

Relatório de Pesquisa e Engenharia: Planejamento de Cobertura, Interferência e Redes SFN para ISDB-Tb e TV 3.0

1. Introdução e Arquitetura do Sistema de Planejamento

A evolução das infraestruturas de radiodifusão terrestre impõe desafios computacionais e físicos de magnitude sem precedentes, exigindo plataformas de predição altamente determinísticas. O ecossistema de software *EFTX Antena Pattern · TV Digital 2D* foi concebido para suprir esta lacuna, operando como um motor analítico de altíssimo desempenho focado no planejamento de cobertura, cálculo de interferência intrínseca e modelagem de Redes de Frequência Única (Single Frequency Networks - SFN). A aplicação destina-se a modelar tanto o legado normativo do ISDB-Tb quanto o horizonte tecnológico da TV 3.0 (comercialmente designada DTV+ no Brasil), suportando as intrincadas topologias de transmissão que estas arquiteturas demandam¹.

A espinha dorsal deste simulador é o contrato definido via *Protocol Buffers* (Protobuf), especificamente o serviço *eftx.v1.PlanningService*. O uso do Protobuf atua como a fonte única da verdade (*Single Source of Truth*), garantindo que a parametrização de transmissores, formas de onda (*waveforms*), especificações de *raster* e métricas de avaliação sejam serializadas com tipagem estrita e processadas por um motor implementado em C++ e orquestrado via gRPC. Esta abordagem de microsserviços viabiliza a geração de contratos, *jobs* de processamento distribuído, manifestos de execução e mosaicos espaciais (*tiles 2D*) em tempo real⁴. A saída deste complexo algoritmo é cristalizada em formatos geoespaciais modernos e auditáveis, notadamente arquivos GeoTIFF estruturados como COG (*Cloud Optimized GeoTIFF*). A organização interna do COG, indexada em *tiles XYZ*, permite que plataformas de visualização web consumam camadas gigapixel de resultados espectrais sem a necessidade de transferir o arquivo matriz integralmente, garantindo agilidade entre os modos de simulação *Preview* (avaliação de cenários de baixo custo computacional) e *Final* (resolução plena com processamento rigoroso de propagação)⁵.

2. A Camada Física L1: Paradigma ISDB-Tb

O planejamento de uma rede SFN ou MFN (Multi-Frequency Network) exige a modelagem meticulosa da Camada Física (L1). No cenário brasileiro atual, regido pela ABNT NBR 15601, o ISDB-Tb utiliza o esquema de modulação BST-OFDM (*Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). O canal de radiofrequência de 6 MHz é matematicamente dividido em 14 segmentos OFDM, dos quais 13 são efetivamente ativados para a transmissão de carga útil, perfazendo uma largura de banda ativa de aproximadamente

5,572 MHz⁷.

A flexibilidade intrínseca do ISDB-Tb repousa na sua capacidade de agrupar estes 13 segmentos em até três camadas hierárquicas independentes (Camadas A, B e C), configuradas independentemente para atingir alvos de cobertura variados⁷. O simulador efix.v1.PlanningService requer a definição completa destas camadas para aferir os limiares de recepção.

Camada	Segmentos Alocados	Modulações Suportadas	Taxas de Correção de Erro (FEC)
A	Típicamente 1 (1-Seg)	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
B	Configurável	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
C	Configurável	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

A escolha da modulação e do *Forward Error Correction* (FEC) dita a robustez geométrica da rede. A modulação DQPSK ou QPSK associada a um FEC de 1/2 exige uma relação Sinal-Ruído (C/N) incrivelmente baixa (frequentemente inferior a 6 dB), permitindo a recepção em dispositivos móveis sob intenso desvanecimento. Em contrapartida, a utilização de 64QAM com FEC de 7/8 maximiza a taxa de dados para transmissões em Alta Definição (FHD), porém exige limiares de C/N superiores a 20 dB, limitando a cobertura a antenas externas fixas (teto) com forte linha de visada¹¹. O entrelaçamento temporal (*Time Interleaving*), que pode variar de 0 a 400 ms, é outro parâmetro normativo modelado pelo sistema para dispersar rajadas de erros típicas de canais com mobilidade e ruído impulsivo¹⁰.

