



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GLÁUCIO FERNANDO BESERRA PINHEIRO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA INCLUSÃO DE SERVIÇO
DE RÁDIO-DIFUSÃO DE TV DIGITAL**

Orientador: Adorian Judson de Barros Braga

Brasília, DF
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente:

- Ao corpo docente da Universidade de Brasília, que me guiou nessa trajetória de construção de conhecimento.
- Aos meus chefes imediatos na Empresa Brasil de Comunicação: Leandro de Souza Marques e Eduardo Soares Batista, por sempre adequarem meu horário de trabalho de modo que eu pudesse assistir as aulas na Universidade.
- Aos colegas de trabalho da EBC, por atenderem as demandas quando precisei me ausentar devido a compromissos da vida acadêmica.
- Aos meus pais, que sempre se preocuparam e incentivaram meus estudos.
- À minha namorada Lariza Diniz Lima, pelo apoio, companheirismo e paciência.
- Ao professor e orientador Judson Braga, por me permitir trabalhar com liberdade no tema escolhido.
- Aos colegas engenheiros Paulo e Israel, pelas sugestões e suporte para realização do estudo.
- Aos meus amigos que pouco influenciaram nesse trabalho, mas que sempre torceram pelo meu sucesso.

RESUMO

O presente projeto aborda os requisitos e procedimentos para o estudo de viabilidade de inclusão de um canal de radiodifusão de televisão digital no espectro de radiofrequências, especificamente no município de Campinas-SP, podendo ser replicado em qualquer município do Brasil. O estudo utiliza dados topográficos e informações públicas de geradoras e retransmissoras de TV existentes, como: localização geográfica, potência efetivamente radiada e altura de antenas; com essas informações são aplicados modelos de propagação de campo elétrico. Tem como base as resoluções da ANATEL n° 284 de 7 de dezembro de 2001 e n° 398 de 7 de abril de 2005, que aprovam o regulamento técnico para prestação de serviços de radiodifusão. Nas resoluções são indicadas a norma da Secretaria de Comunicação N002/91 e a recomendação ITU-R P.1546-1 para determinação e predição de Intensidade de Campo em frequências VHF e UHF. Em complementação ao estudo é utilizada a ferramenta PROGIRA® Plan, software que permite análises de sistemas de radiodifusão digitais ISDB-T e possui recursos de banco de dados geográficos onde são aplicados modelos de predição de propagação, sendo o escolhido o CRC-predict, sistema canadense com alto nível de complexidade e precisão. A ferramenta dispõe de plotagem em mapa de níveis de intensidade de campo elétrico, a partir da determinação dos parâmetros da estação transmissora. Os resultados do estudo preveem se uma nova estação proposta atenderá adequadamente a região e não acarretará prejuízos aos serviços de radiodifusão existentes, estimando possíveis interferências em canais que utilizam a mesma frequência ou frequências adjacentes.

Palavras chave: Estudo de viabilidade – TV Digital – Modelos de predição de propagação – ANATEL – Intensidade de campo elétrico – Interferência – Normas de radiodifusão – CRC Predict.

ABSTRACT

This project addresses the requirements and procedures for the feasibility study of the inclusion of a digital television-broadcasting channel in the radio spectrum, specifically in the city of Campinas-SP, and can be replicated in any city in Brazil. The study uses topographic data and public information from existing TV generators and relays, such as: geographic location, effectively radiated power and antenna height; With this information, electric field propagation models are applied. It is based on ANATEL Resolutions No. 284 of December 7, 2001 and No. 398 of April 7, 2005, which approve the technical regulation for the provision of broadcasting services. The resolutions indicate the norm of the Secretariat of Communication N002/91 and the recommendation ITU-R P.1546-1 for determination and prediction of Field Intensity at VHF and UHF frequencies. Complementing the study is used the PROGIRA® Plan tool, software that allows analysis of ISDB-T digital broadcasting systems and has geographic database resources where propagation prediction models are applied, being chosen the CRC-predict, a Canadian system with a high level of complexity and accuracy. The tool has map plot of electric field intensity levels, from the determination of the transmitter station parameters. The study results predict whether a proposed new station will adequately serve the region and will not harm existing broadcasting services by estimating possible interference on channels using the same or adjacent frequencies.

Keywords: Feasibility study - Digital TV - Propagation prediction models - ANATEL - Electric field strength - Interference - Broadcasting standards – CRC predict.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo Geral.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO 2 – MÉTODOS	3
2.1. CANALIZAÇÃO	3
2.2. CLASSE DA ESTAÇÃO E HNMT	4
2.3. CURVAS DE PROPAGAÇÃO.....	6
2.3.1. Interpolações, Extrapolações e Correções	7
2.4. CONTORNOS	9
2.4.1. Contorno Protegido.....	9
2.4.2. Contorno Interferente.....	10
2.4.3. Contornos de Serviço	11
2.5. CORREÇÃO EM FUNÇÃO DO TCA	12
2.6. DETERMINAÇÃO PONTO-A-PONTO DA INTENSIDADE DE CAMPO.....	13
2.7. NORMA PARA DETERMINAÇÃO DE INTENSIDADE DE CAMPO.....	15
2.7.1. Terra Plana Equivalente	18
2.7.2. Difração pela Curvatura da Terra.....	19
2.7.3. Difração por Obstáculos do Terreno	20
2.8. MODELO CRC-PREDICT DE PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO	22
2.8.1. Cálculo da Intensidade de Campo	23
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
2.2.1. NOVA ESTAÇÃO	26
2.2.2. ANÁLISE DOS CONTORNOS.....	27
2.2.3. ESTUDO PONTO-A-PONTO.....	30
2.2.4. SIMULAÇÕES COM O MODELO CRC-PREDICT.....	35
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A partir de 2007 iniciou-se a implantação do sistema de TV digital no Brasil. Baseado no padrão japonês ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial), o padrão brasileiro ISDB-Tb apresenta eficiência no aproveitamento da largura de banda do canal por utilizar OFDM (Multiplexação por divisão de frequências ortogonais), onde o canal é ocupado por subportadoras ortogonais sobrepostas (PISCIOTTA,2010; LEAL, 2018).

A mudança da tecnologia de TV no país demandou regulamentação e padronização por parte do poder público e investimento em modernização por parte das emissoras públicas e privadas. Os desligamentos graduais, de 2016 a 2018 do sinal analógico de TV em todo território nacional (LEAL, 2018), deram maior urgência para transição das emissoras que desejassem manter um melhor índice de audiência.

Municípios brasileiros de maior densidade demográfica, como o de Campinas-SP com população estimada em pouco mais de 1,2 milhões de habitantes e uma área de 797,6 km² (IBGE, 2018), tornam-se pontos de interesse para emissoras que queiram expandir sua cobertura. Para isso, fazem-se necessários estudos prévios para garantir que a implementação de uma nova geradora ou retransmissora de TV atenda adequadamente a população local e não venha a interferir em serviços já existentes. Os estudos em questão são de predição de propagação, em que modelos empíricos e físicos específicos recomendados pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) são usados para determinação da intensidade de campo elétrico em pontos ou áreas de interesse.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho visa realizar estudo de viabilidade para habilitação de um canal no serviço de radiodifusão de TV digital terrestre na cidade de Campinas-SP seguindo exigências da ANATEL.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Reunir as normas e regulamentações vigentes no país que abrangem o tema de viabilidade em radiodifusão de TV digital.
- Estabelecer critérios para escolha de uma frequência com base nos serviços já existentes.
- Determinar parâmetros da estação proposta no estudo de viabilidade.
- Comparar métodos de propagação previstos em norma com o modelo de predição CRC-predict.

CAPÍTULO 2 – MÉTODOS

2.1 CANALIZAÇÃO

No espectro eletromagnético, a faixa de UHF, Frequências Ultra Altas de 300 MHz a 3 GHz, contém a subfaixa de 470 MHz a 698 MHz destinada a radiodifusão de Televisão Digital terrestre, segundo a Atribuição de Faixas de Frequência do Brasil, normatizada pela ANATEL. Dentro dessa subfaixa, são alocados canais de televisão com largura de banda de 6 MHz, e lhes são atribuídos números de 14 a 51, exceto o canal 37 que é destinado à Radioastronomia, conforme a Tabela 1.

Na faixa de frequência VHF, frequências muito altas, que correspondem às frequências de 30 a 300 MHz, também são alocados canais digitais na região do espectro entre 174 e 216 MHz que contém os canais de numeração 7 a 13.

Conforme norma ABNT NBR 15604, os dispositivos receptores devem ser capazes de sintonizar os canais de televisão digital, tanto na faixa VHF alto, quanto os canais UHF descritos. Apesar dos equipamentos receptores atenderem a faixa alta do VHF, há maior ocupação da faixa UHF no plano básico de TV digital, devido principalmente a predominância de antenas comerciais que priorizam a recepção em UHF.

No território brasileiro, as atribuições dos canais digitais às estações geradoras ou retransmissoras dos serviços de radiodifusão de sons e imagens estão relacionadas no Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital (PBTVD) publicado pela ANATEL. Constam no plano informações como: reserva de canal, coordenadas geográficas da estação e valores máximos de potência efetiva radiada (ERP).

Tabela 1 - Canalização para TV Digital na Faixa de UHF.

CANAL	Faixa de Frequência (MHz)	CANAL	Faixa de Frequência (MHz)
14	470 - 476	33	584 - 590
15	476 - 482	34	590 - 596
16	482 - 488	35	596 - 602
17	488 - 494	36	602 - 608
18	494 - 500	37	RADIOASTRONOMIA
19	500 - 506	38	614 - 620
20	506 - 512	39	620 - 626
21	512 - 518	40	626 - 632
22	518 - 524	41	632 - 638
23	524 - 530	42	638 - 644
24	530 - 536	43	644 - 650
25	536 - 542	44	650 - 656
26	542 - 548	45	656 - 662
27	548 - 554	46	662 - 668
28	554 - 560	47	668 - 674
29	560 - 566	48	674 - 680
30	566 - 572	49	680 - 686
31	572 - 578	50	686 - 692
32	578 - 584	51	692 - 698

Fonte: ANATEL, Resolução nº284, 2001.

2.2. CLASSE DA ESTAÇÃO E HNMT

A classe de uma esta estação geradora ou retransmissora diz respeito a ERP máxima permitida, sendo essa ERP referenciada para uma antena com o centro de radiação em relação ao nível médio do terreno (HNMT) de 150 metros (ANATEL, 2001).

Para o levantamento do centro de radiação da antena em relação ao nível médio do terreno (HNMT), leva-se em consideração o nível médio do terreno (NMT_{rad}) de pelo menos 12 radiais partindo do transmissor, espaçadas de 30° e incluindo o norte verdadeiro (norte geográfico). Em cada radial deve-se calcular a média aritmética de altitude de pelo menos 50 pontos, igualmente espaçados e coletados entre 3 km a 15 km da estação transmissora (ANATEL, 2001). As medidas da cota da base da torre transmissora (CBT) e do centro de radiação da antena (HCI) são representadas na Figura 1 e o $HNMT_{rad}$ será igual a:

$$HNMT_{rad} = CBT + HCI - NMT_{rad}. \quad (1)$$

Tabela 2 - Classificação das Estações em Função de suas Características Máximas para Faixa de UHF

Classe	Canais	Máxima Potência ERP	Altura de Referência Acima de Nível Médio da Radial (m)	Distância Máxima ao Contorno Protegido (km)
Especial	14 a 25	70 kW (18,5 dBk)	150	57
	26 a 46	80 kW (19 dBk)		
	47 a 51	100 kW (20 dBk)		
A	14 a 51	8 kW (9 dBk)		42
B	14 a 51	0,8 kW (-1 dBk)		29
C	14 a 51	0,08 kW (-11 dBk)	18	

Fonte: ANATEL, Resolução nº398, 2015.

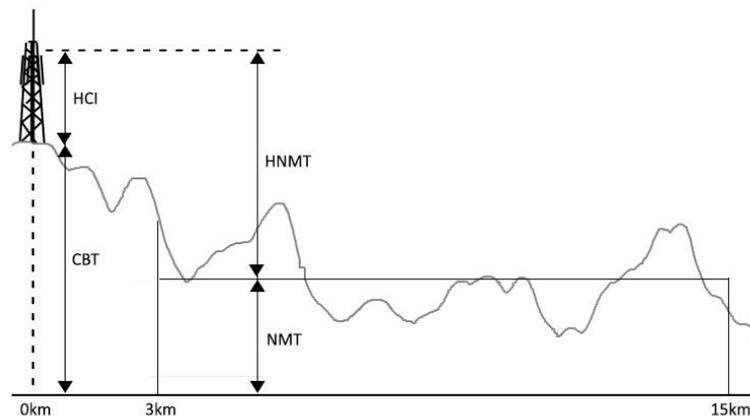


Figura 1 - Representação das Medidas em uma Radial.

O NMT total será igual a média aritmética do NMT_{rad} . Diferentemente da EIRP que é calculada com o ganho da antena transmissora em relação a antena isotrópica, a ERP é calculada com o ganho da antena em relação ao dipolo de meia onda. A relação entre ERP e EIRP em dB é dada pela equação (2) e a EIRP em dBW pela equação (3), onde P_T (dBW) é a potência do transmissor, G (dBi) é o ganho da antena em relação isotrópica e L (dB) são as perdas na linha de transmissão. (SAUNDERS e ZAVALA, 2007).

$$ERP(dBW) = EIRP(dBW) - 2,15 (dBi) \quad (2)$$

$$EIRP(dBW) = P_T(dBW) + G(dBi) - L(dB) \quad (3)$$

As classes são caracterizadas conforme a Tabela 2. Os valores de potência apresentados para cada classe garantem um contorno protegido máximo correspondente (ANATEL, 2001).

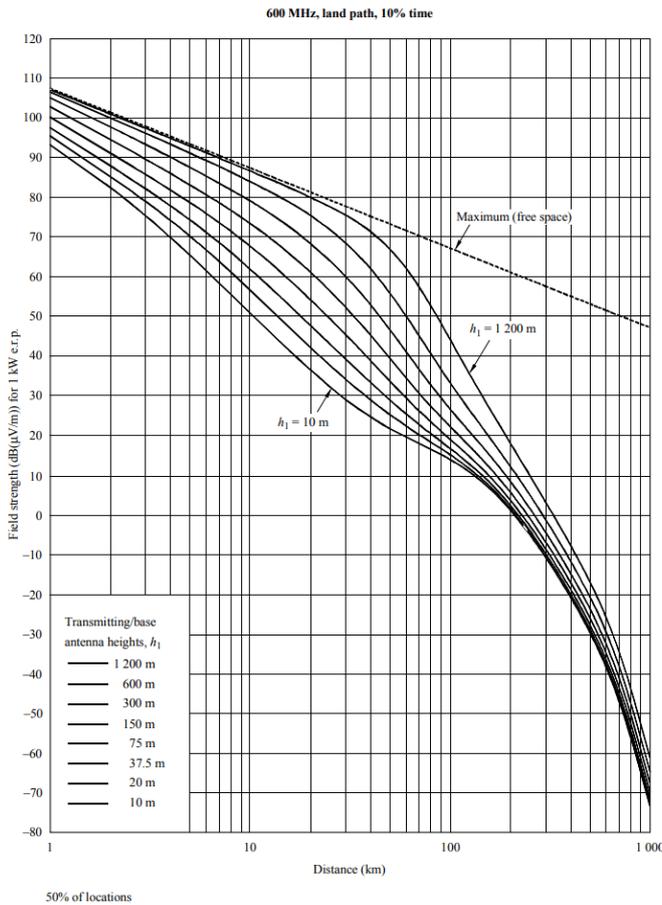
Para alturas do centro de radiação da antena em relação ao nível médio do terreno (HNMT) diferentes de 150 metros, é feita a normalização da ERP, mantendo-se a distância máxima ao contorno protegido. Os valores de distância são obtidos das curvas E (50,90) da recomendação ITU-R P1546-1.

