

Guilherme Bilbao Soares da Silva

*Projeto de instalação de uma emissora de
radiodifusão sonora em frequência modulada, no
município de São Pedro de Alcântara*

São José – SC

Julho/ 2013

Guilherme Bilbao Soares da Silva

***Projeto de instalação de uma emissora de
radiodifusão sonora em frequência modulada, no
município de São Pedro de Alcântara***

Monografia apresentada à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador Prof. Jaci Destri

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

São José – SC

Julho/ 2013

Monografia sob o título “*Projeto de instalação de uma emissora de radiodifusão sonora em frequência modulada, no município de São Pedro de Alcântara*”, defendida por Guilherme Bilbao Soares da Silva e aprovada em julho de 2013, em São José, Estado de Santa Catarina, pela banca examinadora assim constituída:

Prof. Jaci Destri, Eng. Ele.
Orientador

Prof. André Luiz Alves, Ms.
IFSC

Prof. Rubem Toledo Bergamo, Ms.
IFSC

Dedico este trabalho à minha família.

Agradecimentos

Ao término deste trabalho, deixo aqui meus sinceros agradecimentos:

- a Deus;
- ao Prof. Jaci Destri, por toda dedicação, disponibilidade e estímulo em sua orientação;
- aos amigos que fiz durante o curso de Sistemas de Telecomunicações pelo agradável convívio;
- a minha família, principalmente a minha mãe Andréa, pelo incentivo que me passou durante todo esse período;
- e a minha esposa Marta, por me apoiar em todos os momentos.

“O rádio, por transmitir apenas sons, liberta o imaginário do ouvinte, transformando-o num construtor de imagens que ”vestem” os sons. Instigando-o a ser um engenheiro de idéias e não um repetidor delas .”

Augusto Cury.

Resumo

Este é um estudo de viabilidade técnica, visando a homologação de uma emissora de radiodifusão sonora em frequência modulada, no município de São Pedro de Alcântara. O canal utilizado está disponível no Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (PBFM). No decorrer deste projeto atendemos as exigências, dentro do escopo didático, cabíveis ao canal 218, classe C, que resultaria na aprovação e liberação do seu uso pela Agência Nacional de Telecomunicações, a ANATEL.

Para que uma emissora de rádio seja liberada pela ANATEL para o início a sua transmissão sonora no local, é necessário comprovar que as especificações técnicas desta emissora estão respeitando a regulamentação apresentada na Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1998, e suas atualizações. Esta resolução exige que, para liberar a ativação emissora, ela deva atender à vários requisitos técnicos, prezando pela qualidade do sinal e evitando interferências entre os canais. Parte desses requisitos são diretamente relacionados ao canal e a qual classe ela está inserida no PBFM, organizado e gerenciado também pela ANATEL.

A Resolução apresenta, dentre outras informações que dão auxílio ao projetista, um roteiro para a elaboração de estudos técnicos. É este roteiro que foi seguido durante o desenvolvimento deste estudo, buscando os resultados utilizando também a Recomendação UIT-R p.1546-1, que traz modelos de previsão de cobertura ponto-área, e é adotada no lugar das curvas de nível de campo anteriormente recomendadas pela resolução.

Ao final deste estudo é apresentado todos os resultados, definições e especificações técnicas necessárias que comprovariam a viabilidade técnica desta emissora perante as exigências impostas pela ANATEL.

PALAVRAS-CHAVES: radiodifusão; emissora FM; Resolução nº 67; radiotransmissão; ANATEL.

Abstract

This is a technical feasibility study, seeking approval of a station broadcasting on frequency modulation in São Pedro de Alcântara. The channel used is available in the “Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada” - PBFM (Basic Plan of Distribution Channels Broadcasting Frequency Modulation). During this project serve the requirements within the scope courseware, applicable to channel 218, class C, which would result in the adoption and approval of its use by “Agência Nacional de Telecomunicações” (National Agency of Telecommunications), the ANATEL.

For a station to be released by ANATEL to begin their sound transmission in place, it is necessary to prove that the technical specifications of this station are following the rules presented in “Resolução N°67, de 12 de novembro de 1998” (Resolution N°67 of November 12, 1998), and its updates. This resolution requires that, to release the activation broadcaster, it must meet several technical requirements, valuing signal quality and avoiding interference between channels. Some of these requirements are directly related to the channel and to which class it is embedded in the PBFM, also organized and managed by ANATEL.

The Resolution provides, among other information that give aid to the designer, a way to for the preparation of technical studies. This Is the way that was followed during the development of this study, seeking the results using also Recommendation ITU-R P.1546-1, which brings forecasting models point coverage area, and it's adopted in place of the contours of the field previously recommended by the resolution.

At the end of this study are presented all the results, definitions and technical specifications needed that would prove the technical viability of this broadcast before the requeriments imposed by ANATEL.

KEYWORDS: broadcasting, FM station, Resolution N° 67; radio transmission; ANATEL.

Sumário

Listas de Figuras

Listas de Tabelas

Listas de Abreviaturas e Siglas

1	Introdução	p. 14
1.1	Objetivo geral	p. 15
1.2	Objetivo específico	p. 15
1.3	Motivação e justificativa	p. 15
1.4	Estrutura do trabalho	p. 15
2	Resolução n° 67, de 12 de novembro de 1998	p. 17
2.1	Roteiro para elaboração de estudos técnicos	p. 18
2.1.1	Estudo de viabilidade técnica de uma emissora	p. 18
2.1.2	Projeto de instalação de uma emissora	p. 19
2.2	Recomendação UIT-R P.1546	p. 21
2.2.1	Conceitos Básicos	p. 21
2.3	Adaptações da recomendação	p. 22
2.3.1	Nível Médio do Terreno	p. 22
2.3.2	Altura da antena transmissora	p. 23
3	Canal proposto	p. 24

3.1	Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada	p. 24
3.1.1	Canalização	p. 24
3.2	Características básicas do canal proposto	p. 25
3.2.1	Enquadramento na classe	p. 25
3.3	Nível Médio do Terreno e Altura Acima do Nível Médio do Terreno	p. 27
3.3.1	Nível Médio da Radial (NMR) e Nível Médio do Terreno (NMT) . . .	p. 28
3.3.2	Altura Acima do Nível Médio do Terreno	p. 30
3.4	Contorno protegido	p. 34
3.4.1	Interferências	p. 35
4	Equipamentos básicos que compõe a emissora	p. 37
4.1	O sistema irradiante	p. 37
4.1.1	Antena	p. 37
4.1.2	Linha de transmissão e conectores	p. 37
4.1.3	Transmissor	p. 38
4.1.4	Cálculos de ERPmax, ERPaz e orientação da antena	p. 39
5	Desenvolvendo a emissora FM	p. 42
5.1	Especificações definidas	p. 42
5.2	Definindo as potências ERPmax e ERPaz	p. 43
5.3	Definindo os contornos das áreas de serviços	p. 44
5.3.1	Área de Serviço Urbana (66 dBm)	p. 45
5.3.2	Áreas de Serviço Primário e Rural (74 dBm e 54 dBm)	p. 47
5.3.3	Os traçados dos contornos	p. 49
6	Resultados obtidos com o projeto	p. 50
6.1	Considerações sobre os contornos encontrados	p. 50

6.1.1	Analizando a cobertura da Área de Serviço Urbana em São Pedro de Alcântara	p. 50
6.2	Comparando os resultados finais com os valores calculados pela aplicação do SIGAnatel	p. 53
7	Conclusões e trabalhos futuros	p. 55
Referências		p. 57
Apêndice A – Apresentando as informações técnicas, conforme o roteiro para elaboração de estudos técnicos		p. 59
A.1	Informações Básicas	p. 59
A.2	Memória Descritiva	p. 60
A.3	Situação Geral	p. 61
Anexo A – Especificações técnicas do fabricante da antena dipolo utilizada.		p. 63
Anexo B – Especificações técnicas do fabricante do guia de onda utilizado (linha de transmissão).		p. 68
Anexo C – Mapa de Macrozoneamento de São Pedro de Alcântara.		p. 70
Anexo D – Gráficos do perfil de terreno das 12 Radias ao redor da emissora.		p. 72
Anexo E – Relatório Siganatel - Análise Técnica FM.		p. 79

Lista de Figuras

3.1	Consulta de canais disponíveis para uso - Portal da ANATEL	p. 25
3.2	Demonstração do layout do aplicativo da SIGAnatel.	p. 29
3.3	Traçado das 12 radiais partindo da base da emissora.	p. 29
3.4	Gráfico do NMR da Radial 1 usando o aplicativo da SIGAnatel	p. 30
3.5	Proximidade entre a base do sistema e a coordenada indicada no PBFM, para o canal proposto (GOOGLE MAPS., 2013).	p. 36
4.1	Diagrama de Irradiação da Antena Dipolo 1/2 Onda para FM	p. 38
5.1	Utilizando as curvas E(50,50) para encontrar as distâncias do contorno protegido.	p. 46
5.2	Projeção da cobertura das áreas de serviços utilizando a ferramenta SIGAnatel. p. 49	
6.1	Projeção da cobertura das área de serviço urbana sobre a zona urbana do município.	p. 52
6.2	Resultados SIGAnatel.	p. 54

List a de Tabelas

3.1	Canalização da faixa de FM.	p. 26
3.2	Classificação das emissoras em função de seus requisitos máximos.	p. 27
3.3	Coordenadas indicando as referências latitudinais e longitudinais de cada radial.	p. 31
3.4	Mapeamento das altitudes de cada radial.	p. 32
3.5	Valores de HNMT para cada radial.	p. 34
5.1	Resumo das especificações técnicas da emissora.	p. 42
5.2	Valores de ERPaz para cada radial.	p. 45
5.3	Distâncias do contorno protegido (66 dBm).	p. 47
5.4	Contornos das diversas áreas de serviço por radial e dados correspondentes. .	p. 48
6.1	Comparando os valores de contorno protegido com as distâncias da zona urbana.	p. 51

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
Al	atenuação em 100 metros
CBT	Cota da base da torre
dB	decibel
dBd	ganho da antena, referido a uma antena dipolo
dBk	unidade que exprime o valor de potência, em dB, referida a 1kW
dBm	unidade que exprime o valor de potência, em dB, referida a 1mW
dBμ	unidade que exprime o valor de potência, em dB, referida a $1\mu\text{W}$
E(L,T)	Intensidade de campo excedido em L por cento das localidades e T por cento do tempo
E/Emax	porcentagem irradiada, em relação à potência máxima
Ef	eficiência de linha
EIA	Electronics Industries Association
ERPaz	potência efetiva máxima irradiada no azimute
ERPmax	potência efetiva máxima irradiada
FM	Modulação em Frequência (Frequency Modulation)
Gtmax	ganho máximo do sistema irradiante
HCGSI	Altura do centro geométrico do sistema irradiante
HNMT	altura efetiva acima do nível médio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	quilômetros
L	comprimento da linha
m	metros
MHz	megahertz
n°	número
NMR	Nível médio da radial
NMT	Nível médio do terreno
PBFM	Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada
Pc	perdas acessórias
Pd	perdas totais da linha em dB
Pl	perdas da linha
Pt	potência de saída do transmissor
Pv	perdas totais da linha em vezes
SIGAnatel	Sistema de Informações Geográficas da Anatel
UIT-R	União Internacional de Telecomunicações-Radiopropagação
Wrms	potência eficaz

1 Introdução

Visando aprofundar os conhecimentos em radiotransmissão, através deste estudo é apresentado os aspectos e considerações técnicas necessárias para projetar uma emissora de rádio em frequência modulada.

Comunicar-se, utilizando como meio ondas eletromagnéticas, já é um método bastante conhecido e difundido à muitos anos, consolidando-se historicamente como um dos meios de comunicação mais usados no mundo. Apesar da crescente e irreversível expansão da comunicação através da transmissão de dados, as emissoras de rádio ainda mantém seu espaço entre os usuários. Seja para ouvir músicas, notícias ou entretenimento em geral, este método de comunicação ainda mantém-se ativo devido à simplicidade para o acesso dos ouvintes, que já são culturalmente habituados à ouvir o rádio durante as suas atividades ou nos momentos de lazer.

Em municípios onde ainda prevalece entre seus habitantes as atividades rurais, as emissoras de rádio são de fato importantíssimas para estabelecer a comunicação e a interação entre as comunidades destas regiões, devido a falta de infraestrutura que possibilitaria também o uso dos meios mais modernos.

Para que a ANATEL autorize que uma emissora de rádio transmita seu sinal, fazendo uso de um dos canais disponibilizados e ainda vagos no plano básico, deve-se seguir e apresentar uma documentação técnica que esteja respeitando todos os requisitos apresentados na norma técnica¹, publicada no seu portal³⁴. Demostrar os procedimentos necessários para desenvolver um projeto que respeite esta norma é o principal objetivo do estudo apresentado neste trabalho.

¹<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/13-1998/168-resolucao-67/>

² (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 1998b)

³<http://www.anatel.gov.br/Portal/>

⁴ (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2013a)

1.1 **Objetivo geral**

Estudo e compreensão das normas técnicas, relacionadas à rádio FM e suas atualizações, juntamente com a utilização de ferramentas livres oferecidas pela ANATEL.

1.2 **Objetivo específico**

Realizar um estudo sobre as especificações técnicas necessárias para homologar um canal de rádio FM disponível no plano básico da ANATEL. Colocar em prática os procedimentos e conhecimentos obtidos das recomendações, aplicando em um cenário real.

1.3 **Motivação e justificativa**

Uma das razões para estudar o tema, além de adquirir maiores conhecimentos em radiotransmissão, é abordar as atualizações nas normas técnicas. Também para servir como referência para estudantes e futuros projetistas, pois, apesar de ser um tipo de projeto já muitas vezes executados em diversos cenários e situações, é grande a dificuldade para encontrar um modelo disponível para consulta. Este documento certamente pode servir de base para outros projetos de emissoras FM ou radiotransmissão em geral.

1.4 **Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, além da introdução e conclusão. O capítulo 2 aborda sobre a resolução que regulariza o uso de um canal⁵ por uma emissora de FM, inclusive apresentando o roteiro para elaboração de estudos técnicos seguido pelo projeto. Informa também sobre a recomendação utilizada pela norma, que pode ser usada pelo projetista para os cálculos de viabilidade do canal.

Em seguida, o capítulo 3 fala sobre o canal escolhido para desenvolver este projeto, suas características, oriundas da sua classe determinada pelo plano básico, e informações necessárias para a definição das áreas de cobertura da emissora durante o desenvolvimento do projeto.

Avançando ao capítulo 4, são apresentados os equipamentos básicos utilizados na composição de uma emissora FM e também os cálculos utilizados para definir as especificações de cada

⁵Um canal faz referência à uma frequência em FM, na faixa entre 87,4 e 108 MHz.

um destes equipamentos, visando o atendimento aos requisitos máximos definidos pela classe da emissora.

No capítulo 5 é apresentado, de forma sequencial, o desenvolvimento da emissora até a definição dos contornos das áreas de serviços. Já no capítulo 6, é feita a análise comparativa dos resultados obtidos com os requisitos impostos pela resolução para a classe da emissora proposta neste projeto.

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões encontradas após o desenvolvimento do projeto e sugestões de trabalhos futuros.

2 *Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1998*

A Resolução nº 67 aprova o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. Tem por objetivo disciplinar a utilização da faixa de 87,4 MHz a 108 MHz, no serviço de Radiodifusão sonora em Frequência modulada e em serviços nela executados, para oferecer um serviço de boa qualidade, evitar interferências sobre outros serviços de telecomunicações regularmente autorizados e reduzir possibilidades de danos físicos à população. Para isto, estabelece requisitos mínimos para os equipamentos utilizados em Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, afim de, além de atender o exposto anterior, racionalizar sua produção industrial.

Este é o documento principal que será usado para a realização deste projeto, pois informa todas as especificações mínimas necessárias para que uma emissora de rádio FM possa ser instalada e liberada para iniciar seus serviços. Um fator importante é sempre ficar atento às novas resoluções que atualizam este regulamento, para que o projeto possa atender às novas exigências.

A última resolução, que altera o regulamento aprovado na Resolução nº 67, é a de nº 546. Ela altera alguns aspectos importantes para o desenvolvimento do projeto. Como exemplo, pode ser citado a classificação das emissoras em função de seus requisitos máximos e as curvas de intensidade de campo (E(50,50) e E(50,10)), essas últimas vindas da Recomendação UIT-R P.1546.

As resoluções podem ser consultadas através do portal da ANATEL, através do link¹.

¹<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/>

2.1 Roteiro para elaboração de estudos técnicos

A Resolução nº67 contém um capítulo inteiro² que aborda um roteiro para elaboração de estudos técnicos, indicando diversos parâmetros técnicos que devem ser informados sobre a emissora para as diversas e possíveis situações.

Neste capítulo será abordado apenas as informações solicitadas que, particularmente, são necessárias para a homologação da emissora proposta neste estudo, pois o roteiro, apresentado na íntegra na resolução, apresenta diversas outras solicitações que cabem à cenários diferentes do estudado neste projeto.

Existem também algumas documentações, anexos e outras informações, que em casos reais devem ser apresentados (como exemplo: croquis da casa de equipamentos e da torre, endereçamentos detalhados, e informações sobre o engenheiro responsável pelo projeto), mas que não será necessário aqui neste momento, pois trata-se de um estudo didático, com foco apenas no desenvolvimento técnico do projeto.

Sendo assim, seguindo as orientações do roteiro para a elaboração de estudos técnicos, apresentam-se as informações que devem ser encontradas e definidas no decorrer deste projeto.

2.1.1 Estudo de viabilidade técnica de uma emissora

A primeira lista de informações que é solicitada faz referência ao estudo de viabilidade técnica da emissora.

Informações básicas

Conforme apresentado na resolução, as informações básicas para este estudo são as definições que seguem:

- Nome da entidade requerente.
- Localização da emissora objeto do estudo (cidade, UF).
- Propósito do estudo.

E também sobre as características técnicas pretendidas:

²Capítulo 9 - Roteiro para elaboração de estudos técnicos (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 1998a)

- Frequência de operação (MHz);
- N^o do canal;
- Classe;
- Tipo de sistema irradiante;
- Coordenadas geográficas de instalação.

2.1.2 Projeto de instalação de uma emissora

Neste momento é solicitado as informações técnicas sobre a instalação da emissora.

Memória Descritiva

A memória descritiva é um resumo das características da emissora, juntamente com as características técnicas do sistema irradiante e linha de transmissão.

Resumo das características da emissora:

1. Frequência de operação (MHz);
2. N^o do canal;
3. Potência de operação do transmissor (kW);
4. Classe;
5. Modo de operação (monofônico, estereofônico, com ou sem canal secundário).

Sistema irradiante:

1. Tipo de antena (omnidirecional ou diretiva);
2. Fabricante e modelo da antena;
3. Polarização (horizontal, vertical, circular ou elíptica); se elíptica, dar a razão entre a componente horizontal e vertical;
4. Ganho máximo em relação ao dipolo de meia-onda;
5. Tipo da estrutura de sustentação (auto-suportada ou estaiada);

6. Altura física total da estrutura de sustentação em relação à sua base (solo);
7. Altura do centro geométrico da antena em relação à base da estrutura de sustentação (solo);
8. Altitude da base da estrutura de sustentação (solo) sobre o nível do mar;
9. Altura do centro geométrico da antena sobre o nível médio do terreno.

