



Foto: Ricardo Rabaça

# Testes de laboratório da Camada Física da TV 3.0

*Em novembro de 2023, o Fórum SBTVD divulgou o relatório dos Testes de Laboratório da Camada Física na Fase 3 do Projeto TV 3.0 realizados, de abril a setembro de 2023, pelo Laboratório de TV Digital, da Escola de Engenharia, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, sob a coordenação do Fórum SBTVD, e financiados pelo Ministério das Comunicações, por meio da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). Este artigo detalha os aspectos técnicos das tecnologias avaliadas em laboratório e apresenta um breve relato dos resultados.*

**Por Ricardo Seriacopi Rabaça**

## Introdução

A TV aberta terrestre é a principal plataforma de distribuição audiovisual no Brasil. Ela garante à maioria da população brasileira o acesso gratuito, universal e democrático à informação e ao entretenimento. Sendo assim, é um importante fator de coesão social, identidade nacional e cultural. A **Figura 1** mostra a

evolução da radiodifusão terrestre no Brasil, desde a TV analógica em preto e branco, até a nova geração de TV digital que entrará em operação nos próximos anos (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

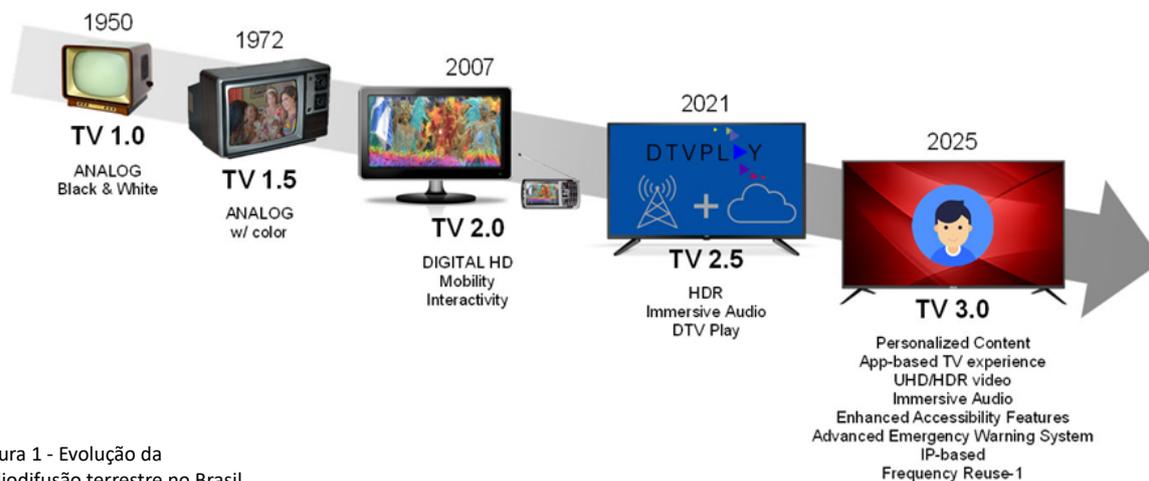


Figura 1 - Evolução da radiodifusão terrestre no Brasil.

A transmissão de TV no Brasil foi iniciada na década de 1950, ainda no formato analógico. A TV analógica, que chamamos de TV 1.0, tinha como características principais a imagem em preto e branco e o áudio monofônico (com apenas um canal) (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

Entre as décadas de 1970 e 1980, algumas evoluções foram inseridas, como, por exemplo, o vídeo com cores, o áudio estéreo e o sistema de legendas (*Closed Caption*). Como essas melhorias eram retrocompatíveis com a TV 1.0, essa geração foi considerada como uma evolução e passou a ser chamada de TV à cores *Phase Alternating Line* (PAL-M) ou também TV 1.5 (Sukys, 1984).

A primeira geração de TV digital no Brasil passou a ser considerada com o Grupo de estudos Sociedade de Engenharia de Televisão (SET)/Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (ABERT)/Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) em 1998. Em 1999, testes comparativos entre os sistemas *Advanced Television System Committee* (ATSC) e *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* (DVB-T) foram realizados em laboratório e em campo na cidade de São Paulo. No final de 1999, o sistema *Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial* (ISDB-T) foi inserido na avaliação e novos testes foram realizados até maio de 2000 (Mackenzie/NEC/SET/ABERT, 2000).

Alguns anos se passaram e em 2003 várias iniciativas fizeram com que o governo brasileiro decidisse propor diretrizes para o desenvolvimento de um sistema nacional de TV digital. Sob a coordenação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), foram formados 21 consórcios de pesquisa que ao longo dos anos de 2004 a 2006 forneceram subsídios ao governo brasileiro

para a escolha do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Neste mesmo período, novos testes foram realizados nos sistemas de TV digital, indicando uma evolução significativa no desempenho das novas gerações de receptores (Akamine, 2011).

