



UK Government

Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

Projeto TVWS NIC.br

Sumário executivo

27 de maio de 2025

1 Sumário

Os sistemas de TV White Spaces (TVWS) representam uma solução estratégica para a otimização do uso do espectro de frequências, permitindo a utilização eficiente de faixas que permanecem ociosas em grande parte do território nacional. Essas faixas, originalmente destinadas à radiodifusão de TV, podem ser reaproveitadas para viabilizar uma ampla gama de serviços, contribuindo para o cumprimento de seu papel social e econômico. O destaque estratégico das frequências de TVWS decorre de suas características físicas favoráveis à comunicação em longas distâncias, devido à menor atenuação em espaço livre quando comparadas a frequências mais elevadas. Entretanto, o uso compartilhado dessas faixas deve ser realizado de forma criteriosa e responsável, garantindo a prioridade e o funcionamento adequado dos usuários primários — os sistemas de TV — sem causar qualquer tipo de interferência prejudicial. Para assegurar essa convivência harmoniosa, torna-se imprescindível a definição de tecnologias e mecanismos regulatórios que balizem a operação dos sistemas secundários.

Nesse contexto, são considerados elementos fundamentais: a definição de limites técnicos para operação, a utilização de formas de onda com baixa emissão fora de faixa, o uso de bancos de dados de TVWS para coordenação dinâmica da ocupação dos canais por usuários secundários (resguardando os canais licenciados), além da aplicação de técnicas de sensoriamento espectral para aferir as condições reais e dinâmicas do espectro. Esses aspectos constituem os principais pilares técnicos para a viabilização segura e eficaz de serviços baseados em TVWS. Tais temas estão sendo amplamente abordados nos projetos conduzidos com o apoio do NIC.br, em parceria com o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e a Universidade Federal do Ceará (UFC), conforme será detalhado ao longo deste documento.

A evolução das redes de comunicação é impulsionada por demandas crescentes, especialmente relacionadas ao suporte a novas aplicações, à necessidade de maiores taxas de transmissão de dados e à conectividade de um número cada vez maior de usuários e dispositivos. Em países de dimensões continentais como o Brasil, essas necessidades são intensificadas pela carência de infraestrutura de comunicação em áreas remotas e rurais. Nesse cenário, os sistemas TVWS emergem como alternativas tecnológicas promissoras para levar conectividade a regiões não atendidas, promovendo inclusão digital e favorecendo o desenvolvimento socioeconômico local. A conectividade nessas regiões tem potencial transformador, permitindo avanços significativos em áreas como educação, saúde, segurança, agricultura e gestão pública. Aplicações como monitoramento remoto, cidades e fazendas inteligentes, e soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT) podem se tornar realidade a partir da implementação de redes baseadas em TVWS.

O Projeto TVWS do NIC.br desempenha um papel essencial ao fomentar e apoiar o desenvolvimento de soluções inovadoras nesse campo. Estruturado em três fases, o projeto tem contribuído para o entendimento das limitações

regulatórias e técnicas dos sistemas de TVWS, além de incentivar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação de novas soluções.

A seguir, apresenta-se um resumo dos principais objetivos e dos avanços alcançados em cada uma das fases do Projeto TVWS do NIC.br.

1.1 Fase 1

A fase 1 do projeto contemplou o estudo de normas internacionais de TVWS, a definição e execução de testes laboratoriais visando identificar limites para o compartilhamento de espectro e a convivência harmoniosa entre TV Digital e outros sistemas. Esta etapa do projeto permitiu identificar a relação de proteção ou PR (*Protection Ratio*) requerida para que o sistema de TV possa fazer uso compartilhado do espectro e operar sem impactos perceptíveis para o usuário ou telespectador do sistema de TV.

A Figura 1 (página 4) mostra na parte (a) uma foto do *set-up* laboratorial e em (b) curva de valor limite de PR versus SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) para que o sistema de TV possa operar mediante o compartilhamento de espectro com outros sistemas. Pode-se destacar que, dentre os sistemas avaliados como geradores de sinal interferente, a solução inovadora concebida e desenvolvida pelo Inatel, denominada de 5G-RANGE, foi aquela que apresentou menor valor de PR. Ou seja, o sistema 5G-RANGE mesmo operando com potência superior, causou menor impacto no sistema de TV em comparação com os outros sistemas como o 4G e 5G.

