

# MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output)

*Este artigo explora a importância da antena MIMO na TV 3.0. É apresentado o conceito das polarizações atuais e das propostas, os tipos de antena MIMO e as vantagens e desafios do MIMO na TV 3.0.*

Por Alberto Leonardo Penteado Botelho



Foto de [Gunnar Ridderström](#) na [Unsplash](#)

## Introdução

Em uma estação de TV, após a amplificação de potência, o sinal de radiofrequência é guiado até a antena de transmissão, que converte a energia recebida em campo eletromagnético. O campo eletromagnético é propagado pelo ar e todos os receptores que estiverem na área de cobertura, com antenas de recepção compatíveis, poderão decodificar o sinal transmitido. Esse método de transmissão do sinal de TV é conhecido como OTA (*Over The Air*).

A transmissão OTA oferece diversas vantagens, como amplo alcance de público, vasta audiência, acesso gratuito, transmissão em tempo real e acesso ao conteúdo regional. Como resultado, fortalece a ligação comunitária numa região específica. O método de transmissão OTA é realizado desde o ano de 1950, em tecnologia analógica e em preto e branco. Depois da primeira transmissão, ocorreram diversos avanços tecnológicos e atualmente a transmissão é realizada em tecnologia digital, alta definição, com código de correção de erros, recepção móvel e interatividade, conhecida como TV 2.0.

O cenário tecnológico mudou muito e o Fórum SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital) reconheceu a necessidade de evolução do atual sistema e implementou uma evolução retrocompatível, com integração de TV com internet, áudio imersivo e vídeo HDR (*High Dynamic Range*), conhecida como TV 2.5.

A TV 2.5 é uma evolução possível a curto prazo, porém foi identificada a necessidade de uma evolução profunda, que deu origem ao desenvolvimento da próxima geração da Televisão Digital Terrestre, conhecida como TV 3.0.

O Decreto nº 11.484, de 06/04/2023, D.O.U de 06/04/2023 dispõe as diretrizes para a evolução da TV 3.0, que deve ter qualidade audiovisual superior à TV 2.0 e TV 2.5, recepção com antena externa e interna e móvel, integração entre TV e internet, interface de usuário



Foto de [Patti Black](#) na

baseada em aplicativos e segmentação geográfica de conteúdo, personalização de conteúdo de acordo com as preferências dos telespectadores, uso otimizado do espectro de radiofrequências e novas formas de acessar a conteúdos culturais, educativos, artísticos e informativos. As diretrizes se tornam mais complexas devido ao cenário atual do congestionamento do uso do espectro nos grandes centros urbanos brasileiros.

## Polarização da antena

A antena é um dispositivo vital para transmitir e receber dados de um sistema de comunicação sem fio. Na TV, após a conversão da energia em campo eletromagnético, as ondas eletromagnéticas podem se propagar em distintas formas de polarização, como horizontal, vertical ou numa combinação delas. Uma característica de qualquer antena de recepção é a sua capacidade de rejeitar a polarização cruzada, ou seja, as antenas de transmissão precisam estar no mesmo vetor do campo elétrico para que as antenas de recepção não sofram perdas de polarização cruzada.

Na TV analógica e na TV digital atual (TV 2.0 ou TV 2.5), é utilizado o sistema SISO (*Single-Input and Single-Output*), ou seja, uma antena de transmissão e uma antena de recepção, na polarização horizontal. A polarização horizontal é utilizada porque possui melhor desempenho de propagação. A topografia, a ocupação do solo e a localização da estação transmissora em relação a área urbana, são as principais influências do desempenho.

A TV analógica e a TV digital atual exigem transmissão e recepção na polarização horizontal, porém se trata de um serviço de massa e existe uma quantidade considerável de antenas de recepção interna e móvel, instaladas em local inadequado e que podem estar em posição diferente ou parcialmente diferente do vetor horizontal.

