

## Introdução

Há décadas a transmissão de ondas eletromagnéticas é objeto de estudo de engenheiros e acadêmicos e, até hoje, buscam-se respostas para seus mecanismos de propagação. Desde o início do século, conhecemos a importância das ondas de rádio para a comunicação entre as pessoas. Seja através de uma simples chamada de voz, da radiodifusão sonora em AM ou FM, até às mais modernas formas de comunicação móvel, com *internet* nos telefones celulares e a transmissão de vídeos de alta definição, a transmissão de ondas eletromagnéticas permite que qualquer ponto do nosso planeta seja retirado do isolamento. Mercados financeiros de qualquer parte do mundo podem se interligar como se estivessem no mesmo prédio; diagnósticos podem ser feitos a quilômetros de distância entre o médico e o paciente; escolas podem chegar a comunidades nunca antes visitadas; a cultura de um povo pode ser disseminada criando a identidade de uma nação, tudo isso a partir das comunicações via rádio.

Como em qualquer lugar do globo terrestre, a televisão brasileira tem um papel íntimo no desenvolvimento da nossa cultura, ditando normas, moda, criando expressões populares, levando conhecimento, informação e cultura a milhares de pessoas ao mesmo tempo. A TV aberta, transmitida por ondas de rádio, possui características peculiares em relação aos outros países. Nos Estados Unidos da América, mais de 85% das recepções de TV acontecem por meio do cabo, deixando à radiodifusão pouco mais de 10% dos domicílios. No Brasil, este cenário se inverte completamente. Mais de 80% dos domicílios brasileiros assistem TV através de recepção “do ar” e gratuitamente. Aos olhos do mercado americano, um modelo de negócios de televisão, de um país em desenvolvimento, que se sustenta apenas pelo mercado publicitário através de anúncios e oferece o serviço em 99% dos domicílios do país, jamais se sustentaria. O fato é que há décadas este modelo se mantém vencedor. Atualmente, o mercado de TV aberta corresponde a cerca de 60% de todo o mercado publicitário nacional movimentando bilhões de reais todo ano em nosso país.

Com um modelo de negócios tão bem sucedido, crescendo a cada ano, e calcado no serviço de recepção de ondas eletromagnéticas, o estudo dos fenômenos de propagação nas faixas utilizadas pela TV sempre foi uma matéria de destaque. Durante muito tempo, oferecer o serviço, ou a cobertura de melhor qualidade foi um diferencial entre as emissoras que brigam pela audiência. Hoje, com a demanda cada vez mais exigente de conteúdo digital e em alta definição, a preocupação com uma boa cobertura é ainda maior. No mundo analógico, uma cobertura deficiente significava a recepção ruidosa e com multipercursos. Hoje, a deficiência na cobertura provoca ausência total de imagens na casa do telespectador, aumentando muito o nível de exigência dos engenheiros que realizam os projetos de transmissão e, como resultado, precisam garantir que o sinal seja bem recebido na maioria das localidades.

O serviço de TV digital teve início no Brasil em dezembro de 2007 na cidade de São Paulo e começou as transmissões cobrindo quase 10% da população brasileira a partir de um único transmissor para cada rede. Este foi o resultado de um longo processo de planejamento que se iniciou quase dez anos antes das primeiras transmissões. Neste processo, uma das etapas foi a criação do Plano Básico de TV Digital (PBTVD), que previa um canal adicional para cada emissora para realizar a transmissão simultânea dos sinais analógico e digital. O PBTVD tinha como objetivo estabelecer potências para os canais digitais que, ao mesmo tempo, tivessem cobertura equivalente ao canal analógico, e que não interferissem em nenhum sistema existente ou que viesse a ser instalado no futuro. Para cálculos de cobertura e interferência, foram estudados vários modelos de propagação. Inicialmente, métodos do tipo ponto-área como a recomendação ITU-R P. 370 [9] eram utilizados para a convivência de canais analógicos. Com o advento da recomendação ITU-R P. 1546 [2], curvas mais novas e mais aderentes ao relevo brasileiro foram usadas para o início do plano digital e são usadas até hoje para apresentação dos projetos de instalação. Nas áreas mais populosas do Brasil como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e demais capitais, entretanto, o uso de modelos do tipo ponto-área não garante o uso otimizado e eficiente do espectro. Assim, modelos do tipo ponto-a-ponto precisaram ser utilizados. O modelo escolhido foi o Deygout-Assis, que calcula a atenuação dos obstáculos por difração. Quando o modelo foi escolhido, algumas variações do método foram inseridas para que o cálculo de atenuação fosse mais aderente às

condições de propagação das áreas em estudo. Nesta dissertação apresentaremos três variações do método, que foram consideradas no momento da criação do PBTVD. Medidas com as potências e os canais planejados na época só foram possíveis de serem realizados no momento presente e uma comparação com os métodos utilizados sempre foi esperada.