Em 2006, a partir do Decreto Presidencial Brasileiro nº 5.820/2006, foi criado o Fórum SBTVD, com o objetivo de assessorar o governo brasileiro nas políticas e questões técnicas relacionadas à aprovação de inovações técnicas, especificações, desenvolvimento e implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T). O Fórum SBTVD desenvolveu as primeiras normas do *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial - Version B* (ISDB-Tb), que também é conhecido como TV 2.0, que foram publicadas em 2007, permitindo a abertura oficial das transmissões nesse mesmo ano. A TV 2.0 foi introduzida no Brasil, trazendo vídeo de alta definição, som *surround*, recepção móvel e interatividade (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

Desde a introdução da TV 2.0, surgiram novos formatos de áudio e vídeo imersivos. Os aparelhos de TV atualmente disponíveis no mercado têm uma resolução e um contraste superiores aos que são suportados pela norma SBTVD de primeira geração. A disponibilidade e a velocidade de acesso à internet no Brasil possibilitam o consumo de conteúdo audiovisual sob demanda. Porém, na TV 2.0 não havia uma integração entre o serviço de radiodifusão e a oferta de conteúdo na internet. Por conta disso, foi desenvolvida uma evolução retrocompatível, que ficou conhecida como TV 2.5, onde foram introduzidas tecnologias, como, por exemplo, o *High Dynamic Range* (HDR), áudio imersivo e o DTV Play (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

## Projeto TV 3.0

A TV 2.5 é o padrão que está ativo atualmente no Brasil. Porém, já foi iniciado o desenvolvimento do padrão de nova geração do SBTVD, que se chamará TV 3.0. Neste novo sistema serão adotadas técnicas e tecnologias do estado da arte na área de radiodifusão. A **Figura 2** exibe a arquitetura em camadas da TV 3.0 (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

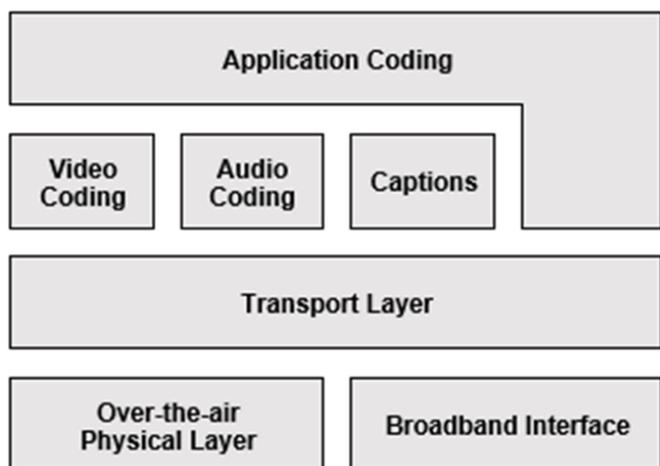


Figura 2 – Arquitetura em camadas da TV 3.0

O projeto da TV 3.0 foi iniciado em 2020, com a chamada para propostas de tecnologias, realizada pelo Fórum SBTVD. Essa primeira fase do projeto ficou conhecida como Fase 1 e foi encerrada em 30 de novembro de 2020 (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

Na Fase 2, iniciada em 05 de julho de 2021, foram recebidas as especificações de cada tecnologia candidata e os requisitos adicionais, considerando informações gerais e recursos necessários para avaliar e comparar as tecnologias candidatas. Além disso, testes de laboratório e de campo foram realizados, com o objetivo de avaliar e comparar as propostas enviadas pelas tecnologias proponentes. Nesta fase, as propostas técnicas semelhantes foram combinadas para fins de teste e avaliação, resultando em 32 tecnologias proponentes. As tecnologias foram avaliadas utilizando os equipamentos/protótipos enviados por cada uma delas aos laboratórios de testes. Os testes laboratoriais foram concluídos em 03 de dezembro de 2021 e o conselho deliberativo do Fórum SBTVD recomendou algumas tecnologias a serem utilizadas na TV 3.0, como mostra a **Figura 3** (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

