



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

ENGENHARIA ELÉTRICA

**COBERTURA DE SINAL EM RODOVIAS COM FOCO NO
TRECHO DO CONTORNO VIÁRIO DA RODOVIA BR-101
EM FLORIANÓPOLIS-SC**

Diego Barreto Tobias

Orientador: Prof. Richard Demo Souza, Dr.

Coorientador: Stevan Grubisic, Dr. (Anatel)

Florianópolis

2025

Diego Barreto Tobias

**COBERTURA DE SINAL EM RODOVIAS COM FOCO NO
TRECHO DO CONTORNO VIÁRIO DA RODOVIA BR-101
EM FLORIANÓPOLIS-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Richard Demo Souza, Dr.

Coorientador: Stevan Grubisic, Dr. (Anatel)

Florianópolis

2025

Diego Barreto Tobias

COBERTURA DE SINAL EM RODOVIAS COM FOCO NO TRECHO DO CONTORNO VIÁRIO DA RODOVIA BR-101 EM SANTA CATARINA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de "Bacharel em Engenharia Elétrica" e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de Outubro de 2025.



Documento assinado digitalmente
ROBERTO FRANCISCO COELHO
Data: 18/11/2025 11:38:44-0300
CPF: ***.034.249-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Roberto Francisco Coelho, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Richard Demo Souza
Data: 17/11/2025 19:36:50-0300
CPF: ***.267.379-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Richard Demo Souza, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



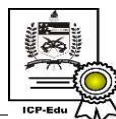
Documento assinado digitalmente
STEVAN GRUBISIC
Data: 17/11/2025 21:53:57-0300
CPF: ***.251.519-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Stevan Grubisic, Dr.
Coorientador
Agência Nacional de Telecomunicações



Documento assinado digitalmente
Walter Pereira Carpes Junior
Data: 18/11/2025 07:24:59-0300
CPF: ***.566.599-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Walter Pereira Carpes Junior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Adao Boava
Data: 17/11/2025 23:38:54-0300
CPF: ***.640.969-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Adão Boava, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

"O verdadeiro pensamento parece sem autor."

Clarice Lispector

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos desta caminhada. Aos meus familiares, pelo carinho, compreensão e força que me deram ao longo da vida. Sou especialmente grato à minha mãe, Patricia, à minha avó e à minha dinda, que sempre estiveram presentes, oferecendo amor e confiança. Também agradeço ao meu padrasto, Gilson, pelos conselhos e orientações que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos, que me acompanharam nesta jornada e que sempre adicionaram alegria e pertencimento na minha vida.

Agradeço muito à minha namorada Isabella, que me impulsiona a cada dia a ser uma versão melhor de mim mesmo, oferecendo seu amor, apoio e inspiração constantes ao longo de toda essa jornada.

Agradeço à Anatel pela disponibilização dos recursos essenciais para a realização deste estudo, permitindo uma análise aprofundada e confiável dos dados coletados. De forma especial, agradeço ao Stevan, que me supervisionou durante o estágio e aceitou participar como coorientador deste trabalho. Sua orientação atenta, seu apoio constante e sua disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento e a conclusão deste estudo.

Agradeço ao meu orientador, professor Richard, pela dedicação, paciência e valiosas orientações ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento, incentivo e apoio foram de extrema importância para a realização deste estudo.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por me proporcionar a oportunidade de estudar e crescer como pessoa.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo principal analisar o cenário da cobertura de sinal móvel nas rodovias brasileiras. Inicialmente, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a regulamentação do Serviço Móvel Pessoal (SMP) no Brasil, bem como das práticas adotadas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) para promover a expansão dos serviços de telecomunicações em áreas remotas. Em seguida, é avaliado o estado atual da cobertura de sinal nas rodovias, com base nos dados disponibilizados pela própria Anatel. A partir dessa abordagem geral, o estudo se aprofunda na análise da cobertura em um trecho específico da Rodovia BR-101, com base em medições reais obtidas por meio de drive test. Os dados coletados serão comparados com as previsões de cobertura da Anatel, permitindo uma análise crítica entre a cobertura estimada e a realidade observada em campo. Por fim, os resultados obtidos serão utilizados para elaborar um diagnóstico técnico da cobertura de sinal ao longo do percurso analisado. O estudo também avalia relações entre os níveis de cobertura e indicadores de densidade demográfica, possibilitando uma reflexão mais ampla sobre os fatores que influenciam a expansão da infraestrutura de conectividade nas rodovias brasileiras.

ABSTRACT

The main goal of this study is to analyze the mobile signal coverage scenario on Brazilian highways. It begins with a literature review on the regulation of the Personal Mobile Service (SMP) in Brazil, as well as the practices adopted by the National Telecommunications Agency (Anatel) to promote the expansion of telecommunications services in remote areas. Subsequently, the current state of signal coverage on highways is assessed using data provided by Anatel. Based on this general overview, the study focuses on a detailed analysis on the signal coverage along a specific section of the BR-101 highway, using real measurements obtained through a drive test. The collected data will be compared with Anatel's coverage predictions, allowing a critical analysis between the estimated coverage and the actual empirical observations. Finally, the results will be used to develop a technical diagnosis of the signal quality along the analyzed route. The study also examines the relationship between coverage levels and demographic density indicators, providing a broader reflection on the factors that influence the expansion of connectivity infrastructure along Brazilian highways.

LISTA DE FIGURAS

1	Extensão da BR-101 com cobertura por tecnologia de comunicação (Fonte: Painel de Dados Anatel)	31
2	Percentual de moradores cobertos em relação à densidade demográfica do setor censitário	32
3	Relação entre densidade demográfica e cobertura de 4G/5G em rodovias federais (%) por UF.	35
4	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Nordeste por UF	36
5	Densidade demográfica na Região Nordeste por UF	36
6	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Centro-Oeste por UF	37
7	Densidade demográfica na Região Centro-Oeste por UF	37
8	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Norte por UF	38
9	Densidade demográfica na Região Norte por UF	38
10	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Sudeste por UF	39
11	Densidade demográfica na Região Sudeste por UF	39
12	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Sul por UF	40
13	Densidade demográfica na Região Sul por UF	40
14	Imagem do Scanner TSME (Fonte: Rohde & Schwarz)	42
15	Tabela com os dados de <i>Best Server</i> por operadora (MNC)	44
16	Distribuição do nível de RSRP do <i>Best Server</i> (MNC 29)	46
17	Mapa de cobertura de SMP (MNC 29)	46
18	Distribuição do nível de RSRP do <i>Best Server</i> (MNC 4)	47
19	Mapa de cobertura de SMP (MNC 4)	48
20	Distribuição do nível de RSRP do <i>Best Server</i> (MNC 5)	49
21	Mapa de cobertura de SMP (MNC 5)	49
22	Distribuição do nível de RSRP do <i>Best Server</i> (MNC 6)	50
23	Mapa de cobertura de SMP (MNC 6)	51
24	Distribuição do nível de RSRP do <i>Best Server</i> geral	52
25	Mapa de cobertura de SMP <i>Best Server</i> Geral (limiar -90 dBm)	52
26	Comparação entre os mapas de cobertura considerando diferentes limiares de RSRP	55
27	Comparativo de dados de cobertura do trecho analisado	56

LISTA DE TABELAS

1	Alturas representativas das categorias de clutter	27
2	Zonas rádio-climáticas	28
3	Cobertura 4G/5G nas rodovias federais e estaduais do Brasil	29
4	Extensão da BR-101 com cobertura por UF (Fonte: Painel de Dados Anatel) . .	30
5	Cobertura de 4G/5G nas rodovias federais por UF (Fonte: Painel de Dados Anatel)	33
6	Densidade demográfica por UF (Fonte: Censo IBGE 2022)	34
7	Incremento de cobertura com <i>RAN Sharing</i> (MNC 99)	51
8	Percentual de cobertura por operadora e <i>Best Server</i> por limiar de RSRP	54
9	Pontos com cobertura por operadora e <i>Best Server</i> em diferentes limiares de RSRP	54

SUMÁRIO

1	Introdução	15
2	Relevância e Aspectos Regulamentares de Conectividade em Rodovias	16
2.1	Lei Geral de Telecomunicações (LGT)	16
2.2	Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST)	16
2.3	Resolução Anatel nº 477/2007 - Serviço Móvel Pessoal (SMP)	17
2.4	Resolução Anatel nº 73/1998 - Serviços de Telecomunicações	17
2.5	Resolução Anatel nº 612/2013 - Regimento Interno da Anatel	17
2.6	Resolução Anatel nº 614/2013 - Serviço de Comunicação Multimídia (SCM)	17
2.7	Resolução Anatel nº 671/2016 – Regulamento de Uso do Espectro de Radio-frequências	18
2.8	Resolução Anatel nº 772/2025 – Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências (PDFF)	18
2.9	Portaria MCOM Nº 18.902	18
2.10	Editais de Licitação de Radiofrequência e Obrigações de Cobertura	19
2.10.1	Leilão de 2007: Expansão do 3G (850 MHz, 1.8 GHz e 2.1 GHz)	19
2.10.2	Leilão de 2012: Introdução do 4G e Expansão para Áreas Rurais (2.5 GHz e 450 MHz)	20
2.10.3	Leilão de 2014: Faixa de 700 MHz e Expansão do 4G	20
2.10.4	Leilão de 2019: Expansão do 4G e Preparo para o 5G	21
2.10.5	Leilão de 2021: Implementação do 5G	21
2.11	Importância da Cobertura de Sinal em Rodovias	22
2.12	Como a Anatel Promove Cobertura de Sinal em Rodovias	22
3	Cobertura de Serviço Móvel Pessoal em Rodovias	25
3.1	Como a Anatel Estima a Cobertura de Sinal em Rodovias	25
3.2	Recomendação ITU-R P.1812	26
3.2.1	Perfil de Trajeto do Sinal	27
3.2.2	Zonas Rádio-Climáticas	27
3.2.3	Parâmetros Rádio-Meteorológicos Básicos	28
3.2.4	Propagações Anômalas na Atmosfera e Raio Efetivo da Terra	28
3.3	Cobertura de Sinal em Rodovias	29
3.3.1	Estado Atual da Cobertura de Sinal em Rodovias no Brasil	29
3.3.2	Cobertura de Sinal na BR-101	29
3.4	Relação com a Densidade Demográfica	31
4	Resultados e Discussões	42
4.1	Medições	42

4.2	Tratamento dos Dados	43
4.2.1	Agrupamento dos Dados	43
4.2.2	Determinação do <i>Best Server</i> por Operadora	43
4.2.3	Integração do <i>RAN Sharing</i>	44
4.2.4	Determinação do <i>Best Server</i> Geral	44
4.3	Resultados Obtidos	45
4.3.1	Resultados por Operadoras	45
4.3.2	Efeito do <i>RAN Sharing</i>	51
4.3.3	Resultados <i>Best Server</i> Geral	51
4.3.4	Comparação com a Predição da Anatel	55
5	Considerações Finais	57

1 Introdução

A conectividade móvel tem se consolidado como uma infraestrutura essencial para o desenvolvimento econômico e social contemporâneo. Com o avanço das tecnologias de comunicação, a disponibilidade de sinal em áreas urbanas tornou-se predominante; no entanto, trechos rodoviários ainda enfrentam desafios significativos de cobertura. Em particular, a ausência de sinal nas rodovias representa riscos à segurança viária, limita o acesso a serviços emergenciais e dificulta o uso de tecnologias voltadas à logística e rastreamento.

A Rodovia BR-101, um dos principais eixos de integração logística do Brasil, atravessa o estado de Santa Catarina ao longo do litoral, desempenhando papel fundamental no escoamento da produção, no transporte de passageiros e na integração regional. Diante de sua importância estratégica, garantir a cobertura de sinal móvel ao longo deste trajeto é fundamental.

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a cobertura de sinal móvel no trecho catarinense da BR-101, utilizando medições reais coletadas por meio de *drive test*. A partir dos dados obtidos, foram aplicadas técnicas de agrupamento espacial e seleção de melhores servidores (*Best Server*), considerando múltiplas operadoras e frequências, com o intuito de gerar um diagnóstico detalhado da cobertura de sinal ao longo do percurso. O trabalho também avalia de que forma a densidade demográfica influencia a disponibilidade de cobertura móvel nas rodovias brasileiras, buscando identificar padrões ou desigualdades na oferta do serviço em função da distribuição populacional.

Adicionalmente, o tema surgiu no contexto de uma demanda institucional da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), durante o programa de estágio na agência. A atuação junto à Anatel permitiu acesso a dados importantes e apoio técnico para a realização de medições com instrumentos de última geração, ampliando a robustez metodológica da pesquisa.

Este trabalho insere-se em um cenário regulatório que reconhece a necessidade de expandir a infraestrutura de telecomunicações para além dos centros urbanos, abrangendo também os principais corredores logísticos do país.

2 Relevância e Aspectos Regulamentares de Conectividade em Rodovias

2.1 Lei Geral de Telecomunicações (LGT)

A Lei Geral de Telecomunicações (LGT), instituída pela Lei nº 9.472/1997 [1], estabelece o marco regulatório das telecomunicações no Brasil e a criação da Anatel, entidade submetida a um regime autárquico especial e vinculada ao Ministério das Comunicações (MCOM), com a função de órgão regulador das telecomunicações do Brasil. Por meio da LGT, também foram definidas regras para a prestação de serviços de telecomunicações, dividindo-os entre regime público e regime privado.

O regime público aplica-se aos serviços considerados essenciais pela política setorial, estando sujeitos aos princípios de universalização e continuidade. Nesse modelo, a prestação ocorre por meio de concessões, que constituem contratos firmados entre o Poder Público e a operadora. Tais contratos estabelecem metas de universalização, indicadores de qualidade, regras tarifárias e mecanismos de fiscalização, devendo ser cumpridos pela prestadora ao longo de todo o período contratual. A lógica, portanto, é garantir que o serviço esteja disponível para toda a população, inclusive em localidades de baixa atratividade econômica ou de difícil acesso.

Com o avanço tecnológico e a popularização dos serviços prestados em regime privado, especialmente o Serviço Móvel Pessoal (SMP), observou-se uma mudança na dinâmica do setor. Embora o SMP não esteja sujeito ao princípio da universalização por força de lei, a política pública pode estimular a ampliação do acesso por meio de instrumentos regulatórios, como obrigações de cobertura previstas em editais de licitação, além de termos de compromisso e outras condicionantes de autorização.

Em síntese, o regime público permanece associado à universalização e continuidade, mediante contratos de concessão, enquanto o regime privado opera sob orientação concorrencial, com autorizações e foco na ampliação do acesso conforme diretrizes regulatórias. A evolução tecnológica e as recentes alterações legislativas têm contribuído para reforçar o papel do SMP como instrumento de inclusão digital e desenvolvimento socioeconômico.

2.2 Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST)

O Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST) foi instituído pela Lei nº 9.998/2000 [2] com o objetivo de financiar ações voltadas à universalização dos serviços de telecomunicações, tendo inicialmente seu uso restrito ao Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC) prestado em regime público. Com a redução da relevância da telefonia fixa e a necessidade de ampliar o acesso à conectividade, a Lei nº 13.879/2019 [3] alterou o marco regulatório, permitindo que os recursos do FUST fossem aplicados de forma mais ampla,

abrangendo projetos de inclusão digital e expansão de infraestrutura, independentemente da tecnologia ou do regime de prestação. Dessa forma, o FUST passou a apoiar iniciativas que visam ampliar o acesso à internet, inclusive por meio de redes utilizadas pelo SMP.

2.3 Resolução Anatel nº 477/2007 - Serviço Móvel Pessoal (SMP)

A Resolução Anatel nº 477/2007 [4] trata do Serviço Móvel Pessoal (SMP), que engloba a telefonia móvel celular no Brasil. Ela estabelece os requisitos para que operadoras obtenham autorização para atuar no setor, além de definir obrigações como a cobertura mínima de localidades, padrões de qualidade para chamadas de voz e dados, e regras para atendimento ao consumidor. A resolução também consolidou direitos importantes dos usuários no âmbito do SMP.

2.4 Resolução Anatel nº 73/1998 - Serviços de Telecomunicações

A Resolução Anatel nº 73/1998 [5] organiza a prestação de serviços de telecomunicações, classificando-os em diferentes modalidades. Entre os principais serviços regulados estão a telefonia fixa (STFC), a telefonia móvel (SMP) e a banda larga fixa (SCM). A norma estabelece as condições para a interconexão entre redes de diferentes operadoras, garantindo que chamadas e dados trafeguem sem restrições indevidas. Também são definidos os direitos dos usuários, incluindo acesso à informação, qualidade dos serviços e não discriminação no atendimento.

