REDE DE FREQUENCIA ÚNICA – RECEPÇÃO FIXA E MÓVEL

SINGLE FREQUENCY NETWORK – FIXED AND MOBILE RECEPTION

GUERRA, Mauricio Vilela[1]
NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da[2]

Resumo: Este artigo apresenta uma comparação entre dois modos de transmissão de um sinal de TV Digital em conformidade com o padrão do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Para tanto, duas campanhas de medições foram realizadas em uma rede de frequência única comercial, onde para 31 pontos de recepção previamente definidos foi utilizado uma antena de recepção direcional, típica de cenários de recepção fixa, e uma antena omnidirecional, usada para receber sinais móveis. Os parâmetros característicos do canal também foram calculados, incluindo o atraso médio, o Retardo RMS (RDS) e o fator K, que são importantes para o planejamento e projeto de uma rede de frequência única.

Palavras-chave: Retardo RMS, TV Digital, receptores móveis.

Abstract: This article presents a comparison between two transmission modes of a Digital TV signal in accordance with the Brazilian Digital Television System standard (SBTVD). To this end, two measurement campaigns were carried out in a commercial single frequency network, where for 31 previously defined reception points, a directional reception antenna, typical of fixed reception scenarios was used, and an omnidirectional antenna, used to receive mobile signals. The characteristic parameters of the channel were also calculated, including the average delay, the RMS delay (RDS) and the K factor, which are important for the planning and design of a single frequency network (SFN).

Keywords: Digital TV, SFN systems, RMS Delay-Spread, Mobile receivers.

[1] Doutor em Engenharia Elétrica (PUC/RJ) – email:mauricio.guerra@cefet-rj.br
[2]Pós-Doutor em Engenharia (UERJ), Doutor em Engenharia Mecânica (PUC/RJ) – email:engmarcelocefet@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Sistema O ISDB-T também chamado de TV Digital Aberta é um padrão de transmissão de TV Digital Terrestre, o qual foi desenvolvido aqui no Brasil e homologado pela Anatel no início dos anos 2000. Esse padrão é baseado em um protocolo japonês, sendo que as transmissões realizadas na América do Norte, Europa e restante da Ásia são feitas com outros protocolos. Todavia, mas em ambos os casos, os vídeos transmitidos são codificados com base em H.264, que vem a ser um padrão para compressão de vídeo, baseado no MPEG-4 Parte 10 ou AVC (Advanced Video Coding), desenvolvido pela ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) em conjunto com a ISO/IEC MPEG, que formaram uma parceria conhecida por Joint Video Team (JVT). No padrão H.264 a grande diferença está na reprodução de quadros por segundo nas transmissões de baixa qualidade, sendo 30 fps para o Brasil e 15 fps para o Japão. Essa transmissão de baixa qualidade também é chamada de "1-seg", que se diferencia muito do "full-seg" pela velocidade de transferência e também pela qualidade de vídeo e áudio. Em outras palavras, estamos falando diretamente sobre a forma como o sinal de televisão digital é modulado no Brasil. Com ele, cada canal de televisão envia a sua programação por um sinal dividido em 13 frações, sendo que a largura total da frequência do canal ainda possui outra parte com a mesma dimensão, sendo ela reservada para evitar interferências e conflitos. Essas 13 frações são chamadas de segmentos, e é daí que surgem os termos "one-seg" e "full-seg". O objetivo desta pesquisa é apresentar uma comparação entre estes dois modos de transmissão de um sinal de TV Digital em conformidade com o SBTVD. Neste sentido, duas campanhas de medições foram realizadas em uma rede de frequência única comercial, onde foi utilizado uma antena de recepção direcional caracterizando cenários de recepção fixa, e uma antena omnidirecional, caracterizando cenários de recepção de móvel. Parâmetros característicos do canal também foram calculados, incluindo o atraso médio, o Retardo RMS (RDS) e o fator K, aos quais são determinantes para o planejamento e projeto de uma rede de frequência única.

2. DESENVOLVIMENTO

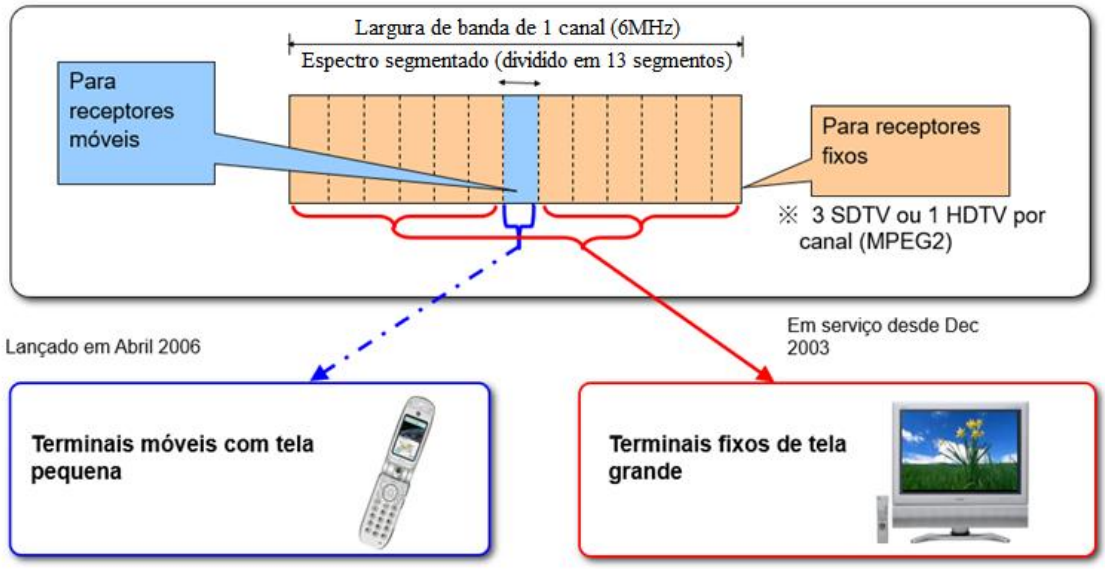
2.1 Fundamentação Teórica

Nessa seção serão abordados alguns conceitos iniciais relacionados a temática do estudo.

