



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E GESTÃO
DE POLÍTICAS PÚBLICAS - FACE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - PPGECON

RODRIGO CRUZ GEBRIM

**DO ESPAÇO AO CELULAR: a tecnologia *Direct-to-Device (D2D)* e seu potencial
de rentabilidade para operadoras móveis terrestres e satelitais**

Brasília – DF

2025

RODRIGO CRUZ GEBRIM

DO ESPAÇO AO CELULAR: a tecnologia *Direct-to-Device (D2D)* e seu potencial de rentabilidade para operadoras móveis terrestres e satelitais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia (Profissional) da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia da Defesa e Espacial.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira

Brasília – DF

2025

RODRIGO CRUZ GEBRIM

DO ESPAÇO AO CELULAR: a tecnologia *Direct-to-Device (D2D)* e seu potencial de rentabilidade para operadoras móveis terrestres e satelitais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia (Profissional) da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia da Defesa e Espacial.

Brasília, DF 28 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Jorge Madeira Nogueira
Professor Orientador

Professora Doutora Danielle Sandler dos Passos
Professor Examinador

Professor Doutor Antônio Nascimento Junior
Professor Examinador

Brasília – DF
2025

“A informação, quando é privilégio, é instrumento de dominação. Quando é direito, é instrumento de liberdade.”

(Milton Almeida dos Santos)

RESUMO

Este estudo investiga a viabilidade financeira para adoção da tecnologia *Direct-to-Device* (D2D) no Brasil, com o objetivo de demonstrar que sua implementação pode gerar retornos financeiros positivos tanto para operadoras móveis terrestres quanto para operadoras satelitais. A tecnologia D2D, que viabiliza a conectividade direta entre satélites e dispositivos móveis convencionais, apresenta-se como uma solução estratégica para a expansão da cobertura de redes móveis em áreas geográficas onde a infraestrutura terrestre é limitada ou inexistente. A análise foi conduzida a partir de dados financeiros públicos de duas das três maiores operadoras de telecomunicações do país, com o intuito de projetar diferentes cenários de incremento de receita e propor um modelo de partilha de lucros entre operadoras móveis terrestres e satelitais. Os resultados apontam para o elevado potencial do modelo híbrido como vetor de ampliação de receitas e como novo eixo de rentabilidade compartilhada entre os dois segmentos, mas a pesquisa também identifica barreiras técnicas e regulatórias que ainda precisam ser enfrentadas para a plena viabilização e escalabilidade da tecnologia, tanto no contexto brasileiro quanto no cenário internacional.

Palavras-chave: Direct-to-Device, D2D, conectividade, satélites, redes móveis.

ABSTRACT

This study investigates the financial feasibility for the adoption of Direct-to-Device (D2D) technology in Brazil, with the aim of demonstrating that its implementation can generate positive financial returns for both terrestrial mobile operators and satellite operators. D2D technology, which enables direct connectivity between satellites and conventional mobile devices, is a strategic solution for expanding mobile network coverage in geographical areas where terrestrial infrastructure is limited or non-existent. The analysis was developed using the public financial reports from two of the three largest telecommunications operators in the country, with the aim of projecting different revenue growth scenarios and proposing a profit-sharing model between terrestrial mobile operators and satellite operators. The results show great potential of the hybrid model to generate revenue growth and to be a new way of shared profitability between both sides, but the research also identifies technical and regulatory barriers that still need to be addressed for the full viability and scalability of the technology, both in the Brazilian context and internationally.

Keywords: Direct-to-Device, D2D, connectivity, satellites, mobile networks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS SEGMENTOS DA ECONOMIA ESPACIAL	21
FIGURA 2 - DIFERENÇAS DAS ÓRBITAS GEO, MEO E LEO.....	24
FIGURA 3 - COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA REDE D2D	27

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - MOTIVOS DA NÃO UTILIZAÇÃO DE INTERNET NOS DOMICÍLIOS	32
GRÁFICO 2 – COMPARATIVO DO ARPU DO SCM E SMP NAS REGIÕES DO BRASIL	33
GRÁFICO 3 – COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DE LUCRO LÍQUIDO ADICIONAL ANUAL PARA CLIENTES EXISTENTES	51
GRÁFICO 4 - COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DE LUCRO LÍQUIDO ADICIONAL ANUAL PARA NOVOS CLIENTES	54
GRÁFICO 5 – COMPARATIVO DE PARTIÇÃO DE LUCRO PARA EMPRESA X	59
GRÁFICO 6 - COMPARATIVO DE PARTIÇÃO DE LUCRO PARA EMPRESA Y	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RANKING DE ACESSOS POR MNO	30
TABELA 2 - COBERTURA MÓVEL POR MNO	31
TABELA 3 – DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS DAS EMPRESAS X E Y PARA O ANO DE 2024	36
TABELA 4 – DADOS DE OPEX DAS EMPRESAS X E Y PARA O ANO DE 2024	39
TABELA 5 - DIFERENÇAS ECONÔMICAS POR SITE E POR ÁREA DE LOCALIZAÇÃO (CENÁRIOS URBANO, RURAL E REMOTO)	40
TABELA 6 - VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DO LUCRO LÍQUIDO MÉDIO MENSAL POR CLIENTE MÓVEL	42
TABELA 7 – CONSOLIDAÇÃO DE CUSTOS E LUCRO LÍQUIDO POR CLIENTE MÓVEL.....	45
TABELA 8 – VARIAÇÃO PERCENTUAL DE CLIENTES EXISTENTES QUE FAZEM UPGRADE DE SEUS PLANOS	49
TABELA 9 – VARIAÇÃO PERCENTUAL DE INCREMENTO DO ARPU	49
TABELA 10 – ESTIMATIVA DE LUCRO LÍQUIDO ADICIONAL ANUAL PARA CLIENTES EXISTENTES EM DIFERENTES CENÁRIOS PERCENTUAIS (TAXAS DE ADESÃO / INCREMENTOS NO ARPU / ECONOMIA DE OPEX).....	50
TABELA 11 - ESTIMATIVA DE LUCRO LÍQUIDO ADICIONAL ANUAL PARA NOVOS CLIENTES EM DIFERENTES CENÁRIOS (BASE DE CLIENTES / % INCREMENTOS NO ARPU / % ECONOMIA DE OPEX)	54
TABELA 12 – LUCRO TOTAL POR CLIENTE EXISTENTE (CLI _{UPG}) E NOVO CLIENTE (CLI _{SAT}) EM DIFERENTES CENÁRIOS	56
TABELA 13 – PARTIÇÃO DE ESTRUTURA DE CUSTOS E RISCOS COM MAIOR PARTICIPAÇÃO PARA SNO	58
TABELA 14 - PARTIÇÃO DE ESTRUTURA DE CUSTOS E RISCOS COM MAIOR PARTICIPAÇÃO PARA MNO.....	58
TABELA 15 – SIMULAÇÕES DE PARTIÇÃO DE LUCRO PARA EMPRESA X	59
TABELA 16 - SIMULAÇÕES DE PARTIÇÃO DE LUCRO PARA EMPRESA Y.....	60
TABELA 17 - INCREMENTO POTENCIAL DE LUCRO LÍQUIDO ANUAL PARA CLIENTES EXISTENTES.....	69
TABELA 18 - INCREMENTO POTENCIAL DE LUCRO LÍQUIDO ANUAL PARA NOVOS CLIENTES	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G - Sistema de comunicação móvel de 3ª geração
3GPP - 3rd Generation Partnership Project
4G - Sistema de comunicação móvel de 4ª geração
5G - Sistema de comunicação móvel de 5ª geração
6G - Sistema de comunicação móvel de 6ª geração
Anatel - Agência Nacional de Telecomunicações
ARPU - Receita Média por Usuário
CMR - Conferência Mundial de Radiocomunicações
D2C - Direct-to-Cell
D2D - Direct-to-Device
D2M - Direct-to-Mobile
eMBB - Banda Larga Aprimorada
FCC - Federal Communications Commission
GEO - Órbita Geoestacionária da Terra
GSMA - GSM Association
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMT - Telecomunicações Móveis Internacionais
IoT - Internet das Coisas
ISED - Innovation, Science and Economic Development Canada
LEO - Órbita Baixa da Terra
MEO - Órbita Média da Terra
mMTC - Comunicação Massiva tipo Máquina
MNO - Operadora de Redes Móveis
MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NR - New Radio
NTN - Redes Não-Terrestres
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OFCOM - Office of Communications
ONU - Organização das Nações Unidas
PIB - Produto Interno Bruto
PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
RDM - Robust Decision Making

SCM - Serviço de Comunicação Multimídia

SCS - Supplemental Coverage from Space

SMCS - Supplemental Mobile Coverage from Space

SMP - Serviço Móvel Pessoal

SNO - Operadora de Redes de Satélites

UIT - União Internacional de Telecomunicações

UIT-R - Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações

WEF - World Economic Forum

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 CONCEITOS ECONÔMICOS APLICADOS AO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES E A NOVA ERA ESPACIAL.....	16
1.1 DINÂMICA ECONÔMICA E RELEVÂNCIA DOS INVESTIMENTOS NO MERCADO DE TELECOMUNICAÇÕES	16
1.2 A DESTRUIÇÃO CRIATIVA E A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO SETOR ESPACIAL	18
1.3 A NOVA ERA DA ECONOMIA ESPACIAL.....	20
2 AS REDES NÃO-TERRESTRES E A TECNOLOGIA DIRECT-TO-DEVICE (D2D)	23
2.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES NÃO-TERRESTRES E PADRONIZAÇÃO NO 3GPP	23
2.2 A TECNOLOGIA <i>DIRECT-TO-DEVICE</i> (D2D)	26
3 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA MÓVEL TERRESTRE NO BRASIL.....	29
3.1 INDICADORES DE UTILIZAÇÃO E COBERTURA DA REDE MÓVEL NO BRASIL	30
3.2 POTENCIAL DE EXPANSÃO DA COBERTURA MÓVEL COM O D2D: ESTIMATIVAS INICIAIS	32
4 PANORAMA ECONÔMICO-FINANCEIRO DO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS NO BRASIL E PERSPECTIVAS PARA O D2D	35
4.1 INDICADORES FINANCEIROS DE NEGÓCIOS DAS MNOs	35
4.2 IMPACTOS DE CAPEX E OPEX NO MODELO DE NEGÓCIOS D2D	38
4.2.1 <i>Detalhamento do OPEX das MNOs</i>	39
4.3 ESTIMATIVAS DE CUSTO E LUCRO LÍQUIDO POR CLIENTE MÓVEL.....	41
4.4 CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO OPEX NO MODELO D2D	43
5 FORMULAÇÃO DO MODELO ECONÔMICO-FINANCEIRO DO D2D.....	46
5.1 EQUAÇÕES DE LUCRO.....	47
5.1.1 <i>Lucro líquido adicional para clientes existentes (CLI_{UPG}):</i>	48
5.1.2 <i>Lucro líquido adicional para novos clientes (CLI_{SAT}):</i>	52
5.2 COMPARAÇÃO DO NOVO LUCRO LÍQUIDO TOTAL POR CLIENTE (NOVO X EXISTENTE)	55
5.3 METODOLOGIA DE PARTIÇÃO DE LUCRO (<i>PROFIT-SHARE</i>)	57
5.3.1 <i>Simulações de partição de lucro e viabilidade para SNO e MNO</i>	58
CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE A - LUCRO ADICIONAL PARA CLIENTES EXISTENTES.....	69
APÊNDICE B - LUCRO ADICIONAL PARA NOVOS CLIENTES.....	72
APÊNDICE C – PRODUÇÃO ACADÊMICA DERIVADA DESTA DISSERTAÇÃO	74

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a exploração do espaço sideral tornou-se mais acessível e atraente ao mercado global, muito devido à redução dos custos associados à produção, ao lançamento e à operação de satélites. Esse novo dinamismo, favorecido por avanços tecnológicos e pelo aumento dos investimentos privados, vem transformando um setor que era historicamente restrito em um ambiente competitivo, diversificado e cada vez mais integrado a outras cadeias produtivas. Estimativas do *World Economic Forum* (WEF) indicam que a economia espacial poderá movimentar até US\$ 1,8 trilhão até 2035, impulsionada não apenas pela expansão da infraestrutura satelital, mas também por modelos de negócios emergentes que envolvem conectividade global, *big data* e aplicações em diversos setores industriais (WEF, 2023).