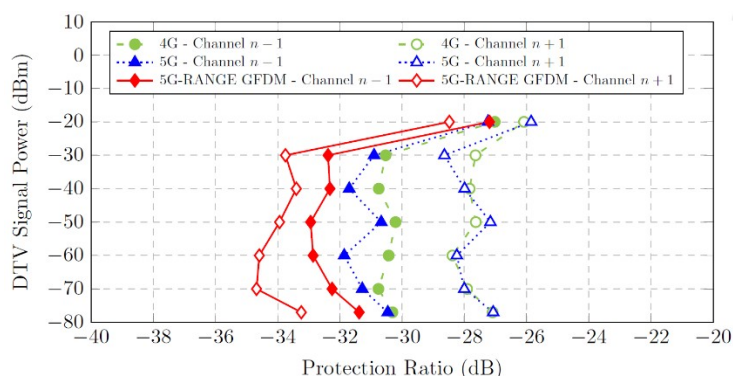
Isto se deve ao fato de o sistema utilizar uma forma de onda inovadora que é o GFDM (*Generalized Frequency Division Multiplexing*), que é mais eficiente e que apresenta uma menor emissão fora de faixa quando comparada com formas de ondas convencionais como o OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). Esta baixa emissão fora de faixa favorece a convivência e o compartilhamento do espectro entre diferentes sistemas e tecnologias. Vale destacar que alguns dos testes laboratoriais realizados foram sugeridos por membros da própria Anatel, que acompanharam a execução do projeto.

A fase 1 do projeto contemplou a realização de testes de campo para avaliar o impacto da restrição de potência atualmente imposta pela regulamentação para sistemas de TVWS que é o Anexo à Resolução nº 747, de 05 de novembro de 2021, da Anatel. A restrição atual define a potência máxima de 1 W de pico entregue à antena de transmissão. A partir de testes de campo, pode-se verificar que a cobertura do sistema 5G-RANGE caiu de 50 Km para 14 km, para uma dada vazão de comunicação de 100 Mbps. A primeira cobertura foi alcançada com a potência de transmissão de 12 W rms entregue à antena, enquanto a segunda cobertura refere-se ao sistema operando com 1 W de pico entregue à antena de transmissão ou 0,1 W rms, dada uma margem de 10 dB em função da relação de PAPR (*Peak to Average Power Ratio*).

Pode-se verificar a partir de testes práticos que, mesmo o sistema operando com potências superiores à definida pela resolução, testes com até 8 W de pico não causaram interferência no sistema de recepção de TV Digital. Apesar de a restrição de potência de 1 W de pico, ou 0,1 W rms, o sistema 5G-RANGE proporcionou cobertura máxima da ordem de 38 Km, se mostrando uma solução robusta e adequada para o atendimento às áreas remotas e rurais. Vale destacar que parte dos testes de campo foram acompanhados por membros da Anatel.



(a) Ambiente dos testes laboratoriais. canal adjacente (n+1;n-1).



(b) Relação de PR para interferência em

Figura 1: Ambiente de testes e PR limite para convivência entre TV Digital e outros sistemas.

A Figura 2 mostra uma visão do *set-ups* empregados para os testes de campo, sendo que a parte a) mostra o abrigo de instalação da estação rádio base e b) mostra o set-up da unidade móvel.



(a) Abrigo de instalação da ERB.



(b) Estação de realização de medidas móveis.

Figura 2: set-up para realização de testes de campo.

1.2 Fase 2

A fase 2 do projeto teve por objetivo atender à testes sugeridos pela Anatel, visando complementar a realização dos testes de campo. Estes testes consideram a transmissão e recepção de sinais em curtas distâncias, uma vez que, nos testes de campo, mesmo com potência muito acima da permitida pela legislação atual, não foi possível avaliar condições de operação próximas aos limites de convivência apontados pelos testes laboratoriais. Os resultados destes testes permitiram evidenciar que os sistemas de TVWS podem operar com maior potência que 1 W de pico, respeitando, entretanto, os valores de PR identificados nos testes laboratoriais, sem causar impactos nos sistemas de TV. A Figura 3 mostra uma visão dos *set-up* utilizados nos testes de curta distância.