2.3. CURVAS DE PROPAGAÇÃO

A União Internacional de Telecomunicações (ITU) é uma agência internacional com foco em pesquisa e desenvolvimento de padrões em tecnologias de comunicação. O ITU-R é um dos três setores do ITU e é responsável pela área de radiocomunicação. A resolução n°284 da ANATEL sugere a utilização da recomendação ITU-R P1546-1 para previsão ponto-a-área da intensidade de campo elétrico para os serviços terrestres de radiodifusão nas faixas VHF e UHF, de 30 MHz a 3 GHz, e para distâncias de 1 km a 1000 km. A partir dos dados da recomendação é possível fazer previsões de intensidade de campo de estações que utilizam canais de mesma frequência ou adjacentes, para determinação da distância geográfica adequada entre as estações.

As curvas de propagação da recomendação ITU-R P1546-1 são baseadas na análise estatística de dados experimentais. As curvas, identificadas na resolução da ANATEL por E(X,Y), representam valores de intensidade de campo elétrico excedidos em X% dos locais em qualquer área de aproximadamente 200m por 200m e por Y% do tempo. A resolução 284 utiliza as curvas E(50,90), E(50,50) e E(50,10).

As curvas representam valores de intensidade de campo, considerando uma antena transmissora com 1 kW de potência efetiva radiada e com frequências nominais de 100 MHz, 600 MHz e 2 GHz, uma antena receptora com altura de 10 metros acima do solo e a rugosidade do terreno Δh igual a 50 metros. Para o estudo de viabilidade, segundo a resolução 284, caso a HNMT seja menor que 10 metros, deverá ser usada a altura mínima de 10 metros. A intensidade de campo é dada em função da altura do centro de radiação em relação ao nível médio do terreno e da distância entre transmissor e receptor. A Figura 2 representa as curvas E(50,10) para frequência nominal de 600 MHz e sua respectiva tabela.



Distância em km	HNMT em metros								Campo Max. (Espaço Livre)
	10	20	37,5	75	150	300	600	1200	
1	92.681	94.868	97.072	99.699	102.345	104.591	106.007	106.629	106.900
2	81.108	84.291	87.092	90.356	93.803	97.071	99.417	100.484	100.879
3	73.480	77.690	81.046	84.741	88.624	92.462	95.443	96.866	97.358
4	67.693	72.675	76.575	80.667	84.877	89.107	92.562	94.285	94.859
5	63.064	68.556	72.942	77.421	81.920	86.457	90.290	92.275	92.921
6	59.229	65.047	69.834	74.687	79.459	84.256	88.406	90.626	91.337
7	55.965	61.992	67.096	72.296	77.333	82.365	86.792	89.227	89.998
8	53.130	59.293	64.640	70.152	75.447	80.700	85.376	88.010	88.838
9	50.628	56.879	62.410	68.195	73.739	79.204	84.110	86.933	87.815
10	48.393	54.701	60.370	66.387	72.167	77.839	82.961	85.965	86.900
11	46.377	52.719	58.489	64.702	70.703	76.576	81.907	85.085	86.072
12	44.542	50.904	56.748	63.122	69.327	75.396	80.928	84.279	85.316
13	42.862	49.230	55.127	61.633	68.022	74.282	80.013	83.533	84.621
14	41.315	47.680	53.613	60.224	66.780	73.223	79.148	82.838	83.977
15	39.883	46.237	52.192	58.888	65.590	72.209	78.327	82.187	83.378
16	38.553	44.890	50.856	57.617	64.447	71.233	77.541	81.574	82.818
17	37.312	43.626	49.594	56.404	63.345	70.289	76.786	80.993	82.291
18	36.151	42.437	48.399	55.244	62.280	69.373	76.056	80.441	81.795
19	35.062	41.315	47.265	54.133	61.250	68.480	75.346	79.914	81.325
20	34.038	40.254	46.185	53.066	60.250	67.607	74.655	79.408	80.879
25	29.704	35.679	41.448	48.276	55.634	63.479	71.375	77.129	78.941
30	26.339	31.999	37.521	44.162	51.501	59.617	68.237	75.108	77.358
35	23.638	28.930	34.148	40.517	47.713	55.935	65.125	73.200	76.019
40	21.411	26.304	31.182	37.224	44.194	52.395	61.999	71.296	74.859
45	19.531	24.013	28.535	34.219	40.906	48.992	58.862	69.318	73.836
50	17.910	21.986	26.151	31.464	37.834	45.734	55.739	67.213	72.921
55	16.485	20.173	23.991	28.936	34.972	42.632	52.661	64.966	72.093
60	15.211	18.536	22.027	26.616	32.314	39.698	49.656	62.591	71.337
65	14.051	17.044	20.233	24.486	29.852	36.938	46.748	60.122	70.642
70	12.982	15.675	18.588	22.530	27.578	34.354	43.955	57.601	69.998
75	11.982	14.407	17.071	20.730	25.477	31.941	41.287	55.065	69.399
80	11.037	13.223	15.666	19.068	23.536	29.694	38.752	52.542	68.838
85	10.136	12.111	14.357	17.527	21.739	27.602	36.351	50.056	68.312
90	9.269	11.059	13.129	16.093	20.070	25.654	34.083	47.624	67.815
95	8.429	10.056	11.972	14.751	18.515	23.837	31.944	45.257	67.346
100	7.612	9.095	10.874	13.489	17.061	22.138	29.928	42.964	66.900
110	6.030	7.273	8.825	11.164	14.407	19.050	26.235	38.617	66.072
120	4.498	5.556	6.929	9.049	12.026	16.304	22.941	34.601	65.316

Figura 2 – Curvas e Tabela E(50,10) para Frequência de 600 MHz

Fonte: ITU-R, P.1546-1, 2001-2003.

2.3.1 Interpolações, Extrapolações e Correções

Para obtenção de valores mais precisos das curvas de propagação, devem ser feitas interpolações e/ou extrapolações. A interpolação permite a obtenção de valores intermediários de distância, frequência, altura das antenas e intensidade de campo que não tem o valor exato tabelado ou representado nas curvas (ITU-R, 2001-2003).

Para uma frequência de interesse diferente das frequências nominais das curvas (100,600 e 2000 MHz), a intensidade de campo E pode ser calculada usando a expressão 4:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)} \left[\text{dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) \right] \quad (4)$$

onde:

f : frequência de interesse,

f_{inf} : frequência nominal inferior (100 ou 600 MHz),

f_{sup} : frequência nominal superior (600 ou 2000 Mhz),

E_{inf} : intensidade de campo para f_{inf} ,

E_{sup} : intensidade de campo para f_{sup} .

Para se obter uma intensidade de campo E para uma distância não tabelada ou o inverso usa-se a expressões 5 ou 6:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log\left(\frac{d}{d_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{d_{sup}}{d_{inf}}\right)} \left[\text{dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) \right] \quad (5)$$

$$d = d_{inf} \left(\frac{d_{sup}}{d_{inf}} \right)^{\left(\frac{E - E_{inf}}{E_{sup} - E_{inf}} \right)} \quad [\text{km}] \quad (6)$$

onde:

d : distância de interesse,

d_{inf} : distância tabelada mais próxima menor que d ,

d_{sup} : distância tabelada mais próxima maior que d ,

E_{inf} : intensidade de campo para d_{inf} ,

E_{sup} : intensidade de campo para d_{sup} ,

Para se obter uma intensidade de campo E para uma HNMT não tabelada ou o inverso usa-se a expressões 7 e 8:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)} \left[\text{dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) \right] \quad (7)$$

$$h_1 = h_{inf} \left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}} \right)^{\left(\frac{E - E_{inf}}{E_{sup} - E_{inf}} \right)} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

onde:

h_1 : altura do centro de radiação da antena transmissora,

h_{inf} : altura tabelada mais próxima menor que h_1 ,

h_{sup} : altura tabelada mais próxima maior que h_1 ,

E_{inf} : intensidade de campo para h_{inf} ,

E_{sup} : intensidade de campo para h_{sup} .

2.4. CONTORNOS

Os contornos descritos na resolução nº284 da ANATEL são regiões circulares quando padronizados os valores de HNMT e rugosidade do terreno, essas regiões tem o raio delimitado pelos valores de intensidade de campo de cada tipo de contorno. Estabelecida a ERP máxima da estação; quanto maior a intensidade de campo do contorno, menor será o raio da região circular. Em casos específicos deve-se calcular o valor do contorno para cada radial, considerando o relevo e a altura da antena em relação ao nível médio da radial.

2.4.1. Contorno Protegido

As estações retransmissoras de Televisão Digital, desde que não secundárias, tem direito a um contorno protegido, segundo a resolução nº284 da ANATEL:

“O Contorno Protegido é o lugar geométrico dos pontos onde o valor de intensidade de campo é aquele tomado como referência de sinal desejado e para o qual é assegurada a relação mínima sinal desejado / sinal interferente estipulada para o serviço”.

Ainda segundo a resolução, a intensidade de campo na distância máxima do contorno protegido para faixa UHF deve ser 51 dB(μ V/m).

Utiliza-se as curvas E(50,90) para determinar a qual distância da estação transmissora a intensidade de campo atinge os 51 dB(μ V/m). Dado que as curvas

estão normalizadas para um transmissor de 1 kW ou 0 dBk e admitindo que as curvas são representadas por uma função J qualquer e pela ERP da estação, temos que:

$$E_{curva} \text{ dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) = 0 \text{ (dBk)} + J \quad (9)$$

Considerando agora que independente da ERP da estação, deseja-se que o campo seja de 51 dB($\mu\text{V}/\text{m}$).

$$51 \text{ dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) = ERP \text{ (dBk)} + J \quad (10)$$

Subtraindo (9) em (10), o valor de campo resultante a ser localizado nas tabelas E(50,90) para determinação da distância máxima ao contorno protegido será dado por:

$$E_{curva} \text{ dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) = 51 \text{ dB} \left(\mu \frac{\text{V}}{\text{m}} \right) - ERP \text{ (dB)} \quad (11)$$

O novo valor de campo deve ser localizado tanto na tabela para a curva com frequência nominal superior a analisada, quanto na tabela de frequência nominal inferior. O valor de HNMT a ser observado nas tabelas será o de 150m, que é utilizado como valor de referência na determinação das classes da estação.

Caso o valor de distância nas tabelas não coincida com o valor de campo obtido na subtração, devem ser coletados os valores de campo mais próximos, inferior e superior, e suas respectivas distâncias, para que seja feita a interpolação conforme descrito em 2.3.1. O procedimento é feito para as duas tabelas com frequências nominais distintas. Após obter as distancias interpoladas para as duas tabelas, é feita uma nova interpolação para a frequência desejada, para enfim obter o valor de distância que será usado no contorno protegido.

2.4.2. Contorno Interferente

Cada estação digital impõe as demais um contorno interferente que é definido pela resolução n° 284 como:

“O lugar geométrico dos pontos onde o valor de intensidade de campo é aquele obtido em função da relação mínima sinal desejado / sinal interferente estipulada para o serviço e do valor da intensidade de campo do contorno protegido. ”

Tabela 3 - Valores de Intensidade de Campo Interferente para UHF

	Co-canal	Canal Adjacente
Campo em dBμ	32	75

Fonte: ANATEL, Resolução nº398, 2015.

Tabela 4 - Relações de Proteção (dB) para Canais UHF

Canal desejado = N		
N (co-canal)	N-1 (Adjacente inferior)	N+1 (Adjacente superior)
+ 19	- 24	- 24

Fonte: ANATEL, Resolução nº398, 2015.

A intensidade de campo máxima do sinal interferente permitida sobre o limite do contorno protegido, dos co-canais e dos canais adjacentes de outra estação, é mostrada na Tabela 3.

O procedimento para determinação da distância máxima ao contorno interferente é o mesmo usado para se obter o contorno protegido, com a diferença que as tabelas usadas são as que representam as curvas E(50,10) e os valores de intensidade de campo são os da Tabela 3.

Na análise, o contorno interferente de um canal não deve se sobrepor ao contorno protegido de outro. A diferença de intensidade de campo mínima, do sinal de uma estação para outra, deve obedecer às relações de proteção da Tabela 4.

2.4.3. Contornos de Serviço

Os contornos de serviço são obtidos das curvas E(50,50) e divididos em 1, 2 e 3 conforme intensidade de campo vide Tabela 5. O contorno 1 delimita a área de serviço primária e deve abranger a zona central da localidade, o contorno 2 limita a área de serviço urbana, e deve atender a maior parte possível da zona urbana; a região entre os contornos 2 e 3 é chamada de área de serviço rural (ANATEL, 2001).

Tabela 5 – Contornos de Serviço para Faixa de UHF

Faixa de frequência	Contorno 1	Contorno 2	Contorno 3
UHF	80 dB μ	74 dB μ	70 dB μ

Fonte: ANATEL, Resolução nº284, 2001.

2.5. CORREÇÃO DAS CURVAS EM FUNÇÃO DO TCA

Os valores da intensidade de campo em cada uma radial podem ser corrigidos em função do tca (terrain clearance angle). O método é indicado na resolução nº284 da ANATEL e descrito no item 11 do anexo 5 da recomendação ITU-R P1546-1.

O método consiste em traçar uma reta em direção a antenna transmissora a partir do ponto do receptor, de modo que essa reta tangencie a primeira obstrução que interrompa a visada para antenna transmissora, eliminando todas as outras obstruções ao longo do traçado. Feito o traçado, é aferido o ângulo θ em relação ao plano horizontal. O ângulo é positivo caso o traçado fique acima do plano, e negativo caso fique abaixo (Figura 4). O relevo considerado é a partir do receptor até a distância de 16 km na direção da antenna transmissora, para $d \geq 16$ km.

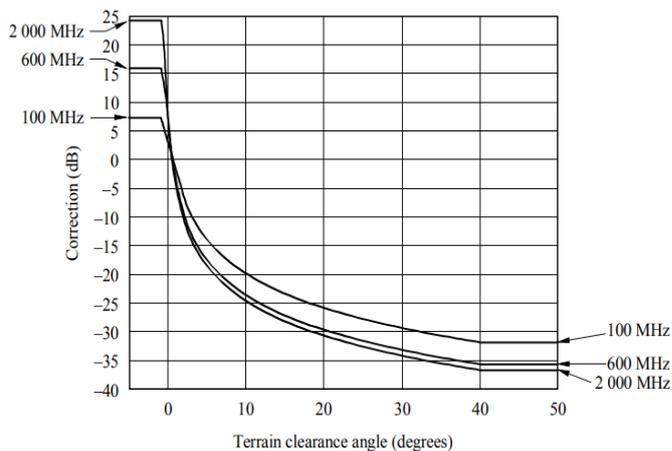


Figura 3 – Correção em Função do tca

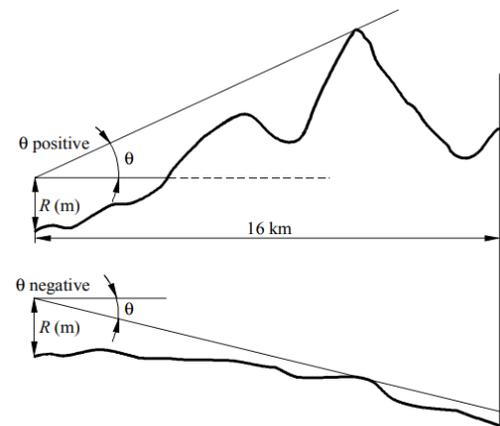


Figura 4 – Definição do Ângulo θ

Fonte: ITU-R, P.1546-1, 2001-2003.

Para a obtenção do θ_{tca} , é calculado o ângulo de referência θ_r , onde h_1 e h_2 são as alturas das antenas transmissoras e receptoras acima do nível do mar e d a distância entre as antenas, em metros.

$$\theta_r = \arctg\left(\frac{h_1 - h_2}{d}\right) \text{ [graus]} \quad (12)$$

$$\theta_{tca} = \theta - \theta_r \text{ [graus]} \quad (13)$$

O gráfico da Figura 3 mostra a variação da correção das curvas de propagação em função do θ_{tca} para as frequências nominais da recomendação ITU-R P1546-1. Os valores de correção de intensidade de campo são obtidos com variações de θ_{tca} entre $-0,8^\circ$ e 40° . Para ângulos menores que $-0,8^\circ$ ou maiores que 40° , utiliza-se esses valores limite para o cálculo, que é dado por:

$$\text{Correção} = J(v') - J(v), \quad (14)$$

onde:

$$J(v) = [6,9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1)], \quad (15)$$

$$v' = 0,036 \sqrt{f(\text{MHz})}, \quad (16)$$

$$v = 0,065 \cdot \theta_{tca} \sqrt{f(\text{MHz})}. \quad (17)$$

2.6. DETERMINAÇÃO PONTO-A-PONTO DA INTENSIDADE DE CAMPO

O estudo ponto-a-ponto é feito quando o traçado dos contornos interferente e protegido das estações analisadas se sobrepõem. Consiste no cálculo da intensidade de campo interferente de uma estação, em pontos específicos do contorno protegido da outra estação analisada. O primeiro ponto está na chamada radial principal que liga diretamente as duas estações analisadas. Os demais pontos são de radiais secundárias afastadas de 15 graus em 15 graus até que seja ultrapassada a superposição dos contornos. Para regiões menores que 30 graus, o cálculo deve ser realizado em pelo menos 3 pontos. Situações de superposição são mostradas na Figura 5, onde a intensidade de campo interferente deve ser calculada nos pontos indicados por “Er”. Outros 3 pontos dentro do contorno protegido, localizados na área urbana do município devem ser utilizados como pontos de prova (ANATEL, 2001).