Para além dos aspectos econômicos, os avanços tecnológicos do setor espacial também oferecem grandes alternativas para mitigar desigualdades digitais em escala global. Embora o acesso à Internet seja um vetor fundamental para o desenvolvimento econômico e social, o fato é que milhões de pessoas em todo o mundo ainda vivem em áreas com pouca ou nenhuma infraestrutura de conectividade, especialmente devido ao alto custo e à ausência de viabilidade econômica para expansão das redes terrestres a esses locais. Nesse contexto, os satélites despontam como uma solução estratégica, dada sua grande capacidade de cobertura e possibilidade cada vez maior de oferta de serviços.

Diante disso, o desenvolvimento das redes não-terrestres (NTN, do inglês *Non-Terrestrial Networks*) representa um caminho promissor para expansão de cobertura das redes terrestres tradicionais, mediante integração com infraestruturas satelitais. E nesse cenário de redes híbridas, uma tecnologia em especial chama a atenção, pois viabiliza conectividade direta entre satélites e equipamentos de usuário convencionais – tais como smartphones e dispositivos de Internet das Coisas – sem necessidade de uma infraestrutura terrestre intermediária. A tecnologia em questão, conhecida como *Direct-to-Device* (D2D), ainda se encontra em fase inicial de implantação, sendo atualmente explorada por um número restrito de empresas. Embora também citada em alguns estudos e artigos como *Direct-to-Cell* (D2C), *Direct-to-Mobile* (D2M) ou *Sat-to-Cell*, será aqui referida como *Direct-to-Device* (D2D).

Apesar de seu potencial disruptivo, a adoção em larga escala do D2D ainda enfrenta algumas barreiras, o que suscita questões relevantes como: Quais fatores explicam a ausência de uma adoção ampla da tecnologia D2D até o momento e quais desafios ainda precisam ser superados? O modelo de complementariedade entre redes móveis terrestres e redes satelitais, viabilizado pelo D2D, é financeiramente viável e sustentável para as partes envolvidas? Que benefícios e oportunidades de negócio concretos podem emergir da adoção do D2D, tanto para os agentes do setor de telecomunicações quanto para a sociedade em geral? Este estudo busca responder a essas questões e outras questões por meio de uma análise da viabilidade econômico-financeira do D2D no Brasil, considerando suas implicações técnicas, regulatórias e de mercado.

A pesquisa estrutura-se a partir de uma revisão da literatura sobre economia espacial, redes não-terrestres e inovação no setor de telecomunicações. Em seguida, realiza-se um diagnóstico do setor de telefonia móvel no Brasil, considerando indicadores de cobertura e o potencial de expansão proporcionado pela adoção da tecnologia D2D. Com base em dados públicos da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e em relatórios financeiros de duas das três maiores operadoras nacionais, são estimados os lucros atuais das operações móveis e simulados cenários de ampliação da cobertura terrestre com o uso complementar de satélites. Nessas simulações, avalia-se o impacto sobre a base de clientes existente e o potencial de incremento de lucro para operadoras móveis terrestres e operadoras satelitais. Por fim, é desenvolvido um modelo para avaliar a viabilidade financeira da solução proposta, no qual são examinadas diferentes alternativas de partilha de lucros, a fim de aferir a atratividade do arranjo tanto para o segmento móvel terrestre quanto para o satelital.

A pesquisa é aplicada, com abordagem mista qualiquantitativa, combinando análise de conteúdo e interpretação teórica com dados numéricos do setor de telecomunicações brasileiro. Quanto aos procedimentos metodológicos, o trabalho se classifica como bibliográfico e experimental, com objetivos exploratórios e explicativos. As análises são fundamentadas em literatura especializada e dados empíricos obtidos por meio de painéis públicos da Anatel e documentos financeiros publicados das operadoras móveis líderes de mercado.

Espera-se, ao final, demonstrar que a tecnologia D2D pode não apenas ampliar a rentabilidade das partes envolvidas, mas também contribuir para a ampliação da

cobertura e a promoção da conectividade em regiões até então desassistidas. Tal contribuição alinha-se aos princípios da nova economia espacial, que valoriza a integração entre sistemas orbitais e aplicações terrestres com foco em inclusão digital, sustentabilidade e geração de valor social e econômico. Nesse sentido, a adoção de soluções D2D pode representar um vetor estratégico tanto para a expansão da infraestrutura de telecomunicações em áreas remotas quanto para o fortalecimento da interoperabilidade entre redes móveis terrestres e não-terrestres, favorecendo um ecossistema mais equilibrado, inovador e acessível.

Nesse contexto, a dissertação está composta por cinco capítulos, complementados pela Introdução e pelas Considerações Finais. No Capítulo 1, são apresentados os conceitos econômicos aplicados ao setor de telecomunicações e à nova era espacial, abordando a dinâmica econômica e a importância dos investimentos, o papel da destruição criativa no avanço tecnológico e a consolidação de uma nova economia espacial. Já o Capítulo 2 discute as redes não-terrestres e a tecnologia D2D, detalhando suas características, os esforços de padronização conduzidos internacionalmente e as especificidades técnicas que possibilitam a integração com as redes móveis existentes. O Capítulo 3 analisa o panorama da infraestrutura móvel terrestre no Brasil, apresentando indicadores de utilização e cobertura, além de estimativas iniciais sobre o potencial de expansão da conectividade com a adoção do D2D. O Capítulo 4 aborda o panorama econômico do setor de telecomunicações móveis brasileiro, explorando indicadores financeiros das operadoras móveis terrestres, os impactos de CAPEX e OPEX sobre o modelo D2D, bem como as estimativas de custo e lucro líquido por cliente. Por fim, o Capítulo 5 apresenta a formulação do modelo econômico-financeiro do D2D, com destaque para as equações e simulações que avaliam a viabilidade da tecnologia tanto para as operadoras móveis terrestres quanto para as operadoras satelitais.

1 CONCEITOS ECONÔMICOS APLICADOS AO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES E A NOVA ERA ESPACIAL

Uma sociedade é composta por indivíduos, empresas e governos que, diante da escassez de recursos, precisam tomar decisões contínuas sobre como gerir e alocar esses recursos limitados de forma a atender necessidades potencialmente ilimitadas. Nesse contexto, a Economia constitui-se como o campo do conhecimento que estuda os mecanismos por meio dos quais essas decisões são tomadas, influenciando diretamente o funcionamento dos mercados de bens e serviços e orientando a formulação de políticas públicas, estratégias empresariais e decisões individuais (MANKIW, 2022).

Grande parte das análises econômicas concentra-se na interação entre oferta e demanda, na qual os consumidores indicam o quanto estão dispostos a pagar por determinado bem ou serviço, enquanto os produtores ajustam seus preços com o objetivo de maximizar os lucros, levando em consideração as condições do mercado em que estão inseridos (MANKIW, 2022, p. 2). À luz dessa dinâmica, os tópicos a seguir examinam como os principais conceitos econômicos se aplicam ao setor de telecomunicações, com ênfase nas transformações decorrentes da evolução tecnológica, em especial aquelas ocorridas no segmento espacial.

1.1 Dinâmica econômica e relevância dos investimentos no mercado de telecomunicações

No setor de telecomunicações, os conceitos econômicos encontram aplicação particularmente relevante, dada a natureza estratégica, com intenso uso de capital e sensível à regulação que caracteriza essa indústria. Trata-se de um setor cuja estrutura de custos é composta por investimentos fixos elevados na implantação de infraestrutura e custos marginais reduzidos na prestação de serviços adicionais, favorecendo a formação de economias de escala. O setor é marcado, portanto, por restrições orçamentárias que exigem escolhas estratégicas sobre onde investir, obrigando os agentes a ponderarem entre a modernização de redes, o atendimento de novas demandas tecnológicas e a preservação da sustentabilidade econômico-financeira dos projetos, o que envolve inevitáveis *trade-offs* e avaliação criteriosa dos custos de oportunidade (SIQUEIRA, 2024).

Como mencionado, os investimentos e a manutenção da infraestrutura de redes de telecomunicações envolvem elevados custos fixos, especialmente no caso

das novas arquiteturas destinadas a suportar aplicações de redes móveis de novas gerações – como 5G e 6G – ou de satélites de baixa órbita (LEO, do inglês *Low Earth Orbit*). Nesse cenário, o principal desafio consiste em encontrar o equilíbrio entre a expansão e a viabilidade econômica do investimento, sobretudo em regiões remotas, onde o retorno financeiro tende a ser limitado em razão da baixa densidade populacional e do reduzido poder aquisitivo da população, o que gera distorções de mercado que exigem a atuação de entes reguladores para garantir a concorrência e assegurar a prestação adequada dos serviços de telecomunicações (OCDE, 2023).

Soma-se a isso o ritmo acelerado da evolução tecnológica, que impõe às operadoras a necessidade de investimentos contínuos para modernizar suas redes e preservar sua competitividade. De acordo com relatório da *GSM Association* (GSMA), entidade global que representa os interesses das operadoras móveis, esse processo alimenta um ciclo permanente de inovação e obsolescência, exigindo avaliações constantes sobre o momento mais oportuno para a adoção de novas tecnologias e sobre a melhor forma de alocar os recursos de investimento (GSMA, 2024a). Ainda assim, é importante destacar que os investimentos do setor de telecomunicações têm se mostrado fundamentais para o país, não apenas pela contribuição direta ao Produto Interno Bruto (PIB), mas também por seu papel transversal como indutor de ganhos de produtividade em diferentes setores da economia.

