



Projeto Brasil 6G Fase III

Atividade 5.4 - Contribuições para o processo de padronização - Estudo de normas de TVWS



Histórico de Atualizações:

Versão	Data	Autor(es)	Notas
1	01/07/2026	Giovana Pereira Palma Matheus Sêda Borsato Cunha	Elaboração de conteúdo
2	18/07/2026	Juliano Silveira Ferreira Luciano Leonel Mendes	Revisão de texto

Lista de Tabelas

1	Limites de emissão indesejada do transmissor fora da faixa de 470 MHz a 694 MHz definidos pela ETSI.	4
2	Valores mínimos de ACLR por classe de emissão (Min_{ACLR}) e afastamento de canal definidos pela ETSI.	5
3	Parâmetros de bloqueio do receptor para um sinal do tipo CW definidos pela ETSI.	6
4	Parâmetros do Dispositivo definidos pela ETSI.	7
5	Parâmetros Operacionais definidos pela ETSI.	8
6	Parâmetros de Uso do Canal definidos pela ETSI.	8
7	Resumo dos principais limites de EIRP definidos pela FCC.	15
8	Limites de potência para dispositivos fixos e móveis adotados pela FCC.	15
9	Limites potência para dispositivos pessoais/portáteis adotados pela FCC.	16
10	Limites máximos de EIRP e densidade espectral definidos pela ICASA.	20
11	Valores mínimos de ACLR adotados pela ICASA.	21
12	Limites de potência e PSD para WSDs fixos e móveis definidos pela RSS-222.	23
13	Limites de potência e PSD para WSDs portáteis definidos pela RSS-222.	23
14	Limites de potência e PSD para WSDs <i>narrowband</i> definidos pela RSS-222.	23
15	Limites de emissões fora do canal para WSDs fixos e móveis definidos pela RSS-222.	24
16	Limites de emissões fora do canal para WSDs portáteis definidos pela RSS-222.	24
17	Limites de missões fora do canal para WSDs <i>narrowband</i> definidos pela RSS-222.	25

Acrônimos

ACLR	<i>Adjacent Channel Leakage-Power Ratio</i>
AGL	<i>Above Ground Level</i>
ANE	<i>Agencia Nacional del Espectro</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
BDEB	<i>Base de Datos de Espacios en Blanco</i>
DTT	<i>Digital Terrestrial Television</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
GER	<i>General Equipment Registration</i>
GLSD	<i>Geo-locations Spectrum Database</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
HAAT	<i>Height Above Average Terrain</i>
ICASA	<i>Independent Communications Authority of South Africa</i>
IDA	<i>Infocomm Development Authority of Singapore</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
ISED	<i>Innovation, Science and Economic Development Canada</i>
KAAA	<i>Karoo Astronomy Advantage Areas</i>
NAD 83	<i>North American Datum of 1983</i>
NTSC	<i>National Television System Committee</i>
Ofcom	<i>Office of Communications</i>
PAWS	<i>Protocol to Access White-Space</i>
PER	<i>Packet Error Rate</i>
PMSE	<i>Programme Making and Special Events</i>
PSD	<i>Power Spectral Density</i>
RBW	<i>Resolution BandWidth</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RSS-222	<i>Radio Standards Specification</i>
SRD	<i>Short Range Device</i>
TE	<i>Test Equipment</i>
TVWS	<i>TV White Space</i>
TVWSD	<i>TV White Space Device</i>
TVWSDB	<i>TV White Space Database</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>

VHF *Very High Frequency*

WSD *White Space Device*

WSDB *White Space Database*

OFCOM *Office of Communications (United Kingdom)*

GER *General Equipment Register*

HPC *High Priority Channel*

TSAC *Telecommunication Standards Advisory Committee*

SBO *Service-Based Operator*

Sumário

1	Introdução	1
2	Estudo de normatizações internacionais de TVWS	2
2.1	Estudo da Norma ETSI EN 301 598	2
2.1.1	Arquitetura Geral e Classificação dos Dispositivos	3
2.1.2	Critérios Técnicos para o Transmissor	4
2.1.3	Critérios Técnicos para o Receptor	5
2.1.4	Critérios de Controle, Segurança e Geolocalização	6
2.1.5	Comunicação entre TVWSD e TVWSDB	7
2.1.6	Ensaaios de Conformidade e Verificação	9
2.2	Estudo da Norma Ofcom	10
2.2.1	Estrutura Regulatória e Dependência do Banco de Dados	11
2.2.2	Classificação dos Dispositivos	11
2.2.3	Parâmetros Operacionais e Limites de Potência	11
2.2.4	Comunicação entre WSDB e dispositivo <i>Master</i>	12
2.2.5	Comunicação entre dispositivo <i>Master</i> e dispositivo <i>Slave</i>	12
2.2.6	Mecanismos de segurança e controle operacional	13
2.3	Estudo da Norma FCC	13
2.3.1	Escopo e Estrutura da Regulamentação	13
2.3.2	Categorias de Dispositivos	14
2.3.3	Canais Permitidos para Operação	14
2.3.4	Limites de Potência e Requisitos Técnicos	15
2.3.5	Requisitos de antena e exposição à radiofrequência	16
2.3.6	Geolocalização e Métodos para Evitar Interferência	16
2.3.7	Reverificação do Banco de Dados e Comportamento em Falhas	17
2.3.8	Proteção contra Interferência	17
2.3.9	Banco de Dados	18
2.3.10	Administrador do Banco de Dados	18
2.3.11	Segurança e Interoperabilidade	18
2.3.12	Dispositivos baseados apenas em sensoriamento espectral	19
2.4	Estudo da Norma ICASA	19
2.4.1	Classificação dos Dispositivos	19
2.4.2	Estrutura do Banco de Dados	20
2.4.3	Limites Técnicos e Operacionais	20
2.4.4	Validade Operacional e Segurança	21
2.5	Estudo da Norma RSS-222 Issue 4	21
2.5.1	Escopo e Faixas de Frequência	22
2.5.2	Tipos de Dispositivos	22
2.5.3	Classes de Emissão	22
2.5.4	Limites de Potência e Densidade Espectral	22
2.5.5	Limites de Emissões Fora do Canal	24
2.5.6	Acesso ao Banco de Dados e Autorização de Operação	24
2.5.7	Atualização de Localização, Falhas e Segurança	25
2.5.8	Relatório de Teste	25
2.6	Estudo da Norma IDA	26

2.6.1	Quadro de Licenciamento e Faixas de Operação	26
2.6.2	Categorias de Dispositivos WSD	26
2.6.3	Requisitos de Antena, Emissões e Identificação	27
2.6.4	Acesso ao Banco de Dados	27
2.6.5	Validade do Canal, Segurança e Atualização	28
2.6.6	Coexistência com Serviços Protegidos	28
2.6.7	Operação e Registro dos Bancos de Dados	29
2.6.8	Licenciamento dos Provedores de Banco de Dados	29
2.7	Estudo da Norma ANE	29
2.7.1	Escopo e Conceitos Gerais	30
2.7.2	Classificação dos Dispositivos	30
2.7.3	Condições Técnicas Gerais	30
2.7.4	Operação com Configuração Automática pela BDEB	31
2.7.5	Configuração Manual e Procedimento Provisório	31
3	Análise Comparativa	32
3.1	Elementos Comuns entre as Regulamentações	32
3.2	Equivalência Funcional das Categorias de Dispositivos	32
3.3	Comparação dos Limites de Potência	33
3.4	Comparação dos Requisitos de Emissões Adjacentes	33
3.5	Limites Temporais, Geográficos e Operacionais	34
3.6	Síntese das Abordagens Regulatórias	34
4	Conclusão	35

1 Introdução

O espectro de radiofrequências é um recurso público limitado e estratégico. Gerenciar esse recurso de forma eficiente é fundamental para o desenvolvimento de novas tecnologias, para a inclusão digital e para o crescimento da economia. Como muitas faixas de frequências já estão congestionadas, é necessário buscar soluções inovadoras. Nesse cenário, a tecnologia de espaços em branco de televisão (*TV White Space* (TVWS)) [1, 2] destaca-se como uma alternativa eficiente de acesso dinâmico ao espectro. Esse sistema permite o uso secundário e oportunístico de frequências da TV digital que estejam desocupadas em uma determinada região geográfica. Como as ondas nessa faixa de frequência conseguem viajar por longas distâncias e ultrapassar obstáculos, o TVWS é ideal para levar conexão de banda larga a áreas rurais e regiões isoladas que não possuem uma infraestrutura de telecomunicações adequada.

Para que os sistemas TVWS funcionem bem, é indispensável ter uma regulamentação clara e segura. Órgãos reguladores conhecidos no mundo todo, como a *Federal Communications Commission* (FCC) nos Estados Unidos e o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) na Europa, criaram as primeiras regras, métodos de cálculo de interferência e exigências técnicas para os equipamentos de espaços em branco. O histórico e os parâmetros definidos por essas instituições trazem um conhecimento muito importante para guiar a criação de novas normas em outros países.

A análise detalhada dessas normas internacionais é fundamental para encontrar os pontos técnicos e regulatórios que vão servir de base para a criação da futura regulamentação brasileira. Este relatório técnico tem o objetivo de analisar e comparar as regras adotadas no mundo, avaliando limites de potência, máscaras de emissão, métodos de localização e o funcionamento dos bancos de dados dinâmicos.

Visando alcançar os objetivos propostos, este documento está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o estudo detalhado das principais regras internacionais avaliadas como a ETSI, *Office of Communications (United Kingdom)* (OFCOM), FCC, *Innovation, Science and Economic Development Canada* (ISED), *Independent Communications Authority of South Africa* (ICASA), *Infocomm Development Authority of Singapore* (IDA) e *Agencia Nacional del Espectro* (ANE) e suas exigências operacionais; a Seção 3 exhibe a análise comparativa, evidenciando os pontos de convergência e divergência entre as normas analisadas; por fim, a Seção 4 traz as considerações finais e as principais diretrizes recomendadas para o cenário brasileiro.

2 Estudo de normatizações internacionais de TVWS

Para compreender o cenário global de regulamentação da tecnologia TVWS e fundamentar a proposta brasileira, este estudo analisa as principais diretrizes adotadas por diferentes países e regiões. Cada órgão regulador desenvolveu regras específicas para permitir o uso oportunista do espectro de TV, buscando equilibrar a inovação tecnológica com a segurança das transmissões dos serviços principais já existentes.

O panorama internacional revela diferentes abordagens técnicas e filosofias de controle. A União Europeia, por meio da norma ETSI EN 301 598 [3], estabelece um modelo focado no controle rigoroso da potência de transmissão com base na localização exata do equipamento, classificando-os conforme o tipo de instalação fixa ou móvel e exigindo comunicação constante com um banco de dados dinâmico. Seguindo uma linha técnica semelhante, a agência britânica *Office of Communications* (Ofcom) [4, 5, 6] utiliza a mesma arquitetura de controle e métodos de ensaio europeus, porém adota limites de potência específicos e um modelo de coexistência ajustado para a realidade de canais do Reino Unido.

Por outro lado, os Estados Unidos, por meio da regulamentação pioneira da FCC [7], baseiam seu modelo em distâncias rígidas de separação geográfica e limites fixos de potência para classes bem delimitadas de dispositivos fixos e portáteis, que dependem de consultas diárias a bancos de dados licenciados. Esse modelo norte-americano é fortemente compartilhado pelo Canadá, que adota a norma *Radio Standards Specification* (RSS-222) [8] visando a harmonização dos equipamentos na América do Norte, embora aplique pequenos ajustes específicos para proteger as suas redes locais.

Em outras regiões do globo, observam-se adaptações que atendem a interesses nacionais específicos. A África do Sul, através da ICASA [9], baseia-se fortemente no padrão europeu da ETSI para gerenciar a faixa de frequências, mas introduz proteções geográficas severas para evitar qualquer interferência em serviços de interesse científico, como as áreas de radiotelescópios de alta sensibilidade. Já em Singapura, a agência IDA [10] prefere seguir de perto os limites e parâmetros operacionais da FCC norte-americana, mas diferencia-se ao exigir que as consultas ao banco de dados sejam muito mais frequentes e ao criar canais de proteção exclusivos voltados para o uso de microfones sem fio. Por fim, a Colômbia representa uma iniciativa recente na América Latina por meio da ANE [11], que emprega um modelo regulatório híbrido combinando a estrutura de controle dinâmico da ETSI com limites operacionais mais conservadores, adequados à topografia e à distribuição de canais do país.

O estudo detalhado dessas diferentes visões normativas permite mapear os pontos em comum e as melhores práticas regulatórias adotadas mundialmente. Dessa forma, as seções seguintes detalham os requisitos técnicos de cada uma dessas regulamentações, gerando uma base técnica sólida para o desenvolvimento da futura norma nacional.

2.1 Estudo da Norma ETSI EN 301 598

A norma ETSI EN 301 598 V2.2.1, publicada pelo *European Telecommunications Standards Institute* [3], estabelece os requisitos técnicos e operacionais para dispositivos de TVWS que operam como sistemas de acesso sem fio na faixa de radiodifusão televisiva entre 470 MHz e 694 MHz. Essa faixa corresponde aos canais de *Digital Terrestrial Television* (DTT), de 21 a 48, com canalização típica de 8 MHz. A norma foi elaborada como padrão harmonizado europeu para acesso ao espectro de rádio e define uma arquitetura baseada em acesso dinâmico ao espectro, na qual os dispositivos não escolhem livremente os canais de operação, mas dependem

de autorização fornecida por um banco de dados de TVWS, denominado *TV White Space Database* (TVWSDB).

O objetivo central da norma é permitir o uso oportunista de canais de televisão não utilizados em uma determinada localização geográfica, sem causar interferência prejudicial aos serviços primários, especialmente os serviços de radiodifusão de televisão. Para isso, a ETSI adota um modelo fortemente dependente de geolocalização, controle por banco de dados, limites de potência, controle de emissões fora do canal, mecanismos de segurança e procedimentos de ensaio. Assim, a norma não trata apenas das características de rádio dos dispositivos, mas também do comportamento lógico do sistema, da troca de informações entre dispositivo e banco de dados e das condições sob as quais a transmissão deve ser iniciada, mantida, atualizada ou interrompida.

2.1.1 Arquitetura Geral e Classificação dos Dispositivos

A ETSI define uma arquitetura composta por dois elementos principais: o *TV White Space Device* (TVWSD) e o TVWSDB. O TVWSD é o equipamento de rádio que utiliza, de forma secundária e oportunista, canais de televisão disponíveis em uma determinada região. O TVWSDB é a entidade responsável por calcular e fornecer ao TVWSD os canais disponíveis e os parâmetros técnicos de operação, considerando a localização do dispositivo e a necessidade de proteção dos serviços licenciados.