2.1.1 Transmissão em Alta Resolução – FULL-SEG / Recepção Fixa / Antena Direcional

No modo de transmissão segmentada de alta-resolução, das 13 frações utilizadas temos que 12 segmentos correspondem a transmissão do sinal em alta resolução. Neste caso, apenas o modo de recepção fixa implementado através de uma antena direcional se faz presente e necessário. Ou seja, considerando a utilização de todos os segmentos, é possível transmitir vídeos com várias resoluções, incluindo 1080i e 720p. Na realidade, o televisor digital ou conversor digital é capaz de receber todos esses pacotes de imagens em alta resolução. O que vai variar é a reprodução delas no display da TV, uma vez que há aparelhos que possuem suporte para a resolução 1080i, por exemplo. Ou seja, os televisores recebem todos os segmentos das transmissões. É justamente daí que deriva o nome “Full-Seg”. A Figura 1 abaixo ilustra melhor o modo de transmissão segmentada.

Figura 1 – Transmissão segmentada do sistema de TV Digital aberta (ISDB-TB)



2.1.2 Transmissão em Baixa Resolução – ONE-SEG / Recepção Móvel / Omnidirecional

Em adendo ao SBDTV, o padrão japonês utiliza frequências entre 470 e 770 MHz (ou 806 MHz, aqui no Brasil), perfazendo um total de 300 MHz de largura de banda. A banda é subdividida em 50 canais que vão do 13 ao 62 e cada canal tem uma largura de 6 MHz, o que aqui na realidade redundaria numa ampla banda de sinal com efetivamente 5.57 MHz e uma faixa de proteção de 430 kHz com intuito de impedir interferência cruzada entre canais. Cada

um desses canais é dividido ainda em 13 segmentos com banda de 428 kHz de largura cada. O sistema móvel one-seg utiliza apenas um desses segmentos para transmitir sinal. Da mesma forma que no ISDB-T, o one-seg utiliza a técnica QPSK para modulação, com 2/3 de correção de erros à frente e 1/4 de razão de proteção. A taxa de transmissão de dados total é de 416 kbit por segundo. Acesso condicional e controle contra cópia são também implementados neste sistema de transmissão de baixa resolução através do uso de uma estrutura similar ao broadcast flag contido no "descritor de controle contra cópia" dentro da transmissão. Note que o conteúdo da transmissão digital não é criptografado, mas a informação no controle contra cópia força o dispositivo a criptografar gravações armazenadas e revoga o direito de copiar essas gravações. É importante também observar que o sinal digital de baixa resolução (320x240 pixels), que é recebido pela maioria dos dispositivos móveis, diga-se ai, smartphones, televisores automotivos e outros portáteis, “navega” também pelo mesmo espectro do padrão de alta resolução “Full-Seg”, mas é o único reconhecido por portáteis.

2.2 Campanha de Medição

Em trabalho anterior (Guerra, 2012), foram realizadas medições de campo em uma rede SFN com dois transmissores operando na banda UHF, onde alguns resultados iniciais tais como distribuição cumulativa da perda de propagação, valores médios do excesso de retardo, espalhamento de atraso rms (RDS) e o fator K Rician foram apresentados. Neste artigo, dados adicionais de campo coletados durante a referida campanha de medidas foram introduzidos com o objetivo de analisar a recepção portátil (antena omnidirecional) e a recepção fixa (antena direcional). Dentre os resultados preliminares obtidos, os parâmetros RDS e fator K Rician foram utilizados para caracterizar o comportamento do multipercurso na rede SFN. Comparado com o padrão europeu de transmissão terrestre de vídeo digital (DVB-T), o padrão japonês/brasileiro (ISDB-T) oferece melhorias importantes. A principal tecnologia de transmissão segmentada de frequência ortogonal por divisão de frequência (BST-OFDM) permite que o ISDB-T suporte vários serviços no mesmo canal (Takada, 2006), incluindo recepção portátil e fixa. Além disso, um intervalo mais longo (intervalo de guarda) é usado para melhorar o desempenho da recepção móvel. Os principais parâmetros de transmissão do sistema incluem o esquema de modulação da portadora, a taxa de codificação do código interno de correção de erros e a duração do intervalo de tempo, que pode ser definido individualmente para cada segmento. O padrão ISDB-T oferece três modos de transmissão com diferentes intervalos de portadora para lidar com uma variedade de condições de canal, como o multipercurso (mitigado com o intervalo de guarda variável

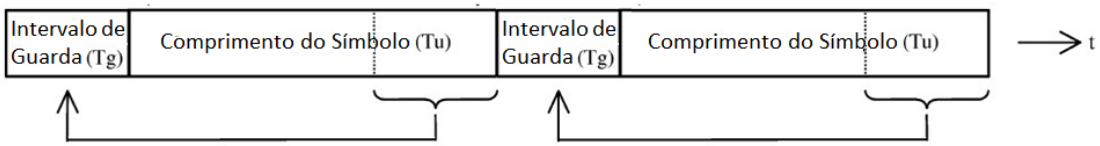
conforme determinado pela configuração da rede) e o deslocamento Doppler, que ocorre para recepção móvel. A Tabela abaixo lista os parâmetros básicos de cada modo.

