

Novos conceitos de cobertura da TV 3.0

A camada física, espaço onde se estabelecem os meios de conexão através dos quais irão trafegar os dados, é analisada neste artigo do GT de TV 3.0 da SET.

Por Alberto Leonardo Penteado Botelho



Teste de campo da camada física, no Rio de Janeiro / Foto: Fórum SBTVD

Introdução

As primeiras transmissões oficiais de TV terrestre no Brasil foram feitas no ano de 1950, em tecnologia analógica e em preto e branco. Depois da primeira transmissão, os avanços tecnológicos nunca mais pararam e a evolução das TVs também não. Surgiu a TV à cores e novos recursos como estéreo, SAP (*Second Audio Program*) e *closed caption*. A partir da década de 1990, a multiplicidade da oferta e aceleração da globalização impulsionou novos concorrentes, como televisão a cabo, mídias digitais e provedores de acesso à internet. As necessidades impulsionaram as inovações e nesse contexto, nasce a TV 2.0, em tecnologia digital com novos recursos, como alta definição, código corretores de erros, recepção móvel e interatividade.

Atualmente, a internet evoluiu concomitantemente com o desenvolvimento do mercado de vídeos *online* (*streaming*) e resultou no surgimento de usuários multitarefa que dão ao consumidor mais controle sobre o conteúdo. A TV linear divide a audiência com as plataformas de *streaming*, fragmentando a audiência entre um número considerado de canais de mídia, provedores e dispositivos que não param de crescer. No Brasil, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD), mostra que em 2019, 96,3% da população possuía televisão e 94,0% da população tinha *smartphone*. Da população que possui *smartphone*, 88,4% o utiliza para assistir

vídeos, programas, séries e filmes pela Internet.

A próxima geração de TV digital terrestre, a TV 3.0 se adequa ao novo comportamento dos consumidores de vídeo, com novos conceitos de camada física, camada de transporte, codificação de áudio e vídeo e programação direcionada. A camada física diz respeito aos meios de conexão através dos quais irão trafegar os dados. A TV 3.0 considera os métodos de entrega pelo ar e fornece interface banda larga. A entrega pelo ar compreende o esquema de modulação e demodulação unidirecional com correção de erros. A arquitetura da TV 3.0 pode ser visualizada pela Figura 1.



Figura 1 - Arquitetura da TV 3.0/Fonte: Adaptação (Forum SBTVD, 2021).

A arquitetura é um agrupamento de grupos específicos. A 1ª camada considera a interface física de acesso à Internet e a camada física pelo ar que compreende o esquema de modulação/demodulação e correção de erros. A 2ª camada é a camada de transporte que compreende a multiplexação e transporte de vídeo, áudio, legendas e aplicativos e metadados. A 3ª camada é responsável pela codificação de vídeo, codificação de áudio e legendas. A 4ª camada é a camada de aplicação que inclui interatividade, integração entre transmissão pelo ar e banda larga e tratamento com a apresentação de todo o conteúdo audiovisual. Este artigo explora novos conceitos da área de cobertura da TV 3.0, com seus requisitos para reutilização de frequência-1, C/N (*Carrier-to-Noise Ratio*) ≤ 0 dB, a importância da distribuição *Rayleigh* como solução

para simular a C/N mínima de forma confiável, o resultado dos testes das tecnologias proponentes e o novo conceito de cobertura para antena integrada do televisor.



Teste da camada física em laboratório / Foto: Fórum SBTVD

Requisitos da camada física

O Fórum SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital) assessorou o governo acerca de políticas, inovações tecnológicas, especificações, desenvolvimento e implantação da primeira geração de televisão digital terrestre (TV 2.0) e suas evoluções retrocompatíveis (TV 2.5). A implantação da TV 2.0 foi possível devido a um recurso importante de economia de espectro, que é a possibilidade de operar com mais de uma estação em SFN (*Single Frequency Network*), que é um conjunto formado pela estação geradora e as retransmissoras que operam no mesmo canal e transmitem exatamente o mesmo conteúdo, simultaneamente. A operação em SFN reduziu a quantidade de canais necessários, permitindo a operação simultânea entre a TV analógica e a TV 2.0. Após o desligamento da TV analógica, o espectro utilizado pela televisão terrestre no Brasil foi reduzido, considerando que cinco canais foram destinados para outros serviços a serem definidos e dezoito canais foram destinados para o SMP (Serviço Móvel Pessoal). A diminuição do espectro de TV congestionou o espectro nos grandes centros urbanos.