A norma classifica os TVWSDs em duas hierarquias físicas principais: dispositivos Tipo A e dispositivos Tipo B. O dispositivo Tipo A é destinado a instalações fixas e pode utilizar antenas externas, desde que o ganho da antena seja declarado durante a configuração. Essa informação é necessária para que *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) permaneça dentro dos limites autorizados pelo banco de dados. O dispositivo Tipo B é destinado à operação móvel ou portátil e, por razões de controle regulatório e prevenção de interferência, deve utilizar antenas integradas ou dedicadas, com ganho fixo e conhecido pelo fabricante.

Além dessa classificação física, a norma também define uma classificação funcional entre TVWSD primário e TVWSD secundário. O TVWSD primário atua como dispositivo mestre da rede. Ele é o único autorizado a se comunicar diretamente com o TVWSDB, devendo possuir capacidade de geolocalização para determinar sua posição e reportá-la ao banco de dados. Cabe ao TVWSD primário consultar o TVWSDB, receber os parâmetros operacionais autorizados e controlar os TVWSDs secundários associados.

O TVWSD secundário, por sua vez, atua como dispositivo escravo. Ele não possui permissão para consultar diretamente o TVWSDB e só pode operar sob o controle de um TVWSD primário. Desse modo, sua autorização de transmissão depende das permissões recebidas por intermédio do dispositivo primário. Caso a comunicação entre o TVWSD secundário e o TVWSD primário seja interrompida, o dispositivo secundário deve cessar suas transmissões em 5 s. Essa exigência impede que um dispositivo continue transmitindo com parâmetros desatualizados ou sem supervisão.

O TVWSDB deve ser aprovado ou certificado pela autoridade reguladora nacional. A autoridade reguladora também deve disponibilizar uma lista pública, denominada *weblisting*, contendo os bancos de dados aprovados para determinado domínio regulatório. Essa lista deve ser mantida pela própria autoridade ou em seu nome, permitindo que os dispositivos identifiquem quais bancos de dados são legítimos.

Assim, o modelo da ETSI combina autorização técnica dinâmica com controle regulatório centralizado. Quando um TVWSD informa sua localização ao TVWSDB, o banco verifica quais

canais de televisão estão ocupados por serviços licenciados naquela região e identifica quais canais podem ser utilizados de forma oportunista. Em seguida, o banco retorna ao dispositivo uma lista de canais autorizados e os parâmetros obrigatórios para operação, incluindo limites de EIRP, limites de densidade espectral de potência, largura de banda, validade temporal e validade geográfica. Com isso, a operação do TVWSD passa a ser condicionada por parâmetros calculados dinamicamente, e não apenas por limites fixos de fábrica.

2.1.2 Critérios Técnicos para o Transmissor

A ETSI define requisitos rigorosos para o transmissor dos dispositivos TVWS, com o objetivo de limitar a interferência tanto dentro da faixa de televisão quanto fora dela. Os principais critérios envolvem potência total, densidade espectral de potência, emissões indesejadas, vazamento para canais adjacentes e robustez contra intermodulação reversa.

O primeiro requisito é o limite de potência de RF, expresso em termos de EIRP. A potência total integrada ao longo de um canal DTT de 8 MHz, representada por $P_{1,i}$, não deve exceder o limite especificado pelo TVWSDB para o canal i . Esse limite é calculado pelo banco de dados com base na localização do dispositivo, nas restrições de coexistência e na proteção dos serviços primários.

O segundo requisito é a *Power Spectral Density* (PSD). A potência medida em qualquer largura de banda de 100 kHz dentro do canal de operação i não deve exceder o limite $P_{0,i}$ informado pelo TVWSDB. Esse controle é importante porque a potência total por canal protege contra interferência agregada em sistemas de banda larga, enquanto a PSD protege serviços mais sensíveis ou de banda estreita que possam coexistir na mesma região espectral.

A norma também estabelece limites para emissões indesejadas fora da faixa de 470–694 MHz. Essas emissões podem atingir outros serviços de radiocomunicação e, por isso, devem permanecer abaixo dos valores máximos definidos para cada faixa de frequência. A Tabela 1 resume esses limites.

Tabela 1: Limites de emissão indesejada do transmissor fora da faixa de 470 MHz a 694 MHz definidos pela ETSI.

Faixa de frequência	Potência máxima	Largura de banda de medição
30 Mhz a 47 MHz	−36 dBm	100 kHz
47 Mhz a 74 MHz	−54 dBm	100 kHz
74 Mhz a 87,5 MHz	−36 dBm	100 kHz
87,5 Mhz a 118 MHz	−54 dBm	100 kHz
118 Mhz a 174 MHz	−36 dBm	100 kHz
174 Mhz a 230 MHz	−54 dBm	100 kHz
230 Mhz a 470 MHz	−36 dBm	100 kHz
694 Mhz a 862 MHz	−54 dBm	100 kHz
862 Mhz a 1 GHz	−36 dBm	100 kHz
1 GHz a 4 GHz	−30 dBm	1 MHz

Dentro da própria faixa de 470–694 MHz, a preocupação principal está associada às emissões em canais adjacentes. Para esse controle, a norma utiliza o parâmetro *Adjacent Channel Leakage-Power Ratio* (ACLR), que expressa a relação entre a potência transmitida no canal

principal e a potência que vaza para canais adjacentes. A potência no bloco de transmissão é representada por P_{IB} , medida em dBm/8 MHz, enquanto a potência fora do bloco é representada por P_{OOB} , medida em dBm/100 kHz.

A ETSI define cinco classes de emissão, sendo a Classe 1 a mais restritiva, enquanto a Classe 5 é a mais permissiva. O fabricante deve declarar a classe de emissão do equipamento, e essa classe é utilizada pelo TVWSDB nos cálculos de coexistência e autorização. Os valores mínimos de ACLR são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores mínimos de ACLR por classe de emissão (Min_{ACLR}) e afastamento de canal definidos pela ETSI.

Classe de emissão	ACLR para $n = \pm 1$ (dB)	ACLR para $n = \pm 2$ (dB)	ACLR para $n \geq +3$ ou $n \leq -3$ (dB)
1	74	79	84
2	74	74	74
3	64	74	84
4	54	64	74
5	43	53	64

A potência de emissão fora do bloco deve obedecer ao maior valor entre o resultado de ($P_{IB} - Min_{ACLR}$) e o piso de ruído de -84 dBm/100 kHz. Assim, o limite pode ser expresso por:

$$P_{OOB} \left(\frac{\text{dBm}}{100 \text{ kHz}} \right) \leq \max \left\{ P_{IB} \left(\frac{\text{dBm}}{8 \text{ MHz}} \right) - Min_{ACLR}(n), -84 \left(\frac{\text{dBm}}{100 \text{ kHz}} \right) \right\} \quad (1)$$

Outro requisito importante do transmissor é a atenuação de intermodulação reversa (RIM3). Esse parâmetro avalia a capacidade do transmissor de resistir à presença de sinais externos fortes sem gerar produtos próprios de intermodulação. O ensaio é realizado aplicando-se ao transmissor um sinal interferente contínuo, de potência P_u , por meio da porta de antena. Essa potência é ajustada para ficar 40 dB abaixo da potência máxima suportada pelo dispositivo, ou seja, $P_u = P_{IBmax} - 40$ dB. O sinal interferente é posicionado em uma frequência deslocada de ± 8 MHz em relação à portadora principal f_w , isto é, $f_{un} = f_w \pm 8$ MHz, dentro da faixa de 470–694 MHz. O valor de RIM3 é calculado por:

$$RIM3 = 2P_{IB} + P_u - P_{IM3}, \quad (2)$$

em que P_{IB} é a potência média transmitida no bloco de 8 MHz, P_{IBmax} é a potência máxima suportada pelo dispositivo no bloco (dBm), P_u é a potência do sinal interferente externo e P_{IM3} é a potência do produto de intermodulação de terceira ordem, medido em 100 kHz no ponto $2f_w - f_{un}$.

Para que o transmissor seja considerado em conformidade, o valor calculado de RIM3 deve ser superior a 45 dB.

2.1.3 Critérios Técnicos para o Receptor

A norma também define critérios mínimos para o receptor do TVWSD, buscando garantir que o equipamento consiga operar adequadamente em ambientes com interferências e sinais indesejados. O primeiro requisito é a sensibilidade. O receptor deve ser capaz de demodular um sinal mínimo P_{min} não superior a -65 dBm, mantendo uma *Packet Error Rate* (PER) menor ou igual a 10%.

O segundo requisito é a seletividade de canal adjacente. Esse ensaio mede a capacidade do receptor de rejeitar um sinal interferente localizado no canal imediatamente vizinho, enquanto recebe um sinal desejado fraco. A condição de teste considera o sinal desejado em $P_{min} + 10$ dB e um sinal interferente no canal adjacente, deslocado de 8 MHz, com potência $P_{min} + 20$ dB. Mesmo nessa condição, o receptor deve manter PER menor ou igual a 10%.

O terceiro requisito é o bloqueio. Nesse caso, o objetivo é verificar se o receptor mantém desempenho aceitável na presença de sinais fortes em frequências afastadas da faixa de operação. O sinal desejado é aplicado em $P_{min} + 6$ dB, e sinais de bloqueio são inseridos em frequências específicas fora da banda. A PER deve permanecer menor ou igual a 10%. A Tabela 3 apresenta os valores de referência para o ensaio.

Tabela 3: Parâmetros de bloqueio do receptor para um sinal do tipo CW definidos pela ETSI.

Potência média do sinal desejado (dBm)	Frequência do sinal de bloqueio (MHz)	Bloqueio Primário (dBm)	Bloqueio Secundário (dBm)
$P_{min} + 6$ dB	460, 704	-43	-49
$P_{min} + 6$ dB	370, 400, 430	-37	-43
$P_{min} + 6$ dB	724, 732, 758, 794	-37	-43

Além disso, a norma trata das emissões espúrias do receptor. Esse requisito busca assegurar que os circuitos internos do receptor não gerem níveis relevantes de ruído de radiofrequência que possam afetar outros equipamentos ou serviços. Embora o receptor não seja o elemento transmissor principal, suas emissões internas também precisam ser controladas para garantir compatibilidade eletromagnética.

2.1.4 Critérios de Controle, Segurança e Geolocalização

Uma parte essencial da norma está nos critérios de controle e segurança do sistema. O mecanismo de *fail-safe* é obrigatório: um TVWSD primário deve cessar todas as transmissões na faixa de TVWS caso perca a comunicação com o TVWSDB. De forma equivalente, um TVWSD secundário deve cessar sua transmissão caso perca a comunicação com o TVWSD primário que o controla. Esse comportamento evita operação autônoma indevida, operação com parâmetros expirados ou transmissão sem autorização válida.

A capacidade de geolocalização também é um requisito central. TVWSDs primários devem possuir capacidade de determinar sua posição geográfica, pois essa informação é indispensável para que o TVWSDB calcule os canais disponíveis e os limites de operação. TVWSDs secundários podem ter ou não capacidade própria de geolocalização, pois sua operação é subordinada ao TVWSD primário. Para dispositivos móveis ou portáteis do Tipo B que possuam geolocalização, a norma exige confirmação periódica da posição a cada 60 s, exceto quando estiverem em modo de repouso. Ao sair do modo de repouso, o dispositivo deve confirmar novamente sua localização antes de transmitir.

Caso um dispositivo que anteriormente reportava sua localização deixe de conseguir determiná-la, ele deve interromper suas transmissões conforme as condições associadas aos parâmetros operacionais. Se um dispositivo não possuir capacidade de localização, essa condição deve ser informada ao TVWSDB. Dessa forma, o banco de dados pode considerar a incerteza ou ausência de geolocalização ao definir a autorização ou negar a operação.

A norma também restringe o acesso do usuário final ou instalador a parâmetros críticos de conformidade regulatória. Configurações como ganho de antena, classe de emissão, parâmetros

de comunicação com o TVWSDB e demais dados que influenciem diretamente a autorização de operação não devem ser livremente alteráveis.

2.1.5 Comunicação entre TVWSD e TVWSDB

A comunicação entre o TVWSD e o TVWSDB é estruturada em três grupos principais de informações: parâmetros do dispositivo, parâmetros operacionais e parâmetros de uso do canal. Esse fluxo permite que o banco de dados conheça as características do equipamento, calcule os limites de operação e acompanhe quais recursos espectrais serão efetivamente utilizados.

Os parâmetros do dispositivo são enviados pelo TVWSD ao TVWSDB para identificar o equipamento e descrever suas capacidades técnicas. Estes parâmetros são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros do Dispositivo definidos pela ETSI.

Parâmetro	Descrição
Localização da Antena	Coordenadas de Latitude, Longitude e Altitude.
Incerteza da Localização da Antena	Incerteza da medição de latitude, longitude e altitude especificadas em metros, com 95% de confiança.
Tipo de dispositivo	Tipo A ou Tipo B.
Categoria do Dispositivo	TVWSD primário ou TVWSD secundário.
Identificador do fabricante	Código único global que identifica a empresa que fabricou o equipamento.
Identificador do modelo	Nome ou código do modelo específico do produto.
Número de série	Número único de produção daquela unidade específica.
Identificador de tecnologia	Conjunto de caracteres que permite identificar unicamente a tecnologia.
Classe de Emissão do Dispositivo	Classe com a qual o dispositivo cumpre, conforme especificado na Tabela 2.
Melhoria da máscara espectral	Parâmetros que informam se o dispositivo tem uma melhoria de ACLR comparado ao mínimo exigido pela sua classe.
Melhoria da atenuação de intermodulação reversa	Este parâmetro permite que o dispositivo informe ao TVWSDB uma tabela detalhada de sua robustez (RIM3) em diferentes níveis de potência de transmissão (P_{IBk}), caso seu desempenho supere 45 dB.

Os parâmetros operacionais são enviados pelo TVWSDB ao TVWSD e constituem a autorização efetiva de operação. Esses parâmetros estão identificados na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros Operacionais definidos pela ETSI.