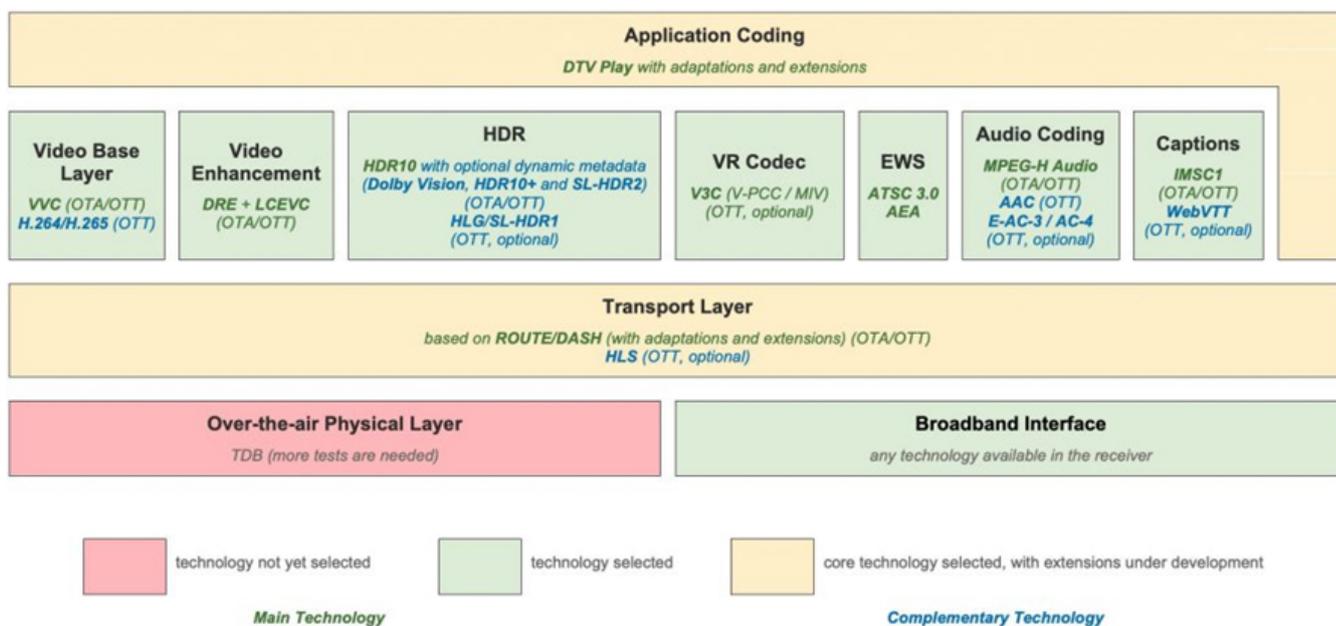


Figura 3: Resumo das decisões tomadas ao final da Fase 2.

Após a conclusão da Fase 2, o Fórum SBTVD constatou que seriam necessários testes complementares de campo e laboratoriais durante

a terceira fase do projeto, com o objetivo de selecionar a tecnologia adequada para a camada física da TV 3.0.

Os candidatos que enviaram soluções para testes na Fase 3 foram:

- **Advanced ISDB-T:** O *Advanced ISDB-T* utiliza uma estrutura de quadro semelhante à do ISDB-Tb, mas inova com uma nova matriz de verificação de paridade para o código de *Low-density parity-check* (LDPC), polarização dupla para transmissão e recepção com configuração *2x2 Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) e modulação até 4096 - *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). A modulação utilizada é *Band-Segmented Transition - Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (BST-OFDM) com 35 segmentos e *inverse Fast Fourier Transform* (iFFT) até 32K (Shitomi, 2021);
- **ATSC 3.0:** O ATSC 3.0 utiliza um método de multiplexação inovador, denominado *Layered Division Multiplexing* (LDM), surgido da técnica de *Cloud Transmission* (CTxn) e que realiza a multiplexação de serviços em camadas. Esse conceito permite que dois ou mais sinais sejam transmitidos ao mesmo tempo e na mesma frequência, porém com uma diferença de potência entre eles. Isso é possível, porque o sistema pode suportar fortes interferências de co-canal. O ATSC 3.0 também utiliza constelações não uniformes, do inglês *Non-Uniform Constellation* (NUC) combinadas com códigos de canal poderosos, como o LDPC e o *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem* (BCH). O ATSC 3.0 permite a operação em *2x2 MIMO* e o uso de modulações de alta ordem, ou seja, permite configurações que vão até 4096-QAM (Advanced Television Systems Committee, 2023);
- **5G Broadcast/EnTV:** O *5G Broadcast/EnTV* permite a comunicação *Point-to-Multipoint* (PTM), respondendo aos requisitos de Multimídia e Entretenimento (M&E) de forma gratuita para todos os usuários, incluindo aqueles que não têm qualquer tipo de plano de serviços de operadoras de telefonia móvel. Em sua versão 16, passou a incorporar a largura de banda de 6 MHz, porém, os equipamentos enviados para os testes da Fase 3 eram apenas compatíveis com a versão 12 do sistema. O *5G Broadcast/EnTV* ainda não possui funcionalidades para operação *2x2 MIMO*, como o *Advanced ISDB-T* e o ATSC 3.0 têm. O proponente enviou pares de equipamentos *Single-Input Single-Output* (SISO), para que fosse utilizada a diversidade espacial, com o

objetivo de melhorar a robustez na recepção, porém sem aumentar a capacidade do canal (Julio Omi, 2022).