Uma alternativa para melhorar a recepção das antenas internas e móveis, é a estação transmissora instalar antena da polarização circular, que é uma combinação das polarizações horizontal e vertical. A vantagem deste tipo de transmissão é a maior robustez na recepção em antenas internas e móveis que não estiverem alinhadas no plano horizontal. A desvantagem é que a potência da transmissão é dividida nas polarizações horizontal e vertical, exigindo que a polarização circular tenha o dobro da potência para

Nesse cenário, o Fórum SBTVD estabeleceu os requisitos da TV 3.0, que são: **fornecer suporte para reutilização de frequência-1 (reúso-1), antena MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) e channel-bonding.**

Esse artigo explora a importância da antena MIMO na TV 3.0. É apresentado o conceito das polarizações atuais e das propostas, os tipos de antena MIMO e as vantagens e desafios do MIMO na TV 3.0.

manter o alcance da cobertura da polarização horizontal.

A **Figura 1** resume o conceito de polarização horizontal, vertical e circular.

Para minimizar a necessidade de dobrar a potência da transmissão com instalação de antena de polarização circular, é possível utilizar a polarização elíptica, onde os eixos horizontal e vertical têm comprimentos diferentes. Um exemplo é 70% da energia na polarização horizontal e 30% da energia na polarização vertical. É uma alternativa para melhorar a recepção das antenas internas e móveis que estão próximas da antena de transmissão, onde normalmente está localizada a área urbana com maior probabilidade de antenas de recepção móveis ou instaladas em locais inadequados. Uma antena elíptica com 70% da energia na polarização horizontal e 30% da energia na polarização vertical exige um aumento de potência de aproximadamente 42% para manter o alcance da cobertura da polarização horizontal.

A TV analógica e a TV 2.0/2.5 utilizam o sistema SISO, porém outros serviços de telecomunicações operam em diferentes sistemas. Os sistemas SIMO (*Single-Input and Multiple-Output*) com uma antena de transmissão e várias antenas de recepção e MISO (*Multiple-Input and Single-Output*) com várias antenas de transmissão e uma antena de recepção, são normalmente utilizados