2.5 Resolução Anatel nº 612/2013 - Regimento Interno da Anatel

A Resolução Anatel nº 612/2013 [6] trata do Regimento Interno da Anatel, estabelecendo sua estrutura organizacional e normas de funcionamento. O regimento define as atribuições do Conselho Diretor da agência, bem como das superintendências e unidades administrativas. Além disso, regula os processos de tomada de decisão dentro da agência, os procedimentos administrativos e as diretrizes para fiscalização e aplicação de sanções às operadoras que descumprirem normas regulatórias. A transparência na gestão da Anatel também é um ponto importante da resolução, garantindo o acesso público às informações sobre o setor.

2.6 Resolução Anatel nº 614/2013 - Serviço de Comunicação Multimídia (SCM)

A Resolução Anatel nº 614/2013 [7] regula a prestação do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM), que corresponde à banda larga fixa. Essa norma estabelece padrões de qualidade que as operadoras devem seguir, incluindo velocidade mínima garantida, disponibilidade da conexão e perda de pacotes. Também são estabelecidos direitos dos consumidores, como o acesso a informações claras sobre os planos contratados e a possibilidade de trocar de provedor

sem dificuldades. As operadoras, por sua vez, devem garantir a transparência na divulgação de seus serviços e disponibilizar ferramentas que permitam ao usuário medir a velocidade real da conexão. A Anatel é responsável pela fiscalização do cumprimento dessas normas, podendo aplicar multas e sanções às empresas que não atenderem aos padrões estabelecidos.

2.7 Resolução Anatel nº 671/2016 – Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências

A Resolução nº 671/2016 [8] aprovou o Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências (RUE). Esse regulamento estabelece as normas gerais para a utilização do espectro no Brasil, definindo critérios para autorização, renovação e compartilhamento, além de disciplinar as formas de uso primário e secundário. Seu objetivo é garantir que esse recurso seja administrado alinhado ao interesse público, servindo como base normativa para a exploração de serviços de telecomunicações e radiodifusão.

2.8 Resolução Anatel nº 772/2025 – Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências (PDFF)

A Resolução nº 772/2025 [9] instituiu o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências (PDFF), instrumento fundamental para a organização e planejamento do espectro no Brasil. O PDFF define os serviços que podem operar em cada faixa de radiofrequências, harmonizando o uso nacional com as diretrizes internacionais e com as políticas públicas de conectividade.

2.9 Portaria MCOM Nº 18.902

A Portaria MCOM nº 18.902 [10], de 10 de julho de 2025, estabelece as diretrizes para a licitação das subfaixas de radiofrequência de 708–718 MHz e 763–773 MHz, sob responsabilidade da Anatel. O principal objetivo é direcionar os recursos arrecadados para a expansão da cobertura de banda larga móvel, preferencialmente com tecnologia 4G ou superior, em áreas atualmente desassistidas. As áreas prioritárias para atendimento incluem localidades com mais de 600 habitantes que não sejam sedes de município e não tenham cobertura móvel juntamente com trechos desassistidos das rodovias federais BR-101, BR-116, BR-135, BR-163, BR-242 e BR-364.

Dentre essas rodovias, a BR-101 recebe tratamento prioritário, sendo a única com exigência expressa de cobertura dos trechos desassistidos já em 2026. Essa medida reflete o papel estratégico da BR-101, uma das principais rodovias do país.

A falta de cobertura móvel em trechos dessa rodovia compromete não apenas a comunicação pessoal, mas também a segurança viária, o transporte de cargas e o turismo. Ao estabelecer

obrigações específicas para a BR-101, o MCOM visa garantir conectividade ao longo de corredores logísticos essenciais, permitindo serviços como rastreamento de frotas, monitoramento de tráfego e atendimento a emergências.

2.10 Editais de Licitação de Radiofrequência e Obrigações de Cobertura

Os editais da Anatel são elaborados de forma a garantir que a exploração do espectro de radiofrequências ocorra em conformidade com o interesse público. Para isso, as licitações possibilitam que várias prestadoras disputem simultaneamente a outorga de direitos de uso do espectro, promovendo maior competitividade no setor.

O artigo 38, da Resolução nº 671/2016, informa que o julgamento das propostas leva em conta critérios previamente definidos no edital, que podem ser aplicados de forma isolada ou em conjunto. Entre os principais critérios previstos estão: a maior oferta de preço público pelo direito de uso da faixa; a abrangência da cobertura, considerando maior área atendida, localidades além das obrigações básicas e comunidades com baixo IDH; e a qualidade do uso do espectro, que envolve melhor aproveitamento das radiofrequências e preferência para serviços de interesse coletivo. Outros critérios incluem o menor tempo para cumprimento dos compromissos assumidos, menores tarifas ao usuário, atendimento a projetos de inclusão digital e social, investimentos em pesquisa e inovação tecnológica no Brasil, condições de compartilhamento das faixas licitadas, ofertas direcionadas a pequenas prestadoras e o maior número de compromissos assumidos dentro do previsto no edital.

Desde 2007, a Anatel tem intensificado suas políticas regulatórias, utilizando os leilões de espectro não apenas como mecanismo arrecadatório, mas sobretudo como instrumento de política pública. Dessa forma, os editais passaram a impor obrigações que ampliam a cobertura, garantem a inclusão de localidades remotas e rodovias estratégicas, e buscam elevar a qualidade dos serviços de telecomunicações no Brasil.

2.10.1 Leilão de 2007: Expansão do 3G (850 MHz, 1.8 GHz e 2.1 GHz)

O leilão de 2007 foi um marco importante para a evolução da telefonia móvel no Brasil, com a destinação de faixas de espectro para a implementação do serviço 3G. As operadoras vencedoras da licitação receberam obrigações específicas que visavam garantir a expansão do serviço de forma abrangente e equitativa:

- Cobertura obrigatória das capitais e cidades com mais de 500 mil habitantes em até 2 anos, permitindo que a população de grandes centros urbanos tivesse acesso rápido ao novo serviço;
- Expansão para municípios com mais de 100 mil habitantes em até 4 anos, com o objetivo de levar o serviço também a cidades de porte médio, além das capitais.

Apesar do avanço da tecnologia 3G, as operadoras enfrentaram desafios na implementação, especialmente em regiões remotas, onde o alto custo de infraestrutura dificultava a expansão da cobertura. A faixa de 850 MHz foi particularmente importante para áreas rurais, por oferecer maior cobertura, mas a expansão do serviço em locais mais afastados continuou sendo um desafio devido à falta de investimentos e à complexidade logística.

2.10.2 Leilão de 2012: Introdução do 4G e Expansão para Áreas Rurais (2.5 GHz e 450 MHz)

Com a crescente demanda por serviços móveis de maior velocidade, a Anatel realizou em 2012 o leilão da faixa de 2.5 GHz para a implantação do 4G, juntamente com a faixa de 450 MHz, destinada à cobertura de áreas rurais. As obrigações desse leilão incluíam:

- Implantação do 4G nas cidades-sede da Copa do Mundo de 2014, garantindo a cobertura de eventos de grande porte e impulsionando o avanço tecnológico no país;
- Expansão gradual para municípios com mais de 30 mil habitantes até 2017, com a finalidade de garantir que o serviço de alta velocidade estivesse disponível em uma maior parte do território nacional;
- Uso da faixa de 450 MHz para conectar áreas rurais e rodovias, uma medida importante para melhorar a cobertura em regiões distantes, embora a implementação tenha sido desafiada pela baixa adoção das operadoras e pelas dificuldades técnicas de operação em frequências mais baixas.

Esse leilão foi fundamental para a introdução do 4G no Brasil, permitindo a cobertura em grande escala e abrindo caminho para a utilização de tecnologias móveis de quarta geração, com maior capacidade de transmissão de dados.

2.10.3 Leilão de 2014: Faixa de 700 MHz e Expansão do 4G

O leilão de 2014 foi um marco crucial para a expansão do 4G, especialmente devido à liberação da faixa de 700 MHz, que anteriormente era utilizada pela televisão analógica. Essa faixa passou a ser fundamental para a cobertura de grandes distâncias e foi uma das principais responsáveis pela melhoria da cobertura móvel em áreas rurais e rodovias. As exigências desse leilão incluíam:

- Expansão do 4G para municípios menores e áreas rurais, com o objetivo de garantir que as regiões mais afastadas também tivessem acesso à conectividade de alta velocidade;
- Redução das interferências com a TV digital, um desafio técnico importante devido à sobreposição de faixas de frequência entre o sinal de televisão e o sinal móvel;

- Investimentos na infraestrutura de fibra óptica e *backhaul*, essenciais para dar suporte à nova rede 4G, garantindo maior capacidade de transmissão de dados e uma melhor experiência de usuário.

A adoção da faixa de 700 MHz foi essencial para aumentar a cobertura da rede móvel, principalmente em áreas de difícil acesso e em rodovias, garantindo conectividade em trechos longos e de grande tráfego.

2.10.4 Leilão de 2019: Expansão do 4G e Preparo para o 5G

Em 2019, a Anatel realizou um leilão que visava não apenas a expansão do 4G, mas também o preparo para o 5G. Com o objetivo de garantir maior capacidade e cobertura para o futuro da conectividade no país, as obrigações desse leilão incluíam:

- Ampliação da cobertura 4G em rodovias federais estratégicas, garantindo maior conectividade e segurança para o transporte de cargas e pessoas ao longo das principais vias do país;
- Uso das faixas de 700 MHz, 2.3 GHz e 3.5 GHz para o aumento da capacidade da rede 4G e o desenvolvimento da infraestrutura para a futura implementação do 5G;
- Modernização da infraestrutura de transporte de dados, incluindo melhorias no *backhaul* e na rede de fibras óticas, para preparar o terreno para a implementação do 5G e aumentar a capacidade de tráfego de dados.

Esse leilão foi um passo importante para garantir que o Brasil estivesse preparado para a transição para o 5G, ampliando a cobertura e a capacidade da infraestrutura móvel.

2.10.5 Leilão de 2021: Implementação do 5G

O leilão de 2021 possibilitou a chegada do 5G ao Brasil. As obrigações estabelecidas para as operadoras vencedoras desse leilão incluíam investimentos significativos na infraestrutura de conectividade, com o foco principal na expansão da rede 5G em todo o país e foi o primeiro edital a inserir obrigações de cobertura em rodovias. Entre as principais obrigações estavam:

- Cobertura 5G em todas as capitais brasileiras até julho de 2022, com o objetivo de garantir que as principais cidades do país estivessem conectadas à nova geração de redes móveis no menor tempo possível;
- Expansão do 5G para municípios menores de forma escalonada até 2029, garantindo que o serviço de alta velocidade fosse disponibilizado de maneira gradual em todo o território nacional;

- Implantação de redes ao longo de rodovias federais, proporcionando maior conectividade e segurança para a logística e o transporte no país;
- Desenvolvimento de redes privadas para comunicação governamental, além de investimentos em projetos educacionais relacionados à conectividade, com o objetivo de melhorar o acesso a serviços digitais e fortalecer a educação no Brasil.

Com o leilão de 2021, o Brasil deu um passo fundamental para se integrar à revolução digital global, preparando o país para as novas possibilidades tecnológicas que o 5G oferece, como veículos autônomos, Internet das Coisas (IoT) e cidades inteligentes.

2.11 Importância da Cobertura de Sinal em Rodovias

Considerando como as telecomunicações têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social do Brasil, garantir que as rodovias possuam cobertura de sinal se apresenta como um dos principais pontos para ampliar a conectividade e fomentar o crescimento regional.

A cobertura de sinal nas rodovias promove segurança aos motoristas, permitindo comunicação em situações de emergência como acidentes de carro e condições climáticas adversas, acelerando o tempo de resposta das autoridades nesses eventos.

Além disso, a conectividade ao longo das estradas favorece o desenvolvimento de tecnologias como rastreamento de cargas em tempo real e sistemas de pagamento eletrônico em áreas remotas, facilitando a logística de transporte e financeira. No contexto rural, rodovias conectadas viabilizam o uso de tecnologias agrícolas avançadas que permitem o agronegócio se inovar, melhorando a produtividade e a competitividade do setor.

As rodovias conectadas são parte integrante do desenvolvimento de infraestruturas inteligentes e tecnologias IoT, viabilizando o monitoramento em tempo real do tráfego, gerando um ambiente receptível para veículos autônomos e promovendo uma gestão mais eficiente de recursos.

Garantir a conectividade ao longo das rodovias é, portanto, um passo estratégico para a inclusão digital, a modernização da infraestrutura de transportes e o fortalecimento da economia nacional.

2.12 Como a Anatel Promove Cobertura de Sinal em Rodovias

No setor de telecomunicações brasileiro, a formulação das políticas públicas é atribuição do MCOM, que define diretrizes gerais, estabelece metas estratégicas e publica normativas para ampliar a cobertura e a qualidade dos serviços. A implementação dessas políticas, contudo, não é conduzida diretamente pelo MCOM, mas sim pela Anatel.

A Anatel, autarquia federal vinculada ao MCOM e dotada de autonomia administrativa e financeira, é a responsável por transformar essas diretrizes em práticas regulatórias. Cabe à agência organizar os leilões de radiofrequência, fixar condições como metas de atendimento, localidades prioritárias e prazos de execução, além de acompanhar a expansão das redes. O monitoramento inclui a exigência de relatórios de planejamento e a aplicação de sanções quando há descumprimento, garantindo que as orientações do MCOM se convertam em resultados concretos para o setor.

Para garantir a conectividade e cobertura de sinal em áreas remotas e rodovias, a Anatel estabelece os chamados 'Compromissos de Abrangência', que consistem em obrigações regulatórias impostas às prestadoras de serviços de telecomunicações. Tais compromissos são definidos em editais de licitação de radiofrequências e em instrumentos normativos, tendo como objetivo assegurar que serviços essenciais cheguem a localidades de menor interesse comercial e estratégico.

No caso específico das rodovias federais, o Edital do 5G estabeleceu metas graduais para expandir a cobertura com, no mínimo, tecnologia 4G, alcançando um total de 2.349 trechos (35.784 km), que correspondem à totalidade das rodovias federais pavimentadas. Essas metas são escalonadas ao longo do tempo, de modo a permitir a expansão progressiva da infraestrutura, conforme cronograma a seguir [11]:

- Até 31/12/2023: atender pelo menos 119 trechos;
- Até 31/12/2024: ampliar a cobertura para 237 trechos;
- Até 31/12/2025: alcançar 593 trechos;
- Até 31/12/2026: atender 830 trechos;
- Até 31/12/2027: expandir para 1.067 trechos;
- Até 31/12/2028: atingir 1.185 trechos;
- Até 31/12/2029: completar a meta de 2.349 trechos.

O edital em questão foi pioneiro ao impor compromissos de cobertura direcionados a rodovias. Contudo, a empresa vencedora abriu mão da faixa de frequência associada à obrigação antes mesmo de iniciar o atendimento ao primeiro marco, previsto para 2023.

Diante da ausência de compromissos consolidados de cobertura em rodovias, a Anatel aprovou, em julho de 2025, a minuta do Edital da faixa de 700 MHz¹, fundamentada na política

¹AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Apresentação Edital 700 MHz*. Brasília, 16 jul. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/regras-do-edital-de-700-mhz-sao-aprovadas-pelo-conselho-diretor-da-anatel/apresentacao-700-mhz.pdf/view>. Acesso em: 21 set. 2025.

pública definida na Portaria MCOM nº 18.902 [16]. O documento estabelece como Prioridade 2 o atendimento de trechos de rodovias federais ainda não cobertos com 4G, obedecendo à seguinte ordem: BR-101 (prioritária), BR-116, BR-163, BR-364, BR-242 e BR-135, condicionada à disponibilidade de recursos após o cumprimento da Prioridade 1. Esta, por sua vez, consiste em assegurar cobertura 4G em todas as localidades não-sedes com mais de 600 habitantes ainda desatendidas. Concluídos os estudos de viabilidade e definidos os preços mínimos, o edital será submetido ao Tribunal de Contas da União (TCU), conforme previsto na Instrução Normativa nº 81, de 20 de junho de 2018 [12].