Conforme destaca a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), as tecnologias digitais e os sistemas de telecomunicações passaram a integrar a base da infraestrutura crítica das nações, sendo hoje indispensáveis à operação de setores como transporte, energia, defesa, serviços financeiros, agricultura e logística (OCDE, 2022). Nesse contexto, Siqueira (2024) observa que as telecomunicações deixaram de ser uma atividade periférica para ocupar posição central na economia contemporânea. O exemplo de avanço tecnológico com as redes móveis de quinta geração (5G) e o surgimento de arquiteturas híbridas, que combinam redes terrestres e não-terrestres, revela não apenas a inovação do setor, mas uma mudança estrutural na forma como a conectividade é entendida e distribuída, com implicações relevantes para a inclusão digital da sociedade.

Deste modo, ainda que a implementação dessas inovações demande investimentos significativos, cujos retornos não se manifestam de forma uniforme em todas as localidades, é importante destacar que a modernização das infraestruturas

de telecomunicações tem gerado grandes externalidades positivas. Entre elas, ressaltam-se a ampliação do acesso à educação, à saúde e aos serviços públicos, além da inclusão digital de populações historicamente marginalizadas (OCDE, 2023). Essa perspectiva também mantém correlação direta com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial o ODS 4, relativo à educação de qualidade; o ODS 9, sobre infraestrutura resiliente; o ODS 10, voltado à redução das desigualdades; e o ODS 17, direcionado às parcerias para o desenvolvimento.

Nesse contexto, a análise econômica aplicada às telecomunicações deve ultrapassar os aspectos tradicionais de oferta, demanda e preços, incorporando o papel estratégico da conectividade como vetor de desenvolvimento. Uma abordagem mais abrangente é fundamental para subsidiar políticas voltadas à inclusão digital e à sustentabilidade das redes de comunicação, especialmente diante do cenário de rápida evolução tecnológica. Tal entendimento reforça o argumento de que a conectividade deve ser tratada como um bem público, cujos benefícios extrapolam os limites das análises estritamente financeiras (OCDE, 2023; WEF, 2024).

1.2 A destruição criativa e a evolução tecnológica do setor espacial

A mudança tecnológica é uma força constante que molda o cenário das indústrias e das economias. Schumpeter (1942 [2022]) forneceu uma perspectiva fundamental ao conceituar o progresso econômico como resultado de um processo dinâmico e descontínuo de transformação, impulsionado pela chamada “destruição criativa”, um mecanismo pelo qual inovações substituem produtos, processos e modelos de negócios anteriormente consolidados. Segundo o autor, o motor do desenvolvimento econômico não reside em melhorias marginais, mas na introdução de novas combinações produtivas que, ao desafiar o *status quo*, tornam obsoletos os arranjos vigentes e instauram estruturas econômicas mais eficientes.

A teoria da destruição criativa introduzida por Schumpeter encontra correlação direta com o setor espacial contemporâneo, especialmente diante do fenômeno conhecido como *New Space*, que representa uma inflexão no contexto da exploração espacial. Historicamente dominado por órgãos estatais e programas de longo prazo, o setor tem sido progressivamente reconfigurado pela entrada de atores privados, *startups* e empresas inovadoras que operam com ciclos tecnológicos mais curtos. Segundo Pedrosa (2023), “com o *New Space* a área espacial ressurgiu como um setor

de forte exploração econômica, com troca de atores, deixando o domínio estatal e partindo para uma dominação do setor privado”. Essa transformação se alinha diretamente ao conceito da destruição criativa, no qual a inovação não apenas cria mercados, mas também provoca a extinção de práticas e indústrias estabelecidas, sendo essa ruptura essencial para o rejuvenescimento do sistema capitalista (SCHUMPETER, 1942 [2022]).

Schumpeter (1934 [2008]) também enfatizou o papel do empreendedorismo na promoção da inovação. Os empreendedores, segundo ele, são os agentes da destruição criativa, que introduzem novas tecnologias, produtos e métodos organizacionais que desafiam os padrões estabelecidos. Essa lógica se aplica com clareza ao setor dos satélites, no qual empresas privadas têm investido em inovações disruptivas, como novos modelos de propulsão, sistemas de comunicação aprimorados, designs compactos e soluções integradas de processamento de dados. Esse movimento acaba gerando uma mudança de paradigma, tanto em mercados consolidados quanto na criação de novos segmentos, redirecionando a dinâmica da atividade espacial que antes era concentrada na esfera estatal para uma maior atuação de corporações do setor privado (PEDROSA, 2023).

A nova trajetória da indústria espacial é impulsionada, portanto, por inovações tecnológicas que transformam não apenas os produtos e serviços ofertados, mas também a estrutura da cadeia produtiva como um todo. Esses avanços extrapolam os ganhos técnicos, gerando impactos sociais significativos, como a ampliação da conectividade global, o aprimoramento do monitoramento ambiental e a maior eficiência nas respostas a emergências (OCDE, 2022). Como observa Marques (2023), soluções como Internet via satélite, sistemas de geolocalização e plataformas de observação da Terra têm alcançado ganhos exponenciais em escala e sofisticação, sendo aplicadas de forma crescente em áreas estratégicas como agricultura, energia, transportes, segurança e gestão de desastres. Trata-se de um setor em plena transformação, no qual a obsolescência de tecnologias legadas dá lugar a um ecossistema mais ágil, acessível e competitivo.

Nesse sentido, o setor espacial contemporâneo configura um exemplo notável do processo de destruição criativa, não apenas pelas inovações técnicas introduzidas, mas também pela reestruturação institucional e econômica que acompanha essa transição. A substituição de satélites de grande porte por constelações de pequenos satélites, a adoção de veículos lançadores reutilizáveis e a miniaturização de

componentes ilustram concretamente esse fenômeno. À medida que novas tecnologias emergem, abrem-se mercados, transformam-se modelos de negócio e consolidam-se redes híbridas que integram diferentes formas de conectividade sob uma lógica de escala global. O futuro das telecomunicações, sobretudo no desenvolvimento e evolução do segmento espacial, será cada vez mais moldado por essas inovações que transcendem as fronteiras tradicionais da infraestrutura e do mercado.

1.3 A nova era da economia espacial

A economia espacial tem se tornado progressivamente mais relevante no cenário global contemporâneo, impulsionada por inovações tecnológicas, novos modelos de negócios e transformações nas estruturas de governança do setor. No entanto, antes de se discutir as oportunidades emergentes e os desafios inerentes a esse processo de reconfiguração, é fundamental compreender o que se entende por economia espacial e como ela se estrutura, especialmente no que se refere ao papel dos satélites na geração de valor econômico e no desenvolvimento de políticas públicas.

A OCDE define economia espacial como “toda a gama de atividades e o uso de recursos que criam e fornecem valor e benefícios aos seres humanos no curso da exploração, compreensão, gerenciamento e utilização do espaço” (OCDE, 2022, p. 28). Essa definição inclui desde a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico até os serviços e aplicações que utilizam dados espaciais, evidenciando seu caráter transversal e estratégico. Ainda segundo a OCDE, são três os principais segmentos da economia espacial: o *upstream*, que abrange atividades científicas e tecnológicas ligadas à fabricação e lançamento de satélites; o *downstream*, que aborda o uso e a comercialização de dados e serviços espaciais; e as atividades derivadas, que incorporam inovações indiretas aplicadas em setores como agricultura, mobilidade urbana e saúde (OCDE, 2022, p. 30-31). A Figura 1 demonstra o escopo e as atividades de cada um desses seguimentos:

SEGMENTOS DA ECONOMIA ESPACIAL

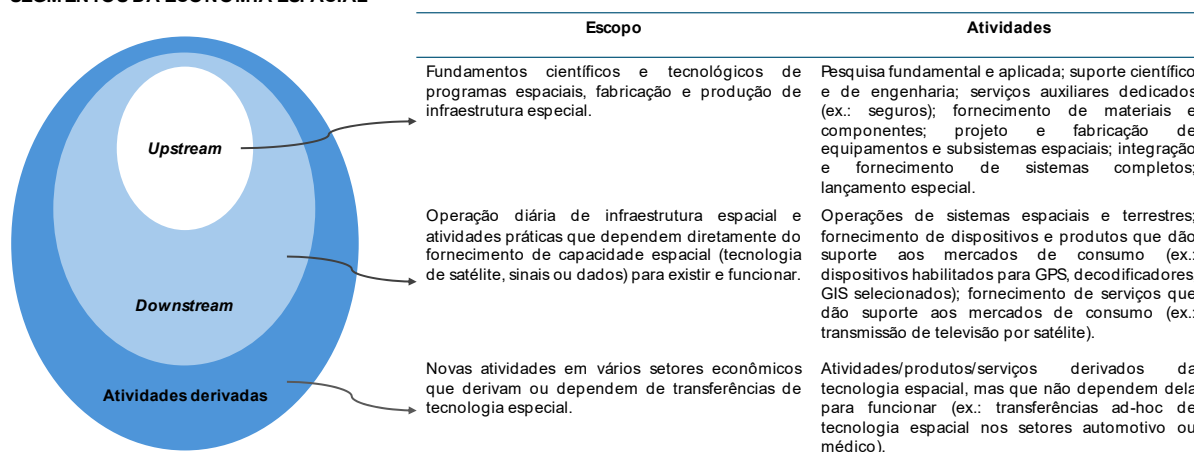


Figura 1 – Definição dos principais segmentos da economia espacial

Fonte: Adaptado de OCDE (2022)

De modo resumido, pode-se inferir que a economia espacial se refere às atividades econômicas relacionadas à exploração do espaço e à utilização de recursos e tecnologias de satélites para diversas finalidades, incluindo as mais recentes atividades vinculadas ao turismo espacial. No entanto, essa nova lógica da economia espacial representa a transição de um padrão que antes tinha domínio estatal e militar para um padrão com domínio comercial e foco empreendedor. Ou seja, o setor espacial, que inicialmente era impulsionado por grandes investimentos governamentais, passou por uma etapa de consolidação comercial e atualmente encontra-se em uma fase caracterizada pela atuação de *startups* e empresas privadas (PEETERS, 2021).

Conforme apontado pelo *World Economic Forum* (2024), a economia espacial deverá crescer de US\$ 630 bilhões em 2023 para US\$ 1,8 trilhão em 2035, impulsionada principalmente por serviços de comunicação, sensoriamento remoto e navegação. Tal expansão, que representa uma taxa de crescimento média superior a 9% ao ano, supera significativamente o ritmo médio de crescimento do PIB mundial. Esse crescimento será puxado por aplicações que transcendem o setor espacial, com impactos diretos em cadeias produtivas como agricultura, transportes, varejo, defesa e gestão de riscos climáticos (WEF, 2024).

