

Uso de satélites para complementar a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres: análise das potencialidades tecnológicas e econômicas

Rodrigo C. Gebrim e Jorge M. Nogueira

Resumo— Neste artigo, analisam-se os potenciais tecnológicos e econômicos do uso de satélites para complementar a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres. Após o contexto histórico do desenvolvimento da padronização internacional das redes não-terrestres, são avaliados possíveis cenários de crescimento da base de clientes das operadoras com o aumento da cobertura. Foi possível observar que, em um cenário ótimo, o esperado aumento da base de clientes é substancial, justificando os investimentos na tecnologia. Estudos complementares são necessários para abordar estes cenários de maneira mais abrangente.

Palavras-Chave— Redes Não-Terrestres, Satélites, Telecomunicações.

Abstract— Technological and economic potentials of the use of satellites to complement the coverage of terrestrial mobile telecommunications networks are analyzed in this paper document. After the historical context of the development of the international standardization of non-terrestrial networks, possible scenarios of growth of the operators' customer base with the increase in coverage are evaluated. It was possible to observe that, in an optimal scenario, the expected increase in the customer base is substantial, justifying the investments in the technology. Further studies are needed to address these scenarios in a more complete manner.

Keywords— Non-Terrestrial Networks, Satellites, Telecommunications.

I. INTRODUÇÃO

O setor espacial está passando por uma transição significativa em termos de mudanças de inovação, demanda, concorrência, estrutura industrial e relacionamento público-privado, o que o torna ainda mais relevante e atrativo para os negócios atuais. O rápido avanço das tecnologias está impulsionando este grande crescimento da indústria espacial, o que possibilita a entrada de novos concorrentes em um mercado que, há pouco tempo, era difícil de se acessar [1].

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, em seu estudo sobre como o espaço contribui para as economias globais [2], confirma essa visão de transição e maior atratividade, destacando que, embora os governos sejam historicamente os principais investidores em atividades espaciais, por meio de mecanismos de compras e subsídios para órgãos públicos e institutos de pesquisa e ensino, o cenário global para estas atividades evoluiu, com o aumento

de financiamento privado de projetos comerciais e com fluxos de capital privado nunca antes registrados.

Apesar das incertezas e dos desafios existentes, os cenários atuais mostram que uma abordagem colaborativa tem o potencial de promover um crescimento contínuo em direção a um ecossistema autossustentável no ambiente espacial. Com o apoio de investimentos públicos e privados adequados, os atores deste setor e de setores correlacionados podem desenvolver modelos complementares para aproveitar as oportunidades de receita a curto, médio e longo prazos. Essa integração pode beneficiar não só os entes públicos e privados diretamente envolvidos, mas a população como um todo, pois os satélites desempenham um papel vital no aprimoramento da cobertura em locais com pouca ou nenhuma oferta de conectividade. Em tal cenário, eles podem auxiliar no desenvolvimento digital, social e econômico do local e da comunidade abarcada.

Em um contexto de evolução, atratividade e maior leque de possibilidades decorrentes do crescente desenvolvimento do setor espacial, este artigo apresenta uma análise tecnológica e econômica em relação ao uso de satélites para complementar e expandir a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres. Essas avaliações servem de base para um maior aprofundamento futuro no tema, considerando todos os potenciais benefícios esperados com o uso desta tecnologia.

Em complemento a esta Introdução, o texto é composto por outras três partes. Na Seção II é apresentado um contexto histórico internacional, abarcando desde o início dos estudos até o desenvolvimento dos primeiros padrões para uso das redes não-terrestres para complementar as redes de telecomunicações móveis terrestres. Na Seção III é demonstrado o cenário atual relativo aos acessos de telefonia móvel no Brasil, bem como uma simulação dos possíveis cenários medianos e ótimos, com os respectivos resultados dessas análises. Por fim, na Seção IV, são apresentadas as conclusões e direcionamentos para futuro desenvolvimento de pesquisas sobre o tema.

