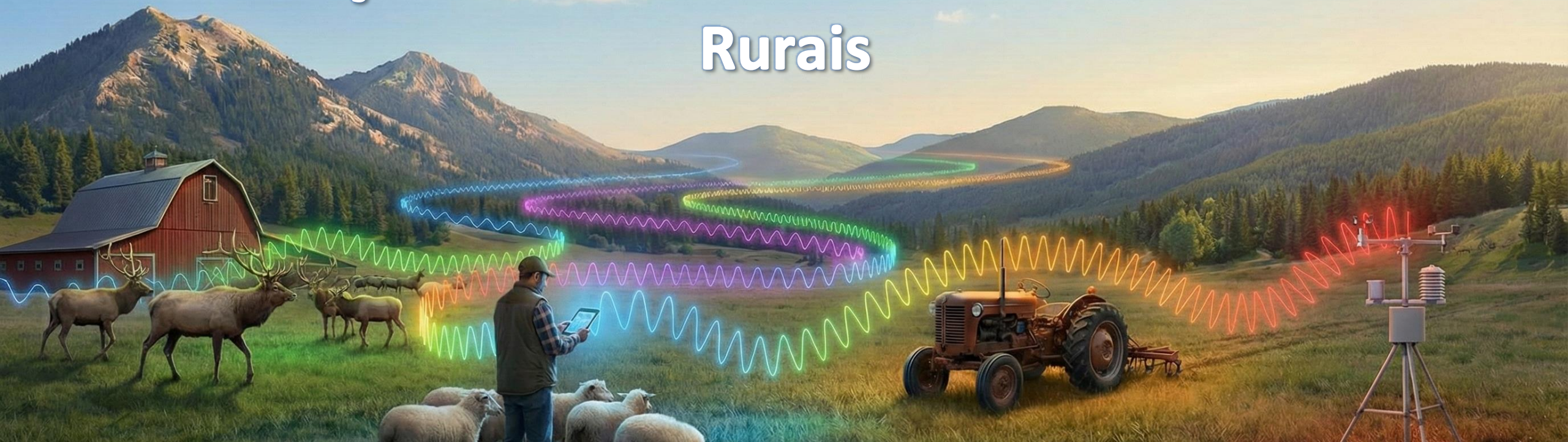


TV White Space

Como Solução de Conectividade em Áreas Remotas e Rurais





Objetivo

Prover conectividade de alta capacidade em áreas remotas e rurais, com baixo custo de implantação, promovendo a inclusão digital e a transformação digital de setores relevantes para a economia brasileira.

Potencial impacto no mundo

- 2 bilhões de pessoas desconectadas.
- 55% da população tem acesso 5G.
 - 84% em países desenvolvidos;
 - 4% em países de baixa renda
- 42% da população rural não tem acesso à Internet

Cenário para o Agro

- Menos de **70%** das propriedades rurais possuem acesso à Internet.
- **66%** da área disponível para uso agrícola no Brasil **NÃO** possui cobertura 4G ou 5G.
- **52%** dos imóveis rurais brasileiros **NÃO** têm cobertura em toda a sua área produtiva.
- **72%** da área irrigada **NÃO** possui cobertura.



Associação ConectarAGRO, "Indicador de Conectividade Rural no Brasil," *ConectarAGRO*, 2025. [Online]. Disponível em: ConectarAGRO.

A. G. da Silva Júnior et al., "Estudo da Conectividade na Irrigação," Universidade Federal de Viçosa e ConectarAGRO, Viçosa, MG, Relatório Técnico Versão 1.0, jun. 2025.

Impactos no Agro



Ineficiência operacional – tomadas de decisão sem dados reais levam a perdas e uso excessivo de insumos.



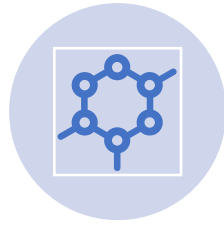
Logística ineficiente: perda e decisão de demanda.



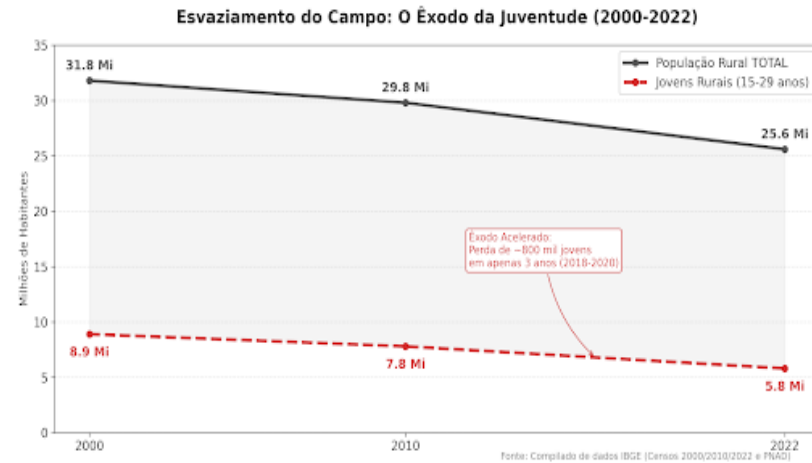
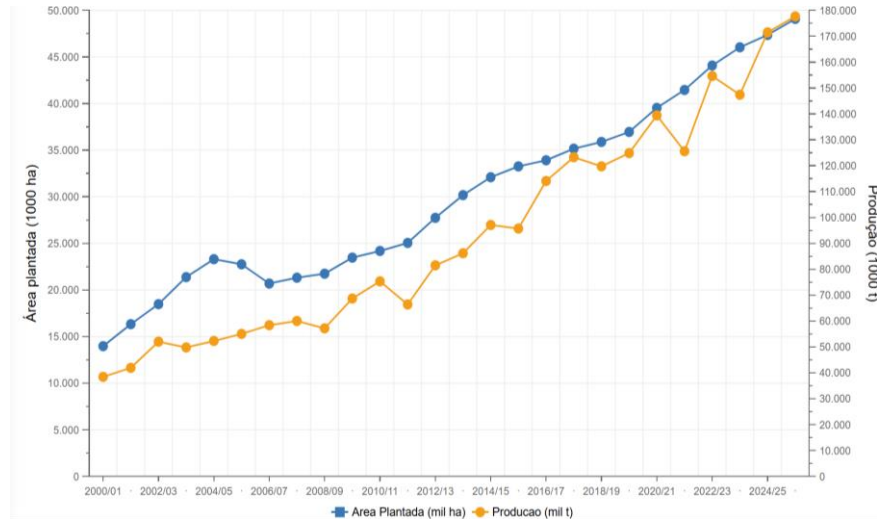
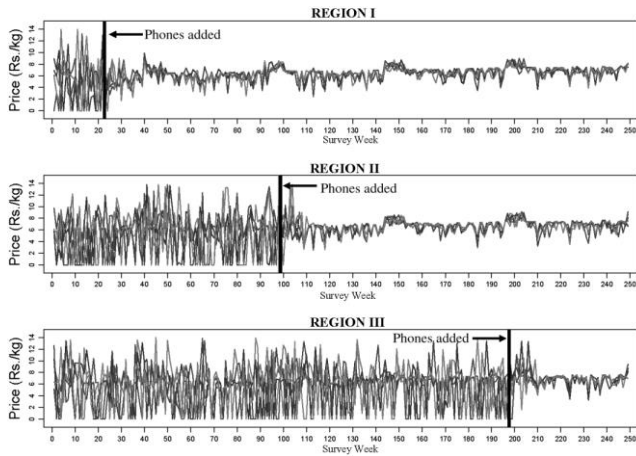
Menor retenção de jovens no campo e melhor oportunidades.