3 Cobertura de Serviço Móvel Pessoal em Rodovias

3.1 Como a Anatel Estima a Cobertura de Sinal em Rodovias

O licenciamento de estações de telecomunicações é um processo que ocorre após a outorga do serviço. Somente entidades que possuam autorização, permissão ou concessão para explorar serviços de telecomunicações podem solicitar o licenciamento de estações. No caso do SMP, todas as Estações Rádio Base (ERB) precisam ser devidamente licenciadas junto à Anatel através dos sistemas Mosaico² e STEL (Serviços de Telecomunicações)³.

O procedimento de licenciamento das estações ocorre por meio de autocadastramento no Banco de Dados Técnico-Administrativo (BDTA) da Anatel, feito de forma online. Para isso, é necessário que a entidade obtenha previamente uma senha de acesso ao Sistema Mosaico utilizado pela agência.

O Painel de Dados da Anatel⁴ utiliza informações provenientes do autocadastramento das ERBs, combinadas com outras bases de dados de outras instituições oficiais do governo, como IBGE [13] e DNIT, para calcular estimativas de cobertura populacional, cobertura de rodovias e diversas estatísticas sobre a infraestrutura de telecomunicações no país.

Os principais dados do autocadastramento das ERBs utilizados para gerar as predições de cobertura encontradas no Painel de Dados incluem:

- Potência transmitida (W);
- Localização (latitude e longitude);
- Altura da antena (m);
- Azimute e inclinação (*tilt*) (graus);
- Ângulo de meia potência (graus);
- Ganho da antena (dB);
- Polarização da antena;
- Frequência de operação (MHz).

Com base nesses dados, a Anatel emprega o modelo de propagação descrito na recomendação ITU-R P.1812 [14] para estimar a cobertura de sinal das operadoras, incluindo a cobertura ao

²AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Sistema Mosaico. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/mosaico/>. Acesso em: 10 set. 2025

³AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Sistema STEL. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/stel/>. Acesso em: 10 set. 2025

⁴AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Painel de Dados: Infraestrutura. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura> . Acesso em: 19 set. 2025.

longo de rodovias. Esse modelo é amplamente utilizado para prever a propagação de ondas de rádio em ambientes terrestres, considerando fatores como topografia, condições atmosféricas e obstáculos naturais e urbanos.

3.2 Recomendação ITU-R P.1812

A recomendação ITU-R P.1812 [14] contém um modelo de propagação de ondas de rádio desenvolvido pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) para prever a atenuação do sinal em ambientes terrestres. Ele é um modelo híbrido que combina métodos empíricos e determinísticos para calcular a propagação de sinais de rádio. Tal modelo é projetado para faixas de frequência de 30 MHz a 6 GHz, incluindo portanto as faixas de frequência usadas nas tecnologias de redes móveis (2G, 3G, 4G e 5G), oferecendo um método detalhado para a avaliação de perdas de transmissão. O modelo é comumente utilizado no planejamento e fiscalização de redes de telecomunicações, garantindo previsões mais precisas para sistemas de radiocomunicação.

A Seção 3.1 da recomendação ITU-R P.1812 detalha os dados de entrada necessários para a realizar os cálculos do modelo. Esses dados incluem a polarização do sinal, a latitude e longitude das estações transmissora e receptora, a frequência de operação da rede, a altura da antena receptora e da transmissora, a porcentagem de tempo e a porcentagem de locais nos quais o nível de sinal excede o valor calculado. As unidades de medida e os valores aceitos de cada parâmetro no modelo podem ser vistos abaixo:

- f : frequência de operação (GHz);
- φ_t, φ_r : latitude do transmissor e do receptor (graus);
- ψ_t, ψ_r : longitude do transmissor e do receptor (graus);
- p : percentual de tempo para o qual a previsão deve ser realizada (%);
- p_L : percentual de localizações para o qual a previsão deve ser realizada (%);
- d : distância entre o transmissor e o receptor (km);
- h_{TX}, h_{RX} : alturas das antenas transmissora e receptora acima do nível do mar (m).
- Frequência (GHz): entre 0.03 até 6.0 GHz;
- Percentual do ano em que o nível de sinal calculado é excedido: entre 1.0% até 50.0%;
- Percentual de locais em que o nível de sinal calculado é excedido: entre 1% até 99%;
- Altura do centro da antena (receptora e transmissora) acima do nível do solo: entre 1 até 3.000 m;

- Largura da rua: entre 1 até 100 m (valor padrão do modelo: 27 m).

3.2.1 Perfil de Trajeto do Sinal

O perfil do caminho rádio é essencial para a previsão da propagação do sinal, exigindo dados específicos sobre a topografia do terreno e características de cobertura do solo (clutter). Com essas informações, pode-se segmentar o trajeto do transmissor até o receptor em n partes e construir o perfil do trajeto que o sinal irá percorrer.

Esse perfil é composto por três conjuntos de dados de tamanho n : distância do transmissor até o ponto i do trajeto do sinal (d_i), em quilômetros; a altura do terreno no ponto i em relação ao nível do mar (h_i), em metros; a altura do topo da estrutura em cima do terreno, seja ela natural (árvores) ou feita por humanos (prédios), também em relação ao nível do mar e em metros.

O primeiro ponto do trajeto ($i = 1$) contém o transmissor e o último ponto ($i = n$) o receptor. Cada segmento i deve ter no mínimo três pontos de perfil ($n \geq 3$).

O perfil é construído a partir das alturas reais do terreno e é adicionada uma altura representativa para cada categoria de clutter (vegetação, prédios, etc.). A altura da superfície g_i é dada por:

$$g_i = \begin{cases} h_i + \text{altura representativa do clutter,} & \text{para } i = 2, \dots, n - 1 \\ h_1, & \text{para } i = 1 \\ h_n, & \text{para } i = n \end{cases}$$

As alturas representativas para cada categoria de clutter podem ser vistos na Tabela 1

Categoria de clutter	Altura representativa (m)
Água/Mar	0
Aberto/Rural	0
Suburbano	10
Urbano/Árvores/Floresta	15
Urbano Denso	20

Tabela 1: Alturas representativas das categorias de clutter

3.2.2 Zonas Rádio-Climáticas

As zonas rádio-climáticas são regiões classificadas com base nas características ambientais que afetam a propagação de ondas de rádio. No contexto da Recomendação ITU-R P.1812-7, essas zonas são essenciais para calcular a atenuação do sinal em diferentes tipos de terreno e

condições atmosféricas. O tipo de zona e o código associado à ela são definidos conforme a Tabela 2

Tipo de zona	Código
Zona costeira	A1
Interior	A2
Mar	B

Tabela 2: Zonas rádio-climáticas

Caso o caminho do sinal esteja na zona B, será necessário adicionar mais dois parâmetros, d_{ct} e d_{cr} , que representam a distância do transmissor e do receptor, respectivamente, até a zona costeira seguindo em direção ao outro terminal. Para terminais embarcados ou no mar, a distância é considerada zero.

3.2.3 Parâmetros Rádio-Meteorológicos Básicos

A refratividade atmosférica influencia na propagação das ondas de rádio. Dois parâmetros fundamentais nesse contexto são a taxa média de decréscimo da refratividade (ΔN) e a refratividade ao nível do mar (N_0).

A taxa média de decréscimo da refratividade, representada por ΔN (N-units/km), descreve a variação da refratividade atmosférica nos primeiros 1 km acima da superfície terrestre. Com esse parâmetro pode-se calcular o raio efetivo da Terra para construção do perfil de trajeto e análise de difração nos obstáculos que o sinal vai percorrer.

A refratividade ao nível do mar, representada por N_0 (N-units), corresponde à refratividade da atmosfera medida na superfície terrestre, geralmente ao nível do mar. Esse parâmetro é utilizado principalmente em modelos de propagação por *troposcatter*, um fenômeno em que as ondas de rádio se espalham devido às irregularidades na troposfera. (LEE; NOH; OH, 2023).

Os valores de ambos os parâmetros podem ser obtidos a partir dos mapas digitais fornecidos pela ITU na recomendação. Para locais que não coincidem com os pontos de grade, o valor pode ser obtido conforme descrito na Recomendação ITU-R P.1144 [15].

3.2.4 Propagações Anômalas na Atmosfera e Raio Efetivo da Terra

A recomendação ITU-R P.1812 também leva em consideração efeitos causados devido à refração atmosférica, como o raio efetivo da Terra, que pode parecer maior do que seu valor real e acaba por influenciar diretamente no alcance e na propagação do sinal. Para distâncias maiores, a refração atmosférica faz com que as ondas de rádio se curvem e sigam a superfície

terrestre por um trajeto maior do que aquele determinado pela geometria puramente esférica da Terra.

Além disso, diferentes tipos de propagação atmosférica, como propagação troposférica e *ducting* [16], podem afetar sinais de rádio em longas distâncias, permitindo que eles percorram trajetos além da linha de visada. Essas formas de propagação são especialmente relevantes transmissões em HF (alta frequência).

No entanto, em curtas distâncias, como no caso em células urbanas de telefonia móvel, esses efeitos atmosféricos são mínimos. Isso ocorre porque, em trajetos curtos, a curvatura da Terra é praticamente desprezível e a refração atmosférica tem impacto reduzido. Para esses casos, outros fatores como obstruções por prédios, árvores, interferências locais e densidade de torres de celular, são mais relevantes do que a variação do raio efetivo da Terra ou efeitos atmosféricos na propagação do sinal.

3.3 Cobertura de Sinal em Rodovias

3.3.1 Estado Atual da Cobertura de Sinal em Rodovias no Brasil

De acordo com o Painel de Dados da Anatel⁵, o Brasil possui 122.238 km de rodovias federais e 323.575 km de rodovias estaduais em sua malha rodoviária. No momento de escrita deste documento, no Painel de Dados consta que 50,3% das rodovias federais contam com cobertura de sinal 4G/5G (4G e/ou 5G), equivalente a 61.828 km. Já nas rodovias estaduais, a cobertura atinge 47,1% da extensão total, correspondendo a 152.361 km.

Esses números demonstram que, apesar dos avanços na infraestrutura de telecomunicações, ainda há trechos significativos sem cobertura, especialmente em áreas mais remotas.

Tipo de Rodovia	Extensão (km)	Extensão com cobertura 4G/5G
Rodovias Federais	122.238	61.828 km (50,3%)
Rodovias Estaduais	323.575	152.361 km (47,1%)

Tabela 3: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais e estaduais do Brasil

3.3.2 Cobertura de Sinal na BR-101

A BR-101 é uma das rodovias mais importantes do Brasil, atravessando o país de norte a sul ao longo de aproximadamente 4.835 km. Seu traçado liga Touros, no Rio Grande do Norte, a São José do Norte, no Rio Grande do Sul, passando por 12 estados e conectando diversas capitais e cidades costeiras.

⁵AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Painel de dados: Infraestrutura. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura>. Acesso em: 19 set. 2025.

Essa rodovia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico do Brasil, pois facilita o transporte de mercadorias, produtos agrícolas, bens industrializados e o deslocamento de pessoas. Por estar localizada próxima ao litoral, a BR-101 serve como um eixo estratégico para a logística nacional, permitindo o escoamento de cargas entre portos, centros industriais e mercados consumidores.

O Painel de Dados da Anatel informa que a BR-101 possui cobertura móvel das tecnologias 4G/5G em cerca 78,3% de seu percurso, totalizando 3.823 km. A Tabela 4 apresenta o percentual da extensão da BR-101 que possui cobertura em cada unidade da federação que ela cruza. Em Santa Catarina, a predição do Painel de Dados indica que 98% do percurso da BR-101 possui cobertura de 4G/5G.

Nº	Estado	Extensão coberta BR-101 (%)
1	PB	99.2
2	ES	98.7
3	SC	98.0
4	RJ	97.7
5	RN	95.0
6	SE	87.3
7	PE	84.0
8	SP	80.8
9	AL	78.8
10	RS	67.8
11	BA	56.6
12	PR	39.0

Tabela 4: Extensão da BR-101 com cobertura por UF (Fonte: Painel de Dados Anatel)

A Figura 1 apresenta o percentual do percurso da BR-101 que possui cobertura por diferentes tecnologias de telefonia móvel. Observa-se que a tecnologia 3G apresenta a maior cobertura, atingindo 84,1% do trajeto, seguida pela 4G com 80,7% e pela 2G com 79,7%. Já a tecnologia 5G apresenta uma cobertura significativamente menor, alcançando apenas 27,7% do percurso. Observa-se que a cobertura do 5G ainda é significativamente inferior às redes legadas. Esses dados evidenciam a importância dos compromissos de abrangência estabelecidos para a expansão do 5G nas rodovias.

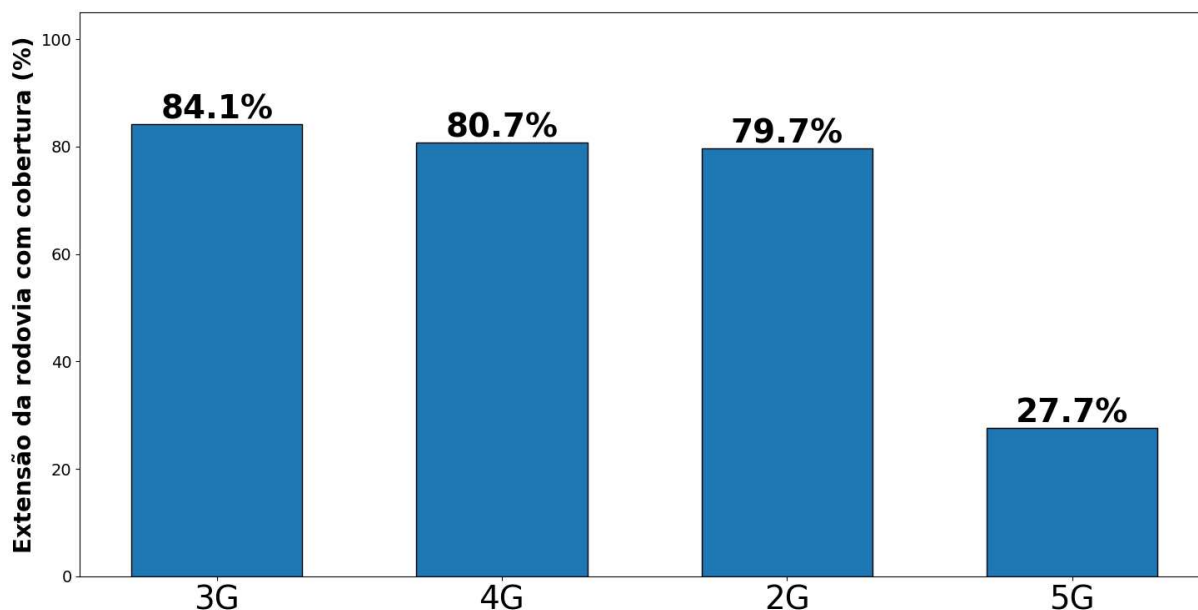


Figura 1: Extensão da BR-101 com cobertura por tecnologia de comunicação (Fonte: Painel de Dados Anatel)

3.4 Relação com a Densidade Demográfica

A cobertura dos serviços móveis no Brasil apresenta disparidades significativas entre diferentes regiões do país. Diversos fatores contribuem para essas desigualdades, sendo a densidade demográfica um dos elementos mais relevantes. Regiões com alta concentração populacional tendem a atrair mais investimentos em infraestrutura de telecomunicações, enquanto áreas menos povoadas enfrentam maiores dificuldades para alcançar níveis adequados de cobertura.

Nesse contexto, a análise da relação entre densidade populacional e percentual de cobertura torna-se fundamental para compreender os padrões de distribuição do serviço móvel no território nacional. Utilizando informações extraídas do Painel de Dados de Infraestrutura da Anatel, foi gerado o gráfico apresentado na Figura 2, evidenciando como a variação da densidade demográfica impacta diretamente o acesso da população à cobertura de redes móveis.

Os números de moradores e domicílios referentes aos setores censitários, utilizados pelo Painel de Dados de Infraestrutura da Anatel, foram extraídos do Censo Demográfico de 2010 para períodos até 2024, e do Censo Demográfico de 2022 a partir de 2025. A área dos setores, em km², foi calculada a partir de mapas disponibilizados pelo IBGE. Para o cálculo de domicílios e moradores cobertos, considerou-se que a distribuição populacional é uniforme dentro de cada setor.