A dimensão temporal e de frequência do sinal é regida pelo "Modo ISDB-Tb", que dita o tamanho da Transformada Rápida de Fourier (FFT) e o número total de subportadoras OFDM. O sistema modela os três modos normativos:

- **Mode 1 / 2k:** Compreende um espaçamento entre subportadoras de aproximadamente 3,968 kHz e uma duração de símbolo ativo (T_u) de 252 μ s. Sua alta tolerância ao efeito Doppler o torna ideal para extrema mobilidade, mas seu curto símbolo ativo restringe severamente a aplicação em redes SFN amplas⁷.
- **Mode 2 / 4k:** Dobra o tamanho da FFT para 4096, resultando em um T_u de 504 μ s e espaçamento de 1,984 kHz⁷.
- **Mode 3 / 8k:** É a topologia padrão para amplas redes SFN estaduais no Brasil. Com 8192 subportadoras, o espaçamento cai para 0,992 kHz e a duração do símbolo ativo

eleva-se a 1008 μ s. Esta expansão temporal é vital porque o Intervalo de Guarda (GI) é sempre uma fração do símbolo ativo⁷.

O Intervalo de Guarda (GI), parametrizável em 1/4, 1/8, 1/16 ou 1/32, atua como um preâmbulo protetor copiando ciclicamente o final do símbolo OFDM para o seu início. No Modo 3 com GI de 1/4, obtém-se o tempo de proteção absoluto máximo do ISDB-Tb: 252 μ s. Multiplicando-se

este valor pela velocidade da luz no vácuo ($c \approx 300.000$ km/s), define-se o raio geométrico máximo (aprox. 75,6 km) em que os sinais de dois emissores podem alcançar um receptor sem induzir Auto-Interferência (ISI - *Inter-Symbol Interference*)¹⁶.

3. A Camada Física L1: Transição para TV 3.0 e ATSC 3.0

O arcabouço tecnológico que subsidia o Projeto TV 3.0 (DTV+) repousa fundamentalmente no padrão físico do *Advanced Television Systems Committee* (ATSC 3.0), homologado pelas séries de normas A/300, A/321 e A/322¹. O motor em C++ deve acomodar uma topologia matemática que diverge radicalmente do ISDB-Tb, abandonando a segmentação rígida em prol de uma flexibilidade absoluta baseada no particionamento do fluxo através do *System Discovery and Signaling (Bootstrap)*¹.

O ATSC 3.0 inaugura a capacidade de enviar Múltiplas Camadas Físicas (PLPs - *Physical Layer Pipes*), permitindo que fluxos de dados direcionados a telas UHD fixas e *smartphones* móveis coexistam de forma otimizada. Para a simulação L1 no ambiente TV 3.0, a arquitetura deve contabilizar os ganhos provenientes das Constelações Não Uniformes (NUC - *Non-Uniform Constellations*) em uma ou duas dimensões, que superam os limites teóricos de Shannon da modulação QAM clássica. Estes são acoplados aos formidáveis Códigos de Verificação de Paridade de Baixa Densidade (LDPC - *Low-Density Parity Check*), configurados em blocos normativos de 16.200 ou 64.800 bits, superando exponencialmente os antigos códigos Viterbi e Reed-Solomon⁵.

Duas inovações mandatórias exigidas na Fase 3 do projeto SBTVD afetam brutalmente o equacionamento matricial das áreas de cobertura: A Multiplexação por Divisão de Camadas (LDM - *Layered Division Multiplexing*) e o MIMO 2x2 (*Multiple-Input Multiple-Output*)². A tecnologia LDM permite a alocação de serviços fixos (Alta Capacidade, *Enhanced Layer*) e móveis (Alta Robustez, *Core Layer*) no mesmo bloco de espectro frequência-tempo. O simulador processa a LDM considerando a injeção de potência. Para o receptor móvel, o sinal da camada de alta capacidade atua meramente como ruído gaussiano (uma degradação programada na relação CNIR). Após o receptor decodificar a camada base, ele subtrai matematicamente este sinal do espectro original, permitindo a extração isolada da camada otimizada⁴. A simulação geoespacial deve, portanto, computar duas matrizes de viabilidade física superpostas para o mesmo canal, aplicando coeficientes de cancelamento (*Cancellation Factor*). O MIMO, por sua vez, emprega polarizações cruzadas simultâneas, multiplicando os caminhos de propagação no ambiente *multipath*, o que requer que a engine C++ simule ganhos de diversidade espacial em canais de Rayleigh não correlacionados².