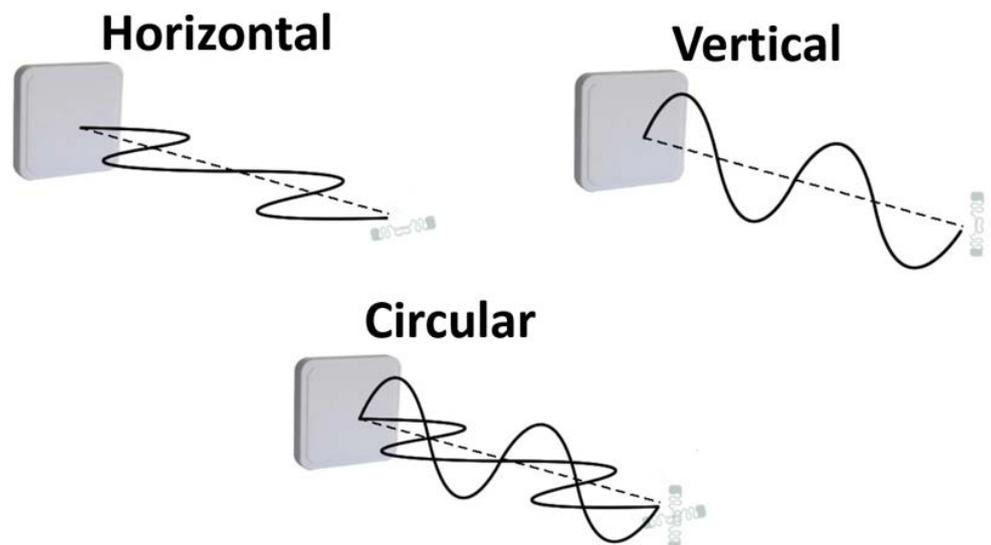
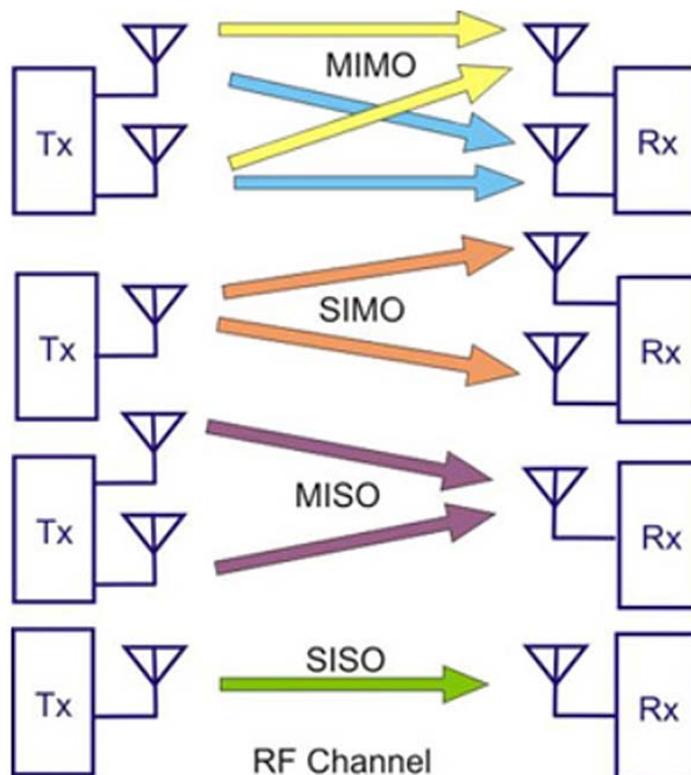


Figura 1 - Polarizações horizontal, vertical e circular. / Fonte: Autor

em projetos de antenas inteligentes para adaptar o diagrama de radiação a partir do controle de amplitudes e fases para a direção desejada. O sistema MIMO é o conceito de utilizar múltiplas antenas de transmissão e múltiplas antenas de recepção, por meio da combinação de polarização e multiplexação espacial. Representam novos desafios para o processamento de sinal digital, com algoritmos de processamento mais complexos.

A **Figura 2** mostra as combinações possíveis do SISO a do MIMO.

Figura 2 - Combinações do SISO ao MIMO / Fonte: Autor



## Sistema MIMO

No sistema MIMO, as antenas de transmissão e de recepção são combinadas para minimizar erros, otimizar a velocidade dos dados, e melhorar a capacidade de transmissão, permitindo que os dados percorram vários caminhos de sinal ao mesmo tempo. Está presente em diversas tecnologias de comunicação sem fio, como 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) Release 8, LTE (*Long-Term Evolution*), Cellular5G (*Fifth-Generation Technology*) e WLANs (*Wireless Local Area Networks*) 802.11n.

Existem quatro (4) tipos de antena MIMO, que são a de ganho de matriz, a de ganho de diversidade espacial, a de redução de interferência e a de ganho de multiplexação espacial.

A de ganho de matriz tem o objetivo de aumentar a área de cobertura. Os sinais transmitidos são coerentemente combinados na recepção, através do processamento espacial na antena receptora, aumentando o SNR (*Signal-to-Noise-Ratio*), que é a Relação Sinal-Ruído recebida.

A de ganho de diversidade tem o objetivo de melhorar a qualidade e a confiabilidade da recepção. Os sinais transmitidos fornecem ao receptor várias cópias idealmente independentes (conhecido como ordem de diversidade). Na recepção do sinal, a intensidade flutua ou desaparece em instantes de tempo. A probabilidade de que pelo menos uma das cópias não esteja com desvanecimento profundo aumenta, minimizando as flutuações de desvanecimento profundo.