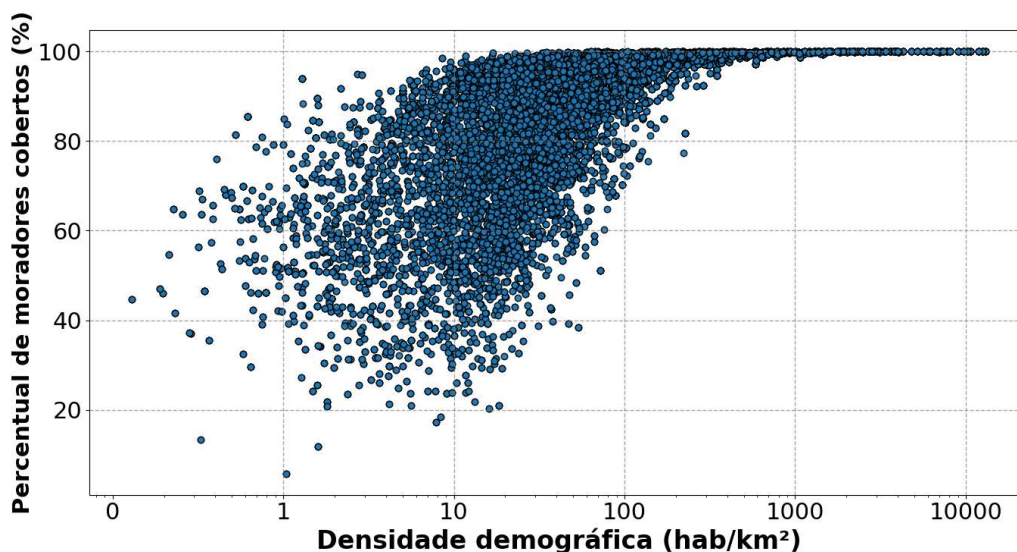


Figura 2: Percentual de moradores cobertos em relação à densidade demográfica do setor censitário

Observa-se que áreas com baixa densidade populacional apresentam uma ampla dispersão nos níveis de cobertura, com muitos municípios registrando valores inferiores a 60%. Em contrapartida, regiões mais densas tendem a apresentar altos índices de cobertura, muitas vezes próximos de 100%. Essa tendência mostra que a distribuição populacional influencia diretamente a atratividade econômica para a implantação de redes, gerando desigualdades no acesso.

De forma semelhante, a cobertura de sinal nas rodovias federais também é influenciada por fatores como a densidade populacional, a infraestrutura de telecomunicações, as características geográficas e da malha rodoviária de cada Unidade da Federação (UF). Embora a média nacional encontrada no Painel de Dados da Anatel indique que 50,3% da extensão das rodovias federais possuam cobertura 4G/5G, a Tabela 5 mostra como esse percentual varia entre os estados. O Distrito Federal - DF lidera o ranking de cobertura, com 90,1% das rodovias federais atendidas com sinal 4G/5G, seguido por São Paulo - SP (89,5%), Sergipe - SE (81,2%) e Rio de Janeiro - RJ (78,2%). O alto índice de cobertura nesses estados está fortemente atrelado à densidade populacional, pois com uma maior base de consumidores, cada estação rádio base se torna mais economicamente eficiente, o que impulsiona o interesse das operadoras na região. O alto fluxo de veículos nas rodovias também contribui para a priorização dessas áreas.

A Tabela 6 mostra a densidade demográfica de cada UF segundo o Censo de 2022 do IBGE⁶. Através dela pode-se observar que DF, SP, RJ e SE se encontram entre os cinco estados com maior densidade demográfica e também estão entre os cinco estados com maior cobertura de sinal 4G/5G em rodovias federais.

⁶INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/4714#resultado>> . Acesso em: 19 set. 2025.

Nº	Estado (Sigla)	Extensão coberta (%)
1	Distrito Federal (DF)	90.1
2	São Paulo (SP)	89.5
3	Sergipe (SE)	81.2
4	Rio de Janeiro (RJ)	78.2
5	Rio Grande do Norte (RN)	76.2
6	Paraíba (PB)	75.8
7	Paraná (PR)	74.4
8	Alagoas (AL)	72.1
9	Ceará (CE)	71.7
10	Santa Catarina (SC)	68.3
11	Espírito Santo (ES)	68.3
12	Pernambuco (PE)	63.8
13	Rio Grande do Sul (RS)	63.6
14	Minas Gerais (MG)	59.3
15	Goiás (GO)	50.7
16	Bahia (BA)	44.0
17	Piauí (PI)	43.5
18	Maranhão (MA)	43.2
19	Mato Grosso do Sul (MS)	37.3
20	Tocantins (TO)	33.6
21	Mato Grosso (MT)	32.7
22	Rondônia (RO)	26.2
23	Pará (PA)	21.6
24	Acre (AC)	18.9
25	Roraima (RR)	13.5
26	Amapá (AP)	11.7
27	Amazonas (AM)	5.1

Tabela 5: Cobertura de 4G/5G nas rodovias federais por UF (Fonte: Painel de Dados Anatel)

Nº	Estado (Sigla)	Densidade Demográfica (hab/km²)
1	Distrito Federal (DF)	489.06
2	Rio de Janeiro (RJ)	366.97
3	São Paulo (SP)	178.92
4	Alagoas (AL)	112.38
5	Sergipe (SE)	100.74
6	Pernambuco (PE)	92.37
7	Espírito Santo (ES)	83.21
8	Santa Catarina (SC)	79.5
9	Paraíba (PB)	70.39
10	Rio Grande do Norte (RN)	62.54
11	Ceará (CE)	59.07
12	Paraná (PR)	57.42
13	Rio Grande do Sul (RS)	38.63
14	Minas Gerais (MG)	35.02
15	Bahia (BA)	25.04
16	Goiás (GO)	20.74
17	Maranhão (MA)	20.56
18	Piauí (PI)	12.99
19	Mato Grosso do Sul (MS)	7.72
20	Rondônia (RO)	6.65
21	Pará (PA)	6.52
22	Tocantins (TO)	5.45
23	Amapá (AP)	5.15
24	Acre (AC)	5.06
25	Mato Grosso (MT)	4.05
26	Roraima (RR)	2.85
27	Amazonas (AM)	2.53

Tabela 6: Densidade demográfica por UF (Fonte: Censo IBGE 2022)

A Figura 3 apresenta um gráfico que ilustra ainda mais como o percentual das rodovias federais com cobertura de sinal 4G/5G está fortemente ligada à densidade populacional. Isso reforça a necessidade de políticas públicas para ampliar o acesso em regiões menos povoadas e melhorar a conectividade em estados com grandes distâncias rodoviárias.

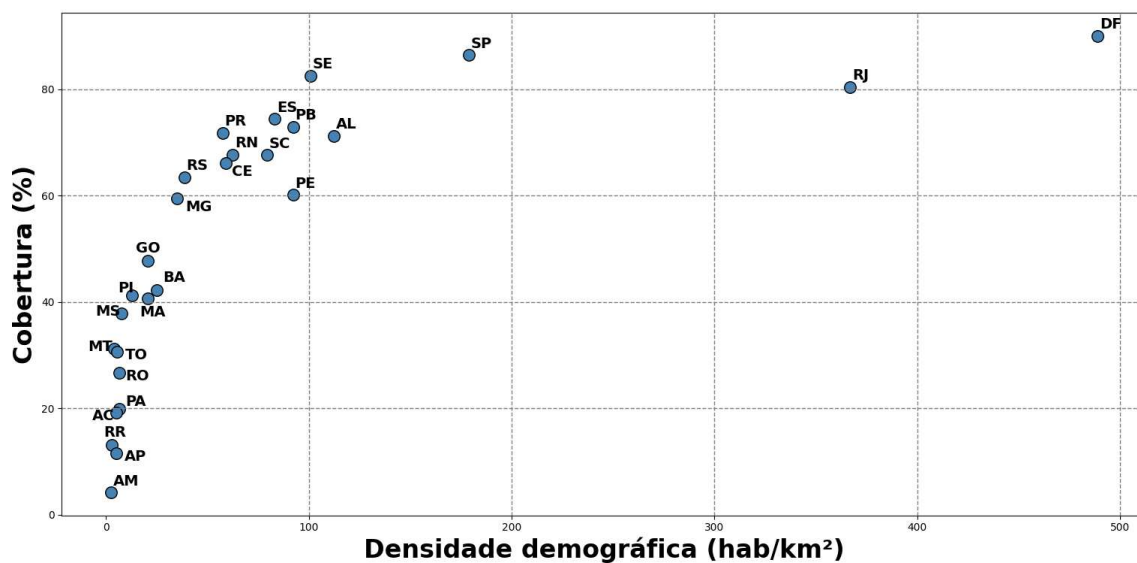


Figura 3: Relação entre densidade demográfica e cobertura de 4G/5G em rodovias federais (%) por UF.

A Região Nordeste possui uma taxa de cobertura 4G/5G nas rodovias federais que varia consideravelmente entre seus estados, com alguns se destacando positivamente, como Sergipe (81,2%), Rio Grande do Norte (76,2%) e Paraíba (75,8%), que apresentam os índices mais elevados da região (Figura 4). Esses estados se beneficiam de uma infraestrutura de telecomunicações mais avançada e de uma maior demanda por conectividade, impulsionada pela densidade populacional significativa em algumas áreas (Figura 5).

No entanto, a vasta extensão territorial da região, que inclui áreas remotas e com baixa densidade populacional, como o Piauí (16,7 hab/km²) e o Maranhão (19,5 hab/km²), que apresentam 43,5% e 43,2% de cobertura nas rodovias, respectivamente (Figuras 4 e 5). Ademais, os desafios geográficos e logísticos representam obstáculos significativos para a expansão da cobertura de sinal. Esses fatores resultam em uma distribuição desigual, com algumas rodovias federais, principalmente em áreas mais remotas, tendo acesso comprometido à cobertura 4G/5G. Portanto, apesar de alguns estados nordestinos apresentarem bons percentuais de cobertura em rodovias federais, a região como um todo enfrenta desafios importantes para garantir a conectividade em todo o território.

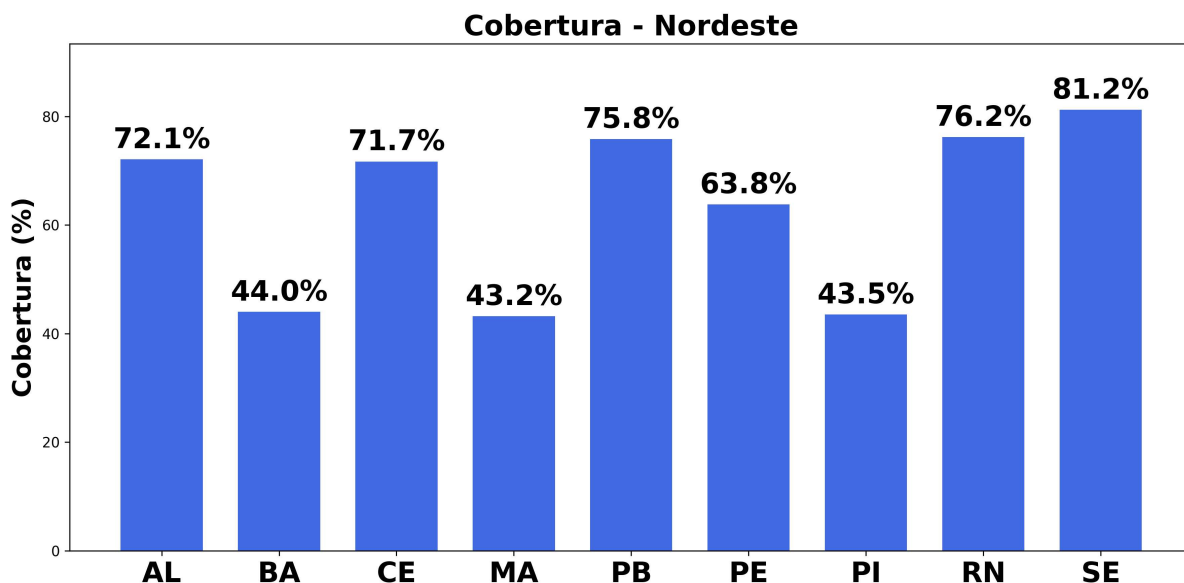


Figura 4: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Nordeste por UF

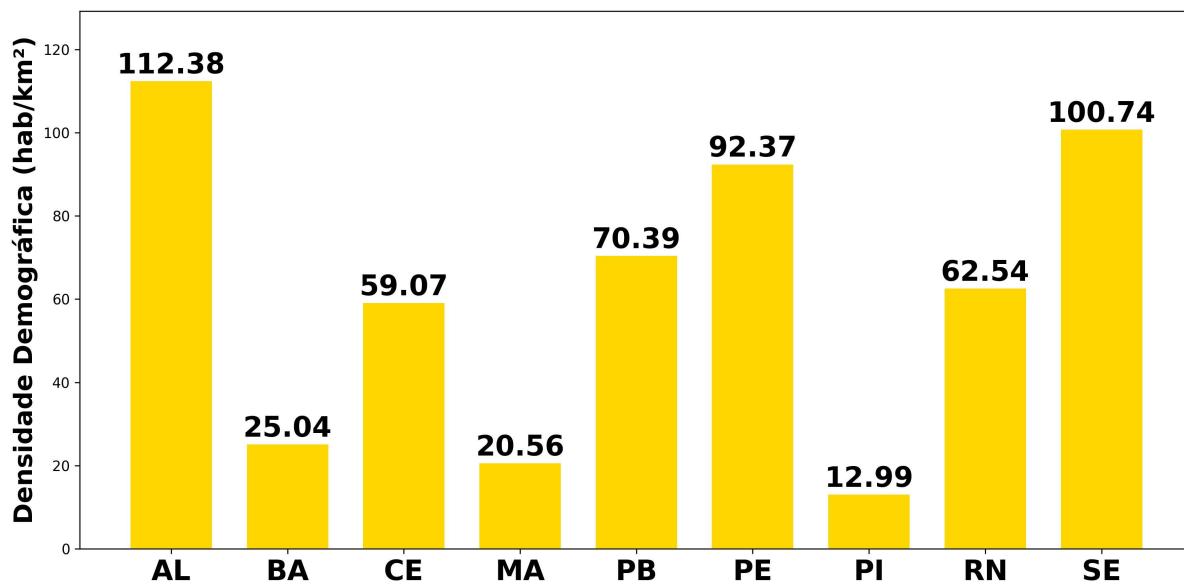


Figura 5: Densidade demográfica na Região Nordeste por UF

Nas rodovias federais da Região Centro-Oeste, a cobertura 4G/5G varia consideravelmente entre os estados. O Distrito Federal (DF) apresenta o índice mais alto da região, com 90,1% das rodovias cobertas, refletindo sua elevada densidade populacional de 489,06 hab/km² (Figura 7). Em contrapartida, os demais estados da região apresentam cobertura mais limitada: Mato Grosso do Sul (MS, 37,3%), Mato Grosso (MT, 32,7%) e Tocantins (TO, 33,6%) (Figura 6). A baixa densidade populacional desses estados — 7,72 hab/km² em MS, 4,05 hab/km² em MT e 5,45 hab/km² em TO — reduz a atratividade econômica para as operadoras instalarem estações rádio base, dificultando a expansão da cobertura de SMP.