II. O CONTEXTO HISTÓRICO E A PADRONIZAÇÃO PARA USO DAS REDES NÃO-TERRESTRES

A previsão do uso de satélites para complementar a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres existe há décadas, desde que os primeiros *frameworks* para desenvolvimento dos padrões do *International Mobile Telecommunications - IMT*¹ foram criados. Em sua recomendação para o desenvolvimento do IMT-2000² [3], o

Rodrigo C. Gebrim, Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, Brasília-DF, e-mail: rodrigogebrim@anatel.gov.br; Jorge M. Nogueira, Departamento de Economia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, e-mail: jmn0702@gmail.com.

¹ Termo genérico usado pela comunidade da União Internacional de Telecomunicações para designar sistemas móveis de banda larga.

² Nomenclatura técnica dada para os sistemas de comunicações móveis de 3ª geração (3G).

Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações – UIT-R, órgão responsável por desenvolver, em âmbito internacional, padrões para sistemas de radiocomunicações, já previu a possibilidade de uso complementar dos satélites para ampliar a cobertura das redes móveis terrestres, por meio das denominadas redes não-terrestres (*Non-Terrestrial Networks – NTN*).

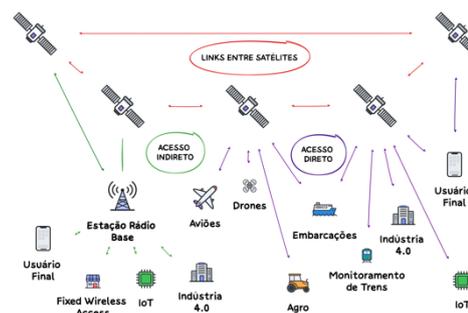
Embora tal previsão exista há bastante tempo, foi só na *Release 17* do *3rd Generation Partnership Project - 3GPP*², publicada em meados de 2022, que o primeiro padrão global para incorporar um componente não-terrestre para comunicações móveis foi estabelecido. O 3GPP caracteriza-se por ser uma colaboração entre diversas organizações de padronização de telecomunicações, com o objetivo principal de desenvolver e manter especificações técnicas para redes de telecomunicações móveis. Essa colaboração abrange uma variedade de tecnologias e, por meio de suas *Releases*, o 3GPP incentiva a implementação de novos recursos e funcionalidades visando garantir a melhoria da conectividade e ampliação das capacidades dos sistemas de comunicação móvel, assegurando que as tecnologias móveis evoluam de maneira coesa, padronizada e interoperável [4] [5].

A *Release 17* do 3GPP permitiu que os sistemas de comunicação móvel de 5ª geração (5G) suportassem qualquer rede de satélite, incluindo o fornecimento de serviços de banda larga diretamente para dispositivos móveis. Isso abriu novas fronteiras para a integração entre as redes terrestres e as NTN's e garantiu a incorporação de componentes de rede satelital no sistema 5G. Por sua vez, a *Release 18* do 3GPP³, que atualmente está em fase de desenvolvimento, concentra os esforços na padronização da integração de redes baseadas em satélite com a infraestrutura terrestre existente, prevendo um suporte para frequências acima de 10 GHz, expandindo o uso das NTN's para novas faixas de frequência, e visando o aprimoramento da conectividade para dispositivos de Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), focando em eficiência de comunicação e redução de latência. Ao garantir a interoperabilidade e a integração eficiente, o 3GPP visa desbloquear todo o potencial dos componentes do satélite para melhorar a conectividade e ampliar as capacidades do ecossistema do 5G e dos futuros sistemas de comunicação móvel [4] [5] [6].

Essa visão de integração entre as redes terrestres e as NTN's foi recentemente reafirmada pela UIT-R em sua recomendação ITU-R M.2160-0⁴, publicada em novembro de 2023, que estabeleceu o *framework* e os objetivos gerais do desenvolvimento futuro do IMT para 2030 e além. O documento estabelece a relação esperada entre o IMT-2030, que ditará os novos sistemas de comunicações móveis, e outros sistemas de acesso, constatando que a interoperabilidade entre as diferentes redes pode melhorar a experiência dos usuários, incluindo a opção de oferta de serviços onipresentes e contínuos. Neste contexto, as NTN's são reconhecidas como uma componente crucial para atingir os objetivos de cobertura ubíqua, resiliência, e sustentabilidade das comunicações móveis, desempenhando um papel vital na extensão da cobertura para áreas remotas e de difícil acesso, onde as redes terrestres não são viáveis ou economicamente justificáveis [7] [8] [9].