Figura 3: *Set-up* para realização de testes de curta distância.

1.3 Fase 3

Ao longo da execução da fase 3 do projeto TVWS foram realizadas otimizações e desenvolvimento de novas funcionalidades da rede de acesso de TVWS inovadora do Inatel. Foi possível realizar a integração da rede de acesso, em desenvolvimento pelo Inatel, com a base de dados de TVWS desenvolvida pela UFC, a fim de que a rede de acesso obtenha a recomendação do canal sugerido para sua operação para a rede em uma dada localidade. Desta forma, a rede de acesso utiliza frequências livres, assegurando a não sobreposição de sinal com usuários primários. A recomendação de frequências é feita pela base de dados a partir dos canais licenciados pela Anatel e em função da estimativa de cobertura das estações de TV próximas à localidade em questão.

A Figura 3 ilustra na parte (a) a interface de comunicação da rede de acesso com a base de dados de TVWS e em (b) os novos protótipos da rede de acesso que foram montados para a realização de testes laboratoriais e otimizações complementares.

A rede de acesso em desenvolvimento pelo Inatel integra uma técnica de sensoriamento espectral que analisa continuamente o espectro e confirma se as frequências utilizadas pela rede de acesso continuam livres, assegurando que as condições práticas condizem com o esperado em termos de canais disponíveis. Em condições práticas, há a possibilidade de uso indevido do espectro em razão de transmissões piratas ou irregulares. Uma vez que a rede de acesso identifica uma suspeita de uso indevido do espectro, ou seja, uma frequência indicada pela base de dados como livre ou desocupada que encontra-se em uso em campo, há uma geração e envio de alerta pela rede de acesso que pode ser repassada à diferentes pessoas e entidades como, por exemplo, responsáveis pela base de dados, pela rede de acesso e até mesmo representantes da Anatel. Desta forma, tem-se uma ferramenta de apoio para a fiscalização do uso indevido do espectro. A Figura 4 mostra, na parte esquerda, a interface de configuração de e-mails para os quais deve ser enviada mensagem de alerta de suspeita de uso indevido do espectro, e à direita, o e-mail de alerta que foi enviado na identificação da suspeita.



(a) Interface de comunicação com base de dados de TVWS.
rede de acesso de TVWS.

(b) Novos protótipos da
rede de acesso de TVWS.

Figura 3: Otimizações da rede de acesso: integração com base de dados de TVWS e novos protótipos.