A camada física da TV 3.0 pelo ar será implantada nas bandas VHF alto e UHF, com largura de banda de 6 MHz e deve coexistir com a TV 2.0 por um longo tempo, sem interferência mútua. A operação simultânea da TV 2.0 e da TV 3.0 será um desafio e só será possível com novos recursos de economia do espectro. A TV 3.0 pretende adotar um novo conceito de economia de espectro, chamado de reutilização de frequência-1. Um receptor em uma rede de reutilização de frequência-1, pode receber sinais de estações diferentes, com conteúdos diferentes e na mesma frequência (co-canal), onde os sinais atuam

como interferentes e o receptor consegue receber os dois sinais. Quando duas estações vizinhas operam com o mesmo conteúdo de forma sincronizada, é possível o *roaming* da recepção móvel de forma contínua. Uma eventual perda de sincronismo de uma estação, não compromete a cobertura das estações vizinhas.

A Figura 2 mostra uma simulação de cobertura de 2 estações hipotéticas na Cidade do Rio de Janeiro, instaladas no Morro do Sumaré e no Morro do Mendanha, no mesmo canal. Em ciano, é mostrado a cobertura do Sumaré. Em amarelo é mostrado a cobertura do Mendanha. Em vermelho, é mostrado região de intersecção entre Sumaré e Mendanha.

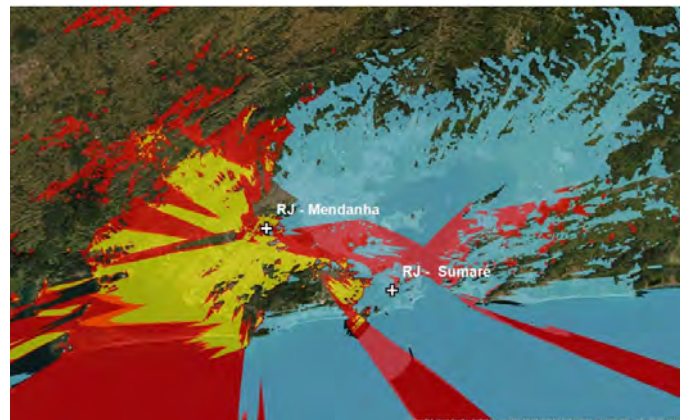


Figura 2 - Cobertura de 2 estações no mesmo canal / Fonte: Autor

Na TV 2.0 com SFN, a cor ciano indica cobertura do Sumaré, amarelo indica cobertura do Mendanha e vermelho indica que o receptor consegue decodificar Sumaré e Mendanha simultaneamente, desde que sincronizados e no intervalo de guarda. As estações

podem ser instaladas no mesmo canal, desde que possuam a mesma programação. Na TV 3.0 com recurso de reutilização de frequência-1, a cor ciano indica cobertura do Sumaré, amarelo indica cobertura do Mendanha e vermelho indica que o receptor consegue receber o sinal das duas estações, a qualquer tempo, sem necessidade de sincronismo e entre emisoras diferentes com programações distintas. O conteúdo transmitido nas duas estações pode ser igual, semelhante ao comportamento atual da SFN. Entretanto, o novo recurso permitirá que a publicidade exibida no receptor seja diferente na área coberta de cada estação e diferente também na intersecção da cobertura das duas estações.

Trata-se de uma oportunidade para um novo modelo de negócios. A reutilização de frequência-1 permitirá grande flexibilidade à rede de transmissão,

permitindo conteúdo segmentado regionalizado, usando o mesmo canal, com aumento da robustez da rede e redução da demanda por espectro adicional para a transição tecnológica.