Parâmetro	Descrição
Lista de Canais Autorizados	Especifica as frequências exatas de borda dos canais DTT onde a transmissão é permitida.
Limite de Densidade Espectral de Potência (PSD) $P_{0,i}$	Define a potência máxima permitida (em dBm/100 kHz) em qualquer subfaixa de 100 kHz dentro de um canal.
Limite de Potência Total do Canal (EIRP) $P_{1,i}$	Define a potência máxima total (em dBm) integrada sobre toda a largura de 8 MHz de um canal.
Largura de Banda Nominal Máxima do Canal	Limita o tamanho do maior canal que um dispositivo pode formar ao agregar canais adjacentes.
Largura de Banda Máxima Total	Limita a soma total de todas as larguras de banda que um dispositivo pode usar simultaneamente, incluindo canais não contíguos.
Validade da Licença (Tempo e Localização)	Define o período de tempo exato ($T_{valStart}$ a T_{valEnd}) e o raio geográfico (L_{val} em metros) dentro dos quais esta licença é válida.
Restrição de Potência em Múltiplos Canais	Parâmetro que quando ativado (valor=1), força o dispositivo a reduzir sua potência total combinada ao usar múltiplos canais, evitando excesso de energia agregada.
Temporizador de Revalidação Obrigatória (T_{update})	Define o intervalo máximo de tempo (em segundos) que um TVWSD primário pode operar antes de ser obrigado a contatar o TVWSDB novamente para confirmar que as regras ainda são válidas.

Os parâmetros de uso do canal são enviados pelo TVWSD ao TVWSDB para declarar quais canais autorizados serão efetivamente utilizados e com quais níveis de potência. Os parâmetros são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros de Uso do Canal definidos pela ETSI.

Parâmetro	Descrição
Lista de Canais a Utilizar	O dispositivo informa ao TVWSDB o subconjunto exato de canais, da lista que lhe foi autorizada, que ele efetivamente planeja ocupar.
Densidade Espectral de Potência a Utilizar	O dispositivo declara o nível de PSD que de fato irá utilizar em cada canal, que deve ser igual ou inferior ao limite máximo ($P_{0,i}$) permitido.
Potência Total do Canal a Utilizar	O dispositivo declara a potência total que de fato irá utilizar em cada canal, que deve ser igual ou inferior ao limite máximo ($P_{1,i}$) permitido.

2.1.6 Ensaios de Conformidade e Verificação

A ETSI define ensaios mandatórios para verificar se os dispositivos TVWSD cumprem os requisitos técnicos, operacionais e de segurança. Esses ensaios abrangem condições gerais de teste, ensaios do transmissor, ensaios do receptor e ensaios de inteligência e segurança do sistema.

As condições gerais de ensaio buscam garantir repetibilidade e comparabilidade entre laboratórios. Os testes devem ser realizados em condições normais, com ambiente controlado, temperatura entre 15 °C e 35 °C, umidade dentro de limites normais e tensão nominal de alimentação. Quando o desempenho do equipamento puder variar com o ambiente, também devem ser realizados ensaios em condições extremas de temperatura e tensão. A norma admite medições conduzidas, para dispositivos com conector de antena, e medições irradiadas, para dispositivos com antena integrada. O dispositivo deve ser configurado no pior caso aplicável, usando modulação e parâmetros que representem a condição mais crítica para o ensaio. A instrumentação deve seguir larguras de resolução, tempos de observação e métodos de varredura adequados.

Nos ensaios de potência de saída, o objetivo é verificar se a EIRP e a PSD permanecem dentro dos limites fornecidos pelo TVWSDB. Para isso, registra-se o sinal ao longo do tempo e, caso existam várias saídas de RF, suas potências são somadas. Depois, identifica-se a rajada mais intensa e calcula-se sua potência média. Por fim, soma-se o ganho da antena, e também o ganho de *beamforming* quando aplicável, para obter a EIRP final, que deve ser comparada ao limite $P_{1,i}$ definido pelo TVWSDB. A PSD é medida separadamente com analisador de espectro, usando largura de resolução de 100 kHz, e comparada com o limite $P_{0,i}$.

Nos ensaios de emissões indesejadas, a norma diferencia a medição de ACLR e a medição de emissões espúrias fora da faixa. Para ACLR, o analisador de espectro captura o sinal com *Resolution BandWidth* (RBW) de 10 kHz, e uma janela de 100 kHz é usada para medir o vazamento nos canais adjacentes. A diferença entre a potência no canal principal e a potência vazada deve atender ao valor mínimo de ACLR correspondente à classe declarada do dispositivo. Para emissões espúrias fora da faixa, realiza-se uma varredura ampla de 30 MHz a 4 GHz com detector de pico, identificam-se frequências suspeitas e, em seguida, faz-se medição precisa com detector *Root Mean Square* (RMS). Os valores medidos são comparados aos limites da Tabela 1.

O ensaio de intermodulação reversa avalia a robustez do transmissor frente a sinais externos fortes. O dispositivo é configurado para transmitir em determinado nível de potência P_{IB} , enquanto um sinal interferente $P_u = P_{IBmax} - 40$ dB é injetado em sua saída. Mede-se então o produto de intermodulação P_{IM3} e calcula-se o RIM3. O equipamento só é considerado conforme se o valor calculado for superior a 45 dB.

Os ensaios do receptor verificam a capacidade de operação em condições adversas. O ensaio de sensibilidade reduz progressivamente a potência do sinal desejado até que a PER atinja 10%, registrando esse valor como P_{min} , que deve ser menor ou igual a -65 dBm. O ensaio de seletividade de canal adjacente fixa o sinal desejado em $P_{min} + 10$ dB e introduz um interferente no canal adjacente em $P_{min} + 20$ dB; a PER deve permanecer menor ou igual a 10%. O ensaio de bloqueio fixa o sinal desejado em $P_{min} + 6$ dB e introduz sinais de alta potência em frequências afastadas; novamente, a PER deve permanecer menor ou igual a 10%.

Além dos ensaios de RF, a norma exige ensaios de inteligência e segurança do sistema. Esses testes verificam se o dispositivo obedece ao modelo de controle por banco de dados e se interrompe a transmissão quando perde autorização. Para isso, utiliza-se um *Test Equipment* (TE), que emula o TVWSDB e a infraestrutura de rede. O teste de identificação e consulta

inicial, associado à *weblisting*, verifica se o TVWSD primário se conecta apenas a bancos de dados aprovados. Quando ligado sem acesso à Internet, o dispositivo deve permanecer sem transmissão de RF. Com acesso normal, deve obter a *weblisting* correta para a localização simulada e tentar contato apenas com um TVWSDB listado. Além disso, deve reconsultar periodicamente a *weblisting* dentro do intervalo especificado.

O teste de conformidade de parâmetros e comunicação verifica se o dispositivo envia corretamente seus parâmetros ao banco de dados, recebe parâmetros operacionais e transmite apenas de acordo com os limites autorizados. O TE envia canais, limites de potência, validade temporal e validade geográfica; simultaneamente, um analisador de espectro monitora a transmissão para confirmar se o canal e a potência observados correspondem aos parâmetros fornecidos. O teste também verifica se o TVWSD informa seus parâmetros de uso do canal ao TVWSDB e se interrompe a transmissão quando a autorização expira.

O teste de *fail-safe* verifica se o dispositivo interrompe a transmissão ao perder contato com sua entidade de controle. Em operação normal, estabelece-se um enlace entre o dispositivo e o TE. Em seguida, a conexão de dados é interrompida deliberadamente. No caso de um TVWSD secundário, o TE instrui o TVWSD primário de teste a interromper a comunicação com ele. O analisador de espectro deve confirmar que todas as transmissões de RF cessam em até 5 s.

Por fim, o teste de geolocalização avalia se o dispositivo gerencia adequadamente sua posição e a validade geográfica dos parâmetros operacionais. Um gerador de sinal *Global Navigation Satellite System* (GNSS) estabelece uma posição inicial, e o TE autoriza a operação dentro de um raio de validade, por exemplo $L_{val} = 50$ m. Em seguida, o gerador GNSS simula o deslocamento do dispositivo para fora da área autorizada. O dispositivo deve cessar a transmissão em até 60 s após sair da região válida. Para dispositivos móveis Tipo B, também se verifica a revalidação periódica da posição a cada 60 s durante a operação normal.

2.2 Estudo da Norma Ofcom

A regulamentação da Ofcom para sistemas de TVWS estabelece as condições técnicas e operacionais para a utilização de dispositivos de espaços em branco, denominados *White Space Device* (WSD), na faixa de *Ultra High Frequency* (UHF) entre 470 MHz e 790 MHz. O objetivo principal dessa regulamentação é permitir o uso oportunista de canais de televisão não utilizados em determinada localização geográfica, garantindo, ao mesmo tempo, a proteção dos serviços primários já licenciados, especialmente os serviços de televisão digital terrestre e os serviços de *Programme Making and Special Events* (PMSE).

O enquadramento regulatório da Ofcom é formado por documentos complementares. O documento *The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015* [4] define as regras legais que permitem a operação de dispositivos WSD sem a necessidade de uma licença individual. No entanto, essa isenção só é válida quando os equipamentos obedecem aos limites técnicos e às condições de operação estabelecidas pela Ofcom. O documento *UK Interface Requirement IR 2096* [5] detalha os requisitos mínimos de operação no Reino Unido e se baseia na norma ETSI, garantindo compatibilidade com a Diretiva 2014/53/EU. Além disso, o documento *Implementing TV White Spaces* [6] apresenta as diretrizes de implementação e as justificativas técnicas para alguns parâmetros adotados, como o limite máximo de potência.

De forma geral, a norma da Ofcom adota um modelo de acesso dinâmico ao espectro baseado em banco de dados. Antes de qualquer transmissão, os dispositivos devem obter autorização de um *White Space Database* (WSDB), que calcula os canais disponíveis e os parâmetros operacionais permitidos com base na localização do dispositivo e na necessidade de proteção dos

serviços licenciados.

2.2.1 Estrutura Regulatória e Dependência do Banco de Dados

O princípio central da regulamentação da Ofcom é que todos os WSDs dependem de um WSDB para operar. O banco de dados é responsável por determinar quais canais de TV estão disponíveis em uma determinada região e quais limites técnicos devem ser aplicados ao dispositivo. Essa determinação considera a localização geográfica do WSD, a proteção dos serviços primários, os limites de potência permitidos, a validade temporal da autorização e a área geográfica em que os parâmetros permanecem válidos.

Assim, a operação de um WSD somente é permitida quando o dispositivo recebe parâmetros operacionais válidos do WSDB. Caso esses parâmetros expirem, sejam invalidados pelo banco de dados ou não possam ser revalidados dentro do prazo definido, o dispositivo deve cessar sua transmissão.

A canalização adotada pela Ofcom segue a estrutura dos canais DTT de 8 MHz, considerando os canais 21 a 60. A autorização é feita por canal, e o WSDB define os limites específicos de operação para cada canal disponível na localização do dispositivo.

2.2.2 Classificação dos Dispositivos

A Ofcom classifica os WSDs de acordo com dois critérios principais: o papel funcional do dispositivo na rede e o tipo físico de equipamento.

Do ponto de vista funcional, os dispositivos podem ser classificados como *Master* ou *Slave*. O dispositivo *Master* é o único autorizado a se comunicar diretamente com o WSDB. Ele deve possuir capacidade de geolocalização, informar sua posição ao banco de dados, receber os parâmetros operacionais autorizados e coordenar os dispositivos *Slaves* associados.

O dispositivo *Slave*, por sua vez, não possui autorização para consultar diretamente o WSDB. Ele só pode transmitir depois de receber parâmetros operacionais repassados por um dispositivo *Master*. Esses parâmetros podem ser genéricos, quando aplicáveis a vários *Slaves* dentro da área de cobertura do *Master*, ou específicos, quando calculados para um *Slave* individual. Portanto, o *Slave* opera de forma subordinada ao *Master* e deve respeitar integralmente as condições recebidas.

Além da classificação funcional, a Ofcom também utiliza a classificação Tipo A e Tipo B. O equipamento Tipo A corresponde a dispositivos fixos e pode utilizar antena integrada, dedicada ou externa. O equipamento Tipo B corresponde a dispositivos não fixos, ou seja, móveis ou portáteis, e deve utilizar apenas antena integrada ou dedicada.

A norma também determina que o usuário final não deve ter acesso para alterar parâmetros técnicos que possam modificar as informações enviadas ao WSDB ou permitir operação fora dos limites autorizados. Isso inclui, por exemplo, características relacionadas à antena, identificação do dispositivo, parâmetros de potência e dados regulatórios. Além disso, a operação de WSDs em plataformas aéreas é proibida.

2.2.3 Parâmetros Operacionais e Limites de Potência

A autorização de operação é baseada em conjuntos formais de parâmetros. Esses parâmetros definem os canais permitidos, os limites de potência, a densidade espectral de potência, a validade temporal, a validade geográfica, o número máximo de canais simultâneos, os limites de canais contíguos e as regras de revalidação periódica junto ao WSDB.

A Ofcom define que a potência de transmissão do WSD deve ser calculada pelo WSDB conforme a localização do dispositivo e as condições de proteção dos serviços licenciados. No entanto, esse valor calculado nunca pode ultrapassar o limite máximo regulatório de 36 dBm em 8 MHz.

Esse limite máximo funciona como uma salvaguarda regulatória. Sua finalidade é evitar que sinais fortes de WSDs próximos provoquem sobrecarga nos receptores de televisão digital, comprometendo a recepção dos canais licenciados. Além disso, esse valor contribui para a harmonização internacional, pois se aproxima dos limites adotados pela FCC nos Estados Unidos, favorecendo a padronização de equipamentos e a redução de custos de fabricação.

Quando a operação simultânea em múltiplos canais DTT é autorizada, a norma aplica uma restrição adicional: a EIRP total somada em todos os canais utilizados não pode exceder o menor limite de EIRP permitido entre esses canais. Essa regra evita que a agregação de canais resulte em potência total excessiva e aumente o risco de interferência.

2.2.4 Comunicação entre WSDB e dispositivo *Master*

Antes de iniciar qualquer transmissão, o dispositivo *Master* deve enviar ao WSDB suas informações de identificação e operação. Entre essas informações estão a indicação de que o equipamento atua como *Master*, seu identificador único, sua classificação como Tipo A ou Tipo B, a posição da antena em latitude e longitude e a incerteza associada à geolocalização.

Com base nessas informações, o WSDB calcula os parâmetros operacionais aplicáveis ao *Master*. A resposta do banco inclui as frequências de borda dos canais DTT autorizados, a densidade espectral de potência máxima, a EIRP máxima por canal, o limite de canais simultâneos, o limite de canais contíguos, a janela temporal de validade, a área geográfica de validade, o período de atualização e eventuais restrições para operação multicanal.