Tabela 1 – Parâmetros de transmissão do padrão ISDB-T

Descrição		Parâmetros de transmissão		
Número de segmentos OFDM		13		
Largura de banda por Segmento		428.57 kHz		
Modo		1	2	3
Número de portadoras por segmento		108	216	432
Número de portadoras		1405	2809	5617
Intervalo entre portadoras		3968 Hz	1984 Hz	992 Hz
Comprimento do símbolo (Tu)		252 µs	504 µs	1008 µs
Comprimento do interval de guarda (Tg) µs	1/4	63	126	252
	1/8	31.5	63	126
	1/16	15.75	31.5	63
	1/32	7.87	15.75	31.5
Comprimento do símbolo por segmento µs	1/4	315	628	1260
	1/8	283.5	565	1134
	1/16	267.7	533.5	1071
	1/32	259.8	517.7	1039.5
Tipo de modulação		QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Número de símbolos por quadro		204		
Código interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		

Em relação ao intervalo de guarda, o comprimento do símbolo (Tu) é o recíproco ao intervalo da portadora. Esta é a condição que impede que as portadoras na banda interfiram umas nas outras. O intervalo de guarda é uma seção de informações com redundância de tempo que adiciona uma cópia da última parte de um símbolo a parte frontal do símbolo, com o objetivo de absorver a interferência de ondas com retardos causados pelos múltiplos percursos do canal. Consequentemente, o aumento da razão do intervalo de guarda no sinal diminui a taxa de bits de informação conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Pacote de dados OFDM

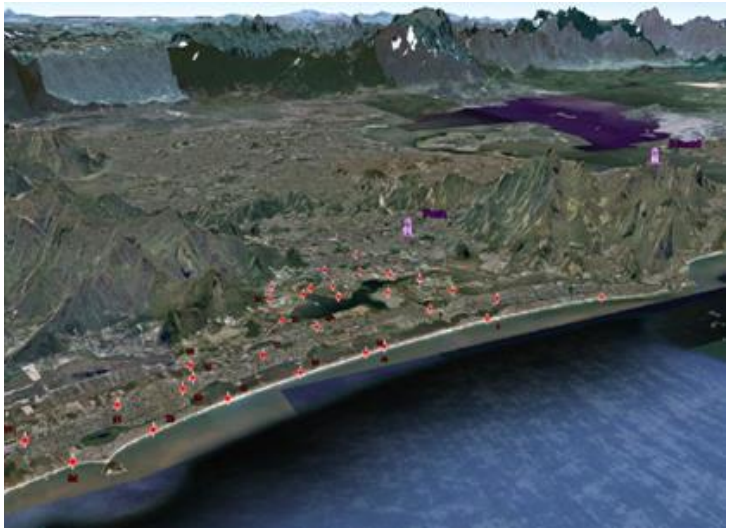


Como pode ser visto, o intervalo de guarda é formado pela adição direta de uma parte dos dados no final de um símbolo à sua parte frontal. O símbolo de transmissão resultante do

período Tu + Tg é contínuo, o que significa que o comprimento do símbolo Tu pode ser demodulado desde que seja encontrado em algum lugar neste período. Observe que o sistema ISDB-T tem quatro opções de comprimento de intervalo de guarda para permitir um melhor projeto de uma rede de frequência única (SFN).

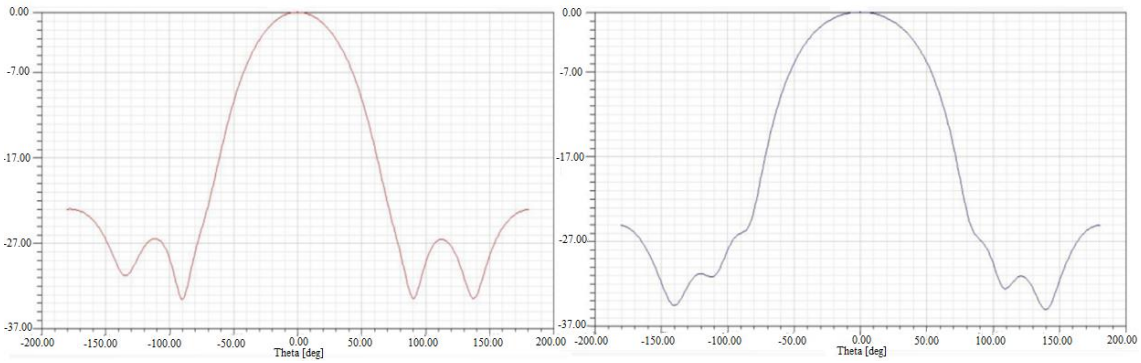
A configuração de medição usa modulação OFDM no sistema ISDB-T para permitir a avaliação do parâmetro RDS processando sinais recebidos de transmissões regulares. Dois transmissores, um no pico da serra do Sumaré e outro no alto do morro da Pena, foram usados para transmitir o mesmo sinal, como está ilustrado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Localização geográfica dos transmissores e pontos de medições



As medições estáticas foram realizadas em 31 locais com uma antena omnidirecional (recepção móvel) e uma direcional (recepção fixa). A antena direcional tem um ganho de 14 dBi com 30o de larguras de feixe horizontal e vertical. Os padrões da antena direcional são mostrados na Figura 4.