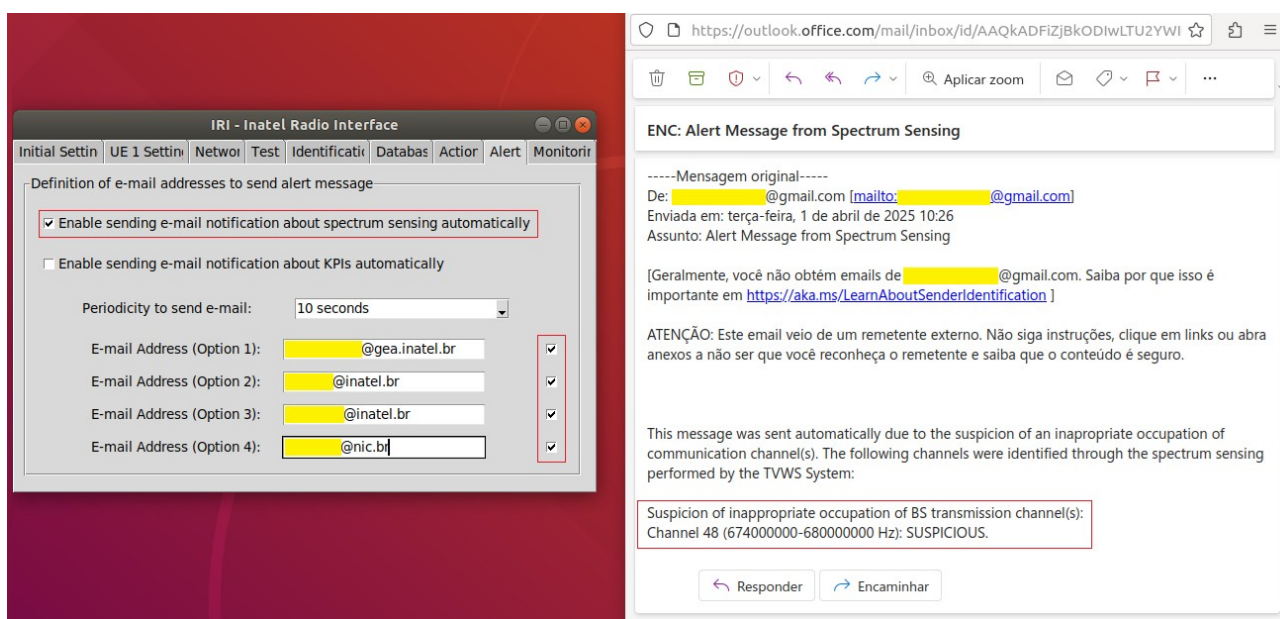


Figura 4: Interface de configuração do envio de alerta (esquerda) e e-mail de alerta (direita).

Durante a realização da fase 3 do projeto, foram realizadas pesquisas e desenvolvimentos envolvendo diferentes técnicas de sensoriamento espectral, necessárias para a análise dinâmica e contínua pela rede de acesso de TVWS da ocupação do espectro, a fim de assegurar a convivência harmoniosa e compartilhamento do espectro com o sistema de TV. A Figura 4 mostra um set-up utilizado na realização de avaliação de diferentes técnicas de sensoriamento espectral. A Figura mostra à direita um dispositivo autônomo que realiza o sensoriamento do espectro de maneira independente da rede de acesso e, ao centro, o gerador de sinal de TV Digital a ser sensoriado. O dispositivo em questão pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio para a análise e fiscalização dinâmica do espectro.



Figura 4: Set-up de avaliação de diferentes técnicas de sensoriamento espectral.

1.4 Análise de viabilidade técnica e financeira para implementação do sistema TVWS no Brasil

Durante a execução da fase 3 do projeto foi realizado um estudo sobre a viabilidade técnica e financeira para implementação de TVWS no Brasil. A seguir, está apresentado um breve resumo deste aprofundado estudo.

A tecnologia TV White Spaces (TVWS) utiliza espectros de frequência que anteriormente eram destinados às transmissões de televisão analógica e agora estão desocupados devido à digitalização desses serviços. Esses espaços, conhecidos como espaços em branco da televisão, permitem estabelecer conexões de Internet sem fio com capacidade de cobertura ampla e de longo alcance, exigindo uma infraestrutura reduzida em comparação às tecnologias convencionais. Essa característica torna o TVWS especialmente atraente para regiões rurais, comunidades isoladas e áreas geográficas que enfrentam limitações significativas em termos de infraestrutura tradicional de telecomunicações, como fibra óptica ou redes móveis celulares.

No contexto brasileiro, diversas regiões enfrentam desafios particulares que tornam a tecnologia TVWS especialmente relevante. A Amazônia Legal, por exemplo, devido a sua vasta extensão territorial e baixa densidade populacional, enfrenta barreiras significativas para a instalação de infraestrutura tradicional. Da mesma forma, regiões como o Pantanal, o interior do Maranhão, o Vale do Jequitinhonha e Mucuri, além da Zona da Mata e a Bacia do Araguaia, são áreas que poderiam ser substancialmente beneficiadas pela implantação desta tecnologia. Nestes locais, a implementação do TVWS permitiria melhorar o acesso a serviços essenciais como educação a distância, telemedicina, monitoramento ambiental e segurança pública, além de

impulsionar a economia local por meio da agricultura de precisão e do turismo sustentável.