Linha de transmissão de radiofrequência:

1. Fabricante e modelo;
2. Impedância característica;
3. Comprimento total;
4. Atenuação em dB por 100 metros;
5. Eficiência.

Informações sobre ERPmax e ERPaz:

1. ERP máxima (kW)
2. ERP, por radial (kW).

Enquadramento na classe:

1. ERP máxima proposta para cada radial;
2. ERP máxima proposta para cada radial, corrigida para a altura de referência sobre o nível médio do terreno por radial, para a classe da emissora, estabelecida na Tabela 1³;
3. Distância ao contorno de 66 dBm para cada radial;
4. Média aritmética das distâncias ao contorno de 66 dBm.

³Referente à tabela da resolução, mas também pode ser consultada na Tabela 3.2 deste documento.

Situação Geral

Distâncias aos contornos das diversas áreas de serviço, segundo cada radial, de acordo com:

1. Azimute de orientação em relação ao Norte Verdadeiro;
2. Altura do centro geométrico da antena com relação ao nível médio de cada radial;
3. Intensidade de campo ($\text{dB}\mu$);
4. Distância aos contornos 1, 2 e 3, em cada radial.

Nível Médio do Terreno

1. Azimute de orientação de cada radial, em relação ao Norte Verdadeiro;
2. Nível médio de cada radial;
3. Nível médio do terreno.

2.2 Recomendação UIT-R P.1546

A União Internacional de Telecomunicações - Radiocomunicações (UIT-R), através da Recomendação UIT-R P.1546 (UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES: SETOR DE RADIOCOMUNICAÇÕES., 2009), descreve um método prático para a previsão de cobertura ponto-área para serviços terrestres, na faixa de 30 a 3000 MHz, e foi adotada no lugar das curvas de nível de campo anteriormente utilizadas. Os procedimentos que seguimos neste trabalho, principalmente para definir as áreas de serviços, foram baseados nestes métodos.

2.2.1 Conceitos Básicos

A seguir serão descritos os parâmetros básicos mais utilizados nos cálculos. (RÉGIS, 2010)

Altura Acima do Nível Médio do Terreno

A altura acima do nível médio do terreno (H_{NMT}) é um valor que representa o nível do terreno ao redor da base transmissora.

Para encontrar o seu valor, deve-se obter cotas entre as distâncias de 3 e 15 Km da antena e fazer uma média aritmética dos pontos obtidos. As alturas podem variar de 10 a 1200 m,

conforme a recomendação, porém o documento também descreve um método para, caso seja necessário, extrapolar esses valores.

Curvas E(L,T)

São gráficos que representam a intensidade de campo excedida em $L\%$ das localidades e $T\%$ do tempo. O método é válido apenas para distâncias de 1 a 1000 km da antena transmissora. Os valores tabulados pela recomendação foram obtidos com frequências de valores nominais iguais a 100, 600 e 2000 MHz, HNMT de 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 e 1200 m e porcentagem de tempo de 1, 10 e 50%. Uma curva é traçada para cada tipo de percurso e frequência. Os percursos considerados são: terrestre, sobre o mar morno e sobre o mar frio.

Novamente são descritos métodos para obter intensidade de campo quando esses valores não forem exatamente iguais aos tabulados.

As curvas utilizadas neste estudo são a $E(50,50)$ e $E(50,10)$ que podem ser encontradas na resolução (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 1998b). (RÉGIS, 2010)

2.3 Adaptações da recomendação

Apesar da recomendação descrever métodos para obter valores precisos, a resolução introduz algumas adaptações, que facilitam os cálculos envolvidos. As adaptações necessárias para este estudo são descritas nesta seção.

2.3.1 Nível Médio do Terreno

Para efeitos de cálculo, no Brasil o nível médio do terreno (NMT) é calculado obtendo-se a média aritmética dos valores de nível médio radial (NMR) de, no mínimo, 12 radiais. O NMR por sua vez é obtido calculando a média aritmética de pelo menos 50 cotas igualmente espaçadas, compreendidas entre as distâncias de 3 a 15 km da antena transmissora.

As 12 radiais devem ser igualmente espaçadas de 30 em 30 graus, e deve incluir a radial do norte verdadeiro. (RÉGIS, 2010)

2.3.2 Altura da antena transmissora

Apesar de ser possível calcular a intensidade de campo para valores fora da faixa de 10 a 1200 m para altura da antena transmissora, a recomentação considera esses os valores máximos. Ou seja, quando a *HNMT* da antena for inferior a 10 m, deve ser tomado o valor de 10 m, e quando exceder os 1200 m, este é o valor que deve ser considerado. (RÉGIS, 2010)

3 Canal proposto

Quando fala-se em canal de rádio FM entende-se como um valor dentro da faixa de frequências em FM (entre 87,4 e 108 MHz), sendo esta a frequência central de transmissão do sinal deste canal. Para que possa ser autorizado pela ANATEL a utilização de um desses canais, além da documentação solicitada conforme a resolução, devem ser consideradas no projeto as características básicas do canal, conforme os requisitos referentes à sua classe.

3.1 Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada

O Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (PBFM) é definido e gerenciado pela ANATEL, e nele constam os canais FM previstos para uso em todo o território nacional. As classes dos canais disponibilizados também são definidas pelo PBFM. Os canais que ainda estão vagos podem ser consultados no portal da ANATEL¹ ².

3.1.1 Canalização

A faixa de radiodifusão sonora em frequência modulada estende-se de 87,4 MHz a 107,9 MHz, e é dividida em 103 canais (os canais 198,199 e 200 são para uso exclusivo das estações de ROADCOM³), cujas portadoras estão separadas de 200 KHz. Cada canal é identificado por sua frequência central, que é a frequência da portadora da estação de FM, e a cada canal é atribuído um número de 198 a 300, que será o seu identificador.

A tabela de canalização da faixa de FM atual foi publicada na Resolução nº546, de 1º de setembro de 2010⁴, que altera o Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora

¹<http://sistemas.anatel.gov.br/srd/Telalistagem.asp?PagSRD=/SRD/Relatorios/PlanoBasico/RelCanaisVagos.asp&OP=5&SISQSmodulo=9900>

² (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2013b)

³Serviço de Radiodifusão Comunitária

⁴ (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2010)

em Frequência Modulada. A Tabela 3.1, que segue, foi retirada desta resolução e apresenta a faixa de frequência para cada canal FM, definido pelo PBFM.

3.2 Características básicas do canal proposto

Ao analisar os canais disponíveis no Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada⁵⁶, observou-se a existência do canal 218, disponível na região do município de São Pedro de Alcântara.

O canal é enquadrado na classe C, sendo assim, deve seguir os requisitos que caracterizam os canais autorizados para esta classe (Figura 3.1).

Entidade	Latitude	Longitude	Canal	Azimute	ERP (KW)	CL	Obs.
Localidade: São Pedro de Alcântara	27S335800	48W481900	218			C	

Usuário: - Data: 08/05/2013 Hora: 15:38:17

Registro 1 até 1 de 1 registros

Figura 3.1: Consulta de canais disponíveis para uso - Portal da ANATEL

3.2.1 Enquadramento na classe

Como já mencionado, o canal usado para este projeto está enquadrado na classe C, conforme apresentado no portal da ANATEL (Figura 3.1) e, para que o projeto respeite as especificações desta classe, deve ser observado seus requisitos máximos, que podem ser verificados na Tabela 3.2.

⁵<http://sistemas.anatel.gov.br/srd/Telalistagem.asp?PagSRD=/SRD/Relatorios/PlanoBasico/RelCanaisVagos.asp&OP=5&SISQSmodulo=9900>

⁶ (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2013b)

Frequência (MHz)	Canal	Frequência (MHz)	Canal	Frequência (MHz)	Canal
87,5	198	94,5	233	101,5	268
87,7	199	94,7	234	101,7	269
87,9	200	94,9	235	101,9	270
88,1	201	95,1	236	102,1	271
88,3	202	95,3	237	102,3	272
88,5	203	95,5	238	102,5	273
88,7	204	95,7	239	102,7	274
88,9	205	95,9	240	102,9	275
89,1	206	96,1	241	103,1	276
89,3	207	96,3	242	103,3	277
89,5	208	96,5	243	103,5	278
89,7	209	96,7	244	103,7	279
89,9	210	96,9	245	103,9	280
90,1	211	97,1	246	104,1	281
90,3	212	97,3	247	104,3	282
90,5	213	97,5	248	104,5	283
90,7	214	97,7	249	104,7	284
90,9	215	97,9	250	104,9	285
91,1	216	98,1	251	105,1	286
91,3	217	98,3	252	105,3	287
91,5	218	98,5	253	105,5	288
91,7	219	98,7	254	105,7	289
91,9	220	98,9	255	105,9	290
92,1	221	99,1	256	106,1	291
92,3	222	99,3	257	106,3	292
92,5	223	99,5	258	106,5	293
92,7	224	99,7	259	106,7	294
92,9	225	99,9	260	106,9	295
93,1	226	100,1	261	107,1	296
93,3	227	100,3	262	107,3	297
93,5	228	100,5	263	107,5	298
93,7	229	100,7	264	107,7	299
93,9	230	100,9	265	107,9	300
94,1	231	101,1	266		
94,3	232	101,3	267		

Tabela 3.1: Canalização da faixa de FM.

Porém, a resolução aceita algumas diferenças aos requisitos apresentados, desde que, ainda assim, respeite algumas outras condições também informadas. Segue estas observações, que foram publicadas na Resolução n° 546⁷ (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2010):

CLASSES	REQUISITOS MÁXIMOS			
	POTÊNCIA (ERP)		DISTÂNCIA MÁXIMA AO CONTORNO PROTEGIDO	ALTURA DE REFERÊNCIA SOBRE O NÍVEL MÉDIO DA RADIAL (m)
	kW	dBk	(66 dBm) (km)	
E1	100	20,0	78,5	600
E2	75	18,8	67,5	450
E3	60	17,8	54,5	300
A1	50	17,0	38,5	150
A2	30	14,8	35,0	150
A3	15	11,8	30,0	150
A4	5	7,0	24,0	150
B1	3	4,8	16,5	90
B2	1	0	12,5	90
C	0,3	-5,2	7,5	60

Tabela 3.2: Classificação das emissoras em função de seus requisitos máximos.

- a) Poderão ser utilizadas alturas de antena ou ERP superiores às especificadas na Tabela 3.2, desde que não seja ultrapassada, em qualquer direção, a distância máxima ao contorno protegido.
- b) Apenas para as emissoras de classe C poderá ser permitida a utilização de transmissor com potência nominal inferior a 50 W.
- c) As distâncias apresentadas na Tabela 3.2 foram obtidas para o canal 201 e servem como referência para elaboração de estudos sem o uso de ferramentas computacionais.

3.3 Nível Médio do Terreno e Altura Acima do Nível Médio do Terreno

A seguir será apresentado o método usado para o reconhecimento geométrico do local onde será instalado a emissora. Estes dados são de extrema importância para o sucesso do projeto.

⁷<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/25-2010/14-resolucao-546>

3.3.1 Nível Médio da Radial (NMR) e Nível Médio do Terreno (NMT)

A resolução exige que sejam traçadas no mínimo 12 radiais com espaçamento angular de 30° e com o mínimo de 50 cotas, igualmente espaçadas. O ponto previamente definido, como sendo o local onde a antena será fixada, será a origem das radiais. Para traçar estas radiais pode ser usados os mapas disponíveis no site⁸ do IBGE (BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA., 2010), na escala 1 : 50.000. Através destas radiais pode-se obter as altitudes do relevo ao redor da base da antena. Esses valores servirão de base para definir todas as características do nosso sistema. As radiais foram tracejadas a partir das coordenadas 27°34'02.72"S com 48°48'33.71"O (ponto referente à base da torre da antena), e deve, obrigatoriamente, incluir a direção do Norte Verdadeiro.

Após os 12 raios traçados, calcula-se o Nível Médio da Radial (*NMR*) para cada uma delas. O *NMR* é definido pela média aritmética de todas as cotas da radial, que, de acordo com a norma, devem ser compreendidas no trecho entre 3 e 15 quilômetros. Para obter esses valores das cotas, no caso os 50 valores correspondentes as altitudes do terreno dentro da cada radial, existe uma ferramenta usada para o auxílio aos estudos de viabilidade, disponível no portal *online*⁹ da ANATEL, o SIGAnatel¹⁰. Neste projeto é usado seus recursos para a identificação de perfil de terreno (projeção geográfica), através de gráficos gerados por ele. Mas, para conseguir usar a ferramenta, é preciso obter as coordenadas das 12 radiais, nas distâncias de 3 km e 15 km e partindo da base da emissora.

Para buscar estes valores deve ser usado como referência os valores informados no mapa (referências de coordenadas) e sua escala. Numa escala de 1 : 50.000 cada centímetro no mapa equivale à 500 m, então, as radiais devem ter 30 centímetros para atingir o ponto equivalente à 15 km.

Definidos os pontos de 3 km e 15 km em todas as radiais, deve ser buscado as coordenadas de cada um desses 24 pontos no mapa. Utilizando a regra de três, podem ser definidas todas as coordenadas necessárias. Traçando uma linha horizontal e uma vertical, partindo dos pontos determinados antes, são encontrados os valores de referência para as coordenadas que se busca, aplica-se a regra de três e defini-se todas as coordenadas que serão usadas na ferramenta SIGAnatel.

A Tabela 3.3 mostra as coordenadas dos pontos definidos no mapa, a Figura 3.2 mostra o

⁸ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapa_municipal_estatistico/sc/

⁹<http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel/>

¹⁰(BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2013c)

layout da ferramenta SIGAnatel e a Figura 3.3 detalha as 12 radiais traçadas, partindo da base da torre.

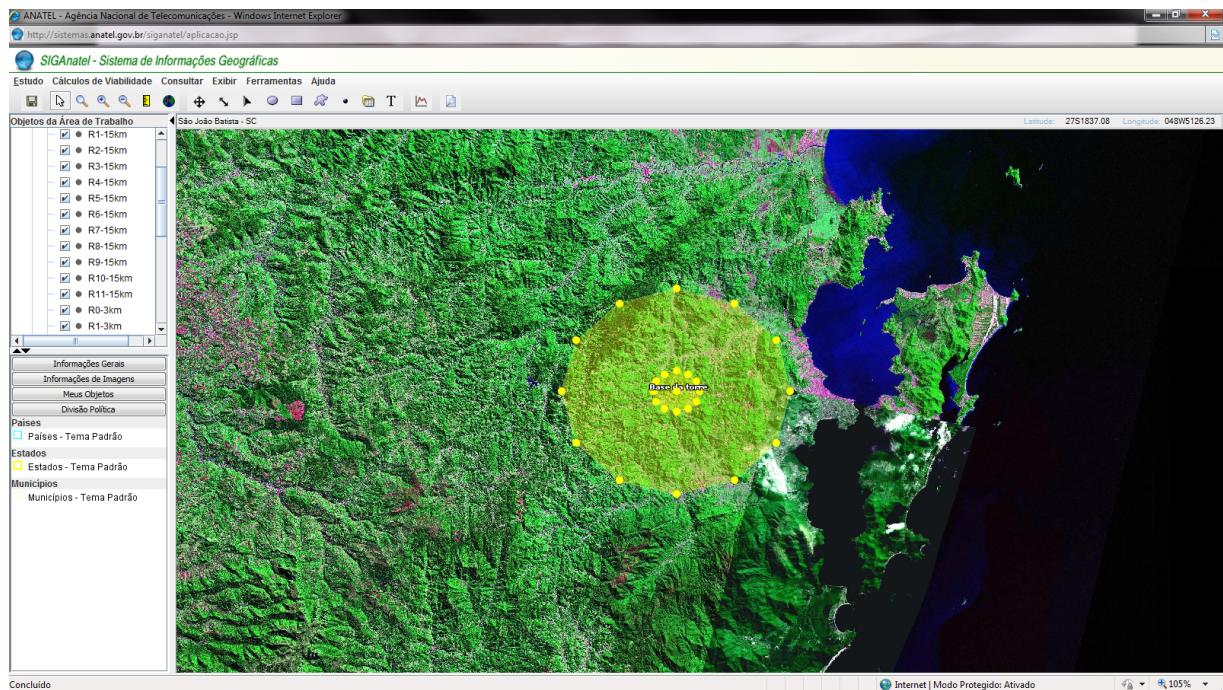


Figura 3.2: Demonstração do layout do aplicativo da SIGAnatel.

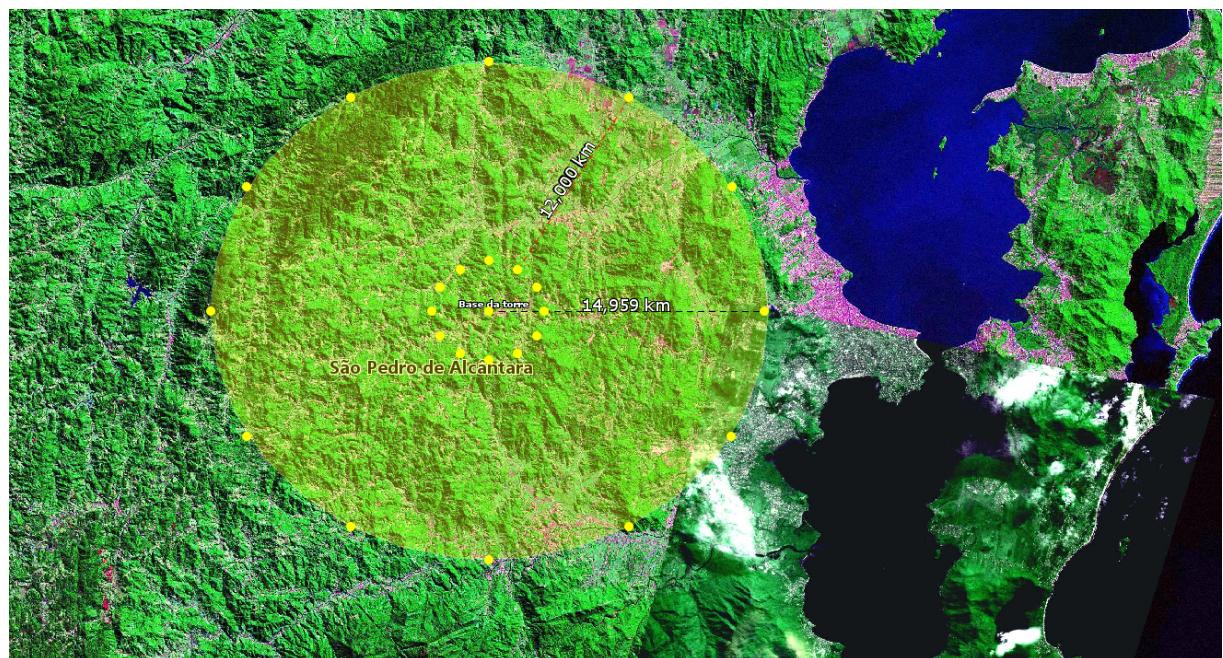


Figura 3.3: Traçado das 12 radiais partindo da base da emissora.