As especificações da camada física para a TV 3.0 devem suportar reutilização de frequência-1, largura de banda de 6 MHz nas faixas de VHF e UHF, operação com antena MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*) 2x2, *channel bonding* (implementação em que dois canais dentro de uma determinada banda de frequência são combinados para aumentar a taxa de dados entre dois ou mais dispositivos sem fio), recepção móvel em velocidades de até 120 km/h, alta eficiência espectral, capacidade do receptor “despertar” em caso de aviso de emergência, permitir extensão de versões futuras e $C/N \leq 0$ dB no canal *Rayleigh*.

Relação de proteção

A C/N (*Carrier-to-Noise Ratio*) significa relação portadora-ruído que compara a intensidade do sinal recebido “C” com a intensidade do ruído recebido “N”. Quanto maior for a C/N , menor é o efeito do ruído. Já a D/U (*Desirable-to-Undesirable*) significa razão entre a potência do sinal desejável “D” sobre o indesejável “U”. Relação de proteção é a D/U mínima que assegura a proteção para o serviço. Quanto menor for a relação de proteção, maior será a robustez do serviço.

A reutilização de frequência-1 requer $D/U \leq 0$ dB, que será requisito mínimo de cobertura, ou seja, a TV 3.0 precisa de recursos avançados para aumentar a robustez e a qualidade do vídeo. A TV 3.0 pode alcançar a robustez do $D/U \leq 0$ dB e a qualidade de vídeo com características mais eficientes como OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que significa a multiplexação por divisão de frequência ortogonal, BICM (*Bit Interleaved Coding And Modulation*) que significa modulação codificada por bits de última geração, LDM (*Layered Division Multiplexing*) que significa multiplexação por divisão em camadas, LDPC (*Low Density Parity Check*) que significa código de Paridade de Baixa Densidade e antenas MIMO para obter alta eficiência de espectro, serviço robusto e cobertura aprimorada. Com essas características combinadas e configuradas com modulações de baixa ordem e com taxa do código LDPC mais robusto, é possível $D/U \leq 0$ dB.

A D/U mínima do sistema de transmissão pode ser parametrizada em campo, nas condições reais de transmissão e recepção, porém os altos custos e o tempo envolvido, o tornam impeditivos.

Simulações confiáveis do sistema de comunicação em laboratório se tornam imprescindíveis e caracterizar o ruído de forma mais precisa possível é pela distribuição *Rayleigh*.

$C/N \leq 0$ DB no canal *Rayleigh*

No sistema de transmissão por radiodifusão terrestre, a antena de transmissão converte a energia recebida em campo eletromagnético e a espalha em todas as direções do espaço. O espalhamento, as perdas de dissipação, o multipercurso e o ruído aditivo atenuam e degradam a onda eletromagnética conforme se propaga. O multipercurso é formado pela combinação de ondas refletidas, refratadas, difratadas e pelo efeito Doppler. O efeito Doppler se intensifica se o receptor móvel estiver se deslocando em transportes públicos ou privados.

Para simplificar, assume-se que os vetores do multipercurso e do ruído aditivo são independentes e distribuídos de forma idêntica. A literatura disponibiliza diferentes distribuições para representar o multipercurso e o ruído aditivo encontrado no meio de propagação, como *Rayleigh*, *Rician* e *Nakagami*. *Rayleigh* aplicar ao Teorema do Limite Central, onde cada caminho do multipercurso pode ser modelado como circularmente simétrico, gaussiana, variável com o tempo e demonstrou ser mais indicado em aplicações de grande quantidade de multipercursos.

A Figura 3 mostra a PDF (*Probability Density Function*) *Rayleigh*. O eixo PDF descreve a probabilidade de uma determinada potência atingir o receptor, na qual assume valores sempre positivos,

com integral da PDF sobre todo o espaço sempre igual a 1. O eixo Potência descreve o intervalo dos valores de potência é definido como a média temporal da potência.

Testar a C/N mínima no canal *Rayleigh* é o método mais eficaz para determinar a robustez do sistema de

transmissão e deve ser configurado para ser variável no tempo para representar o desvanecimento por multipercurso em função da velocidade do veículo. Para representar o efeito Doppler em diferentes situações de deslocamento é importante aplicar um deslocamento equivalente a 3 km/h e a 120 km/h.

