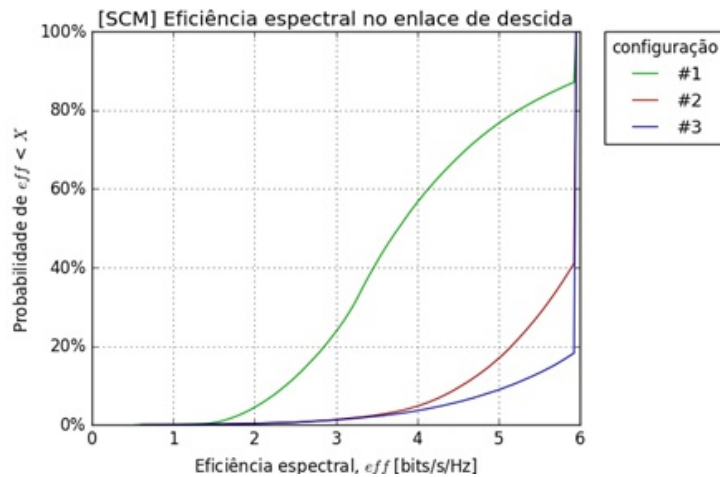
3.7.1.24. A próxima figura mostra a distribuição acumulada da SNR e da $SINR$ no enlace de subida do SCM. Nesta figura, observa-se a atuação do algoritmo de controle de potência, que define as potências de transmissão dos terminais para que os enlaces tenham o nível de desempenho desejado (neste caso, deseja-se que $SNR = 26,42 \text{ dB}$). Fica bastante claro que mais de 80% dos terminais na configuração #1 não atingem o nível mínimo de SNR , embora estejam transmitindo com potência máxima (conforme pode ser visto na segunda figura que se segue). Já as configurações #2 e #3 atendem perfeitamente ao requisito de desempenho. Estas duas configurações oferecem níveis de EIRP suficientes para que os terminais atinjam o nível de desempenho desejado sem, contudo, transmitir com a máxima potência disponível. Por terem seu desempenho moldado pelo algoritmo de controle de potência, as configurações #2 e #3 têm o mesmo desempenho em termos de SNR e $SINR$ no enlace de subida e, por isso, estas duas curvas se sobrepõem. Os resultados que mostram a potência de transmissão também indicam que os terminais na configuração #3 são os que transmitem com menores níveis de potência graças aos ganhos mais altos providos pelo arranjo de antena (quando comparados aos ganhos dos arranjos nas configurações #1 e #2).

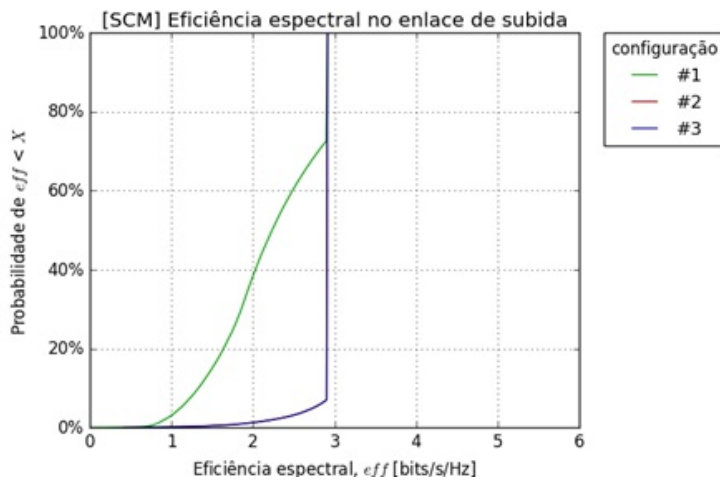




3.7.1.25. É importante ressaltar que o cenário de simulação das estações base SCM (grid regular, células hexagonais) é comumente empregado na caracterização de redes limitadas por interferência. Nestas circunstâncias, o papel desempenhado pelos algoritmos de alocação de recursos é fundamental para a redução da interferência intercelular, pois um dos objetivos destes algoritmos é otimizar a distribuição dos blocos de recursos em toda a rede. O simulador SHARC não implementa nenhum algoritmo de alocação de recursos; ele simplesmente distribui os blocos de recurso aleatoriamente entre os terminais. Dessa maneira, é natural que os resultados de simulação indiquem uma degradação dos indicadores de desempenho devido à interferência intercelular, especialmente nas configurações #2 e #3 em que a potência total irradiada é mais alta. Nas redes reais, a alocação otimizada dos blocos de recursos resultará em níveis de degradação bastante inferiores aos observados nas simulações.