Para o traçado correto dos perfis, a distância entre dois pontos é dada pela distância ortodrômica, que é a menor distância entre dois pontos em uma superfície esférica e cuja expressão é descrita a seguir (ANATEL, 2001):

$$D = 111,1775 \arccos[\sin(\text{lat}1)\sin(\text{lat}2) + \cos(\text{lat}1) \cos(\text{lat}2) \cos(\text{long}2 - \text{long}1)], \quad (18)$$

onde:

D : distância, em km,

$\text{lat}1$: latitude do ponto 1,

$\text{lat}2$: latitude do ponto 2,

$\text{long}1$: longitude do ponto 1,

$\text{long}2$: longitude do ponto 2.

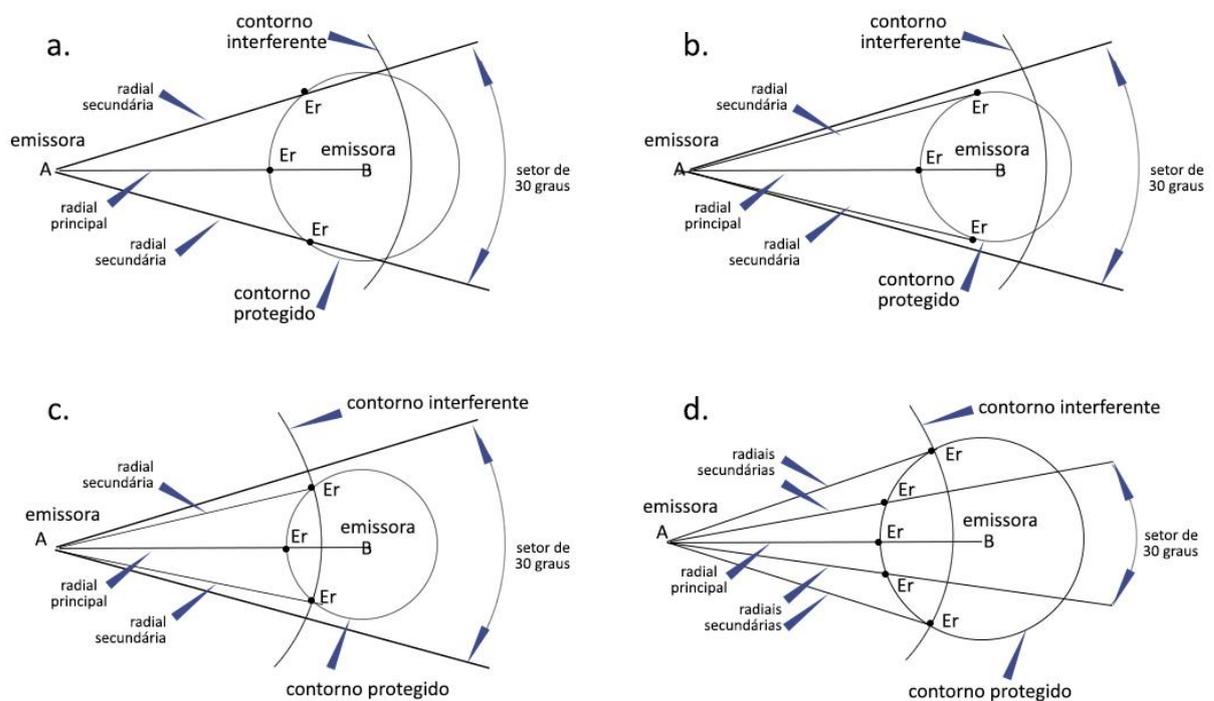


Figura 5 - Superposição de contornos interferente e protegido

Fonte: ANATEL, Resolução nº284, 2001

- Contorno interferente da emissora A ultrapassa a emissora B . Contorno protegido não está totalmente contido no setor de 30 graus; calcula-se a intensidade de campo interferente na radial principal e em quantas radiais secundárias forem necessárias, até que seja ultrapassado o limite da superposição.
- Contorno interferente da emissora A ultrapassa a emissora B . Contorno protegido está totalmente contido no setor de 30 graus; calcula-se a

intensidade de campo interferente na radial principal e em duas radiais secundárias que tangenciam o contorno de proteção da estação *B*.

- c. Contorno interferente da emissora *A* não ultrapassa a emissora *B*. Contorno protegido está totalmente contido no setor de 30 graus; calcula-se a intensidade de campo na radial principal e em duas radiais secundárias no limite da interseção dos contornos.
- d. Contorno interferente da emissora *A* não ultrapassa a emissora *B*. Contorno protegido não está totalmente contido no setor de 30 graus; calcula-se a intensidade de campo na radial principal e em quantas radiais secundárias forem necessárias, até que seja ultrapassado o limite da superposição.

2.7. NORMA PARA DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO

A ANATEL recomenda na Portaria nº 398, o uso da norma N002/91 anexa à Portaria SNC nº 053, de 7 de junho de 1991. A norma descreve métodos para determinação da intensidade de campo ponto-a-ponto em canais VHF e UHF.

Segundo a norma, os valores da intensidade de campo nos pontos de interesse (E_r), indicados na Figura 5, podem ser calculados usando a expressão;

$$E(\text{dB}\mu) = 137,3 + 20 \log f(\text{MHz}) + \text{ERP}(\text{dBk}) - A_t(\text{dB}), \quad (19)$$

onde A_t é a atenuação total de propagação e é dada por:

$$A_t(\text{dB}) = A_0(\text{dB}) + A_m(\text{dB}), \quad (20)$$

sendo;

$A_m(\text{dB})$: Atenuação adicional,

$A_0(\text{dB})$: Atenuação no espaço livre, obtida com a expressão,

$$A_0(\text{dB}) = 32,5 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log(d(\text{km})). \quad (21)$$

Substituindo (20) e (21) em (19) a expressão para intensidade de campo fica;

$$E(\text{dB}\mu) = 106,8 + \text{ERP}(\text{dBk}) - 20 \log d(\text{km}) - A_m(\text{dB}) \quad (22)$$

A atenuação adicional está relacionada ao relevo do terreno. Se ao longo de todo percurso entre transmissor e receptor não existir qualquer obstáculo que limite o raio da primeira zona do elipsoide de Fresnel (R) em menos de 60%, nesse caso, o percurso é considerado espaço livre e $A_m = 0$. O raio da primeira zona de Fresnel é dado por:

$$R = 548 \sqrt{\frac{d_1(km) \cdot d_2(km)}{f(MHz) \cdot d(km)}} \quad (23)$$

Para o cálculo da atenuação adicional é preciso determinar o fator de rugosidade do terreno (Δh). O valor de Δh é definido pela norma, como 80% da diferença em metros entre os maiores e menores níveis do trecho do perfil analisado, sendo esse trecho o percurso entre 10 a 50 km a partir da estação transmissora, como mostra a Figura 6. Caso o ponto analisado esteja entre 10 e 50 km da estação, o trecho analisado será a partir de 10 km até o ponto de interesse.

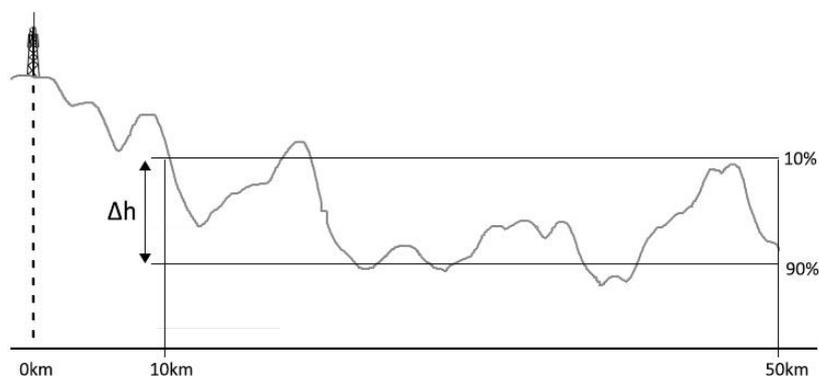


Figura 6 - Fator de Rugosidade do Terreno Δh

O relevo é classificado como suave quando Δh é menor que o valor médio do raio da primeira zona de Fresnel medido na região onde o terreno sofre mais variações. Caso Δh seja maior ou igual a esse valor médio, o relevo é classificado como acidentado.

A atenuação adicional, em caso de relevo suave, é determinada pelos modelos; Terra plana equivalente ou difração pela curvatura da terra. Para relevo acidentado, o

modelo empregado é o de difração por obstáculos do terreno. Uma correção relativa ao HNMT da antena transmissora deve ser somada a atenuação adicional. Essa correção para frequências UHF é obtida a partir das curvas da Figura 7.

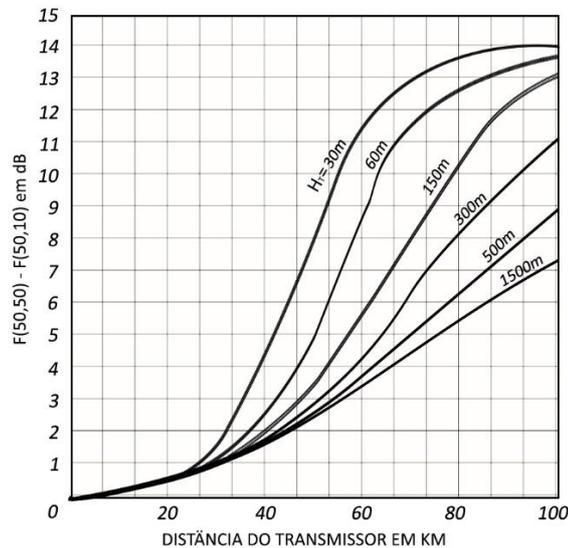


Figura 7 - Fator de Correção - HNMT – Distância.

Fonte: SNC, norma N002, 1991.

A curvatura da Terra e os efeitos de refração atmosférica na troposfera devem ser considerados. Para isso a norma SNC N002/91 estabelece o uso de um coeficiente de curvatura da Terra (k) igual a $4/3$ é adotado. A contribuição de altitude ao relevo do perfil (h_c) é obtida com a expressão 12, onde R_0 é o raio da terra e as distâncias d_1 e d_2 são indicadas na Figura 8.

$$h_c(\text{m}) = \frac{10^3}{2 \cdot K \cdot R_0} d_1(\text{km}) \cdot d_2(\text{km}) \quad (24)$$

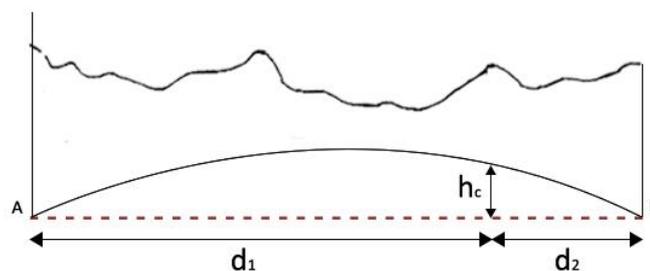


Figura 8 - Representação de h_c .

2.7.1. Terra plana equivalente

Quando o relevo for suave e a folga do percurso for maior que $0,2 R$, utiliza-se esse modelo. O relevo do terreno determina o tipo de traçado da terra plana equivalente. As situações que o modelo se aplica são mostradas na Figura 9. A partir do traçado, é possível determinar os termos:

h_1 : Distância entre o ponto A e o centro de radiação da antena transmissor,

h_2 : Distância entre o ponto B e a antena receptora,

A atenuação adicional é calculada usando a expressão:

$$A_m \text{ (dB)} = 87,6 + 20 \log d(\text{km}) - 20 \log h_1(\text{m}) - 20 \log h_2(\text{m}) - 20 \log f(\text{MHz}) \quad (25)$$

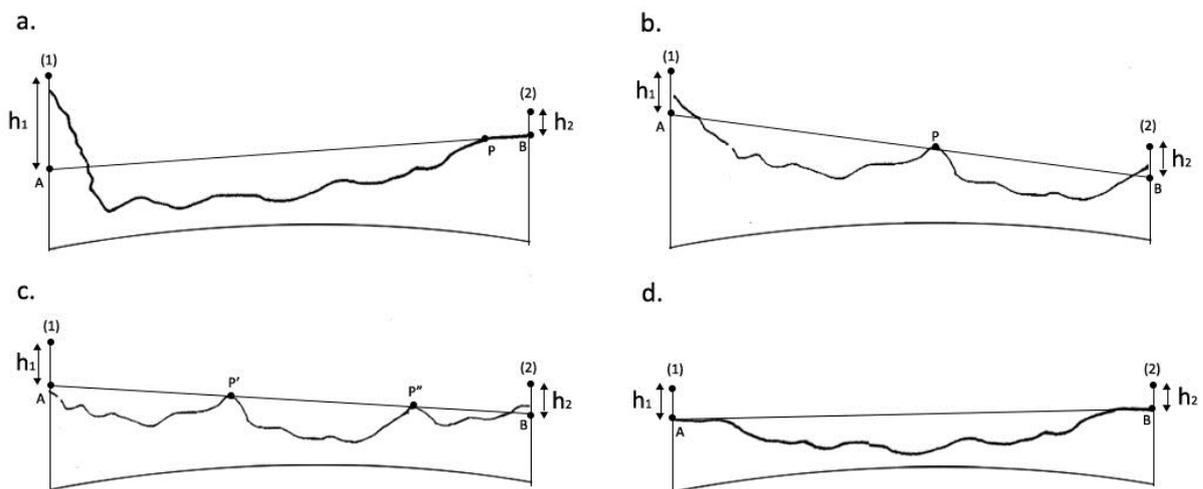


Figura 9 - Traçado de Terra Plana equivalente

Fonte: SNC, norma N002, 1991.

- Obstrução na proximidade de uma das antenas. Traçado da terra plana passa pela base da antena onde há obstrução e é aproximadamente paralelo ao relevo.
- Obstrução em apenas um ponto. Traçado tangencia esse ponto, para esse caso;

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{AP}{BP}. \quad (26)$$

- Obstrução em dois pontos. Traçado tangencia os dois pontos.

d. Obstruções na proximidade das duas antenas. Traçado une a base das duas antenas.

Caso a folga seja inferior a $0,2 R$, a atenuação adicional é dada pela Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativa da Atenuação Adicional para Folga Menor que $0,2 R$

Folga no percurso	0,15 R	0,10 R	0,05 R	0
Atenuação adicional (dB)	18	21	23	25

Fonte: SNC, norma N002, 1991.