A de redução de interferência tem o objetivo de mitigar interferências devido ao compartilhamento de

tempo e frequência por vários usuários. Na presença de interferência, a energia do sinal é direcionada para o usuário pretendido, minimizando a interferência com outros usuários e aumentando a SINR (*Signal-to-Noise-plus-InterferenceRatio*), que é a Relação Sinal-Ruído-Interferente.

A de ganho de multiplexação espacial tem o objetivo de aumentar a taxa de dados. Os sinais são transmitidos em vários fluxos de dados independentes dentro da largura de banda de operação. Sob condições de canal adequadas, como dispersão rica no ambiente, o receptor pode separar os fluxos de dados. O aumento da capacidade é um fator multiplicativo igual ao número de antenas de transmissão.

A **Figura 3** mostra é uma representação dos tipos de antena MIMO, supondo transmissão de oito (8) símbolos em duas polarizações, com erros indicados em vermelho. No caso do ganho de matriz, os oito (8) símbolos são recuperados com ganho de intensidade na recepção, sem tratamento dos erros. No caso do ganho de diversidade espacial, estes símbolos são recuperados sem ganho de intensidade na recepção, com tratamento dos erros identificados da polarização cruzada. No caso do ganho de diversidade espacial, os oito (8) símbolos são recuperados sem ganho de intensidade na recepção, com tratamento dos erros, caso o sistema identifique a polarização com interferência. No caso do ganho de multiplexação, os 16 símbolos são recuperados sem ganho de intensidade na recepção, sem tratamento dos erros, porém com o dobro da capacidade.