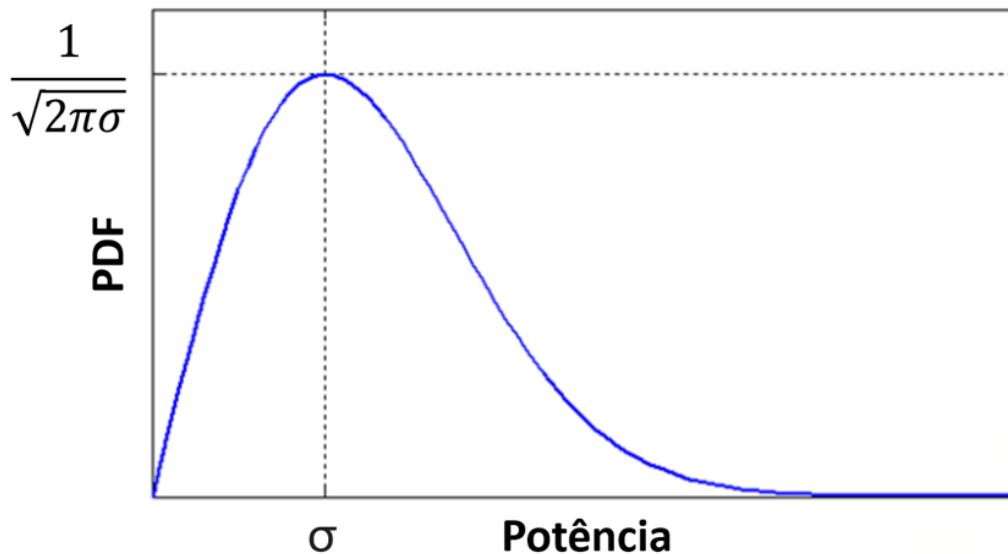


Figura 3 - Função Densidade de Probabilidade Rayleigh/ Fonte: Autor

Testes da camada física

Após o Fórum SBTVD concordar com seus requisitos técnicos, comerciais e de propriedade intelectual, foi decidido submeter uma chamada de propostas para qualquer organização interessada em enviar suas propostas de tecnologias candidatas para qualquer um dos componentes e subcomponentes do sistema. O Fórum SBTVD coordenou testes da camada física da TV 3.0 no laboratório de TV Digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com 4 candidatos proponentes, o Advanced ISDB-T (*Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting*), o ATSC-3.0 (*3.0 Advanced Television System Committee*), o 5G Broadcast e o DTMB-A (*Advanced Digital terrestrial television multimedia broadcasting*). Os parâmetros dos testes para cada tecnologia são apresentados na Tabela 1.

No geral, os resultados dos testes de laboratório atenderam à maioria dos requisitos da TV 3.0, porém, testes adicionais serão necessários e as proponentes devem fornecer equipamentos com suporte para reutilização de frequência-1, MIMO e *channel bonding* com taxa de bits suficiente. A taxa de bits será considerada suficiente com avaliações subjetivas de qualidade de vídeo em tempo real, em diferentes resoluções, considerando apenas a camada base e em combinação com a camada de

channel bonding. Se a taxa de bits for insuficiente, a condição de reutilização de frequência-1 precisará ser revisada.

A escolha final da camada física da TV 3.0 depende de implicações político-regulatórias, porém, o Fórum SBTVD apresentou o cronograma para início da operação comercial da TV 3.0, referente exclusivamente aos proponentes das tecnologias já definidas, conforme Tabela 2.



?

Tabela 1–Parâmetros de Modulação

	ISDB-T Avançado	ATSC 3.0	5G Broadcast	DTMB-A
Largura de banda	6 MHz	6 MHz	5 MHz	6 MHz
Modulação	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
Código corretor de erros	LDPC (3/16) 69120 + BCH	LDPC (2/15) 64800 + BCH	Código Turbo (taxa de código 0,672 no receptor)	LDPC (1/3) 61440. BCH opcional não disponível
FFT	16K	16K	512 (1,25 kHz de separação)	4K
Intervalo de guarda	800/16384 (126.56 µs)	4/768 (111µs)	Prefixo cíclico estendido (200 µs)	PN 256
Piloto	Dx = 6 and Dy=2	SP8_2 98	MCS (Modulação e esquema de codificação) 9	Sequência PNMC inserida no IG e piloto
Entrelaçador temporal	l = 3	CTL1024	Não disponível	480 quadros de sinal
Camada	Camada A de 35 segmentos	Camada Central	-	-
Taxa (SISO)	1,8 Mbps	Não disponível	3,886 Mbps	1,68 Mbps
Taxa (MIMO)	3,6 Mbps	2,6 Mbps	Não disponível	3,36 Mbps
Quase sem erros	PER de 10 ⁴ antes do BCH	Limiar de visibilidade	Limiar de visibilidade	BER de 3x10 ⁶