Esta é uma ferramenta que apresenta um gráfico com a projeção geográfica desejada. Para usar este recurso basta apenas inserir as coordenadas dos pontos inicial e final de cada radial (3 km e 15 km) e o passo, em metros, desejado para a construção da curva (12km/quantidade de

passos).

O gráfico Figura 3.4 apresenta um exemplo do retorno que a aplicação nos disponibiliza. Note é usado um passo de 240 metros para cada medição, este é o valor mínimo exigido pela resolução. A partir deste gráfico, é retirado os valores para descobrir o *NMR* de cada radial (ANEXO D).

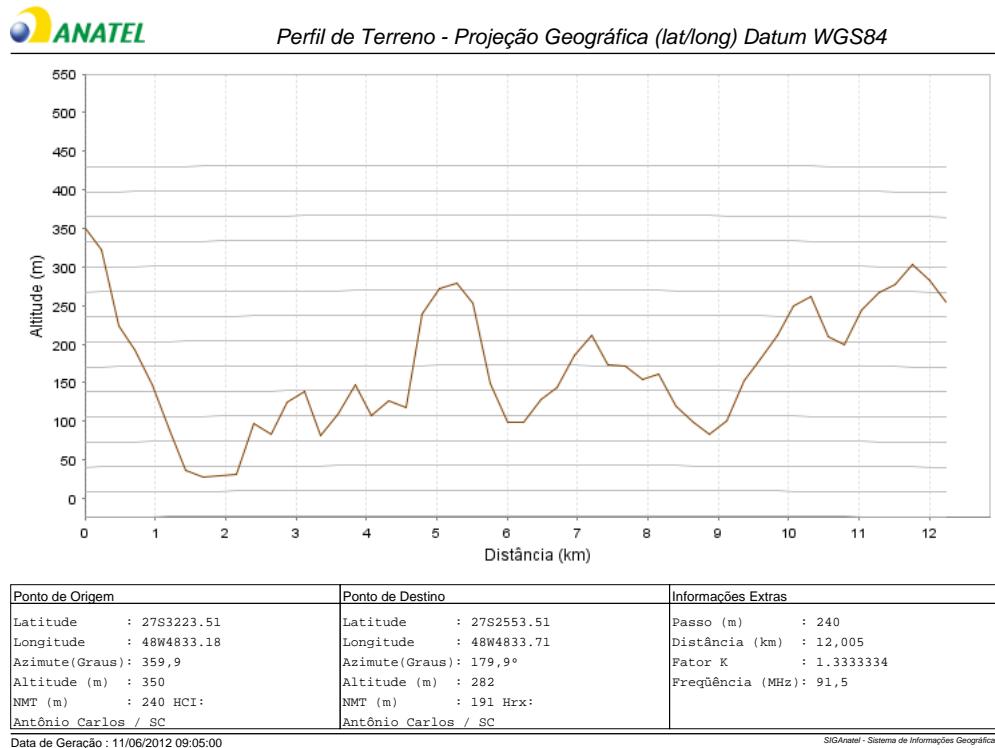


Figura 3.4: Gráfico do NMR da Radial 1 usando o aplicativo da SIGAnatel

De posse dos resultados dos *NMR* pode-se encontrar o nível médio do terreno (*NMT*), que é a média aritmética das 12 *NMR*, tornando o terreno simbolicamente plano e de altura conhecida.

A Tabela 3.4 apresenta os valores encontrados nas 12 radiais. Esta tabela indica as altitudes encontradas dos 50 pontos ao longo de cada radial, possibilitando obter a média para encontrar o *NMR* e, consequentemente, o *NMT* de 288,33 m, como pode ser observado.

Os *NMR's* encontrados neste processo serão usados para obter todos os valores de intensidade de sinal para cada uma das radiais, como informaremos mais a frente.

3.3.2 Altura Acima do Nível Médio do Terreno

No momento que já temos definidos os níveis médios do terreno para cada uma das 12 radiais, podemos encontrar o valores de *HNMT* (Altura do nível médio do terreno) também

Radial	Latitude(3 Km)	Longitude(3 Km)	Latitude(15 Km)	Longitude(15 Km)
0°	27° 32' 23,51" S	48° 48' 33,71" O	27° 25' 53,51" S	48° 48' 33,71" O
30°	27° 32' 42,16" S	48° 47' 38,18" O	27° 27' 04,86" S	48° 44' 00,00" O
60°	27° 33' 15,40" S	48° 47' 00,00" O	27° 30' 00,00" S	48° 40' 38,18" O
90°	27° 34' 02,72" S	48° 46' 45,45" O	27° 34' 02,72" S	48° 39' 33,64" O
120°	27° 34' 52,37" S	48° 47' 00,00" O	27° 38' 07,78" S	48° 40' 38,18" O
150°	27° 35' 25,46" S	48° 47' 38,18" O	27° 41' 05,67" S	48° 44' 00,00" O
180°	27° 35' 38,11" S	48° 48' 33,71" O	27° 42' 10,54" S	48° 48' 33,71" O
210°	27° 35' 25,46" S	48° 49' 29,09" O	27° 41' 05,67" S	48° 53' 05,45" O
240°	27° 34' 52,37" S	48° 50' 09,09" O	27° 38' 07,78" S	48° 56' 29,09" O
270°	27° 34' 02,72" S	48° 50' 25,63" O	27° 34' 02,72" S	48° 57' 40,00" O
300°	27° 33' 15,40" S	48° 50' 09,09" O	27° 30' 00,00" S	48° 56' 29,09" O
330°	27° 32' 42,16" S	48° 49' 29,09" O	27° 27' 04,86" S	48° 53' 05,45" O

Tabela 3.3: Coordenadas indicando as referências latitudinais e longitudinais de cada radial.

para cada radial. Estes valores serão usados para definir os valores de intensidade do campo, que formará o contorno protegido de 66 dBm. Os valores de *HNMT* serão aplicados posteriormente nas Curvas de Intensidade de Campo, que será abordada com maiores detalhes mais à frente.

O *HNMT* é definido pela equação 3.1.

$$HNMT = CBT + HCGSI - NMT \quad (3.1)$$

Onde:

CBT = Cota da base da torre (Altura do terreno onde será instalada a base da emissora);

HCGSI= Altura do centro geométrico do sistema irradiante;

NMT = Nível Médio do Terreno.

Utilizando o SIGAnatel, informando as coordenadas 27°34'02.72"S e 48°48'33.71"O, buscamos a altura do terreno da nossa base, que resultou em 285 m acima do nível do mar. Assim, é definido o primeiro parâmetro, o *CBT*.

$$CBT = 285m$$

Mais um fato curioso, e compreensível, é que o *CBT* tem um valor muito próximo do já encontrado *NMT* (288,33 m), demonstrando que o relevo, nas redondezas, tende à manter a mesma altura do ponto escolhido como base, porém, deve-se ter cautela com este valor, pois trata-se de uma média das 12 radiais.

Tabela 3.4: Mapeamento das altitudes de cada radial.

Ao analisar os valores de *NMR* apresentados na Tabela 3.4, pode ser notado que a região voltada ao Oeste (Sudoeste - Noroeste) da base emissora, apresenta níveis de altura do terreno maiores que a base, enquanto as outras regiões são todas mais baixas. Os obstáculos atrapalham na propagação do sinal, então deverá ser feito um esforço maior nos locais onde os terrenos são mais elevados que a antena, e, ao mesmo tempo, cuidar para que o contorno protegido seja respeitado.

Embora a vida útil de uma torre de estrutura metálica (a mais utilizada) e a de um transmissor, sejam ambas de cerca de 20 anos, o transmissor apresenta, além de um custo de manutenção muito superior ao da torre, alto gasto de energia elétrica, fazendo com que, normalmente, seja mais recomendável o aumento da altura da torre, em vez da potência do transmissor.

Sendo assim, sabendo que a emissora está localizada em uma área de relevo acidentado e com algumas radiais apresentando um *NMR* mais elevado que a base, ficará definida a altura da torre em 55 metros¹¹.

Para definir a *HCGSI*, será preciso ainda obter o valor da altura do Centro de Fase do Sistema Irradiante. Este valor é encontrado nas especificações da antena Dipolo 1/2 Onda para FM do fabricante IDEAL, conforme ANEXO A, que será usada no projeto e varia conforme o número de elementos usados na estrutura do sistema irradiante. De acordo com a especificação da antena, usando três elementos para irradiar o sinal e usando como referência os dados referentes à sistemas com frequência de 88,1 MHz, que é a frequência que mais se aproxima da que será propagada pela emissora (91,5 MHz), o centro de fase do sistema fica em 4244,5 mm ou 4,244 m. Efetuando-se a soma entre a altura da torre e a altura do Centro de Fase do Sistema Irradiante, encontra-se o seguinte valor

$$HCGSI = 55m + 4,244m = 59,244m$$

Agora já estão definidas todas as variáveis que compõem a equação, deve ser buscado o *HNMT*, conforme resultado da equação

$$HNMT = 285m + 59,244m - 288,33m$$

$$HNMT = 55,914m$$

¹¹Para definir este valor foi considerado que a altura máxima da antena não deve ultrapassar os 60 metros acima do *NMT*, conforme definido na tabela de requisitos máximos. Com este valor de altura da torre, somado ao centro de fase do sistema (4,244 m), a altura da antena (*HCGSI*) fica em 59,244 metros

Radial	NMR	HNMT
0°	158,38	185,86
30°	73,46	270,78
60°	169,14	175,10
90°	166,20	178,04
120°	250,46	93,78
150°	196,86	147,38
180°	151,58	192,66
210°	394,80	-50,55
240°	502,10	-157,85
270°	579,60	-235,35
300°	412,10	-67,85
330°	405,32	-61,07

Tabela 3.5: Valores de HNMT para cada radial.

Este primeiro valor de *HNMT* encontrado servirá somente como referência. Através dele, será possível comprovar que a antena estará numa altura dentro do limite estabelecido pela resolução (60 m), considerando a média de todas as radiais (*NMT*).

Agora, esta equação deve ser usada trocando o valor do *NMT* pelos valores de *NMR* e, assim, encontrar o *HNMT* de cada radial, isoladamente.

A Tabela 3.5 apresenta os valores de *HNMT* obtidos. Esse valores informam a diferença entre a altura da antena e o *NMR* da radial correspondente.

Os resultados negativos informam que, na direção das radiais correspondentes à estes valores, o nível do terreno é mais alto que a altura da antena, fixada em 344,24 m (resultado da soma entre a *HCGSI* e *CBT*). Então, conclui-se que o sinal irradiado para estas direções encontram obstáculos que devem interferir na sua propagação. A importância desta informação está na otimização da área de cobertura da emissora, e será lembrada mais adiante.

3.4 Contorno protegido

O contorno protegido de uma estação de rádio FM corresponde ao lugar geométrico onde a intensidade de campo do sinal apresentar o valor de 66 dB μ (2 mV/m)(Contorno 2). Este contorno tem como finalidade atender a área de serviço urbana. Uma vez que a cobertura desta área estiver atendendo os padrões da resolução, as demais áreas de serviços, a área de serviço primária (Contorno 1), limitada pelo contorno de 74 dB μ (5 mV/m) e a área de serviço rural (Contorno 3), compreendida entre o contorno 2 e o contorno de 54 dB μ (0,5 mV/m), também estara de acordo com a norma.

O que vai determinar toda a extensão deste contorno será a escolha dos equipamentos e especificações usados no sistema irradiante, que devem ser definidos da maneira que melhor atenda a geografia da localidade e que também respeite todas as regularidades expostas na resolução determinada pela ANATEL para a classe do canal proposto.

3.4.1 Interferências

A resolução mostra, em várias passagens, bastante rigor no que diz respeito à interferências entre canais. Apesar de informar que o PBFM foi organizado para evitar interferências, a norma exige que este quesito esteja incluso no estudo de viabilidade técnica, conforme previsto no subitem 3.6.2 da resolução (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 1998b).

Porém, a norma também informa que, no caso do sistema irradiante estar fixado próximo das coordenadas informadas no PBFM para este canal, o estudo de interferências torna-se dispensável, conforme segue no trecho da resolução:

8.3.1.2 Nos projetos de instalação de emissoras, bem como nos de mudança de localização de sistema irradiante, o demonstrativo de compatibilidade do subitem 3.6.2 é indispensável, a menos que as coordenadas geográficas de seu sistema irradiante estejam fixadas no PBFM (BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 1998b).

O caso do sistema proposto é exatamente este, ou seja, este sistema irradiante está fixado muito próximo das coordenadas definidas para o canal no PBFM, conforme apresentado na Figura 3.5. Sendo assim, o projeto está isento da obrigação de buscar e apresentar estas informações.



Figura 3.5: Proximidade entre a base do sistema e a coordenada indicada no PBFM, para o canal proposto (GOOGLE MAPS., 2013).

4 Equipamentos básicos que compõe a emissora

Agora que já é conhecida geograficamente a localidade onde será fixada a emissora, e que também já foram definidos os outros aspectos técnicos primários necessários, a próxima etapa é a construção do conjunto de equipamentos que formará a emissora.

4.1 O sistema irradiante

Um sistema irradiante é composto basicamente de uma antena, um guia de onda, e um transmissor. Cada um dos componentes apresenta características próprias, variando de fabricante. No levantamento das informações são apresentadas as características que influenciam diretamente nos cálculos.

A seguir serão apresentadas as características do sistema irradiante, bem como os critérios usados para a utilização de cada um dos equipamentos. Também serão apresentados os cálculos que usados para encontrar os valores das potências irradiadas pelo sistema.

4.1.1 Antena

A antena utilizada neste projeto é uma Dipolo 1/2 onda e de polarização vertical. O diagrama de irradiação desta antena é útil para o relevo acidentado da região de São Pedro de Alcântara. Como pode ser visto na Figura 4.1, o diagrama apresenta uma antena com uma irradiação levemente direcionada. O ANEXO A contém o documento do fabricante da antena na íntegra.

4.1.2 Linha de transmissão e conectores

Conforme a potência máxima irradiada e a antena escolhida, fica definido, para o guia de onda, o uso do padrão EIA 1-5/8". Optou-se pelo 1-5/8"CELLFLEX® Lite Low-Loss

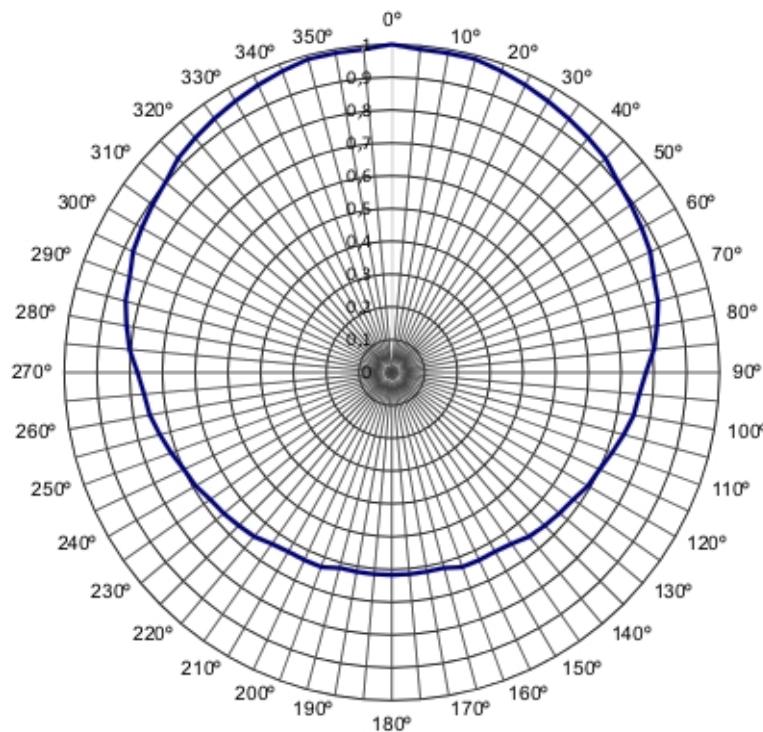


Figura 4.1: Diagrama de Irradiação da Antena Dipolo 1/2 Onda para FM

Foam-Dielectric Coaxial Cable, da fabricante RFS, que apresenta uma atenuação de apenas $0.663dB/100m$, operando numa frequênciancia de 88 MHz, conforme especificações em ANE-XO B. Como a frequência do canal que está sendo projetado é de 91,5 MHz, é adotado o valor de $0.680dB/100m$ (valor encontrado usando como base a tebela de atenuação, presente na especificação técnica).

Como já definido, a estrutura da torre onde será alocada a antena tem uma altura de 55 m. Sendo assim, o comprimento do guia de onda será de 65 m, visando que ele será conectado ao transmissor, que deverá estar abrigado dentro de uma estrutura adequada (casa do transmissor). Portanto, a atenuação introduzida pelo cabo será de 0,442 dB.

Continuando com os elementos atenuantes, devem também ser consideradas as perdas causadas pelos conectores, também chamadas de perdas acessórias (P_c , em dB). Estas perdas são provenientes de eventuais conectores e divisores utilizados na linha, será assumida uma perda adicional de 2 dB (RÉGIS, 2010) .

4.1.3 Transmissor

A única característica de um transmissor levada em consideração nos cálculos é a sua potência de saída. Essa potência é informada nas especificações técnicas, e dada geralmente

em Wrms (potência média).

Baseando-se em pesquisas nos sites de fabricantes de transmissores nacionais, foram encontrado transmissores com potências nominais de 25, 100, 150 e 300 Wrms. Visando atender a resolução, que limita a potência da emissora de rádio em 300 Wrms para a classe C, é usado nos cálculos um transmissor de 150 Wrms, que, combinado com o ganho da antena e com a eficiência da linha de transmissão, terá que resultar numa potência $P(erp) \leq 300Wrms$.

link http://www.videolinkpro.com.br/transmissor_fm_ex150.shtml

4.1.4 Cálculos de ERPmax, ERPaz e orientação da antena

A seguir, serão mostrados os ajustes e cálculos necessários para obter o resultado mais eficiente e dentro da norma.

Potência Efetiva Irradiada Máxima (ERPmax)

A Potência Efetiva Irradiada Máxima é a máxima potência que a emissora poderá transmitir o seu sinal, que é o resultado da combinação das especificações dos elementos que a compõe. A equação 4.1 é usada para encontrar a $ERPmax$. Ela é composta de variáveis que correspondem aos equipamentos e suas características no sistema (RÉGIS, 2010).

$$ERPmax = Pt \times Gtmax \times Ef \quad (4.1)$$

A variável Pt representa a potência de saída do transmissor em Wrms, a $Gtmax$ é o ganho máximo da antena, e Ef a eficiência da linha de transmissão.