Aumento da produtividade atrelada ao aumento de área.



Automação do campo para manter competitividade.

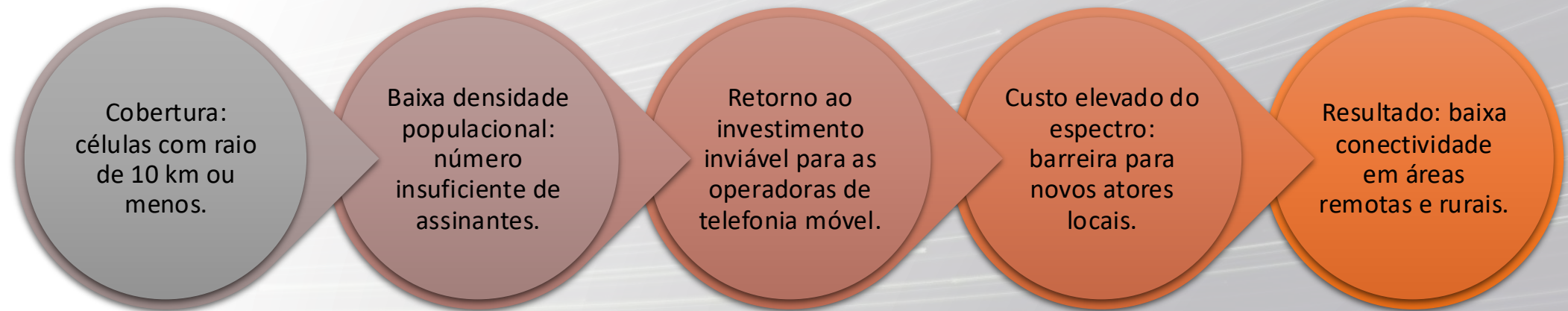


R. Jensen, "The digital provide: Information (technology), market performance, and welfare in the South Indian fisheries sector," The Quarterly Journal of Economics, vol. 122, no. 3, pp. 879–924, Aug. 2007.

CONAB, Portal de Informações Agropecuárias, Online. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Barreiras para as operadoras suprimirem as demandas de conectividade em áreas remotas e rurais



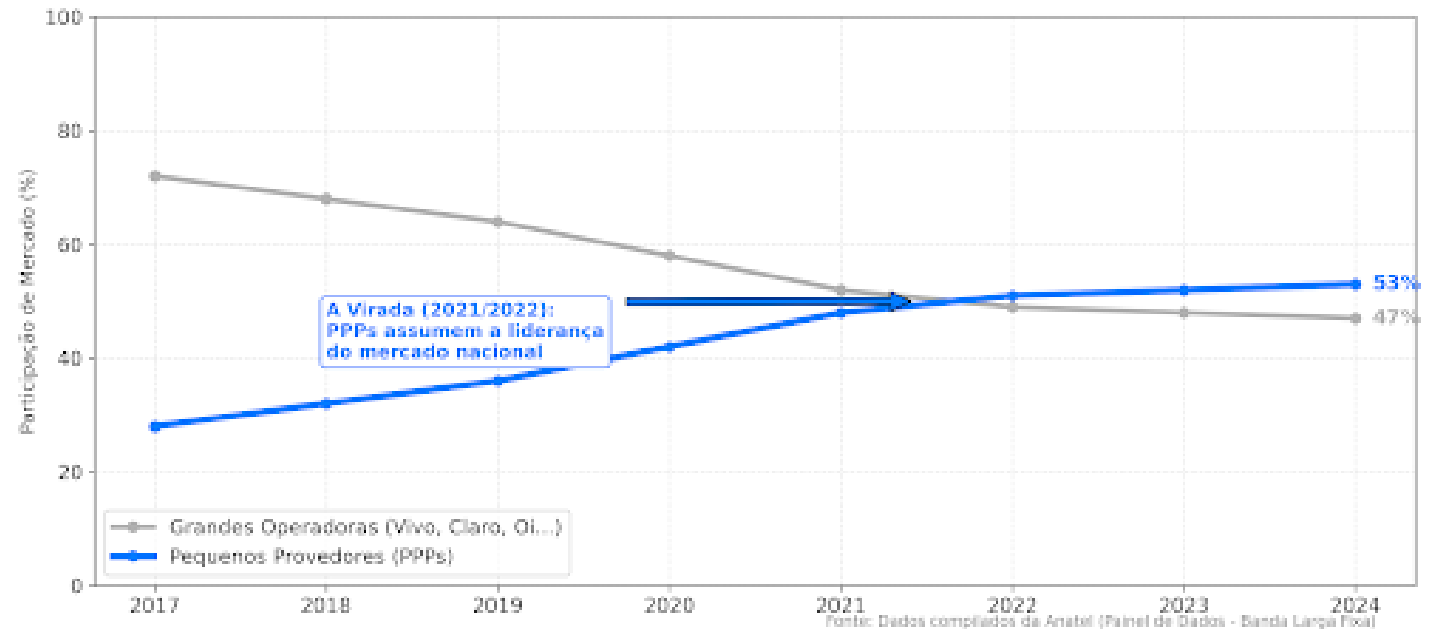
- 53% das rodovias NÃO tem cobertura 4G.
- 88% NÃO possuem cobertura 5G.

Fonte - Anatel

Provedores locais podem ser o diferencial para atender esta demanda

- Provedores de internet regionais impulsionaram a banda-larga.
- Em cidades com menos de 20.000 habitantes, os provedores locais detêm mais de 85% do mercado.
- Mas não conseguem fazer o mesmo nas áreas rurais por falta de acesso ao espectro.
- TVWS é a tecnologia mais adequada para dar este espaço para as ISPs.