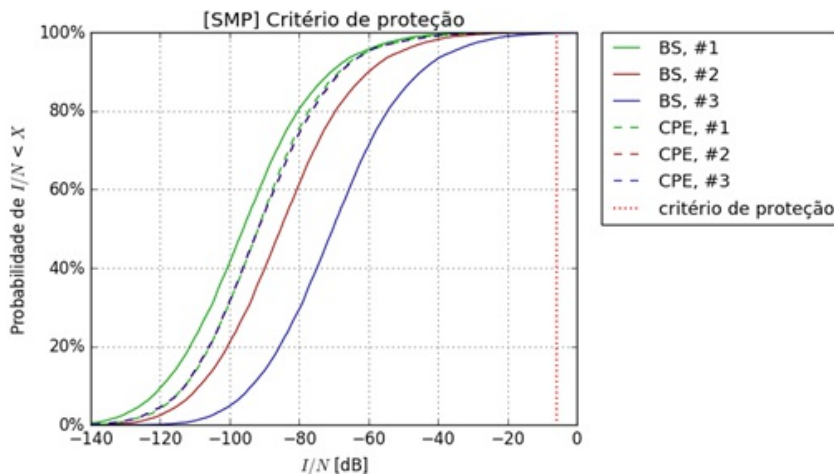
3.7.1.26. O último indicador de desempenho do SCM é a eficiência espectral, mostrado nas figuras abaixo para o enlace de descida e de subida, respectivamente. Na configuração #1, apenas 15% dos enlaces de descida e 30% dos enlaces de subida atingem a máxima eficiência espectral. As configurações #2 e #3 apresentam resultados bem melhores, conforme indicado nos gráficos.





Interferência de estações SCM em estações SMP

3.7.1.27. A figura abaixo mostra a distribuição acumulada da relação I/N em estações SMP sendo interferidas por estações SCM. De acordo com o critério de proteção definido para estações SMP, a interferência agregada gerada por estações SCM deve ser 6 decibéis abaixo do nível de ruído da estação SMP. Caso este limite não seja atendido, o desempenho da estação SMP será degradado. Os resultados abaixo indicam que o pior caso ocorre quando as estações base do SCM estão na configuração #2, em que a EIRP máxima é igual a 78 dBm. Nesta situação, o critério de proteção do SMP não seria atendido em aproximadamente de 0,5% dos cenários avaliados.



3.7.1.28. É importante notar que, devido à natureza das simulações de Monte Carlo, para o presente cenário, não é possível avaliar o percentual de tempo em que o critério de proteção seria excedido. Pode-se, no máximo, dizer que o critério de proteção seria excedido em 0,5% das estações SMP em 100% do tempo, ou que 100% das estações SMP teriam seu critério de proteção excedido em 0,5% do tempo, ou, com maior probabilidade, uma combinação desses dois cenários.

3.7.1.29. Estendendo a interpretação acima para cenários reais em que SMP e SCM compartilham uma mesma área de serviço, não é possível assegurar que o critério de proteção de ambos os serviços será atendido. Uma possibilidade que poderia viabilizar a prestação de SMP e SCM numa mesma frequência e numa mesma área iria requerer que estações de ambos os serviços estivessem sujeitos a uma mesma entidade central de gerenciamento de recursos de rádio. Esta solução técnica seria viável caso uma mesma operadora oferecesse os dois serviços a partir da mesma plataforma.

Interferência de estações SCM em estações terrenas SFS

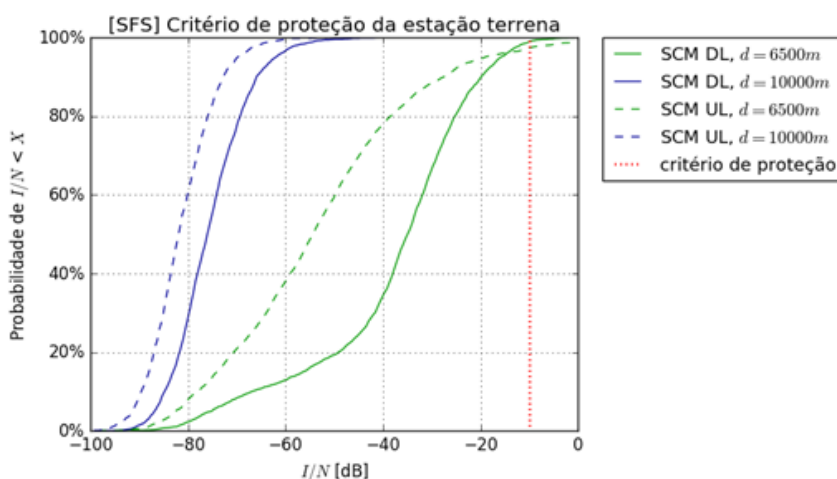
3.7.1.30. Este último resultado mostra a distribuição acumulada da relação I/N em estações terrenas SFS sendo interferidas por estações SCM. De acordo com o critério de proteção definido para estações terrenas SFS, a interferência agregada gerada por estações SCM deve ser 10 decibéis abaixo do piso de ruído da estação terrena SFS.

3.7.1.31. São avaliadas duas situações. Na primeira, a estação terrena encontra-se a uma distância de 6500 metros do centro da rede SCM. Conforme indicado na figura que

descreve o cenário de simulação, isso significa que ela está na borda, mas ainda dentro da área de cobertura do SCM. Neste caso, o critério de proteção da estação terrena SFS é excedido em um pequeno percentual dos casos (inferior a 5%). Isso ocorre tanto quando as estações base SCM quanto os terminais SCM são os interferentes.