2.7.2. Difração pela curvatura da Terra

Em caso de relevo suave perfeitamente liso no qual a distância entre transmissor e receptor faça com que a própria curvatura da Terra seja o obstáculo, a atenuação adicional é dada pela equação (27), onde A_d é uma atenuação em função da distância calculada pela equação (28):

$$A_m(dB) = A_d(dB) - G_{ht}(dB) - G_{hr}(dB), \quad (27)$$

$$A_d(dB) = 0,0867 \cdot d(km) \cdot \sqrt[3]{f(MHz)} - 9,615. \quad (28)$$

Os ganhos G (G_{ht} e G_{hr}) da equação (31) referentes às alturas das antenas h são calculados em função do parâmetros X_h e X_r descritos nas equações (29) e (30). A função (31) foi obtida a partir do gráfico da Figura 16 da norma SNC N002/91 e é válida para valores de X entre 0 e 10. Para um terreno não liso X_h é calculado conforme equação (32) em função da distância máxima de visada do transmissor d_{ht} .

$$X_h = 0,0272 \cdot \sqrt{h(m)} \cdot \sqrt[3]{f(MHz)}, \quad (29)$$

$$X_r = 0,086 \sqrt[3]{f(MHz)}, \quad (30)$$

$$G = 38 \log(X) + 0,4X^2 + 5,4X - 7, \quad (31)$$

$$X_h = 6,6 * 10^{-3} \cdot d_{ht}(km) \cdot \sqrt[3]{f(MHz)}. \quad (32)$$

2.7.3 Difração por obstáculos do terreno

Em um relevo acidentado, caso ocorra obstrução de mais de 60% do raio da primeira zona de Fresnel (R) entre 10% e 90% da distância entre transmissor e receptor, a atenuação adicional é calculada com a contribuição de cada obstrução nesse percurso. O método descrito pela norma N002/91 para esse caso é uma variação do método de Deygout (SAUNDERS e ZAVALA, 2007).

A contribuição de atenuação do obstáculo é obtida com a conferência das curvas da Figura 11, que estão em função de $\frac{H}{R}$ e α , onde:

H : Medida em metros da obstrução ou folga entre a linha de visada e o obstáculo do percurso.

α : Fator de curvatura do obstáculo, dado por:

$$\alpha = \frac{44,8 \cdot \sqrt[3]{r(m)}}{R(m) \cdot [f(MHz)]^{\frac{2}{3}}}, \quad (33)$$

r : Raio de curvatura do obstáculo, onde $r = x^2/2y$, os segmentos x e y são mostrados na Figura 10 onde o valor de y deve ser da ordem do raio da primeira zona de Fresnel para a distância onde se encontra o obstáculo.

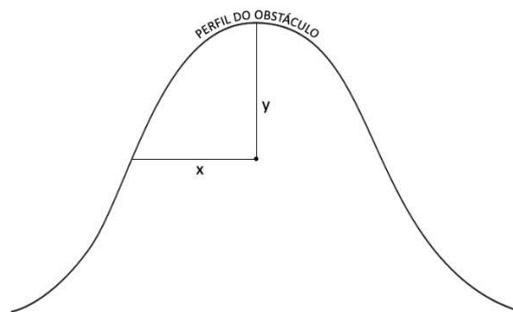


Figura 10 – Representação do Obstáculo

Fonte: SNC, norma N002, 1991.

Para uma visada com mais de uma obstrução, determina-se o obstáculo de maior atenuação e é coletada sua contribuição de atenuação com base nas curvas da Figura 11. Em seguida são feitos traçados de sub-percursos entre as antenas e o topo do obstáculo principal, caso existam obstruções nesses sub-percursos, determina-se

novamente os obstáculos de maior atenuação em relação a esses traçados e são coletadas suas contribuições de atenuação. O procedimento é repetido até que não existam mais obstruções nos sub-percursos. Os traçados dos percursos e sub-percursos em relação aos obstáculos são exemplificados na Figura 12. A atenuação adicional total é a soma de todas as contribuições.

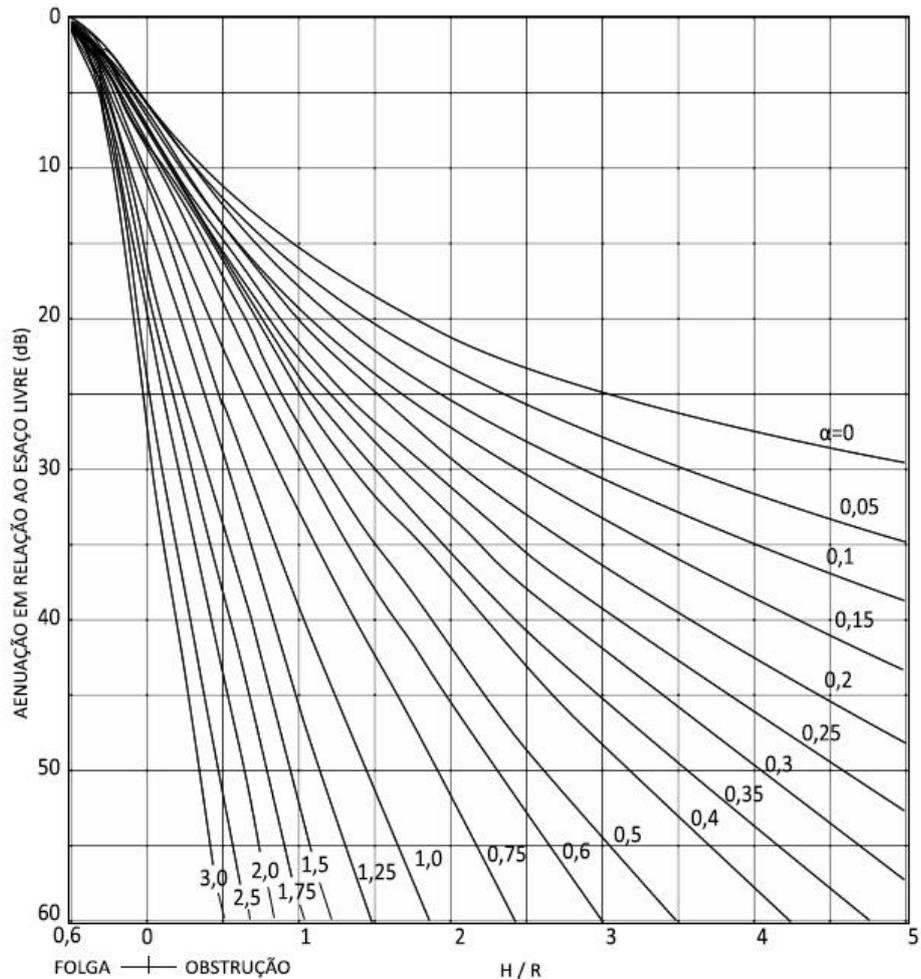


Figura 11– Atenuação em Função de H/R e α

Fonte: SNC, norma N002, 1991.

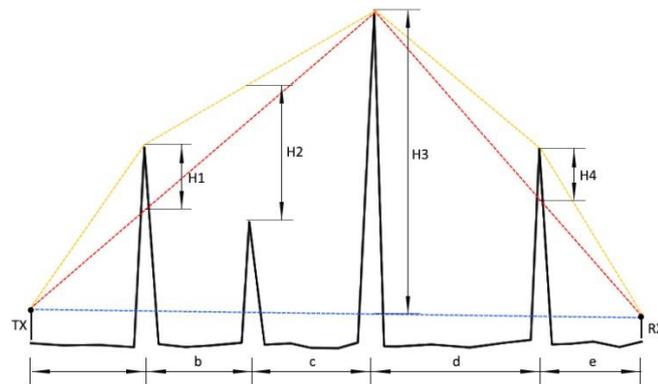


Figura 12 – Representação dos Parâmetros para Vários Obstáculos

Fonte: Baseada na SNC, norma N002, 1991.

Caso exista alguma obstrução nas proximidades das antenas, a uma distância de até $0,1d$, a atenuação adicional é calculada usando os modelos para relevo suave (A_{m1}) e acidentado (A_{m2}), onde:

$$A_m = A_{m1} + A_{m2} - 6. \quad (34)$$

2.8. MODELO CRC-PREDICT DE PREDIÇÃO DE PROPAGAÇÃO

Desenvolvido no Canadá e implementado em software, o CRC-Predict é um modelo amplamente utilizado para predição de propagação em VHF e UHF, recomendado para frequências entre 30 MHz a 2500 MHz. O ponto forte da predição é a simulação da difração em uma radial, que utiliza o princípio de Huygens, em que cada ponto em uma onda plana é considerado uma nova fonte de radiação, o que otimiza os resultados para relevos com obstruções. Para melhor precisão, idealmente as antenas devem se situar acima das irregularidades do terreno (WHITTEKER, 1990; ITU-R, 2008).

Dadas as alturas das antenas, ERP e coordenadas do transmissor, o software usa um banco de dados de perfil de elevação do terreno para realização dos cálculos. Em uma radial, os pontos de altitude do perfil ($x_0, x_1, x_2 \dots$) são igualmente espaçados e corrigidos pelo coeficiente K de curvatura da Terra. O traçado do perfil é obtido com a ligação desses pontos por linhas retas (ITU-R, 2008).

2.8.1. Cálculo da Intensidade Campo

A princípio, o campo elétrico para cada altura acima do relevo em x_1 é calculado apenas com a incidência de uma onda direta somada a uma única onda refletida no trecho localmente plano entre x_0 e x_1 , como mostra a Figura 13 (WHITTEKER, 1990; ITU-R, 2008).

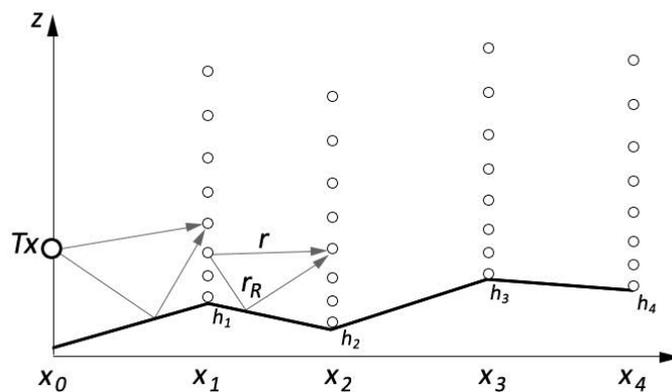


Figura 13 – Algoritmo de Marcha

Fonte: Baseada em WHITTEKER, 1990

Pelo princípio de Huygens, para a distância x_2 , o valor de campo pode ser calculado em um ponto z_2 acima de h_2 , considerando que cada ponto acima de h_1 é uma fonte de radiação com distribuição de campo contínua ao longo de z_1 . Deste modo pode ser feita a integração em z_1 para obtenção de $E(x_2, z_2)$, tanto para onda direta quanto para onda refletida. O traçado do solo como uma superfície plana representa uma boa aproximação para o solo que reflete bem, sendo uma simplificação para que se possa integrar novamente em z_1 a contribuição de uma onda refletida. A integral é dada por (WHITTEKER, 2002):

$$E(x_2, z_2) = \sqrt{\frac{kx_1}{2\pi i(x_2 - x_1)}} \cdot \left[\int_{h_1}^{\infty} E(x_1, z_1) e^{ikr} dz_1 + \int_{h_1}^{\infty} E(x_1, z_1) R e^{ikr_R} dz_1 \right] \quad (35)$$

onde $k = 2\pi/\lambda$ é a constante de propagação, r é o caminho de (x_1, z_1) a (x_2, z_2) , r_R é o comprimento do caminho refletido e R é o coeficiente de reflexão do terreno (WHITTEKER, 1990).

A integração numérica é necessária uma vez que esse procedimento deve ser repetido ao longo do terreno, a integração em z é feita nas distâncias x_n subsequentes. O procedimento é chamado de algoritmo de marcha por avançar em passos ao longo do perfil (WHITTEKER, 1990; ITU-R, 2008).

O número de pontos em x e em z são diretamente proporcionais ao tempo de processamento, um número reduzido de pontos em x pode desconsiderar variações no terreno que afetam os resultados. Já poucos pontos em z pode fazer com que o campo não seja bem representado. Por outro lado, o excesso de pontos além de afetar o tempo de computação devido as sucessivas integrações, também pode resultar no acúmulo de erros. Os pontos de campo em z são posicionados mais próximos um do outro quando estão perto do solo, por serem mais significativos para o cálculo (WHITTEKER, 1990; ITU-R, 2008).

Para aprimorar o tempo de processamento, o cálculo completo de integração é feito apenas em cotas mais altas do perfil de elevação, como mostra a Figura 14. Nos pontos onde existe folga no raio da primeira zona de Fresnel, o programa não executa o cálculo do campo em função da altura. O programa aproxima o terreno mais baixo por uma ou duas superfícies curvas dimensionadas de modo que a onda refletida esteja minimamente defasada com relação a onda direta. Feito o ajuste, o algoritmo pode executar a integração em relação ao próximo terreno mais alto. Apesar de desprezar o terreno mais baixo na integração numérica, a intensidade de campo para uma altura de antena receptora constante em relação ao nível do terreno é calculada em todas as cotas desprezadas na integração (WHITTEKER, 1990; ITU-R, 2008).

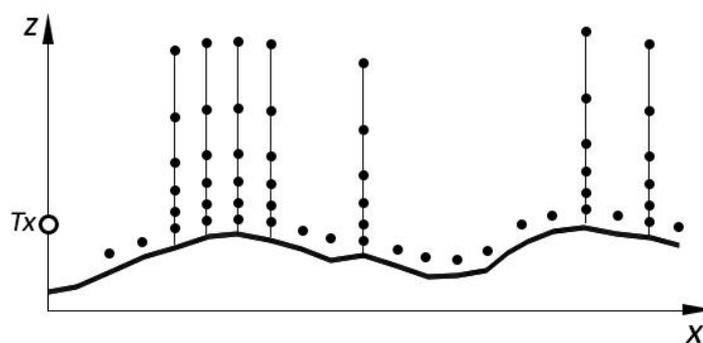


Figura 14 - Pontos de integração ao Longo do Perfil

Fonte: Baseada em WHITTEKER, 1990

Em regiões sem árvores e edifícios, os erros na intensidade de campo entre simulações utilizando em CRC-predict e medições empíricas apresentam valor médio de aproximadamente 5 dB (WHITTEKER, 1990)

Para o estudo, o modelo CRC-predict é executado pelo software ProgiraPlan®. Como dados de entrada, são introduzidas informações das estações transmissoras como; coordenadas geográficas, ERP, HCI, frequência, diagrama de radiação, polarização e azimute da antena. A simulação entrega plotados no mapa os valores de intensidade de campo representados por cores definidas pelo usuário.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 NOVA ESTAÇÃO

Para implantação de uma Retransmissora de TV Digital (RTVD) no município de Campinas-SP é feita a verificação no PBTVD dos canais desocupados, bem como dos canais adjacentes ao desejado. Nos municípios vizinhos se faz necessária a mesma verificação, para que seja feita a análise de interferência do canal proposto aos demais canais e vice-versa.

Os canais de interesse no estudo de implementação de nova estação, bem como os possíveis canais interferentes da região circundante, são mostrados na Tabela 7. Nela são mostrados apenas os canais desocupados em Campinas e os canais adjacentes, superiores e inferiores de cada canal desocupado.

Tabela 7 - Relação de Canais UHF de Interesse para Análise de Viabilidade de Estação em Campinas-SP

CANAL UHF	MUNICÍPIOS																														
	CAMPINAS	JUNDAÍ	PIRACABA	LIMEIRA	ITU	ITATIBA	BRAG. PAULISTA	SERRA NEGRA	AMPARO	MONTE ALEGRE	SALTO	ATIBAIA	VALINHOS	MOGI-GUAÇU	STA BARBR	AMERICANA	JAGUARIUNA	CAPIVARI	PEDREIRA	PINHALZINHO	INDAÍATUBA	ITUPEVA	MOGI MIRIM	SUMARÉ	MORUNGABA	TUIUTI	ENG. COELHO	HOLAMBRA	JARINU	FRAN. MORATO	
14		C			C				C																						
15			B	C				C	B	C	C								C												
16	E	C			C	C							A	C	C					C	C					C	C				
17	A	C	B			C	C	C	B	C		C																			
18			B		C			C										C													
19		A		C	C	C											C						C							C	
20	A		B					C				C	C	B																	
32	B		B	C	C	C	C	C	C		C	C		C	C	C		C	C	C			C					C	C		
33		C										C	B			C															
34		C	B				C	C	C					B												C					
35		B		B	C						C											C	C								C
36	C		B	C			C	C			C	C																			
39	A																														
40		C	C	C	C		C			C							C														
41	C	B	C	C	C																										
42			A	B				C	B				B	C	C			C			C							C			
43		C		C			C																	C							
44	A	C	A	B						C							B														
45		B			C	C		C	B		C																				
46	E	C	A	C						C		C	B	C																	

CANAL DESOCUPADO
 CANAL OCUPADO
A B C E CLASSE DA ESTAÇÃO

Observada a Tabela 7, no canal 14, cuja frequência central é de 473 MHz, verifica-se maior tendência à viabilidade por não apresentar canal adjacente ocupado no mesmo município e por possuir número reduzido de co-canais ocupados em municípios vizinhos. Portanto, o canal 14 será objeto do estudo de viabilidade.