Depois de receber a autorização, o *Master* deve informar ao WSDB seus parâmetros de uso do canal, indicando quais canais efetivamente serão utilizados e quais níveis de potência e densidade espectral serão empregados. Essa informação permite ao banco acompanhar a ocupação real do espectro e verificar se o dispositivo está operando dentro dos limites autorizados.

O *Master* também deve confirmar periodicamente a validade dos parâmetros recebidos. Caso a autorização seja invalidada pelo WSDB ou não seja revalidada dentro do período definido, o *Master* deve interromper sua própria transmissão e ordenar que os *Slaves* associados também cessem suas transmissões.

2.2.5 Comunicação entre dispositivo *Master* e dispositivo *Slave*

Como o *Slave* não pode acessar diretamente o WSDB, o *Master* atua como intermediário obrigatório entre o banco de dados e os dispositivos dependentes.

Na modalidade de autorização genérica, o *Master* informa ao WSDB os identificadores dos *Slaves* sob sua cobertura e solicita parâmetros operacionais aplicáveis à sua área de operação. O banco de dados retorna parâmetros genéricos, que podem ser distribuídos a múltiplos *Slaves*. Depois disso, o *Master* deve informar ao WSDB quais *Slaves* estão utilizando os parâmetros e quais canais foram efetivamente adotados.

Na modalidade de autorização específica, o *Slave* envia ao *Master* suas próprias características, incluindo identificador, tipo de equipamento, posição e incerteza de geolocalização. O *Master* encaminha essas informações ao WSDB e solicita parâmetros operacionais individuais para aquele *Slave*. O WSDB responde com os parâmetros específicos, e o *Master* os repassa ao *Slave*.

Em ambos os casos, o *Slave* só pode iniciar a transmissão depois de receber os parâmetros operacionais do *Master*. Esses parâmetros incluem as frequências autorizadas, os limites de EIRP e densidade espectral de potência, o número máximo de canais, os limites de canais contíguos, a validade temporal e geográfica, o período de atualização e possíveis restrições adicionais para operação multicanal.

A autorização do *Slave* permanece válida apenas enquanto houver vínculo ativo com o *Master*. Se o *Master* ordenar a interrupção da transmissão ou se o *Slave* perder contato com o *Master* por mais de 5 s, o *Slave* deve cessar imediatamente sua operação.

2.2.6 Mecanismos de segurança e controle operacional

A norma da Ofcom impõe mecanismos de segurança para garantir que os WSDs operem apenas sob parâmetros autorizados. Um dos requisitos mais importantes é impedir que o usuário altere informações críticas do dispositivo, como características de antena, identificação, parâmetros de transmissão e configurações que afetem a comunicação com o WSDB. Essa restrição evita que modificações manuais comprometam os cálculos realizados pelo banco de dados.

Outro mecanismo essencial é a revalidação periódica. Os parâmetros fornecidos pelo WSDB possuem validade temporal e geográfica. Portanto, o dispositivo deve confirmar regularmente se os canais e potências autorizados continuam disponíveis. Caso os parâmetros expirem, sejam invalidados ou deixem de corresponder à localização atual do dispositivo, a operação deve ser interrompida.

A norma também estabelece comportamento seguro em caso de perda de comunicação. O *Master* deve cessar sua transmissão caso perca a autorização do WSDB ou não consiga revalidar seus parâmetros. Da mesma forma, o *Slave* deve cessar sua transmissão caso perca o vínculo com o *Master* por mais de 5 s.

2.3 Estudo da Norma FCC

A utilização de TVWS nos Estados Unidos é regulamentada pela FCC, por meio da Parte 15 do Título 47 do Code of Federal Regulations (47 CFR Part 15), especialmente no Subpart H – *White Space Devices* [7]. Essa regulamentação define os requisitos técnicos, operacionais e administrativos para dispositivos não licenciados que operam em canais de televisão disponíveis, buscando permitir o uso eficiente do espectro sem causar interferência prejudicial aos serviços primários.

2.3.1 Escopo e Estrutura da Regulamentação

O Subpart H da Parte 15 estabelece as regras aplicáveis aos dispositivos de *white space* não licenciados. A regulamentação é organizada em seções que cobrem os principais elementos do sistema TVWS. Entre os pontos tratados estão o escopo da norma, as definições dos tipos de dispositivos, os canais permitidos para operação, os requisitos técnicos gerais, os métodos para evitar interferência, os requisitos de proteção dos serviços licenciados, a operação dos bancos de dados de *white space*, as taxas de administração, as obrigações dos administradores desses bancos e as regras para dispositivos baseados exclusivamente em sensoriamento espectral.

Diferentemente da abordagem europeia da ETSI, que delega muitos parâmetros diretamente ao banco de dados, a FCC combina dois mecanismos: regras técnicas explícitas, com limites numéricos definidos por categoria de dispositivo, e controle dinâmico por meio de banco de

dados geolocalizado. Assim, o dispositivo só pode operar nos canais e potências autorizados para sua localização, mas sempre dentro dos limites máximos previamente estabelecidos pela regulamentação.

2.3.2 Categorias de Dispositivos

A norma define diferentes categorias de dispositivos TVWS, de acordo com sua mobilidade, forma de acesso ao banco de dados e capacidade de geolocalização. As principais categorias são: dispositivo fixo, dispositivo móvel, dispositivo pessoal/portátil Modo I, dispositivo pessoal/portátil Modo II, dispositivo *narrowband* e dispositivo baseado apenas em sensoriamento espectral.

O dispositivo fixo opera em uma localização geográfica específica. Ele pode consultar diretamente o banco de dados de *white space*, obter a lista de canais disponíveis e iniciar uma rede, fornecendo canais autorizados a outros dispositivos. Para operar, deve informar sua localização, altura de antena e demais dados exigidos pelo banco de dados. O dispositivo móvel opera dentro de uma área geograficamente delimitada, chamada de área *geo-fenced*. Ele deve possuir capacidade de geolocalização e monitorar sua posição em relação aos limites dessa área. Sua operação é permitida apenas em áreas menos congestionadas e somente enquanto permanecer dentro dos limites autorizados.

O dispositivo pessoal/portátil Modo II possui capacidade própria de geolocalização e acesso ao banco de dados, seja diretamente pela Internet ou indiretamente por meio de outro dispositivo autorizado. Ele pode consultar o banco, selecionar canais disponíveis, iniciar uma rede e fornecer lista de canais a dispositivos Modo I.

O dispositivo pessoal/portátil Modo I não possui geolocalização própria nem acesso direto ao banco de dados. Ele depende de um dispositivo fixo ou Modo II para receber a lista de canais disponíveis. Por isso, sua operação é subordinada a outro dispositivo.

Os dispositivos *narrowband* são dispositivos de faixa estreita, fixos ou portáteis, que operam com largura de banda igual ou inferior a 100 kHz. Já os dispositivos baseados apenas em sensoriamento espectral são aqueles que não utilizam geolocalização nem banco de dados, dependendo exclusivamente da detecção de sinais ocupando o canal. Essa última categoria é tratada de forma bastante restritiva pela FCC, exigindo certificação específica e comprovação de que o equipamento não causará interferência prejudicial.

2.3.3 Canais Permitidos para Operação

A FCC define de forma detalhada quais faixas podem ser utilizadas pelos dispositivos TVWS. Dispositivos fixos e pessoais/portáteis podem operar em canais disponíveis na faixa de 470–614 MHz, correspondente aos canais de TV 14 a 37, desde que respeitem os requisitos de proteção contra interferência. Também podem operar no segmento de 657–663 MHz, localizado no *duplex gap* da faixa de 600 MHz.

A norma também permite a operação em partes da faixa de serviço de 600 MHz, especificamente em 617–652 MHz e 663–698 MHz, apenas em áreas onde os licenciados dessa faixa ainda não tenham iniciado operação. Por outro lado, a faixa de 614–617 MHz, correspondente à banda de guarda do canal 37, não pode ser utilizada por dispositivos *white space*.

A operação em faixas *Very High Frequency* (VHF), como 54–72 MHz, 76–88 MHz e 174–216 MHz, é mais restrita. Apenas dispositivos móveis e dispositivos fixos que se comuniquem exclusivamente com outros dispositivos fixos ou móveis podem operar nessas faixas, sempre

sujeitos aos requisitos de proteção contra interferência. Além disso, dispositivos móveis e *narrowband* só podem operar em frequências abaixo de 602 MHz.

2.3.4 Limites de Potência e Requisitos Técnicos

A FCC define os limites de potência de acordo com o tipo de dispositivo, a faixa de operação e as condições de uso do espectro na região. Em geral, dispositivos fixos podem operar com potências mais elevadas, enquanto dispositivos pessoais ou portáteis possuem limites menores, devido ao maior risco de mobilidade e proximidade com receptores sensíveis. A Tabela 7 resume os principais limites de EIRP definidos pela FCC. Além da EIRP, a norma também

Tabela 7: Resumo dos principais limites de EIRP definidos pela FCC.

Tipo de dispositivo ou faixa	Limite de EIRP
Dispositivo fixo abaixo de 602 MHz	Até 4 W, ou 36 dBm
Dispositivo fixo em área menos congestionada	Até 16 W, ou 42 dBm
Dispositivo pessoal/portátil	Até 100 mW, ou 20 dBm
Canal 37, 608–614 MHz	Até 40 mW, ou 16 dBm
Bandas de guarda e <i>duplex gap</i>	Até 40 mW
Dispositivo baseado apenas em sensoramento espectral	Até 50 mW por 6 MHz

estabelece limites para potência conduzida, densidade espectral de potência e emissões em canais adjacentes. Esses limites variam conforme a categoria do dispositivo e o nível de potência autorizado. Para dispositivos fixos e móveis, os principais valores são apresentados na Tabela 8, já para dispositivos pessoais ou portáteis os limites são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8: Limites de potência para dispositivos fixos e móveis adotados pela FCC.

EIRP (6 MHz)	Potência conduzida (6 MHz)	PSD conduzida (100 kHz)	Emissão em canal adjacente (100 kHz)
16 dBm (40 mW)	10 dBm (10 mW)	−7,4 dBm	−62,8 dBm
20 dBm (100 mW)	14 dBm (25 mW)	−3,4 dBm	−58,8 dBm
24 dBm (250 mW)	18 dBm (63 mW)	0,6 dBm	−54,8 dBm
28 dBm (625 mW)	22 dBm (158 mW)	4,6 dBm	−50,8 dBm
32 dBm (1,6 W)	26 dBm (400 mW)	8,6 dBm	−46,8 dBm
36 dBm (4 W)	30 dBm (1.000 mW)	12,6 dBm	−42,8 dBm
40 dBm (10 W)	30 dBm	12,6 dBm	−42,8 dBm
42 dBm (16 W)	30 dBm	12,6 dBm	−42,8 dBm

A norma também exige que os dispositivos possuam mecanismos de controle de potência, de modo que transmitam apenas com a potência necessária para manter uma comunicação adequada. Para fins de certificação, o fabricante deve descrever como esse controle é implementado. Além disso, os equipamentos devem incorporar mecanismos de segurança para impedir

Tabela 9: Limites potência para dispositivos pessoais/portáteis adotados pela FCC.

EIRP (6 MHz)	PSD irradiada (100 kHz)	Emissão em canal adjacente (100 kHz)
16 dBm (40 mW)	-1,4 dBm	-56,8 dBm
20 dBm (100 mW)	2,6 dBm	-52,8 dBm

o acesso a bancos de dados não autorizados e evitar alterações indevidas em configurações que possam violar os critérios de proteção contra interferência.

2.3.5 Requisitos de antena e exposição à radiofrequência

Em operações com $\text{EIRP} \leq 40 \text{ mW}$ ou em canais múltiplos de TV com $\text{EIRP} \leq 100 \text{ mW}$, dispositivos fixos devem respeitar altura máxima de antena de 10 m acima do solo. Em termos de *Height Above Average Terrain* (HAAT), dispositivos nas bandas de TV abaixo de 602 MHz devem permanecer abaixo de 250 m. Em áreas menos congestionadas, esse limite pode chegar a 500 m. Para outras bandas, o limite de HAAT é de 250 m.

Quando o HAAT proposto excede esses limites, a operação passa a depender de procedimentos adicionais, como contato com o banco de dados e notificação de emissores de TV que possam ser afetados.

Os dispositivos também devem atender aos requisitos de exposição à radiofrequência definidos pela FCC. Quando o equipamento for submetido à autorização, devem ser apresentadas declarações e informações técnicas que comprovem a conformidade com os limites de exposição aplicáveis.

2.3.6 Geolocalização e Métodos para Evitar Interferência

A FCC exige o uso de geolocalização e acesso ao banco de dados como mecanismo principal para evitar interferência. Essa exigência se aplica especialmente aos dispositivos fixos, móveis e pessoais/portáteis Modo II. A localização deve ser determinada com incerteza associada e nível de confiança de 95%, utilizando como referência o sistema *North American Datum of 1983* (NAD 83).

Os dispositivos fixos devem determinar suas coordenadas e a altura da antena no momento da instalação ou ativação inicial. Esses dados devem ser armazenados internamente e enviados ao banco de dados. Caso o dispositivo seja deslocado ou sua localização armazenada seja alterada, ele deve determinar novamente sua posição, atualizar o registro no banco e obter nova lista de canais disponíveis.

Os dispositivos pessoais/portáteis Modo II devem determinar sua localização antes da operação inicial e sempre que forem ligados. Durante a operação, devem verificar sua localização pelo menos a cada 60 s, exceto em modo de espera. Se o dispositivo se deslocar mais de 100 m em relação à posição usada na última consulta ao banco de dados, deve realizar nova consulta. Ele também pode obter listas de canais válidas para múltiplas localidades próximas, formando uma área geográfica de operação; caso saia dessa área, deve consultar novamente o banco.

Os dispositivos pessoais/portáteis Modo I só podem transmitir após receber uma lista de canais disponíveis de um dispositivo fixo ou Modo II. O dispositivo que fornece essa lista deve verificar o FCC ID do Modo I e confirmar que ele é válido. Além disso, o Modo I deve receber um sinal de verificação de contato ou revalidar a disponibilidade de canal pelo menos a cada

60 s. Se não receber esse sinal ou não conseguir restabelecer a lista de canais, deve cessar imediatamente a operação.

A FCC também exige que os dispositivos sejam capazes de exibir ao usuário a lista de canais disponíveis e os canais em operação. Dispositivos fixos devem transmitir sinal de identificação com informações suficientes para distinguir o equipamento e suas coordenadas geográficas.