A **Figura 4** mostra os equipamentos de todos os proponentes da Fase 3 instalados nas dependências do Laboratório de TV Digital, da Escola de Engenharia, da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

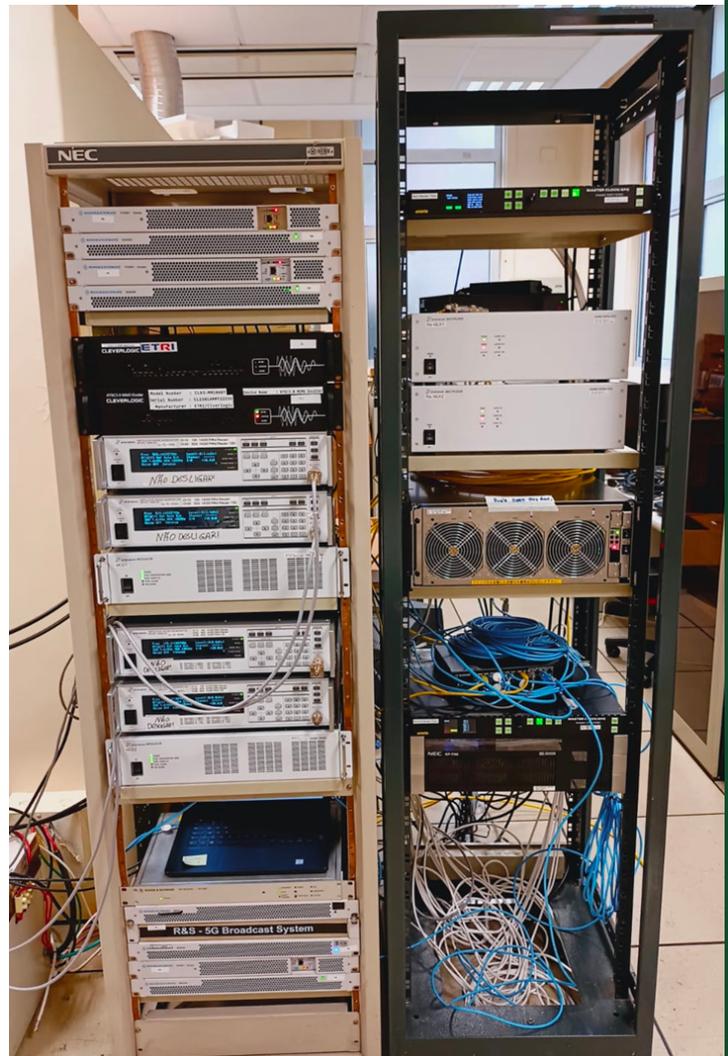


Figura 4 - Equipamentos dos três proponentes instalados no laboratório/Foto: Ricardo Rabaça.

A Camada Principal (CP) objetivou permitir o reuso-1, sendo assim, foram utilizadas modulações de baixa ordem e alta robustez, mas que, por outro lado, não possuíam valores suficientemente elevados de taxa de *bits* para garantir a transmissão de conteúdo em UHD. Já na Camada Secundária (CS), foram utilizadas modulações que permitiam aumentar a capacidade de transmissão do canal, objetivando a transmissão de conteúdo em UHD.

Para que o sistema com duas camadas seja capaz de operar com reuso-1, é necessário que a Relação entre sinal e ruído (C/N) na CP seja menor ou igual a 0 dB e que o C/N na CS seja menor ou igual a 16 dB, por conta da discriminação de diretividade da antena receptora de 16 dB, recomendada pela International Telecommunication Union (ITU) na ITU-R BT.419 (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION RADIOCOMMUNICATION SECTOR, 1992).

Cada uma das três tecnologias candidatas possui uma maneira diferente de transmissão utilizando mais de uma camada.

O *Advanced ISDB-T*, utiliza uma técnica de multiplexação que faz uso da sua segmentação de banda, ou seja, alguns segmentos foram utilizados para transmitir a configuração mais robusta e os segmentos restantes foram usados para a transmissão de conteúdo em UHD, que exige maiores taxas de *bits*. Já o ATSC 3.0 permite o uso da técnica de LDM, ou seja, a configuração mais robusta e a de alto desempenho são transmitidas ao mesmo tempo e na mesma frequência,

porém, sendo diferenciadas pelo nível de potência. Por fim, no sistema *5G Broadcast/EnTV*, em sua versão 12, que foi enviada para os testes de laboratório, a alocação dos conteúdos a serem transmitidos é feita por meio de células de informação, que, por sua vez, são compostas por *slots* no domínio do tempo e em sub-portadoras no domínio da frequência (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