Contudo, o expressivo crescimento da atividade espacial tem trazido consigo desafios significativos, entre os quais se destaca o risco do aumento descontrolado de detritos no espaço. O número cada vez maior de satélites, especialmente em baixa órbita terrestre, tem elevado substancialmente a probabilidade de colisões, intensificando a geração de detritos espaciais. Esses riscos não apenas

comprometem a segurança operacional das missões espaciais, mas também colocam em xeque a sustentabilidade do ambiente espacial a longo prazo. Diante desse cenário, organismos internacionais, como a ONU e a União Internacional de Telecomunicações (UIT), bem como agências reguladoras nacionais, têm intensificado os esforços para estabelecer diretrizes técnicas e normativas voltadas à mitigação desses riscos e à promoção do uso racional e sustentável do espectro e das órbitas (GEBRIM e BAKAUS, 2024; OCDE, 2023).

Neste contexto, tem ganhado força também o conceito de economia circular espacial, baseado na ideia de reaproveitamento de componentes, reciclagem de materiais em órbita e prestação de serviços de manutenção e prolongamento da vida útil de satélites. Estimativas apontam que o valor total potencial dos objetos orbitais inativos supera US\$ 600 bilhões, sugerindo que sua recuperação não apenas ajudaria a mitigar o risco de colisões, como também criaria oportunidades econômicas, empregos de alta qualificação e avanços em ciência climática e ambiental (LEONARD e WILLIAMS, 2023).

Portanto, a nova era da economia espacial revela-se simultaneamente promissora e desafiadora. A crescente transversalidade dos produtos, serviços e dados oriundos do espaço, cada vez mais acessíveis e integrados a setores diversos da economia, consolida o espaço como um ativo estratégico com alto poder de indução ao desenvolvimento, especialmente frente ao potencial econômico que as atividades espaciais podem gerar direta e indiretamente. Exemplos notáveis incluem o uso de imagens de satélite na agricultura de precisão, a aplicação de sistemas globais de posicionamento em cadeias logísticas e urbanas, e, sobretudo, o papel das constelações de satélites de órbita baixa na ampliação da conectividade digital em regiões remotas (OCDE, 2023).

É nesse cenário de expansão dos usos civis e comerciais do espaço que emerge uma tecnologia particularmente promissora para o setor de telecomunicações: o *Direct-to-Device* (D2D). Essa tecnologia propõe o uso das redes não-terrestres (NTN) para permitir a conexão direta entre satélites e dispositivos móveis convencionais, viabilizando a extensão da cobertura das redes móveis terrestres tradicionais, de forma complementar e eficiente. O capítulo seguinte aprofunda essa discussão, explorando os fundamentos técnicos, o histórico de evolução e padronização das NTN e o potencial transformador do modelo D2D no avanço das comunicações móveis globais.

2 AS REDES NÃO-TERRESTRES E A TECNOLOGIA DIRECT-TO-DEVICE (D2D)

A previsão de utilização de satélites para complementar a cobertura das redes móveis terrestres é uma diretriz que acompanha a evolução dos sistemas de Telecomunicações Móveis Internacionais (IMT, do inglês *International Mobile Telecommunications*) desde suas primeiras formulações. A Recomendação UIT-R M.1034, relativa ao IMT-2000¹, já indicava que a componente satelital do IMT poderia atuar de forma complementar às redes terrestres, especialmente em áreas remotas ou de baixa densidade populacional. Naquela ocasião, já se observava a possibilidade de os satélites suprirem as limitações físicas e econômicas de cobertura das infraestruturas móveis tradicionais:

As redes de satélites podem fornecer serviços a vastas áreas em regiões escassamente povoadas, tais como zonas rurais e desérticas, ambientes marítimos e aeronáuticos. Deste ponto de vista, as redes de satélites podem possibilitar um complemento útil das redes terrestres.
(UIT-R, Recomendação M.1034-1, traduzido pelo Autor)

Muito embora essa previsão exista há décadas, é apenas recentemente que a tecnologia começa, de fato, a ganhar escala. Os avanços técnicos, a consolidação de padrões interoperáveis e o surgimento de novos modelos de negócio criaram as condições para que o uso das NTN se configure como uma solução viável e promissora, com potencial para um rápido e robusto desenvolvimento em curto prazo. Os tópicos seguintes abordam algumas características das NTN, o processo de padronização realizado pelo *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), órgão que atua como principal organismo global de padronização de tecnologias móveis, bem como as potencialidades e desafios associados à tecnologia D2D.

2.1 Características das redes não-terrestres e padronização no 3GPP

As NTN compreendem uma variedade de plataformas espaciais e aéreas utilizadas para prover conectividade de telecomunicações, com especial relevância para regiões rurais, remotas ou de difícil acesso. Essas plataformas incluem satélites em órbitas geoestacionárias (GEO), órbitas médias (MEO) e órbitas baixas (LEO), bem como sistemas aéreos de alta altitude e veículos aéreos não tripulados. O diferencial das NTN está em sua capacidade de fornecer conectividade onde as redes

¹ Nomenclatura dada aos sistemas de comunicação móveis de 3ª geração (3G).

terrestres enfrentam limitações técnicas, econômicas ou ambientais. Ao prover cobertura ampla e resiliente, as NTN tornam-se especialmente relevantes para cenários que envolvem a prestação de serviço em áreas afetadas por desastres, suporte a redes críticas, conectividade em transportes marítimos e aéreos, e expansão de serviços de conectividade em zonas rurais e remotas (GSOA, 2024).

Para fins deste estudo, as análises são concentradas sobre as NTN providas por satélites. Cada uma das camadas orbitais onde os satélites se posicionam apresenta características técnicas e operacionais distintas, que influenciam diretamente nos modelos de aplicação e desempenho das redes, conforme mostrado na Figura 2:

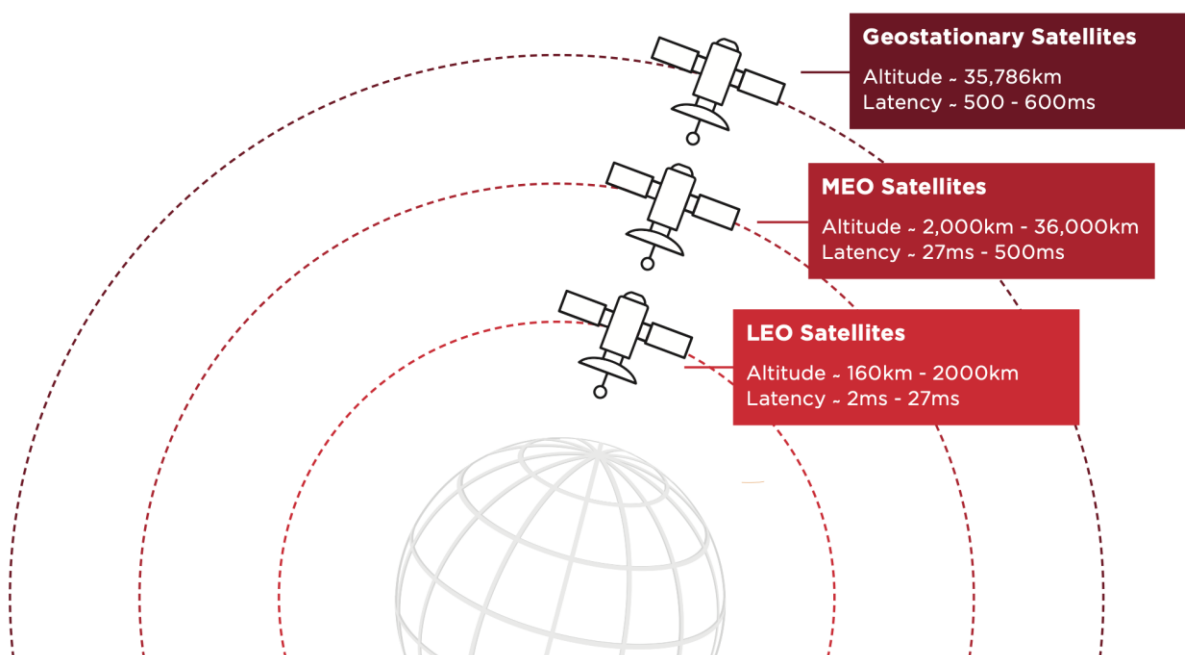


Figura 2 - Diferenças das órbitas GEO, MEO e LEO

Fonte: GSMA (2024b)

Em virtude desse grande potencial de ampliação de conectividade por meio satélites, a integração das NTN ao ecossistema das redes móveis passou a ser objeto de trabalho por parte do 3GPP. A partir do *Release 15*², o grupo iniciou estudos específicos sobre o uso de acesso via satélite no contexto do 5G, contemplando

² Os “*releases*” são lançamentos do 3GPP para padrões comunicação móvel, em que cada lançamento se concentra em novos recursos e melhorias específicas, com base em versões anteriores.

aspectos de arquitetura, requisitos de serviço e performance, orquestração e protocolos de rádio (EL JAAFARI et al., 2023).

O resultado concreto desses estudos se materializou no *Release 17*, publicado em 2022, que representa o primeiro conjunto de normas formais para as NTN dentro da arquitetura do 5G. Essa padronização estabeleceu a base técnica e funcional para a integração de elementos não-terrestres ao ecossistema móvel global, estruturando três soluções principais:

- i. Rede de acesso para New Radio (NR): essa arquitetura foi concebida para prover serviços de banda larga móvel aprimorada (eMBB, do inglês *Enhanced Mobile Broadband*) diretamente a terminais móveis convencionais, como *smartphones*, *tablets* e roteadores móveis, por meio de enlaces via satélite. Esse modelo opera predominantemente com satélites LEO e as aplicações típicas dessa solução incluem: cobertura complementar em áreas remotas; conectividade de emergência; continuidade de serviço para usuários embarcados em aeronaves, navios ou trens de alta velocidade; e suporte a usuários em movimento em zonas rurais ou em áreas urbanas periféricas com baixa qualidade de cobertura móvel celular (GUIDOTTI et al., 2022).
- ii. Rede de acesso para IoT: essa solução foca nas aplicações de Internet das Coisas (IoT, do inglês de *Internet of Things*), com destaque para aplicações de comunicação massiva tipo máquina (mMTC, do inglês *Massive Machine-Type Communications*). Diferentemente da arquitetura anterior, que prioriza banda larga para terminais móveis convencionais, aqui o objetivo é garantir conectividade ubíqua e de baixo consumo para sensores e dispositivos autônomos. Esse modelo pode operar com satélites GEO, MEO ou LEO, uma vez que as comunicações não precisam ser síncronas, e as aplicações típicas dessa solução incluem: agricultura de precisão, com sensores em áreas rurais monitorando umidade do solo, temperatura e presença de pragas; monitoramento ambiental; rastreamento logístico; e medição em redes de gás e energia (EL JAAFARI et al., 2023; GSMA, 2024b).
- iii. Backhaul satelital: essa terceira solução diz respeito ao uso de enlaces satelitais para prover *backhaul*, ou seja, a interconexão entre os elementos de acesso da rede e o núcleo do sistema. Nesse modelo, o

tráfego de dados não passa diretamente do terminal para o satélite, mas sim entre nós terrestres, conectados entre si por meio de satélites. Esse tipo de arquitetura pode utilizar satélites GEO, MEO e LEO, e as aplicações típicas incluem: implantação de estações rádio base em áreas isoladas; expansão rápida de cobertura em eventos temporários, como festivais, operações de resgate ou acampamentos militares; redundância e resiliência para redes de missão crítica, como serviços de emergência, redes governamentais ou sistemas bancários (GSMA, 2024b; GUIDOTTI et al., 2022).