Os parâmetros da nova estação RTVD proposta são mostrados na Tabela 8. As informações da tabela são obrigatórias para o estudo de viabilidade técnica de inclusão de canal no plano básico.

Tabela 8 - Parâmetros da Estação Proposta

MUNICÍPIO CAMPINAS-SP		CONTORNOS MÁXIMOS	
CLASSE	C	PROEGIDO	18 km
ERP MAX	0,08 kW (-11 dBk)	INTERFERENTE ADJACENTE	3,8 km
LATITUDE	22,9155° S	INTERFERENTE CO-CANAL	43 km
LONGITUDE	47,0629° O		
TIPO DE SISTEMA RADIANTE	Onidirecional		

As coordenadas geográficas apresentadas são referentes a uma antena já existente, com centro de radiação a 30 metros da cota da base.

3.2. ANÁLISE DOS CONTORNOS

Determinadas a posição e classe da nova estação proposta e consultadas no PBTVD os dados das demais estações de interesse, é possível determinar a distância máxima aos contornos protegido e interferente de cada estação conforme descrito nas seções 2.4.1 e 2.4.2.

Inicialmente, com base nos dados dos canais adjacentes mais próximos à Campinas retirados do PBTVD constados na Tabela 9, obtém-se os contornos da Figura 15 plotados utilizando o software Google Earth Pro. Na imagem, é possível observar que não há superposição dos contornos interferentes ao contorno protegido do canal proposto. Portanto, os canais adjacentes teoricamente não causam interferência significativa segundo as exigências da ANATEL.

Tabela 9 - Parâmetros dos Canais Adjacentes – Canal 15

MUNICÍPIO	PIRACICABA	AMPARO	SERR.NEGRA	LIMEIRA	MONT.ALEG.	SALTO	CAPIVARI
CLASSE	B			C			
ERP MÁXIMA	0,8 kW (-1 dBk)			0,08 kW (-11 dBk)			
HNMT	150 m						
LATITUDE	22,6711°S	22,6486°S	22,6139°S	22,5416°S	22,6817°S	23,1961°S	22,9951°S
LONGITUDE	47,6061°O	46,7530°O	46,7033°O	47,3891°O	46,681°O	47,2880°O	47,5072°O
DISTÂNCIA*	62,4 km	43,4 km	50,4 km	53,9 km	47,6 km	39,5 km	47 km
CONT.INTERF	7,5 km			3,8 km			
CONT.PROTEG	29 km			18 km			
INT.NOV+PROT**	32,8 km			21,9 km			
PROT.NOV+INT***	25,6 km			21,9 km			

*Distância entre a estação proposta e a estação analisada

**Soma das distâncias do contorno interferente da nova estação ao contorno protegido da estação analisada

***Soma das distâncias do contorno protegido da nova estação ao contorno interferente da estação analisada.

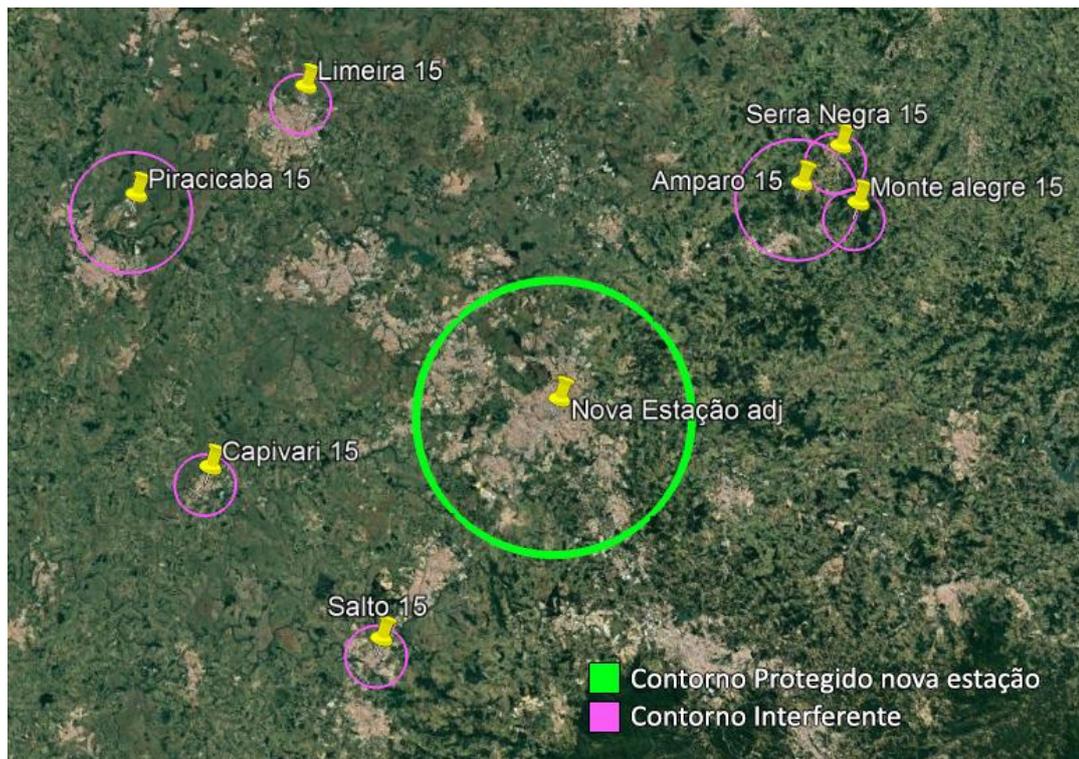


Figura 15 - Contornos Interferentes dos Canais Adjacentes

Fonte: Google Earth Pro, 2019.

Já a Figura 16 é obtida ao plotar os contornos protegidos e interferentes de estações que ocupam co-canais mais próximos à Campinas, cujos dados de cada estação verificados no PBTVD são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros dos Co-Canais – Canal 14

MUNICÍPIO	JUNDIAÍ	ITU	AMPARO	SÃO PAULO
CLASSE	C			A
ERP MÁXIMA	0,08 kW (-11 dBk)			8 kW (9 dBk)
HNMT	150 m			
CARÁTER	primário	primário	primário	primário
SERVIÇO	RTVD	GTVD	GTVD	RTVD
LATITUDE	23,1666°S	23,2508°S	22,6586°S	23,5722°S
LONGITUDE	46,8725°O	47,295°O	46,7530°O	46,6391°O
DISTÂNCIA	34,9 km	44,9 km	43,,4 km	85,2 km
CONT.INTERF	43 km			97 km
CONT.PROTEG	18 km			42 km
INT.NOV+PROT	61,1 km			85 km
PROT.NOV+INT	61,1 km			115,1 km

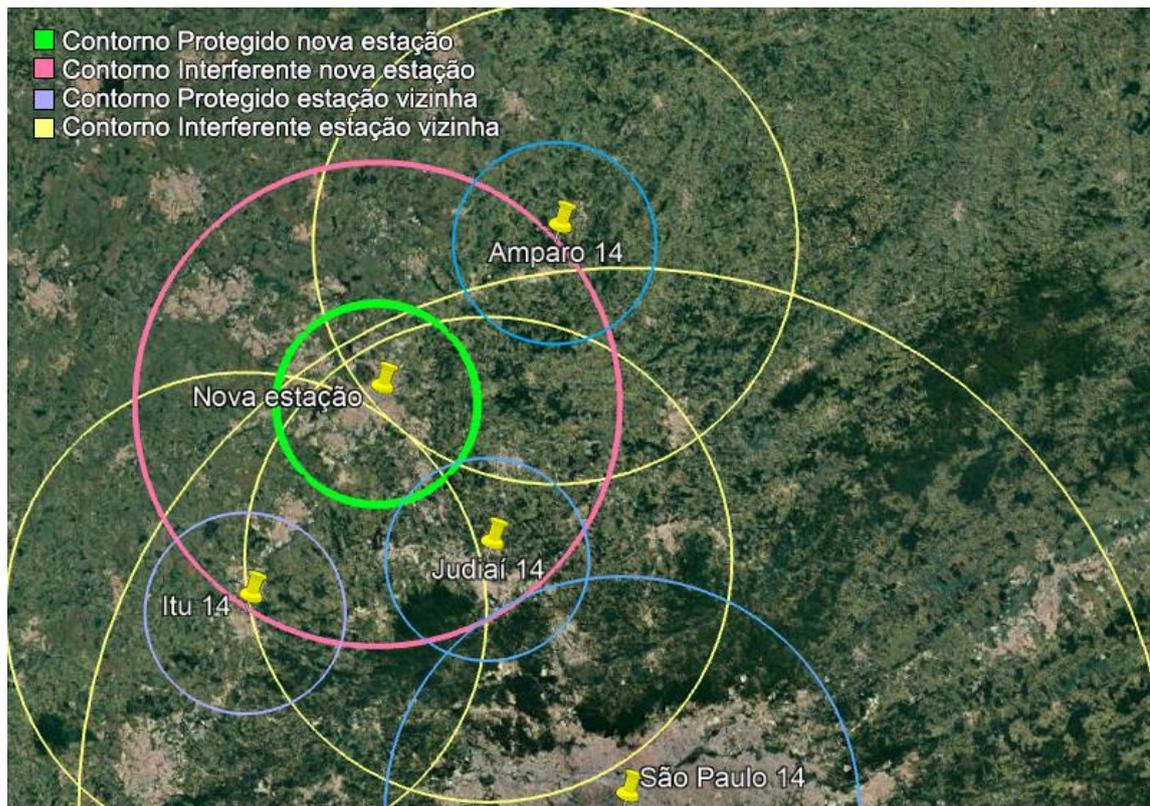


Figura 16 - Contornos Protegidos e Interferentes dos Co-Canais

Fonte: Google Earth Pro, 2019.

Na Figura 16, fica evidente a superposição dos contornos interferentes das estações vizinhas ao contorno protegido da estação proposta e vice-versa, com

exceção de São Paulo, que tem seu contorno interferente sobrepondo o protegido de Campinas, mas não ocorre superposição ao seu contorno protegido.

3.3. ESTUDO PONTO-A-PONTO

Como o traçado dos contornos aponta para inviabilidade devido a superposição, o estudo ponto-a-ponto faz-se necessário, conforme descrito em 2.6 e 2.7. Os pontos de interesse para o estudo são ilustrados na Figura 17 e as coordenadas geográficas de cada ponto descritas na Tabela 11.

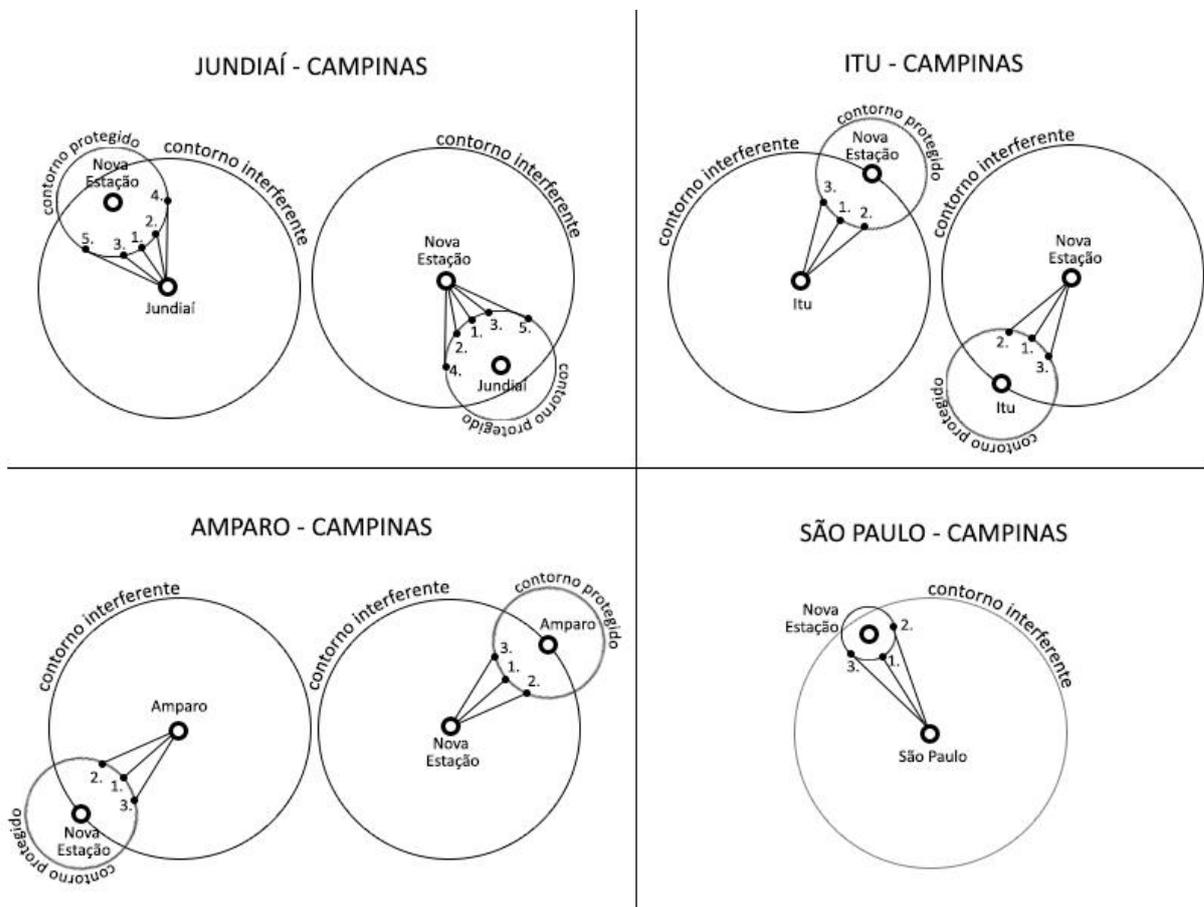


Figura 17 - Pontos para o Cálculo do Sinal Interferente

Tabela 11 - Localização dos Pontos de Interesse

CAMPINAS - JUNDIAÍ					
CONTORNO PROTEGIDO JUNDIAÍ			CONTORNO PROTEGIDO CAMPINAS		
PONTO	LAT (°S)	LONG (°O)	PONTO	LAT (°S)	LONG (°O)
Er 1	23,0332	46,9738	Er 1	23,0482	46,9625
Er 2	23,0740	47,0177	Er 2	23,0086	46,9193
Er 3	23,0090	46,9178	Er 3	23,0714	47,0164
Er 4	23,1800	47,0479	Er 4	22,9029	46,8878
Er 5	23,0177	46,7991	Er 5	23,0628	47,1351

CAMPINAS - SÃO PAULO		
CONTORNO PROTEGIDO CAMPINAS		
PONTO	LAT (°S)	LONG (°O)
Er 1	23,0551	46,8065
Er 2	22,8641	46,8963
Er 3	23,0264	47,1908

CAMPINAS - ITU					
CONTORNO PROTEGIDO ITU			CONTORNO PROTEGIDO CAMPINAS		
PONTO	LAT (°S)	LONG(°O)	PONTO	LAT (°S)	LONG(°O)
Er 1	23,1145	47,2004	Er 1	23,0520	47,1571
Er 2	23,0895	47,2818	Er 2	23,0767	47,0761
Er 3	23,1725	47,1410	Er 3	22,9939	47,2166

CAMPINAS - AMPARO					
CONTORNO PROTEGIDO AMPARO			CONTORNO PROTEGIDO CAMPINAS		
PONTO	LAT (°S)	LONG(°O)	PONTO	LAT (°S)	LONG(°O)
Er 1	22,7669	46,8836	Er 1	22,8076	46,9323
Er 2	22,8096	46,8168	Er 2	22,7651	46,9984
Er 3	22,7001	46,9229	Er 3	22,8739	46,8932

Os dados dos perfis de elevação entre as estações transmissoras até os pontos de interesse foram obtidos utilizando o software ArcMap ® com dados de relevo SRTM3, cuja resolução é de aproximadamente 90 metros. Os dados SRTM3 contêm apenas as cotas de altitude do terreno em relação ao nível do mar, não levando em consideração a morfologia do local. A norma SNC N002/91 e a portaria ANATEL n°284 não fazem menção a edificações ou vegetação o que implica que as características morfológicas não precisam ser consideradas caso o objetivo seja apenas a aprovação da estação pela ANATEL. Por outro lado, a não observância dessas características acarreta em erros nas predições.