Através das especificações do fabricante, podem ser obtidos a potência de saída do transmissor e o ganho máximo da antena. Caso o $Gtmax$ esteja somente representado em dBd é usado a equação 4.2 para efetuar a conversão para escala linear (RÉGIS, 2010).

$$Gtmax(dBd) = 10^{0,1 \times Gtmax(dBd)} \quad (4.2)$$

A eficiência da linha de transmissão deriva das perdas do sistema. Para calcular as perdas na linha, usa-se a equação 4.3 (RÉGIS, 2010).

$$Pl = \frac{L \times Al}{100} \quad (4.3)$$

O parâmetro L informa o comprimento do guia de onda em metros, Al representa a atenuação do guia a cada 100 m de comprimento, em dB/100 m. Será considerado o valor de 2 dB como perda com acessórios (Pc), provenientes de conectores e divisores de linha, que deve ser somado ao valor Pl , resultando então na perda total da linha (Pd), em dB, conforme equação 4.4 (RÉGIS, 2010).

$$Pd = Pl + Pc \quad (4.4)$$

Converte-se as perdas totais para escala linear (Pv) (RÉGIS, 2010):

$$Pv = 10^{0,1 \times Pd}$$

Por fim, para definir o último parâmetro faltante para encontrar o $ERPmax$, inverte-se o último resultado (equação 4.5), obtendo a eficiência da linha (RÉGIS, 2010).

$$Ef = 1/Pv \quad (4.5)$$

Potência Efetiva Irradiada por Azimute (ERPaz)

A $ERPmax$ representa a potência máxima, mas, conforme o diagrama de irradiação da antena, na prática essa potência será irradiada somente em uma direção. Então, a $ERPaz$ é usada e necessária para encontrar os valores de potência em cada radial. Com esses valores definidos, é possível encontrar as distâncias e traçar os contornos das áreas de serviço do sistema.

A $ERPaz$ é simplismente a parcela do $ERPmax$ irradiada em um azimute determinado, e é calculada pela equação 4.6

$$ERPaz = ERPmax \times (E/Emax)^2 \quad (4.6)$$

Onde $E/Emax$ representa a porcentagem da potência máxima que é irradiada no azimute correspondente. Ela pode ser buscado diretamente das especificações técnicas do fabricante.

Orientação da antena

Como pode ser visto na Tabela 3.5, existem valores de $HNMT$ negativos. Em locais onde o terreno é acidentado, o sinal transmitido apresentará mais dificuldades em propagar-se nas

direções onde o terreno é mais alto que a antena, atenuando-o conforme vai se distanciando da origem.

Na região onde está sendo projetado a emissora, o azimute 270° é a direção onde o *NMR* é o mais alto e, consequentemente, o *HMNT* mais negativado. Gradativamente, a altura terrena nesta região vai baixando junto com as outras direções das radiais. Afim de amenizar a atenuação do sinal neste cenário, a antena será direcionada para o oeste, ou seja, o azimute 0° da antena, que conforme a especificação irradia o *ERPmax* para esta direção, ficará apontado para o azimute 270° da base. Com esta atitude, o sinal está sendo irradiado com a maior potência possível para estas regiões.

5 Desenvolvendo a emissora FM

Agora que já é conhecido detalhadamente o local em que vamos trabalhar, os equipamentos que vão compor a emissora, e também quais caminhos devem ser seguidos para desenvolver o projeto, tem-se o início do desenvolvimento.

5.1 Especificações definidas

Ao decorrer desta leitura, já foram mostrados alguns levantamentos que apresentam seus valores definitivos. Apresentou-se na Tabela 3.5 o mapeamento geográfico da localidade com os valores de *NMR* e *HNMT*, e agora também pode ser observada a Tabela 5.1, que agrupa as especificações técnicas já definidas até este momento.

Os próximos passos serão destinados à mostrar os valores que comprovarão que esta configuração do sistema está respeitando todos os requisitos máximos, principalmente o contorno protegido de 66 dBm.

Canal	218
Frequência	91,5 MHz
Classe	C
Altura do centro geométrico do sistema irradiante (HNMT)	55,914 metros
Orientação do Norte Verdadeiro	90° no diagrama de irradiação
Cota da base da torre	285 metros
Comprimento da linha de transmissão	65 metros
Altura da antena	59,244 metros
Atenuação do guia de onda e conectores	0,442 dB (para 65 metros)
Ganho da antena	4,77 dBd (para 3 elementos)
Potência do transmissor	0,150 kW

Tabela 5.1: Resumo das especificações técnicas da emissora.

5.2 Definindo as potências *ERPmax* e *ERPaz*

O limite máximo da potência que o sistema pode usar para irradiar o sinal está fixado em 0,300 kW. Já são conhecidos todos os fatores necessários para saber o valor de *ERPmax* da emissora. Agora serão apresentados os cálculos, começando pela perda da linha

$$Pl = \frac{65 \times 0,680}{100}$$

$$Pl = 0,442dB$$

Soma-se este resultado à atenuação dos conectores

$$Pd = 0,442 + 2$$

$$Pd = 2,442dB$$

Convertendo para perdas totais em escala linear (*Pv*)

$$Pv = 10^{0,1 \times 2,442}$$

$$Pv = 1,754$$

Inverte-se este resultado para obter a Eficiência da linha

$$Ef = 1/1,754$$

$$Ef = 0,569$$

Portanto, a potência de saída do sistema fica

$$ERPmax = 0,15 \times 3 \times 0,569$$

$$ERP_{max} = 0,256kW$$

Se for usada a notação em dB

$$ERP_{max} = -5,91dBk$$

Este resultado atende o estabelecido pela resolução, é menor que 300 W, então já podem ser iniciados os cálculos de ERP_{az} para cada um dos azimutes traçados.

Como já mencionado anteriormente, a antena ficou posicionada apontando o seu 90° em direção ao norte verdadeiro, assim ficando de frente para o azimute 270° da emissora.

Considerando a posição da antena e os valores de E/E_{max} (disponível na especificação da antena - ANEXO A), segue o cálculo para o azimute 0°

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,256kW \times (0,78)^2 \quad (5.1)$$

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,256kW \times 0,6084$$

$$ERP_{az}(0^\circ) = 0,1557kW$$

Convertendo para dBk ($10 \times \log$):

$$ERP_{az}(0^\circ) = -8,07dBk$$

Repete-se este procedimento para todas as outras 11 radiais. A Tabela 5.2 está completa, com todos os valores de E/E_{max} e ERP_{az} para todas as radiais.

5.3 Definindo os contornos das áreas de serviços

Definir a distância do contorno protegido, cobertura da área de serviço urbana com potência mínima de 66 dBm, é o principal objetivo deste estudo. Esta distância é a média aritmética das distâncias a este contorno, segundo cada radial, é o que irá identificar a classe desta emissora. Para a classe C, o Contorno 2 não deve ultrapassar 7,5 km, sendo este o resultado da média das

Radial	E/Emax	ERPaz(kW)	ERPaz(dBk)
0°	0,78	0,1560	-8,07
30°	0,69	0,1220	-9,13
60°	0,63	0,1017	-9,92
90°	0,62	0,0985	-10,06
120°	0,63	0,1017	-9,92
150°	0,69	0,1220	-9,13
180°	0,78	0,1560	-8,07
210°	0,88	0,1985	-7,02
240°	0,95	0,2314	-6,35
270°	1,00	0,2564	-5,91
300°	0,95	0,2314	-6,35
330°	0,88	0,1985	-7,02

Tabela 5.2: Valores de ERPaz para cada radial.

12 radiais.

A norma também solicita as definições das outras duas áreas de serviços, a área de serviço primário (74 dBm) e a área de serviço rural (54 dBm), Contornos 1 e 3, respectivamente. O conjunto desses 3 contornos compõem a área de serviço da emissora.

Conhecidas as potências de irradiação de cada uma das radiais do sistema, a próxima etapa é identificar cada uma das distâncias que formarão os contornos. As curvas de intensidade de campo $E(50,50)$ serão usadas para esta finalidade. Através destas curvas são obtidas as relações entre potência e relevo, necessárias para determinar as distâncias dos contornos das áreas de serviços. Tais curvas baseiam-se em uma potência efetiva de 1 kW irradiado por um dipolo de 1/2 onda, em espaço livre, que produz uma intensidade de campo não atenuada, a 1 km, de aproximadamente 107 dB μ .

5.3.1 Área de Serviço Urbana (66 dBm)

Como já mencionado, a Área de Serviço Urbana é o contorno principal do projeto. Para identificar se a emissora está respeitando o contorno de 7,5 km, deve-se fazer o uso das curvas de intensidade, combinadas com as potências ERPaz. Como as potências efetivas irradiadas, anteriormente encontradas, são inferiores à 1 kW, deve ser feito um ajuste, subtraindo estes valores em dBk do valor para o contorno desejado. O resultado será o valor referência do eixo das ordenadas. O ponto de intersecção será o valor de $HMNT$ correspondente à radial desta potência, que deverá ser encontrado entre as escalas apresentadas nas curvas de intensidade.

Definido o ponto, busca-se o valor, em km, que está em escala logarítmica no eixo das

abscissas. A Figura 5.1 mostra um exemplo deste procedimento para os valores referentes à radial 0° . À esquerda está destacado o valor resultante da equação 5.2, e através do valor de $HMNT$ de 185,86 m na radial 0° , utilizando a curva correspondente obtem-se o valor de 10,5 km.

$$66dBm - (-8,07dBk) = 74,07dBm \quad (5.2)$$

Então, à 10,5 km da base da emissora, em direção ao norte verdadeiro, a intensidade do sinal apresenta uma potência de 66 dBm. Nota-se que esta distância ultrapassa o valor de limite de 7,5 km, porém, devido à irregularidade do terreno, é permitido que algumas distâncias ultrapassem o limite máximo, desde que a média geral não ultrapasse. Para que esta exclusividade seja permitida, a potência ERPmax e altura da antena não podem estar excedendo os limites de 0,3 KW e 60 metros respectivamente, sendo este o nosso caso.

Executando este procedimento em todas as 12 radiais, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.3. Para os valores de $HMNT$ negativos é considerado a curva de menor valor como referência (10 m).

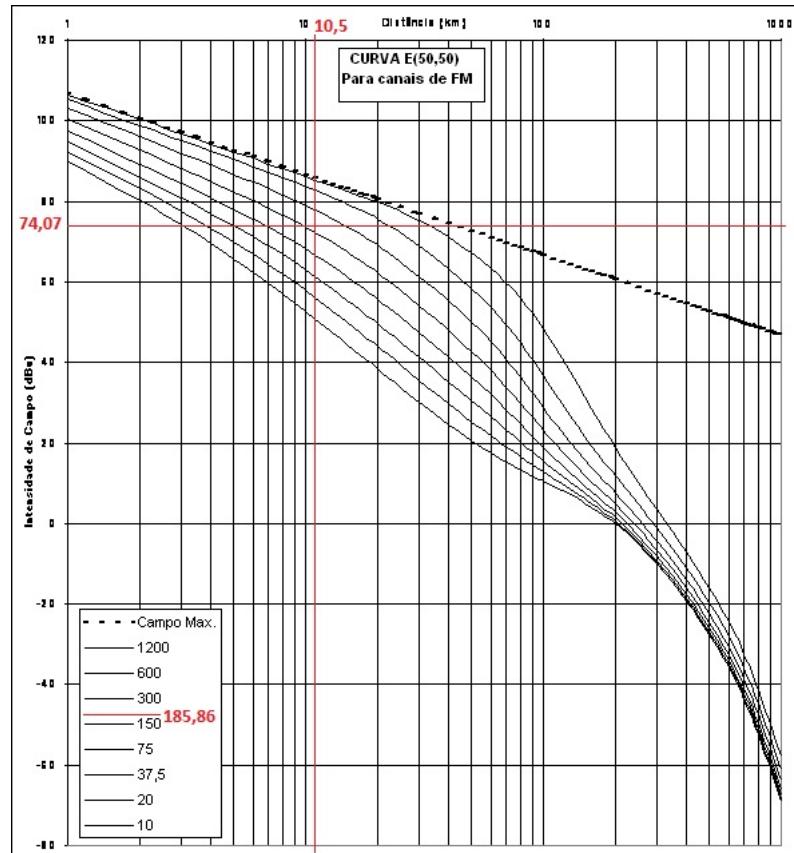


Figura 5.1: Utilizando as curvas E(50,50) para encontrar as distâncias do contorno protegido.

Radial	ERPaz(dBk)	HMNT (m)	66 dBm	Contorno 2 (km)
0°	-8,07	185,86	74,07	10,5
30°	-9,13	270,78	75,13	11
60°	-9,92	175,10	75,92	9
90°	-10,06	178,04	76,06	9
120°	-9,92	96,78	75,92	7
150°	-9,13	147,38	75,13	9
180°	-8,07	192,66	74,07	11
210°	-7,02	-50,55	73,02	3,2
240°	-6,35	-157,85	72,35	3,4
270°	-5,91	-235,35	71,91	3,6
300°	-6,35	-67,85	72,35	3,4
330°	-7,02	-61,07	73,02	3,2

Tabela 5.3: Distâncias do contorno protegido (66 dBm).

Cobertura da Área de Serviço Urbana

Pode ser encontrado no site¹ da Câmara Municipal de São Pedro de Alcântara (CÂMARA..., 2010) um mapa do macrozoneamento do município (ANEXO C), que delimita as áreas conforme sua densidade populacional urbana ou rural (conforme pesquisa realizada em 2010).

A área em vermelho corresponde à área urbana atual, e a área um laranja é correspondente à área de expansão urbana. O contorno de 66 dBm deve cobrir ao menos 90% dessas áreas para, assim, comprovar a cobertura da área urbana do município, conforme o estabelecido pela resolução.

5.3.2 Áreas de Serviço Primário e Rural (74 dBm e 54 dBm)

Os outros contornos de serviço, Área de Serviço Primário (74 dBm) e Área de Serviço Rural (54 dBm), tem como objetivos atender a área de maior densidade populacional e área rural, respectivamente, na localidade. Os mesmos procedimentos usados para encontrar as distâncias do contorno de 66 dBm são usados para esses dois outros contornos. Os resultados estão na Tabela 5.4.

¹<http://camaraspa.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/459>

Radiais	(graus)	0°	30°	60°	90°	120°	150°
NMT	(m)	158,38	73,46	169,20	166,20	250,46	196,86
HMNT	(m)	185,86	270,78	175,10	178,04	93,78	147,38
E/Emax	vezes	0,78	0,69	0,63	0,62	0,63	0,69
Potência	(KW)	0,1560	0,1220	0,1017	0,0985	0,1017	0,1220
ERPaz	(dBk)	-8,07	-9,13	-9,92	-10,06	-9,92	-9,13
Contorno	74 dBm	82,07	83,13	83,92	84,06	83,92	83,13
1	(km)	5,2	6	5	5	4	5
Contorno	66 dBm	74,07	75,13	75,92	76,06	75,92	75,13
2	(km)	10,5	11	9	9	7	9
Contorno	54 dBm	62,07	63,13	63,92	64,06	63,92	63,13
3	(km)	21	23	19	18	15	18
Radiais	(graus)	180°	210°	240°	270°	300°	330°
NMT	(m)	151,58	394,80	502,10	579,60	412,10	405,32
HMNT	(m)	192,66	-50,55	-157,85	-235,35	-67,85	-61,07
E/Emax	vezes	0,78	0,88	0,95	1,00	0,95	0,88
Potência	(KW)	0,1560	0,1985	0,2314	0,2564	0,2314	0,1985
ERPaz	(dBk)	-8,07	-7,02	-6,35	-5,91	-6,35	-7,02
Contorno	74 dBm	82,07	81,02	80,35	79,91	80,35	81,02
1	(km)	5,2	1,8	2	2,1	2	1,8
Contorno	66 dBm	74,07	73,02	72,35	71,91	72,35	73,02
2	(km)	11	3,2	3,4	3,6	3,4	3,2
Contorno	54 dBm	62,07	61,02	60,35	59,91	60,35	61,02
3	(km)	21	6,5	6,8	7	6,8	6,5

Tabela 5.4: Contornos das diversas áreas de serviço por radial e dados correspondentes.

5.3.3 Os traçados dos contornos

Já foram definidas todas as distâncias, em todas as radiais, para cada intensidade do sinal (área de serviço), que juntos formam os 3 contornos do sistema (Tabela 5.4). Utilizando a ferramenta SIGAnatel, podemos visualizar estes contornos, projetados no mapa da localidade, e assim analisar, num primeiro momento, se os efeitos destas coberturas estão dentro do esperado.

A Figura 5.2 apresenta as projeções das áreas de serviço da emissora em São Pedro de Alcântara.

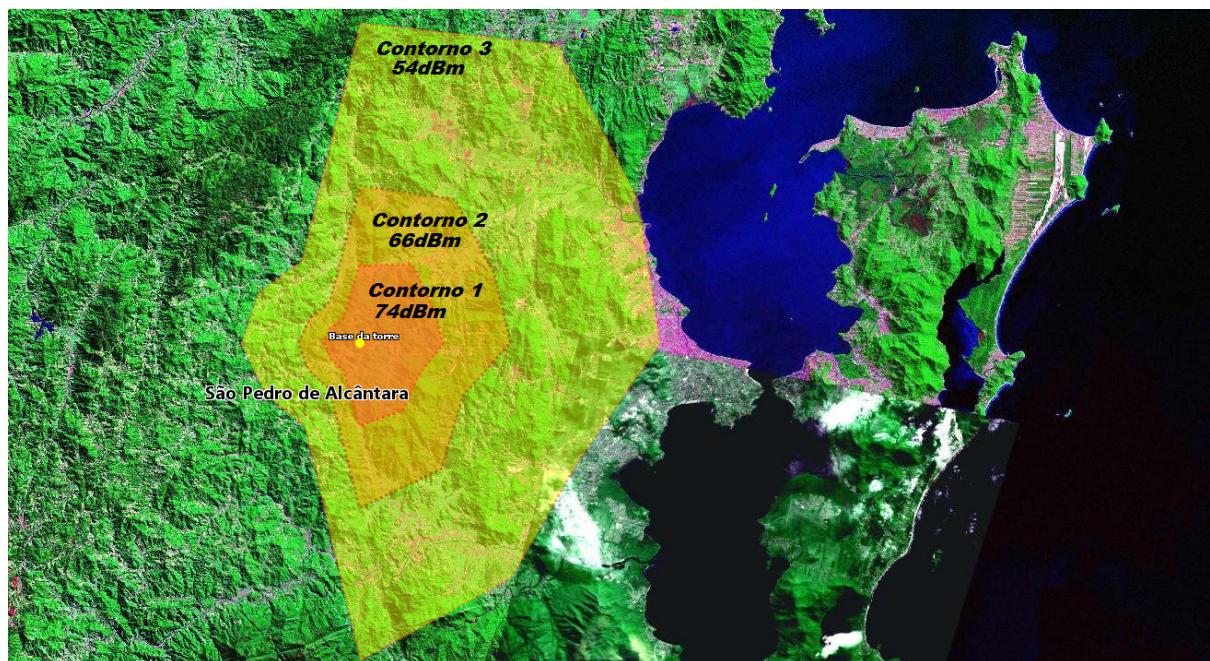


Figura 5.2: Projeção da cobertura das áreas de serviços utilizando a ferramenta SIGAnatel.