O potencial desta nova maneira de comunicação, que poderá abarcar tanto satélites geoestacionários quanto satélites não-geoestacionários para prover conectividade direta e indireta para estações terrestres, dispositivos móveis, dispositivos de IoT, drones, aviões, embarcações, dentre outros, é mostrado na Figura 1. Neste contexto, ao ampliar a oferta de conectividade das redes de telecomunicações móveis terrestres, essa tecnologia pode revolucionar os meios de comunicação atuais, garantindo conectividade em praticamente todo lugar.

FIGURA 1 - COMPLEMENTARIEDADE DE COMUNICAÇÃO ENTRE REDES TERRESTRES E REDES NÃO-TERRESTRES NA OFERTA DE CONECTIVIDADE



Fonte: Elaborada pelos autores, com base em [5] e [6].

Além dos potenciais já elencados, as NTN's podem ter um viés importante para o cumprimento das metas de conectividade do governo e para a garantia do direito de acesso à informação, direito este previsto na Constituição Federal do Brasil⁵. Essas redes se tornam ainda mais relevantes em áreas remotas e de difícil acesso, onde as redes terrestres são limitadas ou inexistentes, pois oferecem serviços contínuos em caso de desastres naturais ou falhas na infraestrutura terrestre, garantindo uma comunicação ininterrupta para quem precisa.

III. OS DADOS DE ACESSO DE TELEFONIA MÓVEL NO BRASIL

Segundo dados da Anatel, o Brasil possui hoje mais de 258 milhões de acessos de telefonia móvel ativos e, deste total, aproximadamente 198 milhões são referentes a contratos de pessoas físicas. Os acessos referem-se ao número de linhas ativas de telefonia móvel no Brasil e essas linhas podem ser classificadas por diferentes critérios, como pré-pagas ou pós-pagas, tecnologias utilizadas (2G, 3G, 4G, 5G), tipo de cliente (pessoa física ou jurídica), dentre outros. Essa categorização permite uma análise detalhada do mercado de telefonia móvel, ajudando a monitorar a evolução e a distribuição dos serviços de telecomunicações no território brasileiro [10].

Em se tratando do quantitativo de acesso nas regiões do país, o Centro-Oeste possui quase 17 milhões desses acessos; o Nordeste perto de 48 milhões; o Norte 16 milhões; o Sudeste 89 milhões; e o Sul 29 milhões, aproximadamente. Os números exatos estão na Tabela 1.

² <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17>

³ <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-18>

⁴ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2160-0-202311-I%21%21PDF-E.pdf

⁵ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm

TABELA 1 – ACESSOS DE TELEFONIA MÓVEL NO BRASIL POR REGIÃO

Região	Acessos em março de 2024
Centro-Oeste	16.857.760
Nordeste	48.088.160
Norte	15.677.772
Sudeste	88.727.148
Sul	28.810.135
TOTAL	198.160.975

Fonte: Anatel [10].

Neste contexto, um indicador relevante para fundamentar uma argumentação prospectiva é o de acessos por habitante. Em termos populacionais, segundo dados do censo demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE [11], as regiões do Brasil estão compostas como apresentado na terceira coluna da Tabela 2. Ao realizar uma análise da média de acessos de uma região, quando comparada com a população daquela região, chega-se aos seguintes resultados, com a média nacional de 0,976 acessos por habitante (ver quarta coluna da Tabela 2).