Com os dados de elevação tabelados em função da distância, é possível traçar o relevo com a correção h_c para um coeficiente de curvatura $k=4/3$. A Figura 18 ilustra o perfil e sua correção pelo coeficiente k entre a estação de São Paulo até o ponto Er2 do contorno protegido da nova estação. O h_c máximo para esse percurso é da ordem de 100 metros, sendo uma contribuição significativa a altura dos obstáculos.

A análise da rugosidade (Δh) dos perfis de elevação entre as estações e os pontos de interesse (Er), mostra que todos eles apresentam relevo acidentado. Logo

o modelo utilizado no estudo ponto-a-ponto é o de difração por obstáculos do terreno, descrito em 2.7.3.

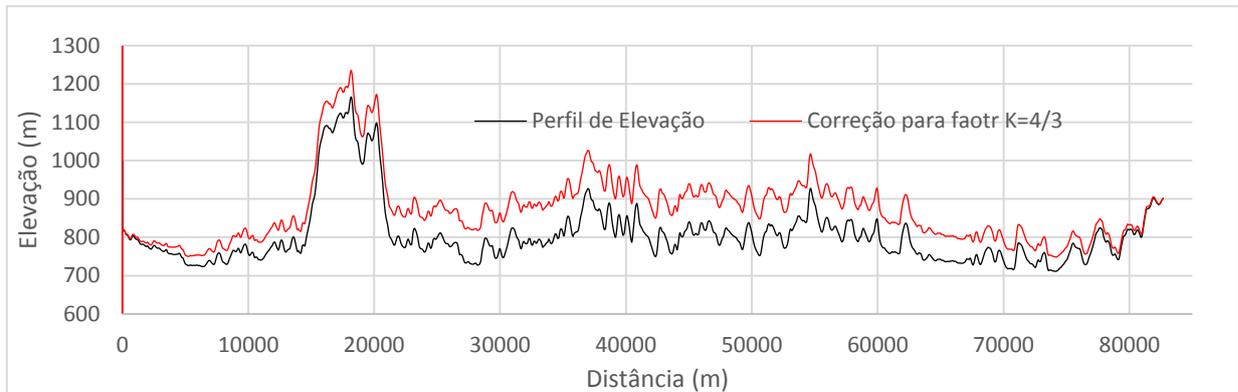


Figura 18 - Correção Fator K - Er2 São Paulo - Campinas

Para melhor visualização do nível de obstrução da visada entre transmissor e receptor, juntamente ao perfil é traçado um elipsoide com raio de 60% da primeira zona de Fresnel, como mostra a Figura 19, que representa o perfil da nova estação em Campinas até o ponto Er1 no contorno protegido da estação de Jundiaí. Nesse perfil são observados diversos obstáculos no percurso, sendo o maior deles situado a 6,4 km do transmissor, que obstrui completamente os 60% do raio da primeira zona de Fresnel, apresentando um fator de $H/R=0,75$ e o fator de curvatura do obstáculo (α) igual a 0,24. Aplicando os dados obtidos às curvas da Figura 12, a contribuição de atenuação do obstáculo principal fica em torno de 17 dB.

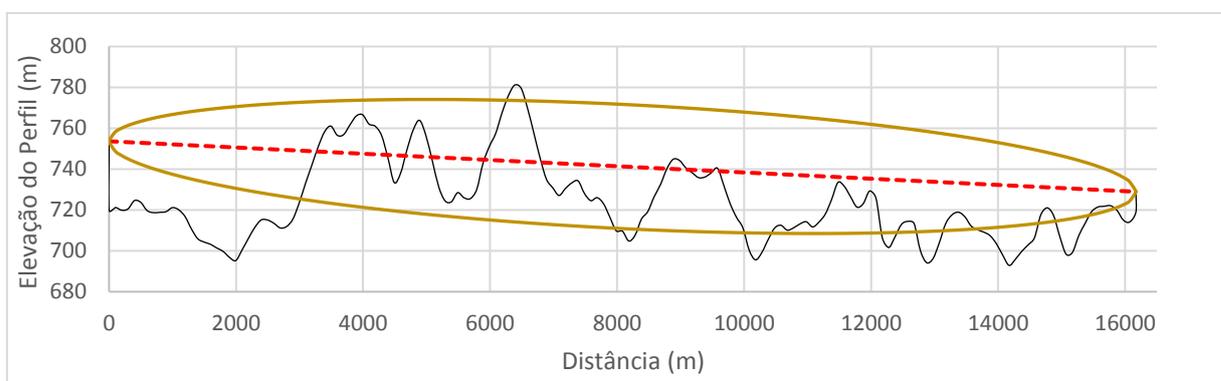


Figura 19- Er1 Campinas - Jundiaí

Determinado o obstáculo principal, os traçados dos sub-percursos subsequentes para o relevo são mostrados na Figura 20. Nessa etapa, nota-se que

existem obstruções apenas no primeiro sub-percurso, cuja contribuição de atenuação fica em torno de 5 dB.

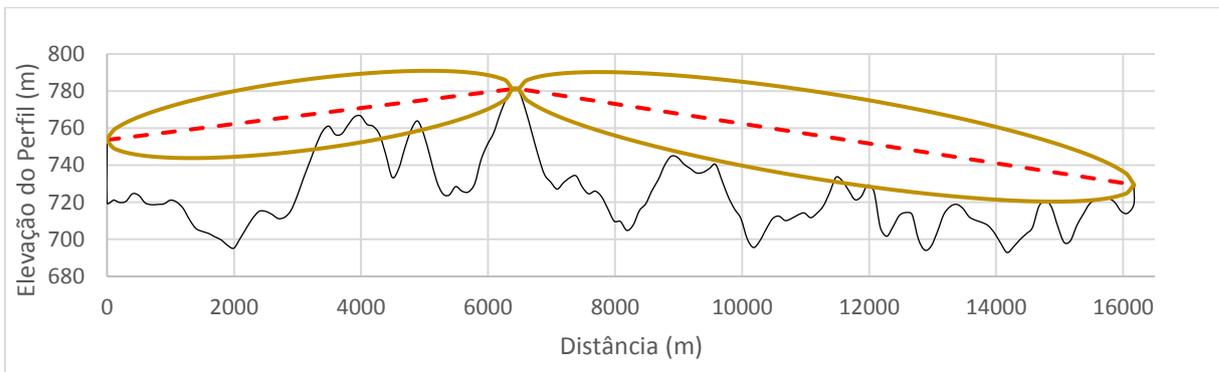


Figura 20 - Sub-Percurso Er1 Campinas - Jundiá

Por vezes, o PBTVD não fornece as informações completas de ERP das estações e ganho da antena em todas as radiais das estações já homologadas. Nesse caso optou-se por realizar o estudo considerando o pior caso para implantação da estação em Campinas. É considerado que em cada radial do estudo ponto-a-ponto, a ERP da estação interferente é corrigida para o HNMT da radial usando as tabelas E(50,90), de modo a atingir a distância máxima ao contorno protegido.

Conforme Tabela 3, o campo interferente calculado no limite do contorno protegido não pode exceder 32 dB μ V/m para que a nova estação seja viável. Para o preenchimento das Tabelas 12 e 13, assume-se que o termo E1, retirado da equação (22), é dado por:

$$E1 = 106,8 + ERP(\text{dBk}) - 20 \log d(\text{km}), \quad (36)$$

$$E(\text{dB}\mu) = E1 - A_m(\text{dB}). \quad (37)$$

Os resultados do estudo ponto-a-ponto nos pontos em que a estação proposta em Campinas recebe interferência das estações co-canais são mostrados na Tabela 12. Nela é possível observar 3 pontos que o campo excede os 32 dB μ V/m, dois referentes à estação do município de Jundiá e um referente a Amparo. Nesse caso, o estudo inviabiliza a estação de possuir caráter primário, ou seja, aquela que não permite interferências em seu contorno protegido, restando o caráter secundário que permite tais interferências.

Tabela 12 - interferência Recebida pela Estação Proposta

	PONTO	HNMT(m)	ERP*(dBk)	d(km)	Δh (m)	RELEVO	E1	Am	E(dB μ)
JUNDIAÍ	Er1	84,12	-4,5	16,17	70,32	acidentado	78,24	2,0	76,24
	Er2	24,39	7,2	18,21	100,32	acidentado	88,84	46,5	42,34
	Er3	75,21	-3,8	18,21	68,06	acidentado	77,81	47,0	30,81
	Er4	16,84	8,0	29,48	190,27	acidentado	85,49	86,3	-0,81
	Er5	66,79	-1,5	29,48	147,39	acidentado	75,95	68,5	7,45
ITU	Er1	78,21	-4,0	26,28	92,56	acidentado	66,93	42,5	31,95
	Er2	21,32	7,5	29,65	127,07	acidentado	84,88	57,0	26,88
	Er3	69,75	-2,5	29,65	77,85	acidentado	74,88	21,3	53,58
AMPARO	Er1	364,64	-19,4	24,74	174,06	acidentado	59,52	48,3	11,22
	Er2	324,73	-18,5	27,77	229,77	acidentado	59,39	47,3	11,10
	Er3	359,99	-19,0	27,77	256,48	acidentado	58,89	57,1	1,79
SP	Er1	84,38	13,8	66,59	230,25	acidentado	84,13	68,7	15,4
	Er2	91,60	13,2	82,68	358,22	acidentado	81,65	50,8	30,8
	Er3	94,14	13,0	82,68	435,77	acidentado	81,44	85,9	-4,45

ERP*(dBk) corrigida pelas curvas E(50,90) para a HNMT correspondente

As estações do estudo ponto-a-ponto que recebem interferência da estação proposta são todas de caráter primário, não admitindo interferência acima dos níveis da relação de proteção. Os resultados para os pontos que a estação proposta impõe o sinal interferente são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Interferência Imposta pela Estação Proposta

	PONTO	HNMT(m)	ERP*(dBk)	d(km)	Δh (m)	RELEVO	E1	Am	E(dB μ)
JUNDIAÍ	Er1	27,48	6,8	16,17	32,5	acidentado	89,42	23,0	66,42
	Er2	35,08	4,5	18,21	32,7	acidentado	86,09	19,4	66,68
	Er3	-3,15	16,9	18,21	187,6	acidentado	98,49	35,5	62,99
	Er4	79,06	-4,1	29,48	172,5	acidentado	73,30	45,2	28,10
	Er5	0,92	16,9	29,48	210,0	acidentado	94,41	65,0	29,40
ITU	Er1	108,76	-8,3	26,28	90,3	acidentado	70,10	52,5	17,6
	Er2	135,25	-9,9	29,65	75,5	acidentado	67,45	42,5	24,95
	Er3	114,11	-9,1	29,65	133,3	acidentado	68,26	4,1	64,16
AMPARO	Er1	63,99	-1,2	24,74	183,0	acidentado	77,73	143	-65,27
	Er2	45,61	1,3	27,77	315,42	acidentado	79,22	162	-82,77
	Er3	99,87	-6,8	27,77	133,28	acidentado	71,12	53,1	18,02

Três pontos no contorno protegido do município de Jundiaí e um no município de Itu apresentam intensidade de campo interferente que inviabilizam a nova estação. Como alternativa pode-se inserir limitações de ERP para nova estação em determinadas direções afim de compensar os valores excedidos.

3.4. SIMULAÇÕES COM MODELO CRC-PREDICT

As simulações com o software PROGIRA Plan são também um estudo ponto-a-ponto, porém que utiliza o modelo CRC-predict. Como vantagem o cálculo computacional permite a verificação em muito mais pontos. As simulações para cada estação foram feitas em radiais de 200 km, resolução de 30 metros e espaçadas de 0,5 graus, permitindo uma melhor visualização da propagação,

O software não permite a inserção de valores de potência efetivamente radiada individualizados e corrigidos para cada radial. Sendo assim a ERP de cada estação envolvida no estudo foi determinada aplicando uma correção a partir das curvas E(50,90) para uma média aritmética da altura sobre o nível médio do terreno das radiais mostradas na Tabela 14, espaçadas de 5 graus para estação de Campinas e de 30 graus para as demais estações

Para cada estação, são inseridas localização, polarização, diagrama de radiação e altura da antena. A polarização horizontal e o digrama omnidirecional foi utilizado para todas as estações.

Realizada a simulação é possível determinar cores para diferentes níveis de intensidade campo e também interações entre estações distintas. Primeiramente, os resultados mostrados na Simulação 1 destacam os níveis de campo da estação proposta quando são consideradas as demais estações como interferentes. As manchas em vermelho na simulação representam pontos onde há cobertura da estação proposta, porém o sinal interferente excede os 19 dB μ V/m da relação de proteção. A cor azul representa pontos com níveis de campo iguais ou maiores que 51 dB μ V/m onde a relação de proteção é respeitada, sendo esse valor considerado adequado para recepção do sinal.

Assim como no estudo ponto-a-ponto da seção 3.3. os pontos em vermelho indicados na simulação denotam inviabilidade da estação proposta de possuir caráter primário, visto que existem várias manchas em vermelho no interior do círculo roxo que representa o contorno protegido da estação

A Simulação 2 representa a estação proposta como interferente sobre as demais estações. Nota-se menor interferência quando comparado a Simulação 1, apresentando menos manchas em vermelho. Entre as estações analisadas na Simulação 2, o município de Itu apresenta maior quantidade de áreas em vermelho. A mudança do local ou a escolha de uma antena com outro diagrama de radiação são opções para amenizar ou anular as áreas com interferência.

As Simulações 3 e 4 representam as mesmas situações dos casos anteriores, porém utilizando na nova estação uma antena diretiva Slot UHF, polarização horizontal, 4 fendas e 140° da IDEAL antenas, com ganho máximo de 10,5 dB. O diagrama de radiação é mostrado na Figura 21. Para as simulações, o azimute escolhido para antena é de 315° , de modo a evitar propagação para as estações co-canais. Na Simulação 4, nota-se uma diminuição significativa das áreas em vermelho. Já na Simulação 3 ocorreu aumento da área coberta, mas com uma maior parte dessa área em vermelho, não respeitando a relação de proteção.

O software permite a inserção de camadas georeferenciadas diversas. Uma das camadas utilizadas é a do censo IBGE. Com esses dados é possível determinar a população estimada que é coberta pelas áreas com as cores descritas. As informações relativas à população são mostradas nas Tabelas 15 e 16.

Para as especificações da estação proposta, o uso de uma antena diretiva se mostra uma solução para anulação da interferência nos pontos descritos na Tabela 11. Porém, mesmo com a viabilidade da estação como retransmissora secundária, o nível de cobertura no município não é satisfatório visto que a população do município é precariamente coberta.