6 Resultados obtidos com o projeto

Todas as informações indispensáveis sobre o sistema irradiante neste projeto de emissora FM já estão definidas. Os equipamentos usados, dimensões estabelecidas e comportamento do sinal irradiado já estão mapeados.

Agora deve-se analisar estes resultados e verificar se está tudo conforme orienta a resolução, tantas vezes mencionada no decorrer deste documento. O objetivo é que o projeto apresente uma tendência em anular ou, ao menos, minimizar as chances de apresentar problemas na homologação junto à ANATEL.

6.1 Considerações sobre os contornos encontrados

Uma verificação importante e indispensável é saber se as áreas de serviço, principalmente o contorno protegido, cobrem as zonas à que se destinam. Para isto, buscamos como referência um mapeamento das zonas urbanas e rurais da cidade (ANEXO C), de 2010, publicado no portal da Câmara de São Pedro de Alcântara (CÂMARA..., 2010).

Cruzando as informações deste documento com os resultados do projeto, será possível descobrir se as áreas de cobertura estão de acordo com o que estabelece a resolução.

6.1.1 Analisando a cobertura da Área de Serviço Urbana em São Pedro de Alcântara

A área de serviço urbana, correspondente ao contorno 2 ou contorno protegido (66 dBm), entre as três, é a área referência para a homologação das coberturas. É este contorno que vai indicar se o sistema está devidamente enquadrado na classe correspondente, no caso classe C.

Os requisitos mínimos apresentados pela resolução para o contorno de 66 dBm são os seguintes: áreas de serviço

- A média aritmética das distâncias a este contorno não pode ultrapassar 7,5km;

Radial	Contorno 66 dBm(km)	Distâncias zona urbana
0°	10,50	1,05
30°	11,00	1,85
60°	9,00	4,00
90°	9,00	7,70
120°	7,00	1,40
150°	9,00	1,60
180°	11,00	1,50
210°	3,20	1,00
240°	3,40	1,20
270°	3,60	0,75
300°	3,40	0,65
330°	3,20	0,65

Tabela 6.1: Comparando os valores de contorno protegido com as distâncias da zona urbana.

- A média aritmética das distâncias a este contorno não poderá ser menor do que a distância ao contorno máximo da classe imediatamente inferior;
- O contorno de 66 dBm deve cobrir ao menos 90% dessa área urbana da localidade.

Primeiramente será calculado a média aritmética das distâncias do contorno protegido. Buscando os valores das distâncias, apresentados na Tabela 5.4, pode-se encontrar a média do contorno e saber se a emissora está respeitando este requisito, como pode ser observado no cálculo 6.1.

$$\frac{10,5 + 11 + 9 + 9 + 7 + 9 + 11 + 3,2 + 3,4 + 3,6 + 3,4 + 3,2}{12} = 6,942 \text{ km} \quad (6.1)$$

Resultando aproximadamente em 7 km, a média aritmética das distâncias do contorno protegido é menor que 7,5 km e está dentro do primeiro requisito. O segundo requisito também pode ser considerado como alcançado, pois a classe C é a última dentro da hierarquia das classes, ou seja, não existe uma classe imediatamente inferior a esta.

Para verificar o último requisito, é utilizado o mapa de Macrozoneamento (ANEXO C) e comparar com a área de cobertura. Comparando os valores das distâncias do contorno protegido e do contorno da área urbana, sempre partindo da base da emissora e considerando os mesmos ângulos que formam as 12 radiais, pode-se comprovar que a área urbana está inserida, praticamente, 100% dentro do contorno de 66 dBm, conforme representado na Figura 6.1. Os valores que foram comparados podem ser verificados na Tabela 6.1.

Assim, está comprovado que a área de serviço urbana está devidamente coberta pelo contorno de 66 dBm, conforme exige a resolução.

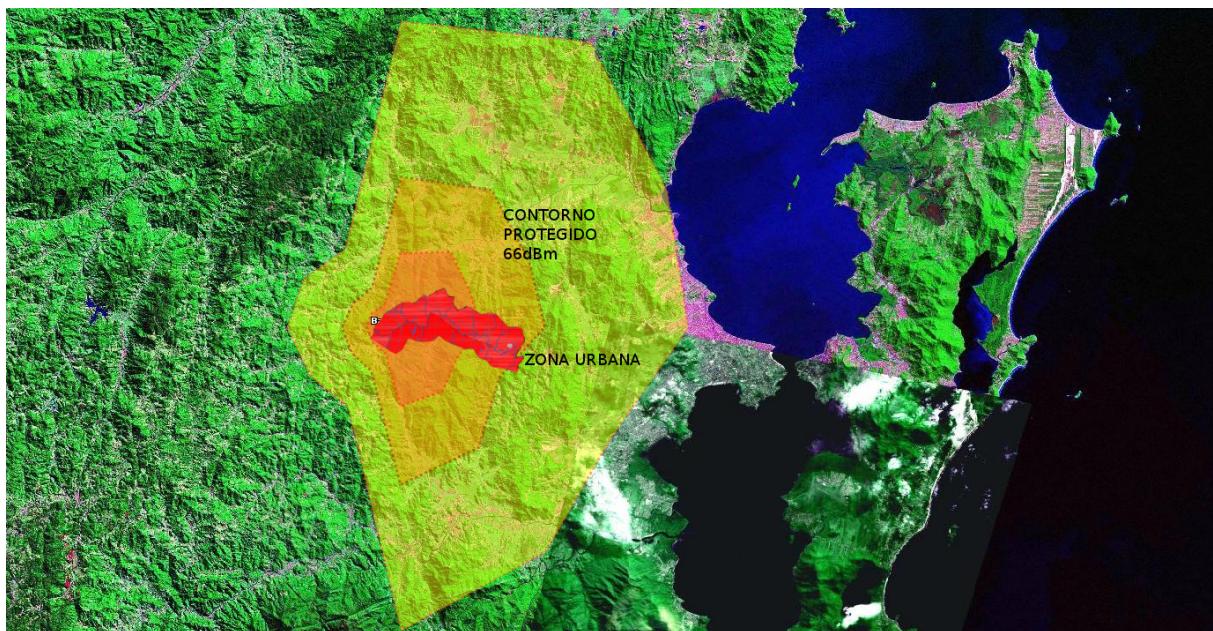


Figura 6.1: Projeção da cobertura das área de serviço urbana sobre a zona urbana do município.

As outras áreas de serviços

A resolução solicita, para a cobertura da área de serviço primário, que atenda a maior parte possível da zona central do município, conforme citado no trecho da resolução:

“5.1.1.2 - O local do sistema irradiante deve ser escolhido de forma que o contorno de 74 dBm inclua a maior parte possível da zona central da localidade...”

Pode ser verificado, através da Figura 6.1, que o contorno de 74 dBm (área na cor laranja escuro) cobre aproximadamente 50% da zona urbana da cidade. Considerando que a base da antena está fixada no centro de São Pedro de Alcântara, podemos concluir que este contorno esta cobrindo por completo a zona central da cidade.

A área de serviço rural (54 dBm) não é tratada com tanto rigor pela resolução quanto as outras áreas. Uma vez que a área de serviço urbana e primário estão cobrindo o que é estabelecido na resolução, a área de serviço rural também é aprovada.

Com base nessas informações, já pode-se afirmar que o sistema está atendendo devidamente a cidade em relação às áreas de serviço.

6.2 Comparando os resultados finais com os valores calculados pela aplicação do SIGAnatel

A SIGNATEL é uma ferramenta que auxília os estudos e projetos de estações de radiocomunicação. Foi esta a ferramenta usada para encontrar os gráficos de perfil do terreno e também para a demonstração da área de cobertura da emissora através da imagem de satélite. Além de disponibilizar estes recursos, a ferramenta também pode ser usada para comparar os resultados obtidos com o projeto.

No momento que já estão definidas as especificações técnicas, obtidas no decorrer do projeto e que apresentaram os resultados desejados, podem ser conferidos, através da ferramenta, se os resultados do estudo correspondem com os resultados originados pela aplicação. A Figura 6.2 mostra a interface da aplicação e os resultados obtidos com as mesmas especificações definidas neste projeto. A ferramenta também pode gerar um relatório com estas informações, como mostra o ANEXO E.

Ao comparar os resultados da ferramenta com os resultados do estudo, pode-se considerar que as conclusões são semelhantes. As poucas diferenças são notas apenas nos valores que derivam do estudo do terreno, como *NMT*, *HNMT* e os contornos. Isto acontece devido à precisão da aplicação contra o método manual que foi praticado no estudo, onde foi buscados os valores de *NMT*, através da observação dos gráficos de perfil de terreno e, no caso dos contornos, foram encontrados os valores utilizando as curvas de intensidade de campo, tornando o resultado um pouco impreciso, mas não o suficiente para comprometer o projeto.

De maneira geral, os resultados dos contornos ficaram bem próximos, afirmando que os cálculos foram conduzidos da forma correta e bem-sucedidas.

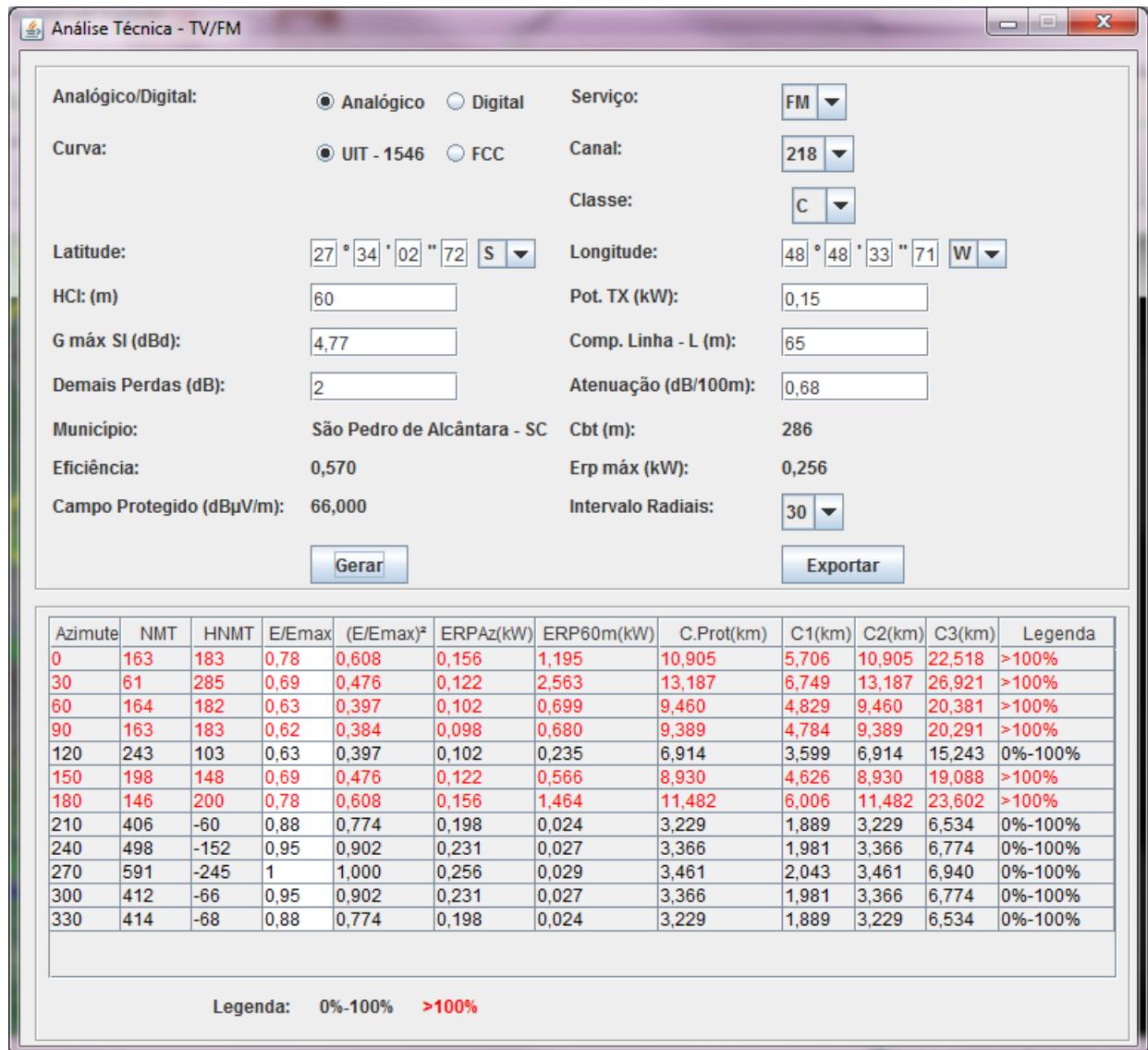


Figura 6.2: Resultados SIGAnatel.

7 *Conclusões e trabalhos futuros*

Uma emissora de radiodifusão sonora em frequência modulada pode ser projetada utilizando diversas configurações diferentes, mesmo nesses casos onde já existem os requisitos definidos pela classe (como acontece com os canais definidos no plano básico, são disponibilizados já enquadrados numa classe). O importante é que o projeto, independentemente da combinação de recursos e equipamentos usados, apresente a resposta desejada e respeite as normas solicitadas pela resolução.

Os contornos formados pela emissora são oriundos da combinação dos elementos que a compõe, juntamente com as implicações causadas pelo relevo da localidade. A potência utilizada no transmissor, as atenuações da linha de transmissão, os ganhos do sistema irradiante, entre outros fatores, devem ser trabalhados e pensados em conjunto, pois a alteração de um elemento já pode modificar a saída completamente. Ao alterar, por exemplo, a potência do transmissor usado, todos os outros componentes precisarão ser analisados e ajustados, para que este conjunto continue respondendo às adequações e requisitos, conforme a resolução, para a emissora em questão.

A configuração do projeto da emissora de radiodifusão, apresentado neste estudo, teve como foco, além de atender à todas as solicitações e regras informadas pela resolução e recomendação, diminuir os custos de manutenção e gastos fixos (como exemplo, aumentando a altura da torre e diminuindo a potência do transmissor), junto com o máximo aproveitamento das áreas de serviços previstos para a classe. O desfecho do projeto se mostrou satisfatório, levando em consideração o perfil acidentado do terreno da região, dificultando a definição dos contornos. Para determinadas direções existiam os obstáculos naturais que acabam atenuando demais o sinal irradiado, forçando à direcionar os maiores ganhos do sistema irradiante para as direções de maiores obstruções, assim distribuindo a potência efetiva irradiada para as 12 direções do modo mais eficiente possível.

Como resultado, o projeto apresenta a cobertura da área urbana quase por completa pelo contorno protegido. Este é o ponto positivo principal do sistema em relação à norma, pois esta

informação, juntamente com o respeito aos requisitos máximos, é o que define o enquadramento da emissora na sua classe do plano básico. Outro fator positivo foi a comprovação da viabilidade técnica com o que foi definido no plano básico. A classe C, definida para o caso de uso do canal 218 em São Pedro de Alcântara, informada no plano básico, é realmente viável, conforme os resultados apresentados neste documento, e foi possivelmente definida levando em consideração o relevo da região (montanhoso aos arredores) e a área urbana pequena (com uma área longitudinal máxima de aproximadamente 10km).

Como sugestão de trabalhos futuros, pode ser feita uma simulação computacional de estudo de viabilidade técnica, para este ou um novo cenário, implementando os modelos e métodos apresentados na Recomendação UIT-R P.1546-1, implementados em linguagem Matlab® (THE MATHWORKS, INC., 2004). Também pode ser acrescentado como sugestão a realização de um projeto de viabilidade técnica para alteração da classe da emissora, de "C" para "B", com a finalidade de aumento da área da cobertura da mesma.

Referências

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Resolução nº 546, de 1º de setembro de 2010.* [S.I.], 2010. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/25-2010/14-resolucao-546>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Capítulo 9 - Roteiro para elaboração de estudos técnicos (Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1998).* [S.I.], 1998. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/13-1998/168-resolucao-67>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1998.* [S.I.], 1998. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/13-1998/168-resolucao-67>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Portal ANATEL.* [S.I.], 2013. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Sistema de Controle de Radiodifusão.* [S.I.], 2013. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/srd/Telalistagem.asp?PagSRD=/SRD/Relatorios/>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Sistema de Informações Geográficas.* [S.I.], 2013. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel/>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapas Estatísticos - SC - Censo 2010.* [S.I.], 2010. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO PEDRO DE ALCÂNTARA.: *Mapa de Macrozoneamento de São Pedro de Alcântara.* 2010. Disponível em: <<http://camaraspa.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/459>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

GOOGLE MAPS. *Localização da base do sistema irradiante. São Pedro de Alcantara - 2013.* [S.I.], 2013. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2013.

IDEAL ANTENAS PROFISSIONAIS.: *Antena Dipolo 1/2 Onda para FM.* 2013. Disponível em: <<http://www.idealantenas.com.br/produtosport/fm/pdfantenadipolodemeiaondafm.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

MIYOSHI, E. M.; SANCHES, C. *Projetos de Sistemas de Rádio.* 3. ed. São Paulo: Érica, 2006.

RADIO FREQUENCY SYSTEMS.: **1-5/8”CELLFLEX® Lite**

Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable. 2013. Disponível em:

<<http://www.rfsworld.com/dataexpress/DataSheets/?q=LCF158-50JFNL>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

RÉGIS, P. A. **Cálculo de Viabilidade Técnica de um Canal de Televisão Digital.** Blumenal: FURB, 2010.

THE MATHWORKS, INC. **MATLAB, The Language of Technical Computing.** [S.I.], 2004.

TRANSMISSOR DE FM PROFISSIONAL: **Excitador Ágil 150 watts, Certificado de Homologação Nº 2510-09-2884.** 2013. Disponível em: <<http://www.videolinkpro.com.br/>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES: SETOR DE RADIOCOMUNICAÇÕES. **Recomendação P.1546-4: Método de previsões ponto-área para serviços terrestres na faixa de frequências de 30 a 3000MHz.** [S.I.], 2009. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546-4-200910-I/en>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

APÊNDICE A – Apresentando as informações técnicas, conforme o roteiro para elaboração de estudos técnicos

Após desenvolver o projeto respeitando a Resolução, e também utilizando recursos da recomendação, será apresentado agora as informações que são solicitadas no roteiro para elaboração de estudos técnicos.

Todas estas informações foram definidas e detalhadas no decorrer deste estudo e agora serão organizadas por tópicos, conforme é apresentado no roteiro. Seguem as informações técnicas necessárias para que a ANATEL autorize a utilização do canal 218, classe C, disponível no município de São Pedro de Alcântara.

A.1 Informações Básicas

- Nome da entidade requerente:** Não se aplica, projeto com objetivos didáticos.
- Localização da emissora objeto do estudo (cidade, UF):** São Pedro de Alcântara, SC.
- Propósito do estudo:** Projetar emissora de radiofrequência, com canal já definido no plano básico.