2.3.7 Reverificação do Banco de Dados e Comportamento em Falhas

A disponibilidade de canais não é considerada permanente. Por isso, a FCC exige reverificação periódica junto ao banco de dados. Para dispositivos móveis, fixos e Modo II operando na banda de televisão, o banco deve ser consultado pelo menos a cada 60 min para confirmar os canais e potências disponíveis no local. Se o dispositivo não conseguir contato com o banco, pode continuar operando por até 120 min após o último contato bem-sucedido. Depois desse período, deve cessar a operação até restabelecer a comunicação.

Para dispositivos fixos e Modo II operando fora das bandas de televisão, a consulta ao banco deve ocorrer diariamente. Se houver falha, eles podem operar até o final do dia seguinte, mas depois devem cessar a operação até restabelecer contato. Para dispositivos *narrowband* em bandas de televisão, a consulta ao banco deve ocorrer a cada 24 h, e a operação deve ser interrompida caso não haja renovação dentro desse período.

A norma também permite o uso de notificações *push*, nas quais informações atualizadas de disponibilidade de canal são enviadas do banco de dados para os dispositivos. Entretanto, esse mecanismo é opcional e não elimina a obrigação de reverificação periódica nem as regras de cessação em caso de perda de autorização.

Para dispositivos móveis, a FCC exige operação apenas dentro de áreas *geo-fenced*. O dispositivo deve armazenar os limites da área autorizada, monitorar sua posição e cessar operação se chegar a menos de 1,9 km do limite ou se sair da área. A operação em aeronaves e satélites é proibida.

2.3.8 Proteção contra Interferência

Dispositivos fixos, móveis e pessoais/portáteis devem respeitar distâncias mínimas de separação em relação aos contornos protegidos de serviços primários. Essas distâncias variam conforme o tipo de dispositivo, a potência de operação, a altura da antena e a relação co-canal ou canal adjacente.

Para dispositivos pessoais/portáteis Modo II em operação co-canal, a distância mínima em relação ao contorno protegido é de 1,3 km para 16 dBm e 1,7 km para 20 dBm. Quando a comunicação envolve dispositivos Modo I, essas distâncias aumentam para 2,6 km e 3,4 km, respectivamente. Para dispositivos fixos, as distâncias são calculadas com base na EIRP e no HAAT, podendo variar de poucos quilômetros até dezenas de quilômetros em cenários de maior potência e maior altura de antena.

A norma também estabelece separações para operação em canal adjacente. Para dispositivos pessoais/portáteis de 20 dBm, as distâncias são de 0,1 km quando comunicando com dispositivo Modo II ou fixo e 0,2 km quando comunicando com Modo I. Para dispositivos fixos, as distâncias de canal adjacente dependem da potência e do HAAT.

Além da radiodifusão de TV, a FCC protege outros serviços e instalações.

2.3.9 Banco de Dados

O banco de dados de *white space* tem como função fornecer aos dispositivos fixos, móveis e Modo II a lista de canais disponíveis em sua localização, incluindo os limites de potência aplicáveis. Essa lista é calculada com base nos requisitos de proteção contra interferência, nas informações de localização fornecidas pelo dispositivo e nos registros de serviços protegidos.

Na inicialização, dispositivos fixos, móveis e Modo II devem fornecer ao banco de dados suas informações de identificação e localização. Esses dispositivos não podem transmitir antes de receber a lista de canais disponíveis. Dispositivos fixos também devem realizar registro específico antes da primeira operação ou após mudança de localização, incluindo FCC ID, número de série, coordenadas geográficas, altura da antena, nome do responsável, informações de contato e demais dados exigidos.

Dispositivos Modo II e móveis devem informar ao banco o FCC ID, número de série e, conforme o caso, suas coordenadas ou os limites da área *geo-fenced*. Usuários de microfones sem fio não licenciados também podem registrar informações no banco, como nome, contato e coordenadas do local de uso, para obter proteção temporária.

A FCC permite que administradores de banco de dados cobrem taxas pela provisão das listas de canais disponíveis. Essas taxas podem se aplicar a dispositivos fixos, móveis, pessoais/portáteis e usuários de microfones sem fio. A Comissão pode revisar essas taxas e exigir alterações se forem consideradas excessivas.

2.3.10 Administrador do Banco de Dados

O administrador do banco de dados possui responsabilidades técnicas e operacionais rigorosas. Ele deve manter as informações exigidas pela FCC, sincronizar dados oficiais pelo menos uma vez por semana, registrar dispositivos fixos, registrar instalações protegidas não presentes nas bases principais, fornecer listas precisas de canais disponíveis e estabelecer protocolos seguros de comunicação entre dispositivos e banco de dados.

Quando houver múltiplos bancos de dados, os administradores devem cooperar para padronizar processos e manter consistência entre os registros. Informações sobre instalações protegidas devem ser compartilhadas diariamente ou com maior frequência, e registros de microfones sem fio não licenciados devem ser compartilhados entre bancos em até 10 min após o registro.

O administrador também deve permitir que a FCC bloqueie a disponibilidade de canais para dispositivos ou modelos específicos, quando necessário. Além disso, registros de dispositivos fixos que não consultem o banco por pelo menos três meses devem ser removidos. Caso o administrador encerre sua atuação, deve transferir o banco de dados, incluindo URLs, endereços IP e registros, para outra entidade designada.

2.3.11 Segurança e Interoperabilidade

A FCC exige medidas de segurança tanto nos dispositivos quanto nos bancos de dados. Os administradores dos bancos devem implementar protocolos que protejam os dados contra acesso, modificação ou inserção não autorizada. Também devem verificar a validade dos FCC IDs submetidos pelos dispositivos, usando fontes confiáveis da própria FCC. Quando existirem múltiplos bancos, a consistência entre eles é essencial, pois listas divergentes poderiam permitir operação indevida e risco de interferência.

2.3.12 Dispositivos baseados apenas em sensoriamento espectral

A FCC prevê uma categoria especial de dispositivos *white space* que operam apenas com sensoriamento espectral, sem geolocalização e sem consulta ao banco de dados.

Para certificação, o fabricante deve demonstrar com alto grau de confiança que o dispositivo não causará interferência prejudicial aos serviços primários. A aplicação deve incluir uma explicação completa dos mecanismos de proteção e uma unidade pré-produção do equipamento. A FCC pode publicar a aplicação para comentários, realizar testes laboratoriais e de campo e emitir relatório público antes da aprovação.

Esses dispositivos devem atender aos requisitos aplicáveis a dispositivos pessoais/portáteis, mas possuem limite máximo de EIRP de 50 mW por 6 MHz. Eles são dispensados dos requisitos de geolocalização e acesso ao banco, mas devem cumprir limites rigorosos de detecção. Para sinais digitais *Advanced Television Systems Committee* (ATSC), o limiar de detecção é de -114 dBm em 6 MHz. Para sinais analógicos *National Television System Committee* (NTSC), o limiar também é de -114 dBm, medido em 100 kHz. Para sinais auxiliares de baixa potência, incluindo microfones sem fio, o limiar é de -107 dBm em 200 kHz.

Antes de iniciar operação em um canal, o dispositivo deve verificar por pelo menos 30 s se não há sinais acima dos limiares definidos. Durante a operação, deve monitorar o canal pelo menos a cada 60 s. Se detectar a presença de sinal autorizado no canal em uso, deve cessar todas as transmissões em até 2 s.

2.4 Estudo da Norma ICASA

A regulamentação da ICASA estabelece as condições técnicas e operacionais para o uso de TVWS na África do Sul. A norma permite a operação de WSDs na faixa de 470 MHz a 694 MHz, com exclusão da subfaixa de 606 MHz a 614 MHz, reservada para radioastronomia. Além disso, a operação de sistemas TVWS é proibida nas *Karoo Astronomy Advantage Areas* (KAAA), regiões protegidas devido à presença de instalações de radioastronomia de alta sensibilidade.

O objetivo principal da norma é permitir o uso secundário e dinâmico do espectro de televisão, garantindo a proteção dos serviços primários. Para isso, a ICASA adota um modelo baseado em geolocalização, banco de dados, homologação de equipamentos, limites de potência, controle de emissões e atualização periódica dos parâmetros operacionais.

2.4.1 Classificação dos Dispositivos

A ICASA classifica os WSDs conforme o modo de instalação e o papel funcional na rede. Quanto ao modo de instalação, os dispositivos podem ser fixos ou nômades. Os dispositivos fixos operam em uma localização geográfica específica e podem utilizar antenas integradas, dedicadas ou externas. Já os dispositivos nômades podem ser deslocados pelo usuário, mas operam apenas dentro de áreas geográficas autorizadas, utilizando antenas integradas ou dedicadas.

Quanto ao papel funcional, a norma diferencia dispositivos *Master* e *Client*. O WSD *Master* é o único autorizado a se comunicar diretamente com o *Geo-locations Spectrum Database* (GLSD) secundário. Ele deve possuir geolocalização, acesso à Internet, solicitar os parâmetros operacionais ao banco de dados e repassar essas informações aos *Clients* associados. O WSD *Client* não acessa diretamente o banco de dados e só pode operar com os parâmetros fornecidos por um *Master*. Caso perca contato com o *Master* ou deixe de receber parâmetros válidos, deve cessar a transmissão.

Somente dispositivos homologados pela ICASA podem operar no sistema TVWS. Cada WSD deve possuir identificação única, atender aos requisitos técnicos definidos pela norma e informar que não pode causar interferência prejudicial aos serviços primários, devendo também aceitar interferências provenientes desses serviços.

2.4.2 Estrutura do Banco de Dados

Uma característica importante da norma da ICASA é a adoção de uma arquitetura de banco de dados em dois níveis. O primeiro nível é o GLSD de referência, mantido pela própria autoridade reguladora. Esse banco funciona como repositório oficial das informações sobre serviços primários, transmissores de televisão, potências, alturas de antena, modelos de propagação e critérios de proteção. Ele não se comunica diretamente com os dispositivos em campo, mas garante que todos os bancos operem com os mesmos dados regulatórios.

O segundo nível é formado pelos GLSDs secundários, operados por entidades designadas pela ICASA. Esses bancos interagem diretamente com os WSDs *Master*, recebem suas solicitações, avaliam localização e características técnicas, calculam os canais disponíveis e retornam os parâmetros operacionais autorizados. Para manter a consistência do sistema, os GLSDs secundários devem sincronizar-se com o GLSD de referência pelo menos uma vez por semana. Além disso, os GLSDs secundários devem trocar informações entre si sobre canais TVWS em uso a cada 12 horas e atualizar a lista de serviços primários protegidos a cada 24 horas.

A comunicação entre o WSD *Master* e o GLSD secundário deve utilizar o protocolo *Protocol to Access White-Space* (PAWS), definido pelo IETF RFC 7545. Ao solicitar autorização, o *Master* deve informar dados como número de série, identificação de homologação ICASA, latitude, longitude, altitude, incerteza de localização, classe de emissão e altura da antena. Com essas informações, o banco calcula os canais permitidos, os limites de potência e a validade da autorização.

2.4.3 Limites Técnicos e Operacionais

A ICASA estabelece valores máximos de EIRP de acordo com o tipo de dispositivo e o ambiente de operação. Em geral, os dispositivos fixos podem transmitir com maior potência, especialmente em áreas rurais, enquanto os dispositivos nômades ficam sujeitos a níveis mais baixos. A Tabela 10 apresenta esses valores de referência. No entanto, o GLSD secundário pode autorizar potências menores sempre que isso for necessário para proteger os serviços primários.

Tabela 10: Limites máximos de EIRP e densidade espectral definidos pela ICASA.

Localização	Tipo de WSD	EIRP por canal de 8 MHz	EIRP por 100 kHz
Rural	Fixo	41,2 dBm	22,2 dBm
Urbano	Fixo	36 dBm	17 dBm
Rural	Nômade	20 dBm	1 dBm
Urbano	Nômade	20 dBm	1 dBm

Para emissões em canais adjacentes, a ICASA adota os limites de ACLR definidos pela ETSI EN 301 598 [3], conforme apresentado na Tabela 11. Além disso, a potência fora do canal deve ser bem menor do que o sinal transmitido no canal principal. Essa diferença é definida pelo valor de ACLR da classe de emissão do dispositivo. No cálculo do nível máximo permitido fora

do canal, a norma utiliza -84 dBm/100 kHz como piso de referência, evitando exigir medições de emissões abaixo desse nível.

Tabela 11: Valores mínimos de ACLR adotados pela ICASA.

Classe	ACLR para $n = \pm 1$	ACLR para $n = \pm 2$	ACLR para $n \geq \pm 3$
1	74 dB	79 dB	84 dB
2	74 dB	74 dB	74 dB
3	64 dB	74 dB	84 dB
4	54 dB	64 dB	74 dB
5	43 dB	53 dB	64 dB

A altura máxima da antena também é limitada. Para WSD *Master* em área urbana, o limite é de 30 m *Above Ground Level* (AGL). Para WSD *Master* em área rural, o limite é de 80 m AGL. Sempre que um dispositivo for deslocado por 100 m ou mais, deve cessar a operação e obter novos parâmetros junto ao GLSD secundário.

2.4.4 Validade Operacional e Segurança

A norma define prazos para garantir que os dispositivos operem sempre com parâmetros atualizados. O WSD *Master* fixo deve consultar o GLSD secundário pelo menos a cada 24 horas, enquanto os WSDs nômades devem consultar o banco a cada 12 horas. Nenhum dispositivo pode operar por mais de 48 horas desde a última consulta válida ao banco de dados.

Após receber os parâmetros do GLSD, o *Master* deve repassá-los aos *Clients* associados em intervalo máximo de 60 segundos. Se um *Client* ficar 60 segundos sem receber sinal do *Master*, deve cessar a transmissão em até 10 segundos. Caso não consiga restabelecer a conexão em até 900 segundos, permanece bloqueado até receber novos parâmetros válidos.

Quando informações técnicas essenciais não forem fornecidas pelo WSD, o banco deve utilizar valores padrão conservadores, como altura padrão de antena e Classe 5 de emissão, para preservar a proteção dos serviços primários.

Próximo a fronteiras internacionais, o GLSD secundário deve aplicar critérios mais conservadores para evitar interferência em serviços de países vizinhos.

2.5 Estudo da Norma RSS-222 Issue 4

A norma *Radio Standards Specification RSS-222, Issue 4: White Space Devices*, publicada em novembro de 2024 pela *Innovation, Science and Economic Development Canada* (ISED) [8], estabelece os requisitos técnicos e operacionais para o uso de TVWS no Canadá.