Figura 4 – Diagramas de radiação horizontal (esquerda) e vertical (direita)



Os parâmetros do sinal OFDM transmitido usado no experimento e que estão associados em específico com cada antena utilizada durante a campanha são mostrados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Parâmetros de transmissão em uma rede SFN

	T_g (µs)	Ts (µs)	Ganho da antena (dBi)
Modo 1 - 2k ($K_T = T_g$ / Ts = 1/16) QPSK – Recepção móvel (Antena omnidirecional)	15,75	252	1
Modo 3 - 8k ($K_T = T_g$ / Ts = 1/16) 64 QAM – Recepção fixa (Antena direcional)	63	1008	14
Largura de banda do canal (MHz)	6		
Potência do transmissor (Watts) (Sumaré)	6K		
Potência do transmissor (Watts) (Pena)	100		

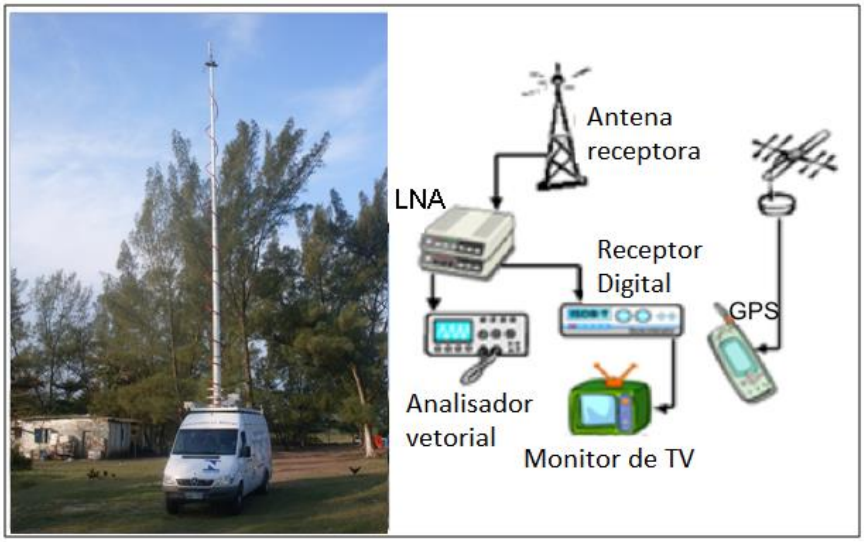
Para a recepção dos sinais transmitidos em diferentes pontos da cidade, foi utilizada uma estação receptora móvel, dotada dos recursos e equipamentos necessários para funcionar como um laboratório de TV Digital, incluindo: mastro retrátil com altura de 10 metros para a antena receptora, conjunto de instrumentos de medida e de armazenamento de dados coletados, sistema de energia independente como o conjunto moto-gerador, sistema de localização como GPS e bússola, e facilidade de comunicação com a base e entre membros da equipe envolvida no trabalho.

A estação receptora propriamente dita é composta dos seguintes equipamentos:

- Antena direcional modelo PQ 45-1040;
- Antena omnidirecional
- LNA – Mini – Circuitos ZFL 1000 LN;
- Casador de impedância WBE - A65
- Analisador Vetorial de Rede - Anritsu MS8901A;
- Receptor Digital ISDB-T;
- Aparelho de GPS com bússola;

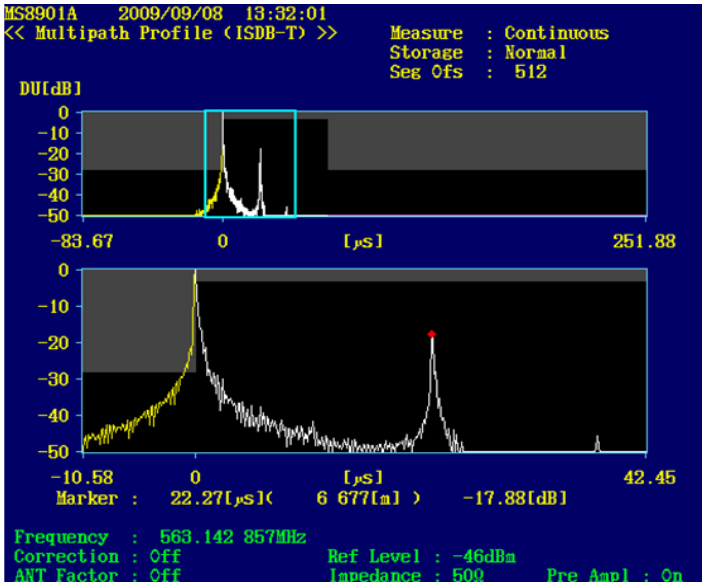
A Figura 5 apresenta a configuração de montagem dos equipamentos de medição instalados na estação receptora móvel de teste.