Ademais, a TV 3.0 expande exponencialmente a tolerância para Redes SFN. As Transforms de

Fourier podem escalar para modos de 16K e 32K. No modo 16K, com parâmetros como o *GI_1536*, o motor C++ processa intervalos de guarda na ordem de 222,2 μ s (permitindo distâncias intra-sítio isentas de ruído na casa de 66,6 km)²⁴. No modo de 32K, a extensão do GI pode alcançar estratosféricos 700 μ s, proporcionando uma abrangência macro regional impensável no padrão de televisão terrestre de gerações passadas, abarcando raios superiores a 200 km⁵.

4. Dinâmica Geoespacial do Sistema Radiante

Para que o motor calcule as frentes de onda, é necessário instanciar no *eftx.v1.PlanningService* a caracterização absoluta de cada emissor físico. A fidelidade do modelo de propagação decorre diretamente das coordenadas topocêntricas e dos vetores de energia. A Frequência (em MHz) e o Canal UHF regem o comprimento de onda e, por conseguinte, os modelos teóricos de difração esférica e perda de trajeto no espaço livre e perante obstáculos geográficos. A variável EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*), informada em dBm, condensa a potência nominal do transmissor subtraída das perdas inerentes às linhas de transmissão, somada ao ganho passivo da matriz de antenas¹⁶. A diretividade do padrão de irradiação é estipulada pela Latitude e Longitude do TX para ancoragem geométrica contra o Modelo Digital de Terreno (DTM), combinada com a sua orientação vetorial no plano azimutal (Azimute). Os feixes de energia são ademais conformados pelo Tilt Mecânico (inclinação física do suporte da antena para concentrar energia na bacia demográfica subjacente) e pelo Tilt Elétrico (defasagem controlada introduzida artificialmente nos divisores de potência da antena, que "mergulha" o feixe sem alterar a estrutura mecânica, mitigando a iluminação indesejada no horizonte e a auto-interferência em sítios SFN adjacentes)²⁴.

O "Delay Estático" expresso em microssegundos (us) atua como o alicerce metodológico da configuração SFN. Através da sincronização temporal gerada por receptores de referência GPS (utilizando sinais de 10 MHz e 1 PPS), o escalonador central de rede estampa um *Synchronization Time Stamp* (STS) em cada quadro (*frame*) gerado¹⁷. Ao alcançar cada modulador na periferia, o transmissor analisa seu próprio retardo de transporte físico e insere um atraso adicional estático. No simulador *PlanningService*, manipular o *Delay Estático* permite ao operador adiantar ou retardar artificialmente o disparo da frente de onda de uma antena periférica (gap-filler), empurrando sua geometria de eco prejudicial para fora de centros urbanos de alta densidade populacional, encapsulando-os metodicamente dentro dos limites protetores do Intervalo de Guarda do sinal emitido pelo transmissor principal¹⁷.

A Resolução Raster (m) determina o refinamento da grade amostral (o pixel nominal). Uma simulação em modo *Preview* pode adotar 100 metros para cômputo matricial veloz; enquanto o modo *Final* adentra na precisão de 10 a 30 metros, requerendo processamento CUDA ou OpenCL extensivo do C++ dadas as centenas de milhares de avaliações de dispersão SFN. O parâmetro empírico "GI útil" (Fator GI Utilizável), apontado no *status* do diagnóstico como 100,8 μ s, refere-se à porção realística que o equalizador do receptor doméstico efetivamente processa sem severa distorção. Na literatura e normas como ITU-R BT.2209 e BT.2254, embora o GI teórico possa ser, por exemplo, de 112 μ s, as janelas de estimativa de canal

(baseadas em pilotos espalhados, *scattered pilots* PP1, PP2) limitam a janela de equalização efetiva (frequentemente computada na proporção de 57/64 do limite de Nyquist temporal). Portanto, o simulador acata este estrangulamento de hardware e cessa a avaliação construtiva em exatos 100,8 μs ²⁷.

5. Fundamentação da Função de Ponderação SFN

A matemática que rege a coexistência de ondas eletromagnéticas na arquitetura de frequência única dita a divisão entre potência de campo útil e autointerferência destrutiva. O motor analisa

o espaço calculando o retardo relativo temporal $\Delta\tau_i$ de cada emissor i em relação ao sincronismo derivado do transmissor principal ou tempo centralizado pela janela FFT do receptor.