Fonte: Adaptado de (Omi, et al., 2022).

Antena Integrada

A TV 2.0 foi desenvolvida para recepção de antena externa. Geralmente são diretivas, de alto ganho e montadas nos telhados das casas ou edifícios. A vantagem da antena externa é a posição da instalação que minimiza os obstáculos naturais e construídos e a amplificação do sinal recebido, permitindo que o receptor decodifique o sinal de baixa intensidade. A desvantagem da antena externa é a complexidade da instalação e a exigência de que o receptor deve estar em um ponto fixo da residência. Atualmente, a antena externa está se tornando cada vez menos representativa à medida que a população se desloca predominantemente para apartamentos em vez de casas, que não têm sistema de antena coletiva.

As *Smart TVs*, *smartphones*, *tablets* e computadores estão preparados para receber consumo de vídeo pela internet e normalmente

recebem o sinal pela rede Wi-Fi, 4G, 5G, entre outras. Esses dispositivos oferecem antenas integradas com cobertura omnidirecional, dentro de um espaço muito limitado e, portanto, eletricamente pequenas. A vantagem da antena integrada é a despreocupação do consumidor em instalar antena e a mobilidade. A desvantagem da antena integrada é a maximização dos efeitos dos obstáculos naturais e construídos e a baixa amplificação do sinal recebido. Na prática, as redes 4G e 5G minimizam as desvantagens com uma complexa rede de transmissores e para as redes Wi-Fi, existem várias soluções de roteamento a custo acessível.

A facilidade de receber o vídeo pela internet e a complexidade de receber o sinal de TV impacta no comportamento do consumidor que pode ser atendido pela internet e não ser atendida pela TV

terrestre. A Figura 4 mostra uma simulação de cobertura de duas (2) estações hipotéticas na Cidade do Rio de Janeiro, nas mesmas condições apresentadas na Figura 2, para a TV 2.0. A região em laranja representa a cobertura total nas configurações de transmissão recomendadas com modulação 64 QAM e código convolucional 3/4 e as configurações de recepção recomendadas antena externa com altura de 10 metros e ganho de 10 dBd.



Figura 4 - Cobertura da TV 2.0 para antena externa / Fonte: Autor

Se as configurações de transmissão da TV 2.0 permanecerem as mesmas, porém com alteração das configurações de recepção para antena integrada, a cobertura seria alterada. A cobertura para antena integrada deve considerar as perdas devido à penetração em uma residência ou edifício e correção da altura da antena de recepção. As perdas de penetração dependem significativamente do material de construção, ângulo de incidência da onda eletromagnética, frequência e proximidade de uma parede externa. A perda média recomendada é de 15 dB.

O modelo de propagação deve considerar a altura da antena de recepção portátil no interior de uma residência ou edifício e perdas adicionais causados por ruídos causados pelo homem. A altura da antena de recepção recomendada para pior caso é de 1,5 m acima do nível do solo. As antenas de recepção podem ser passivas ou ativas. Antenas ativas fornecem ganho maior, porém são mais complexas e consomem energia elétrica que pode ser significativo em dispositivos móveis. O *call for prototypes* da TV



Figura 5 - Cobertura da TV 2.0 para antena integrada passiva / Fonte Autor

3.0, apresentado pelo Fórum SBTVD, estipulou as características mínimas para antenas internas e externas. Para antena passiva é recomendado o ganho de -1 dBi (UHF), perda de retorno de 10 dB e polarização cruzada de 15 dB. Para antena ativa é recomendada o ganho de 18 dBi, figura de ruído de 2 dB, Interceptação de Terceira Ordem de 30 dBm e perda de retorno de 20 dB.

