



Imagem gerada com IA

Expectativa x Realidade do uso de MIMO na TV 3.0

Por: Tom Jones Moreira e Josemar Cruz

Autores explicam que apesar da escolha da camada física ser ATSC 3.0, isso não significa que basta trazer um transmissor Full ATSC 3.0 dos Estados Unidos para o Brasil que tudo vai funcionar. Saiba por quê?

O Fórum SBTVD finalizou a recomendação de tecnologia para a camada física. A conclusão da chamada Fase-3 do projeto apresenta o resultado dos testes laboratoriais e de campo da TV 3.0.

A sugestão do Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD) finalizou pela adoção da camada física do ATSC 3.0, similar à adotada nos Estados Unidos e na Coreia do Sul, onde já existe a operação comercial, porém com a adição das ferramentas de eficiência espectral MIMO, LDM e do TxID OTA, este último um dispositivo inserido no sinal para a identificação do transmissor pelo ar.

Mas atenção! Apesar da escolha da camada física ser ATSC 3.0, isso não significa que basta trazer um transmissor Full ATSC 3.0 dos Estados Unidos para

o Brasil que tudo vai funcionar. Como escrito acima, temos “modificações adicionais”. As tabelas em nosso multiplex serão completamente diferentes. O Brasil tem sua **DTV+** e isso não é ATSC 3.0.

Dito isso, falaremos sobre uma das “ferramentas de eficiência espectral”, o MIMO. Deixaremos para falar sobre o LDM e o TxID em poucas palavras no final deste artigo.

A tecnologia MIMO, que significa **Multiple-Input and Multiple-Output** (Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas), é uma técnica de comunicação sem fio que utiliza múltiplas antenas tanto no transmissor quanto no receptor para melhorar a eficiência e a robustez da transmissão de dados. Para a TV Digital, o processamento MIMO é restrito a um sistema de

MIMO 2x2 em Diversidade Espacial com Antenas Polarizadas

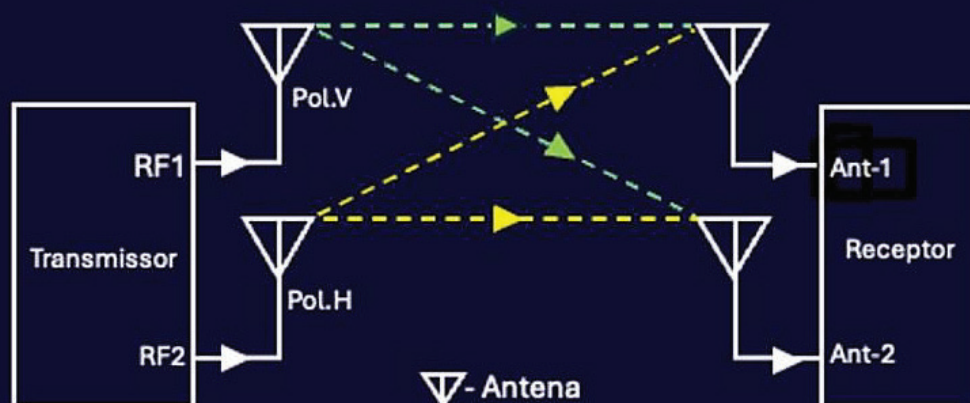


Fig.01- Diagrama em blocos do sistema MIMO 2x2 / Fonte: Autores

antenas 2x2. Isso significa que pelo menos duas antenas estão presentes no lado do transmissor e do receptor, e por isso é chamado 2x2.

Na prática, o MIMO de polarização cruzada (ou seja, polarização horizontal e vertical) é o que deve ser usado. O transmissor deve incluir antenas polares cruzadas alimentadas individualmente e o receptor deve incluir um par de antenas polares cruzadas para receber e decodificar o sinal MIMO. A seguir, os principais pontos sobre a tecnologia MIMO e sua utilização.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

- **Múltiplos Fluxos de Dados:** MIMO permite a transmissão simultânea de múltiplos fluxos de dados através de diferentes antenas, aproveitando a diversidade espacial. Isso resulta em um aumento significativo na capacidade de transmissão sem a necessidade de aumentar a potência do sinal de radiofrequência (RF) no transmissor.