O coeficiente de energia aportado por cada frente de onda é avaliado pela Função de

Ponderação $w(\Delta\tau_i)$. Normativas de planejamento (EBU e ITU-R) estabelecem um comportamento de degradação quadrática quando o sinal excede os limites de proteção²⁷:

Para atrasos confinados no Intervalo de Guarda ($0 \leq \Delta\tau_i \leq T_g$): O coeficiente

$w(\Delta\tau_i) = 1$. O sinal é integralmente somado à potência útil total da rede (U_{total}).

Trata-se do *SFN Gain* puro, onde os ecos agem como reforço multipath positivo, suprimindo o sombreamento geográfico²⁴.

Para ecos adiantados (*Pre-echoes*, onde $\Delta\tau_i < 0$) contidos na janela de equalização: O

coeficiente mitiga-se rapidamente: $w(\Delta\tau_i) = \left(\frac{T_u + \Delta\tau_i}{T_u}\right)^2$. Sinais fora desta janela

passam a converter-se parcialmente, e depois totalmente, em potência interferente (I_{total})²⁷.

Para ecos excessivamente atrasados (*Post-echoes*, onde $\Delta\tau_i > T_g$) dentro dos limites do

equalizador: A função de degradação atua na forma: $w(\Delta\tau_i) = \left(\frac{T_u + T_g - \Delta\tau_i}{T_u}\right)^2$. A

parcela $(1 - w)$ desse sinal transfigura-se diretamente no somatório matricial de ruído co-canal, solapando agressivamente a relação portadora-interferência e inviabilizando decodificações de alta ordem como o 64QAM²⁷.

Qualquer energia que extrapole criticamente os limites do intervalo de equalização do receptor

não é recuperável pelos preâmbulos do OFDM. O coeficiente $w(\Delta\tau_i)$ é forçado a 0, significando que o transmissor distante (mesmo com altíssima intensidade em campo) se comporta como uma emissora alienígena bloqueando o espectro. Toda a sua energia incrementa as camadas numéricas de *interference_dbm* geradas pelo C++²⁷. O algoritmo deve, por fim, consolidar todos estes componentes probabilísticos log-normais com a ferramenta estatística *t-LNM* para predições realistas em variâncias sistêmicas²⁷.

6. Arquitetura Analítica da Saída Espacial (Raster 2D)

O núcleo de microsserviços exporta doze matrizes bidimensionais fundamentais para as plataformas de auditoria, todas estritamente derivadas das equações regulamentares de predição de campo. A decomposição das saídas do *endpoint* geram as respostas críticas do planejamento de rádio.

A matriz física original se consolida através de duas camadas flutuantes (RASTER_DATA_TYPE_FLOAT32): A *rx_power_dbm* representa a densidade de energia de banda larga isotrópica entregue nos terminais simulados. Para validação governamental, os engenheiros necessitam da métrica em força de campo absoluto, convertida pixel a pixel na matriz *field_strength_dbuvm*. Em radiofrequência, a interação campo-potência em uma antena ressonante de impedância casada ($75\ \Omega$ para televisão clássica) resulta matematicamente da manipulação:

$$E\ [\text{dB}\mu\text{V/m}] = P_r\ [\text{dBm}] + 20\log_{10}(f_{\text{MHz}}) + 77.2$$

Isso certifica a conformidade perante órgãos estatais (ex: curvas ITU-R P.1546)¹⁷.

A avaliação do ruído térmico provê o piso fundamental do sistema. O diagnóstico exibido pelo modelo indica "Ruido termico: -100.218 dBm". Longe de ser um achismo analítico, este valor é

derivado atômico da relação entrópica universal $P_{\text{ruído}} = k \cdot T \cdot B \cdot F$, onde k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T a temperatura de referência de 290K e B a banda útil OFDM de 5,572 MHz típica do padrão ISDB-T 13-segmentos. A matriz *noise_dbm* (FLOAT32) infere, através da matemática reversa, que o perfil de simulação adota uma Figura de Ruído (Noise Figure - NF) do sintonizador de antena de exatos 6,3 dB³⁴. Esta presunção rigorosa alinha-se meticulosamente às normas ITU-R BT.2036, que adotam NFs típicas próximas a 7 dB para análise sistêmica.