Figura 5 – Sistema de aquisição de dados



Note-se que a configuração dos equipamentos de recepção inclui uma antena direcional para medição da perda de propagação/perfil de retardos (recepção fixa), uma antena omnidirecional para medição do perfil de retardos (recepção móvel), um casador de impedância (50/75 ohms), um amplificador de baixo ruído (LNA), um analisador vetorial com resolução de 0,123 μs (37 metros), um micro computador portátil, e um GPS (Sistema de Posicionamento Global) com precisão suficiente para verificar o posicionamento da unidade receptora móvel, produzindo erros descartáveis. A necessidade do uso de um casador de impedância de 50 ohms para 75 ohms no setup de medidas ocorreu por ter sido utilizado uma antena com impedância característica de 75 ohms (característica das antenas comerciais para a faixa) e um LNA com impedância de 50 ohms, assim como para o restante dos equipamentos foi necessário o uso de um amplificador de baixo ruído junto às antenas receptoras a fim de aumentar a margem dinâmica do receptor. Especificamente, ainda em relação ao analisador vetorial anteriormente mencionado, é importante observar que este foi configurado para ser usado como um receptor ISDB-T, e através deste foram realizadas as medidas do perfil de retardo (PDP) planejadas na campanha. A Figura 6 ilustra uma medição realizada através do analisador vetorial. Note-se que temos um sinal caracterizado pelas suas componentes de multipercurso.

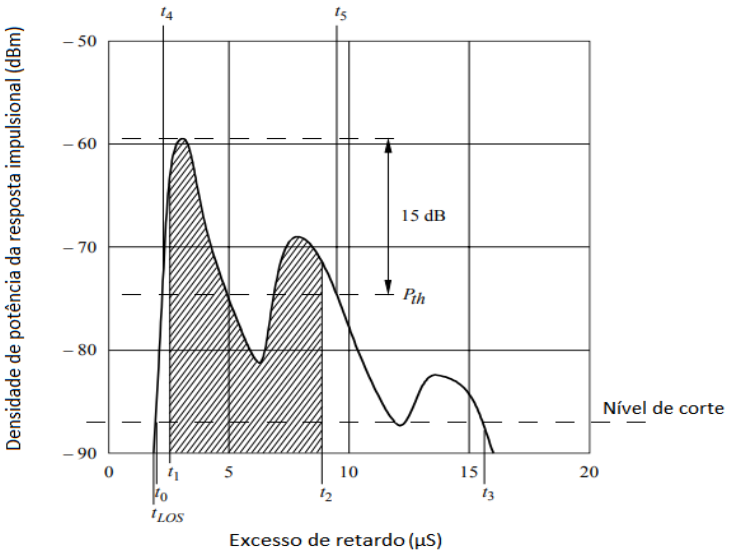
Figura 6 – Medida do perfil de retardos (PDP) no analisador vetorial



2.3 Dispersão do Canal SFN

Em um canal SFN torna-se necessário contabilizar a dispersão dos retardos provocados pela presença de outros transmissores existentes na rede, e para tanto, parâmetros definidos neste trabalho tais como o retardo RMS (RDS) e retardo médio são considerados. Em aplicações, para calcular medidas do perfil de potência do atraso, também conhecido como perfil de retardo (PDP), é de grande valia relacionar os referidos parâmetros a diferentes limiares de ruído pré-definidos. Basicamente ocorre que o sinal ao chegar no receptor pode ser interpretado como multipercurso ou ruído, de acordo com o limiar de ruído que foi escolhido. Na prática, parâmetros como o valor médio e RMS do retardo dependem da escolha deste limiar de ruído que é utilizado para processar as medidas do perfil de retardo (PDP). Na realidade o limiar de ruído tem como objetivo diferenciar as componentes de multipercurso recebidas do ruído térmico. Portanto, se o limiar for ajustado como sendo muito baixo, então o ruído também será processado como multipercurso, produzindo assim um valor médio e RMS do retardo que são artificialmente altos (Guerra, 2022). Como exemplo, a figura 7 ilustra um Perfil de retardos considerando um limiar 15dB abaixo do valor de pico entre os instantes t_4 e t_5. Note-se que a janela de atraso contendo 90% da energia recebida na medição do perfil de retardos (PDP) encontra-se na área hachurada da Figura 7.

Figura 7 – Exemplo de perfil de retardos (PDP)



Fonte: (ITU, 1999).

2.4 Parâmetro de Caracterização do Canal SFN de Multipercurso

Neste trabalho, por meio da determinação de dois resultados preliminares, ou seja, retardo RMS (RDS) e fator K Rician, foi possível realizar uma análise da influência de um ambiente específico, onde variação das condições de recepção e o efeito SFN foram também considerados.

2.4.1 Retardo RMS (RDS)

O RDS é o parâmetro mais importante para caracterizar a extensão do tempo de atraso de um canal de multipercurso. O RDS é definido matematicamente como a raiz quadrada do segundo momento central do perfil de atraso de potência ou Perfil de Retardos (PDP) mencionado na seção 5. O RDS é definido da seguinte forma (ITU, 1999)

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k P(t_k) t_k}{\sum_k P(t_k)} \quad (1)$$

$$\sigma_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_k (t_k - \bar{\tau})^2 P(t_k)}{\sum_k P(t_k)}} \quad (2)$$

onde,

$P(\tau_k)$ é o nível de potência relativa da k-ésima componente de multipercurso em relação ao nível de potência da primeira componente (k =1);

τ_k é o tempo de atraso relativo da k-ésima componente de multipercurso em relação ao tempo de chegada da primeira componente (k = 1);

τ é o excesso de retardo médio;

σ_{rms} é o espalhamento de atraso rms (RDS)

O parâmetro RDS foi calculado para cada ponto de recepção e cada configuração de antena receptora a partir dos perfis de retardos (PDP) medidos, conforme descrito no final da Seção 4. Exemplos de PDP extraídos dos dados medidos estão também ilustrados na figura 6. Dois clusters de componentes de multipercurso podem ser claramente identificados, correspondendo aos sinais de cada antena transmissora da rede SFN. Comparando os PDPs medidos recebidos de um único transmissor, o PDP medido recebido de dois transmissores foi mais espalhado e o PDP tem ecos de longo atraso devido aos múltiplos transmissores da SFN.