Evolução do Market Share de Banda Larga Fixa no Brasil
(A Ascensão dos Provedores Locais)

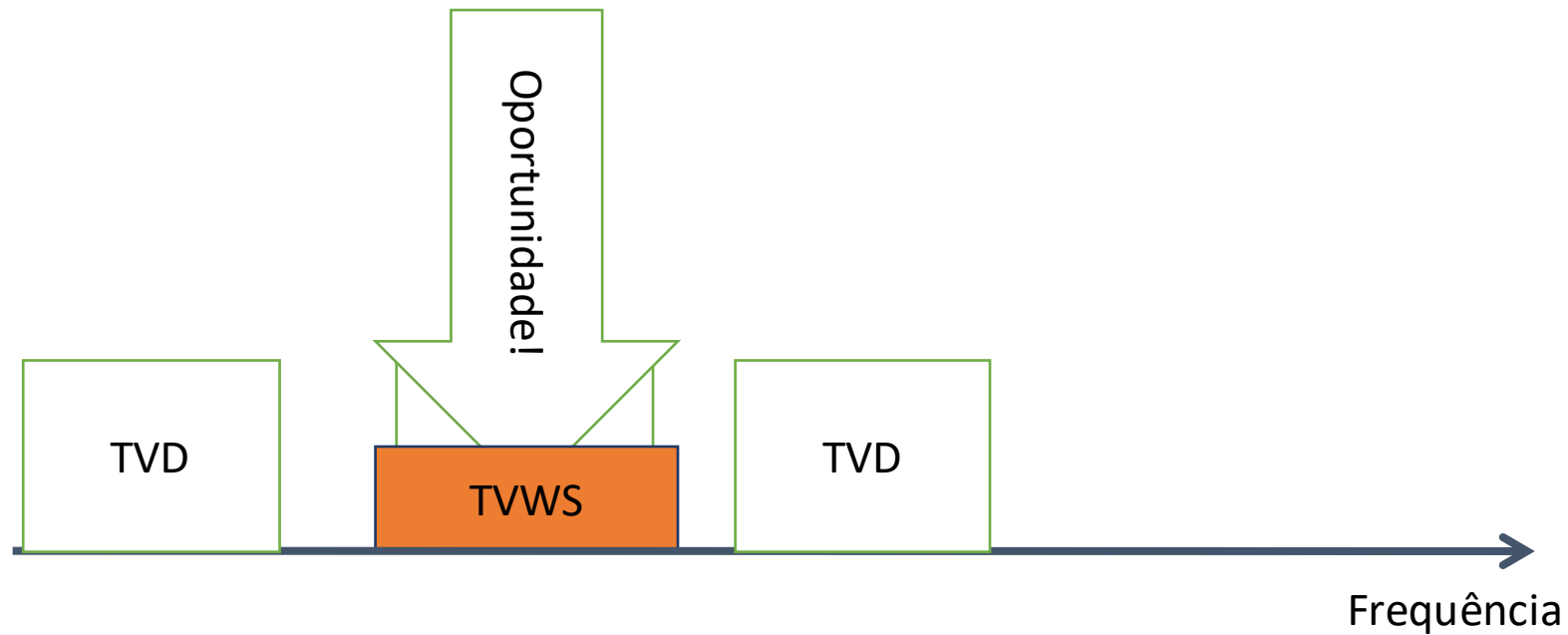


Teleco. Market Share de Banda Larga Fixa no Brasil. [Online]. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/blarga.asp>. [Acesso em: 5 Dez. 2025].

2. Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Painel de Dados de Acesso à Banda Larga Fixa. [Online]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiOWJkNTcxNTItMGJjZi00NzRhLWE2ZDMtODUxMTUyMjU5Y2QyYliwidCl6ImUyZjc3ZDAwLTAxNjMtNGNmNi05MmIwLTQ4NGJhZmY5ZGY3ZCJ9>. [Acesso em: 5 Dez. 2025].

3. Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). Relatório de Monitoramento da Competição. [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-divulga-relatorio-de-monitoramento-da-competicao>. [Acesso em: 5 Dez. 2025].