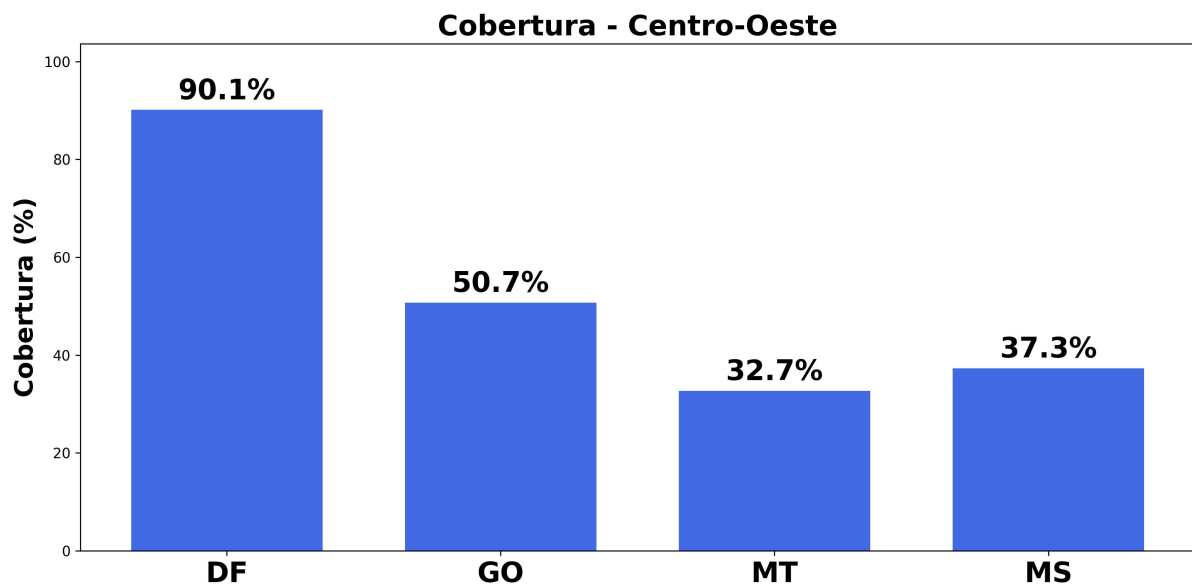


Figura 6: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Centro-Oeste por UF

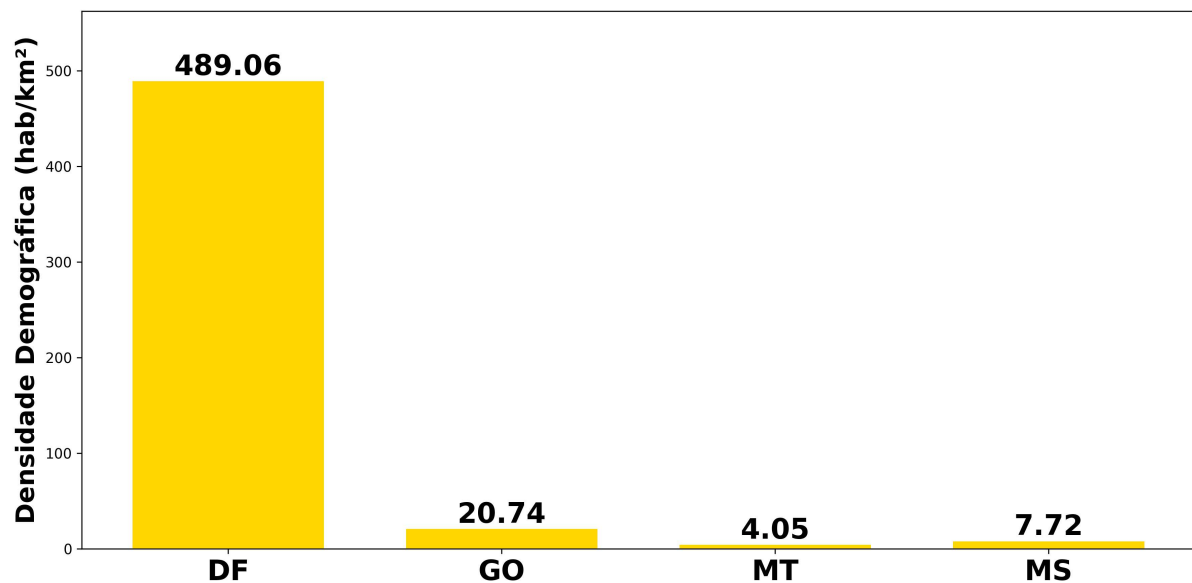


Figura 7: Densidade demográfica na Região Centro-Oeste por UF

Na Região Norte, a cobertura 4G/5G nas rodovias federais é bastante desigual e significativamente limitada, refletindo os desafios geográficos, logísticos e socioeconômicos da região. Estados como Amazonas - AM (4,2%), Roraima - RR (13,5%) e Amapá - AP (11,7%) apresentam os menores índices de cobertura do país. Em contraste, Tocantins - TO (33,6%) e Rondônia - RO (26,2%) registram os maiores percentuais da região, embora ainda abaixo da média nacional (Figura 8). A baixa densidade populacional contribui para a reduzida atratividade econômica para as operadoras: Amazonas - AM possui apenas 2,53 hab/km², Roraima - RR 2,85 hab/km², Amapá - AP 5,15 hab/km², Rondônia - RO 6,65 hab/km² e Tocantins -

TO 5,45 hab/km² (Figura 9). Com poucas pessoas atendidas por estação rádio base, o retorno financeiro do investimento torna-se limitado, desencorajando a expansão da infraestrutura. A limitada cobertura de sinal impacta também o desenvolvimento econômico e social da região, restringindo o acesso a serviços digitais, logística de transporte e outras soluções inteligentes.

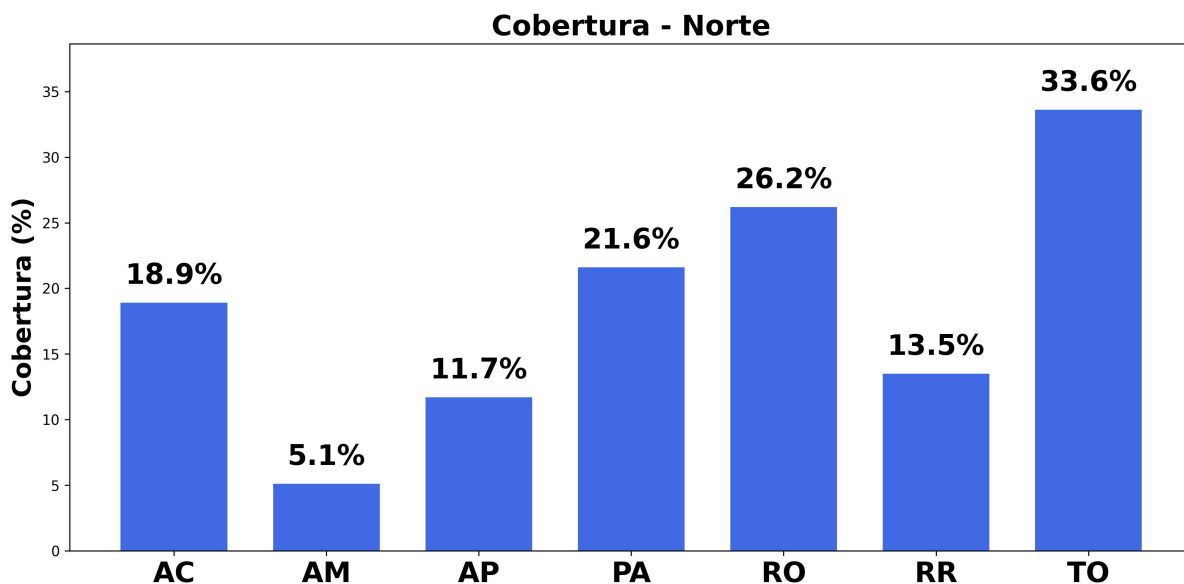


Figura 8: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Norte por UF

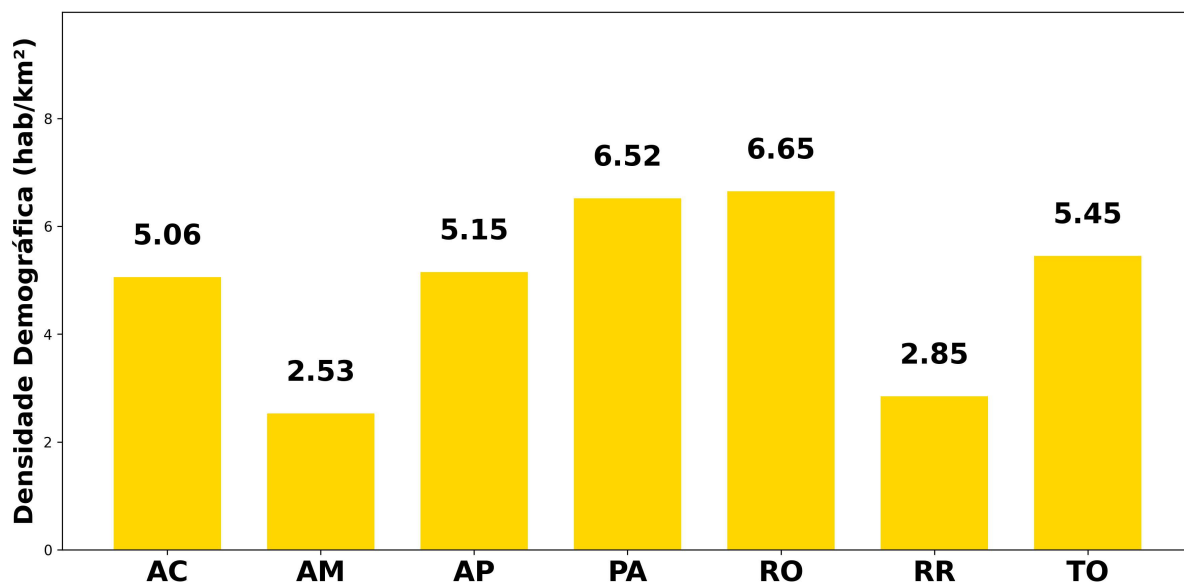


Figura 9: Densidade demográfica na Região Norte por UF

A Região Sudeste apresenta os maiores índices de cobertura 4G/5G nas rodovias federais do país. Esse cenário de cobertura nos estados São Paulo - SP (89,5%) e Rio de Janeiro - RJ (78,2%) é fortemente impulsionado pela alta densidade populacional, 178,92 hab/km² em SP e 366,97

hab/km² em RJ (Tabela 6), o desenvolvimento econômico e a alta urbanização dos estados. Todos estes fatores fazem a região ser bastante atrativa para as operadoras instalarem infraestruturas avançadas de telecomunicações para atender uma grande gama de usuários e obter um maior retorno econômico no investimento. A cobertura nas rodovias e a densidade populacional nos estados da região Sudeste são ilustradas na Figura 10 e na Figura 11, respectivamente.

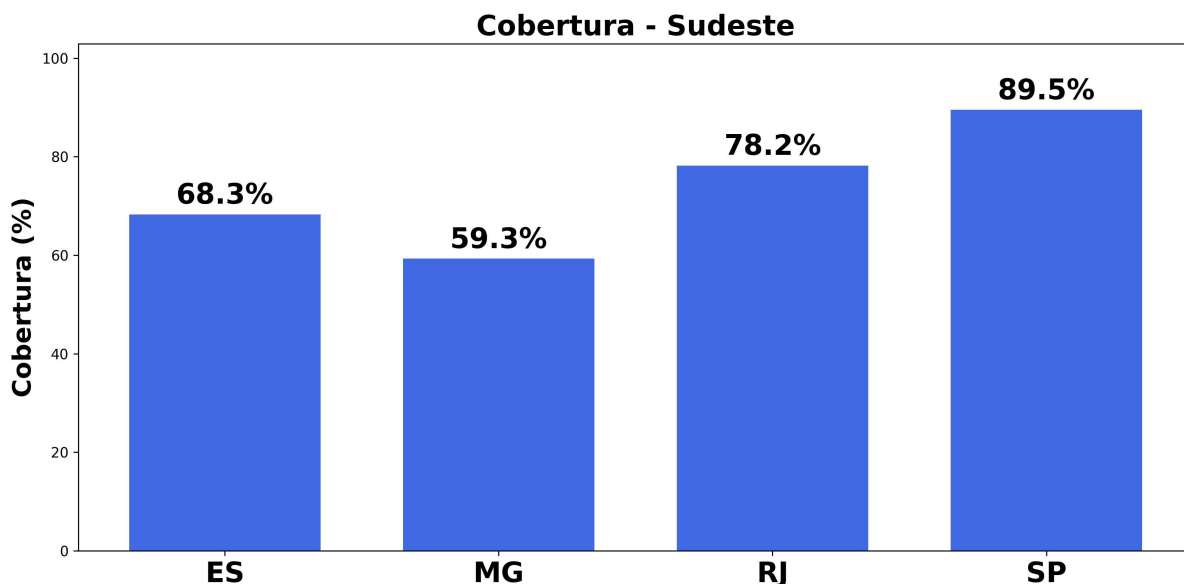


Figura 10: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Sudeste por UF

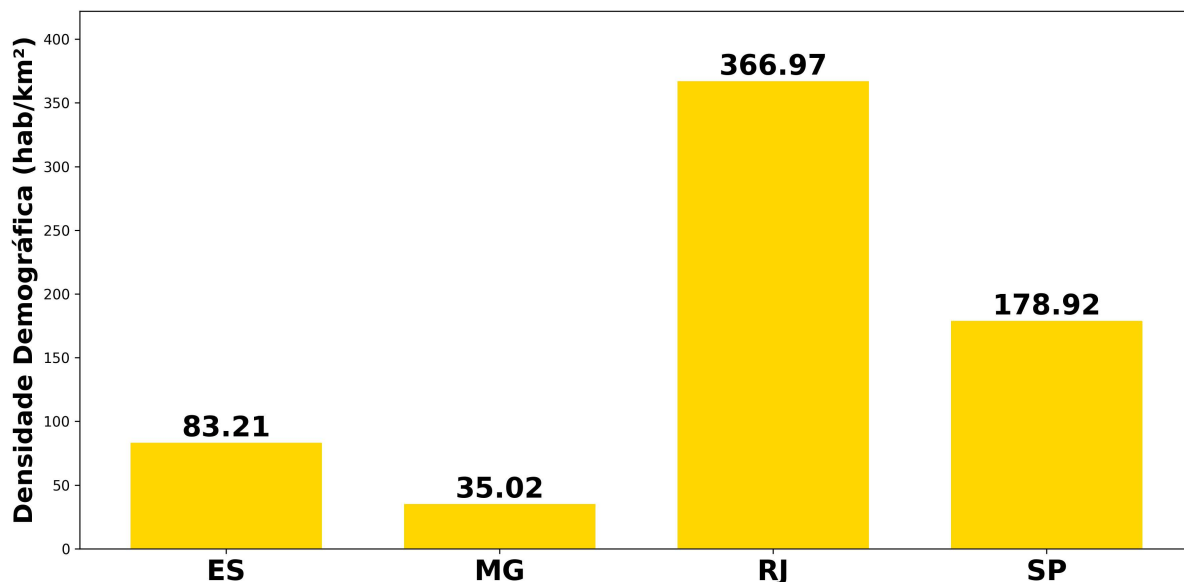


Figura 11: Densidade demográfica na Região Sudeste por UF

Finalmente, a Região Sul do Brasil apresenta uma boa cobertura 4G/5G nas rodovias federais, com estados como Paraná - PR (74,4%), Santa Catarina - SC (68,3%) e Rio Grande

do Sul - RS (63,6%) figurando entre os que possuem bons índices no país. A explicação para esses números pode ser atribuída a fatores como um alto nível de urbanização e uma densidade populacional significativa, como em Santa Catarina (79,5 hab/km²) (Tabela 6). Embora a cobertura seja considerável, ainda existem áreas rurais de difícil acesso e sem muito interesse econômico para as operadoras (dados de cobertura e densidade ilustrados nas Figuras 12 e 13).