3.7.1.32. Na segunda situação, a estação terrena encontra-se a uma distância de 10.000 metros do centro da rede SCM. Isso significa que a estação SCM mais próxima encontra-se a uma distância superior a 2500 metros. Neste caso, o critério de proteção da estação terrena SFS é atendido com margem de segurança superior a 30 dB.

3.7.1.33. Cabe esclarecer que, para este estudo, o percentual de tempo no qual o limite de I/N seja ultrapassado pode ser considerado equivalente com a probabilidade de que tal limite seja ultrapassado, uma vez que há somente uma estação sendo interferida, localizada em um ponto fixo, com um certo afastamento do resto da rede.



3.7.1.34. Estes resultados indicam que a convivência entre estações SCM e estações terrenas SFS é possível e que poderá ser necessário estabelecer uma zona de coordenação ao redor da estação terrena (*Gateway*). Isso deverá ser feito caso a caso, já que as distâncias de separação dependem além das características técnicas da estação terrena, da topologia e da morfologia da região geográfica onde a estação será instalada.

MIMO Massivo X Potência Total Radiada

3.7.1.35. As simulações de convivência consideram a potência total radiada, como se estivéssemos com um sistema SISO (*Single Input Single Output*). Todavia, se espera no início sistemas MU-MIMO (Multi-user Multiple Input Multiple Output) 4x4 ou 8x8 na estação nodal, com, pelo menos, MIMO 2x2 do lado da CPE. Esses sistemas deverão evoluir para MIMO Massivo (ex.: 64x64), de tal forma que a tendência será aumentar a potência total radiada.

Regulamento de Radiocomunicações da UIT

3.7.1.36. A nota de rodapé 5.547 do Regulamento de Radiocomunicações (RR) da UIT identifica a faixa de 37-40 GHz para aplicações de alta densidade do Serviço Fixo. Assim, ter a operação de SCM em 39,5-40 GHz, com características de 5G Fixo está aderente ao RR.

4. CONCLUSÃO

4.1. Este estudo avaliou diferentes limites de potência de transmissão de estações do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) na faixa de frequências 39,5-40 GHz, chamada de Subfaixa X no contexto da Resolução nº 688. Os resultados indicam que a configuração #2, em que estações nodais SCM transmitem com EIRP (soma de todos os *layers* do MIMO) igual a 63 dBm/200MHz (ou 57 dBm/50MHz, equivalentemente) e os terminais SCM transmitem com EIRP igual a 54 dBm/200MHz (ou 48 dBm/50MHz, equivalentemente), é uma solução viável, que minimiza o potencial de interferências em outros sistemas. Com a evolução dos sistemas, esses valores poderão ser reavaliados, mas não deverão ser superiores aos limites adotados pela FCC, que parecem ser coerentes considerando um ambiente de MIMO Massivo.

4.2. Não se pode extrapolar esse resultado (em termos de limites de potência) para outros cenários, em especial para o 5G móvel. O 5G móvel considerou as discussões dos cenários em estudo no TG 5/1 da UIT-R.

4.3. Considerando os limites de potência escolhidos, deve-se limitar as emissões

indesejáveis, de tal forma que o ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio) seja de 60 dB para a estação nodal, 45 dB para a CPE e os espúrios de -30 dBm/MHz.

4.4. Em vista do exposto, submetemos à deliberação do Superintendente de Outorga e Recursos à Prestação, a proposta de Ato estabelecendo os limites de potência de transmissão de estações do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) na faixa de frequências 39,5-40 GHz. Neste sentido, propõe-se submeter o texto do Ato para comentários da sociedade, por meio de Consulta Pública, ao que se seguirá o procedimento administrativo necessário à sua publicação.

5. RELAÇÃO DE ANEXOS

5.1. Minuta de Ato estabelecendo os limites de potência de transmissão de estações do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) na faixa de frequências 39,5-40 GHz.



Documento assinado eletronicamente por **Agostinho Linhares de Souza Filho, Gerente de Espectro, Órbita e Radiodifusão**, em 03/05/2018, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 23, inciso II, da [Portaria nº 912/2017](#) da Anatel.



Documento assinado eletronicamente por **Edgar Barbosa de Souza, Especialista em Regulação**, em 03/05/2018, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 23, inciso II, da [Portaria nº 912/2017](#) da Anatel.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana da Silva Mendes, Coordenador de Processo**, em 03/05/2018, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 23, inciso II, da [Portaria nº 912/2017](#) da Anatel.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Evangelista da Silva Junior, Especialista em Regulação**, em 03/05/2018, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 23, inciso II, da [Portaria nº 912/2017](#) da Anatel.



A autenticidade deste documento pode ser conferida em <http://www.anatel.gov.br/autenticidade>, informando o código verificador **2671874** e o código CRC **CFA79861**.