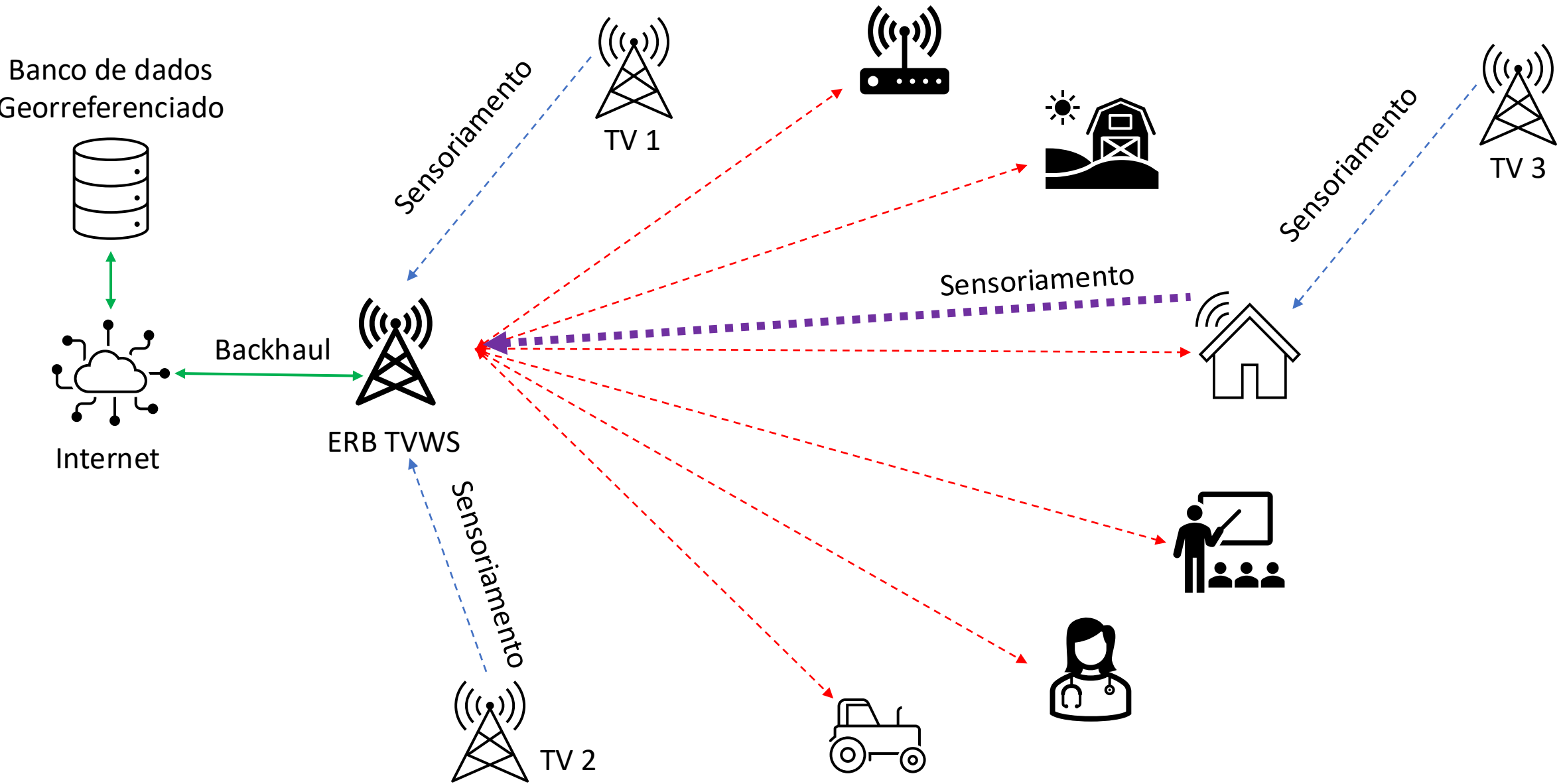
TVWS – Princípio



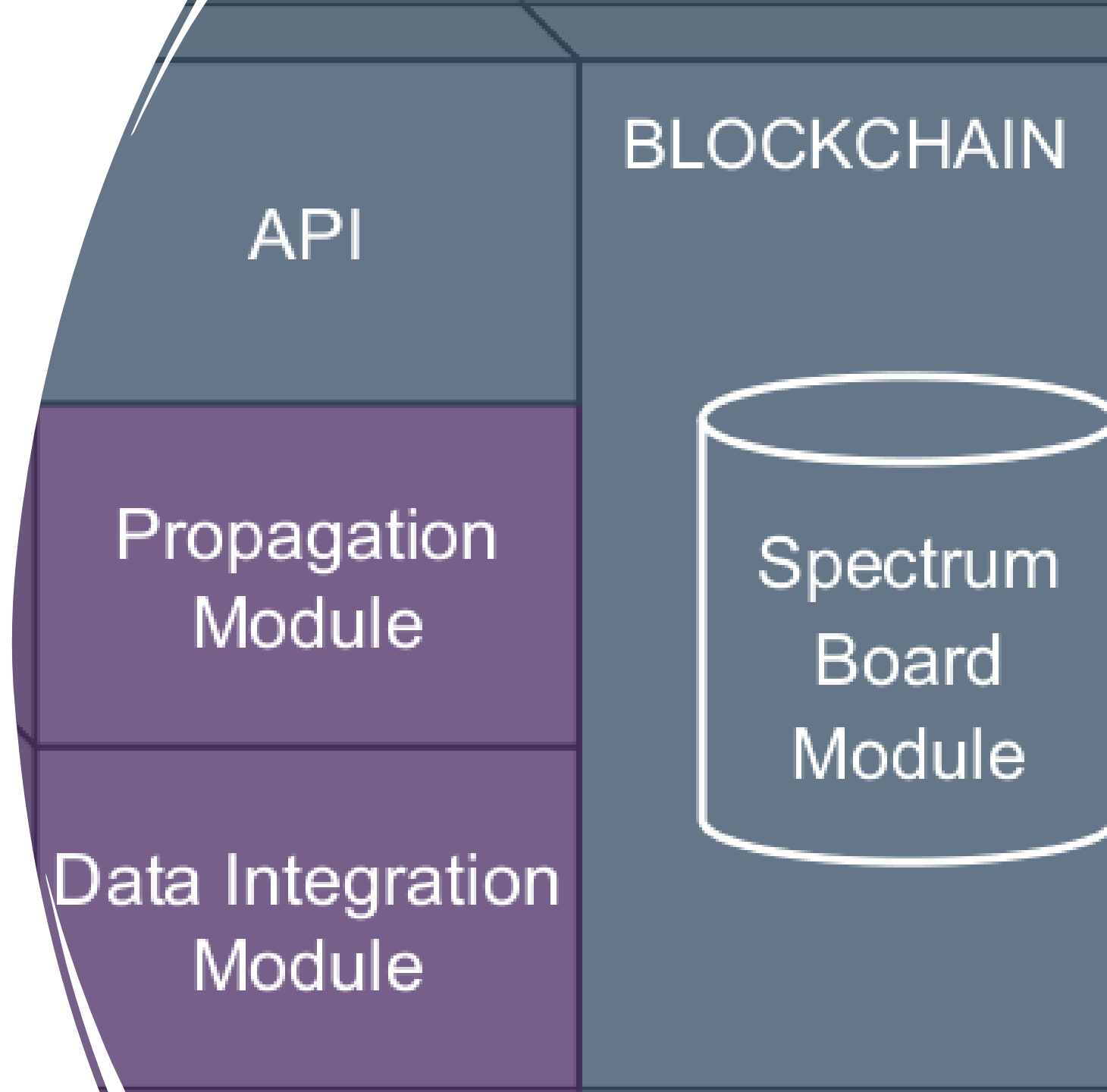
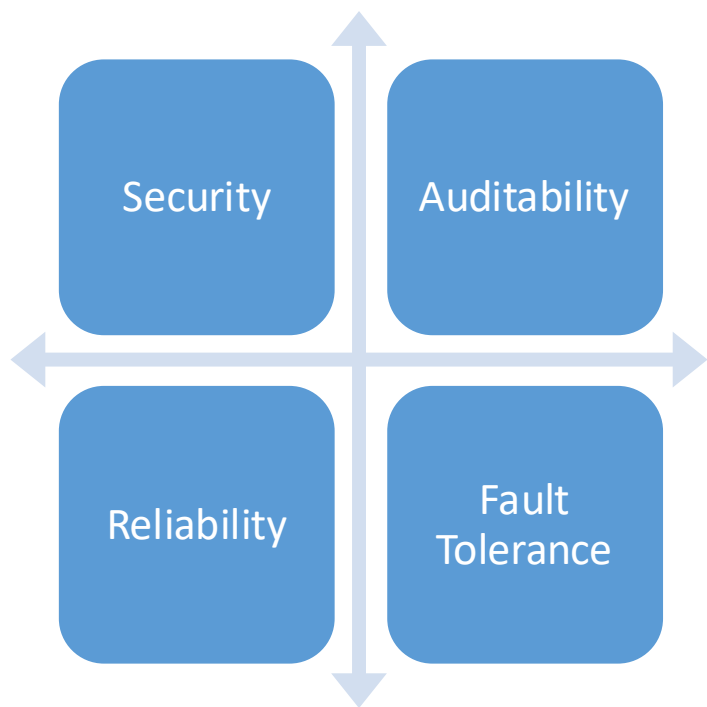
Características mandatórias para o sucesso desta tecnologia:

1. Plena coexistência com TVD – suportar a interferência sem causar interferência
2. Proteger o primário – base de dados precisa e sensoriamento espectral.
3. Ter agilidade espectral para liberar o espectro quando necessário.