PRINCIPAIS GANHOS

- **Ganho de Array:** Aumento da potência efetiva do sinal de RF na recepção devido à combinação coerente de sinais recebidos por várias antenas.
- **Ganho de Diversidade:** Redução da probabilidade de perda de sinal pelo aproveitamento dos múltiplos percursos de propagação de RF criados pelas reflexões em áreas densamente edificadas.
- **Ganho de Multiplexação:** Capacidade de transmitir múltiplos dados simultaneamente, aumentando a taxa de transmissão.

PRINCIPAIS APLICAÇÕES

- **Nas comunicações sem fio:** O MIMO é amplamente utilizado em tecnologias como Wi-Fi, WiMAX, 4G LTE, 5G, sistemas sem fio industriais para controle de IoTs, sistemas de defesa, sistemas de segurança pública e de serviços de emergências, onde se obtém uma sensível melhora na robustez e na capacidade dessas redes.
- **Na TV Digital:** Para o nosso caso, o MIMO na TV 3.0-BR agregará a possibilidade da transmissão de dois fluxos de dados em um único canal de RF, utilizando polarizações cruzadas (horizontal e vertical) para maximizar a eficiência.

Dito isso, agora nós podemos nos debruçar sobre os principais aspectos e detalhar como essa tecnologia pode transformar a transmissão de televisão digital.

AUMENTO DA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

- **Transmissão de Múltiplos Fluxos de Dados:** Como já mencionamos, o MIMO permite a transmissão simultânea de múltiplos fluxos de dados através de várias antenas. Assim, o sistema pode transmitir apenas um único sinal, bem como também pode enviar diferentes informações ao mesmo tempo, aumentando a taxa de dados efetiva. No contexto da TV 3.0, isso pode resultar em uma experiência de visualização mais rica, com a capacidade de transmitir um ou mais conteúdos em alta-definição (HD) e até mesmo uma transmissão em Ultra Alta Definição (UHD) 4K ou mesmo 8K, sem comprometer a qualidade.

MELHORIA NA ROBUSTEZ DO SINAL

- **Diversidade Espacial:** Nesse caso, a tecnologia utiliza múltiplas antenas para explorar a diversidade espacial, o que significa que o sinal do ar pode ser captado pela combinação de sinais de múltiplos percursos entre a antena da emissora de TV e a antena do receptor nas residências. Isso é especialmente útil em ambientes urbanos ou em áreas com obstruções, onde os sinais podem sofrer interferências, mas também podem se beneficiar das reflexões provocadas por esses obstáculos. A diversidade espacial ajuda a mitigar os efeitos de desvanecimento e interferências, resultando em uma recepção mais confiável e consistente.

Nos testes de campo, para escolher a tecnologia de camada física utilizando MIMO realizados no Rio de Janeiro, o desempenho em locais internos mostrou níveis de C/N mais baixos do que os praticados pelo ISDBT atual com seus 22dB C/N, típico.

No quadro abaixo temos o comparativo das tecnologias testadas:

ATSC 3.0

Locais Internos Testados com Sucesso: 7 de 9

Relação Portadora-Ruído (Externa): 13,5 dB

Relação Portadora-Ruído (Interna): 15,20 dB

ISDB-T Avançado

Locais Internos Testados com Sucesso: 9 de 9

Relação Portadora-Ruído (Externa): 12,8 dB

Relação Portadora-Ruído (Interna): 14,19 dB

Fonte: TV 3.0 Project – Phase 3 - Over-the-air Physical Layer Field Tests.
Tabela 01. C/N mínimo para cada tecnologia testada

DEMANDA POR TRANSMISSÃO DE DADOS

- **Eficiência do Espectro de Frequência:** Com a crescente demanda por serviços de transmissão de dados, a eficiência do espectro se torna crucial. MIMO permite a utilização do espectro de forma mais eficiente, transmitindo mais dados em uma mesma largura de banda. Isso é particularmente importante no contexto da TV 3.0, onde a maximização da eficiência espectral é necessária para acomodar o aumento do tráfego de dados. Inclusive, espera-se poder monetizar essa alta capacidade de data rate, utilizando, por exemplo, parte do canal de RF da emissora para “alimentar” CDNs no período em que a programação não esteja consumindo toda a banda disponível.