A principal característica da RSS-222 é permitir a operação isenta de licença individual, mas sob controle dinâmico do espectro. Esse controle é feito por meio de um WSDB aprovado pela autoridade regulatória canadense. O banco de dados, em conjunto com a geolocalização dos dispositivos, determina quais canais podem ser utilizados e quais níveis de potência são permitidos em cada localização.

2.5.1 Escopo e Faixas de Frequência

A RSS-222 aplica-se a dispositivos que operam em faixas de VHF e UHF. Em VHF, são contempladas as faixas de 54–72 MHz, 76–88 MHz e 174–216 MHz. Em UHF, a norma permite operação nas faixas de 470–608 MHz e 657–663 MHz.

Algumas faixas possuem restrições específicas. O canal 37, correspondente à faixa de 608–614 MHz, é reservado para radioastronomia e equipamentos médicos de monitoração fisiológica, sendo proibido para operação de TVWS. O canal 36, na faixa de 602–608 MHz, só pode ser utilizado por dispositivos fixos Classe B, com potência limitada. Já a faixa de 657–663 MHz é reservada para dispositivos portáteis de baixa potência.

2.5.2 Tipos de Dispositivos

A RSS-222 classifica os WSDs em cinco categorias principais: fixos, móveis, portáteis Modo I, portáteis Modo II e *narrowband*.

Os dispositivos fixos operam em uma localização geográfica determinada e normalmente são utilizados para prover cobertura ampla e estável. Eles devem possuir capacidade de geolocalização, que pode ser interna ou externa, e conectividade com o WSDB. Antes de transmitir, devem consultar o banco, pelo menos uma vez a cada 24 horas, para obter a lista de canais disponíveis e os níveis máximos de potência permitidos.

Os dispositivos móveis operam dentro de uma área geográfica delimitada pelo WSDB. Eles devem possuir geolocalização interna e atualizar suas coordenadas a cada 60 s durante a operação ativa. Caso saiam da área autorizada ou percam a validade dos parâmetros recebidos, devem interromper a transmissão até obter nova autorização.

Os dispositivos portáteis são divididos em Modo I e Modo II. O portátil Modo I não possui geolocalização própria nem acesso direto ao WSDB; por isso, depende de um dispositivo fixo, móvel ou portátil Modo II para receber a lista de canais disponíveis. O portátil Modo II possui geolocalização interna e acesso ao banco de dados, podendo operar de forma autônoma e também repassar informações de canal a dispositivos Modo I.

Os dispositivos *narrowband* operam com largura de banda igual ou inferior a 100 kHz. Eles utilizam subcanais dentro da parte central de um canal de 6 MHz e possuem restrições adicionais de ocupação e potência. Esses dispositivos não podem operar nas faixas de 602–608 MHz e 657–663 MHz, permanecendo limitados aos canais abaixo de 602 MHz.

2.5.3 Classes de Emissão

A norma divide os dispositivos em Classe A e Classe B, de acordo com o controle das emissões fora do canal principal. A Classe A possui requisitos menos rigorosos e admite níveis mais elevados de emissão fora da faixa. A Classe B é mais restritiva, exigindo maior controle espectral, maior filtragem e melhor desempenho do transmissor.

Essa classificação permite ajustar o grau de exigência técnica ao tipo de aplicação. Entretanto, em faixas mais sensíveis, a norma impõe restrições adicionais. Um exemplo importante é o canal 36, que só pode ser utilizado por dispositivos Classe B, justamente por exigir maior controle sobre emissões indesejadas.

2.5.4 Limites de Potência e Densidade Espectral

A RSS-222 estabelece limites de EIRP, potência conduzida e PSD conforme a categoria do dispositivo. Para dispositivos fixos e móveis, os limites são definidos por canal de 6 MHz. Em

níveis mais altos de EIRP, como 40 dBm e 42 dBm, a potência conduzida permanece limitada a 30 dBm, indicando que o aumento de EIRP decorre do ganho da antena, e não do aumento da potência do transmissor. A Tabela 12 apresenta esses limites para WSDs fixos e móveis.

Tabela 12: Limites de potência e PSD para WSDs fixos e móveis definidos pela RSS-222.

Limite de EIRP do canal (dBm/6 MHz)	Limite de Potência Conduzida do canal* (dBm/6 MHz)	Limite de PSD Conduzida (dBm/100 kHz)
16	10	-7.4
20	14	-3.4
24	18	0.6
28	22	4.6
32	26	8.6
36	30	12.6
40	30	12.6
42	30	12.6

*Os valores de potência conduzida indicados são baseados em uma distribuição uniforme da densidade espectral de potência (PSD) ao longo de 5,5 MHz de largura de banda útil.

Para dispositivos portáteis, os valores são mais restritivos, pois esses equipamentos geralmente possuem antenas integradas e podem operar próximos a receptores sensíveis. A norma distingue o modo normal e o modo de baixa potência, este último aplicado a cenários mais sensíveis, conforme evidenciado na Tabela 13.

Tabela 13: Limites de potência e PSD para WSDs portáteis definidos pela RSS-222.

Parâmetro	Limite	Limite Baixa Potência*
EIRP do canal (dBm/6 MHz)	20	16
Densidade Espectral (dBm/100 kHz)	2.6	-1.4

*Ao testar um WSD pessoal/portátil, o software de gerenciamento de rádio deve ser usado para aplicar o limite de baixa potência.

Os dispositivos *narrowband* ajustam seus níveis de emissão a partir do valor de EIRP definido pelo WSDB para um canal de 6 MHz, convertido para uma largura de 100 kHz, conforme ilustrado na Tabela 14. Caso o ganho direcional da antena exceda 6 dBi, a potência conduzida e a PSD devem ser reduzidas proporcionalmente ao ganho excedente.

Tabela 14: Limites de potência e PSD para WSDs *narrowband* definidos pela RSS-222.

Nível de Potência EIRP estabelecido pelo WSDB (dBm/6 MHz)	Limite EIRP do WSD <i>narrowband</i> (dBm/100 kHz)	Limite de PSD Conduzida do WSD <i>narrowband</i> (dBm/100 kHz)
16	-1.4	-7.4
20	2.6	-3.4
24	6.6	0.6
28	10.6	4.6
32	14.6	8.6
36	18.6	12.6

2.5.5 Limites de Emissões Fora do Canal

Além dos limites de potência no canal principal, a RSS-222 define requisitos para emissões nas bordas do canal e em canais adjacentes.

Para dispositivos fixos e móveis, a norma define limites de potência conduzida nas bordas de banda e nos canais adjacentes, considerando as Classes A e B, conforme Tabela 15.

Tabela 15: Limites de emissões fora do canal para WSDs fixos e móveis definidos pela RSS-222.

Limite de EIRP do canal (dBm/6 MHz)	Limite de Potência Conduzida da borda de banda e do canal adjacente do WSD Classe A (dBm/100 kHz)	Limite de Potência Conduzida da borda de banda e do canal adjacente do WSD Classe B (dBm/100 kHz)
16	-42.8	-62.8
20	-38.8	-58.8
24	-34.8	-54.8
28	-30.8	-50.8
32	-26.8	-46.8
36	-22.8	-42.8
40	-22.8	-42.8
42	-22.8	-42.8

Para dispositivos portáteis, os limites de emissão fora da faixa são os mesmos para a borda de banda e para o canal adjacente, conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16: Limites de emissões fora do canal para WSDs portáteis definidos pela RSS-222.

Parâmetro	Limite Normal (dBm/100 kHz)	Limite Baixa Potência (dBm/100 kHz)
Borda de banda	-52.8	-56.8
Canal adjacente	-52.8	-56.8

Para dispositivos *narrowband*, os limites de emissão fora da faixa aplicam-se às emissões que ultrapassam as bordas do canal de 6 MHz. A norma considera que as emissões entre subcanais internos são controladas por gestão de potência e tempo de ocupação, enquanto as emissões externas são controladas por limites de potência conduzida nas bordas e canais adjacentes, conforme apresenta a Tabela 17.

2.5.6 Acesso ao Banco de Dados e Autorização de Operação

A operação dos WSDs depende de autorização emitida por um WSDB aprovado pela ISED. Antes de iniciar qualquer transmissão, o dispositivo deve fornecer ao banco informações como localização geográfica, identificação do equipamento e do fabricante, tipo de dispositivo, potência pretendida e características de antena. O WSDB responde com a lista de canais disponíveis e os valores máximos de potência e PSD aplicáveis à localização informada.

A norma também permite o uso de um dispositivo intermediário, denominado *network element device*. Esse elemento centraliza a comunicação com o WSDB e representa um ou mais

Tabela 17: Limites de missões fora do canal para WSDs *narrowband* definidos pela RSS-222.

Limite EIRP do WSD <i>narrowband</i> (dBm/100kHz)	Limite de Potência Conduzida nas bordas de banda ou canais adjacentes WSDs Classe A (dBm/100kHz)	Limite de Potência Conduzida nas bordas de banda ou canais adjacentes WSDs Classe B (dBm/100kHz)
-1.4	-42.8	-62.8
2.6	-38.8	-58.8
6.6	-34.8	-54.8
10.6	-30.8	-50.8
14.6	-26.8	-46.8
18.6	-22.8	-42.8

WSDs pertencentes à mesma rede. Mesmo nesse caso, as autorizações recebidas devem ser repassadas aos dispositivos associados, que só podem operar nos canais e níveis permitidos.

A autorização concedida pelo WSDb pode ter validade de até 48 horas. Entretanto, os dispositivos com acesso direto ao banco, como fixos, móveis e portáteis Modo II, devem realizar nova consulta pelo menos a cada 24 horas.

2.5.7 Atualização de Localização, Falhas e Segurança

Para dispositivos móveis e portáteis Modo II, a RSS-222 exige atualização da localização a cada 60 s durante a operação ativa. Caso o dispositivo se desloque para fora da área autorizada, ele deve obter nova autorização antes de continuar transmitindo.

Se o dispositivo não conseguir se conectar ao WSDb no momento da inicialização, ele não pode iniciar transmissões. Caso a conexão com o banco seja perdida durante a operação, o dispositivo só pode continuar transmitindo enquanto a autorização anterior ainda estiver válida, respeitando o limite máximo de 48 horas desde a última atualização. Após esse período, a transmissão deve ser interrompida até que o contato com o banco seja restabelecido.

Quando não houver conexão direta à Internet, um WSD pode encaminhar sua solicitação por meio de outro dispositivo autorizado que possua conectividade ativa. Após obter nova autorização, deve operar apenas nos canais atribuídos a ele. Em caso de perda de energia, desligamento ou reinicialização, o dispositivo não pode retomar a transmissão automaticamente; antes disso, deve restabelecer contato com o WSDb, confirmar sua localização e verificar se os canais anteriormente autorizados continuam válidos.

A norma exige mecanismos automáticos de segurança para interromper transmissões em situações que possam comprometer a conformidade regulatória, como perda de comunicação com o banco, expiração da autorização, deslocamento para fora da área permitida ou falha na atualização de localização. Além disso, o acesso do usuário final a parâmetros críticos, como potência, ganho de antena, tipo de dispositivo e lista de canais, deve ser restrito.

2.5.8 Relatório de Teste

A RSS-222 exige que cada WSD seja submetido a testes formais para comprovar conformidade com os requisitos técnicos e operacionais da norma. O relatório de teste deve identificar o tipo de dispositivo avaliado, como fixo, móvel, portátil Modo I, portátil Modo II ou *narrowband*, e indicar o WSDb utilizado durante os ensaios.

O relatório também deve descrever o processo de comunicação entre o dispositivo e o banco

de dados, as medidas de segurança adotadas, a configuração de ensaio, a metodologia aplicada e os resultados que demonstram atendimento aos limites definidos pela norma. Esses relatórios servem como evidência técnica para homologação e auditoria pela autoridade regulatória canadense.

2.6 Estudo da Norma IDA

A regulamentação da IDA estabelece o quadro técnico e operacional para o uso de dispositivos de TVWS em Singapura.

A abordagem adotada pela IDA permite a operação de WSDs em regime isento de licença individual, desde que os dispositivos cumpram as especificações técnicas e operacionais definidas pela autoridade reguladora. Mesmo sem necessidade de licença individual para cada dispositivo, os equipamentos devem ser registrados no esquema *General Equipment Register* (GER), garantindo rastreabilidade e conformidade regulatória.

2.6.1 Quadro de Licenciamento e Faixas de Operação

A IDA permite a operação de WSDs em canais específicos das faixas de VHF e UHF. Entretanto, a disponibilidade desses canais não é fixa e depende da coordenação realizada pelo banco de dados. Em especial, alguns canais podem ser bloqueados para proteger serviços existentes ou aguardar resultados de testes adicionais de interferência.

Na faixa de VHF, são previstos canais em 181–188 MHz e 209–223 MHz. Na faixa de UHF, são previstos canais entre 502 MHz e 806 MHz, distribuídos em diferentes blocos. A norma também destaca que a faixa de 700 MHz, entre 694 MHz e 806 MHz, seria posteriormente destinada a serviços *International Mobile Telecommunications* (IMT), deixando de estar disponível para operações TVWS. Antes dessa realocação, a IDA indicou a remoção dos canais 49 a 62 do uso TVWS, com notificação prévia à indústria.

Os canais 25 e 26 devem ser bloqueados pelo banco de dados até a conclusão de testes adicionais sobre interferência em canal adjacente. Além disso, os canais 25 e 47 são destinados a operações de microfones sem fio isentos de licença, conforme a especificação técnica para *Short Range Device* (SRD). Por esse motivo, o canal 47 também deve ser bloqueado para operações TVWS.

A norma também prevê a existência de *High Priority Channel* (HPC). Esses canais funcionam como recursos prioritários e só devem ser ativados quando não houver canais TVWS comuns disponíveis na localização do WSD. A alocação dos HPCs é gerenciada pelo banco de dados, e o método de atribuição pode ser definido comercialmente pelos provedores. No entanto, esse método deve ser informado à IDA e deve ser transparente. A oferta de HPCs não é obrigatória, provedores que não desejarem utilizá-los devem bloqueá-los em seus bancos de dados.

2.6.2 Categorias de Dispositivos WSD

A IDA define três categorias principais de WSD: WSD fixo, WSD Modo I portátil e WSD Modo II portátil. Essa classificação considera principalmente a capacidade de consultar o banco de dados, a presença ou ausência de geolocalização e o limite máximo de potência permitido.

O WSD fixo opera em uma localização geográfica fixa e deve possuir capacidade de consultar o banco de dados de geolocalização. A partir da lista de canais disponíveis fornecida pelo banco, o dispositivo seleciona seu canal de operação e pode transmitir com potência máxima de 4 W

EIRP. O WSD fixo também pode iniciar uma rede, enviando sinais de habilitação para outros WSDs clientes.