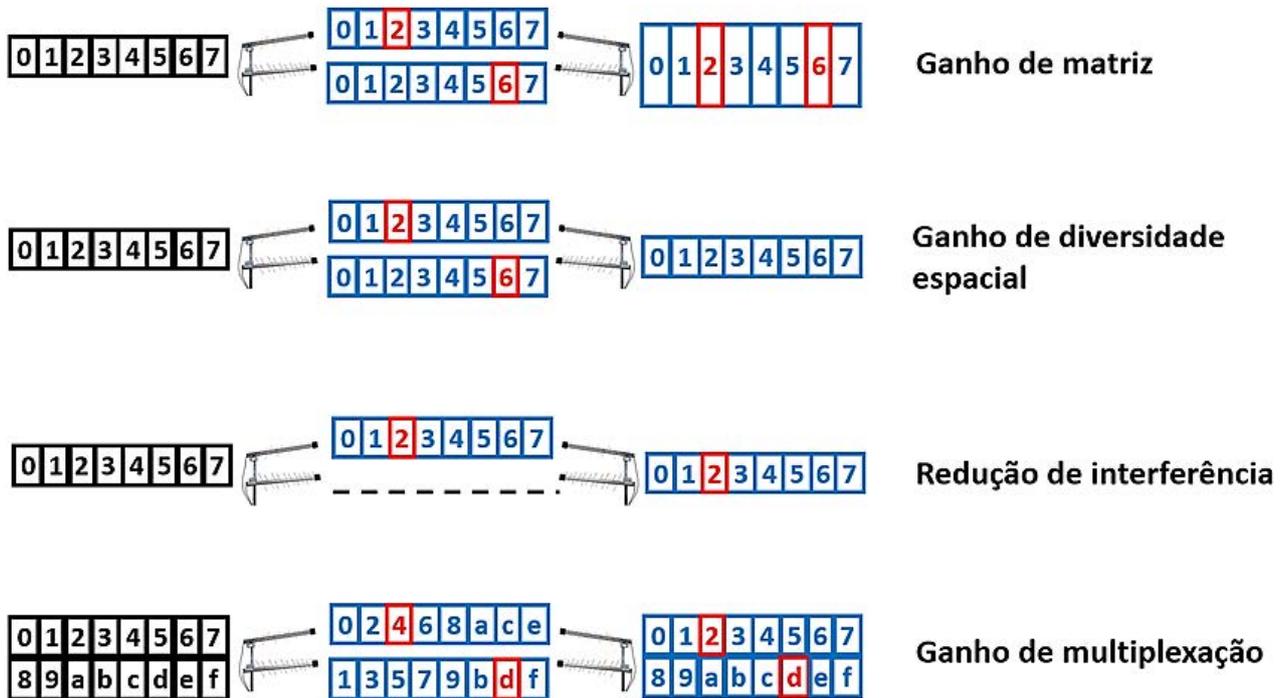


Figura 3 - Representação dos tipos de antenas MIMO. / Fonte: Autor

convergent

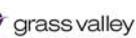


sealbc.com.br  
Tel 11 3877-4000

A Seal é uma **integradora de sistemas** que oferece soluções para **mídia e entretenimento**, auxiliando empresas a alcançarem seus objetivos com maior **qualidade e confiabilidade**.

- Arquitetura de Soluções
- Elaboração de Projetos
- Fluxo de transferência de arquivos
- Estúdio de Produção
- VOD / OTT / Canais FAST
- Processamento de mídia
- Contribuição & Distribuição de conteúdo sobre IP
- Soluções CLOUD
- Sistema de Exibição e Automação / Channel in a box
- Armazenamento de alta performance
- Gerenciamento de arquivos

Nossos parceiros:



## MIMO na TV 3.0

A TV 3.0 pretende adotar um novo conceito de economia de espectro, chamado de reúso-1, onde o receptor pode receber sinais de estações diferentes, com conteúdos diferentes e na mesma frequência (co-canal). Esse conceito exige D/U (*Desirable-to-Undesirable*)  $\leq 0$  dB, ou seja, a razão entre a potência do sinal desejável “D” sobre o indesejável “U” deve ser no máximo 0 dB, que só pode ser alcançada com características mais eficientes.

As principais vantagens do reúso-1 são a flexibilidade da rede de transmissão e aumento da robustez. A principal desvantagem é que o aumento da robustez diminui a taxa de dados. Diante do cenário de adoção do reúso-1, aumentar a taxa é prioridade na TV 3.0, portanto o tipo de antena MIMO a ser escolhida é a de multiplexação espacial.

O sistema MIMO pode ter até centenas de antenas, porém o aumento de antenas aumenta a complexidade do sistema e exige potência elevada. A TV é um sistema de massa e precisa ser simples, portanto é prevista a utilização de MIMO 2x2, ou seja, MIMO com 2 antenas de transmissão e 2 antenas de recepção.

No sistema de transmissão com antena MIMO 2x2, após o processo de modulação, é gerado um fluxo com uma sequência de símbolos, que segue para o processo de codificação MIMO. A codificação MIMO divide o fluxo para cada antena de transmissão correspondente. Cada fluxo segue para o processo de codificação MIMO, que é um método chamado MIMO-OFDM.

O OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) é uma técnica de transmissão de dados que utiliza sua banda dividida em múltiplas portadoras por multiplexação de divisão de frequência ortogonal, com objetivo de melhorar a robustez aos ruídos do canal. O MIMO-OFDM é uma tecnologia que combina MIMO e OFDM, onde cada antena de transmissão recebe um fluxo independente, que passa por uma etapa inicial de sincronismo no domínio do tempo e da frequência, de acordo com os preâmbulos de referência.

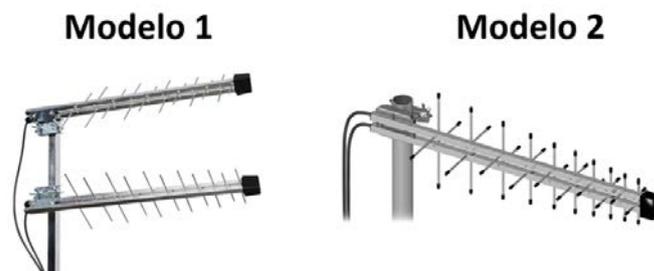
Na recepção, o decodificador MIMO-OFDM tem função de estimar e equalizar o sinal recebido e de remapear o fluxo original para entregá-lo no processo de demodulação.