A Figura 5 mostra como seria a cobertura da TV 2.0 na Cidade do Rio de Janeiro nos receptores com antena integrada passiva, nas mesmas condições apresentadas na Figura 4. Em amarelo é demonstrada a cobertura resultante das duas estações.

Para que a TV 2.0 adote antena integrada, a situação atual das estações não atingiria cobertura satisfatória e somente seria possível com aumento significativo das potências e dos custos do projeto. A TV 3.0 requer $C/N \leq 0$ dB como requisito mínimo para suportar reutilização de frequência-1, porém possui importante diferencial que é o aumento significativo da robustez, com a possibilidade do receptor decodificar o sinal transmitido, com potência de transmissão muito menor.

A Figura 6 mostra a mesma simulação de cobertura no Rio de Janeiro para antena integrada, considerado as novas características da TV 3.0, com adaptação do C/N de 20,1 para 0 dB. Em azul é demonstrada a cobertura das duas estações.

As simulações mostram que a TV 3.0 com antena de recepção integrada passiva tem cobertura inferior à TV 2.0 com antena de recepção externa, porém não é severa e pode ser minimizada com aumento viável da complexidade e dos custos da transmissão. A penetração do sinal nos dispositivos móveis pretende viabilizar o aumento da complexidade. O $C/N \leq 0$ dB é um novo conceito de cobertura de TV, porém possui uma desvantagem que é a redução significativa da taxa de dados. Transmissão em MIMO 2x2 e *channel bonding* são soluções que podem melhorar a taxa de dados e permitir, inclusive, operações em UHDTV de forma adequada.

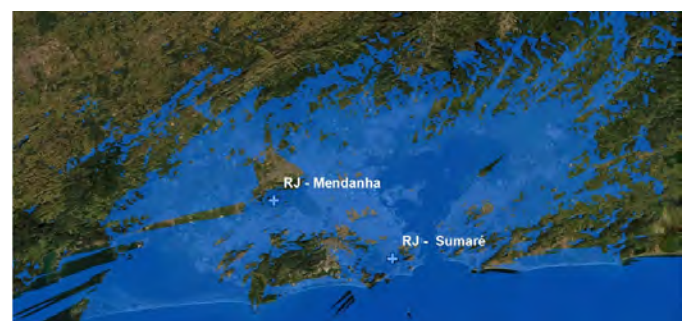


Figura 6 - Cobertura da TV 3.0 para antena integrada passiva / Fonte: Autor

Conclusão

A TV aberta tem grande impacto junto à população e ao mercado, porém a evolução da internet tornou a audiência mais fragmentada, dividindo espaço com plataformas de streaming como *smarttvs*, *smartphones*, *tablets* e computadores. Esses dispositivos operam com antena integrada e a TV 3.0 se adequa a essa nova realidade. Um novo conceito de camada física é apresentado e tem objetivo de concorrer com a simplicidade de captação da internet.

A TV 2.0 foi projetada para antena externa, porém $C/N \leq 0$ dB é um novo conceito para que a TV 3.0 tenha praticamente a mesma penetração da internet, com todas as vantagens de estabilidade, sem latência e sem perda de pacotes, desde que esteja em região com C/N mínima requerida. $D/U \leq 0$ dB é também, requisito para a reutilização de frequência-1, que é uma ferramenta importante para a redução do uso do espectro. A degradação da onda eletromagnética causada por multipercurso ou ruído aditivo deve ser cuidadosamente analisada para parametrizar o C/N

de forma confiável. A distribuição Rayleigh é a mais indicada para representar as condições reais de propagação.

O artigo apresentou os testes do Fórum SBTVD com quatro (4) tecnologias proponentes, o ISDBT Avançado, o ATSC-3.0, o 5G Broadcast e o DTMB-A. O cronograma apresentado mostra que a definição da TV 3.0 depende de implicações político-regulatórias, porém, o Fórum SBTVD espera apresentar a tecnologia até o ano de 2024. Foi demonstrado o impacto da antena de recepção integrada, que pode ser passiva ou ativa e altera significativamente a complexidade e os custos da implantação do sistema de transmissão.