Em termos técnicos e financeiros, a implementação da tecnologia TVWS envolve investimentos iniciais relativamente baixos quando comparados a outras tecnologias como fibra óptica ou redes móveis convencionais. Por exemplo, em um cenário típico com uma estação rádio base atendendo aproximadamente 120 usuários, o investimento inicial gira em torno de US\$ 218 mil, considerando despesas com infraestrutura básica, equipamentos de transmissão e instalação de torres. Os custos operacionais anuais associados incluem energia elétrica, manutenção preventiva e corretiva, treinamento da equipe técnica e acesso a bases de dados georreferenciadas para gerenciamento eficiente do espectro, totalizando aproximadamente US\$ 42 mil anuais. Quando a estrutura é expandida para duas estações, cobrindo um número maior de usuários, o investimento inicial atinge aproximadamente US\$ 396 mil, com custos operacionais anuais estimados em cerca de US\$ 69 mil.

Esses investimentos se mostram viáveis economicamente a partir de um certo nível de cobrança mensal aos usuários finais. Para o primeiro cenário, uma mensalidade em torno de US\$ 90 garante um retorno sobre investimento positivo em aproximadamente quatro anos. No cenário ampliado, com maior número de usuários, a mensalidade necessária para a viabilidade econômica cai para cerca de US\$ 80 por usuário. Isso sugere que a tecnologia TVWS pode representar um modelo de negócio sustentável e economicamente atrativo tanto para pequenas e médias empresas provedoras regionais quanto para projetos públicos de conectividade em áreas carentes.

O estudo realizado identificou os principais fabricantes internacionais de equipamentos compatíveis com a tecnologia TVWS, contemplando a análise dos parâmetros de operação das diferentes soluções, além da solução em desenvolvimento pelo Inatel, assim como o atendimento dos mesmos à regulamentação brasileira. Foram identificadas também as principais operadoras internacionais de banco de dados de TVWS, que são responsáveis por fornecer aos dispositivos as informações de radiofrequência disponíveis em uma determinada localidade e que desempenham um papel crucial na proteção contra interferências prejudiciais aos serviços de radiodifusão.

Ao comparar a tecnologia TVWS com alternativas como satélites, redes móveis e tecnologias IoT específicas como o LoRaWAN, destacam-se algumas vantagens claras. Em relação aos sistemas satelitais, especialmente os de baixa órbita terrestre (LEO), o TVWS apresenta latências inferiores e menor vulnerabilidade a fenômenos climáticos, como chuvas fortes. Comparado às redes celulares 4G e 5G, o TVWS oferece uma infraestrutura mais econômica e abrangência territorial mais extensa, sendo ideal para áreas com baixa densidade populacional, onde o investimento em novas torres celulares ou redes cabeadas seria proibitivo. Em contraste com a tecnologia LoRaWAN, amplamente utilizada em aplicações de baixo consumo e baixa taxa de transmissão, o TVWS permite aplicações mais exigentes em termos de largura

de banda, como streaming de vídeo, videoconferências e monitoramento em tempo real. Já o WiFi 7, embora extremamente eficiente em áreas urbanas densas, requer uma infraestrutura significativamente mais robusta, limitando seu uso a áreas mais restritas, diferente da abrangência mais ampla que o TVWS consegue atingir.

A adoção da tecnologia TVWS também tem a vantagem de coexistir com as mais modernas tecnologias de radiodifusão, como a TV 3.0, graças a sua capacidade de sensoriamento espectral combinada com a liberação do espectro através da base de dados georreferenciada. A baixa emissão de sinais fora da faixa de interesse das mais modernas técnicas de comunicação digital garante que haja harmonia no uso do espectro, sem interferências do sistema secundário no sistema primário, mesmo quando se emprega canais adjacentes. Desta forma, pode-se atingir elevada eficiência espectral na utilização dos canais de TV ociosos, oferecendo conectividade banda larga para diferentes aplicações e verticais nas áreas hoje desassistidas de conectividade.