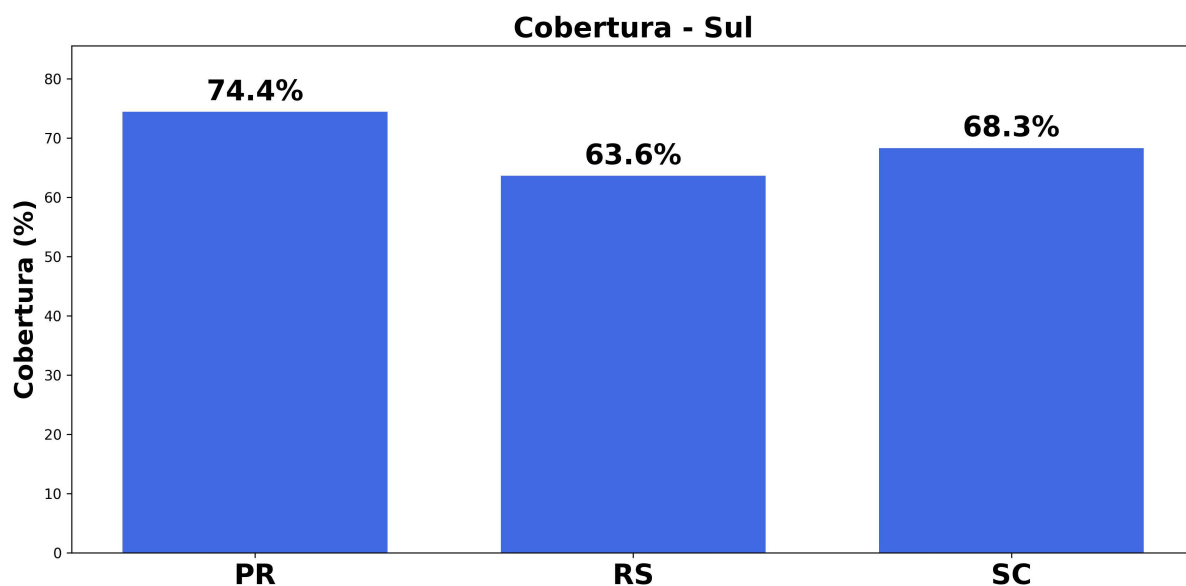


Figura 12: Cobertura 4G/5G nas rodovias federais da Região Sul por UF

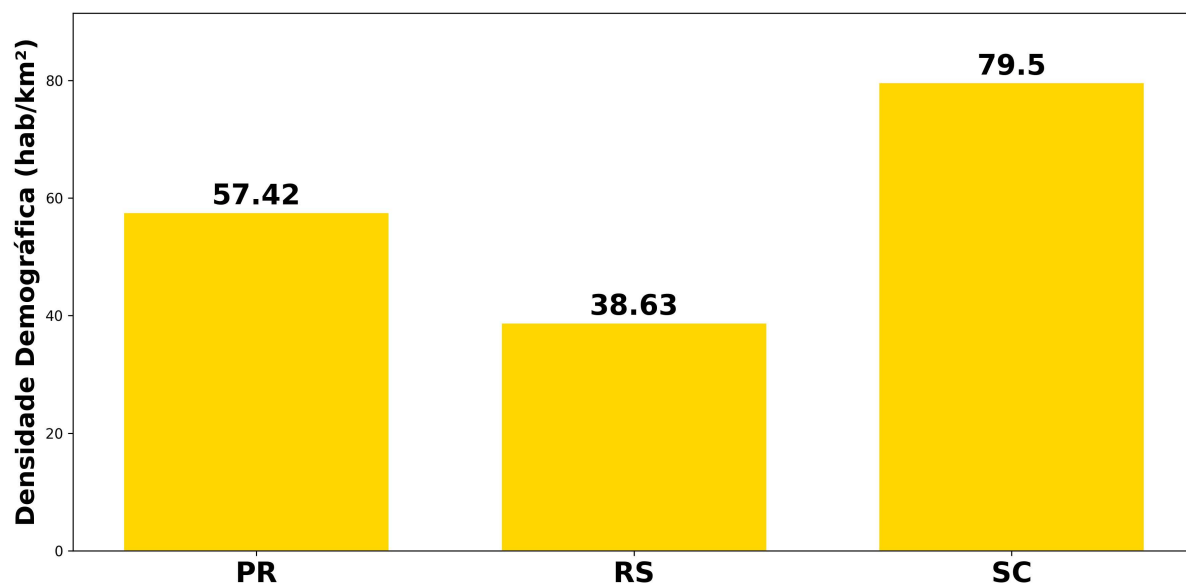


Figura 13: Densidade demográfica na Região Sul por UF

Considerando que o modelo de negócio das operadoras de telecomunicações é, majoritariamente, a prestação de serviços aos usuários e que, portanto, o lucro das operadoras está

diretamente associado ao número de usuários que eles atendem. Fica evidente a razão de vermos índices maiores de cobertura nas rodovias nos estados com maior densidade demográfica. O Distrito Federal, com a maior densidade demográfica, também lidera em cobertura de 4G/5G nas rodovias federais. Já estados com baixa densidade, como Amazonas e Roraima, possuem baixa cobertura, evidenciando que a falta de consumidores e a dificuldade logística contribuem para a falta de infraestrutura e atratividade do negócio.

A falta de cobertura de 4G/5G nas rodovias federais de estados menos populosos e mais afastados das grandes regiões metropolitanas gera um grande impacto no desenvolvimento das telecomunicações no Brasil. A inexistência de sinal em áreas remotas compromete a capacidade de resposta em emergências e dificulta o monitoramento das rodovias. A conectividade 4G/5G também oferece oportunidades para melhorar os serviços e a gestão de tráfego, além de contribuir para o desenvolvimento local, promovendo novas oportunidades econômicas e de negócios em regiões menos desenvolvidas.

Essa desigualdade na cobertura 4G/5G reforça a necessidade e importância de políticas públicas focadas na ampliação da infraestrutura de telecomunicações, especialmente em estados menos atendidos. A expansão da rede 4G, somada ao potencial do 5G, pode trazer melhorias significativas para essas regiões, garantindo maior segurança, conectividade e desenvolvimento econômico. O avanço da tecnologia deve ser um motor para a inclusão digital, beneficiando as populações que mais necessitam e impulsionando a melhoria da qualidade de vida em áreas isoladas.

4 Resultados e Discussões

4.1 Medições

A coleta de dados foi realizada por meio de um *Drive Test*, seguindo as normativas da Portaria Anatel nº 2521 [17], ao longo do contorno viário da rodovia BR-101 na Grande Florianópolis, com o objetivo de avaliar o desempenho das redes móveis. Durante o percurso, foram coletados dados essenciais sobre a cobertura de sinal, qualidade da rede, velocidade de transmissão e interferências que possam afetar o serviço. Este processo de fiscalização é fundamental para avaliar o comportamento das redes em condições reais de operação e em um cenário dinâmico.

Para realizar essas medições, foi utilizado o *scanner* Rohde & Schwarz TSME⁷, um equipamento especializado e de alta precisão projetado para medir parâmetros de cobertura de sinal em tempo real. Sua alta resolução temporal e capacidade de realizar medições simultâneas em diversas faixas de frequência garante que a coleta de dados seja contínua e sem interrupções, permitindo uma análise abrangente do desempenho da rede ao longo de todo o percurso.

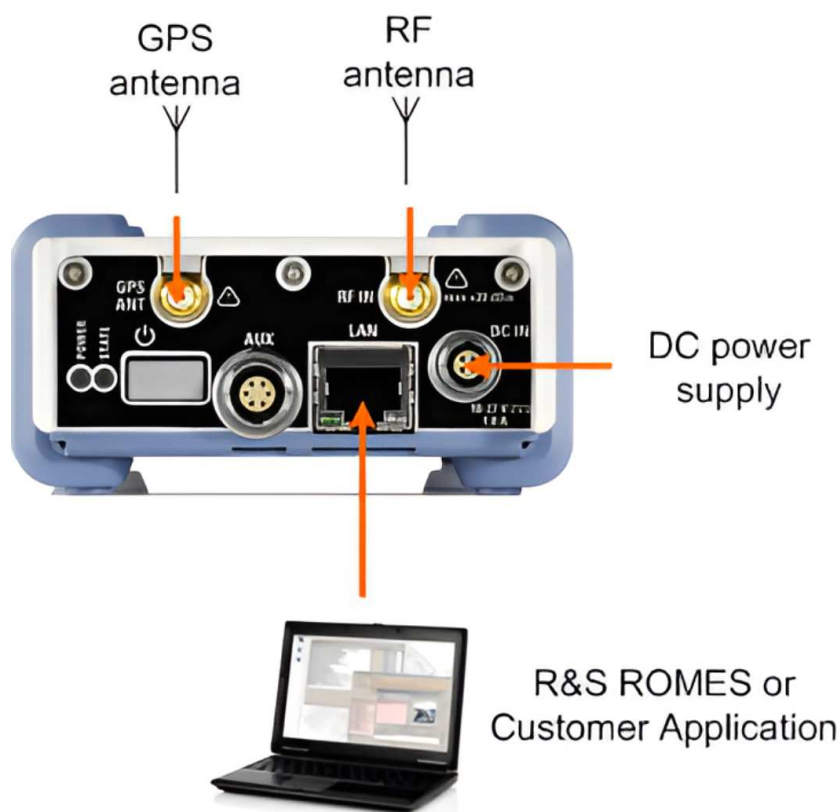


Figura 14: Imagem do Scanner TSME (Fonte: Rohde & Schwarz)

⁷ROHDE & SCHWARZ. Manual do usuário do scanner de drive test R&S TSME. Disponível em: https://www.rohde-schwarz.com/br/manual/manual-do-usuario-do-scanner-de-drive-test-r-s-tsme-manuais_78701-55041.html, Figura 14. Acesso em: 20 set. 2025.

Após a coleta, os dados obtidos pelo TSME foram processados e analisados por meio do software R&S ROMES, uma plataforma avançada desenvolvida pela Rohde & Schwarz para otimização e diagnóstico de redes móveis. O R&S ROMES oferece uma interface intuitiva para visualizar os dados coletados em tempo real.

Os dados brutos foram extraídos do equipamento no formato CSV. Para o tratamento e análise dessas informações, foi desenvolvido pelo autor um programa em Python ⁸, capaz de percorrer automaticamente todos os arquivos na pasta especificada, extrair apenas as colunas de interesse e realizar o pré-processamento necessário para as análises subsequentes.

4.2 Tratamento dos Dados

O programa primeiro lê os arquivos de medição e cria um *dataframe* com as seguintes colunas para a análise de cobertura: latitude, longitude, código da operadora (MNC - *Mobile Network Code*), número de canal que identifica a frequência central da portadora (EARFCN - *E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number*), potência do sinal de referência (RSRP - *Reference Signal Received Power*) e o identificador do setor da célula (PCI - *Physical Cell Identity*).

4.2.1 Agrupamento dos Dados

Com o *dataframe* estruturado, os dados são agregados com base na combinação das coordenadas geográficas (latitude e longitude), MNC, EARFCN e PCI. Essa agregação tem como objetivo identificar setores de células únicos, definidos pelo conjunto MNC, EARFCN, PCI, em cada ponto de medição. Para cada grupo resultante, foi calculado o valor médio do RSRP. Esse processo permite eliminar variações locais e ruídos instantâneos, consolidando as leituras em representações mais confiáveis da potência média recebida para cada setor.

4.2.2 Determinação do *Best Server* por Operadora

Após a agregação dos dados, o programa determina o *Best Server* para cada operadora em cada ponto de medição. O critério para isso é selecionar o setor de célula (identificado por sua combinação única de EARFCN e PCI) que fornece o maior valor médio de RSRP dentre todos os setores disponíveis pertencentes à mesma operadora (identificada por seu MNC).

O resultado dessa etapa é um novo conjunto de dados que, para cada operadora em cada ponto de medição, representa o melhor sinal disponível em termos de potência (RSRP), refletindo o cenário de cobertura ideal dentro dos limites dessa operadora.

⁸FERRAMENTA DE ANÁLISE DE COBERTURA DE SERVIÇO MÓVEL PESSOAL. Repositório GitHub do Autor. Disponível em: <https://github.com/dieguitos10/Ferramenta-de-An-lise-de-Cobertura-de-Servi-o-M-vel-Pessoal>. Acesso em: 25 set. 2025.

A Figura 15 mostra que em dois pontos específicos, quatro MNCs diferentes foram detectados. A combinação correspondente de EARFCN e PCI que ofereceu o melhor sinal naquele local para cada operadora é identificada.

Latitude	Longitude	MNC	EARFCN	PCI	RSRP_Medio
-27.685843	-48.686381	4	9410	341	-95.82
-27.685843	-48.686381	5	9610	28	-96.14
-27.685843	-48.686381	6	9510	17	-80.85
-27.685843	-48.686381	99	1500	256	-94.98
-27.685839	-48.686168	4	3150	395	-99.33
-27.685839	-48.686168	5	274	432	-89.73
-27.685839	-48.686168	6	9510	17	-79.85
-27.685839	-48.686168	99	1500	256	-101.14

Figura 15: Tabela com os dados de *Best Server* por operadora (MNC)

4.2.3 Integração do *RAN Sharing*

O *RAN Sharing* caracteriza-se como uma estratégia de cooperação entre operadoras de serviços de telecomunicações, na qual a infraestrutura da rede — ERBs, antenas e demais equipamentos — é compartilhada, visando à redução dos custos de capital e operacionais, bem como ao aumento da eficiência no uso dos recursos.

Para incluir o *RAN Sharing* na análise de cobertura, o programa considera os dados do MNC-99, que representa a rede compartilhada entre as operadoras de MNC-4 e MNC-6. Assim, para cada ponto atendido por uma dessas operadoras, também é verificada a disponibilidade de sinal proveniente da rede compartilhada.

O algoritmo realiza, separadamente, a comparação entre o valor de RSRP do *Best Server* da operadora (MNC-4 ou MNC-6) e o valor de RSRP do *Best Server* correspondente ao MNC-99 no mesmo local. O maior entre esses dois valores é então atribuído como *Best Server* final da operadora, seja ele proveniente de sua própria rede ou da infraestrutura compartilhada.

Dessa forma, o procedimento evidencia de maneira direta o ganho de cobertura proporcionado pelo *RAN Sharing*, oferecendo uma representação mais realista do desempenho de cada operadora.

4.2.4 Determinação do *Best Server* Geral

Após a identificação do *Best Server* de cada operadora (com *RAN Sharing* já considerado), o programa determina o *Best Server* Geral em cada ponto de medição. Esse processo consiste em comparar os valores finais de RSRP dos *Best Servers* de todas as operadoras presentes no ponto e selecionar aquele com o maior valor de potência recebida.

A Figura 15 ilustra dois pontos de medição, mostrando o *Best Server* de cada MNC detectado em cada um. No ponto destacado em vermelho (-27.685843, -48.686381), o *Best Server* Geral corresponde ao maior RSRP médio registrado, fornecido pelo MNC-6, com valor de -80,85 dBm. Para o ponto destacado em azul, o *Best Server* Geral também provém do mesmo emissor, desta vez com leitura de -79,85 dBm.

O resultado obtido representa a rede de melhor desempenho disponível para o usuário em cada ponto, independentemente da operadora, oferecendo uma visão consolidada da cobertura total ao longo do percurso medido.

4.3 Resultados Obtidos

A partir da identificação do *Best Server* Geral em cada ponto amostral ao longo da rodovia, foram elaborados mapas de cobertura e histogramas que possibilitam análises mais minuciosas da cobertura de sinal no trajeto percorrido. Essa metodologia permite a identificação de zonas de sombra e regiões críticas de cobertura, fornecendo subsídios para uma avaliação rigorosa da eficiência do serviço móvel pessoal na área estudada.

Para aferir a sensibilidade das medições e a robustez dos valores obtidos, foram adotados diferentes limiares de RSRP para definição da cobertura, gerando mapas e percentuais correspondentes a cada limiar. Essa abordagem possibilita analisar os efeitos das variações momentâneas do sinal, como o fenômeno de desvanecimento, sobre a detecção dos pontos cobertos. Como as medições são instantâneas, pontos inicialmente classificados como “descobertos” podem estar sujeitos a variações de sinal, dependendo do instante da amostragem, o que justifica a observação de aumentos consideráveis na cobertura ao ajustar o limiar de sensibilidade.

4.3.1 Resultados por Operadoras

A análise das Figuras 16 e 17 evidencia que os sinais da operadora identificada pelo MNC 29 apresentam níveis de potência bastante reduzidos. O histograma mostra que a maioria dos valores de RSRP está concentrada na faixa entre -130 dBm e -140 dBm, caracterizando uma cobertura extremamente limitada. O mapa gerado destaca visualmente a distribuição da cobertura: os pontos em azul representam locais onde o sinal excede o limiar mínimo de cobertura ($\text{RSRP} \geq -90$ dBm), enquanto os pontos em vermelho correspondem a locais sem cobertura adequada ($\text{RSRP} \leq -90$ dBm). A fraca intensidade do sinal observado decorre da localização da ERB em Tijucas - SC, situada a mais de 10 km do trecho em análise. É provável que essa estação tenha sido projetada prioritariamente para atender à área urbana de Tijucas, e não para prover cobertura ao longo da rodovia.