$C/N \leq 0$ dB possui uma desvantagem que é a redução significativa da taxa de dados. Transmissão em MIMO 2x2 e *channel bonding* são soluções que podem melhorar a taxa de dados e serão exploradas na segunda parte.

Referências Bibliográficas

Abdul Haq, N., Katiyar, R., & Padmaja, K. V. (2014). BER Performance of BPSK and QPSK over Rayleigh channel and AWGN channel. International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications.

Advanced Television Systems Committee. (2017). ATSC Standard: Physical Layer Protocol (A/322).

Akamine, C. (2011). Contribuições para Distribuição, Modulação e Demodulação do Sistema de TV Digital ISDB-TB. Tese de Doutorado da Universidade Estadual de Campinas.

ARIB. (2005). STD-B31, Versão 1.6, traduzida para o inglês. Disponível em: <http://www.arib.or.jp/english/index.html>

Bueno, E. S. (2013). Análise Comparativa do Comportamento de Recepção do Sistema ISDB-TB nas Bandas VHF e UHF. Dissertação de Mestrado da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Forum SBTVD. (17 julho 2020). Call for Proposals: TV 3.0 Project.

Fórum SBTVD. (2020). Call for Prototypes: TV 3.0 Project MIMO Indoor Antennas.

Forum SBTVD. (03 Dezembro 2021). Testing and Evaluation Report: TV 3.0 Project - Over-the-air Physical Layer Laboratory Tests.

Gao, Y., Chen, Y., & Bekkali, A. (Abril 2016). Performance of Passive UHF RFID in Cascaded Correlated Generalized

Rician Fading. IEEE Communications Letters, Vol. 20, Nº 4,.

IBGE. (2019). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua.

ITU-R BT.1368-13. (2017). Recommendation ITU-R BT.1368-13.

Jarin, I., & Sharmin, R. (2017). Performance Evaluation of SISO OFDM System in the Presence of CFO, Timing Jitter and Phase Noise for Rayleigh and Rician Fading Channels. IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC).

Jerji, F., & Akamine, C. (2022). Advanced ISDB-T and ATSC 3.0 LDPC Codes Performance and Complexity Comparison. IEEE Transactions on Broadcasting.

Middleton, D. (Maio 1999). Non-Gaussian Noise Models in Signal Processing for Telecommunications: New Methods and Results for Class A and Class B Noise Models. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, nº. 4.

Muslimin, J., A.L. Asnawi, A. I., Raml, H., Jusoh, A. Z., Noorjannah, S., & Azmin, N. F. (24-26 Agosto 2015). Basic Study of OFDM with Multipath Propagation. IEEE Conference on Wireless Sensors.

Omi, J., Santiago, N. S., de Oliveira, G. H., Filho, E. F., Santana, M. A., dos Santos Jr, L. N., . . . Akamini, C. (2022). Performance Analysis of TV 3.0 Over-the-Air Physical Layer Protocols. IEEE BMSBilbao.

Park, S., Lee, J., Kwon, S., Lim, B., Ahn, S., Kim, H. M., ... Kim, J. (2018). ATSC 3.0 Physical Layer Modulation and Coding Performance Analysis. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB).

Sun, L., Fu, C., & Zhang, Z. (2007). On the Nonlinear Properties Analysis of Multipath Fading Channel. IEEE.

Ziemer, R. E., & Peteson, R. L. (2001). Introduction to Digital Communication, 2ª edição. Editora Prentice Hall.

Ribeiro. (2004). Propagação das Ondas Eletromagnéticas, Princípios e Aplicações. Editora Érica, Primeira Edição.



Alberto Botelho é engenheiro de projetos da LM Telecom e doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Trabalha como engenheiro de projetos de radiodifusão desde 2022 e possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Paulista (UNIP), especialização em Engenharia de Sistemas de Televisão Digital pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), especialização em Engenharia de Redes de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Contato: abotelho@lmtelecom.com.br



NOVO APP

Baixe o SET Connect e fique conectado com a SET.

Notícias, Eventos, Oportunidades e Conteúdos Exclusivos para Associados