AUMENTO DA POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO

- **Ganho de Potência:** Os estudos indicam que a MIMO funciona melhor quando a potência total de transmissão é aumentada. Nos Estados Unidos, por exemplo, a regulamentação permite que a potência total autorizada de transmissão seja aumentada ao utilizar MIMO, inserindo-se a potência nominal de RF do canal em cada polarização da antena. Isso resulta em um ganho adicional de 3 dB, o que significa que a cobertura e a qualidade do sinal do ar podem ser significativamente melhoradas, especialmente em áreas de difícil recepção. (*Dados: MIMO_IEEE_TBC_ATSC3.0*).

Apesar de todos esses pontos positivos não podemos deixar de enumerar os desafios que a utilização de MIMO pode trazer durante sua implementação, a começar por:

- **Modificações necessárias nas instalações de recepção:** A implementação do MIMO para a recepção em telhados fixos requer que as instalações sejam adaptadas para permitir a captação de dois fluxos de dados a partir do sinal do ar. Isso pode exigir mudanças substanciais nas instalações existentes que atualmente utilizam uma única antena de recepção com a eventual necessidade de passagem de dois cabos de RF entre a antena externa e o televisor ou o difícil posicionamento de uma antena interna na configuração MIMO dentro da residência.
- **Complexidade dos receptores:** A tecnologia MIMO exige receptores mais sofisticados, ou na verdade *tuners* – circuitos sintonizadores - que possam lidar com a demodulação de múltiplos fluxos de dados. Isso sem dúvida irá aumentar o custo e a complexidade dos dispositivos de recepção, o que pode ser um obstáculo para a adoção massificada da tecnologia.

DESEMPENHO EM BAIXA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO (SNR)

- **Ganho de capacidade em Baixa SNR:** Estudos indicam (*Dados: MIMO_IEEE_TBC_ATSC3.0*) que em regiões de baixa relação sinal-ruído (SNR), o ganho de capacidade proporcionado pelo MIMO é menor em comparação com regiões de alta SNR,

que são características da recepção em telhados, utilizando antena externa etc.

Isso significa que, em condições de sinal fraco, a depender do nível do sinal recebido, pode se tornar necessária a utilização obrigatória de antena externa para que se possa obter os benefícios do MIMO, caso contrário esses benefícios podem não ser tão significativos.

Sendo assim, a inserção de FEC (*Forward Error Correction*) na transmissão para a correção de erros na recepção é uma das soluções para garantir o melhor desempenho possível do sistema da camada física em condições críticas de cobertura. No quadro comparativo abaixo temos os testes de intervalo de guarda e FEC realizados para o ISDB-T-ADV e ATSC 3.0.

	ISDB-T-ADV	ATSC 3.0
Correção de Erros (FEC)	LDPC + BCH (8/16) (0.500) eficiencia	LDPC + BCH (8/15) (0.533) eficiencia
Intervalo de Guarda	126 μ s (4.88%)	111 μ s (4.69%)

Tabela 2: FEC para cada tecnologia testada

Complementando as ferramentas para a maximização da eficiência espectral na TV 3.0-BR, vamos falar um pouco sobre o LDM e o TxID.

O LDM ou *Layer Division Multiplexing*, é um tipo de multiplexação em camada, como diz a sigla em inglês,

que ocorre no domínio de RF. Essa tecnologia mostra ganhos significativos de desempenho em comparação com as tecnologias tradicionais, TDM (*Time Division Multiplexing*) e FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Em geral, o sistema LDM tem um ganho de 4 a 6 dB em relação ao TDM/FDM convencional. O caso de uso mais comum da tecnologia é atender HD móvel para a chamada camada superior (*Core Layer* – CL) e 4K-UHD fixo para a camada inferior (*Enhanced Layer* – EL) em um único canal de RF.

As camadas CL e EL no sistema LDM compartilham partes relacionadas ao OFDM (transformada rápida de Fourier (FFT)), pilotos, intercalação de tempo (*time interleaving*) e frequência (*frequency interleaving*), intervalo de guarda, preâmbulo etc.

Devido ao uso de código e constelações de sinais de baixa ordem (QPSK ou 16QAM), dados de 2 a 5 Mbps podem ser recebidos em ambientes SNR de -1 a 5 dB.

Por outro lado, uma vez que um receptor fixo que recebe LDM deve demodular CL e EL ao mesmo tempo, há um aumento na complexidade do decodificador de modulação codificada.

Além disso, os receptores fixos LDM são voltados para recepção UHD e HD múltipla, portanto, usam constelações de sinal de alta ordem (64/256/1k-QAM) e códigos corretores de erros LDPC (*low-density parity-check*) de longa duração de alta taxa.