Foi acordado que apenas as duas tecnologias candidatas, que demonstrassem melhor adequação aos requisitos específicos do projeto, durante os testes laboratoriais, seguiriam para a etapa de testes de campo. Também ficou acordado que haveria a necessidade de efetuar uma avaliação da qualidade subjetiva da codificação vídeo em tempo real, para determinar a taxa de *bits* necessária para que a Camada Física Over-The-Air (OTA) da TV 3.0 permita oferecer uma qualidade audiovisual igual ou superior à do sistema Digital Terrestrial Television Broadcasting (DTTB) brasileiro de primeira geração (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

## Detalhes da Fase 3 da TV 3.0

A Fase 3 foi iniciada em abril de 2023 e, neste mesmo mês, foi publicado o Decreto Presidencial Brasileiro nº 11.484, que dispõe sobre as diretrizes para a evolução do SBTVD e para assegurar a disponibilidade de espectro para sua implantação. Este documento oficial estabeleceu ainda que devem ser cumpridas as seguintes características: recepção fixa (com antena externa e interna) e recepção móvel; integração entre conteúdos transmitidos por OTA e pela internet; interface de usuário baseada em aplicações; segmentação de conteúdos de acordo com a localização geográfica dos telespectadores; personalização de conteúdos de acordo com as preferências dos telespectadores; utilização otimizada do espectro de Radiofrequência (RF) destinado à radiodifusão terrestre; e novas formas de acesso a conteúdos culturais, educativos, artísticos e informativos (Governo Federal do Brasil, 2023).

De acordo com os testes subjetivos realizados pelo grupo de trabalho de codificação vídeo do Fórum SBTVD-T, a taxa de *bits* mínima necessária para uma transmissão OTA de um conteúdo 1080p (*Full High*

*Definition* (FHD)) utilizando o codec *Versatile Video Coding* (VVC) e que proporcione qualidade, no mínimo, igual à do atual ISDB-Tb é de aproximadamente 7,5 Mbps. Os mesmos testes indicam que, para um conteúdo de 4360p (8K UHD), é necessária uma taxa de 37,3 Mbps (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2021).

Os testes laboratoriais da Fase 3 da Camada Física foram realizados pelo Laboratório de TV Digital, da Escola de Engenharia, da Universidade Presbiteriana Mackenzie de abril a setembro de 2023, a avaliação da qualidade subjetiva da codificação de vídeo em tempo real foi realizada na Universidade de Brasília de junho a dezembro de 2023 e os testes de campo estão sendo realizados pela Universidade Federal Fluminense de dezembro de 2023 até maio de 2024 (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023). Ao contrário da Fase 2, todos os testes foram realizados com antenas MIMO, com modulações e codificações que suportam a frequência de reuso-1, entre outras características (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

## Testes laboratoriais de Camada Física

Durante os testes laboratoriais da Fase 3 do projeto TV 3.0, foram executados testes funcionais e de desempenho. Os testes funcionais servem para verificar o funcionamento dos dispositivos enviados

pelos proponentes, ou seja, para analisar se os excitadores e moduladores estavam funcionando dentro do comportamento esperado para este tipo de equipamento. Os testes de desempenho, por sua

vez, possibilitam uma análise do potencial completo do sistema candidato, visto que utilizam toda a cadeia de transmissão e de recepção da tecnologia proposta e geram resultados que ilustram como deve ser o comportamento destes sistemas quando forem implementados na prática (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2021).

Todos os testes de laboratório foram realizados dentro de uma gaiola de Faraday para evitar interferência externa de RF. Nesse ambiente, a temperatura e a umidade também são controladas. A **Figura 5** mostra os equipamentos de transmissão de cada um dos proponentes do lado de fora da gaiola e os sinais sendo transmitidos por cabo para a gaiola de Faraday.



Figura 5 - Equipamentos de transmissão conectados à gaiola de Faraday/Foto: Ricardo Rabaça.

Com relação aos testes funcionais, foram feitas verificações, como, por exemplo, da precisão de frequência de RF dos moduladores/excitadores, do ruído de fase dos osciladores locais, da potência do sinal de RF/ Frequência Intermediária (IF), das emissões de RF fora da banda e da caracterização de

linearidade (máscara de espectro) e da análise do sinal I/Q (constelação e MER). Em resumo, estes testes validam o sistema de transmissão (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2021).