O WSD Modo I é um dispositivo portátil cujo modo de operação não exige capacidade própria de geolocalização nem acesso direto ao banco de dados. Sua operação depende da presença de um WSD fixo ou de um WSD Modo II na mesma rede. Por isso, ele só pode transmitir após receber informações de canais disponíveis de um dispositivo mestre. Sua potência máxima é limitada a 100 mW EIRP.

O WSD Modo II também é portátil, mas possui geolocalização incorporada e capacidade de consultar diretamente o banco de dados. Ele pode selecionar seu canal de operação com base na lista recebida do banco e também pode atuar como dispositivo mestre para WSDs Modo I. Assim como o Modo I, sua potência máxima é limitada a 100 mW EIRP. A IDA exige que toda rede TVWS tenha pelo menos um WSD fixo ou um WSD Modo II ativo.

A potência de transmissão é considerada como a potência total medida na largura de banda de emissão inteira, ou seja, 7 MHz para canais VHF e 8 MHz para canais UHF. Quando houver múltiplas antenas ou elementos radiantes, a potência deve ser agregada em todos eles.

2.6.3 Requisitos de Antena, Emissões e Identificação

Para dispositivos pessoais ou portáteis, a IDA exige que as antenas transmissoras e receptoras sejam permanentemente fixadas ao equipamento. A altura da antena deve ser informada ao banco de dados, pois esse parâmetro é usado no cálculo dos limites de operação e na avaliação de coexistência com serviços protegidos.

A norma também estabelece limites para emissões fora de banda. Para WSDs operando em canais adjacentes a canais de radiodifusão local, o limite de emissão fora de banda é de $-56,8$ dBm EIRP. As medições devem ser realizadas com largura de banda de resolução mínima de 100 kHz e detector de valor médio. Quando for necessário usar largura de banda menor próximo à borda do canal, a energia medida deve ser integrada para representar a potência total em 100 kHz.

Cada WSD deve possuir um identificador único, usado para rastreamento e verificação pelo banco de dados. A IDA permite que esse identificador siga normas reconhecidas e práticas internacionais, como identificadores baseados em ETSI, *Telecommunication Standards Advisory Committee* (TSAC) ou FCC. O banco de dados deve ser flexível o suficiente para aceitar diferentes formatos de identificação.

2.6.4 Acesso ao Banco de Dados

Antes de acessar um banco de dados, o WSD deve verificar se esse banco é autorizado pela IDA. A lista de bancos autorizados deve ser publicada pela própria autoridade reguladora.

O WSD fixo deve consultar o banco antes de transmitir, informando sua localização geográfica e demais dados necessários. Sua operação só é permitida nos canais e níveis de potência indicados pelo banco e apenas durante o período de validade especificado. A localização do WSD fixo deve ser determinada com precisão de ± 50 m, podendo ser obtida por geolocalização incorporada ou inserção manual. Se o dispositivo não conseguir contato com um banco autorizado, deve cessar a transmissão. Ele também deve consultar novamente o banco ao ser ativado após desligamento, ao mudar de localização ou quando expirar o período de validade do canal.

O WSD Modo II segue lógica semelhante, mas com exigência de geolocalização incorporada. Antes de transmitir, ele deve consultar o banco para obter os canais disponíveis e os limites de potência em sua localização, também com precisão de ± 50 m. O Modo II deve consultar

novamente o banco quando for ativado após desligamento, quando se deslocar mais de 100 m da localização original ou quando expirar a validade do canal. Ele também pode solicitar informações para múltiplas localizações próximas, formando uma área geográfica onde os mesmos canais sejam válidos. Caso saia dessa área, deve consultar novamente o banco.

O WSD Modo I não acessa diretamente o banco de dados. Ele depende de um dispositivo mestre, que pode ser um WSD fixo ou um WSD Modo II, para receber informações de canais disponíveis e níveis de potência. Para continuar operando, o Modo I deve receber, pelo menos a cada 60 s, um sinal de verificação de contato do dispositivo mestre ou restabelecer a lista de canais disponíveis. Se não receber esse sinal ou não conseguir revalidar os canais, deve cessar imediatamente a transmissão.

2.6.5 Validade do Canal, Segurança e Atualização

A IDA estabelece que os WSDs devem consultar o banco de dados, no mínimo, a cada 6 horas para obter informações atualizadas sobre disponibilidade de canais e níveis de potência. Esse período de validade deve ser configurável, permitindo que a autoridade reguladora altere o intervalo conforme necessário.

A norma também exige mecanismos de segurança para proteger as comunicações entre WSDs e bancos de dados autorizados. Essas comunicações não devem ser corrompidas, interceptadas ou modificadas por partes não autorizadas. Além disso, as informações de potência e canal recebidas do banco não devem ser alteradas manualmente pelo usuário.

As mesmas exigências de segurança se aplicam à comunicação entre WSDs Modo I e seus dispositivos mestres. Os sinais de verificação de contato devem ser codificados com criptografia de modo a proteger a identidade do dispositivo transmissor.

A IDA também permite, de forma opcional, a implementação de sistemas de notificação *push*, nos quais o banco envia aos WSDs informações atualizadas sobre canais e potências. No entanto, esse mecanismo não elimina a obrigação de validar novamente o canal de operação após o fim do período de validade.

2.6.6 Coexistência com Serviços Protegidos

Todos os WSDs devem evitar interferência em serviços que operam na faixa TVWS, incluindo microfones sem fio licenciados, serviços de rádio móvel privado e serviços de radiodifusão.

Para coexistência co-canal, o WSD deve informar ao banco sua localização e altura de antena. Com esses dados, o banco calcula a distância entre o WSD e os receptores dos serviços protegidos e estima a perda de percurso usando o modelo de propagação Hata. O objetivo é garantir que o sinal do WSD que chega ao receptor protegido esteja no nível de ruído de -115 dBm. A partir desse cálculo, o banco define a potência máxima permitida em cada canal.

A mesma lógica é aplicada à coexistência transfronteiriça. O modelo Hata também é usado para garantir que o nível de sinal que atinge as fronteiras permaneça em torno de -115 dBm, evitando interferência em serviços de radiocomunicação de países vizinhos.

A norma também reserva canais para microfones sem fio isentos de licença. Os canais 25 e 47 são definidos como canais de proteção para esses dispositivos e, portanto, não devem ser usados para TVWS. Caso usuários de microfones sem fio precisem operar em outros canais, devem obter aprovação da IDA e registrar a operação em um banco de dados autorizado, recebendo proteção temporária no local e período aprovados.

2.6.7 Operação e Registro dos Bancos de Dados

O banco de dados de geolocalização tem a função de determinar e fornecer aos WSDs, mediante solicitação, os canais disponíveis e os níveis máximos de potência permitidos em sua localização. Para isso, deve considerar os requisitos de coexistência, as informações de serviços licenciados e os dados enviados pelos dispositivos.

Os bancos autorizados devem consultar a lista de serviços licenciados da IDA pelo menos a cada 6 horas, a fim de manter atualizadas as informações sobre serviços que devem ser protegidos. Esse período também deve ser configurável pela autoridade reguladora.

Os bancos devem possuir mecanismos de segurança contra inserção ou alteração não autorizada de dados. Também devem estabelecer procedimentos de autenticação que permitam aos WSDs fixos e Modo II verificar que as informações recebidas vêm de fonte autorizada.

A norma define requisitos de registro para os dispositivos. WSDs fixos devem registrar-se no banco quando forem ativados ou após mudança de localização, informando identificador único, coordenadas geográficas, altura da antena, dados do responsável e informações de contato. WSDs Modo II devem fornecer identificador único e coordenadas com precisão de ± 50 m. Já WSDs Modo I devem fornecer seu identificador único por meio de um dispositivo mestre. O banco deve manter registros de WSDs Modo II e Modo I por pelo menos 6 meses.

2.6.8 Licenciamento dos Provedores de Banco de Dados

Entidades interessadas em operar um serviço de banco de dados de geolocalização para TVWS devem solicitar uma licença *Service-Based Operator* (SBO) (Individual) à IDA. Nos dois primeiros anos de implementação, a IDA prevê isenção da taxa anual dessa licença, podendo reavaliar essa condição posteriormente.

A norma não estabelece um número máximo de provedores de banco de dados. Entretanto, os interessados devem apresentar à IDA sua visão de implantação de TVWS, seus planos de negócio e seus procedimentos de continuidade operacional. O provedor licenciado deve estabelecer, manter e operar o banco de dados de geolocalização, fornecendo canais disponíveis e limites de potência aos WSDs. Também deve manter uma plataforma de registro e repositório de informações dos dispositivos e usuários.

As condições de licença determinam ainda que os serviços de banco de dados sejam hospedados em servidores localizados fisicamente em Singapura. O provedor também deve cumprir os requisitos de coexistência co-canal e transfronteiriça, proteger informações dos WSDs, garantir precisão dos dados, obter informações atualizadas sobre serviços protegidos, disponibilizar termos e preços transparentes e possuir plano de continuidade em caso de descontinuação das operações.

2.7 Estudo da Norma ANE

A regulamentação colombiana para sistemas de TVWS é definida pela ANE, principalmente por meio da Resolução nº 461/2017 para incluir o uso de espaços em branco de televisão na faixa de 470 MHz a 698 MHz.

A norma estabelece condições técnicas e operacionais para permitir o uso secundário do espectro ocioso, sem causar interferência prejudicial aos serviços já atribuídos. A ANE também prevê o monitoramento contínuo da eficácia dessas condições, podendo realizar ajustes futuros conforme a evolução do uso do espectro e a necessidade de proteção dos serviços existentes.

2.7.1 Escopo e Conceitos Gerais

A regulamentação colombiana aplica-se aos dispositivos de espaços em branco que operam na faixa de 470 MHz a 698 MHz. Esses espaços em branco correspondem a frequências não atribuídas em uma determinada área geográfica, que podem ser utilizadas desde que não causem interferência aos serviços primários ou secundários existentes.

A norma diferencia serviço primário e serviço secundário conforme o Quadro Nacional de Atribuição de Bandas de Frequência. O serviço primário possui prioridade de proteção, enquanto o uso de TVWS ocorre de forma oportunista e subordinada. Assim, os dispositivos de espaços em branco só podem operar quando houver canais disponíveis e quando as condições de coexistência forem respeitadas.

A regulamentação define o dispositivo de espaços em branco como um equipamento com geolocalização que utiliza canais disponíveis mediante consulta a uma base de dados. Essa base é denominada *Base de Datos de Espacios en Blanco* (BDEB), sendo administrada pela ANE. A BDEB calcula e informa os canais disponíveis considerando a localização do dispositivo, as atribuições existentes e as regras de coexistência.

2.7.2 Classificação dos Dispositivos

A norma colombiana organiza os dispositivos em dois papéis principais: dispositivo mestre e dispositivo escravo. O dispositivo mestre possui conexão à Internet e é responsável por solicitar diretamente à BDEB a lista de canais disponíveis para uma localização específica. Ele também pode solicitar canais para os dispositivos escravos associados.

O dispositivo escravo opera de forma dependente. Ele não consulta diretamente a BDEB, mas recebe sua autorização por meio de um dispositivo mestre.

2.7.3 Condições Técnicas Gerais

Diferentemente de normas que permitem dispositivos móveis ou portáteis, a regulamentação colombiana permite apenas operação em locais fixos, nas modalidades ponto a ponto ou ponto a multiponto. Portanto, dispositivos portáteis ou móveis são proibidos.

Os dispositivos devem operar apenas nos segmentos da faixa de 470 MHz a 698 MHz autorizados pela ANE. A potência entregue à antena deve respeitar densidade espectral máxima de 12,6 dBm em qualquer segmento de 100 kHz. O ganho da antena não pode exceder 14 dBd, e as emissões indesejadas não devem superar -42,8 dBm em qualquer segmento de 100 kHz.

A norma também exige controle automático de potência, de modo que o dispositivo transmita apenas com a potência mínima necessária para manter a comunicação. Quanto à instalação, a antena não pode exceder 50 m acima do nível do terreno, e o ponto de instalação deve estar situado a menos de 800 m acima da altura média do terreno. Essa altura média é calculada considerando as elevações em uma área entre 1,5 km e 16 km ao redor do ponto de instalação.

Além desses limites, a ANE pode definir zonas nas quais a operação é proibida para evitar interferências. Também pode determinar canais que não podem ser utilizados em nível nacional, com o objetivo de proteger serviços em faixas adjacentes. Essas zonas e listas de canais podem ser alteradas pela ANE sem aviso prévio. A disponibilidade de espectro, portanto, não é garantida de forma permanente.

Caso um dispositivo cause interferência prejudicial, a ANE pode ordenar a cessação imediata

da transmissão até que medidas de mitigação sejam apresentadas e aprovadas. O descumprimento dessas medidas pode resultar em sanções.

2.7.4 Operação com Configuração Automática pela BDEB

Após a implementação da BDEB, a frequência de operação dos dispositivos passa a ser definida automaticamente pela base de dados. Nessa condição, os dispositivos devem conectar-se exclusivamente à BDEB designada pela ANE e utilizar apenas os canais informados na lista mais recente.

A norma exige geolocalização automática com precisão de ± 50 m. Os dispositivos podem utilizar mais de um canal da lista fornecida pela BDEB, desde que todos estejam autorizados. Os dispositivos escravos podem usar o canal do mestre apenas para a primeira solicitação; depois disso, devem operar em seus próprios canais autorizados.

O dispositivo mestre não pode operar quando a lista de canais estiver vazia, quando houver erro na resposta, quando houver sinal de cessação ou quando a BDEB não responder. Já os dispositivos escravos devem interromper a transmissão se perderem comunicação com o mestre ou se não houver canais comuns disponíveis.

Os dispositivos mestres devem realizar pelo menos uma solicitação de lista de canais a cada 24 horas. A comunicação com a BDEB deve ser segura, e cada solicitação deve incluir dados de contato do responsável, como número de série, coordenadas, nome, documento, endereço, e-mail e telefone. Essas informações são usadas para rastreabilidade e resolução de eventuais interferências. Além disso, os dispositivos devem informar à BDEB os canais de operação utilizados por mestres e escravos.

2.7.5 Configuração Manual e Procedimento Provisório

Enquanto a BDEB não estiver em operação, a norma permite uma configuração manual dos dispositivos. Nesse caso, a frequência de cada equipamento pode ser configurada manualmente, mas somente com as frequências disponibilizadas pela ANE conforme procedimento específico.