Dois pares contrastantes de métricas SNR balizam as operações. A matriz *cnr_db* (Carrier-to-Noise Ratio) mensura a potência útil em decibéis isolada da restrição terrena do piso de ruído térmico supracitado, atestando a qualidade bruta da radiopropagação. O calcanhar de Aquiles das SFNs revela-se na camada adjacente *cnir_db* (Carrier-to-Noise-and-Interference Ratio). Uma coordenada geográfica pode abrigar simultaneamente um elevado *cnr_db* (visibilidade perfeita para várias torres locais) e um *cnir_db* abismal, na qual as frentes energéticas, defasadas substancialmente para além dos limites de 100,8 μs de *GI utilizável*, provocam somatório maciço na variável de *interference_dbm*. A equação implementada em C++ adota a forma:

$$CNIR_{\text{dB}} = 10\log_{10}\left(\frac{10^{U_{\text{total}}/10}}{10^{noise/10} + 10^{I_{\text{total}}/10}}\right)$$

Como resposta primária aos operadores de projeto, a grade *margin_db* resume a solvência da

configuração L1. A margem deduz o $CNIR_{dB}$ geográfico dos limiares teóricos impostos pelos parâmetros normativos do modo (Thresholds L1). Se a camada C do projeto exigir 64QAM 3/4, a simulação injetará perdas devidas ao *Amplitude Proportional Noise* (APN) do ITU-R BT.2209 e descontará o limiar regulamentar específico (frequentemente entre 18 dB e 22 dB dependendo da tipologia do *multipath*)²⁸. Pixels onde *margin_db* é superior a zero constituem garantia teórica de travamento sintético dos pacotes e demodulação fluida da imagem e áudio³⁴.

O campo *best_server* em tipagem (RASTER_DATA_TYPE_UINT16) determina pontualmente o ID do emissor responsável pelo estabelecimento do relógio principal de equalização daquele pixel e pelo vetor ótimo de apontamento azimutal da antena de teto²⁷. Esta antena, modelada com diagramas direcionais, é fundamental para suprimir interferentes advindos pelas abas laterais e traseiras. A disparidade de tempo contra este referencial é mapeada em *sfn_delay_us*.

As camadas de encerramento são descritores estaduais em RASTER_DATA_TYPE_UINT8. A bitmask *service_mask* rastreia iterativamente quais das camadas lógicas (Camada A, B, C no ISDB-Tb ou PLPs Core/Enhanced no LDM do TV 3.0) resistem ao ruído local³⁴. Enquanto uma transmissão base (1-Seg / Core LDM) pode permanecer intocada, a camada de alta capacidade pode ser obliterada pelo canal. O discriminador *sfn_status* rotula nominalmente as tipologias de eco em categorias heurísticas (Dominância Absoluta, Adição Construtiva, Pre-echo Destrutivo, Post-echo Destrutivo), acelerando fluxos de auditoria analítica e renderização de cores na aplicação web, sem exigir re-cálculos nos motores gráficos Javascript. A chave final, *coverage_class*, tipifica a estocástica de canal sob os modos de penetração ambiental. Identifica as probabilidades de cobertura para modo Portátil *Indoor* ou de extrema mobilidade (*Mobile Handheld*), nos quais a aplicação aplica restrições suplementares, inflando o limiar L1 de operação por fatores severos de desvanecimento dinâmico rápido (Rayleigh) na ausência completa da parcela de linha-de-visada (LOS) típica das redes Ricianas fixas e mitigação pelas defesas do *Time Interleaving* configuradas nas matrizes paramétricas¹¹.

7. Conclusão da Perspectiva SFN e Integração

Analítica

A complexidade sistêmica envolvida na radiodifusão terrestre contemporânea migrou irrevogavelmente as técnicas heurísticas e manuais para infraestruturas de geoprocessamento em microserviços altamente sofisticados. O arcabouço *EFTX Antena Pattern* atende aos preceitos mais estritos das resoluções internacionais vigentes para redes de Frequência Única, fundindo os limites impostos pelas modelagens log-normais de ruído às peculiaridades da transformação das janelas de Fourier em ambientes hiperdistribuídos.