Além de verificar a validade dos métodos de Deygout-Assis e da ITU-R P.1546, uma vez que foram os modelos utilizados pelo Ministério das Comunicações e pela Anatel no PBTVD, este trabalho também tem por objetivo indicar o melhor método para o dimensionamento das estações transmissoras de TV digital. Este dimensionamento se torna mais importante agora, pois com a tecnologia digital, é possível instalar reforçadores de sinais e construir uma rede de transmissores operando na mesma frequência em uma mesma área de cobertura sem que os sinais causem interferência nos receptores. As redes com esta característica são denominadas *SFN* (Redes de Frequência Única ou *Single Frequency Networks*). Como o espectro é finito e já estava congestionado na época de confecção do PBTVD, muitas áreas de cobertura, principalmente as mais populosas e mais importantes comercialmente, foram consideradas *SFNs* e terão que operar com transmissores no mesmo canal. Portanto, o uso de um modelo de propagação mais aderente aos valores medidos em campo, se torna crucial para que a rede não possua interferência e a TV digital possa ser recebida aonde a TV analógica não chegava antes ou precisava de canais adicionais.

Para ajudar nesta busca por um modelo eficiente, adicionamos ao trabalho o método da recomendação ITU-R P.526 [13]. Escolhemos este modelo porque, além dele ser muito utilizado, é o método ponto-a-ponto da ITU para cálculo das perdas por difração e que se aproxima dos cálculos de Deygout-Assis. Inserindo-o ao trabalho, estaremos comparando dois métodos da ITU para predição de cobertura, um ponto-área, ITU-R P.1546 [2] e outro ponto-a-ponto.

Sabemos também que o campo recebido não depende só do mecanismo da difração. As reflexões no solo, nas edificações e nos obstáculos contribuem de forma importante para o valor de campo que está sendo medido e considerá-las no cálculo pode explicar os erros quando contamos apenas com um único mecanismo de propagação. Uma das maneiras de estudar essas reflexões com um baixo custo computacional é classificar o terreno em diferentes níveis de urbanização e vegetação e aplicar atenuações adicionais ao campo calculado de acordo com a

posição do receptor. Um instituto de pesquisas canadense chamado *Canadian Research Center* tem estudado a influência das reflexões nas medidas de radiofrequência em diferentes tipos de ambientes. Um dos produtos do instituto é um programa chamado *CRC-Predict* que considera as difrações e reflexões nos seus cálculos de campo. Como ele vem sendo muito utilizado na Europa e nas Américas para dimensionamento de estações de TV, ele foi incluído na lista de modelos a serem comparados com a nossa campanha de medidas.

A comparação dos cálculos com as medidas foi feita em três cidades: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Estas cidades possuem topografias diferentes, desde um relevo muito suave, como São Paulo, até variações extremamente abruptas, como na cidade do Rio de Janeiro. Como o Brasil possui diferentes tipos de relevo, ao modelar estas três situações, esperamos poder extrapolar os resultados para qualquer localidade do país, de acordo com suas características topográficas.

Assim, a estrutura desta dissertação é da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução, onde foram apresentadas as motivações para estudar modelos de propagação na faixa de UHF com foco na recepção de TV Digital. Neste capítulo, também foram expostas as razões para a escolha dos modelos estudados no trabalho.

Capítulo 2 – Sistema Brasileiro de TV Digital SBTVD / ISDB-T<sub>B</sub>, em que são descritas as características do sinal utilizado nas medidas de campo.

Capítulo 3 – Modelos de radiopropagação, onde são mostrados de forma sucinta os modelos estudados no trabalho:

1– ITU-R P. 526

2– ITU-R P. 1546

3– CRC-Predict (*Canadian Research Center*)

4– Deygout-Assis, com 3 variações.

4.1 – Considerando todos os obstáculos arredondados

4.2 – Considerando todos os obstáculos gumes de faca

4.3 – Considerando o principal arredondado e os demais gumes de

faca

Capítulo 4 – Medições, em que são levantadas as características do carro de medidas e das estações transmissoras. Este capítulo também contém os resultados das medidas para as três cidades.

Capítulo 5 – Modelos de elevação utilizados, onde são mostrados os modelos de alta resolução utilizados nos cálculos

Capítulo 6 – Análise e tratamento dos resultados, onde são comparados os cálculos dos seis modelos com as medidas de campo

Capítulo 7 – Conclusões, onde são apresentados os resultados finais com os modelos mais adequados para cada um dos tipos de topografia avaliada.

O presente trabalho se destaca pela qualidade na aquisição dos dados das medidas de campo, pelo conhecimento minucioso das características de transmissão e pelos cálculos realizados sempre com modelos de elevação de alta resolução e até considerando edificações nos terrenos.