Durante esse período provisório, o responsável pelo dispositivo deve enviar uma solicitação por e-mail à ANE, informando dados pessoais e técnicos, como fabricante, modelo, coordenadas, município e número de canais solicitados. A ANE deve responder em até dez dias úteis, validando ou rejeitando o pedido. A ausência de resposta implica rejeição.

Se os dados enviados estiverem incompletos, a ANE pode solicitar esclarecimentos, que devem ser respondidos em até três dias úteis. Caso isso não ocorra, a solicitação é desconsiderada. Após aprovação, a ANE informa a disponibilidade de canais e o período de validade correspondente.

Para manter a autorização de uso, o responsável pelo equipamento deve pedir uma nova lista de canais antes que a autorização vigente expire. Essa nova solicitação também deve ser feita quando houver alteração nas frequências atribuídas ou nas informações técnicas e cadastrais previamente enviadas. Caso o dispositivo opere em canais cuja autorização já venceu, essa operação passa a ser considerada irregular e pode gerar as penalidades previstas pela regulamentação.

3 Análise Comparativa

A análise das regulamentações internacionais de TVWS mostra que, apesar das diferenças entre países e regiões, existe uma convergência técnica importante. Todas as normas avaliadas buscam permitir o uso secundário de canais de televisão disponíveis, mas sempre condicionando essa operação à proteção dos serviços primários e licenciados.

De forma geral, podem ser identificadas duas grandes abordagens regulatórias. A primeira é o modelo europeu, representado principalmente pela ETSI, no qual o banco de dados tem papel fortemente dinâmico e define os parâmetros de operação conforme a localização, a disponibilidade espectral e as condições de coexistência. A segunda é o modelo norte-americano, representado pela FCC, no qual há maior uso de limites numéricos explícitos para potência, emissões, validade da autorização e prazos de reconsulta ao banco de dados.

As demais regulamentações analisadas se aproximam, em maior ou menor grau, desses dois modelos. A Ofcom utiliza a ETSI como base técnica, mas adota um limite máximo de potência alinhado ao modelo da FCC. A ICASA segue muitos critérios da ETSI, porém adiciona regras geográficas e temporais mais específicas. A RSS-222 canadense e a norma da IDA em Singapura se aproximam bastante da filosofia da FCC. Já a Colômbia adota uma abordagem mais conservadora, com operação exclusivamente fixa e restrições mais rígidas de mobilidade, altura e validade.

3.1 Elementos Comuns entre as Regulamentações

Apesar das diferenças de terminologia e de valores técnicos, as normas analisadas compartilham um conjunto de princípios estruturais. O primeiro deles é o uso de banco de dados geolocalizado. Em todas as regulamentações, os dispositivos precisam obter informações sobre canais disponíveis, limites de potência e condições de validade antes de transmitir. Isso impede que o dispositivo opere de forma totalmente autônoma e reduz o risco de interferência em serviços licenciados.

Outro ponto comum é a proteção explícita dos serviços primários. Todas as normas estabelecem algum conjunto de limites de potência, densidade espectral, emissões fora do canal, distâncias de separação ou critérios de coexistência. A forma de aplicar esses requisitos varia, mas o objetivo é o mesmo de garantir que o uso secundário do espectro não degrade a recepção de televisão ou outros serviços protegidos.

Também se observa diferenciação entre dispositivos fixos e dispositivos móveis, portáteis ou nômades. Em geral, dispositivos fixos podem operar com maior potência e condições mais estáveis, enquanto dispositivos móveis ou portáteis ficam sujeitos a limites mais restritivos, revalidação de localização e maior dependência de atualização pelo banco de dados. Além disso, todas as normas trabalham com autorização não permanente, dependendo do tempo de validade, da localização do dispositivo e das condições definidas pelo banco de dados. Por isso, quando esses parâmetros mudam ou expiram, o dispositivo deve reconsultar o sistema ou interromper a transmissão.

3.2 Equivalência Funcional das Categorias de Dispositivos

As regulamentações utilizam nomes diferentes para classificar os dispositivos, mas a lógica funcional é muito semelhante. Em todas elas, há uma separação entre dispositivos com autonomia para consultar diretamente o banco de dados e dispositivos dependentes, que só podem

operar com parâmetros repassados por outro equipamento.

Por exemplo, o que a ETSI chama de dispositivo primário é funcionalmente semelhante ao *Master* da Ofcom e da ICASA, ao Modo II da FCC e da RSS-222, e ao Mestre da Colômbia. Da mesma forma, dispositivos secundários, *Slaves*, *Clients*, Modo I e Escravos representam a categoria de dispositivos dependentes.

Essa comparação mostra que a arquitetura hierárquica é praticamente comum a todas as normas. As diferenças aparecem principalmente no nível de mobilidade permitido, nos limites de potência e na forma como cada dispositivo precisa atualizar sua autorização.

3.3 Comparação dos Limites de Potência

Os limites de potência mostram uma diferença clara entre as filosofias regulatórias. Na ETSI, a potência não é definida por um teto fixo universal. O banco de dados calcula os valores permitidos de EIRP e PSD conforme o local de operação, os serviços protegidos e as condições de coexistência. A Ofcom segue essa lógica de cálculo dinâmico, mas adiciona um teto máximo de 36 dBm em 8 MHz.

A FCC e a RSS-222 adotam limites mais prescritivos. Dispositivos fixos podem chegar a 36 dBm, ou 42 dBm em condições específicas, enquanto dispositivos pessoais ou portáteis normalmente ficam limitados a 20 dBm. A IDA segue uma lógica semelhante, com 4 W EIRP para WSDs fixos e 100 mW EIRP para WSDs portáteis. A ICASA diferencia áreas rurais e urbanas, permitindo maior potência para dispositivos fixos rurais. A Colômbia, por sua vez, utiliza um modelo mais conservador, com operação fixa e densidade espectral máxima de 12,6 dBm/100 kHz.

Em termos práticos, a ETSI oferece maior flexibilidade, pois permite que o banco de dados adapte a potência ao cenário local. Já a FCC, a RSS-222 e a IDA oferecem maior previsibilidade, pois estabelecem valores fixos de referência. A ICASA combina limites inspirados na ETSI com regras adicionais de localização, enquanto a Colômbia prioriza uma introdução mais controlada e conservadora da tecnologia.

3.4 Comparação dos Requisitos de Emissões Adjacentes

As normas também diferem na forma de controlar emissões em canais adjacentes. A ETSI utiliza o conceito de ACLR, que estabelece uma relação entre a potência transmitida no canal principal e o vazamento permitido fora do canal. Esse modelo é mais relativo e depende da classe de emissão do equipamento. A ICASA adota essencialmente os mesmos valores de ACLR da ETSI.

A FCC, a RSS-222 e a IDA seguem uma lógica mais prescritiva, baseada em limites absolutos de potência em dBm/100 kHz para emissões em canais adjacentes. Esse modelo simplifica a verificação de conformidade, pois estabelece valores diretos a serem medidos. A Colômbia também usa um limite absoluto, aplicando $-42,8$ dBm/100 kHz como referência para emissões indesejadas.

Essa diferença é importante para fabricantes e operadores. Equipamentos destinados a múltiplos mercados precisam atender tanto a requisitos relativos, como o ACLR, quanto a limites absolutos de emissão. Portanto, a interoperabilidade regulatória exige margem técnica suficiente para cumprir diferentes filosofias de medição.

3.5 Limites Temporais, Geográficos e Operacionais

Outro ponto de comparação relevante está nos prazos de revalidação, atualização de localização e validade das autorizações. A ETSI e a Ofcom deixam muitos desses parâmetros sob controle do banco de dados, permitindo maior adaptação ao cenário local. Já a FCC define prazos claros, como verificação de localização a cada 60 s para dispositivos móveis ou Modo II e reconsulta ao banco a cada 60 minutos para determinadas categorias. A RSS-222 também exige atualização de localização a cada 60 s para dispositivos móveis e reconsulta ao banco pelo menos a cada 24 horas.

A ICASA define reconsulta de 24 horas para dispositivos fixos e 12 horas para nômades, com operação máxima de 48 horas desde a última consulta válida. A IDA exige reconsulta mínima a cada 6 horas, com período configurável pelo banco. A Colômbia estabelece reconsulta a cada 24 horas e, por adotar apenas operação fixa, reduz a complexidade associada à mobilidade.

Além dos limites temporais, as normas também impõem restrições geográficas e operacionais. A ETSI, a Ofcom, a RSS-222 e a IDA trabalham com áreas de validade definidas pelo banco de dados. A FCC usa áreas *geo-fenced* para dispositivos móveis e exige revalidação em caso de deslocamento relevante. A ICASA exige nova autorização ao deslocar mais de 100 m e limita a altura de antena em 30 m para áreas urbanas e 80 m para áreas rurais. A Colômbia é a mais restritiva, pois permite apenas operação fixa, limita a antena a 50 m acima do terreno e impõe restrições de altitude e zonas proibidas.

3.6 Síntese das Abordagens Regulatórias

A comparação mostra que as diferenças entre as normas não estão apenas nos valores de potência ou nas tabelas de emissão. O ponto mais importante é o grau de liberdade operacional que cada regulamentação concede ao sistema TVWS.

A ETSI representa o modelo mais adaptativo, no qual o banco de dados possui papel central na definição de potência, área e validade temporal. Esse modelo permite maior flexibilidade, mas exige bancos de dados mais sofisticados e dispositivos capazes de seguir parâmetros dinâmicos. A Ofcom mantém essa lógica, mas adiciona um teto de potência para aumentar a previsibilidade regulatória.

A FCC representa o modelo mais prescritivo, com limites numéricos claros e regras operacionais detalhadas. Esse modelo facilita certificação e fiscalização, mas pode reduzir a flexibilidade em cenários muito diferentes entre si. A RSS-222 e a IDA seguem essa filosofia em grande parte, adaptando os limites às suas realidades nacionais.

A ICASA atua como modelo intermediário, combinando elementos da ETSI, como classes de emissão e ACLR, com regras mais rígidas de altura, ambiente rural/urbano e validade operacional. A Colômbia representa o modelo mais conservador, com operação exclusivamente fixa e maior controle administrativo.

Para a construção de uma regulamentação brasileira, essa comparação indica que é necessário equilibrar a flexibilidade do controle por banco de dados com regras técnicas objetivas, capazes de facilitar a certificação, a fiscalização e a implantação dos sistemas.

4 Conclusão

Este relatório teve como objetivo analisar e comparar normas internacionais aplicáveis a sistemas de TVWS, buscando identificar requisitos técnicos e regulatórios que possam contribuir para uma futura regulamentação brasileira.

A partir do estudo das normas da ETSI, Ofcom, FCC, ICASA, RSS-222, IDA e ANE, foi possível observar que, apesar das diferenças entre os modelos adotados, existe convergência em torno do uso de bancos de dados geolocalizados, da proteção dos serviços primários, do controle de potência, da limitação de emissões e da necessidade de mecanismos de cessação da transmissão quando não houver autorização válida.

A análise comparativa mostrou que não há um modelo único que possa ser simplesmente reproduzido no Brasil. O modelo europeu oferece maior flexibilidade por meio do controle dinâmico pelo banco de dados, enquanto o modelo norte-americano apresenta regras mais prescritivas, com limites técnicos objetivos que facilitam certificação e fiscalização. As demais normas combinam esses elementos conforme suas necessidades nacionais.

Dessa forma, conclui-se que uma regulamentação brasileira de TVWS deve combinar boas práticas internacionais com as particularidades do cenário nacional. Para isso, recomenda-se considerar o uso obrigatório de banco de dados geolocalizado, limites claros de potência e emissões, diferenciação entre categorias de dispositivos, validade temporal e geográfica das autorizações e mecanismos automáticos de interrupção da transmissão. Esses elementos podem permitir o uso eficiente e seguro do espectro, contribuindo para ampliar a conectividade em áreas rurais e regiões com infraestrutura limitada.

Referências

- [1] J. van de Beek, J. Riihijarvi, A. Achtzehn, and P. Mahonen, “Tv white space in europe,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 178–188, 2012.
- [2] W. Zhang, J. Yang, G. Zhang, L. Yang, and C. Kiat Yeo, “Tv white space and its applications in future wireless networks and communications: a survey,” *IET Communications*, vol. 12, no. 20, pp. 2521–2532, 2018. [Online]. Available: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1049/iet-com.2018.5009>
- [3] “ETSI EN 301 598 V2.2.1 (2022-03): Tv white space devices; wireless access systems operating in the 470 mhz to 694 mhz tv broadcast band; harmonised standard for access to radio spectrum,” European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Sophia Antipolis, France, Tech. Rep., Mar. 2022, pDF.
- [4] “The wireless telegraphy (white space devices) (exemption) regulations 2015,” Statutory Instrument 2015 No. 2066, Dec. 2015, in force from 31 December 2015. [Online]. Available: <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/2066/contents/made>
- [5] “Ir 2096 — licence exempt white space devices operating in 470 mhz to 790 mhz band,” Ofcom, UK Interface Requirement IR 2096, Jan. 2016, amended Jan 2018. [Online]. Available: https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/spectrum/interface-requirements/ir_2096_white_space_devices.pdf
- [6] Office of Communications (Ofcom), “Implementing tv white spaces statement,” https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0018/101368/implementing-tv-white-spaces-statement.pdf, Ofcom, Tech. Rep., Feb. 2015, accessed July 15, 2025.
- [7] Federal Communications Commission – LII, “47 CFR Part 15 Subpart H — White Space Devices,” <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/part-15/subpart-H>, 2025, acesso em: 05 dez. 2025.
- [8] Innovation, Science and Economic Development Canada, “Radio Standards Specification RSS-222, issue 4: White Space Devices,” ISED Canada, Tech. Rep., Nov. 2024.
- [9] Independent Communications Authority of South Africa, “Regulations on the use of Television White Spaces, 2018,” Government Gazette No. 41512, Notice 147 of 2018, Mar. 2018, electronic Communications Act 2005.
- [10] Info-communications Development Authority of Singapore, “Decision Paper on Regulatory Framework for TV White Spaces,” Government Gazette, Promulgated 1 November 2014, Jun. 2014, consulta iniciada em 17 de junho de 2013.
- [11] Agencia Nacional del Espectro (ANE), “Resolución N° 000461 de 2017: Por la cual se modifica la Resolución 711 de 2016 para establecer las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco,” Agencia Nacional del Espectro (ANE), República de Colombia, Aug. 2017, publicado em 01 de agosto de 2017.