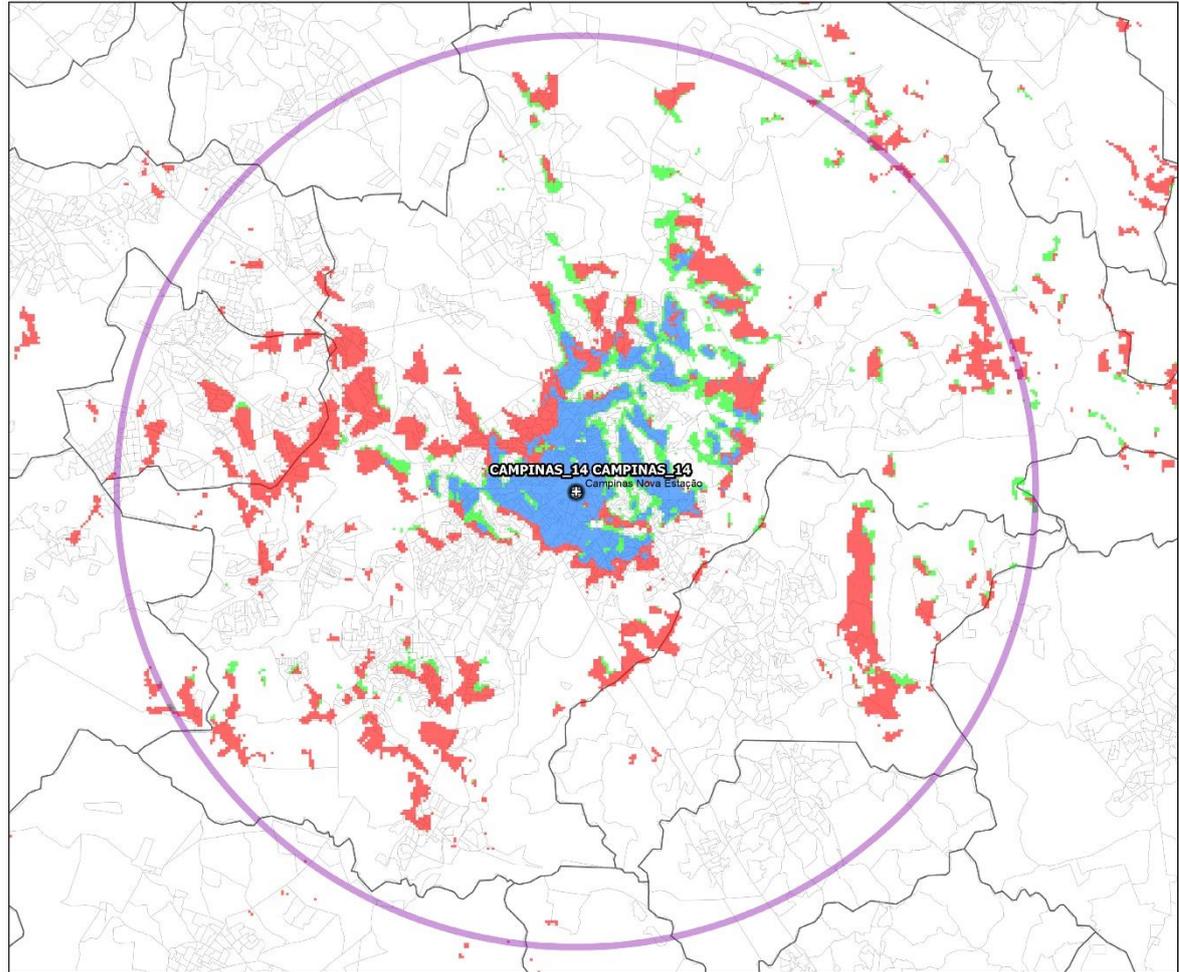
Tabela 14 - HNMT e HCI das Estações Envolvidas na Inviabilidade

CAMPINAS							
Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)
0	113,18	90	35,8	180	78,69	270	119,11
5	97,92	95	33,2	185	93,06	275	113,87
10	99,02	100	14,35	190	98,52	280	122,77
15	107,03	105	11,27	195	111,12	285	123,2
20	95,03	110	0,16	200	110,23	290	111,84
25	99,98	115	-5,14	205	107,46	295	104,43
30	101,28	120	-9,97	210	105,96	300	107,15
35	85,6	125	-8,26	215	108,38	305	109,19
40	83,32	130	7,81	220	115,69	310	113,35
45	65,25	135	8,22	225	132,59	315	122,64
50	53,46	140	25,36	230	135,46	320	130,39
55	49,33	145	22,59	235	138,48	325	125,77
60	53,89	150	12,42	240	138,54	330	120,43
65	52,71	155	14,52	245	147,55	335	118,38
70	37,98	160	21,56	250	119,93	340	114,3
75	47,97	165	33,14	255	119,49	345	115,86
80	46,48	170	54,01	260	127,45	350	114,28
85	36,14	175	76,68	265	124,56	355	118,21
HCI (m)	30	ERP*(dBk)	-4,18	HNMT MÉDIO (m)	81,83		

JUNDIAÍ		ITU		AMPARO		SÃO PAULO	
HCI (m) = 45,7		HCI (m) = 30		HCI (m) = 32,7		HCI (m) = 180,93	
Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)	Azimute (°)	HNMT(m)
0	61,28	0	82,26	0	273,83	0	211,44
30	28,18	30	76,06	30	149,72	30	249,73
60	43,12	60	-4,5	60	105,66	60	240,52
90	35,23	90	-70,57	90	102,93	90	219,84
120	42,16	120	-11,8	120	262,73	120	241,24
150	26,7	150	-12,28	150	284,89	150	220,92
180	60,68	180	6,76	180	257,14	180	193,91
210	-82,72	210	26,49	210	370,64	210	233,26
240	-4,07	240	62,79	240	383,92	240	220,09
270	132,44	270	84,1	270	378,67	270	239,15
300	104	300	100,82	300	350,25	300	218,76
330	97,99	330	108,5	330	372,03	330	229,84
MÉDIO	45,41583	MÉDIO	37,38583	MÉDIO	274,3675	MÉDIO	226,5583
ERP*(dBk)	2,28	ERP*(dBk)	3,8	ERP*(dBk)	-16,72	ERP*(dBk)	4,41

SIMULAÇÃO 1

Sinal Interferente dos co-canais sobre a Estação de Campinas

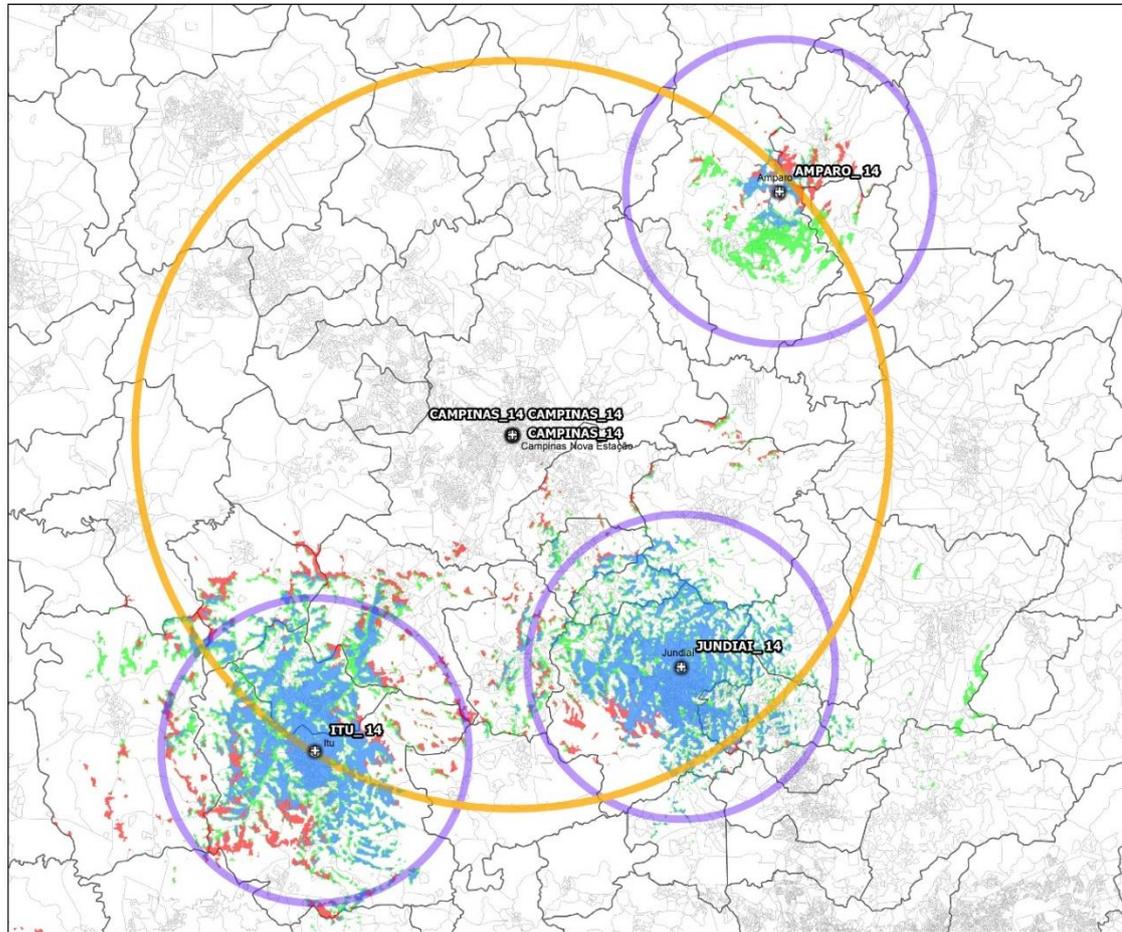


<ul style="list-style-type: none"> Contornos Protegidos das estações Amparo, Itu e Jundiaí Contorno Interferente de Campinas nas estações co-canais Covered Interference limited Noise limited mainly Power/Field strength limited 	<p>SYSTEM Segments: All Modulation: 64-QAM Code rate: 3/4 Guard interval: 1/8 System bandwidth (MHz): 6 Useful symbol time (µs): 1008 Guard interval (µs): 126 Signal bandwidth (MHz): 5.57 Bit rate (Mbit/s): 18.26 Required C/N (dB): Rise: 20.7 Rayleigh: 22.9 EPT EPT model: PROGIRA</p>	<p>RECEIVER Frequency (MHz): 473 Channel: 14 Receiving condition: Fixed SFN synch method: First Tx Guard interval model: Cliff Edge Noise figure (dB): 7.0 Tuner type: NOT DEFINED FIXED RECEPTION Antenna direction: Strongest Tx Directivity discrimination: Angle lower (°): 30 Angle upper (°): 120 Gain (dB): -7 PROPAGATION Outdoor standard deviation (dB): 5.5 Field strength correlation: 0</p>	<p>INPUT FS FOR WANTED TX Channel: 14 Frequency: 473 MHz Polarization: H Transmitter: Campinas Position: 2255455.940 047W0346.500 Altitude: 720 m Antenna height: 30 m ERP (W): 362 (25.8 dBW) Transmitter: Amparo Position: 2283830.960 046W4510.800 Altitude: 1068 m Antenna height: 32.7 m ERP (W): 60.277 (17.8 dBW)</p>	<p>Transmitter: Itu Position: 2331502.880 047W1742.000 Altitude: 612 m Antenna height: 30 m ERP (W): 2400 (33.8 dBW) Transmitter: Jundiaí Position: 2331000.012 046W5221.000 Altitude: 794 m Antenna height: 45.7 m ERP (W): 1690 (32.3 dBW) Propagation model: CRC-Predict 3.21 Rx antenna height: 10 m Percentage time: 90 % Percentage locations: 50 % Clutter: Database Azimuth step: 0.5° Cell size: 100 m</p>
---	---	---	--	---

Fonte: PROGIRA Plan, 2019.

SIMULAÇÃO 2

Sinal Interferente da Estação de Campinas sobre os co-canais



30 15 0 30 Kilometers

1 : 477 168

PROGIRA plan

<ul style="list-style-type: none"> Contornos Protegidos das estações Amparo, Itu e Jundiaí Contorno Interferente de Campinas nas estações co-canais Covered Interference limited Noise limited mainly Power/Field strength limited 	<p>SYSTEM Segments: All Modulation: 64-QAM Code rate: 3/4 Guard interval: 1/8 System bandwidth (MHz): 6 Useful symbol time (µs): 1008 Guard interval (µs): 126 Signal bandwidth (MHz): 5.57 Bit rate (Mbit/s): 18.26 Required C/N (dB): Rice: 20.7 Rayleigh: 22.9 EPT EPT model: PROGIRA</p>	<p>RECEIVER Frequency (MHz): 473 Channel: 14 Receiving condition: Fixed SFN synch method: First Tx Guard interval mode: Cliff Edge Noise figure (dB): 7.0 Tuner type: NOT DEFINED FIXED RECEPTION Antenna direction: Strongest Tx Directivity discrimination: Angle lower (°): 30 Angle upper (°): 120 Gain (dB): -7 PROPAGATION Outdoor standard deviation (dB): 5.5 Field strength correlation: 0</p>	<p>INPUT FS FOR WANTED TX Channel: 14 Frequency: 473 MHz Polarization: H</p> <p>Transmitter: Campinas Position: 225545.940 047W0346.500 Altitude: 720 m Antenna height: 30 m ERP (W): 302 (25.8 dBW)</p> <p>Transmitter: Amparo Position: 223350.960 046W4510.800 Altitude: 1068 m Antenna height: 32.7 m ERP (W): 60.277 (17.8 dBW)</p>	<p>Transmitter: Itu Position: 2351502.880 047W1742.000 Altitude: 612 m Antenna height: 30 m ERP (W): 240.0 (33.8 dBW)</p> <p>Transmitter: Jundiaí Position: 2331000.012 046W5221.000 Altitude: 794 m Antenna height: 45.7 m ERP (W): 1650 (32.3 dBW)</p> <p>Propagation model: CRC-Predict 3.21 Rx antenna height: 10 m Percentage locations: 50 % Clutter: Database Azimuth step: 0.5° Cell size: 100 m</p>
---	---	--	--	---

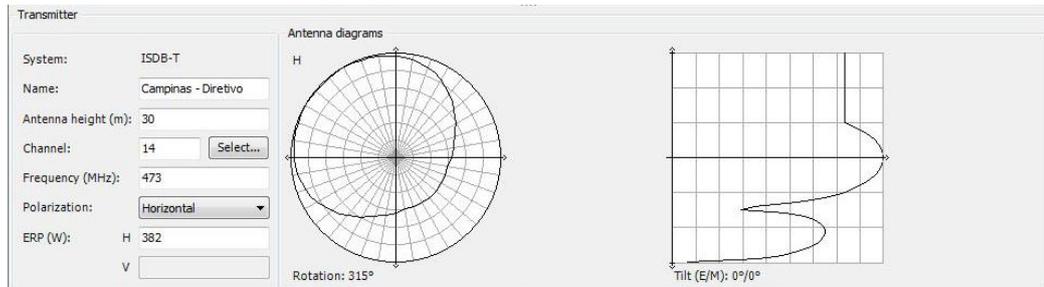
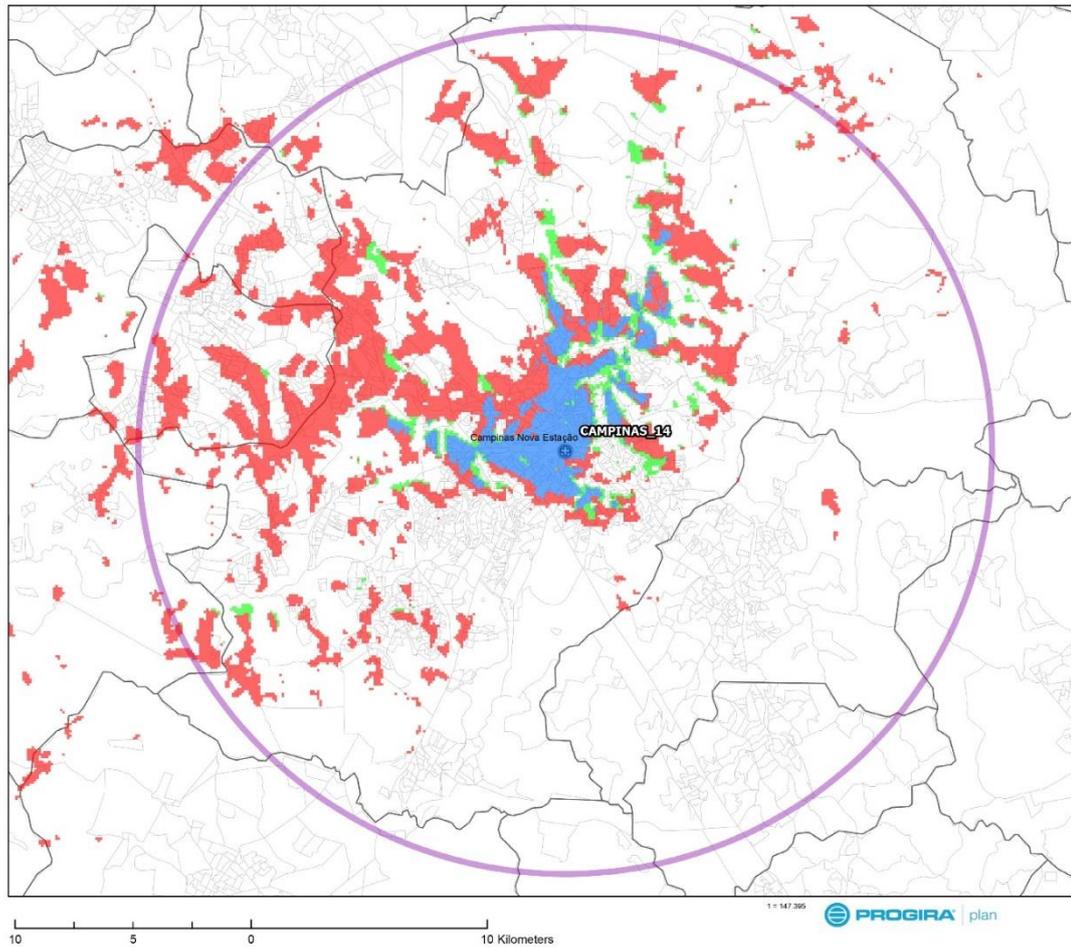


Figura 21 - Diagrama de Radiação da Antena Diretiva

Fonte: PROGIRA Plan, 2019.