Com relação aos testes de desempenho, foram feitas verificações, como, por exemplo (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2021):

- **Relação entre sinal e ruído (C/N):** O teste para medir a relação da potência da portadora pela potência do ruído *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) é executado mantendo o sinal que está chegando no receptor com um nível fixo de potência e variando o nível de potência do ruído, até que seja encontrado o limiar de visibilidade, conhecido como *Threshold of Visibility* (TOV), ou utilizando a métrica de *Quase Error Free* (QEF) com, por exemplo, limiar de  $10^{-4}$  de *Frame Error Rate* (FER) ou de *Packet Error Rate* (PER) na saída do decodificador LDPC, que simbolizam os limites de quando artefatos começam a aparecer na tela da TV onde o receptor está conectado. Cada tecnologia foi analisada usando um desses parâmetros supramencionados e a decisão de qual foi a análise executada foi acordada entre o laboratório e os proponentes. A partir daí, é anotado o valor mínimo de C/N, em dB, para que não apareçam artefatos na TV;
- **Relação de C/N usando canais com perfil Rayleigh:** Este teste é feito de forma similar ao anterior, porém, considerando adicionalmente perfis de canal com desvanecimento e multipercurso. Dessa forma, o sinal é mantido numa potência constante, mas passa por um canal com perfil *Rayleigh*, sofre esses efeitos e apenas depois é adicionado o ruído AWGN, para avaliar o valor mínimo de C/N, em dB, para que não apareçam artefatos na TV. Os perfis *Rayleigh* selecionados para os testes da Fase 3 foram: o RF1 - *Single Path Rayleigh* (utiliza velocidade de 3 km/h e multipercurso com perfil *Doppler* – recepção portátil), o RF2A - Pedestre A e o RF2B - Pedestre B (utilizam velocidade de 3 km/h e multipercurso com perfil *Rayleigh* – recepção portátil), o RF3A - Veicular A e o RF3B - Veicular B (utilizam velocidade de até 120 km/h e multipercurso com perfil *Rayleigh* – recepção móvel) e o RF4 - Típico Urbano Modificado (utiliza velocidade de até 200 km/h e multipercurso com perfil *Rayleigh* – recepção em ambiente tipicamente urbano) (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2021);

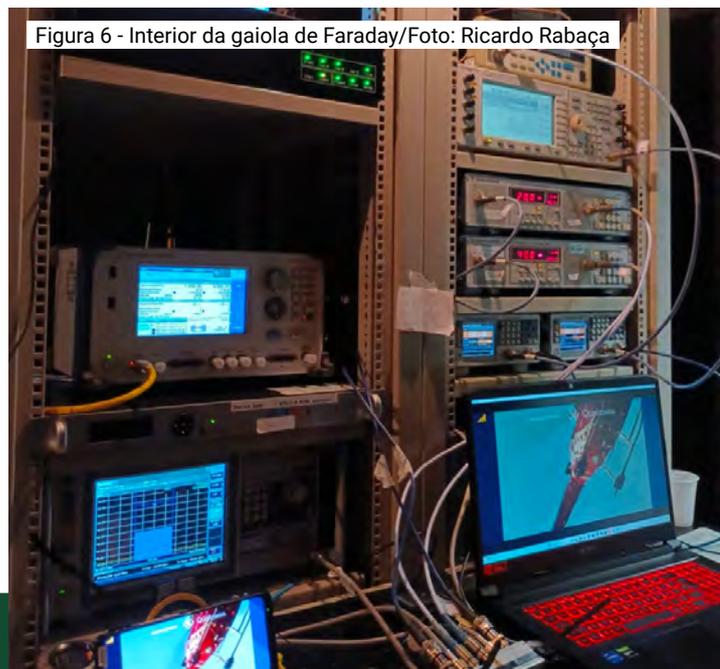
- **Máximo e mínimo níveis de sinal:** Neste teste o receptor é estressado, com o objetivo de identificar o máximo e o mínimo valores de potência que ele suporta, antes que a recepção do sinal seja comprometida;
- **Interferência de co-canal com o próprio sistema:** Esta medida é executada transmitindo dois canais do sistema proponente na mesma frequência central, com a intenção de analisar a robustez do sinal principal (desejado), quando sendo recebido pelo receptor, juntamente com um sinal indesejado. Isso é feito mantendo o sinal desejado numa potência fixa e depois variando o nível do sinal indesejado, até encontrar o limiar de recepção, para que não apareçam artefatos na TV;
- **Interferência de co-canal e de canal adjacente ( $N\pm 1$  e  $N\pm 2$  canais) com o ISDB-Tb:** O teste de co-canal é feito de maneira idêntica ao comentado no item anterior, mas agora considerando um sinal no padrão ISDB-Tb como o sinal principal (desejado) e o sinal indesejado como o do proponente analisado. Já o teste de canal adjacente é realizado deixando o sinal do ISDB-Tb fixo em um canal N e configurando o sinal indesejado nos canais adjacentes inferiores e posteriores, para verificar a robustez do sinal principal às interferências causadas pela transmissão de outros canais nas laterais da sua banda;
- **Robustez à interferência de ruído impulsivo:** O teste de ruído impulsivo é realizado mantendo o sinal do sistema proponente numa potência fixa e injetando ruído com um gerador de ruído impulsivo. Esse gerador é configurado com diversos padrões de ruído impulsivo, como, por exemplo, causados por lâmpadas fluorescentes, máquinas de lavar louça, entre outros. O objetivo desse teste também é avaliar o valor mínimo de Relação Sinal-Ruído equivalente (C/Neq), em dB, para que não apareçam artefatos na TV;
- **Interferência causada por multipercurso (eco único e estático):** A verificação de robustez ao multipercurso é realizada mantendo a potência do sinal num nível fixo e analisando o comportamento do receptor em situações onde uma cópia do sinal transmitido (multipercurso) chega com atraso, positivo ou negativo, no receptor (pré-eco e pós-eco);
- **Agregação de canais de RF (Channel Bonding (CB)):** Esse teste é realizado agregando dois canais de RF, com o objetivo de dobrar a