2.4.2 Fator K Rician

O fator K (Parsons, 1994) é definido como a razão entre a potência do sinal da componente dominante, também conhecido como componente em linha de visada, e a potência das componentes espalhadas através do canal.

$$K = \frac{P_{dominante}}{P_{espalhadas}} = \frac{r_s^2}{2\sigma^2} \qquad (3)$$

onde r_s é a amplitude da componente dominante do sinal e σ representa a variância das componentes de multipercurso. O fator K é um parâmetro usado para quantificar a intensidade do desvanecimento do canal. Uma caracterização precisa do fator K é útil para o projeto do sistema, tal como o projeto de receptor adaptativo e cálculos de perda de propagação

2.5 Resultados e Discussão

Os parâmetros de dispersão de atraso foram calculados para os 31 pontos de medição, onde foram estabelecidos limiares abaixo dos quais as componentes de multipercurso foram ignoradas. Foram considerados níveis de limiares de 10, 15, 20 e 30 dB abaixo do valor máximo obtido nas medições do perfil de retardo (PDP). As tabelas a seguir que estão discriminadas pelo tipo de recepção considerada nas medidas, mostram os valores médios e máximos de atraso médio e RDS. Em ambos os casos as antenas omnidirecional e direcional estavam posicionadas a uma altura de 13,4 m.

Tabela 3 – Parâmetros de atraso do canal SFN – Recepção fixa

Limiar	Atraso médio (μs) antena direcional (Sumaré)		RDS (μs) antenna direcional (Sumaré)	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
-30 dB	0,9	12,99	1,94	11,69
-20 dB	1,86	12,66	3,34	11,71
-15 dB	2,36	12,65	3,53	11,71
-10 dB	3,83	12,49	5,00	11.44

Tabela 4 – Parâmetros de atraso do canal SFN – Recepção móvel

Limiar	Atraso médio (μs) antena omni (Pena)		RDS (μs) antenna omni (Pena)	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
-30 dB	0,48	4,75	1,54	8,03
-20 dB	0,86	4,68	2,45	8,01
-15 dB	1,16	4,55	2,84	7,99
-10 dB	2,45	4,48	4,37	8,04

Como pode ser visto, o atraso médio máximo e os valores de RDS variam apenas ligeiramente com o limiar. Os valores médios diminuem com o limiar, à medida que componentes adicionais são detectadas. Além disso, os valores de RDS são maiores para o caso da antena direcional (recepção fixa) devido ao seu maior ganho.

Em 12 pontos, também foram realizadas medições com a antena omnidirecional (recepção móvel) posicionada a 4,1 m do solo. Considerando apenas esses pontos, o valor médio do RDS foi ligeiramente maior (2,24 μs) para as medições com a antena mais baixa do que com a antena mais alta (1,98 μs).

Considerando os valores máximos de RDS medidos com limiar de -30 dB apresentados nas Tabelas 3 e 4, e os parâmetros de transmissão do padrão ISDB-T discriminados na Tabela 1, é possível concluir que, para recepção móvel (RDS máximo = 8,03 μs) o sistema pode operar em modo 1 com um intervalo de guarda de 1/16 (Tg = 15,75 μs), no modo 2 com um intervalo de guarda de 1/32 (Tg =15,75 μs) e no modo 3, também com um intervalo de guarda de 1/32 (Tg = 31,5 μs), maximizando assim a eficiência espectral do sistema (Tralic, 2012).

A utilização de mais de um transmissor, embora melhore a cobertura, pode produzir multipercursos adicionais no receptor, conhecido como efeito SFN. Porém, menores valores médios e máximos de RDS são observados para a antena omnidirecional, conforme as tabelas

3 e 4. Isso se deve ao maior ganho da antena direcional, que aumentará os componentes de multipercurso que serão desprezíveis para a antena omnidirecional de menor ganho.

2.5.1 Atraso Médio e Retardo RMS (RDS)

A Figura 8 a seguir mostra os valores medidos de atraso médio e RDS em cada ponto, plotados em função da distância ao transmissor do Sumaré. Para este conjunto de medições a antena direcional foi apontada para o transmissor do Sumaré. Ambas as antenas estavam 13,4 m acima do nível do solo. A partir deste gráfico não é possível concluir qualquer tendência destes parâmetros com a distância ao transmissor principal. Existe, no entanto, uma tendência definida na relação entre atraso médio e RDS, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 8 – Valores de atraso médio e RDS versus distância (Sumaré) -antenas direcional e omni