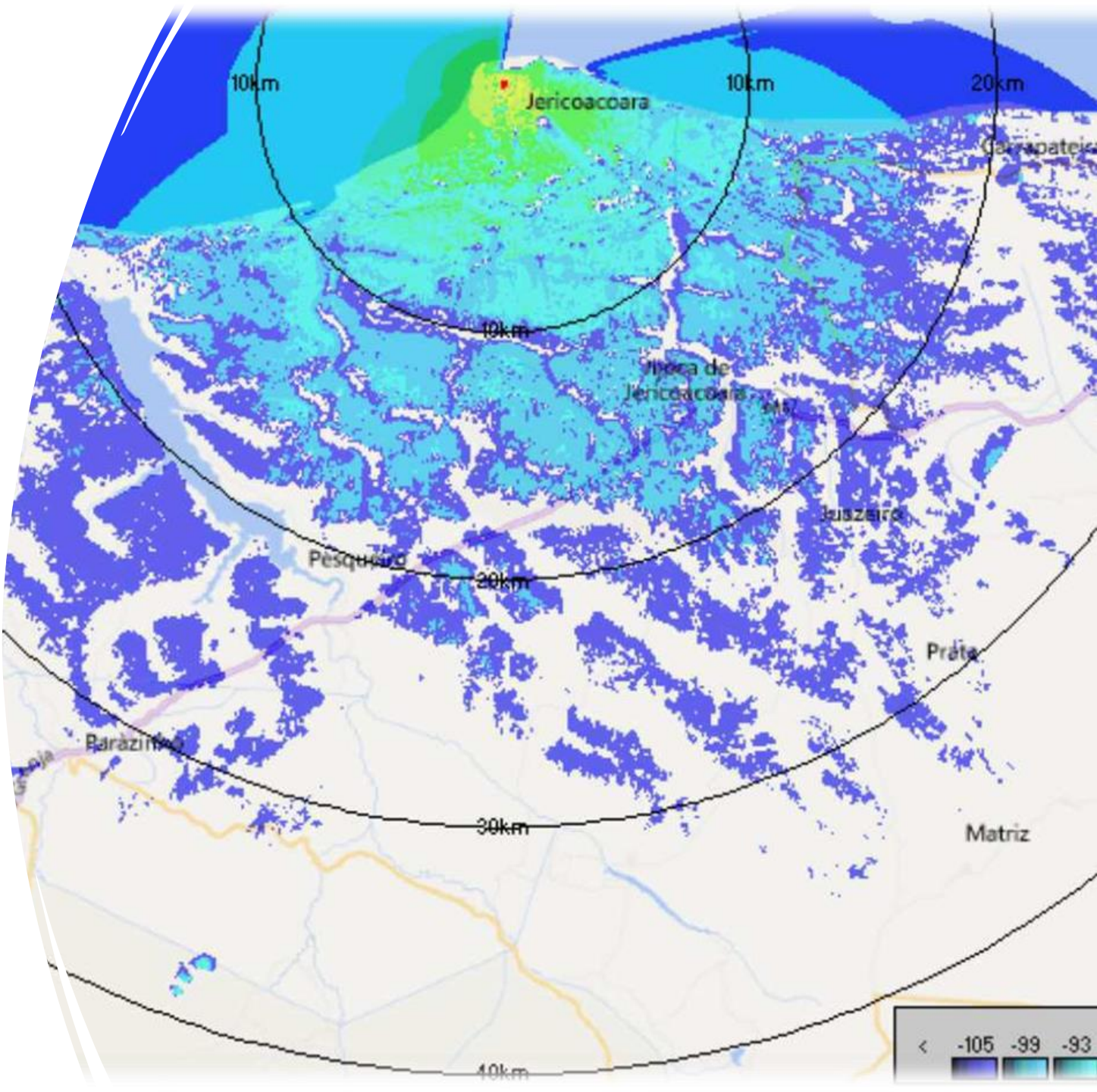
Arquitetura do Sistema TVWS



Avanços em TVWS: Banco de Dados e Blockchain



Avanços em TVWS: Modelo de Propagação



Avanços em TVWS: Validação do modelo



Location ID: 60
Route: 6
Quality: 30.6
Elevation: 9 m
Distance from Antenna: 2.93 km
Measured Power: -42 dBm
Predicted (GD): -43.1237 dBm
Predicted (50): -13.4818 dBm
Predicted (70): -22.6453 dBm
Antenna Angle: 82°
Antenna Gain: 9.70176 dBd
Coordinates: (-3.720637, -38.504046)

Location ID: 52
Route: 5
Quality: 31.07
Elevation: 38 m
Distance from Antenna: 5.11 km
Measured Power: -33 dBm
Predicted (GD): -41.387 dBm
Predicted (50): -16.1722 dBm
Predicted (70): -25.3157 dBm
Antenna Angle: 38°
Antenna Gain: 12.975 dBd
Coordinates: (-3.722506, -38.504046)