## Desafios do MIMO na TV 3.0

A antena de recepção tem a característica de rejeitar a polarização cruzada, exigindo que estejam no mesmo vetor do campo elétrico. Em uma antena teoricamente perfeita, os sinais ortogonais seriam completamente isolados, porém em uma antena real, cada polarização verá a outra polarização ortogonal, embora em um nível de sinal muito mais fraco. Isso é conhecido como isolamento de polarização cruzada.

Nos sistemas MIMO com ganho de matriz ou ganho de diversidade, o isolamento de polarização cruzada não é crítico, pois o baixo rendimento da antena de recepção

A **Figura 4** mostra exemplo de como é uma antena de recepção externa MIMO 2x2. Cada antena de recepção recebe o fluxo de sua respectiva polarização que é conduzida até o sistema de decodificação MIMO.



**Figura 4 - Exemplos de modelos de antena externa MIMO 2x2. / Fonte: Autor**

A antena externa MIMO é a mais indicada para a TV, entretanto é inviável em dispositivos móveis, como celulares e notebooks. Em muitos casos, a antena externa também é inviável em receptores fixos, devido às condições de cabeamento de residências que podem dificultar a instalação adequada da antena. Nesses casos, a antena interna MIMO e a antena integrada MIMO são alternativas importantes a serem usadas na TV 3.0.

Os dispositivos móveis possuem antenas integradas para diversos serviços, como Wi-Fi, 4G, 5G e Bluetooth. A antena integrada para TV 3.0 é viável e possível, tanto para dispositivos móveis como dispositivos fixos. A antena integrada opera dentro de um espaço muito limitado e, portanto, eletricamente pequenos. A vantagem da antena integrada é o “*plug and play*”, ou seja, o dispositivo facilita o acesso à TV 3.0, sem a necessidade de configuração da antena ou intervenção do usuário. A desvantagem da antena integrada é a maximização dos efeitos dos obstáculos naturais e construídos e a baixa amplificação do sinal recebido.

A TV 3.0 deve adotar reúso-1, que requer C/N (*Carrier-to-Noise Ratio*)  $\leq 0$  dB. Essa relação permite a transmissão com robustez elevada e pode compensar o ganho baixo da antena integrada e conseqüentemente permitir uma boa cobertura.

limita-se a diminuir o ganho de cobertura. No caso de ganho de multiplexação, que deverá ser usada na TV 3.0, o isolamento de polarização cruzada é crítico e pode ocasionar interferência entre os fluxos transmitidos.

A **Figura 5** mostra exemplo dos diagramas horizontal e vertical de um conjunto de painéis UHF no sistema MIMO 2x2. A linha azul é o ganho da antena transmissora em dB por radial, em relação ao ganho máximo da antena. A linha vermelha é o ganho em dB por radial da polarização cruzada da antena receptora.