banda de transmissão e, como consequência, obter um ganho na capacidade do canal. A transmissão utiliza dois canais com 6 MHz de largura de banda e o sinal é recebido em um receptor que sintoniza dois canais de TV e realiza a agregação dos dados. Neste teste, não é inserido ruído, ou seja, a avaliação do funcionamento da agregação dos canais de 6 MHz é realizada avaliando se os dados foram recebidos e recuperados adequadamente;

- **Estabilidade de funcionamento em frequência de reuso-1:** Este teste é realizado utilizando dois transmissores, cada um transmitindo um conteúdo diferente, porém utilizando os mesmos parâmetros de modulação, a mesma frequência central e deixando ambos os sinais com a mesma potência na entrada do receptor. Para validar o funcionamento dessa funcionalidade, é preciso analisar, usando duas TVs, se ambos os conteúdos permanecem por, pelo menos, uma hora sendo reproduzidos em cada uma dessas TVs sem apresentarem nenhum tipo de erro.

A **Figura 6** exibe o interior da gaiola de Faraday e mostra os equipamentos de recepção de cada proponente, além dos equipamentos utilizados para realizar cada um dos testes supramencionados. A Tabela 1 exibe os dados de cada um dos proponentes, em relação à conformidade de cada sistema com os requisitos da TV 3.0. Essas informações foram publicadas em detalhes pelo Fórum SBTVD, no relatório dos testes de laboratório da Camada Física da TV 3.0 (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023).

Figura 6 - Interior da gaiola de Faraday/Foto: Ricardo Rabaça



**Tabela 1 - Resumo dos resultados da Fase 3**

Requisito	Especificação mínima		Advanced ISDB-T	ATSC 3.0	5G Broadcast/EnTV	
Permitir a operação lado a lado com o sistema ISDB-Tb, com impacto mínimo sobre a rede existente.	Banda de frequência	174-216 MHz	OK	Não verificado	Não verificado	
		470-698 MHz	OK	OK	Parcialmente OK	
	Largura de banda do canal	6 MHz	OK	OK	NOK	
		Outras	Não verificado	Não verificado	1,4, 3, 5, 10, 15 e 20 MHz	
	Relação de proteção de co-canal	$\leq 19$ dB	OK	OK	Não verificado	
	Relação de proteção de canal adjacente	$\leq -36$ dB	OK	OK	Não verificado	
Permitir a implantação de redes com cobertura e capacidade ajustáveis, reuso-1 e o uso mais eficiente do espectro (recepção interna fixa e externa móvel).	MIMO	2x2	OK	OK	OK	
	Transmissão com múltiplos canais de RF	CB	OK	OK	NOK	
	Recepção móvel em alta velocidade	120 km/h	Parcialmente OK	Parcialmente OK	Não verificado	
	Eficiência espectral (6 MHz - MIMO)	Uma camada	@ C/N $\leq 0$ dB em canais Rayleigh	0,81 bit/s/Hz @ 4,9 Mbps	0,88 bit/s/Hz @ 5,3 Mbps	0,44 bit/s/Hz @ 2,6 Mbps
		Duas camadas	CP @ C/N $\leq 0$ dB em canais Rayleigh	2,45 bit/s/Hz @ 3,5 (CP) + 11,2 (CS) Mbps	4,0 bit/s/Hz @ 5,3 (CP) + 18,8 (CS) Mbps	1,30 bit/s/Hz @ 1,4 (CP) + 6,5 (CS) Mbps
CS @ C/N $\leq 16$ dB em canais Rayleigh						

**AMARELO:** Não foram disponibilizados equipamentos compatíveis.

**AZUL:** Os equipamentos fornecidos pelo proponente não são capazes de operar em toda a faixa de frequência especificada. Funcionam apenas para algumas frequências dentro da faixa.

**VERDE:** O teste não foi realizado, pois o equipamento do proponente já era compatível com a especificação mínima principal (largura de banda de 6 MHz).

**VERMELHO:** O equipamento enviado estava em conformidade com a versão 12 do padrão, operando apenas com largura de banda de 10 MHz em frequências centrais iguais a 622 ou 632 MHz.