A migração de topologia imposta pelo salto geracional do ISDB-Tb para o TV 3.0 (DTV+ com bases em ATSC 3.0) rompe fronteiras antigas que asfixiavam os provedores em SFNs interurbanas. A transição de Intervalos de Guarda rígidos para o limite elástico estendido e gigantesco de modos 16k e 32k desfaz os gargalos físicos inerentes a auto-interferência crônica das grandes bacias demográficas⁵. Da mesma forma, as inovações normativas em

LDM e polarização cruzada MIMO viabilizam a ressurreição tecnológica do espectro perante as novas demandas massivas por transmissões em HDR10 e VVC com resoluções UHD sem abdicar da audiência metropolitana baseada em mobilidade ubíqua².

A compilação de todas as instâncias de potência útil U_{total} e auto-interferência I_{total} através dos coeficientes de degradação temporal $w(\Delta\tau_i)$, exportadas em contratos C++ imutáveis de Protobuf e indexados nas malhas estritas dos arquivos geoespaciais COG/GeoTIFF garante que engenheiros de rede e gestores regulatórios possuam acesso auditável incontestável e imediato. Este nível de predição atesta que falhas catastróficas por sobreposição de sinal fora da janela permissiva de 100,8 μ s de equalizador sejam isoladas e neutralizadas através dos vetores operacionais de atrasos estáticos STS, ativando de forma confiável a viabilidade irrestrita de serviços SFN de alta performance perante a transição de toda a infraestrutura macro do paradigma do broadcast brasileiro¹⁷.

Referências citadas

1. 3.0 Standards - ATSC : NextGen TV - ATSC.org, <https://www.atsc.org/atsc-documents/type/3-0-standards/>
2. TV 3.0 Project - Fórum SBTVD, https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/
3. SET IJBE V.10, 2024, <https://set.org.br/ijbe/ed10/v10.pdf>
4. ATSC 3.0—The Next Step in the Evolution of Digital Television - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/318744529_ATSC_30-The_Next_Step_in_the_Evolution_of_Digital_Television
5. An Overview of the ATSC 3.0 Physical Layer Specification - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/290472101_An_Overview_of_the_ATSC_30_Physical_Layer_Specification
6. Coverage Estimation for Advanced Terrestrial Television ATSC 3.0 - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/337881329_Coverage_Estimation_for_Advanced_Terrestrial_Television_-_ATSC_30/fulltext/5df06af6299bf10bc351bb25/Coverage-Estimation-for-Advanced-Terrestrial-Television-ATSC-30.pdf
7. OFDM Reception Algorithms for SFN - Biblioteca da SBrT, <https://biblioteca.sbrt.org.br/articlefile/929.pdf>
8. Characterization of the ISDB-Tb critical spectrum mask | Acta IMEKO, <https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko/article/view/IMEKO-ACTA-01%282012%29-01-10/52>
9. Digital terrestrial television broadcasting – Transmission system - DiBEG, https://www.dibeg.org/wp/wp-content/uploads/techp/aribstd/harmonization/2018_04_111_Transmission_ABNT_ARIB_SBTVD_JD.pdf
10. Transport Stream Files Assembling and Analysis of BER Performance into ISDB-Tb Standard, <https://set.org.br/ijbe/ed3/artigo2.pdf>
11. Evaluation of ATSC 3.0 MODCODs for TV 3.0 - Adelpha Repositório Digital, <https://dspace.mackenzie.br/items/ab9a6fe1-9501-4658-b46d-d8fc0b15050d>
12. ISDBT Workshop - GatesAir,