Diagrama Horizontal

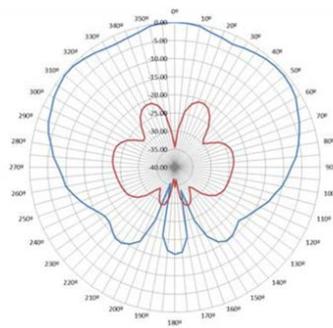


Diagrama Vertical

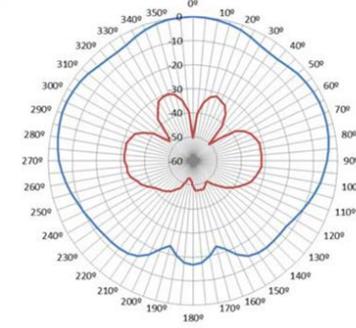


Figura 5 - Exemplo de diagramas da antena MIMO 2x2. / Fonte: Autor

Os diagramas das polarizações são semelhantes, porém não são iguais. Os efeitos da propagação também agem de forma diferente nas diferentes polarizações. Observa-se um desafio para planejar a cobertura de uma estação de TV 3.0. Na prática, a polarização cruzada diminui a robustez do sistema e diminui o C/N recebido. O nível de polarização cruzada depende da qualidade da antena receptora. Uma antena receptora adequada é fundamental para manter a qualidade da recepção a nível aceitável na TV 3.0.

A antena MIMO 2x2 opera tradicionalmente as polarizações horizontal e vertical. Uma alternativa usual é a antena MIMO 2x2 *slant*, que é uma inclinação das antenas em 45°, assim, as antenas operam nas

polarizações 45° e -45°. A **Figura 6** mostra exemplos de antena MIMO 2x2 nas polarizações Horizontal e Vertical, e antena MIMO 2x2, nas polarizações 45° e -45°.



Figura 6 - Exemplo de antena interna nas polarizações Horizontal e Vertical ou 45° e -45°. / Fonte: Autor

## Camada Física da TV 3.0

O Fórum SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital) tem uma importante função de assessorar o governo acerca de políticas, inovações tecnológicas, especificações, desenvolvimento e implantação da TV 3.0. O Decreto nº 11.484, de 06/04/2023, D.O.U de 06/04/2023 dispõem as diretrizes para a evolução da TV 3.0 e a Portaria 9.893, de 04/07/2023, D.O.U de 11/07/2023 instituiu o grupo de trabalho TV 3.0.

A entidade encaminhou suas recomendações sobre a seleção de tecnologias candidatas que devem ser adotadas na TV 3.0. No caso específico da camada física, não foi concluída pela necessidade de realização de testes adicionais, porém definiu as condições para participação, que é fornecer suporte para reuso-1, MIMO e *channel-bonding*. Em relação a antena MIMO, é requisito obrigatório que a proponente ofereça suporte para operar em MIMO 2x2, com orientação Vertical/Horizontal e/ou *slant* (+45°/-45°).

Até o momento da publicação deste artigo, o Fórum SBTVD está na Fase 3 de testes complementares da camada física. Os resultados dos testes de laboratório da Fase 3, realizados de abril a setembro de 2023, foram considerados, em conjunto com todas as outras informações coletadas pelo Fórum SBTVD sobre as tecnologias candidatas desde a Fase 1 do Projeto em 2020, e resultaram na seleção das duas tecnologias candidatas que demonstraram melhor adequação aos

requisitos específicos do Projeto TV 3.0 para os testes de campo da Fase 3, programados para ocorrer de dezembro de 2023 a maio de 2024.

Os testes têm, entre outros, o objetivo de avaliar o limite de recepção do sistema em diferentes ambientes internos, com diferentes modelos de antenas de recepção. Procura-se avaliar o quanto a variação da intensidade do campo no mesmo ambiente, obtido por diferentes antenas, pode impactar na qualidade do sinal recebido, demodulado e decodificado. Na fase 3 dos testes de laboratório da camada física da TV 3.0, no laboratório de TV Digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie, foi avaliada uma variação do reuso-1 com 2 camadas.

A 1ª camada opera com reuso-1, D/U ≤ 0 dB com suporte para segmentação geográfica com antenas não direcionais. A 2ª camada opera com D/U ≤ 16 dB, com suporte para segmentação geográfica com antenas externas. No caso da recepção por antena interna, durante a segmentação geográfica, caso a relação D/U fique abaixo dos 16 dB, a recepção comuta automaticamente da 2ª para 1ª camada. É esperado que a 1ª camada suporte ao menos a taxa mínima necessária para conteúdo HDHDR progressivo com qualidade superior à máxima possível na TV 2.5 e a 2ª camada suporte ao menos a taxa mínima necessária para conteúdo 4K. Os resultados dos testes com antena MIMO serão essenciais na escolha da tecnologia da camada física.