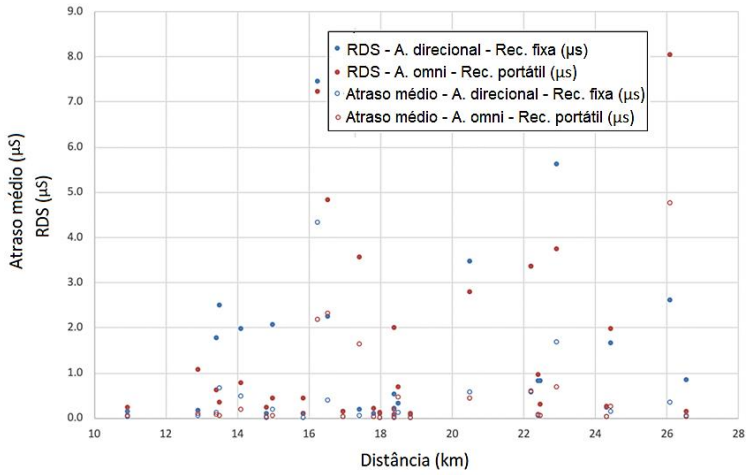
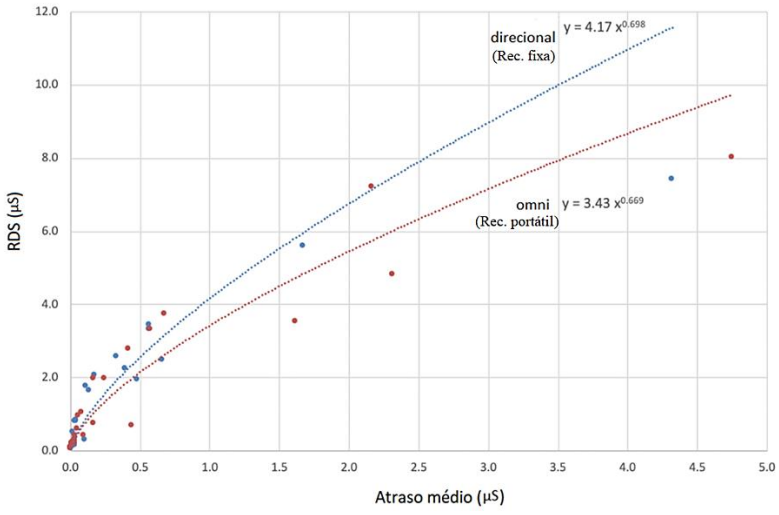


Figura 9 – RDS versus atraso médio: antenas direcional e omni



2.5.2 Dependência entre Parâmetros de Retardo e Fator K

Os valores do fator K para as antenas direcionais e omni são consistentes, conforme mostrado na Figura 10, principalmente para valores altos correspondentes à dominância da componente direta de multipercurso. Os resultados também mostram que o atraso médio e o RDS diminuem claramente à medida que o fator K aumenta, conforme mostrado nas Figuras 11 e 12. Isso é esperado, pois na presença de uma componente de multipercurso dominante forte, ocorrerá menor dispersão do atraso.