Para maximizar o potencial da tecnologia TVWS no Brasil, torna-se fundamental o estabelecimento de um marco regulatório claro e detalhado. Além disso, é recomendável realizar testes pilotos em regiões estratégicas para avaliar o desempenho técnico e a aceitação econômica e social da tecnologia antes de sua implementação em larga escala. Parcerias público-privadas podem ser ferramentas valiosas para distribuir os custos de implantação e manutenção entre diferentes atores, promovendo simultaneamente o desenvolvimento econômico e a inclusão digital em regiões carentes. A criação de incentivos fiscais e linhas de financiamento dedicadas também pode estimular o interesse e facilitar a entrada de pequenos provedores regionais e startups tecnológicas nesse mercado promissor.

A tecnologia TVWS, portanto, apresenta uma oportunidade estratégica singular para o Brasil, oferecendo um meio eficaz e acessível para a expansão da conectividade em áreas historicamente desassistidas. Sua adoção pode resultar não apenas em ganhos imediatos em conectividade, mas também em benefícios socioeconômicos significativos a médio e longo prazo, consolidando-se como uma ferramenta essencial para a redução da exclusão digital e o desenvolvimento sustentável do país.

1.5 Fase 4

Graças aos avanços alcançados com a execução das fases anteriores do projeto, foi dado início em 2025 a fase 4 do projeto TVWS do NIC.br. A fase atualmente em execução contempla as seguintes atividades principais:

- Realização de testes de campo da rede de acesso de TVWS em desenvolvimento pelo Inatel no município de Quixadá-CE com o apoio da UFC. Os testes de campo serão estratégicos para a demonstração do impacto tecnológico e social que o TVWS pode causar em áreas

que não possuem uma adequada cobertura para conectividade.

- Aprimoramento da pilha de protocolos SDR para uma plataforma de hardware concebida para atender as demandas mercadológicas e operação em campo, com custo mais atrativo para a adoção em maior escala.
- Elaboração da documentação de apoio para a normatização da interface aérea do TVWS no Brasil. A Resolução 747 da Anatel estabelece as diretrizes fundamentais para a operação de redes baseadas em TVWS no país. No entanto, as normas necessárias para a homologação dos equipamentos ainda não estão disponíveis. As atividades previstas no projeto contemplam a elaboração de documentações técnicas necessárias, em relação a rede de acesso, para prover à Anatel os parâmetros para a homologação destes equipamentos no Brasil.
- Realização de um evento, denominado de TVWS Day para uma ampla discussão sobre a viabilidade e importância desta tecnologia para o cenário brasileiro. O objetivo principal é conscientizar os participantes sobre os impactos positivos que os sistemas de TVWS podem proporcionar aos diversos setores da sociedade, compartilhar os avanços alcançados na área, discutir sobre as aplicações e modos de utilização da tecnologia, visando a sua adoção em larga escala.

2 Conclusão

A realização do Projeto TVWS do NIC.br evidencia a importância de investimentos contínuos em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica voltados à ampliação do acesso à conectividade em regiões remotas e subatendidas do Brasil. Ao promover o uso eficiente do espectro e fomentar a exploração de faixas ociosas por meio de soluções baseadas em TV White Spaces, o projeto contribui de forma concreta para a inclusão digital e para o desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Ao longo de suas três fases, o projeto consolidou avanços técnicos e regulatórios significativos, apoiando a criação de soluções nacionais adaptadas às necessidades e particularidades do cenário brasileiro. A experiência acumulada, os conhecimentos gerados e as tecnologias desenvolvidas não apenas fortalecem a base científica e tecnológica do país, como também posicionam o Brasil de forma estratégica na definição de diretrizes futuras para o uso inteligente e compartilhado do espectro.

Dessa forma, o Projeto TVWS do NIC.br representa não apenas um marco na maturação de sistemas de TVWS em território nacional, mas também um ponto de partida promissor para novas iniciativas que visem expandir o acesso à conectividade de forma inclusiva, segura e eficiente. As soluções desenvolvidas e as lições aprendidas ao longo do projeto servirão de referência fundamental para a continuidade de ações voltadas à democratização da conectividade por meio do uso inovador e responsável do espectro de radiofrequências.