Assim, um receptor fixo LDM pode receber de 15 a 30 Mbps de dados em um ambiente SNR de 15 a 25 dB.

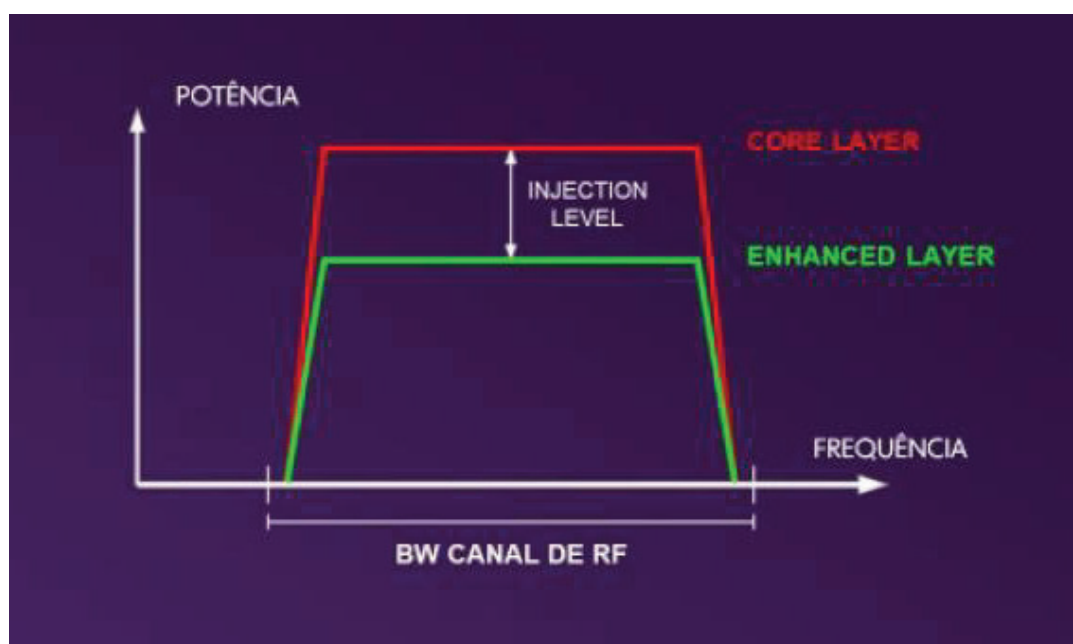


Fig. 2: LDM e seus Layers

TxID

A tecnologia TxID na TV 3.0 viabiliza o conceito de reuso de frequência, também chamada de reuso-1, onde é possível o uso do mesmo canal de RF por estações independentes que cobrem áreas de serviço adjacentes.

Caso dois transmissores estejam no mesmo canal, mas com sinais diferentes, o efeito conhecido no receptor será de sinais mutuamente interferidos.

Com o TxID, conforme os ajustes na configuração

dos transmissores, o receptor é capaz de discriminar o sinal de apenas um dos transmissores, mesmo com a presença do sinal interferente de outro transmissor. A identificação do transmissor (TxID) permite identificar exclusivamente cada transmissor individual.

A identificação é obtida por meio de uma marca d'água de RF, que permite o monitoramento e as medições do sistema, a determinação da fonte de interferência, a geolocalização e outras aplicações.

Callsign Facility ID	Service Country	City State	Latitude Longitude	Channel TxID Values
CKNY-TV-11 703904	DTV CA	HUNTSVILLE ON	45-19-44.1 N 78-57-55.3 W	7 256 - 383
CHAU-DT-6 703995	DTV CA	GASP QC	48-50-15.1 N 64-29-31.9 W	7 256 - 383
CIPA-TV-2 704055	DTV CA	BIG RIVER SK	53-49-40.1 N 107-01-47.0 W	7 256 - 383
CIEW-TV 704056	DTV CA	CARLYLE LAKE SK	49-48-37.0 N 102-41-15.7 W	7 256 - 383

Fig 3: Exemplo de TX ID e suas configurações

Um dos usos específicos do sinal TxID é permitir que os componentes do sinal do ar possam suportar ajustes do sistema em serviço, incluindo os níveis de potência, FEC, IG (Intervalo de Guarda), registradores de deslocamento (Shift Registers) de transmissores individuais.