Essa recente padronização promovida pelo 3GPP, especialmente a partir do *Release 17*, marca um avanço significativo na integração das NTN ao ecossistema 5G. Tal evolução viabiliza o fornecimento de serviços móveis diretamente por satélites a terminais convencionais, o que tem potencial para levar conectividade móvel a locais até então com pouca ou nenhuma oferta deste recurso. Isso não somente pode vir a permitir um maior ganho financeiro para o setor de telecomunicações, mas também contribuir para a diminuição da exclusão digital da população, mediante o aumento da digitalização de serviços e criação de novas oportunidades de negócios para a indústria e os governos.

2.2 A tecnologia *Direct-to-Device* (D2D)

A tecnologia D2D representa uma das manifestações mais recentes e significativas da dinâmica de destruição criativa de Schumpeter no segmento espacial. Essa inovação, ainda em fase inicial de implementação, permite que dispositivos móveis convencionais, como *smartphones* e sensores IoT, se conectem diretamente a satélites, sem a necessidade de infraestrutura terrestre intermediária. Trata-se, portanto, de uma disrupção que desafia a arquitetura tradicional das redes móveis, baseada na densificação de estações rádio base, e propõe uma nova forma de expansão da conectividade, com elevado potencial de impacto econômico e social. A Figura 3 demonstra os principais componentes de uma rede baseada na tecnologia D2D:

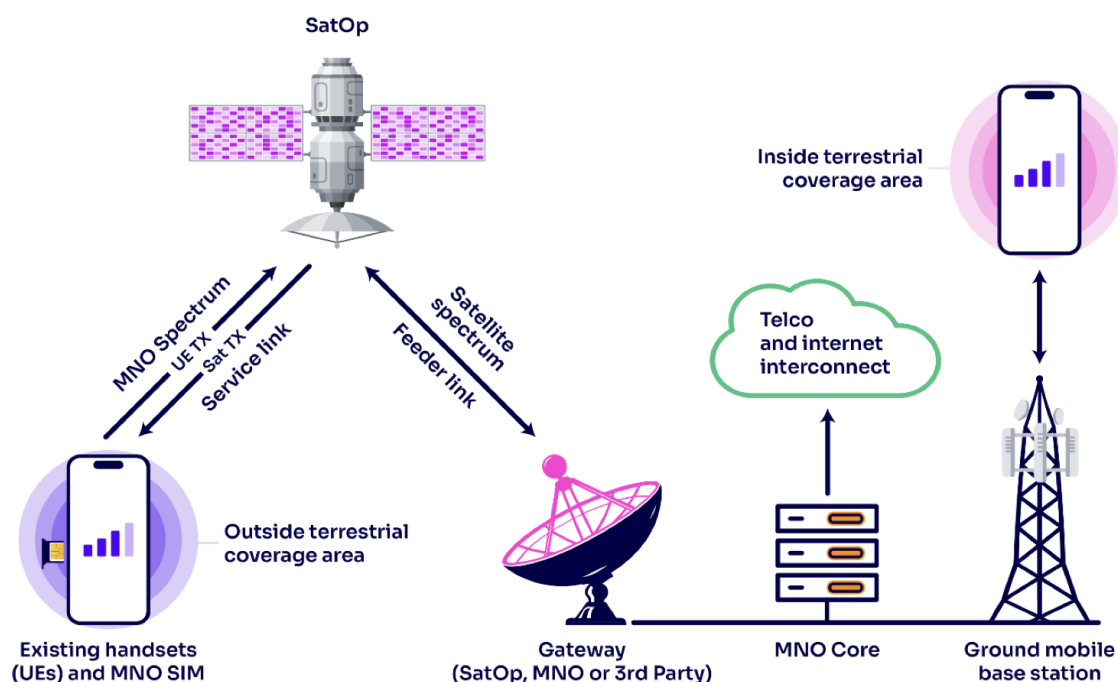


Figura 3 - Componentes principais de uma rede D2D

Fonte: OFCOM (2025)

A proposta do D2D possibilita a rápida expansão de cobertura da rede móvel terrestre, com potencial para ampliar o acesso à informação, estimular a inclusão produtiva e expandir mercados antes inatingíveis. Esses atributos colocam o D2D em posição estratégica para atender regiões rurais, remotas ou afetadas por desastres, onde a cobertura de redes móveis terrestres é inexistente ou economicamente inviável. A OCDE (2023) destaca que essas soluções híbridas, ao integrar redes espaciais e terrestres, tendem a redefinir os arranjos de prestação de serviços de telecomunicações e a criar oportunidades econômicas para operadoras móveis terrestres (MNO, do inglês *Mobile Network Operator*) e operadoras satelitais (SNO, do inglês *Satellite Network Operator*), o que é condizente com o argumento de Schumpeter (1942 [2022]), abordado anteriormente na Seção 1.2 do Capítulo 1, de que a inovação, ao destruir modelos antigos, também é fonte de renovação e progresso.

Essa inovação promovida pelo D2D tem estimulado o surgimento de modelos de parceria entre MNOs e SNOs, materializados em acordos comerciais recentemente anunciados^{3,4}, e reforça a tendência de convergência tecnológica entre os dois

³ [TELETIME \(2024\): AT&T e AST SpaceMobile firmam acordo para conexão satélite-celular](#)

⁴ [CNN BRASIL \(2025\): Starlink lança parceria com T-Mobile para telefonia via satélite](#)

segmentos. No plano regulatório, essa integração encontra-se sob análise no âmbito do Setor de Radiocomunicações da UIT (UIT-R), que vem debatendo os requisitos técnicos, operacionais e de gestão do espectro necessários à harmonização entre os serviços móveis terrestres e satelitais (JAMSHED et al., 2024).

No que se refere especificamente aos estudos sobre o compartilhamento do espectro radioelétrico entre MNOs e SNOs para viabilizar a conectividade via D2D, a UIT-R aprovou, durante a Conferência Mundial de Radiocomunicações de 2023 (CMR-23), a inclusão do item de agenda 1.13. Esse item prevê a realização de estudos voltados à avaliação de possíveis novas atribuições de espectro ao serviço móvel por satélite (MSS, do inglês *Mobile Satellite Service*), com o objetivo de permitir conexões diretas entre estações espaciais e equipamentos de usuários do serviço de IMT, em caráter complementar à cobertura terrestre existente. Os estudos foram formalizados por meio da Resolução 813 (WRC-23)⁵ e devem abranger a faixa de frequências entre 698 MHz e 2.700 MHz, com vistas à deliberação final durante a próxima Conferência Mundial de Radiocomunicações, em 2027.

Embora a regulamentação internacional ainda esteja em fase de definições e estudos, diversos países têm avançado no desenvolvimento de marcos regulatórios para viabilizar o uso da tecnologia D2D em faixas tradicionalmente destinadas ao serviço móvel terrestre. Nos Estados Unidos, a *Federal Communications Commission* (FCC), órgão regulador local, adotou o *Supplemental Coverage from Space* (SCS)⁶, autorizando o uso compartilhado dessas faixas por SNOs, em parceria com MNOs, para viabilizar conexões diretas a dispositivos móveis convencionais. No Canadá, iniciativa similar foi conduzida pelo *Innovation, Science and Economic Development Canada* (ISED), que estabeleceu o *Supplemental Mobile Coverage from Space* (SMCS)⁷ com o mesmo propósito. Na América Latina, o Brasil⁸, por meio da Anatel, e o Peru⁹, por meio do *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (MCT), adotaram abordagens experimentais ao estabelecer ambientes regulatórios controlados (*sandboxes*), voltados à experimentação da tecnologia, com o objetivo de avaliar suas implicações técnicas e normativas. Mais recentemente, o órgão regulador do Reino

⁵ [*Resolution 813 \(WRC-23\): Agenda for the 2027 world radiocommunication conference*](#)

⁶ [*FCC \(EUA\): Supplemental Coverage from Space*](#)

⁷ [*ISED \(Canadá\): Supplemental Mobile Coverage from Space*](#)

⁸ [*ANATEL \(Brasil\): Projeto piloto para sistemas satelitais em aplicações direct-to-device*](#)

⁹ [*MTC \(Peru\): Reglamento para promover la Innovación tecnológica*](#)

Unido, *Office of Communications (Ofcom)*, publicou uma consulta pública¹⁰ propondo regras para permitir serviços D2D via satélite em bandas móveis terrestres, reconhecendo o potencial dessa tecnologia para ampliar a cobertura e a resiliência das redes locais.

É inegável que o modelo D2D pode trazer implicações significativas para a estrutura financeira e regulatória do setor de telecomunicações. Ao permitir que as MNOs ampliem sua cobertura sem os elevados custos de capital associados à instalação e manutenção de torres, equipamentos de transmissão e redes ópticas, a tecnologia também abre novas oportunidades de negócio para as SNOs, que passam a ter ganhos com a oferta de capacidade de seus sistemas para esta cobertura complementar. Tal complementariedade entre os segmentos terrestre e espacial indica, portanto, o surgimento de um novo arranjo de mercado, baseado em acordos de compartilhamento de infraestrutura, modelos de partição de valores e parcerias estratégicas que transcendem as fronteiras tradicionais entre setores.

Assim, a inserção do D2D como nova camada de conectividade representa mais do que uma simples inovação tecnológica, trata-se de um vetor de reorganização estrutural da indústria de telecomunicações, com potencial para alterar modelos de negócio, padrões regulatórios, estruturas de investimento e fluxos de receita. No entanto, apesar das oportunidades evidentes, a convergência entre redes terrestres e satelitais suscita desafios relevantes, como a definição de mecanismos eficientes de coordenação e o equilíbrio competitivo entre atores envolvidos. Os capítulos seguintes abordam os aspectos mercadológicos para uso da tecnologia no Brasil, evidenciando suas vantagens e os potenciais benefícios financeiros para MNOs e SNOs envolvidas.

3 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA MÓVEL TERRESTRE NO BRASIL

O setor de telecomunicações móveis no Brasil passou por uma rápida evolução nas últimas décadas, com a sucessiva ampliação da cobertura e qualidade com as tecnologias 2G, 3G, 4G e, mais recentemente, 5G. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos e da crescente densidade de redes nos grandes centros urbanos, a distribuição geográfica da cobertura móvel ainda apresenta fortes desigualdades, com carência significativa de atendimento em áreas rurais, remotas e de baixa densidade populacional.