Ferramenta para Avaliação da Disponibilidade e Impacto do TVWS no Brasil

www.fiquespectro.com.br

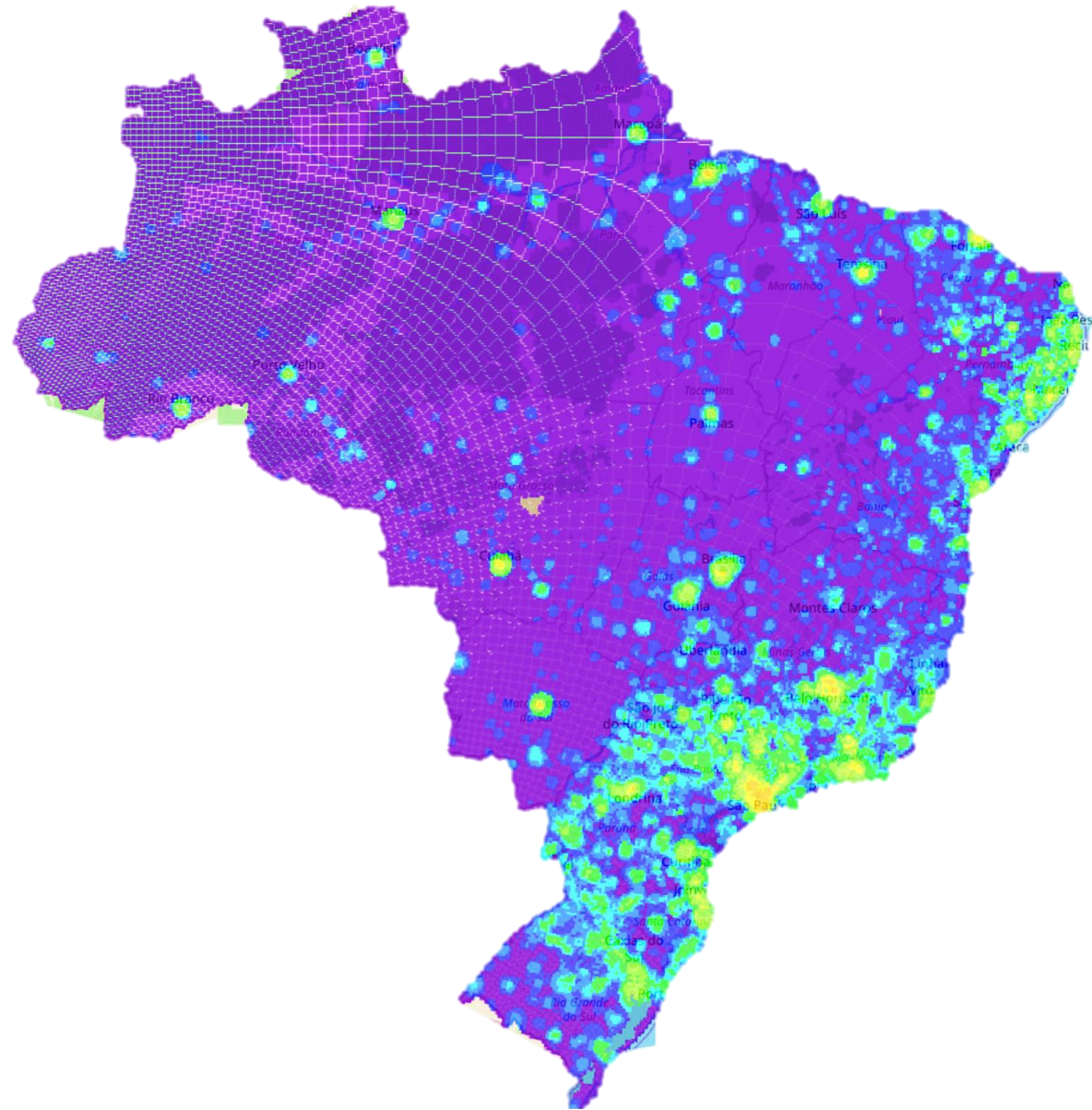
O oceano Azul

92% do território

- Tem menos de 9 canais de TV

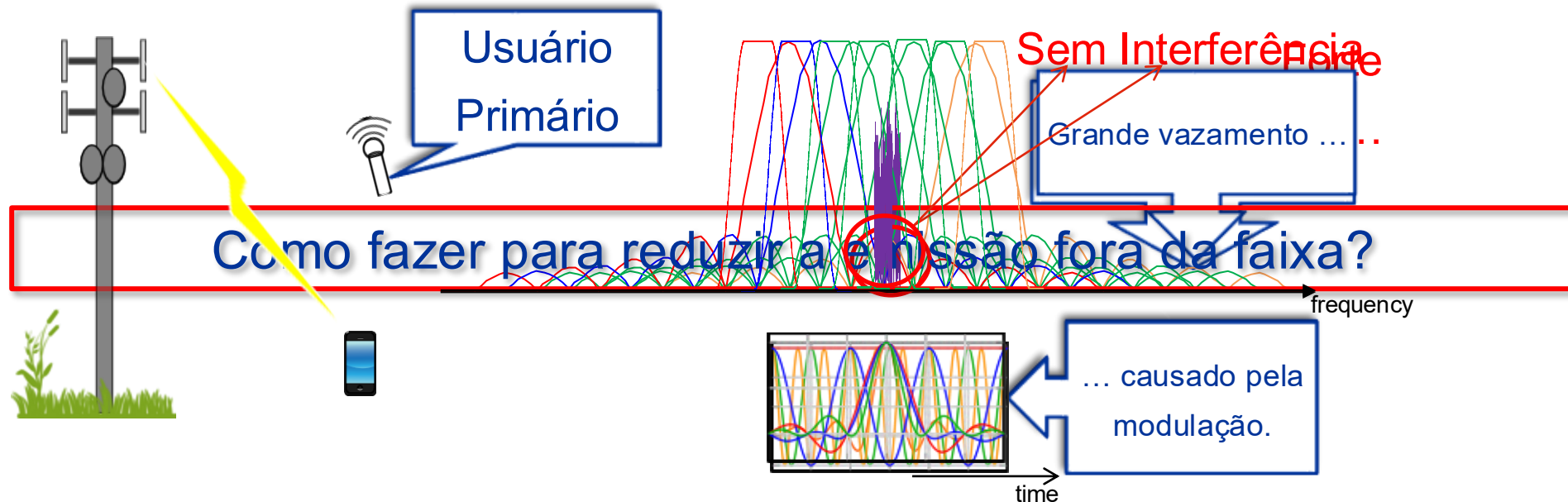
8% do território

- Tem mais de 10 canais de TV



Avanços em TVWS: Nova Modulação Digital e Sensoriamento Espectral

Flexibilidade Espectral – baixa emissão fora da faixa é possível!



A escolha da modulação certa permite controlar o espectro do sinal transmitido.