**ROSA:** O teste não foi realizado, pois o proponente teve que retirar os equipamentos no laboratório antes que fosse possível concluir as verificações necessárias.

**CINZA:** O resultado foi considerado como "Parcialmente OK", pois algumas configurações passaram no teste, porém outras configurações testadas não passaram.

## Conclusão

Todos os testes supramencionados foram executados nas tecnologias candidatas que participaram da terceira fase e os resultados foram publicados no relatório da Fase 3 de testes da Camada Física, que foi publicado no site o Fórum SBTVD (Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre, 2023). Todos os resultados publicados foram analisados previamente pelos respectivos proponentes e validados, antes que o documento fosse divulgado ao público. Levando em consideração os resultados que foram publicados neste documento, o Fórum SBTVD recomendou que apenas os candidatos *Advanced ISDB-T* e *ATSC 3.0* prosseguissem para os

testes de campo.

Vale ressaltar também que, por conta da análise subjetiva realizada pelo grupo de trabalho de codificação de vídeo, que chegou a uma taxa de *bits* mínima de 7,5 Mbps, para a transmissão de conteúdo com qualidade igual ou superior à do atual sistema ISDB-Tb, foi postergado, a princípio, o requisito de funcionamento em frequência de reuso-1. Esta decisão será reavaliada, assim que for possível otimizar a utilização do *codec VVC* e alcançar uma taxa de aproximadamente 3,5 Mbps para a transmissão de conteúdo em 1080p (FHD).

## Referências

**Advanced Television Systems Committee.** (28 de Março de 2023). *ATSC Standard: Physical Layer Protocol. Doc. A/322:2023-03.* Fonte: <https://prdatasc.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2023/09/A322-2023-03-Physical-Layer-Protocol.pdf>

**Akamine, C.** (2011). Contribuições para distribuição, modulação e demodulação do sistema de TV digital ISDB-TB. Campinas, São Paulo, Brasil.

**Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre.** (Março de 2021). *CfP Phase 2 / Testing and Evaluation: TV 3.0 Project.* Fonte: TV 3.0 Project", Fórum SBTVD, Relatório Técnico, Março de 2021. [Online]. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2021/03/SBTVD-TV-3-0-P2-TE-2021-03-15.pdf>

**Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre** (2021). *Testing and Evaluation Report: TV 3.0 Project - Video Coding.* Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2021/12/SBTVD-TV-3-0-VC-Report.pdf>

**Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre** (2023). *TV 3.0 Project.* Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/tv3-0/>

**Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre** (2023). *TV 3.0 Project - Phase 3 - Over-The-Air Physical Layer Laboratory Tests.* Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2023/11/SBTVD-TV-3-0-P3-PL-Lab-Report.pdf>

[uploads/2023/11/SBTVD-TV-3-0-P3-PL-Lab-Report.pdf](https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2023/11/SBTVD-TV-3-0-P3-PL-Lab-Report.pdf)

**Governo Federal do Brasil.** (2023). *Decreto Presidencial Brasileiro No 11.484.* Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2023-2026/2023/decreto/D11484.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2023/decreto/D11484.htm)

"INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION RADIOCOMMUNICATION SECTOR", Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting. ITU-R BT.419-3, 1992.

**Julio Omi, N. S.** (2022). Performance Analysis of TV 3.0 Over-the-Air Physical Layer Protocols. *2022 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, (p. 5). Bilbao, Spain.

**Mackenzie/NEC/SET/ABERT.** (2000). *Relatório de testes - TV 2.0.* Disponível em: [http://meusite.mackenzie.com.br/cristiano/dtv/brazil\\_digital\\_tv\\_report.pdf](http://meusite.mackenzie.com.br/cristiano/dtv/brazil_digital_tv_report.pdf)

**Shitomi, T.** (2021). Fixed Reception Performance of FDM-based Transmission System for Advanced ISDB-T. *SET INTERNATIONAL JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING*, p. 11.

**Sukys, N. O.** (1984). *Introdução à Televisão e ao Sistema PAL-M.* Rio de Janeiro: Guanabara.



**Ricardo Seriacopi Rabaça** é engenheiro eletricitista, com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2013), possui mestrado em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2017) e doutorado em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2022). Atualmente é Engenheiro Eletrônico e participa de projetos realizados pelo Laboratório de TV Digital, da Escola de Engenharia, da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Participou da publicação nacional e internacional de artigos na área de telecomunicações e radiodifusão, abordando temas, como, por exemplo, técnicas de diversidade aplicadas à televisão digital, implementação de sistemas de transmissão que utilizam os padrões ISDB-Tb e ATSC 3.0, com a utilização de novos métodos de codificação, modulação, multiplexação, entre outros. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações.

**Contato:** [ricardo.rabaca@mackenzie.br](mailto:ricardo.rabaca@mackenzie.br)