SIMULAÇÃO 3

Sinal Interferente dos co-canais sobre a Estação de Campinas - Antena Diretiva



- Contornos Protegidos das estações Amparo, Itu e Jundiaí
- Contorno Interferente de Campinas nas estações co-canais
- Covered
- Interference limited
- Noise limited mainly
- Power/Field strength limited

SYSTEM
 Segments: All
 Modulation: 64-QAM
 Code rate: 3/4
 Guard interval: 1/8
 System bandwidth (MHz): 6
 Useful symbol time (µs): 1008
 Guard interval (µs): 126
 Signal bandwidth (MHz): 5.57
 Bit rate (Mbit/s): 18.26
 Required C/N (dB):
 Rice: 20.7
 Rayleigh: 22.9
 EPT model: PROGIRA

RECEIVER
 Frequency (MHz): 473
 Channel: 14
 Receiving condition: Fixed
 SFN synch method: First TX
 Guard interval model: Cliff Edge
 Noise figure (dB): 7.0
 Tuner type: NOT DEFINED
 FIXED RECEPTION
 Antenna direction: Strongest Tx
 Directivity discrimination:
 Angle lower (°): 30
 Angle upper (°): 120
 Gain (dB): -7
 PROPAGATION
 Outdoor standard deviation (dB): 5.5
 Field strength correlation: 0

INPUT FS FOR WANTED TX

Channel: 14
 Frequency: 473 MHz
 Polarization: H
 Transmitter: Campinas
 Position: 2255455.940 047W0346.500
 Altitude: 720 m
 Antenna height: 30 m
 ERP (W): 362 (25.8 dBW)
 Transmitter: Amparo
 Position: 2253500.960 046W4610.800
 Altitude: 1068 m
 Antenna height: 32.7 m
 ERP (W): 60.277 (17.8 dBW)

Transmitter: Itu
 Position: 2351502.880 047W1742.000
 Altitude: 612 m
 Antenna height: 30 m
 ERP (W): 2400 (33.8 dBW)
 Transmitter: Jundiaí
 Position: 2351000.012 046W5221.000
 Altitude: 704 m
 Antenna height: 45.7 m
 ERP (W): 1690 (32.3 dBW)
 Propagation model: CRC-Predist 3.21
 Rx antenna height: 10 m
 Percentage time: 50 %
 Clutter: Database
 Azimuth step: 0.5°
 Cell size: 100 m

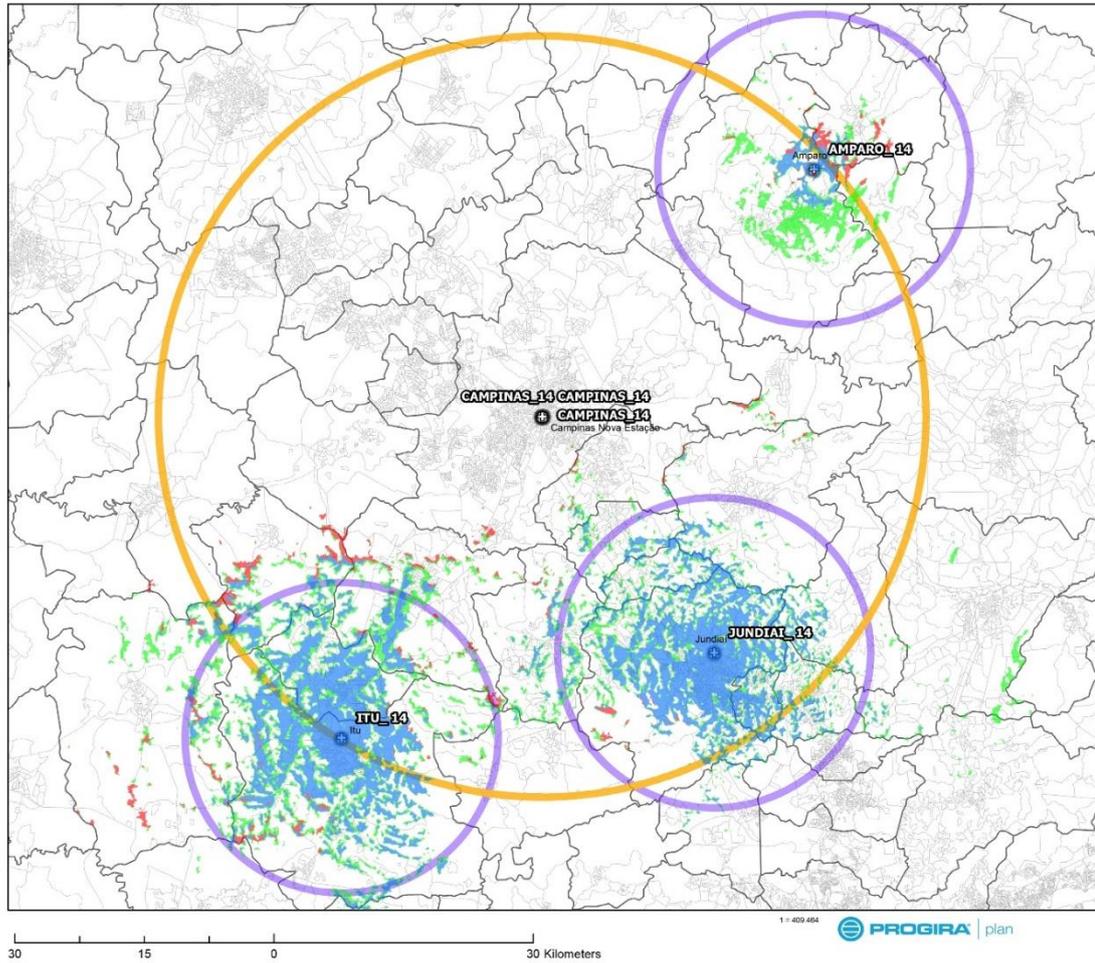
Tabela 15 - Cobertura e Interferência Sofrida pela Estação Proposta

	OMNI	DIRETIVA
Estimativa de população coberta (nº de pessoas)	182.196	155.524
Estimativa de população não coberta devido a interferência (nº de pessoas)	176.409	342.715
Total	358.578	498.239

Fonte: PROGIRA Plan, 2019.

SIMULAÇÃO 4

Sinal Interferente da Estação de Campinas sobre os co-canais - Antena Diretiva



Legend:

- Contornos Protegidos das estações Amparo, Itu e Jundiaí
- Contorno Interferente de Campinas nas estações co-canais
- Covered
- Interference limited
- Noise limited mainly
- Power/Field strength limited

SYSTEM
 Segments: All
 Modulation: 64-QAM
 Code rate: 3/4
 Guard interval: 1/8
 System bandwidth (MHz): 6
 Useful symbol time (µs): 1008
 Guard interval (µs): 126
 Signal bandwidth (MHz): 5.57
 Bit rate (Mbit/s): 18.26
 Required C/N (dB):
 Rice: 20.7
 Rayleigh: 22.9
 EPT
 EPT model: PROGIRA

RECEIVER
 Frequency (MHz): 473
 Channel: 14
 Receiving condition: Fixed
 SFN synch method: First Tx
 Guard interval model: Cliff Edge
 Noise figure (dB): 7.0
 Tuner type: NOT DEFINED
FIXED RECEPTION
 Antenna direction: Strongest Tx
 Directivity discrimination:
 Angle lower (°): 30
 Angle upper (°): 120
 Gain (dB): -7
PROPAGATION
 Outdoor standard deviation (dB): 5.5
 Field strength correlation: 0

INPUT FS FOR WANTED TX
 Channel: 14
 Frequency: 473 MHz
 Polarization: H

Transmitter: Itu
 Position: 23S1502.880 047W1742.000
 Altitude: 612 m
 Antenna height: 30 m
 ERP (W): 2400 (33.8 dBW)

Transmitter: Campinas
 Position: 22S5455.940 047W0346.500
 Altitude: 720 m
 Antenna height: 30 m
 ERP (W): 302 (25.5 dBW)

Transmitter: Jundiaí
 Position: 23S1900.612 046W5221.000
 Altitude: 794 m
 Antenna height: 45.7 m
 ERP (W): 1090 (32.3 dBW)

Transmitter: Amparo
 Position: 22S3930.980 046W4510.800
 Altitude: 1088 m
 Antenna height: 32.7 m
 ERP (W): 60.277 (17.8 dBW)

Transmitter: Jundiaí
 Position: 23S1900.612 046W5221.000
 Altitude: 794 m
 Antenna height: 45.7 m
 ERP (W): 1090 (32.3 dBW)

Propagation model: CRC Predict 3.21
 Fix antenna height: 10 m
 Percentage time: 90 %
 Percentage locations: 50 %
 Clutter Database
 Azimuth step: 0.5°
 Cell size: 100 m

Tabela 16 – Interferência Imposta pela Estação Proposta

	Antena da nova estação	Jundiaí	Itu	Amparo	TOTAL
População não coberta devido a interferência (nº de pessoas)	OMNI	7.330	52,570	2,530	62.240
	DIRETIVA	569	15.719	1.438	17.726

Fonte: PROGIRA Plan, 2019.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do estudo de viabilidade possibilitou um levantamento das normas e regulamentações que podem ser aplicadas caso uma emissora de televisão deseje expandir sua cobertura. O estudo feito no município de Campinas pode ser replicado em qualquer município do país, utilizando parâmetros de ERP, frequência, altura e modelo de antenas próprios. A aglutinação e sintetização das exigências da ANATEL para inclusão de um canal de radiodifusão de TV digital na faixa de UHF, faz desse trabalho uma descrição passo a passo para futuros estudos de viabilidade.

As sucessivas condições de inviabilidade apresentadas no estudo e os procedimentos na tentativa de contornar as adversidades para viabilizar a inclusão do canal no Plano Básico de Televisão Digital direcionam não só as etapas a serem seguidas, mas também quais os principais parâmetros a serem alterados na estação para que a mesma venha atender os requisitos impostos.

A etapa de determinação dos contornos descrita na metodologia pode ser verificada pelo SIGANATEL, que é um sistema de informações geográficas disponibilizado no portal da ANATEL. Nele são inseridos os dados da estação transmissora, em que podem ser utilizados dados de uma estação já licenciada para fins de validação do método. Com essas informações o sistema indica se a estação é viável ou não, verificando se há superposição dos contornos interferentes e protegidos das estações próximas.

Quando são inseridos dados de uma estação licenciada no sistema de informações geográficas da ANATEL, por vezes ele acusa superposição dos contornos, no geral são de estações da mesma entidade que estão trabalhando em SFN (Single Frequency Network). Porém, também acontece a superposição dos contornos de estações de entidades distintas. Nesse caso geralmente as estações envolvidas ou tem limitações de potência em determinadas direções ou permitem interferências de outras (estações secundárias).

A comparação dos modelos recomendados pela ANATEL com o CRC-predict apontam que os critérios da norma do estudo ponto-a-ponto podem não refletir com a devida precisão os efeitos da interferência entre estações, uma vez que a quantidade de pontos da norma é muito inferior ao calculado pelo modelo computacional. Mesmo que o estudo apresente viabilidade, podem ocorrer efeitos de interferência

significativos dentro do contorno protegido e que não são levados em consideração devido a essa limitação.

Para estudos futuros, a implementação em software dos requisitos da norma SNC N002/91 é uma prioridade, dado que os cálculos de intensidade de campo individualizados para cada radial do estudo ponto-a-ponto demandam tempo considerável quando feitos manualmente. Para uma emissora que deseja agilidade em seus processos essa adequação faz-se necessária.

Para o município de Campinas, por se tratar de uma região populosa para os padrões brasileiros, a habilitação de um canal de radiodifusão de TV Digital torna-se um desafio, visto que o espectro de radiofrequência da região tem um alto nível de ocupação. O estudo proposto para o canal 14, mesmo que viável, possui uma série de limitações, sendo um investimento de risco a implementação de um projeto de instalação de uma retransmissora na região. Estudos mais aprofundados para o município são a alternativa mais prudente, utilizando outras frequências e variando o posicionamento e tipo de antena transmissora entre outros parâmetros.

5. REFERÊNCIAS

ANATEL - AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES “MOSAICO”. **Canais de Radiodifusão**. Disponível em:

<<http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php>>. Acesso em: 01 out. 2019.

ANATEL - AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Plano de Atribuição, Distribuição e Destinação de Radiofrequências**. 2015. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/setorregulado/atribuicao-destinacao-e-distribuicao-de-faixas>>. Acesso em: 19 out. 2019.

ANATEL. Resolução nº 284, de 7 de dezembro de 2001. **Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de Televisão**. Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em:

<<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2001/270-resolucao-284>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

ANATEL. Resolução nº 398, de 7 de abril de 2015. **Alterações do Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, e do Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de Televisão**. Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em:

<<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2005/288-resolucao-398>>. Acesso em: 28 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15604. Televisão digital terrestre – Receptores**. 2016. Disponível em:

<<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=365013#>>. Acesso em: 15 set. 2019.

BRASIL. Portaria nº 276, de 6 de mar. De 2010. **Norma Técnica para Execução dos Serviços de Radiodifusão de Sons e Imagens e de Retransmissão de Televisão com Utilização da Tecnologia Digital**. Ministério de Estado das Comunicações.

Disponível em:

<<https://www2.camara.leg.br/comunicacao/rede-legislativa-radio-tv/arquivos/legislacao-arquivos/portarias-ministerio/Portarian27629MAR2010ExecuodosserviosdeTVdigital.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

IBGE - INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama**. 2018.

Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campinas/panorama>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

IDEAL ANTENAS. Slot UHF Polarização Horizontal. **Antena para transmissão broadcast em UHF, com polarização Horizontal**. Disponível em:

<<https://www.idealantenas.com.br/produtosport/digital/pdfantenaslotuhf.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2019.

ITU-R BT.2137. **Coverage prediction methods and planning software for digital terrestrial television broadcasting (DTTB) networks**. ITU-R, 2008. Disponível em:

<https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BT.2137-2009-PDF-E.pdf>.

Acesso em: 22 set. 2019.

ITU-R P.1546-1. **Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz**, 2001-2003. Disponível em:

<https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-1-200304-S!!PDF-E.pdf>.

Acesso em: 29 set. 2019.

LEAL, Rafael. **O Desligamento da TV Analógica no Brasil**. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET). 2018. Disponível em:

<<http://www.set.org.br/news-revista-da-set/revista/o-desligamento-da-tv-analogica-no-brasil/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

PISCIOTTA, Néstor Oscar. **Sistema ISDB-Tb. UBP Serie Materiales de Investigación**. 2010. Disponível em:

<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo352/Experiencia%20TVD%20web/SistemaISDB_Tb.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2019.

SAUNDERS, S.R; ZAVALA, A.A. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**. 2. ed. Chichester, West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.

SNC – Secretaria Nacional de Comunicações. Norma N002/91 Anexa à Portaria nº 53, de 07 de jun. de 1991. **Norma para Determinação da Intensidade de Campo em Canais de VHF e UHF**. Diário Oficial. Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/06/1991&jornal=1&pagina=20&totalArquivos=124>>. Acesso em: 20 set. 2019.

WHITTEKER, J.H. **Fresnel-Kirchhoff theory applied to terrain diffraction problems**. Radio Science, Volume 25, Number 5, Pages 837-851, September-October 1990.

WHITTEKER, J. H. **Physical Optics and Field-Strength Predictions for Wireless Systems**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, nº 3, april 2002.