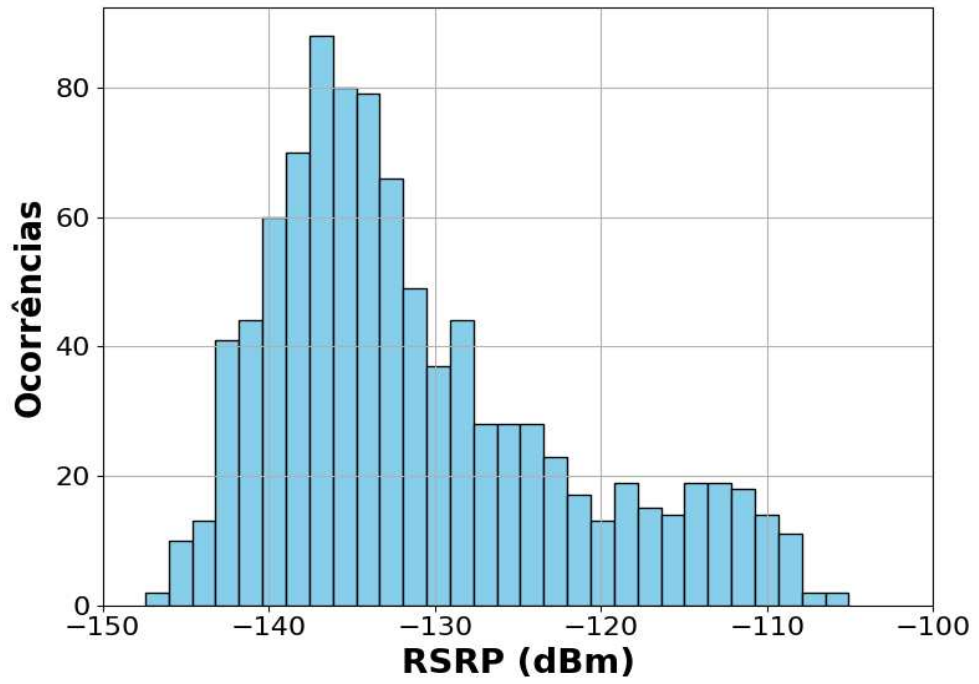


Figura 16: Distribuição do nível de RSRP do *Best Server* (MNC 29)

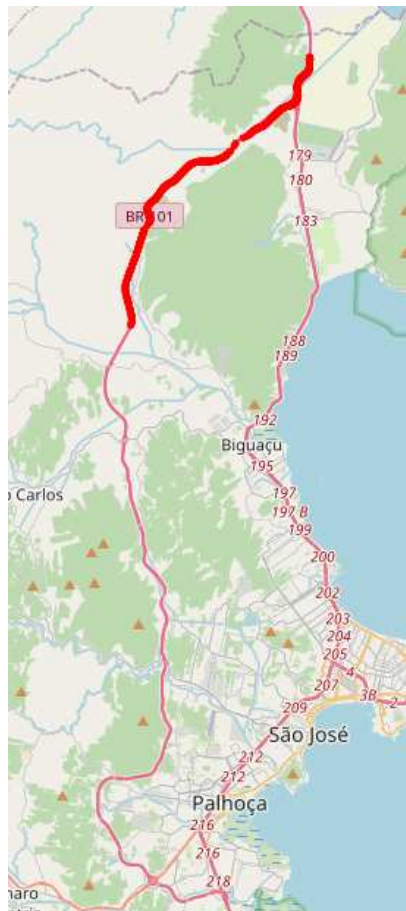


Figura 17: Mapa de cobertura de SMP (MNC 29)

A operadora MNC 4, Figuras 18 e 19, apresentou sinais que ficaram majoritariamente concentrados entre -90 dBm e -120 dBm. A cobertura ao longo do trajeto foi de 19,05%, com 913 pontos cobertos em um total de 4792 detectados.

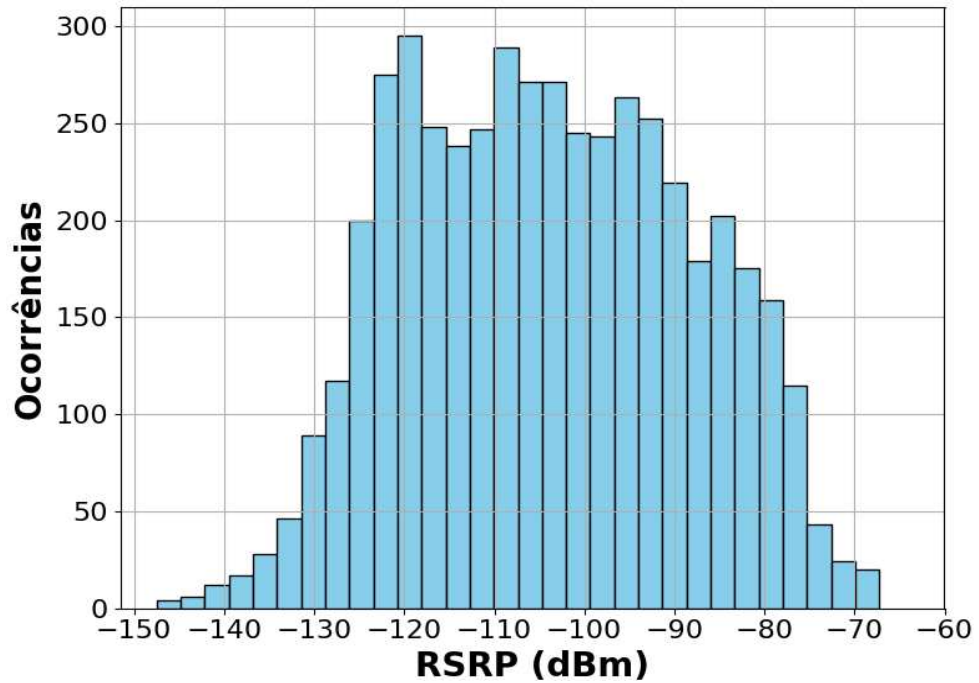


Figura 18: Distribuição do nível de RSRP do *Best Server* (MNC 4)



Figura 19: Mapa de cobertura de SMP (MNC 4)

A operadora MNC 5, Figuras 20 e 21, apresentou uma concentração de valores entre -120 dBm e -100 dBm. Ao longo do trecho de medição a operadora registrou 22,69% dos pontos com cobertura, com 1056 pontos com sinal adequado dentre 4654 medições detectadas.

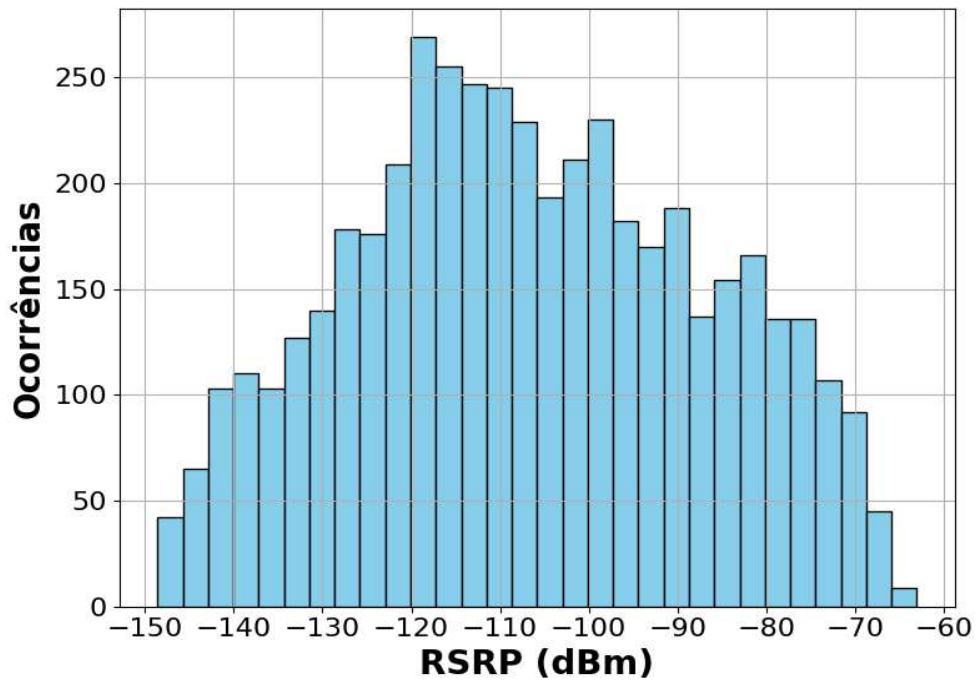


Figura 20: Distribuição do nível de RSRP do *Best Server* (MNC 5)



Figura 21: Mapa de cobertura de SMP (MNC 5)

A operadora MNC 6, Figuras 22 e 23, apresentou uma distribuição com maior concentração de valores entre -120 dBm e -90 dBm, com seu pico de ocorrências em torno de -100 dBm. Atingindo 17,73% de cobertura, com 820 pontos atendidos de um total de 4624 pontos de medições.

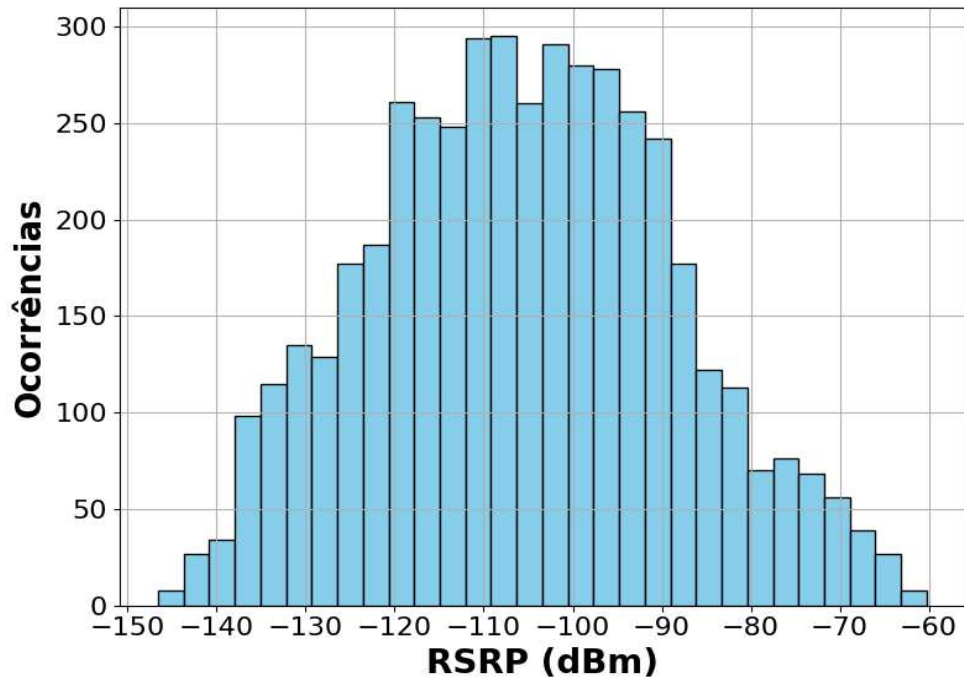


Figura 22: Distribuição do nível de RSRP do *Best Server* (MNC 6)

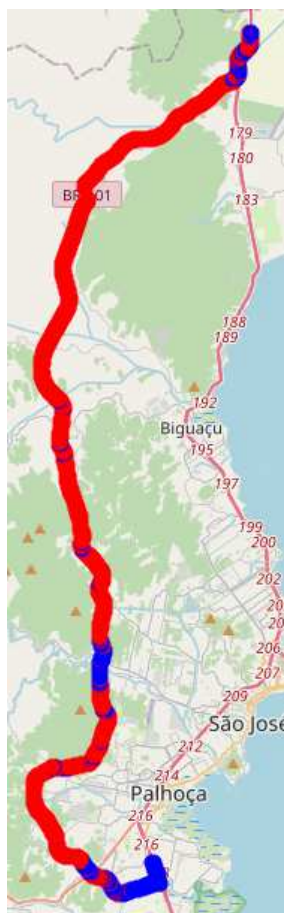


Figura 23: Mapa de cobertura de SMP (MNC 6)

4.3.2 Efeito do *RAN Sharing*

A Tabela 7 apresenta o impacto do *RAN Sharing*, identificado pelo MNC 99, sobre a cobertura das operadoras MNC 4 e MNC 6. Observa-se um aumento pequeno no percentual de pontos cobertos para ambas as operadoras com o compartilhamento da infraestrutura de rede.

Tabela 7: Incremento de cobertura com *RAN Sharing* (MNC 99)

Operadora	Percentual Antes	Percentual Depois
MNC 4	19,05%	21,58%
MNC 6	17,73%	18,01%

4.3.3 Resultados *Best Server* Geral

Analisando apenas os pontos de *Best Server* geral da rodovia, Figuras 24 e 25, pode-se notar que o pico de ocorrências está em torno de -90 dBm e que existe um maior número de sinais dentro do limiar de cobertura da Anatel para redes 4G e 5G, atingindo 38.13% de pontos cobertos.

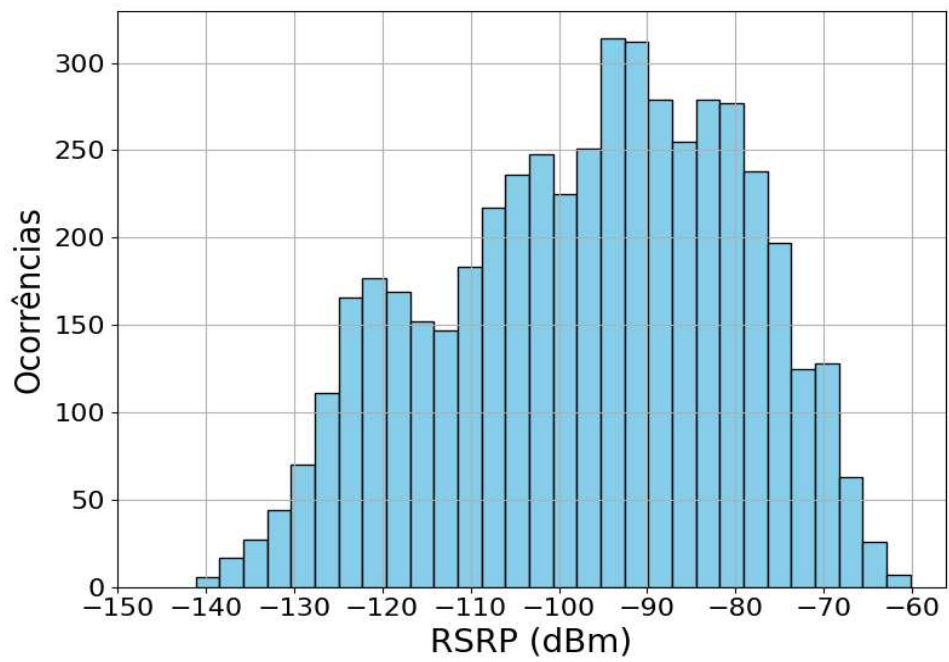


Figura 24: Distribuição do nível de RSRP do *Best Server* geral

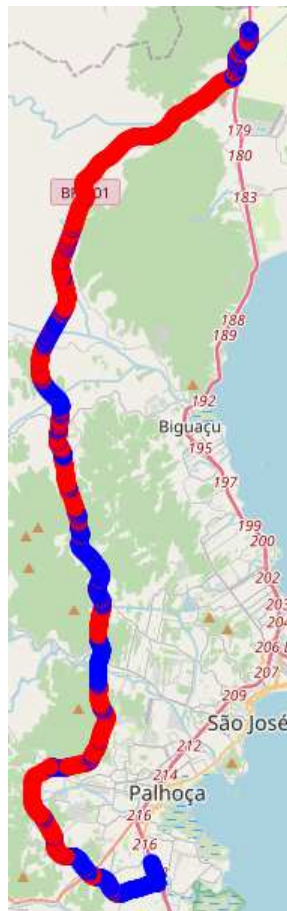


Figura 25: Mapa de cobertura de SMP *Best Server* Geral (limiar -90 dBm)

Naturalmente vai haver um aumento progressivo da taxa de cobertura à medida que o limiar de sensibilidade do sinal se tornar menos restritivo. As Tabelas 10 e 11 apresentam o percentual de cobertura e a quantidades de pontos cobertos para as operadoras MNC 4, MNC 5, MNC 6, MNC 29, além do *Best Server* Geral, em função de diferentes limiares de RSRP mínimo para cobertura. Ao ampliar o limiar de -90 dBm para -91 dBm, são incluídos 122 novos pontos como cobertos, representando um acréscimo de 2,47% na cobertura total. Já ao considerar o limiar de -92 dBm, o número de pontos cobertos aumenta em 233 unidades em relação ao limiar de -90 dBm, correspondendo a um acréscimo percentual de aproximadamente 4,71%. Ao ampliar o limiar para -93 dBm, observa-se a inclusão de 350 novos pontos como cobertos, representando um acréscimo de aproximadamente 7,08% na cobertura total. Esse aumento indica que uma parcela significativa dos pontos se encontra em uma faixa de sinal entre -90 e -93 dBm. De forma ainda mais expressiva, ao adotar o limiar de -96 dBm, 686 novos pontos são adicionados em relação ao limiar de -90 dBm, o que corresponde a um acréscimo de 13,87% na cobertura total. À medida que o limiar é reduzido para -100 dBm e -110 dBm, as coberturas sobem significativamente. O *Best Server* alcança 59,08% e 76,24% de pontos cobertos, respectivamente.