TABELA 2 - BASE ATUAL DE ACESSOS/HABITANTE

Região	Acessos	População	Acessos por habitante
Centro-Oeste	16.857.760	16.289.538	1,035
Nordeste	48.088.160	54.658.515	0,880
Norte	15.677.772	17.354.884	0,903
Sudeste	88.727.148	84.840.113	1,046
Sul	28.810.135	29.937.706	0,962
TOTAL	198.160.975	203.080.756	0,976

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para explorar algumas hipóteses em caráter de simulação, toma-se por base, em um primeiro cenário, um ajuste de valores para a média nacional de acessos, em que as regiões do país que estão abaixo da média de 0,976 acessos por habitante são elevadas até este limiar. As regiões Centro-Oeste e Sudeste, que já estão acima desta média, mantêm seus valores atuais. A partir desta simulação, chega-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - CENÁRIO DE ACESSOS/HABITANTE COM AJUSTE PARA MÉDIA NACIONAL

Região	Acessos	População	Acessos por habitante
Centro-oeste	16.857.760	16.289.538	1,035
Nordeste	53.346.711	54.658.515	0,976
Norte	16.938.367	17.354.884	0,976
Sudeste	88.727.148	84.840.113	1,046
Sul	29.219.201	29.937.706	0,976
TOTAL	205.089.187	203.080.756	1,010

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nesse primeiro cenário analisado, percebe-se um aumento da quantidade total de acessos para mais de 205 milhões, ou seja,

o potencial aumento da base de clientes das operadoras seria da ordem de 3% do total de acessos atual. Estes números já são bem relevantes, porém, se tomarmos como base um cenário ótimo, em que os números da Região Sudeste são utilizados como o padrão, o potencial aumento da base de clientes seria da ordem de 7% em relação ao cenário atual, ou, em números absolutos, um aumento de mais de 14 milhões de usuários (ver Tabela 4).

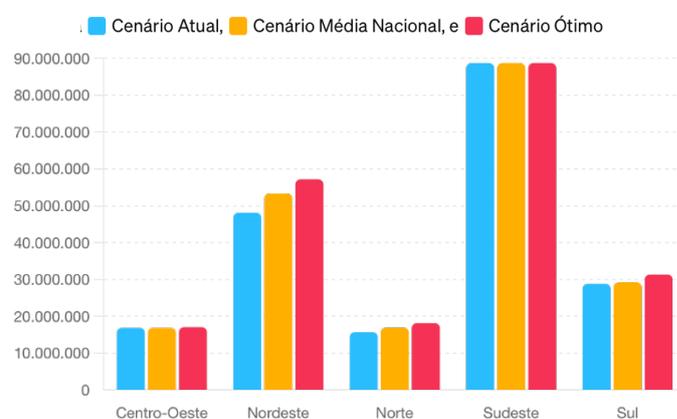
TABELA 4 - BASE DE ACESSOS/HABITANTE NO CENÁRIO ÓTIMO

Região	Acessos	População	Acessos por habitante
Centro-oeste	17.038.857	16.289.538	1,046
Nordeste	57.172.807	54.658.515	1,046
Norte	18.153.209	17.354.884	1,046
Sudeste	88.727.148	84.840.113	1,046
Sul	31.314.840	29.937.706	1,046
TOTAL	212.406.861	203.080.756	1,046

Fonte: Elaborada pelos autores.

O comparativo do quantitativo de acessos por habitante em cada região do país, em cada um dos cenários considerados, é apresentado na Figura 2. Percebe-se que a região Nordeste tem o maior potencial de crescimento, especialmente no cenário ótimo, onde os acessos aumentam consideravelmente. As regiões Norte e Sul também apresentam um aumento considerável. Já as regiões Centro-Oeste e Sudeste estão bem atendidas, em termos de acessos de telefonia móvel por habitante, com menos margem para crescimento.

FIGURA 2 - COMPARATIVO DOS CENÁRIOS DE ACESSOS/HABITANTE



Fonte: Elaborada pelos autores.

IV. CONCLUSÕES

O uso de satélites para complementar as redes de telecomunicações móveis terrestres possui um grande potencial tanto tecnológico quanto econômico. Após anos sem uma padronização internacional efetiva para o uso das chamadas redes não-terrestres, desde 2022 a integração dessas redes baseadas em satélite com a infraestrutura terrestre existente tornou-se uma realidade, com boa perspectiva para garantir a melhoria da conectividade e a ampliação das capacidades dos sistemas de comunicação móvel.