Com esses ajustes, é possível estabelecer critérios para a discriminação de um transmissor sem erros na recepção numa dada região, mesmo com a presença

do sinal de outro transmissor no mesmo canal. Através das configurações do TxID a emissora também pode agendar horários para diferenciar os sinais dos transmissores ou manter a programação, caso haja interesse por essa modalidade de operação.

Quadro resumo explicando a Figura 3 com TX ID. No exemplo (256-383) representam um range ou bloco de identificação atribuído a esses transmissores

Callsign/Facility	ID São identificadores únicos de cada estação de transmissão. O callsign é uma sequência alfanumérica que serve como identificador de chamada da estação, enquanto o Facility ID é um número atribuído pelas autoridades de regulamentação.
Service Country	O país onde o serviço é prestado, neste caso, Canadá (CA).
City/State Latitude/Longitude	Localização específica da estação dentro do país. Latitude/Longitude são as coordenadas geográficas da estação, que são importantes para configurar e gerenciar a cobertura
Channel	O canal físico pelo qual a estação transmite. O número 7 indica que todas estas estações compartilham o mesmo canal de transmissão
TxID Values	Valores de TxID (Transmitter Identification) são usados para identificar os transmissores dentro de uma rede de broadcast.

Conclusão

Desafios Técnicos: A implementação de MIMO pode enfrentar desafios técnicos relacionados à configuração e ao alinhamento das antenas, bem como à necessidade de um gerenciamento eficaz dos sinais transmitidos e recebidos. Isso implica em um projeto complexo com a análise criteriosa das condições estruturais e da localização da torre, com impactos na instalação e operação do sistema irradiante da emissora.

Em conversa com alguns fabricantes de antena para MIMO, todos foram unânimes em relatar que a implementação de MIMO é sempre um desafio e por isso não existe muita utilização de MIMO para **broadcast**. Desta forma, embora a tecnologia MIMO ofereça muitos benefícios para a transmissão de TV digital, como aumento da capacidade e robustez do sinal, pelo lado da recepção, as dificuldades mencionadas, como a necessidade de modificações nas instalações, a complexidade dos receptores e os desafios em condições de baixa SNR, podem

representar obstáculos significativos para sua implementação bem-sucedida.

Por sua vez, o LDM e TxID são ferramentas implementadas no sistema de transmissão cujo impacto recai sobre o fornecimento de transmissores mais complexos em comparação com os transmissores ISDB-t atuais e sintonizadores dotados de mais processamento para a demodulação e decodificação dos sinais.

A operação integrada das ferramentas MIMO, LDM e TxID é o que vai oferecer ganhos e o diferencial na robustez, na qualidade e na flexibilidade da cobertura em comparação com a TV digital atual. Isso não quer dizer, no entanto, que não devemos tentar. É muito importante que as tomadas de decisão sobre a implantação de novas tecnologias tragam benefícios a prova de futuro, além das melhorias e inovações em relação aos sistemas em operação.

Afinal de contas, o melhor do Brasil é o brasileiro que não desiste nunca e sempre sorri no final.



Tom Jones Moreira é responsável por implementar novas soluções para sistema de IPTV, ISDBT, DVBS e OTT. Coordenar equipes multidisciplinares na engenharia de Aplicação da Tecsys do Brasil. Desenvolvedor de papers técnicos científicos e painlista de eventos de tecnologia e novas mídias. Membro do Fórum SBTVD e FOBTv (*Future of Broadcast TV*). Revisor Técnico da Revista da (SET).

Contato: tom@tecsysbrasil.com.br



Josemar Cardoso da Cruz é CEO da XTREAM Solutions e membro do ATSC. Passagens pelo CTA-Centro Técnico Aeroespacial, Philips Telecomunicações, Bosch Telecom, Rede Globo e afiliadas. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba, com MBAs pela FGV e ESPM. Participou da implantação dos primeiros backbones de telefonia digital, da introdução de tecnologias de contribuição wireless para Jornalismo, da implantação da TV Digital no Brasil, de projetos de distribuição de sinais de TV em rede via satélite e via terrestres em IP de alta capacidade e fundador da Xstream Solutions. Atualmente, Tech Advisor da Rede Paraíba, afiliadas da Rede Globo, e CEO da Xstream Solutions).

Contato: josemar.cruz@daextream.com.br