## Conclusão

A camada física da TV 3.0 não foi definida até a data de elaboração deste Artigo, porém foi demonstrada a importância da tecnologia da camada física suportar a antena MIMO com ganho de multiplexação espacial. Trata-se de um sistema que pode dobrar a capacidade do canal, muito importante ao se pretender adotar uma tecnologia robusta como reuso-1 e conteúdos HD e 4K.

## Referências

- Biglieri, É., Calderbank, R., Constantinides, A., Goldsmith, A., Paulraj, A., & Poor, H. V. (s.d.). MIMO Wireless Communications. *Cambridge University Press*.
- Dionísio, V. M., & Akamine, C. (2016). Desmistificando o padrão de TV digital ATSC 3.0. *Brazilian Technology Symposium*.
- Fórum SBTVD. (2023). [https://forumsbtvd.org.br/tv3\\_0/](https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/).
- Gao, X., Edfors, O., Tufvesson, F., & Larsson, E. G. (2015). Massive MIMO in Real Propagation Environments: Do All Antennas Contribute Equally? *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, nº 11.
- Gonsioroski, L. H., Dos Santos, A. B., Fernandes, N. C., Castellanos, P. V., Matos, L. J., Medeiros, D. S., . . . Mello, L. A. (2023). Advanced ISDB-T—Next Generation Digital TV System: Performance in Field Tests in Brazil. *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 69, Nº 2.
- Kalachikov, A. A., & Shelkunov, N. S. (2018). Performance Evaluation Of The Detection Algorithms For MIMO Spatial Multiplexing Based On Analytical Wireless MIMO Channel Models. *XIV Международная научно-техническая конференция АПЭП*.
- Mahmood, K., Rizk, A., & Jiang, Y. (2011). On the Flow-Level Delay of a Spatial Multiplexing MIMO Wireless Channel. *IEEE ICC*.
- Mesleh, R. Y., Haas, H., Sinanović, S., Ahn, C. W., & Yun, S. (2008). Spatial Modulation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, nº 4.
- Ministério das Comunicações. (2023). Decreto 11.484, de 06/04/2023, D.O.U 06/04/2023.
- Ministério das Comunicações. (2023). Portaria 9.893 de 04/07/2023, D.O.U 11/07/2023.
- Omi, J., Santiago, N. S., de Oliveira, G. H., Filho, E. F., Santana, M. A., Junior, L. N., . . . Akamine, C. (2022). Performance Analysis of TV 3.0 Over-the-Air Physical Layer Protocols. *IEEE 2022 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*.
- Plevel, S., Tomazic, S., & Kandus, T. J. (2008). MIMO: Wireless Communications. *Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications*.
- Shitomi, T., Sato, A., Shirai, N., Nakatogawa, T., Okano, M., Kawashima, S., . . . Tsuchida, K. (2019). Field Trials for Evaluating Advanced Digital Terrestrial MIMO TV Broadcasting System. *IEEE 2019 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*.
- Trentin, R. G. (2006). Técnicas de Processamento MIMO-OFDM aplicadas à Radiodifusão de Televisão Digital Terrestre. *Dissertação da Universidade Federal de Santa Catarina*.
- Wosch, D. L., & Bacheladenski, S. (2013). Estudo da recepção de TV digital em função da transmissão de sinal com antena na polarização elíptica comparada com uma antena de transmissão de polarização horizontal. *TCC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná*.
- Zheng, L., & Tse, D. N. (2003). Diversity and Multiplexing: A Fundamental Tradeoff in Multiple-Antenna Channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, nº 5.



**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 2002 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](mailto:abotelho@lmtelecom.com.br)