¹⁰ [*OFCOM \(Reino Unido\): Enabling Satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands*](#)

Neste contexto, os tópicos seguintes apresentam um panorama atualizado da infraestrutura móvel terrestre no Brasil, com base em dados de cobertura e população, evidenciando os principais desafios estruturais e os potenciais ganhos de conectividade que podem ser alcançados com a adoção de soluções de acesso complementar, como a tecnologia D2D.

3.1 Indicadores de utilização e cobertura da rede móvel no Brasil

Segundo dados da Anatel¹¹, ao final de 2024 o Brasil contabilizava aproximadamente 263,42 milhões de acessos móveis, com maior concentração na região Sudeste (131,08 milhões), seguida pelas regiões Nordeste (56,07 milhões), Sul (38,16 milhões), Centro-Oeste (20,31 milhões) e Norte (17,8 milhões). As três maiores MNOs do país – Claro, TIM e Vivo – respondiam por mais de 95% desses acessos, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Ranking de acessos por MNO

Empresa	Acessos	Participação de Mercado	Ranking
VIVO	102.314.720	38,8%	1
CLARO	87.145.384	33,1%	2
TIM	62.058.161	23,6%	3
ALGAR (CTBC TELECOM)	4.349.971	1,7%	4
DATORA	2.911.203	1,1%	5
SURF TELECOM	2.131.164	0,8%	6
Next Level Telecom Ltda.	1.051.435	0,4%	7
TELEXPERS TELECOMUNICAÇÕES S.A.	762.620	0,3%	8
BRISANET	337.899	0,1%	9
VERO	195.502	0,1%	10
UNIFIQUE	95.348	0,0%	11
EMNIFY BRASIL LTDA.	38.551	0,0%	12
LIGGA TELECOM	29.913	0,0%	13

Fonte: Anatel (2025a)

Para entender o que esses dados significam, é necessário, antes, explicar o que são os acessos móveis. Embora a Anatel não forneça uma definição específica para o termo, ele é comumente utilizado nos regulamentos e painéis da Agência para se referir ao número de linhas ativas para prestação do Serviço Móvel Pessoal (SMP)¹². Assim, em termos gerais, os acessos móveis referem-se aos *SIM Cards* ou números de telefone que estão ativos e registrados na rede das MNOs, podendo ser classificados como pré-pagos ou pós-pagos, e utilizados por pessoas físicas ou jurídicas.

¹¹ [ANATEL \(2025a\), Painel de quantidade de acessos no Brasil.](#)

¹² Serviço de telecomunicações de interesse coletivo que possibilita a comunicação entre as estações móveis e de estações móveis para outras estações.

Apesar de o Brasil registrar mais de 263 milhões de acessos móveis, número superior à própria população nacional, estimada em aproximadamente 212,6 milhões de habitantes segundo o Censo 2024¹³ do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), uma parcela significativa da população ainda permanece desconectada, e grande parte do território nacional não é coberto por redes móveis terrestres. De acordo com dados da Anatel¹⁴, detalhados na Tabela 2, mais de 92% dos brasileiros vivem em áreas atendidas por ao menos uma tecnologia de telefonia móvel, mas esse índice de cobertura populacional contrasta fortemente com a realidade territorial, que mostra que cerca de 84% da extensão geográfica do país segue sem qualquer sinal de rede móvel terrestre.

Tabela 2 - Cobertura móvel por MNO

Opera...	cobertura 2G	cobertura 3G	cobertura 4G	cobertura 5G	cobertos 2G	cobertos 3G	cobertos 4G	cobertos 5G	cobertos 2G	cobertos 3G	cobertos 4G	cobertos 5G
Todas	11,56	15,47	13,84	1,64	89,46	91,71	91,16	62,98	90,54	92,66	92,11	64,53
TIM	7,07	7,74	8,72	0,86	83,63	83,31	87,66	53,93	85,03	84,65	88,80	55,48
VIVO	7,70	11,85	9,64	0,73	83,33	88,71	87,05	50,66	84,74	89,85	88,30	52,27
CLARO	7,93	9,88	7,93	0,59	85,30	87,04	85,83	47,39	86,55	88,10	87,03	48,63
BRISANET	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00	11,45	11,45	0,00	0,00	11,11	11,12
ALGAR	0,20	0,25	0,20	0,05	1,34	1,81	1,63	1,08	1,43	1,92	1,73	1,16
UNIFIQUE	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,30	0,22	0,00	0,00	0,33	0,24
SUMICITY	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
SERCOMTEL	0,01	0,02	0,00	0,00	0,30	0,32	0,00	0,00	0,33	0,34	0,00	0,00
LIGUE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NEXTEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Anatel (2025b)

Sobre os números de conectividade nos domicílios, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua)¹⁵ referente ao ano de 2023, conduzida pelo IBGE, indicou que 91,9% dos domicílios brasileiros dispunham de rede móvel celular funcionando para acesso à Internet ou telefonia, sendo esse percentual de 95,3% nas áreas urbanas e de apenas 67,4% nas áreas rurais. Ainda segundo o levantamento, cerca de 5,9 milhões de domicílios não utilizavam a Internet, o que representa aproximadamente 16,5 milhões de brasileiros sem acesso, considerando a média de 2,79 moradores por domicílio, conforme números do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023, p. 62).

¹³ [IBGE \(2024a\): Censo 2024 - Estimativas da População para Estados e Municípios.](#)

¹⁴ [ANATEL \(2025b\): Painel de infraestrutura de cobertura móvel.](#)

¹⁵ [IBGE \(2024b\): Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2023.](#)

Entre os principais motivos associados à ausência de conectividade, destacam-se o desconhecimento sobre como utilizar a Internet (33,2%) e o custo elevado do serviço (30,0%). Outros fatores relevantes incluem a percepção de desnecessidade de acesso (23,4%), a indisponibilidade do serviço na localidade (4,7%) e o alto custo dos equipamentos (3,7%). Razões menos frequentes, mas ainda observadas, incluem a falta de tempo (1,4%), preocupações com privacidade ou segurança (0,6%) e outros motivos diversos (3,0%) (IBGE, 2024b). Esses percentuais podem ser observados no Gráfico 1.

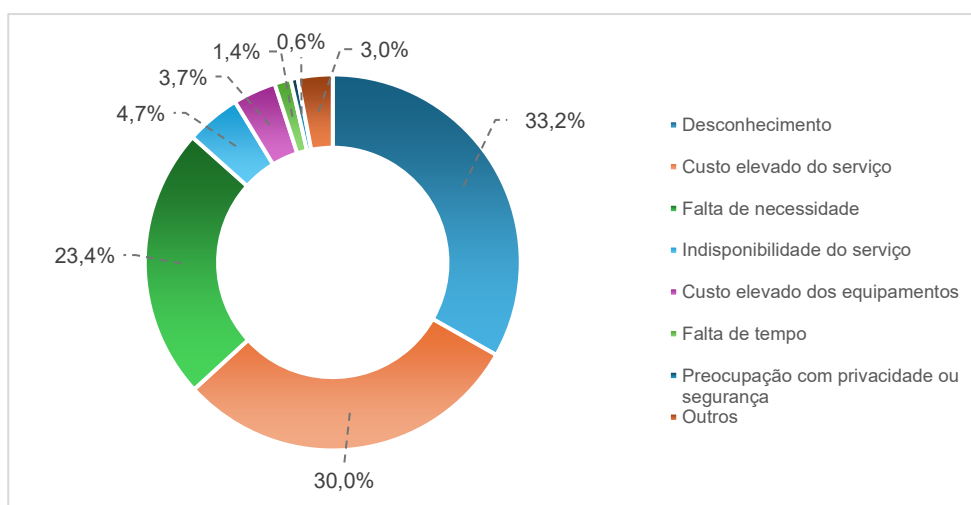


Gráfico 1 - Motivos da não utilização de Internet nos domicílios

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em dados do IBGE (2024b)

Essas evidências são reforçadas pela GSMA, que, em relatório recente sobre o estado da conectividade móvel global, destaca que, mesmo entre indivíduos familiarizados com a Internet móvel, o uso efetivo ainda é limitado por barreiras como o alto custo dos dispositivos e a falta de habilidades digitais básicas (GSMA, 2024a). Tais fatores reforçam a importância de soluções que considerem não apenas a disponibilidade da infraestrutura, mas também a viabilidade econômico-financeira e a acessibilidade prática para o usuário final.

3.2 Potencial de expansão da cobertura móvel com o D2D: estimativas iniciais

Como abordado anteriormente na Seção 2.2 do Capítulo 2, a tecnologia D2D baseia-se na utilização de satélites para ofertar conectividade diretamente aos dispositivos de usuário convencionais, atuando de forma complementar às redes móveis terrestres. Essa arquitetura permite, portanto, ampliar a área de cobertura sem a necessidade de implantação de novas antenas ou torres, tornando possível o atendimento em localidades isoladas, de difícil acesso ou economicamente inviáveis

para a instalação de infraestrutura terrestre tradicional. No entanto, a simples ampliação da cobertura garante que os indivíduos anteriormente excluídos se tornem, de fato, novos usuários dos serviços ofertados?

Conforme apresentado anteriormente, aproximadamente 16,5 milhões de pessoas no Brasil permanecem sem acesso à Internet. Entre os fatores declarados para essa exclusão, destacam-se barreiras estruturais que não podem ser superadas apenas por soluções tecnológicas no curto prazo, como o desconhecimento sobre como utilizar a Internet, a percepção de falta de necessidade, ou mesmo preocupações com privacidade e segurança. Tais obstáculos exigem abordagens educacionais, culturais e institucionais mais amplas (IBGE, 2024b).

Mas, por outro lado, entende-se que duas causas frequentemente mencionadas podem ser diretamente enfrentadas por meio de soluções de infraestrutura e modelos inovadores de negócios, como o proposto pelo D2D: o custo elevado do serviço de acesso à Internet (30,0%) e a indisponibilidade do serviço na localidade do domicílio (4,7%). Nesse sentido, a comparação entre os custos da conectividade móvel e da banda larga fixa é particularmente reveladora.