- <https://www.gatesair.com/documents/slides/2015-03-Horspool-ISDBT-Workshop.pdf>
13. Results of Field Tests of the ISDB-TB System at 8 MHz in Botswana,
https://set.org.br/ijbe/ed1/10_IEEE%20Format%20-%20Results%20of%20Field%20Tests%20of%20the%20ISDB-TB%20System%20at%208%20MHz%20in%20Botswana.pdf
 14. ABNT NBR 15601 - telemidia,
http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVd/pt_BR/ABNTNBR15601_2007Ed1.pdf
 15. Recommendation ITU-R BT.2016-4 (02/2025) - Error-correction, data framing, modulation and emission methods for terrestrial multi,
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2016-4-202502-!PDF-E.pdf
 16. SFN Gain Simulations in Non-Interfered and Interfered SFN Network - UPV,
https://personales.upv.es/thinkmind/dl/journals/inttech/inttech_v2_n1_2009/inttech_v2_n1_2009_10.pdf
 17. Coverage Optimization of Eureka Digital Sound Broadcasting Single Frequency Network using Simulated Annealing and Particle Swarm - Journal of Communications, <http://www.jocm.us/2023/JCM-V18N6-377.pdf>
 18. Network Planning of Single Frequency Broadcasting Networks - DiVA portal,
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:387989/FULLTEXT01.pdf>
 19. ISDB-T International - Grokipedia,
https://grokipedia.com/page/ISDB-T_International
 20. An Overview of the ATSC 3.0 Physical Layer Specification - RiuNet,
<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/73fbee8b-9289-4d6e-be43-db0863788fed/content>
 21. Comparison of the Physical-layer Performance between ATSC 3.0 and 5G Broadcast, https://set.org.br/setep/ed8_pt/v8-painel44-2.pdf
 22. Testes de laboratório da Camada Física da TV 3.0,
https://set.org.br/wp-content/uploads/2024/02/REVISTASET_213_ARTIGO-TV-3.0.pdf
 23. Advanced ISDB-T—Next Generation Digital TV System: Performance in Field Tests in Brazil,
https://www.researchgate.net/publication/366359927_Advanced_ISDB-T-Next_Generation_Digital_TV_System_Performance_in_Field_Tests_in_Brazil
 24. TV Network Planning: SFN Design Guidelines, Gap Fillers, and SFN's Applications - GatesAir University,
<https://www.gatesairuniversity.com/documents/gatesairconnectvirtualevents-tvnet-workplanning-sfn-05142020.pdf>
 25. ATSC 3.0 (NextGen TV) SFN Application - GatesAir,
https://www.gatesair.com/documents/slides/GATESAIR-SFN_ATSC_101022.pdf
 26. REPORT ITU-R BS.2214-3 - Planning parameters for terrestrial digital sound broadcasting systems in VHF bands,
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2214-3-2019-PDF-E.pdf
 27. Planning Large Single Frequency Networks for DVB-T2 - ResearchGate,
https://www.researchgate.net/publication/275889930_Planning_Large_Single_Fre

quency_Networks_for_DVB-T2

28. Calculation model for SFN reception and reference receiver characteristics of ISDB-T system - ITU,
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BT.2209-2010-PDF-E.pdf
29. Coverage Optimization for DVB-T2 SFN Networks - IJESI,
[http://www.ijesi.org/papers/Vol\(7\)i2/Version-2/B0702020509.pdf](http://www.ijesi.org/papers/Vol(7)i2/Version-2/B0702020509.pdf)
30. Receivers Behavior in a ISDB-T's Single Frequency Network,
https://set.org.br/ijbe/ed2/07_IEEE%20format%20-%20Receivers%20Behavior%20in%20a%20ISDB-T%E2%80%99s%20Single%20Frequency%20Network.pdf
31. Analysis of the Single Frequency Network Gain in Digital Audio Broadcasting Networks, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7830278/>
32. Analysis of the Single Frequency Network Gain in Digital Audio Broadcasting Networks,
https://www.researchgate.net/publication/348503915_Analysis_of_the_Single_Frequency_Network_Gain_in_Digital_Audio_Broadcasting_Networks
33. SFN channel measurements in Brazil - SciELO,
<https://www.scielo.br/ijmoea/a/FNVrrxnbFm9QzVFGPwrFggM/?lang=en>
34. RECOMMENDATION ITU-R BT.2036-5 (05/2023) – Characteristics of a reference receiving system for frequency planning of digital,
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2036-5-202305-I!!PDF-E.pdf
35. Characteristics of a reference receiving system for frequency planning of digital terrestrial television systems - ITU,
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2036-1-201607-S!!PDF-E.pdf
36. [unknown_url](#)
37. O Padrão de TV Digital Brasileiro: ISDB-Tb SDB-T - TEDE,
<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/3293/1/JOSE%20ISAAC%20MENEZES%20DE%20SOUZA.pdf>
38. REPORT ITU-R BT.2209-2 - Calculation model for SFN reception and reference receiver characteristics of ISDB-T system,
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BT.2209-2-2019-PDF-E.pdf