Destaca-se que o MNC 29 mantém cobertura praticamente nula em todos os limiares, sugerindo limitações na infraestrutura ou menor densidade de células na região avaliada, enquanto o MNC 99 apresenta incremento relevante na cobertura para limiares mais altos, chegando a 35,41% em -110 dBm.

Em síntese, a análise ressalta a importância de considerar o efeito do desvanecimento e a sensibilidade do receptor na avaliação da cobertura, pois variações momentâneas do sinal podem influenciar os resultados das medições e, conseqüentemente, a percepção da qualidade do serviço móvel. À medida que o limiar de cobertura mínimo é ampliado, observa-se um aumento significativo na cobertura. Considerando o *Best Server*, a cobertura sobe de 45,21%, em -93 dBm, e para 52,00%, em -96 dBm. Quando o limiar é estendido para -100 dBm e -110 dBm, esse crescimento se acentua ainda mais, atingindo 59,08% e 76,24% de cobertura, respectivamente.

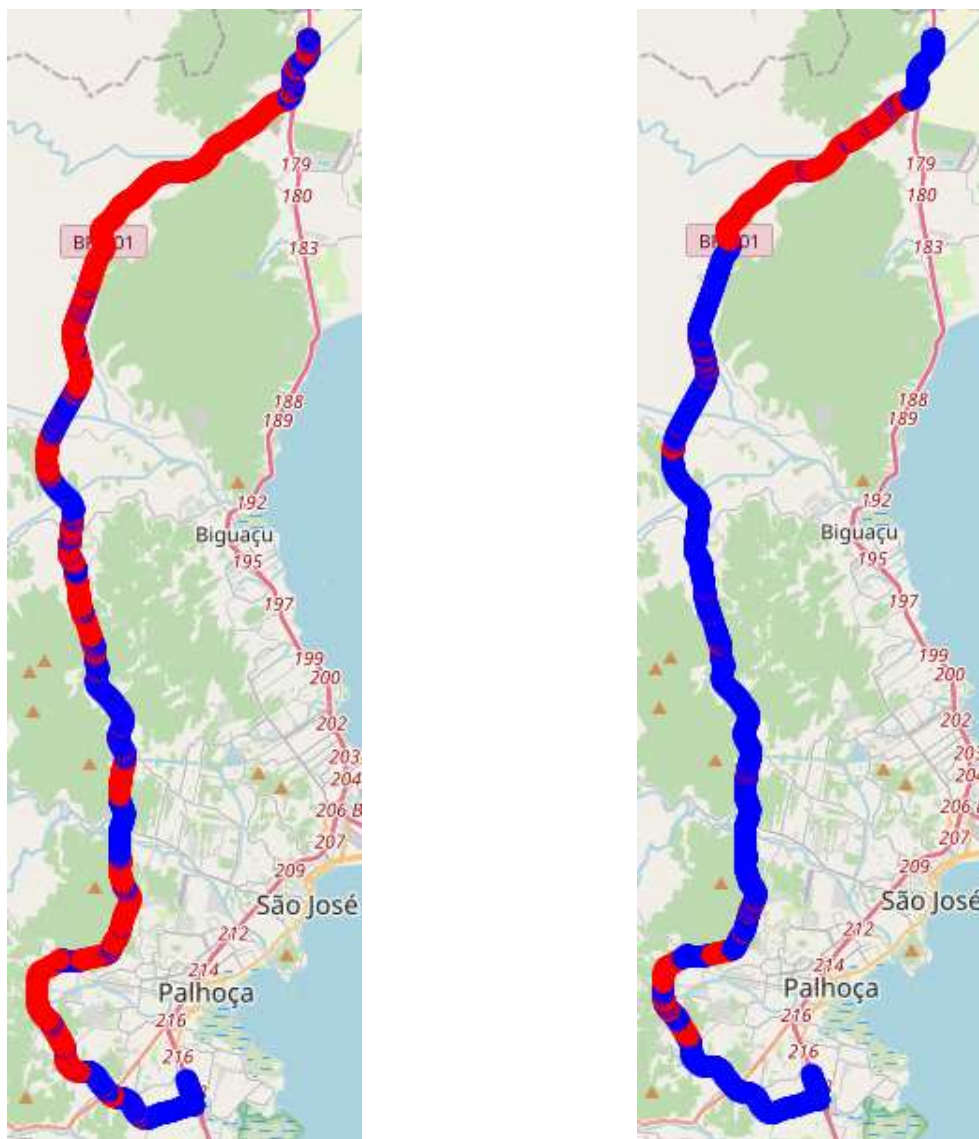
Como mostrado nas Figuras 26a e 26b, observa-se a diferença de cobertura em função do limiar de RSRP adotado. Vale destacar, que o limiar de -110 dBm era utilizado como referência regulatória para a caracterização de área com cobertura até setembro de 2024, de acordo com o Painel de Dados da Anatel. Mesmo com esse limiar mais permissivo, a cobertura atinge 76,24%.

Limiar (dBm)	MNC 4	MNC 5	MNC 6	MNC 29	<i>Best Server Geral</i>
-90	19.05%	22.69%	17.73%	0.00%	38.13%
-91	20.87%	24.32%	19.49%	0.00%	40.60%
-92	22.56%	25.66%	21.47%	0.00%	42.84%
-93	24.48%	26.94%	23.23%	0.00%	45.21%
-96	30.78%	30.90%	28.63%	0.00%	52.00%
-100	38.00%	37.39%	35.16%	0.00%	59.08%
-110	56.41%	53.50%	53.59%	2.20%	76.24%

Tabela 8: Percentual de cobertura por operadora e *Best Server* por limiar de RSRP

Limiar (dBm)	MNC 4	MNC 5	MNC 6	MNC 29	Best Server
-90	913 / 4792	1056 / 4654	820 / 4624	0 / 953	1886 / 4946
-91	1000 / 4792	1132 / 4654	901 / 4624	0 / 953	2008 / 4946
-92	1081 / 4792	1194 / 4654	993 / 4624	0 / 953	2119 / 4946
-93	1173 / 4792	1254 / 4654	1074 / 4624	0 / 953	2236 / 4946
-96	1475 / 4792	1438 / 4654	1324 / 4624	0 / 953	2572 / 4946
-100	1821 / 4792	1740 / 4654	1626 / 4624	0 / 953	2922 / 4946
-110	2703 / 4792	2490 / 4654	2478 / 4624	21 / 953	3771 / 4946

Tabela 9: Pontos com cobertura por operadora e *Best Server* em diferentes limiares de RSRP



(a) *Best Server* Geral com limiar de -90 dBm

(b) *Best Server* Geral com limiar de -110 dBm

Figura 26: Comparação entre os mapas de cobertura considerando diferentes limiares de RSRP

4.3.4 Comparação com a Predição da Anatel

Os dados obtidos por meio das medições em campo evidenciam diferenças substanciais em relação à estimativa de cobertura fornecida pela Anatel (Figura 27). Utilizando o critério do *Best Server* com limiar atual de $RSRP \leq -90$ dBm, o percentual de pontos cobertos foi de 38,13%. Com a adoção de limiares mais permissivos, observa-se um incremento gradual na cobertura: 45,21% para -93 dBm, 52,00% para -96 dBm, 59,08% para -100 dBm e 76,24% para -110 dBm.

Apenas ao aumentar limiar de cobertura para -110 dBm os percentuais obtidos de cobertura começaram a se igualar às predições do Painel de Dados da Anatel⁹, que indica 81,3% de

⁹AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Painel de Dados: Infraestrutura. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/cobertura-movel-nas-rodovias>. Acesso em: 19 set. 2025.

cobertura 4G/5G para o mesmo trecho de rodovia.

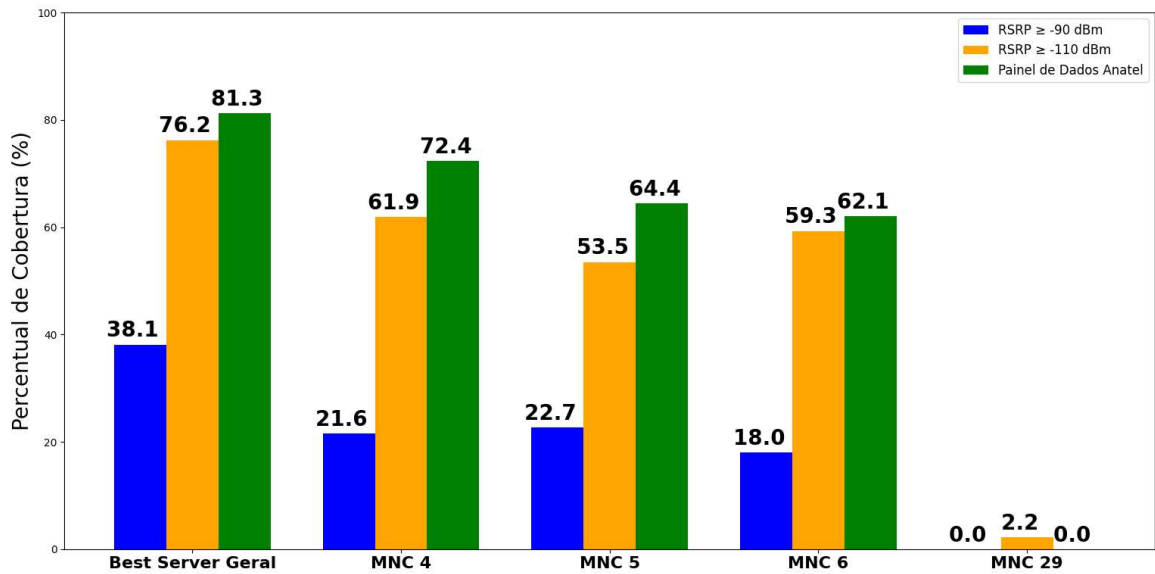


Figura 27: Comparativo de dados de cobertura do trecho analisado

Esse desvio sugere que, embora os modelos preditivos forneçam uma estimativa geral da cobertura, a metodologia utilizada pela Anatel pode superestimar os valores. A análise evidencia, portanto, que a predição teórica tende a apresentar valores superiores aos obtidos em medições práticas, sendo importante considerar essas limitações ao comparar dados de campo com as estimativas oficiais.

5 Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivos principais discutir sobre o estado atual da cobertura de SMP nas rodovias brasileiras com dados da Anatel e analisar a cobertura de sinal no trecho do contorno viário de Florianópolis da rodovia BR-101.

A partir da coleta e processamento de dados provenientes de medições reais, as análises permitiram observar que a cobertura não é uniforme ao longo do território analisado, apresentando variações significativas entre operadoras, frequências e setores. O trecho analisado compreende áreas com diferentes características, em áreas urbanas, o sinal tende a ser mais estável e intenso, com valores médios de RSRP acima de -90 dBm. Já em trechos mais afastados ou rurais, observou-se uma queda significativa na qualidade do sinal, com diversas amostras seguidas completamente sem cobertura.

Essa discrepância demonstra a desigualdade na implantação de infraestrutura de rede por parte das operadoras, afetando diretamente a experiência do usuário final em mobilidade. Muitos dos sinais captados durante o *drive test* são de estações radio base instaladas com o objetivo principal de atender à demanda das áreas urbanas adjacentes. Nessas situações, a presença de cobertura ao longo da rodovia ocorre de forma colateral, resultando em uma mancha de sinal que atinge o trecho rodoviário de maneira secundária, sem que haja, necessariamente, uma infraestrutura dedicada à cobertura da via.

Por fim, os resultados demonstram que o acesso ao serviço móvel ao longo deste trecho da BR-101 ainda é desigual e diverge significativamente das previsões apresentadas pelos modelos de cobertura da Anatel. O estudo reforça a necessidade de políticas públicas que incentivem a expansão da infraestrutura em regiões remotas, com o objetivo de promover a inclusão digital e garantir o direito à comunicação em todo o território nacional. Além disso, destaca-se a importância da adoção de métodos de predição que se aproximam da realidade observada em campo, de modo a permitir uma verificação mais precisa do cumprimento dos compromissos de abrangência assumidos pelas operadoras.

Referências

- 1 BRASIL. **Lei Geral de Telecomunicações (LGT) – Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997**. Estabelece o regime de prestação dos serviços de telecomunicações e as bases para a atuação da Anatel. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 17 jul. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm. Acesso em: 3 jun. 2025.
- 2 BRASIL. **Lei nº 9.998, de 17 de agosto de 2000**. Institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST). Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/leis/472-lei-9998>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- 3 BRASIL. **Lei nº 13.879, de 3 de outubro de 2019**. Altera a Lei Geral de Telecomunicações (Lei nº 9.472/1997) e dispõe sobre a adaptação das concessões de STFC. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13879.htm. Acesso em: 7 nov. 2025.
- 4 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 477, de 7 de agosto de 2007**. Dispõe sobre as regras para prestação do Serviço Móvel Pessoal (SMP). Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2007/9-resolucao-477>. Acesso em: 7 abr. 2025.
- 5 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 73, de 25 de novembro de 1998**. Aprova o Regulamento dos Serviços de Telecomunicações. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/1998/34-resolucao-73>. Acesso em: 7 abr. 2025.
- 6 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 612, de 29 de abril de 2013**. Aprova o Regimento Interno da Anatel. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/450-resolucao-612>. Acesso em: 3 mai. 2025.
- 7 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 614, de 29 de abril de 2013**. Dispõe sobre a regulamentação da banda larga fixa. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/465-resolucao-614/>. Acesso em: 5 mai. 2025.
- 8 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 671, de 3 de novembro de 2016**. Aprova o Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2016/911-resolucao-671>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- 9 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Resolução nº 772, de 16 de janeiro de 2025**. Aprova o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de

Frequências no Brasil – PDF. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2025/2001-resolucao-772>). Acesso em: 6 ago. 2025.

10 BRASIL. MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Portaria MCOM nº 18.902, de 10 de julho de 2025**. Estabelece diretrizes para o certame licitatório das subfaixas de radiofrequências de 708 MHz a 718 MHz e de 763 MHz a 773 MHz. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 jul. 2025. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcom-n-18-902-de-10-de-julho-de-2025-641599998>). Acesso em: 7 ago. 2025.

11 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Compromissos do Leilão do 5G**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/universalizacao/compromissos-do-leilao-do-5g>). Acesso em: 31 jan. 2025.

12 BRASIL. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Instrução Normativa nº 81, de 20 de junho de 2018**. Dispõe sobre regras e diretrizes para análise e acompanhamento, pelo TCU, dos processos de desestatização, parcerias público-privadas e concessões. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 21 jun. 2018. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/documento/norma/*/KEY%253ANORMA-20796/score%2520desc/0). Acesso em: 20 set. 2025.

13 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares da Amostra**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9129-censo-demografico-2022.html>). Acesso em: 12 fev. 2025.

14 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Recommendation ITU-R P.1812-7 - A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6 GHz**. Geneva, 2023. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-7-202308-I!!PDF-E.pdf). Acesso em: 31 jan. 2025.

15 INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Recommendation ITU-R P.1144-12 - Guide to the application of the propagation methods of Radiocommunication Study Group 3**. Geneva, 2023. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-7-202308-I!!PDF-E.pdf). Acesso em: 31 jan. 2025.

16 THOMAS, M. **Optical Propagation in Linear Media: Atmospheric Gases and Particles, Solid-State Components, and Water**. Disponível em: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/68068/1/224.pdf.pdf>). Acesso em: 13 mar. 2025.

17 AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). **Portaria nº 2521, de 21 de dezembro de 2022**. Aprova a Instrução de Fiscalização da metodologia de medição a ser adotada na coleta e no tratamento de dados obtidos por método de *drive test* do Serviço Móvel

Pessoal (SMP), em atendimento aos Requisitos Metrológicos Regulatórios (RMR). Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/instrucoes-de-fiscalizacao/1824-port-2521>. Acesso em: 10 set. 2025.