Segundo dados da Anatel¹⁶, a Receita Média por Usuário (ARPU, do inglês *Average Revenue Per User*) no Serviço Móvel Pessoal (SMP) é de R\$ 31,11, com variação entre R\$ 49,93 no segmento pós-pago e R\$ 11,73 no pré-pago. Em contraste, o ARPU do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM), responsável pela oferta de banda larga fixa residencial, alcança R\$ 97,74, valor mais que três vezes superior. O Gráfico 2 apresenta essa diferença da variação do ARPU nas regiões do país:

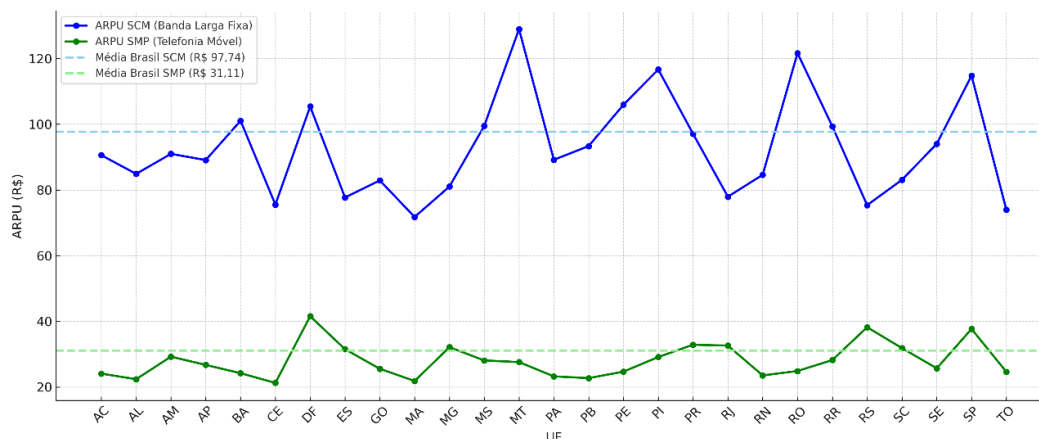


Gráfico 2 – Comparativo do ARPU do SCM e SMP nas regiões do Brasil

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em dados da Anatel (2024)

¹⁶ [ANATEL \(2024\): Panorama econômico-financeiro de telecomunicações.](#)

Diante disso, em um primeiro cenário em que se considera que 16,5 milhões de brasileiros não acessam a Internet e que 34,7% desse total estão excluídos por fatores diretamente endereçáveis pelo modelo D2D, estima-se um universo potencial de aproximadamente 5,73 milhões de novos usuários que poderiam ser incorporados à base de clientes por meio dessa tecnologia.

Em contraste ao número acima descrito, Gebrim e Nogueira (2024) projetam, em estudo recente sobre o uso de satélites para complementar a cobertura das redes móveis terrestres, que, em um cenário ótimo, no qual a média nacional de acessos por habitante fosse elevada ao patamar da região com melhor desempenho do país, o número de novos usuários poderia alcançar cerca de 14 milhões de pessoas. Números similares também são encontrados em relatório publicado pela GSMA (2023), que estima que 8% da população brasileira – aproximadamente 17 milhões de pessoas – vive em áreas sem cobertura de rede móvel, e que 25% desse total não utiliza os serviços de Internet móvel, fenômeno classificado pela Associação como *usage gap*. Deste modo, ao se considerar essa hipótese de que 75% das 17 milhões de pessoas atualmente sem cobertura poderiam ser efetivamente atendidas e convertidas em usuários com a implantação do modelo D2D, infere-se um potencial adicional de aproximadamente 12,75 milhões de novos usuários conectados.

Portanto, em um cenário mais conservador, estima-se que o número potencial de novos usuários resultantes da implantação do modelo D2D poderia chegar a 5,73 milhões de brasileiros. Por outro lado, em um cenário mais otimista, projeta-se que esse número poderia abranger entre 12,75 e 14 milhões de pessoas, representando o universo potencial de novos usuários que passariam a usufruir de serviços de conectividade por meio da expansão da cobertura móvel terrestre com o apoio da infraestrutura satelital.

Para que seja possível estimar com maior precisão o impacto da tecnologia D2D em termos de base de usuários e geração de receita, é fundamental realizar uma análise econômico-financeira do setor de telecomunicações brasileiro, com ênfase nas operações móveis. Essa avaliação permite identificar a estrutura de receitas, despesas, investimentos e indicadores de rentabilidade do segmento, fornecendo os elementos essenciais para a formulação de um modelo de negócios viável para a implantação da tecnologia D2D. Esses e outros aspectos relevantes são abordados no capítulo seguinte, capítulo este que servirá como base para elaboração do modelo financeiro do D2D.

4 PANORAMA ECONÔMICO-FINANCEIRO DO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS NO BRASIL E PERSPECTIVAS PARA O D2D

A análise econômico-financeira do setor de telecomunicações móveis brasileiro é fundamental para compreender o ambiente mercadológico no qual a tecnologia *Direct-to-Device* (D2D) pretende se inserir. Para tanto, optou-se por concentrar o estudo em duas das três maiores MNOs do país – TIM e Vivo – que, juntas, respondem por aproximadamente dois terços dos acessos móveis ativos no território nacional.

Embora a operadora Claro também figure entre os principais agentes do setor, sua não inclusão nesta análise decorre da adoção de um critério metodológico pautado na disponibilidade de informações públicas suficientemente detalhadas. Diferentemente das outras duas operadoras, que possuem capital aberto no Brasil e divulgam seus resultados de forma segmentada, a operadora Claro apresenta suas demonstrações financeiras de modo consolidado por meio de sua controladora, a América Móvil, sem discriminar o desempenho específico de suas operações móveis no país, especialmente no que tange ao lucro líquido. Essa limitação comprometeria a comparabilidade entre os dados das empresas analisadas, afetando a consistência e a robustez da avaliação proposta.

Diante desse contexto, privilegiou-se a utilização de informações públicas que contemplam, de forma segmentada, as principais variáveis necessárias ao desenvolvimento da análise econômico-financeira objeto deste estudo. Ademais, a expressiva participação no mercado nacional das duas operadoras selecionadas assegura elevado grau de representatividade e robustez, suficientes para sustentar a abordagem aqui adotada. Doravante, as duas operadoras serão referidas, respectivamente, como Empresa X e Empresa Y.

Foram utilizados dados públicos extraídos dos balanços financeiros consolidados de 2024 dessas empresas, além de informações operacionais disponibilizadas pela Anatel.

4.1 Indicadores financeiros de negócios das MNOs

As operadoras de telecomunicações no Brasil operam sob modelos de negócios diversificados, que englobam serviços móveis (como telefonia celular e acesso à Internet móvel), serviços fixos (como banda larga residencial, TV por assinatura e telefonia fixa), além da comercialização de equipamentos, a exemplo de aparelhos celulares, modems e roteadores. Apesar dessa diversidade, os dados

financeiros consolidados referentes ao exercício de 2024 da Empresa X e da Empresa Y, duas das maiores MNOs do setor, permitem evidenciar a relevância proporcional da operação móvel dentro do portfólio de serviços de cada companhia.

A Tabela 3 apresenta os principais indicadores extraídos dos relatórios financeiros dessas empresas, com destaque para os resultados associados à prestação do serviço móvel:

Tabela 3 – Dados econômico-financeiros das Empresas X e Y para o ano de 2024

INDICADOR	EMPRESA X	EMPRESA Y
RECEITA LÍQUIDA TOTAL	R\$ 25,448 bilhões	R\$ 55,845 bilhões
Receita Líquida do Serviço Móvel	R\$ 23,256 bilhões	R\$ 36,022 bilhões
PARTICIPAÇÃO DA RECEITA MÓVEL	91,39%	64,50%
EBITDA	R\$ 12,625 bilhões	R\$ 22,880 bilhões
LUCRO LÍQUIDO	R\$ 3,154 bilhões	R\$ 5,548 bilhões
CAPEX TOTAL	R\$ 4,55 bilhões	R\$ 9,167 bilhões
CAPEX Móvel (estimado)*	R\$ 4,158 bilhões	R\$ 5,913 bilhões
OPEX TOTAL	R\$ 12,823 bilhões	R\$ 32,965 bilhões
OPEX Móvel (estimado)*	R\$ 11,718 bilhões	R\$ 21,264 bilhões
Total de Acessos Móveis	62,01 milhões	102,31 milhões
ARPU Móvel (R\$/mês)	R\$ 31,40	R\$ 30,11
ARPU Móvel Pós-pago (R\$/mês)	R\$ 52,70	R\$ 52,11
ARPU Móvel Pré-pago (R\$/mês)	R\$ 14,8	R\$ 13,40

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

* Os valores estimados de CAPEX e OPEX móvel foram calculados a partir da proporção percentual de participação da receita móvel sobre a receita total de cada MNO.

Antes de se passar à análise desses dados, é importante, para fins deste estudo, detalhar os conceitos de CAPEX e OPEX, essenciais para melhor entender a estrutura de custos e investimentos atrelada ao setor de telecomunicações.

Os termos CAPEX e OPEX representam dois pilares fundamentais na estrutura de investimentos e custos operacionais das MNOs. O CAPEX refere-se aos investimentos de capital destinados à aquisição, ampliação ou manutenção de ativos físicos ou imobilizados de longo prazo, incluindo a construção de torres de transmissão e estações rádio base, instalação de redes de fibra óptica, aquisição de equipamentos de rede, construção de infraestrutura de data centers, dentre outros. O OPEX, por outro lado, refere-se aos custos recorrentes necessários para manter os serviços funcionando, incluindo custos com energia elétrica para alimentar torres e

data centers, contratos de operação e manutenção de equipamentos e redes, salários e encargos de equipes técnicas e operacionais, atendimento ao cliente e suporte técnico, marketing, vendas e cobrança, além de outros serviços inerentes ao funcionamento da estrutura da empresa (BRACH, 2016).

Com essa breve explicação, passa-se à análise de alguns dados relevantes da Tabela 3. Pode-se observar, em linhas gerais, que a Empresa Y possui a maior base de clientes móveis (102,31 milhões de acessos), o que está em linha com sua receita líquida total, a mais elevada entre as duas empresas. Por outro lado, a Empresa X é a que tem maior participação da receita móvel no total de receitas (91,39%) o que demonstra que sua operação está altamente focada neste segmento e é praticamente toda concentrada na prestação do serviço móvel.

Já em relação ao CAPEX e OPEX totais, em 2024 a Empresa Y registrou os maiores valores, com investimentos de R\$ 9,167 bilhões e despesas operacionais de R\$ 32,965 bilhões. Esses montantes elevados tendem a indicar um forte comprometimento com a expansão e modernização da infraestrutura, ao mesmo tempo em que revelam custos recorrentes significativos com operação e manutenção. A Empresa X apresentou R\$ 4,55 bilhões em investimentos e R\$ 12,823 bilhões em despesas operacionais, o que aponta para uma estrutura mais enxuta, o que é condizente com seu foco quase que exclusivamente dedicado à operação móvel.

A distinção entre CAPEX e OPEX torna-se particularmente relevante na análise da viabilidade do uso de infraestruturas NTN como complemento às redes móveis terrestres tradicionais. No entanto, para uma avaliação mais precisa do modelo de conectividade D2D, é fundamental isolar os montantes de investimentos e despesas operacionais relacionados exclusivamente às operações móveis, através da estimativa de participação do segmento móvel no CAPEX e OPEX totais. Essa proporção, quando aplicada aos valores globais de investimentos e custos operacionais, permite uma aproximação mais fiel dos aportes efetivamente vinculados à infraestrutura móvel.