Coexistência com TV Digital

- Formas de onda:
GFDM, OFDM e F-OFDM

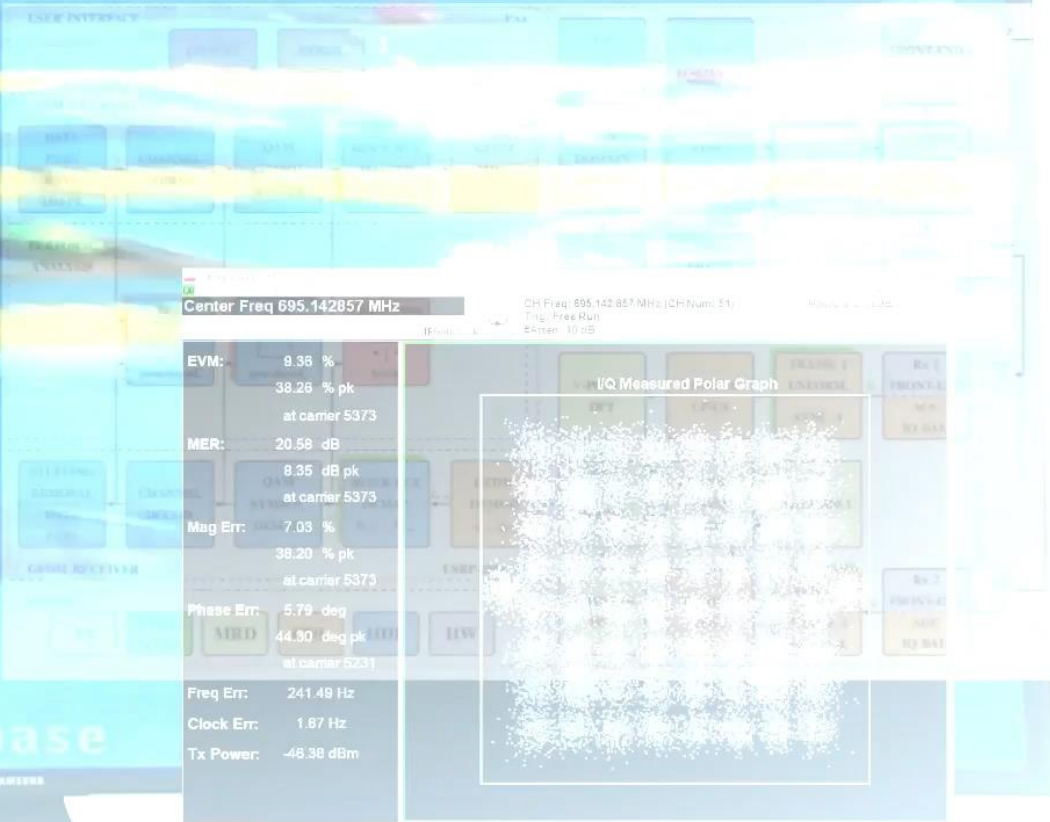
- Modulações:
16-QAM, 64-QAM
e 256-QAM

- Código Polar no estado da arte

- Codificação de canal adaptativa

- Diversidade com STC MIMO 2x2

- Pre-distorção digital em banda base





Construção dos protótipos





Teste de Campo em Condições Reais de Operação

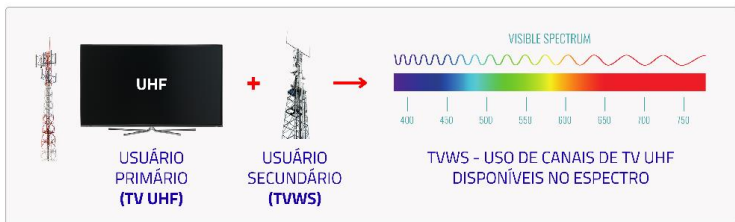
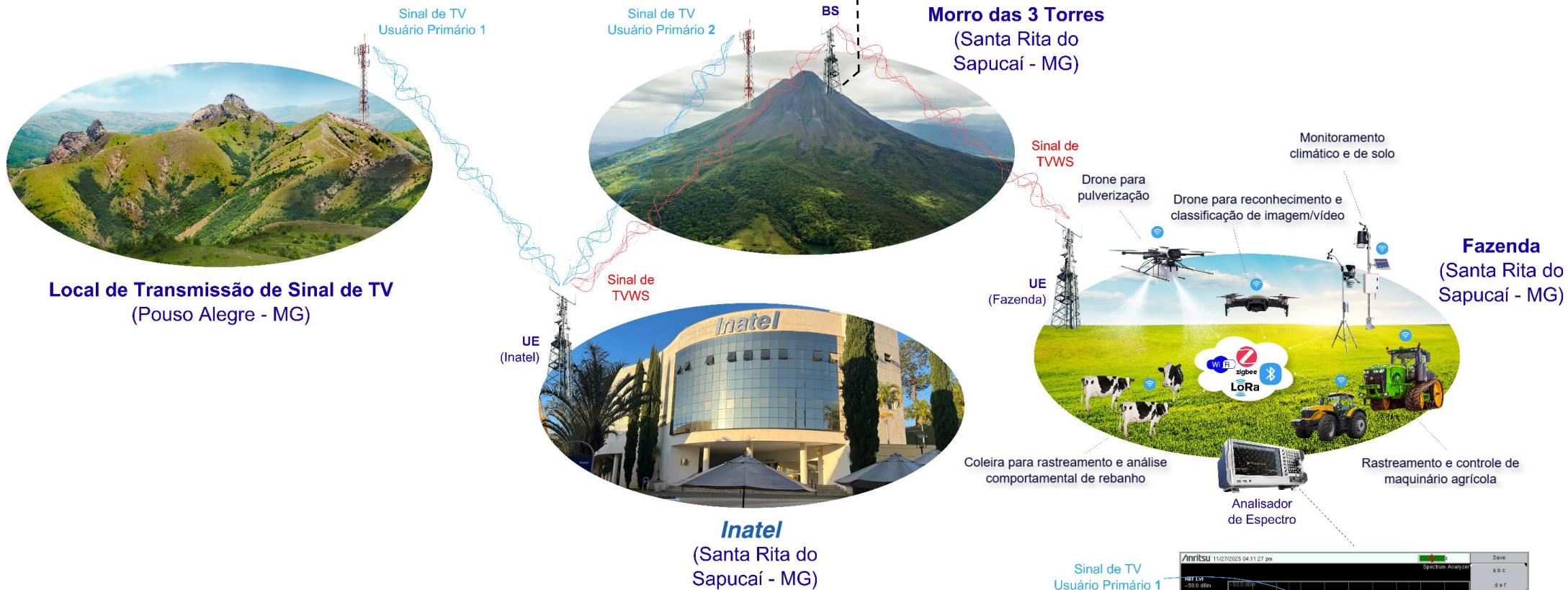
Teste de Campo