Figura 10 – Fator K - antena omni versus Fator K - antenna direcional

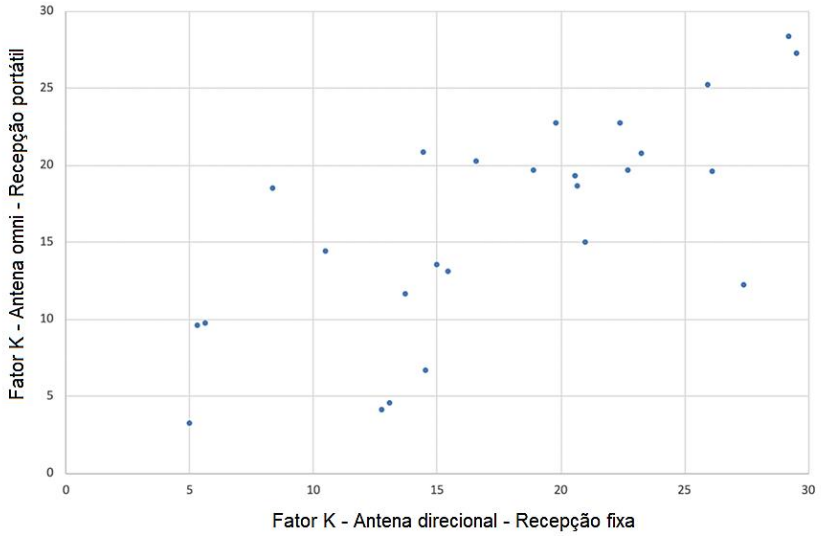


Figura 11 – Atraso médio versus Fator K: antenas omni e direcional

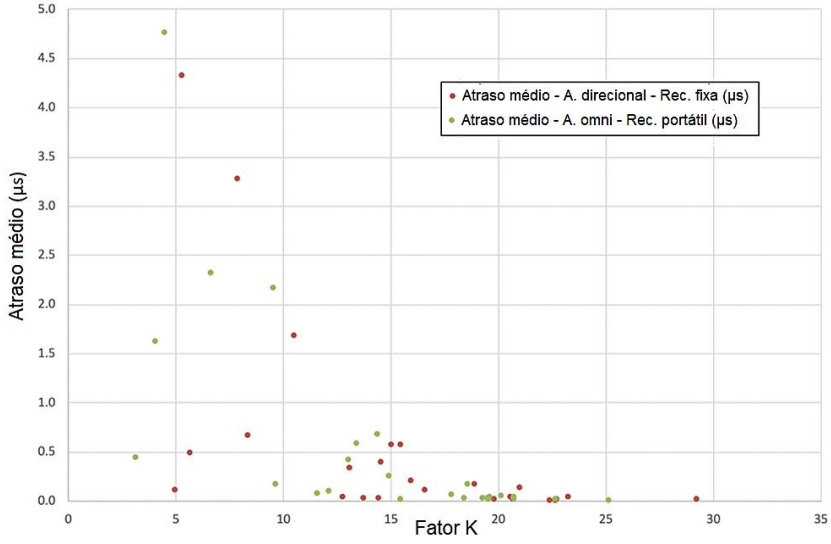
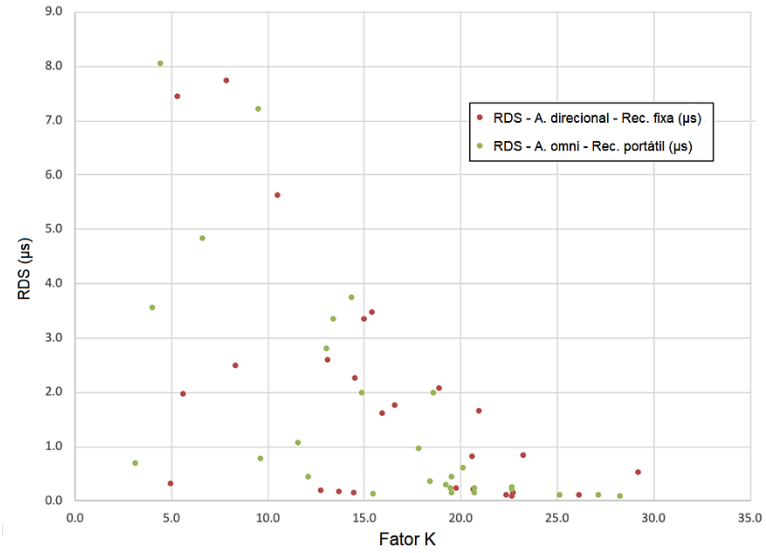


Figura 12 – RDS versus Fator K: antenas omni e direcional



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, parâmetros de dispersão de um canal de radiodifusão de banda larga foram calculados a partir de perfis de retardos obtidos em uma campanha de medição realizada em uma rede de frequência única (SFN) comercial com dois transmissores. Esta rede provê cobertura radioelétrica a uma área urbana da cidade do Rio de Janeiro e seus arredores. Definições da Recomendação ITU-R REC P.1407 foram utilizadas para calcular os parâmetros atraso médio e retardo RMS (RDS). O método empregado na campanha permite medições de redes em operação e pode ser utilizado em futuros trabalhos experimentais de medição.

Antenas direcional e omnidirecional, a 13,4 m do solo, foram utilizadas nas medições nos mesmos 31 pontos abrangidos pela área de cobertura. As antenas direcionais podem ser usadas para recepção fixa, enquanto as antenas omni são usadas para recepção móvel.

Os resultados incluem valores médios e máximos de atraso médio e RDS, para diferentes limiares de medição, e o fator K, definido como a razão da potência do sinal da componente dominante sobre a potência das componentes dispersas. Os valores máximos de atraso médio e RDS variam apenas ligeiramente com o limiar, mas os valores médios diminuem com o limiar, à medida que componentes adicionais são detectadas. Além disso, os valores de RDS são maiores para o caso da antena direcional devido ao seu maior ganho. A relação entre a variação das condições de recepção e o efeito SFN também foi analisado. Em alguns pontos, também foram realizadas medições com a antena omni posicionada a 4,1 m do

solo. Considerando apenas esses pontos, o valor médio do RDS foi ligeiramente maior para as medições com a antena mais baixa do que com a antena mais alta. Esta tendência segue os resultados obtidos em (Guerra, 2022), onde a variação dos parâmetros de dispersão observadas tem relação mais pronunciada com o ambiente de medidas do que propriamente com os efeitos causados por uma rede distribuída com mais de um transmissor.

A relação entre o RDS e o fator K também foi analisada. O sinal SFN desvanecido seguiu uma distribuição de Rician devido à existência da componente em linha de visada (LOS) de uma ou das duas antenas transmissoras em quase todos os pontos de recepção. Os resultados mostram que o atraso médio e o RDS diminuem claramente à medida que o fator K aumenta.

REFERÊNCIAS

Guerra, M. V., "Caracterização do Canal de Propagação para Redes de TV Digital de Frequência Única". Tese de Doutorado, Pontifíca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Guerra, M.; Nobrega, M.; Filho, J.,"Modelagem do Canal SFN para Redes Móveis", Revista Projectus, v. 5n. 3 (2020), 93-103, Rio de Janeiro, 2022.

ITU Recommendation ITU-R P. 1407: Multipath propagation and parameterisation of its characteristics, 1999.

Parsons, J. D.; The Mobile Radio Propagation Channel. London: Pentech Press, pp 139-140, 1994.

Takada, M.; Masafumi, S.. "Transmission system for ISDB-T," Proceeding of the IEEE, vol. 94, no. 1, pp. 251–256, Jan. 2006.

Tralic, D.; Dumic, E.; Vukovic, J.; Grgic, S. "Simulation and Measurement of DVB-T2 Channel Characteristics", 54th International Symposium ELMAR-2012, 12-14 September 2012