Características técnicas pretendidas

- Frequência de operação (MHz):** 91,5.
- Nº do canal:** 218.
- Classe:** C.
- Tipo de sistema irradiante:** Dipolo 1/2 onda, polarização vertical.
- Coordenadas geográficas de instalação:** 27° 34' 02.72" S / 48° 48' 33.71" O.

A.2 Memória Descritiva

Resumo das características da emissora

1. **Frequência de operação (MHz):** 91,5.

2. **Nº do canal:** 218.

3. **Potência de operação do transmissor (kW):** 0,150kWrms.

4. **Classe:** C.

5. **Modo de operação (monofônico, estereofônico, com ou sem canal secundário):** estereofônico.

Sistema irradiante

1. **Tipo de antena (onidirecional ou diretiva):** onidirecional.

2. **Fabricante e modelo da antena:** IDEAL Antenas Profissionais - Dipolo 1/2 Onda para FM.

3. **Polarização (horizontal, vertical, circular ou elíptica):** vertical.

4. **Ganho máximo em relação ao dipolo de meia-onda:** 4,77 dBd (3 elementos).

5. **Tipo da estrutura de sustentação (auto-suportada ou estaiada):** auto-suportada.

6. **Altura física total da estrutura de sustentação em relação à sua base (solo):** 55 metros.

7. **Altura do centro geométrico da antena em relação à base da estrutura de sustentação (solo):** 59,244m.

8. **Altitude da base da estrutura de sustentação (solo) sobre o nível do mar:** 285m.

9. **Altura do centro geométrico da antena sobre o nível médio do terreno:** 55,914m.

Linha de transmissão de radiofrequência

1. **Fabricante e modelo:** RFS - 1-5/8" CELLFLEX° Lite-loss Foam-Dielectric Coaxial Cable.

2. **Impedância característica (Ω):** $50+/- 1$.

3. **Comprimento total:** 65m.

4. **Atenuação em dB por 100 metros:** 0.68 dB/100m.

5. **Eficiência:** 0,569.

Informações sobre ERPmax e ERPaz

1. **ERP máxima (kW):** 0, 256kW.

2. **ERP, por radial (kW):**

Azimute/dBk: $0^\circ/-8,07; 30^\circ/-9,13; 60^\circ/-9,92; 90^\circ/-10,06; 120^\circ/-9,92; 150^\circ/-9,13; 180^\circ/-8,07; 210^\circ/-7,02; 240^\circ/-6,35; 270^\circ/-5,91; 300^\circ/-6,35; 330^\circ/-7,02$.

Enquadramento na classe

1. **ERP máxima proposta para cada radial:**

Azimute/dBk: $0^\circ/-8,07; 30^\circ/-9,13; 60^\circ/-9,92; 90^\circ/-10,06; 120^\circ/-9,92; 150^\circ/-9,13; 180^\circ/-8,07; 210^\circ/-7,02; 240^\circ/-6,35; 270^\circ/-5,91; 300^\circ/-6,35; 330^\circ/-7,02$.

2. **ERP máxima proposta para cada radial, corrigida para a altura de referência sobre o nível médio do terreno por radial, para a classe da emissora:**

Azimute/dBk: $0^\circ/-8,07; 30^\circ/-9,13; 60^\circ/-9,92; 90^\circ/-10,06; 120^\circ/-9,92; 150^\circ/-9,13; 180^\circ/-8,07; 210^\circ/-7,02; 240^\circ/-6,35; 270^\circ/-5,91; 300^\circ/-6,35; 330^\circ/-7,02$.

3. **Distância ao contorno de 66 dBm para cada radial:**

Azimute/Km: $0^\circ/10,5; 30^\circ/11; 60^\circ/9; 90^\circ/9; 120^\circ/7; 150^\circ/9; 180^\circ/11; 210^\circ/3,2; 240^\circ/3,4; 270^\circ/3,6; 300^\circ/3,4; 330^\circ/3,2$.

4. **Média aritmética das distâncias ao contorno de 66 dBm :** Aproximadamente 7 km.

A.3 Situação Geral

Distâncias aos contornos das diversas áreas de serviço, segundo cada radial, de acordo com:

1.Azimute de orientação em relação ao Norte Verdadeiro: 270°.

2.Altura do centro geométrico da antena com relação ao nível médio de cada radial:

Azimute/HMNT(m): 0°/185,86; 30°/270,78; 60°/175,10; 90°/178,04; 120°/93,78;
150°/147,38; 180°/192,66; 210°/-50,55; 240°/-157,85; 270°/-235,35; 300°/-67,85;
330°/-61,07.

3.Intensidade de campo (dBμ):

Azimute/dBm: 0°/74,07; 30°/75,13; 60°/75,92; 90°/76,06; 120°/75,92;
150°/75,13; 180°/74,07; 210°/73,02; 240°/72,35; 270°/71,91; 300°/72,35;
330°/73,02.

4.Distância aos contornos 1, 2 e 3, em cada radial:

Contorno 1:

Azimute/km: 0°/5,2; 30°/6; 60°/52; 90°/5; 120°/4;
150°/5; 180°/5,2; 210°/1,8; 240°/2; 270°/2,1; 300°/2;
330°/1,8.

Contorno 2:

Azimute/km: 0°/10,5; 30°/11; 60°/9; 90°/9; 120°/7;
150°/9; 180°/11; 210°/3,2; 240°/3,4; 270°/3,6; 300°/3,4;
330°/3,2.

Contorno 3:

Azimute/km: 0°/21; 30°/23; 60°/19; 90°/18; 120°/15;
150°/18; 180°/21; 210°/6,5; 240°/6,8; 270°/7; 300°/6,8/;
330°/6,5.

Nível Médio do Terreno

1.Azimute de orientação de cada radial, em relação ao Norte Verdadeiro:

Radial/Azimute: 1/0°; 2/30°; 3/60°; 4/90°; 5/120°; 6/150°; 7/180°; 8/210°; 9/240°;
10/270°; 11/300°; 12/330°.

2.Nível médio de cada radial:

Radial/NMT(m): 1/158,38; 2/73,46; 3/169,14; 4/166,2; 5/250,46; 6/196,86; 7/151,58;
8/394,8; 9/502,1; 10/579,6; 11/412,1; 12/405,32

3.Nível médio do terreno: 288,33m

*ANEXO A – Especificações técnicas do fabricante da
antena dipolo utilizada.*



IDEAL
Antenas Profissionais



Eletro-eletrônicos BRASIL
O Vale da Eletrônica

Empresa Certificada ISO 9001
Membro da Federação Cisq
RINA
ISO 9001:2008
Sistema de Qualidade Certificado

Dipolo ½ Onda para FM

Antena para transmissão de FM, com polarização Vertical. Podendo ser confeccionada em linha EIA 1 5/8" ou EIA 3 1/8".

Ideal para transmissão em média e alta potência. Podendo ser instalada em lateral de torre ou tubulão em topo de torre.

Antena de fácil instalação e baixa carga de vento.

Pode ser utilizado diagrama de elevação com tilt elétrico e/ou preenchimento de nulo. Possui confecção com alimentação inferior ou central.

É produzida, sendo sua estrutura externa em latão e suas conexões internas em cobre e latão banhados a prata. Possui tratamento anticorrosivo com epoxi em coloração branca. Com possibilidade de pressurização plena ou até a entrada da antena.

Sistemas com configurações diferentes as apresentadas, entrar em contato.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Faixa de Frequência	87,5 a 108,1 Mhz
Largura de Banda.....	500 KHz
Polarização	Vertical
Impedância	50 ohms
Ganho.....	Vide tabela
Máxima potência por elemento.....	5000 Watts (EIA 1 5/8") 10000 Watts (EIA 3 1/8")
Ângulo de ½ pot. vertical	Vide tabela
VSWR	<1.05:1
Dimensões (Altura x Diâmetro).....	Vide tabela
Área exposta.....	Vide tabela
Carga ao Vento	Vide tabela
Peso.....	Vide tabela
Conexão de entrada do sistema	EIA 1 5/8", EIA 3 1/8", EIA 4 1/16"
Resistência a ventos	180 Km/h
Proteção elétrica	Por intermédio da estrutura da antena

Nº de Elementos

	Ganho dBd	Vezes	Potência Máxima de Entrada (KW)	Conexão	Âng. ½ Pot Vertical
1	0	1	5	EIA 1 5/8"	84°
2	3	2	10	EIA 1 5/8"	27°
3	4,77	3	15	EIA 3 1/8"	18°
4	6	4	20	EIA 3 1/8"	13°
6	7,76	6	30	EIA 3 1/8"	8,5°
8	9,03	8	40	EIA 4 1/16"	6,5°

* Dipolos confeccionados em 1 5/8"

Nº de Elementos

	Ganho dBd	Vezes	Potência Máxima de Entrada (KW)	Conexão	Âng. ½ Pot Vertical
1	0	1	10	EIA 3 1/8"	84°
2	3	2	20	EIA 3 1/8"	27°
3	4,77	3	30	EIA 3 1/8"	18°
4	6	4	40	EIA 4 1/16"	13°
6	7,76	6	40	EIA 4 1/16"	8,5°
8	9,03	8	40	EIA 4 1/16"	6,5°

* Dipolos confeccionados em 3 1/8"

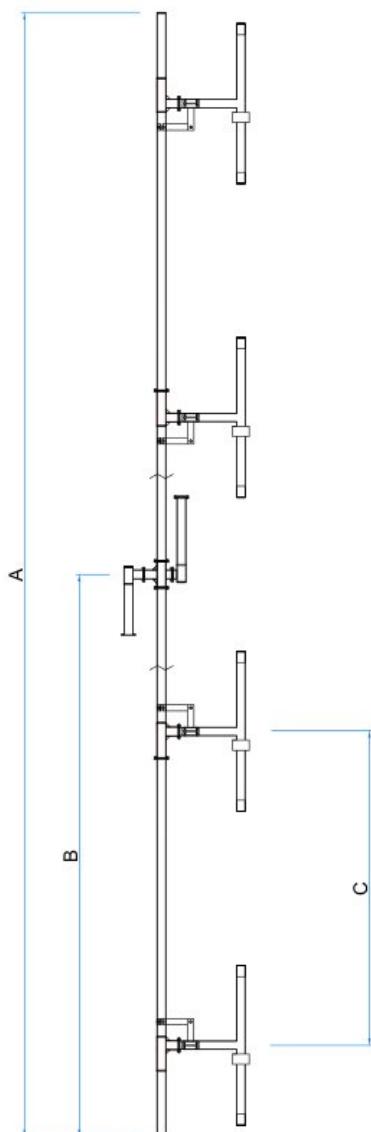
MODELO

DR ↓	U, T, Q ↓	N ↓	XXX ↓
Dipolo ½ onda com Linha Rígida	U= EIA 1 5/8" T= EIA 3 1/8" Q= EIA 4 1/16"	Nº de Elementos	Canal



Dipolo de ½ Onda para FM

IDEAL
Antenas Profissionais



Características Mecânicas *					
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento
1	1815	907,5	3337	0,13	13
2	5152	2576		0,61	61
3	8489	4244,5		0,89	89
4	11826	5913		1,15	115
6	18500	9250		1,71	171
8	25155	12577		2,27	227
					145

* Dados referentes a sistemas com frequência de 88,1 MHz em Linha 1 5/8"

Características Mecânicas *					
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento
1	1630	815	3000	0,12	12
2	4630	2315		0,56	56
3	7630	3815		0,82	82
4	10630	5315		1,06	106
6	16630	8315		1,57	157
8	22623	11312		2,09	209
					136

* Dados referentes a sistemas com frequência de 98,1 MHz em Linha 1 5/8"

Características Mecânicas *					
Números de Elementos	A	B	C	Área Exposta	Carga ao Vento
1	1480	740	2720	0,11	11
2	4200	2100		0,51	51
3	6920	3460		0,75	75
4	9640	4820		0,97	97
6	15080	7540		1,43	143
8	20520	10260		1,91	191
					131

* Dados referentes a sistemas com frequência de 108,1 MHz em Linha 1 5/8"

A = Altura do sistema (mm)

B = Centro de Fase do sistema (mm)

C = Espaçamento entre antenas (mm)

Área Exposta (m²)

Carga ao Vento (Kg)

Peso (Kg)

* Características referentes a confecção

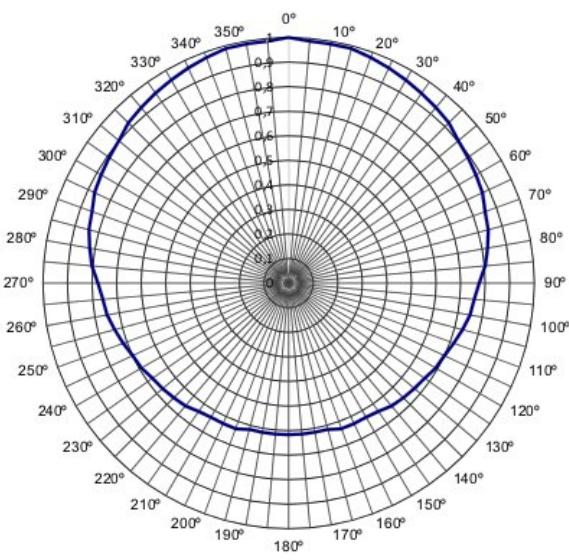
em tubo padrão em latão.



Dipolo de ½ Onda para FM

IDEAL
Antenas Profissionais

Diagrama de Azimute



Graus	E/Emax (dB)	(%)	Graus	E/Emax (dB)	(%)
0°	1,00	0,0	100°	0,78	-2,2
5°	0,99	-0,1	95°	0,76	-2,4
10°	0,99	-0,1	100°	0,75	-2,5
15°	0,99	-0,1	105°	0,73	-2,7
20°	0,98	-0,2	110°	0,72	-2,9
25°	0,97	-0,3	115°	0,70	-3,1
30°	0,95	-0,4	120°	0,69	-3,2
35°	0,94	-0,5	125°	0,68	-3,4
40°	0,93	-0,6	130°	0,67	-3,5
45°	0,92	-0,7	135°	0,66	-3,6
50°	0,90	-0,9	140°	0,65	-3,7
55°	0,89	-1,0	145°	0,64	-3,9
60°	0,88	-1,1	150°	0,63	-4,0
65°	0,87	-1,2	155°	0,63	-4,0
70°	0,85	-1,4	160°	0,63	-4,0
75°	0,84	-1,5	165°	0,62	-4,2
80°	0,82	-1,7	170°	0,62	-4,2
85°	0,80	-1,9	175°	0,62	-4,2

Graus	E/Emax (dB)	(%)	Graus	E/Emax (dB)	(%)		
180°	0,62	-4,2	38,0%	270°	0,78	-2,2	60,3%
185°	0,62	-4,2	38,0%	275°	0,80	-1,9	64,6%
190°	0,62	-4,2	38,0%	280°	0,82	-1,7	67,6%
195°	0,62	-4,2	38,0%	285°	0,84	-1,5	70,8%
200°	0,63	-4,0	39,8%	290°	0,85	-1,4	72,4%
205°	0,63	-4,0	39,8%	295°	0,87	-1,2	75,9%
210°	0,63	-4,0	39,8%	300°	0,88	-1,1	77,6%
215°	0,64	-3,9	40,74%	305°	0,89	-1,0	79,4%
220°	0,65	-3,7	42,7%	310°	0,90	-0,9	81,3%
225°	0,66	-3,6	43,7%	315°	0,92	-0,7	85,1%
230°	0,67	-3,5	44,7%	320°	0,93	-0,6	87,1%
235°	0,68	-3,4	45,7%	325°	0,94	-0,5	89,1%
240°	0,69	-3,2	47,9%	330°	0,95	-0,4	91,2%
245°	0,70	-3,1	49,0%	335°	0,97	-0,3	93,3%
250°	0,72	-2,9	51,3%	340°	0,98	-0,2	95,5%
255°	0,73	-2,7	53,7%	345°	0,99	-0,1	97,7%
260°	0,75	-2,5	56,2%	350°	0,99	-0,1	97,7%
265°	0,76	-2,4	57,5%	355°	0,99	-0,1	97,7%

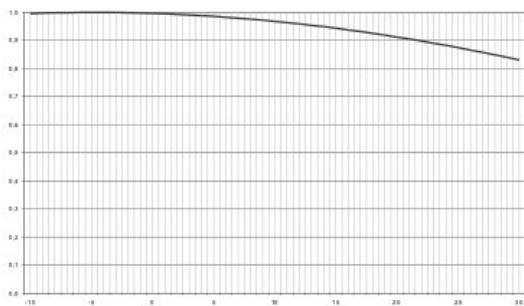


Dipolo de ½ Onda para FM

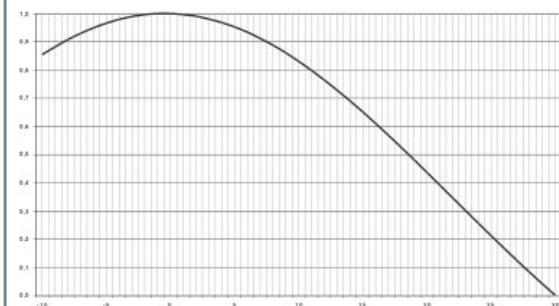


Diagrama de Elevação

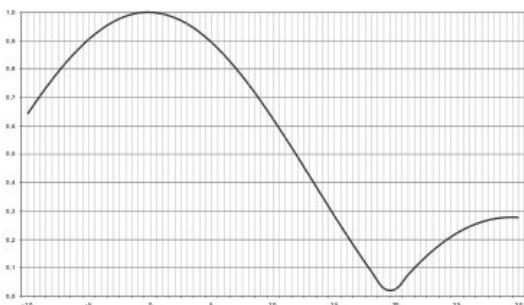
1 Elemento



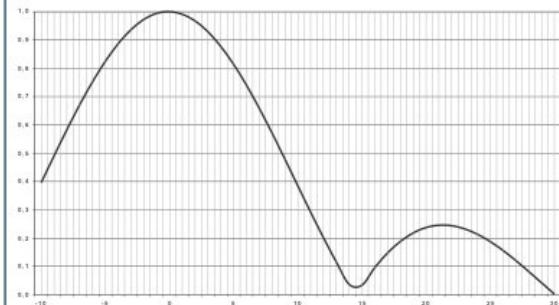
2 Elementos



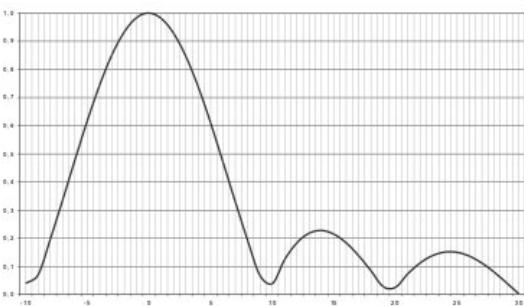
3 Elementos



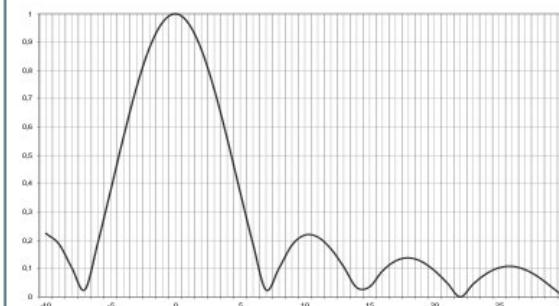
4 Elementos



6 Elementos



8 Elementos



ANEXO B – Especificações técnicas do fabricante do guia de onda utilizado (linha de transmissão).