Cenário do teste

Banco de dados
Georreferenciado

nic.br



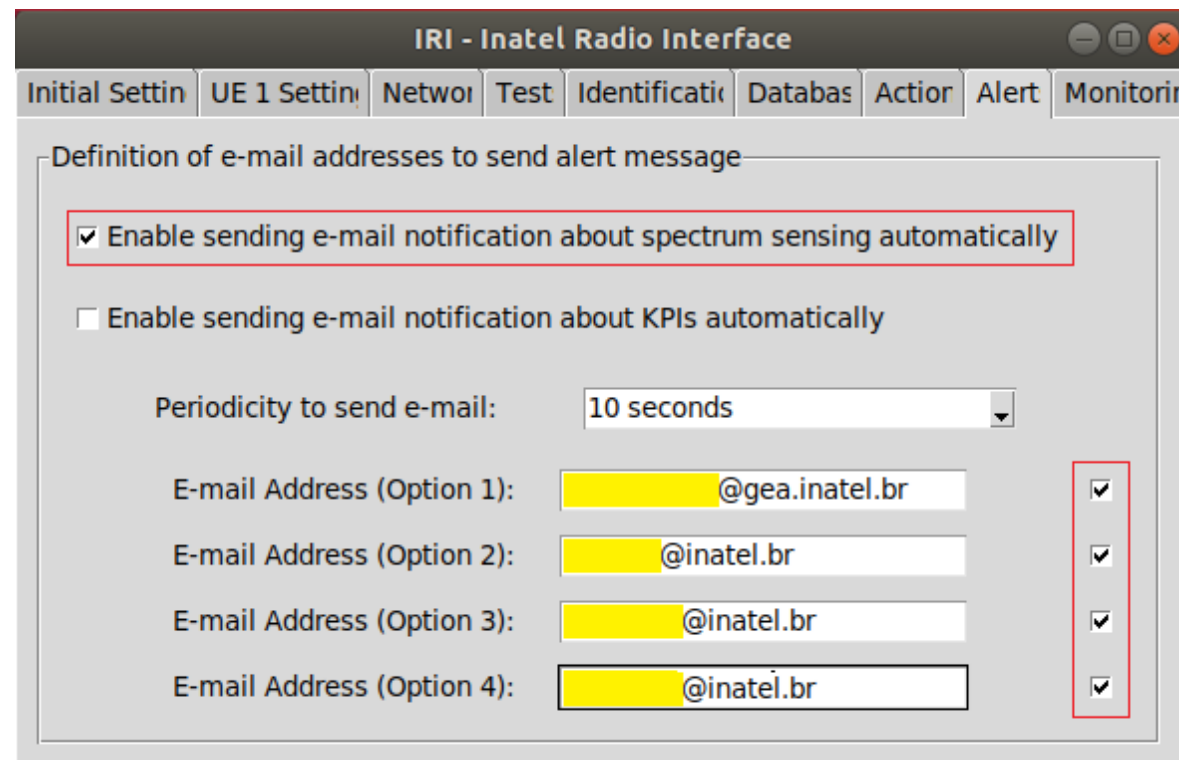
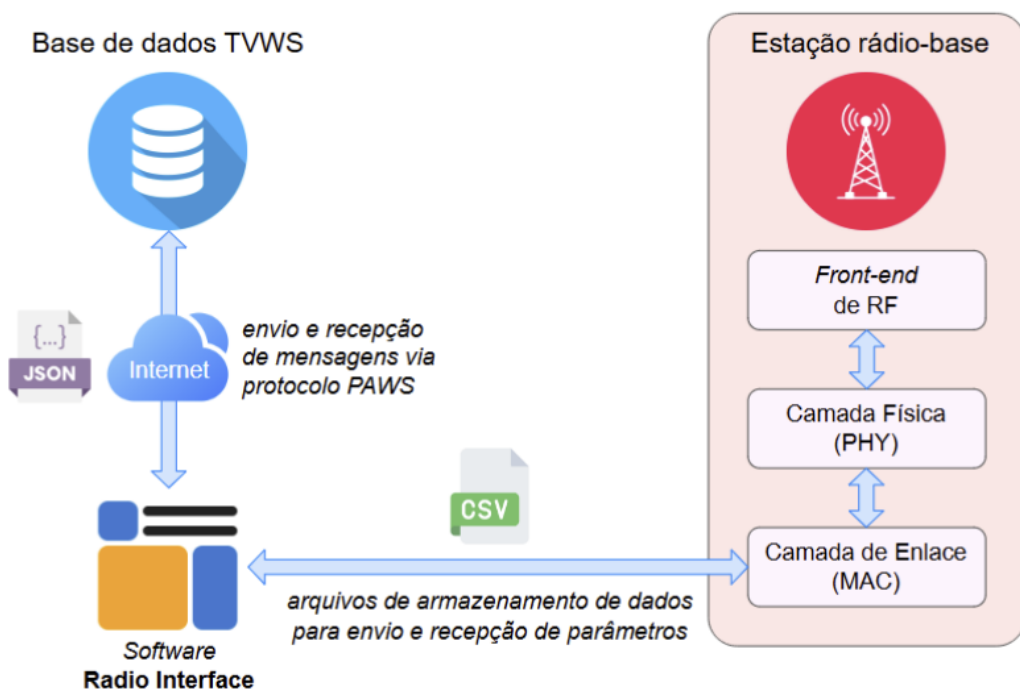
Sinal de TV
Usuário Primário 1

Sinal de TVWS

Sinal de TV
Usuário Primário 2



O sensoriamento espectral é uma ferramenta poderosa para a Anatel



Teste de Campo

Sinal TVWS pode ser até 28.8 dB mais forte que o sinal de TV sem causar interferência

Cobertura com **1 W** de potência de pico - **15 km** com vazão de **24 Mbps @ 6 MHz / até 96 Mbps @ 24 MHz.**

Cobertura com **1 W** de potência de pico - **38 km** com vazão de **4 Mbps @ 6 MHz / até 16 Mbps @ 24 MHz.**

Cobertura com **2 W** de potência de pico - **38 km** com vazão de **7 Mbps @ 6 MHz / até 28 Mbps @ 24 MHz.**

Cobertura com **8 W** de potência de pico - **38 km** com vazão de **13 Mbps @ 6 MHz / até 52 Mbps @ 24 MHz.**

Não houve interferência no sinal de TV com potência de pico de até 10 W.

Ao invés de restringir a potência no canal, as regulamentações do TVWS deveriam restringir a **potência irradiada fora da faixa.**



Fomento às
Pesquisas
TVWS no
Brasil

Conclusões

Conectividade no Campo

Desafio para 4G e 5G

Impactos Econômicos da Conectividade

Aumento da produtividade, melhores oportunidades, decisões eficientes.

Impactos Sociais da Conectividade

Retenção de jovens no campo, melhoria saúde, educação, egov e inclusão

Barreiras para Operadoras

Cobertura

Densidade Populacional

ROI

Desafios para ISPs

**Acesso ao Espectro
Tecnologia**

TVWS

Tecnologia promissora para o cenário brasileiro.

Domínio Tecnológico

O país deve avançar para o pionerismo no estado da arte das redes terrestres em áreas remotas e rurais.

Transferência para o Mercado

Protótipos em TRL 6 praticamente prontos para transferência para o mercado

Avanço Regulatório

A solução da conectividade do campo não pode ser limitada pelas tecnologias e modelos de acesso ao espectro do século passado.