Nesse contexto, e considerando as particularidades e características das redes de comunicações, pode-se afirmar que as redes não-terrestres terão grande relevância principalmente em áreas remotas e de difícil acesso. Por meio delas, as empresas poderão garantir a continuidade dos serviços durante desastres naturais ou em situações de interrupções da rede terrestre, mitigando perdas financeiras e garantindo a conectividade da população. Adicionalmente, deve-se levar em conta o viés social e governamental que a tecnologia pode oferecer, pois, com ela, o desenvolvimento de políticas públicas de conectividade ubíqua passa a ser uma realidade no Brasil.

São inúmeras as oportunidades econômicas e de inovação que podem surgir, mas há de se considerar, também, que o avanço dessa tecnologia traz desafios técnicos e regulatórios que precisam ser avaliados de maneira mais aprofundada. As simulações apresentadas neste artigo mostram, em números quantitativos, o potencial retorno que as operadoras de telecomunicações podem ter com o aumento de sua base de clientes de telefonia móvel. No entanto, um dos grandes desafios para a efetiva implementação e uso das redes não-terrestres se baseia em achar um modelo técnico e econômico em que ambos os setores, móvel terrestre e satelital, possam ter ganhos.

Este artigo abordou algumas das possibilidades e cenários para demonstrar a potencial viabilidade econômica para realização de investimentos nesta tecnologia, porém, ainda são necessários estudos mais aprofundados em trabalhos futuros para detalhar melhor os riscos e oportunidades existentes. Ao se considerar, por exemplo, a viabilidade de implementação do *Narrowband IoT (NB-IoT)* e do *enhanced Machine-Type Communication (eMTC)* por meio das redes não-terrestres, os potenciais retornos tendem a crescer em bases exponenciais, pois essas tecnologias são projetadas para suportar aplicações massivas de IoT em setores relevantes e amplamente difundidos no Brasil, como agricultura, logística e transporte.

Algumas incertezas ainda existem, porém, com a maior oferta de conectividade, é inegável o grande proveito que pelo menos uma das partes envolvidas nesse ecossistema terá: a população.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Vidmar *et al.*, "New Space and Agile Innovation: Understanding Transition to Open Innovation by Examining Innovation Networks and Moments," *Acta Astronautica*, 167, 122-134.
- [2] OCDE, "The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy," 2019. [Online]. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/07/the-space-economy-in-figures_518092bf/c5996201-en.pdf.
- [3] ITU-R, "Recommendation ITU-R M.1645 - Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," 2003. [Online]. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1645-0-200306-I!!PDF-E.pdf.
- [4] G. Geraci *et al.*, "Integrating Terrestrial and Non-Terrestrial Networks: 3D Opportunities and Challenges," *IEEE Communications Magazine* vol. 61, n.º. 4, 2023, pp. 42-48.
- [5] El Jaafari M, Chuberre N, Anjuere S, Combelles L., "Introduction to the 3GPP-defined NTN standard: A comprehensive view on the 3GPP work on NTN". *Int J Satell Commun Network*. 2023; 41(3): 220-238.
- [6] 3GPP, "Non-Terrestrial Networks (NTN)," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.3gpp.org/technologies/ntn-overview>.
- [7] ITU-R, "Recommendation ITU-R M.2160-0 - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond," 2023. [Online]. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2160-0-202311-I%21%21PDF-E.pdf.
- [8] F. Rinaldi *et al.*, "Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 165178-165200, 2020. [Online]. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9193893>.
- [9] A. Guidotti *et al.*, "The path to 5G-Advanced and 6G Non-Terrestrial Network systems," 2022. 11th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 17th Signal Processing for Space Communications Workshop (ASMS/SPSC), pp. 1-8.
- [10] ANATEL, "Painel de dados de acessos de Telefonia Móvel (Serviço Móvel Pessoal – SMP) enviados pelas prestadoras do serviço," 2024. [Online]. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/telefoniamovel>. Acessado em: 05 de maio de 2024.
- [11] IBGE, "Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários auxiliam gestão pública," 2024. [Online]. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>.