Product Data Sheet
LCF158-50JFNL

1-5/8" CELLFLEX® Lite Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable





Product Description

CELLFLEX® Lite 1-5/8" low loss flexible cable

Application: Main feed line, Riser-rated In-Building

Features/Benefits

- It represents a light-weight transmission line solution
The light weight of CELLFLEX® Lite coaxial cable results in reduced work-force and lifting gear.
- It is easy to transport, handle and install
CELLFLEX® Lite coaxial cables enable savings in shipping cost.
- It exhibits a cost-efficient alternative to copper transmission line
CELLFLEX® Lite coaxial cable helps to reduce CAPEX spending.
- It offers a user-friendly compatibility with RFS's existing range of accessories
CELLFLEX® Lite coaxial cable requires less inventory additions, thus reduced OPEX.
- It enables trouble-free installation and operation
CELLFLEX® Lite coaxial cable avoids downtime and reduces OPEX.
- The attenuation is comparable to the industry standard in traditional cable
CELLFLEX® Lite coaxial cable maintains uncompromised coverage.
- Specially developed connectors exhibit low and stable intermodulation performance
CELLFLEX® Lite coaxial cable exceeds present PIM standards ensuring no dropped calls.
- It is available with UV-resistant polyethylene or flame-retardant jackets
CELLFLEX® Lite coaxial cable can be used outside and in indoor applications where restrictions apply.
- It exceeds industry standard for return loss performance
CELLFLEX® Lite coaxial cable means zero risk in network planning.

Technical Features

Structure

Inner conductor:	Corrugated Copper Tube	[mm (in)]	17.6 (0.69)
Dielectric:	Foam Polyethylene	[mm (in)]	40.9 (1.61)
Outer conductor:	Corrugated Aluminum	[mm (in)]	46.5 (1.83)
Jacket:	Polyethylene, PE, Metalydroxite Filling	[mm (in)]	50.3 (1.98)

Mechanical Properties

Weight, approximately	[kg/m (lb/ft)]	0.78 (0.52)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in)]	200 (8)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in)]	500 (20)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]	46.0 (34.0)
Max. tensile force	[N (lb)]	1800 (405)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]	1.2 / 1.5 (4.0 / 5.0)

Electrical Properties

Characteristic impedance	[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]	90
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]	74.0 (22.5)
Inductance	[μH/m (μH/ft)]	0.185 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]	2.75
Jacket spark test RMS	[V]	10000
Peak power rating	[kW]	310
RF Peak voltage rating	[V]	5600
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.30 (0.396)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]	0.68 (0.205)

Recommended Temperature Range

Storage temperature	[°C (°F)]	-70 to +85 (-94 to +185)
Installation temperature	[°C (°F)]	-25 to +60 (-13 to +140)
Operation temperature	[°C (°F)]	-50 to +85 (-58 to +185)

Other Characteristics

Fire Performance:	Flame Retardant, LS0H		
VSWR Performance:	Standard	[dB (VSWR)]	18 (1.288:1)
Other Options:	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.		

All information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

RFS The Clear Choice ®

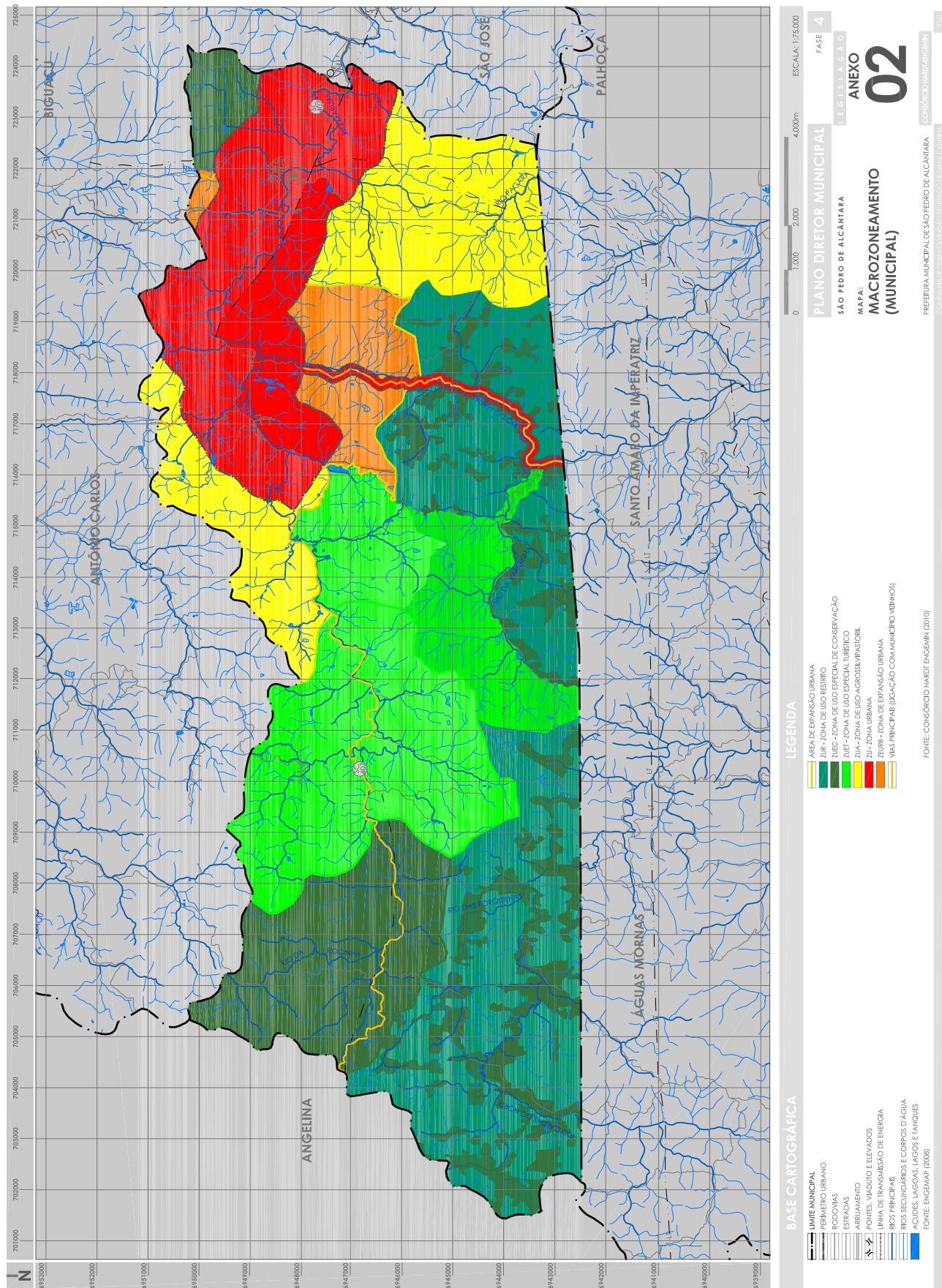
LCF158-50JFNL

Rev: C / 16.DEC.2010

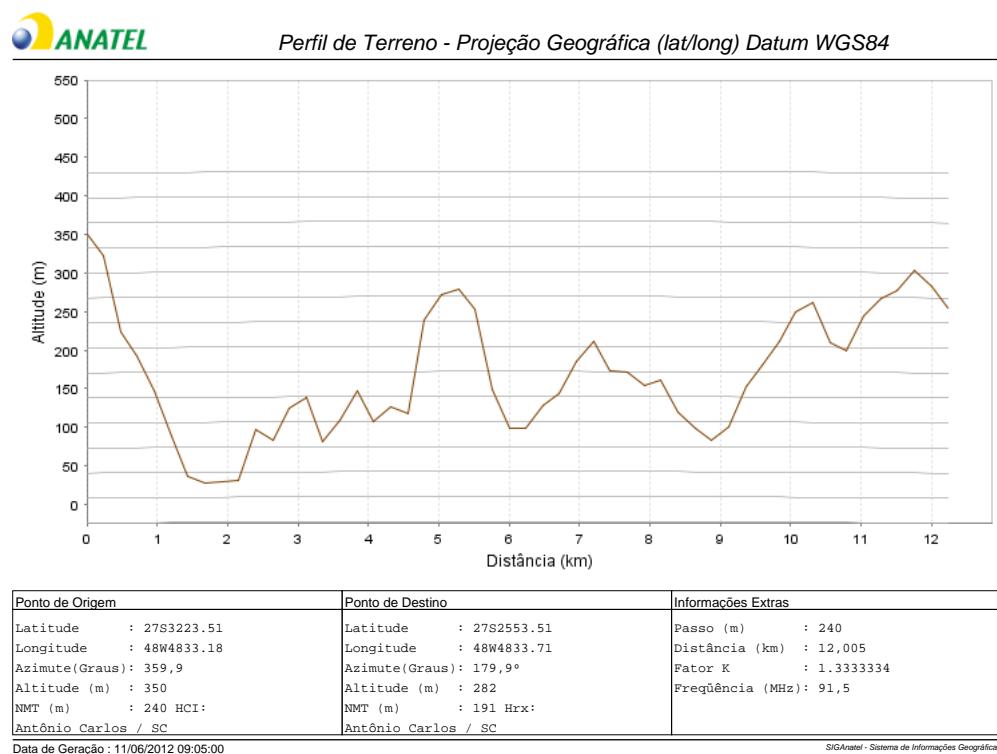
Please visit us on the internet at <http://www.rfsworld.com/>

Radio Frequency Systems

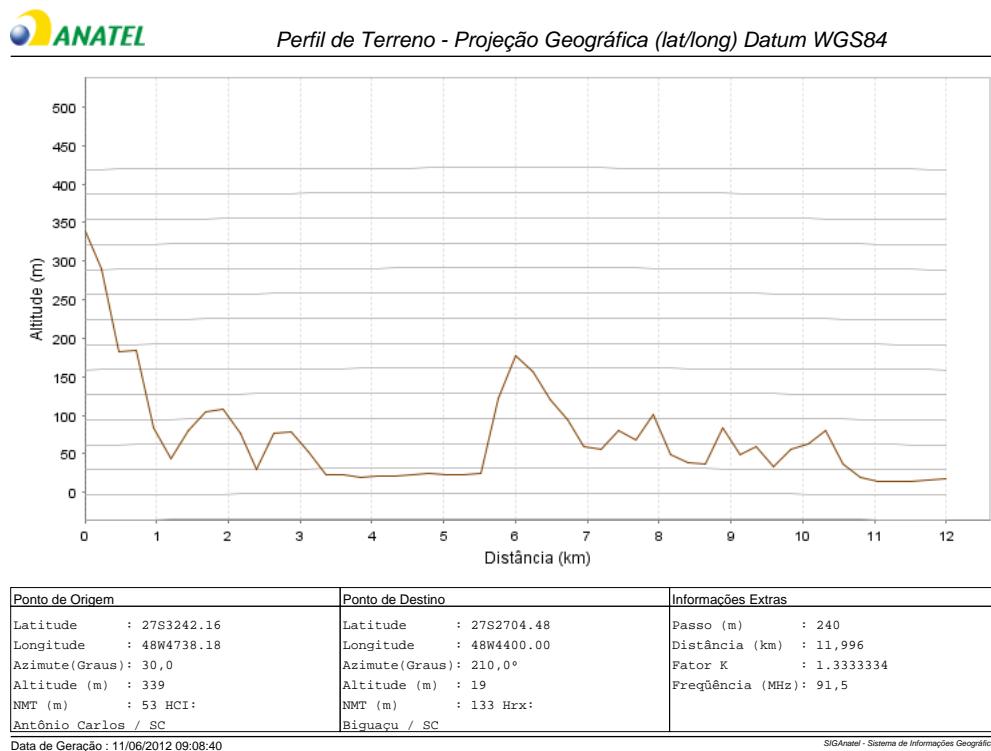
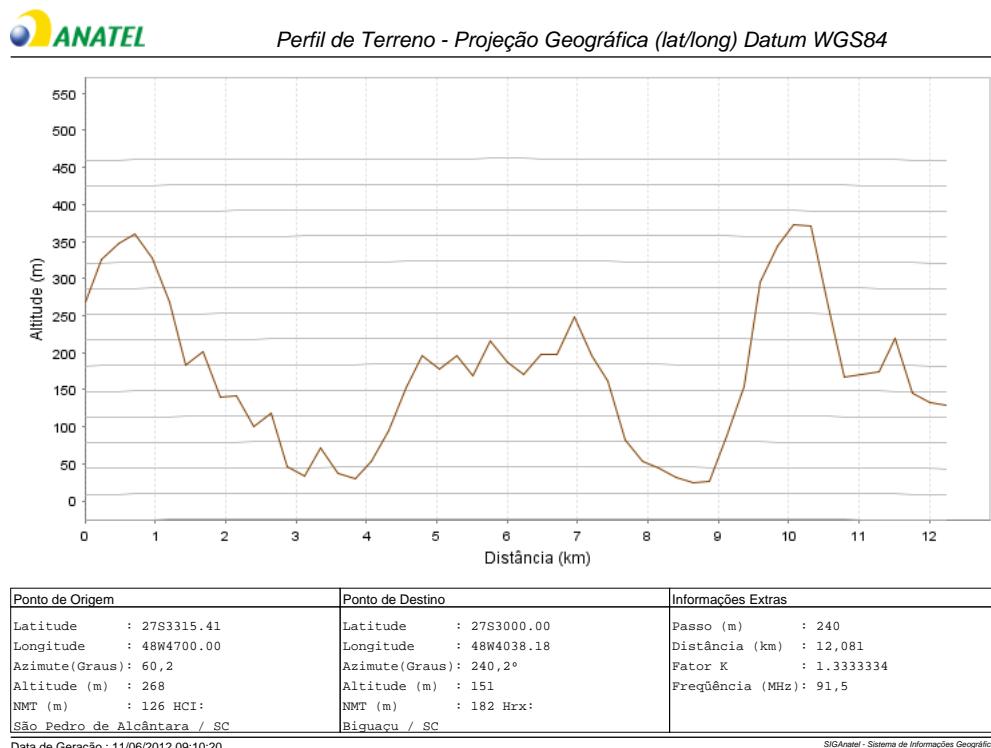
*ANEXO C – Mapa de Macrozoneamento de São
Pedro de Alcântara.*

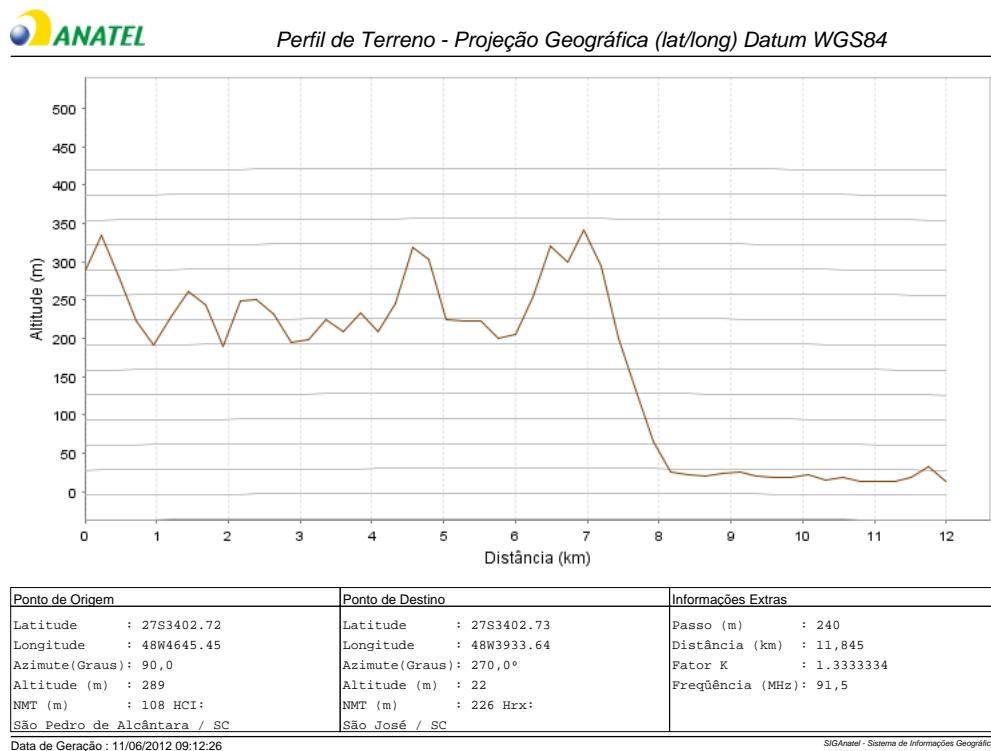
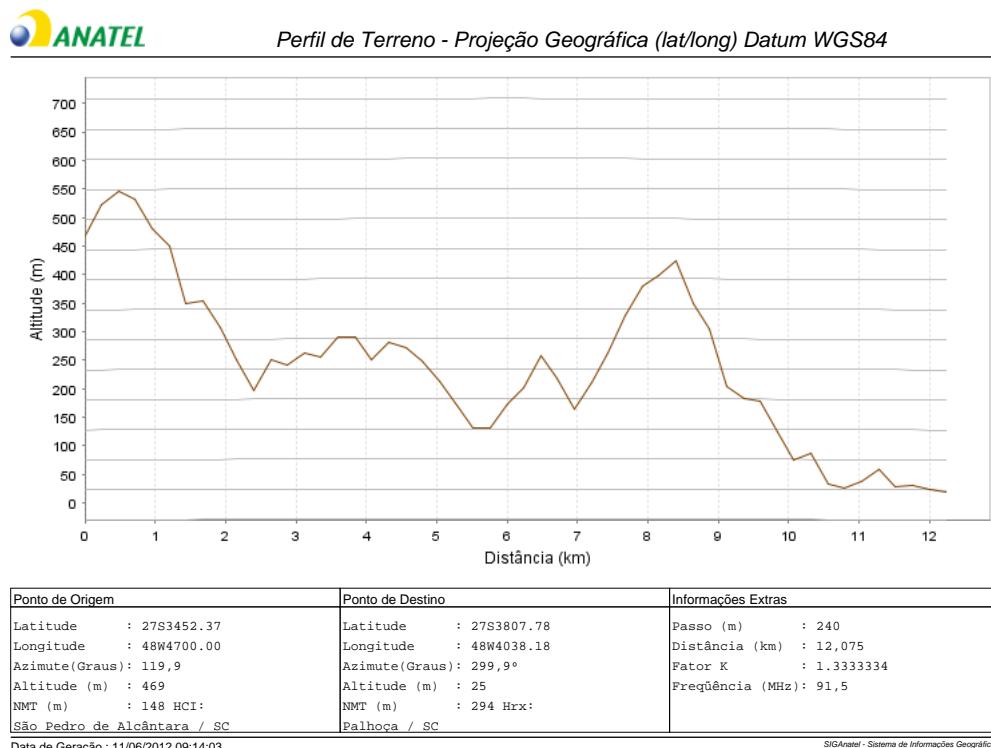


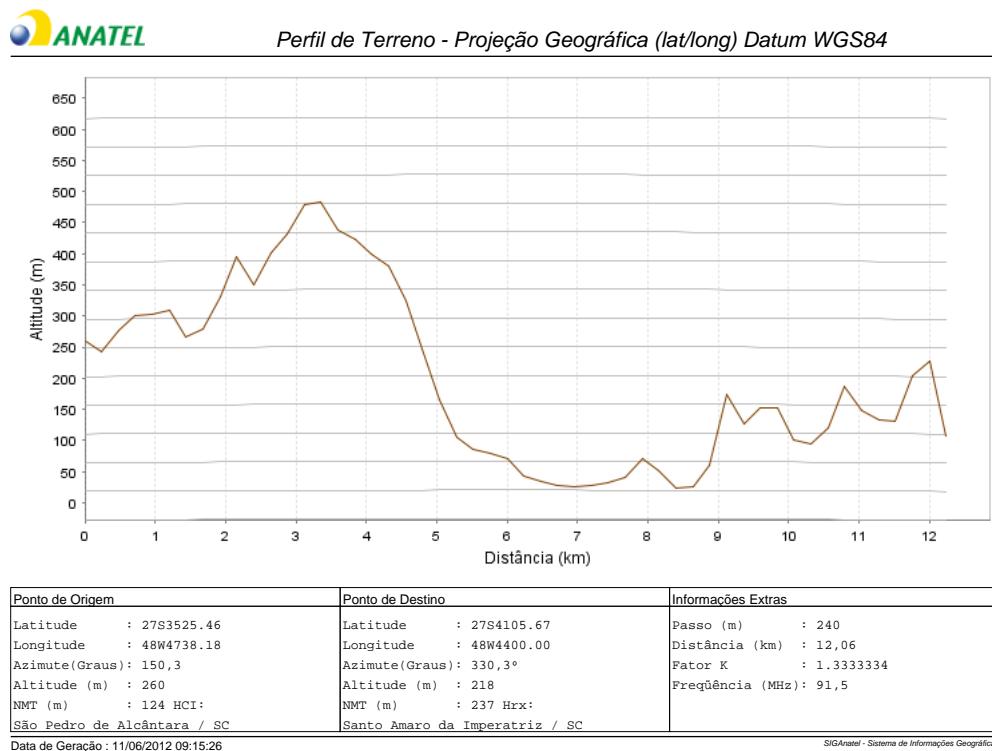
ANEXO D – Gráficos do perfil de terreno das 12 Radias ao redor da emissora.



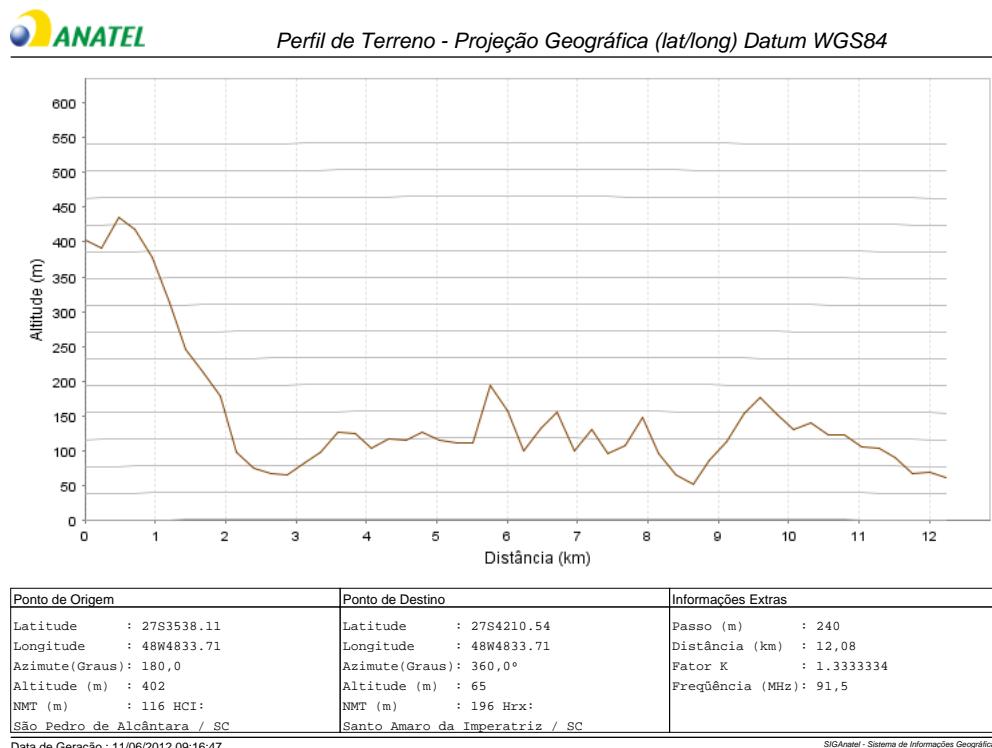
Radial 1

**Radial 2****Radial 3**

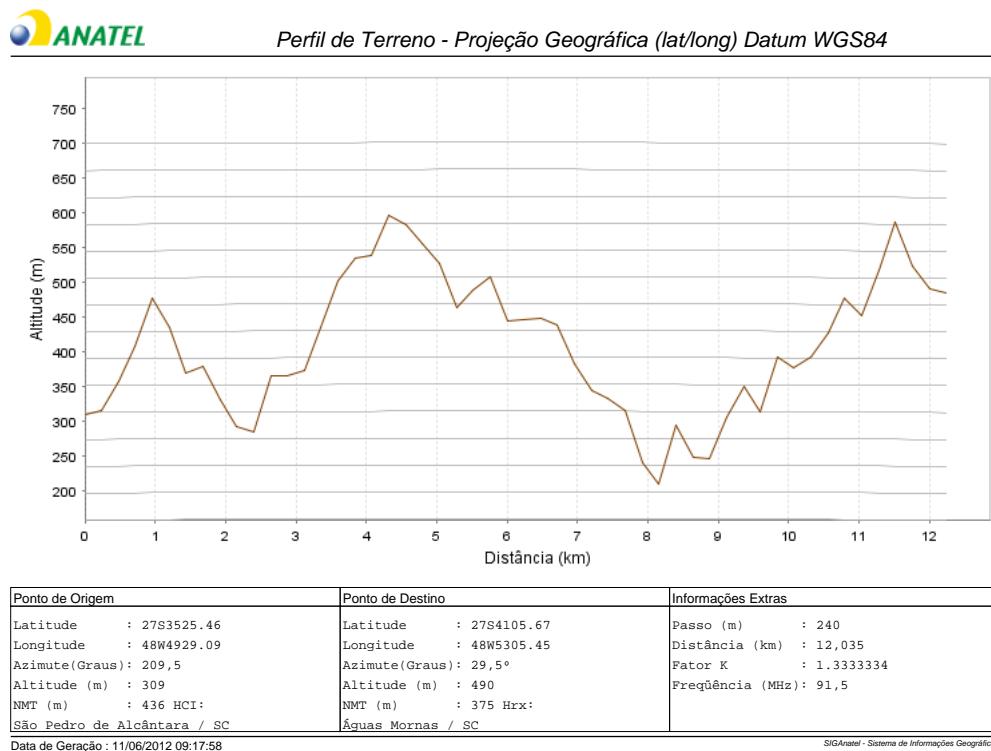
**Radial 4****Radial 5**



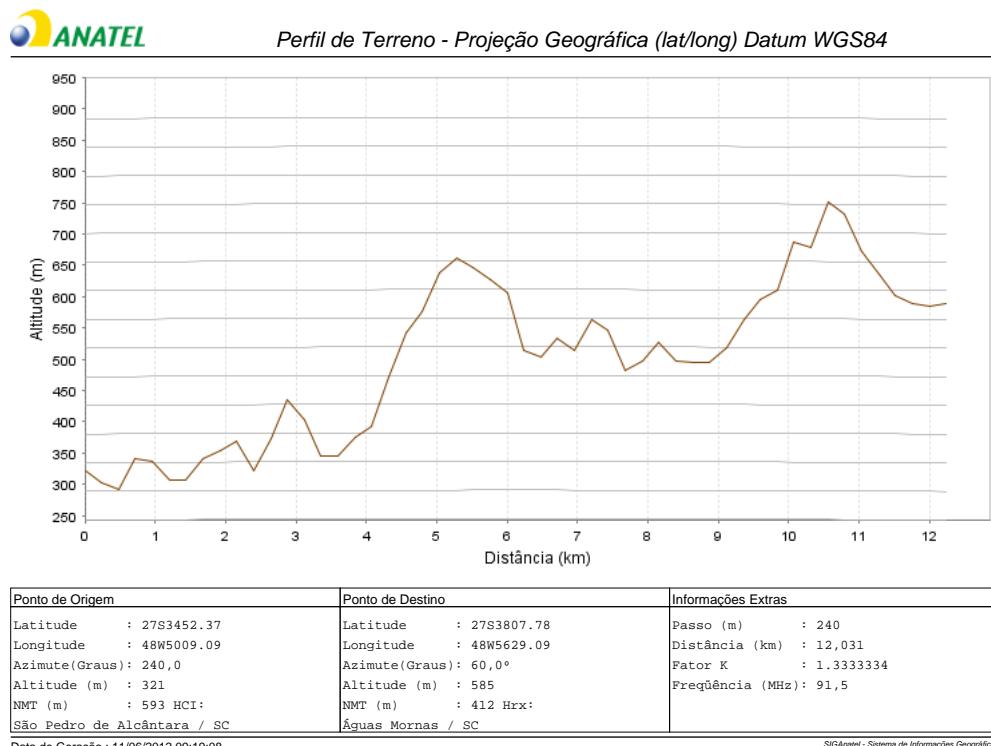
Radial 6



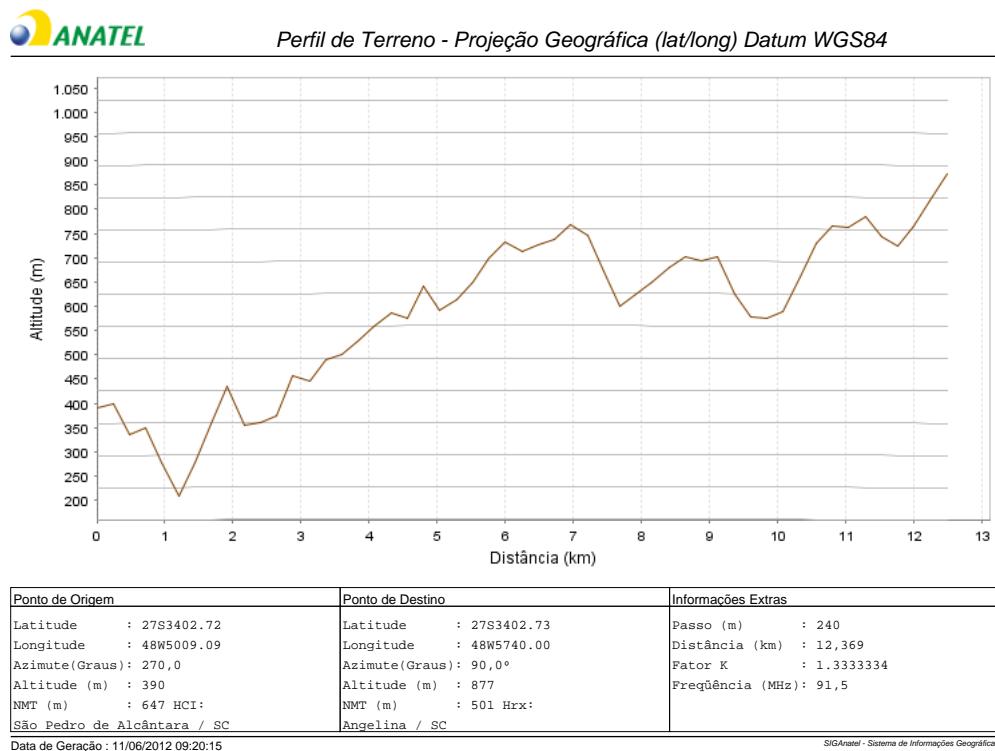
Radial 7



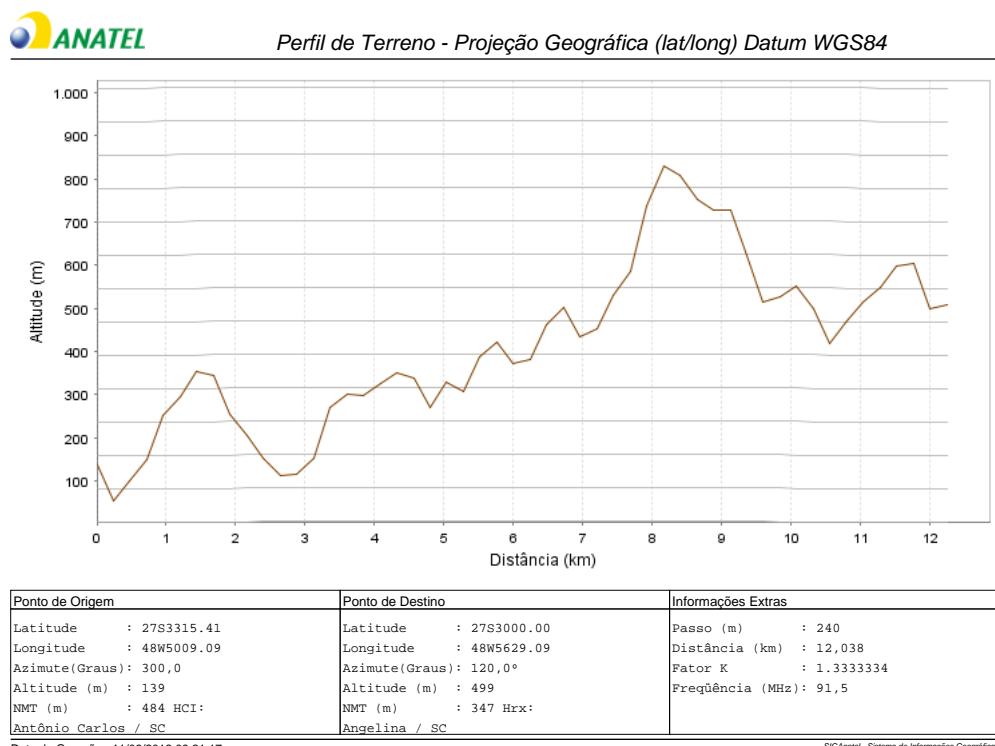
Radial 8



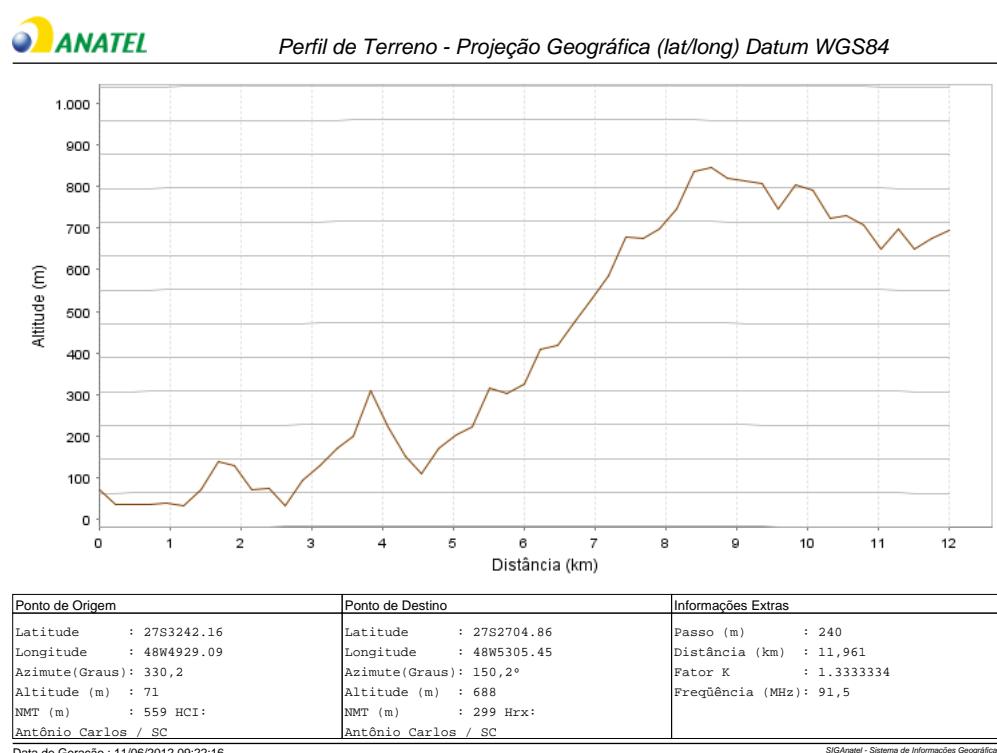
Radial 9



Radial 10



Radial 11



Radial 12

***ANEXO E – Relatório Siganatel - Análise Técnica
FM.***



Análise Técnica - FM/TV

Analógico/Digital: Analógico

Curva: UIT-1546

Latitude: 27S340272

HCl(m): 60

G Max SI(dBd): 4,77

Demais Perdas(dB): 2

Município: São Pedro de Alcântara - SC
Eficiência: 0,570

Campo Protegido(dBµV/m): 66,000

Azimute	NWAT	HNWAT	E E _{max} ²	(E/E _{max}) ²	ERP(Ag/kW)	ERP(BDm/kW)	C. Protok(m)	C1(km)	C2(km)	C3(km)	Legenda
0	163	183	0,78	0,908	0,156	1,195	10,905	5,706	10,905	22,518	>100%
30	61	235	0,69	0,476	0,122	2,563	13,187	6,749	13,187	26,921	>100%
60	164	182	0,63	0,397	0,102	0,699	9,460	4,829	9,460	20,381	>100%
90	163	183	0,62	0,384	0,098	0,690	9,389	4,784	9,389	20,291	>100%
120	243	103	0,63	0,397	0,102	0,295	6,914	3,599	6,914	15,243	0%‐100%
150	198	148	0,69	0,476	0,122	0,566	8,930	4,626	8,930	19,088	>100%
180	146	200	0,78	0,908	0,156	1,464	11,482	6,006	11,482	23,602	>100%
210	406	60	0,88	0,774	0,198	0,004	3,229	1,889	3,229	6,534	0%‐100%
240	498	152	0,95	0,992	0,231	0,027	3,366	1,981	3,366	6,774	0%‐100%
270	591	245	1	1,000	0,256	0,009	3,461	2,043	3,461	6,940	0%‐100%
300	412	66	0,95	0,992	0,231	0,027	3,366	1,981	3,366	6,774	0%‐100%
330	414	68	0,88	0,774	0,198	0,024	3,229	1,889	3,229	6,534	0%‐100%