A partir dessas premissas, a próxima seção examina de que forma a estrutura de custos e investimentos das MNOs pode influenciar a formulação de modelos de negócios associados à tecnologia D2D.

4.2 Impactos de CAPEX e OPEX no modelo de negócios D2D

Nas análises preliminares realizadas sobre a viabilidade financeira do modelo D2D, considerou-se, em um primeiro momento, que o uso da infraestrutura satelital poderia proporcionar economias significativas tanto em CAPEX quanto em OPEX para as MNOs. Essa suposição partia do entendimento de que, ao conectar usuários em áreas remotas por meio de satélites, seria possível eliminar por completo a necessidade de implantação de torres, enlaces ou estações rádio base para os novos usuários, o que resultaria em uma redução direta nos investimentos de capital. Contudo, à medida que a análise vem sendo aprofundada, verifica-se que essa realidade operacional é mais complexa e impõe limitações importantes à hipótese inicialmente considerada. Explica-se.

No modelo D2D, é esperado que os usuários conectados via satélite não permaneçam restritos a áreas remotas, pois, ao se deslocarem para áreas cobertas pela rede terrestre, passam também a utilizar a infraestrutura convencional da MNO. Além disso, a rede móvel terrestre precisa ser continuamente mantida e modernizada, tanto para cumprir exigências regulatórias quanto para atender ao crescimento da demanda por capacidade, sobretudo nos grandes centros urbanos. Esse cenário se torna ainda mais relevante com o incremento de novos clientes oriundos da cobertura satelital.

Nesse contexto, conclui-se que a estrutura de CAPEX da MNO não se reduz de forma proporcional à ampliação da base de usuários promovida pela conectividade via satélite. Por esse motivo, opta-se aqui por não considerar reduções de CAPEX no cálculo do lucro incremental por cliente no modelo D2D, a fim de evitar a superestimação dos ganhos econômicos e assegurar maior rigor metodológico à análise. Em contrapartida, a modelagem passa a contemplar exclusivamente as economias relacionadas ao OPEX da rede móvel, especialmente nos componentes ligados à operação da infraestrutura física terrestre.

Diante disso, considera-se que alguns componentes de OPEX, como a manutenção da rede e das torres, o consumo de energia elétrica em sites remotos, e os serviços de campo e suporte técnico local, podem ser positivamente impactados pelo novo modelo. Isso porque, ao adotar soluções satelitais, a MNO pode transferir parte desses custos operacionais recorrentes à SNO, por meio de contratos de prestação de serviço ou de modelos de compartilhamento de infraestrutura. Por outro

lado, os demais elementos operacionais, como marketing, faturamento, atendimento ao cliente e sistemas de *backoffice*, permanecem sob responsabilidade da MNO e, portanto, continuam integrando sua estrutura de custos no contexto do modelo analisado.

4.2.1 Detalhamento do OPEX das MNOs

Como abordado anteriormente, o OPEX das MNOs inclui despesas com manutenção da rede, energia elétrica, interconexão, pessoal, publicidade, atendimento ao cliente, sistemas de TI, dentre outros. Os dados de OPEX das Empresas X e Y referentes ao ano de 2024 estão resumidos na Tabela 4, conforme declarado em seus relatórios financeiros anuais:

Tabela 4 – Dados de OPEX das Empresas X e Y para o ano de 2024

CATEGORIA	EMPRESA X		EMPRESA Y	
	Valor (R\$ bilhões)	% OPEX	Valor (R\$ bilhões)	% OPEX
Serviços e Produtos	1,104	8,61%	10,49	31,82%
Rede e Infraestrutura	4,508	35,16%	7,508*	22,78%
Pessoal	1,486	11,59%	5,982	18,15%
Comercialização	3,899	30,41%	6,502*	19,72%
Gerais e Administrativas	0,884	6,89%	1,304	3,96%
Provisão para Devedores	0,693	5,40%	1,523	4,62%
Outras	0,249	1,94%	-0,344**	-1,04%
TOTAL	12,823	100%	32,965	100%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

* A Empresa Y declara os custos com “Comercialização” e “Rede e Infraestrutura” de forma agregada. Para estimar esses valores separadamente, adotou-se a proporção observada na Empresa X, que divulga essas categorias de forma segmentada, aplicando-a ao montante total informado pela Empresa Y para o conjunto dessas duas categorias combinadas.

** O custo representando com sinal negativo significa que a empresa teve lucro no ano neste quesito.

A partir da análise dos dados apresentados na Tabela 4, pode-se presumir que o componente de OPEX que é mais diretamente impactado pela adoção de uma arquitetura híbrida móvel-satelital é o relacionado à rede e infraestrutura, pois os custos relacionados à manutenção da rede física, operações de campo e transporte de dados podem ser significativamente reduzidos quando o tráfego dos novos usuários é absorvido, majoritariamente, por meio da infraestrutura satelital. Já as demais categorias operacionais, como venda de produtos e serviços,

comercialização, atendimento ao cliente, provisões para devedores duvidosos e despesas administrativas, tendem a permanecer quase inalteradas no novo modelo, tendo em vista que essas categorias são relevantes tanto no modelo da rede móvel tradicional quanto no modelo híbrido móvel-satelital.

Essa constatação encontra respaldo técnico no documento que aborda a integração do satélite com redes terrestres do Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações (ETSI, do inglês *European Telecommunications Standards Institute*), que destaca que “arquiteturas de acesso baseadas em satélite, em regiões rurais e remotas, reduzem significativamente os custos operacionais relacionados à infraestrutura terrestre, especialmente no que se refere ao transporte de última milha e à manutenção” (ETSI, 2020, p. 34). De maneira complementar, a GSMA corrobora essa hipótese ao indicar que os maiores custos operacionais para MNOs em áreas rurais estão relacionados ao consumo de energia dos sites, aluguel de torres, transporte e manutenção, elementos esses que representam uma parcela significativa do custo total de propriedade de cada implantação de rede (GSMA, 2016).

Adicionalmente, em relatório recente sobre a aceleração da conectividade rural, a GSMA também destaca os desafios específicos enfrentados em regiões remotas, enfatizando que a ausência de infraestrutura básica habilitadora, como fornecimento de energia elétrica e redes de transporte por fibra, eleva significativamente os custos operacionais das estações rádio base nessas localidades. De acordo com estimativas apresentadas no estudo, cujos dados estão resumidos na Tabela 5, o OPEX em áreas rurais pode ser até 25% superior ao registrado em áreas urbanas, enquanto em regiões extremamente remotas esse aumento pode chegar a 100% (GSMA, 2020).

Tabela 5 - Diferenças econômicas por site e por área de localização (cenários urbano, rural e remoto)

VS URBANO	URBANO	RURAL	REMOTO
Usuários por site	100%	-60%	-80%
Receita por site	100%	-80%	-95%
OPEX por site	100%	+25%	+100%
CAPEX por site	100%	+5%	+30%

Fonte: Adaptado de GSMA (2016)

Como mostrado na Tabela 5, os custos de OPEX em áreas rurais e remotas tendem a ser muito mais elevados do que em um cenário urbano. Esse fator, somado à perspectiva de uma base menor de usuários e a uma menor geração de receita por site, acaba sendo um importante limitador financeiro para expansão da cobertura por

meio de redes terrestres nessas regiões. Em geral, as MNOs apenas atendem esses locais quando existem obrigações contratuais de cobertura estabelecidas em editais de licitação de espectro, por meio de compromissos de abrangência ou por incentivos decorrentes de políticas públicas específicas.

Entretanto, considerando que o OPEX relacionado à rede e infraestrutura é justamente o componente que a arquitetura D2D busca eliminar ou minimizar, e levando em conta que os demais elementos operacionais já são absorvidos pela estrutura atual e não tendem a crescer de forma significativa com a adoção de um modelo híbrido, a conectividade direta via satélite se apresenta como mais do que uma alternativa tecnológica. Trata-se, portanto, de uma nova fronteira, com potencial para viabilizar a inclusão de populações atualmente desassistidas, ao mesmo tempo em que promove ganhos de rentabilidade tanto para o setor móvel terrestre quanto para o setor satelital.

4.3 Estimativas de custo e lucro líquido por cliente móvel

Para estimar o real impacto financeiro da adoção da tecnologia D2D em relação ao modelo tradicional de redes móveis terrestres, é necessário isolar o lucro líquido proveniente exclusivamente da operação móvel das MNOs, uma vez que esse é o segmento diretamente afetado pela implementação da nova arquitetura. A correta mensuração do lucro líquido por cliente móvel torna possível avaliar, com maior precisão, a atratividade econômica da ampliação da cobertura por meio de soluções satelitais.

Os dados econômico-financeiros apresentados anteriormente na Tabela 3, com ênfase nas informações relativas ao lucro líquido total, são utilizados nesta análise. A metodologia adotada consiste em utilizar a proporção da receita líquida da operação móvel (RLM) em relação à receita líquida total (RLT) como base para estimar a parcela do lucro líquido total (LLT) atribuível à operação móvel, ou seja, o lucro líquido móvel por ano (LLM_{ano}):

$$LLM_{ano} = LLT \times (RLM/RLT) \quad (1)$$

Em seguida, divide-se o valor encontrado pelo número total de acessos móveis (TAM) da MNO, para que se possa obter o lucro líquido anual por cliente móvel

($LLMC_{ano}$). Por fim, esse montante é dividido pelos 12 meses do ano, para determinar o lucro líquido mensal por cliente móvel ($LLMC_{mês}$):

$$LLMC_{ano} = \frac{LLM_{ano}}{TAM} \quad (2)$$

$$LLMC_{mês} = \frac{LLMC_{ano}}{12} \quad (3)$$

Para facilitar a compreensão, os valores das variáveis utilizadas para esses cálculos encontram-se descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Variáveis para cálculo do lucro líquido médio mensal por cliente móvel

INDICADOR	EMPRESA X	EMPRESA Y
RLT (Receita Líquida Total)	R\$ 25,448 bilhões	R\$ 55,845 bilhões
RLM (Receita Líquida Móvel)	R\$ 23,256 bilhões	R\$ 36,022 bilhões
LLT (Lucro Líquido Total)	R\$ 3,154 bilhões	R\$ 5,548 bilhões
TAM (Total de Acessos Móveis)	0,06201 bilhões	0,10231 bilhões

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A partir dos dados constantes da Tabela 6, calcula-se o LLM_{ano} e $LLMC_{mês}$ das Empresas X e Y, conforme equações (1) e (3):

$$\text{Empresa X: } LLM_{ano} = 3,154 \times (23,256/25,448) \approx R\$ 2,883 \text{ bilhões}$$

$$\text{Empresa X: } LLMC_{ano} = \frac{2,883}{0,06201} \approx R\$ 46,48 \rightarrow LLMC_{mês} \approx R\$ 3,87$$

$$\text{Empresa Y: } LLM_{ano} = 5,548 \times (36,022/55,845) \approx R\$ 3,579 \text{ bilhões}$$

$$\text{Empresa Y: } LLMC_{ano} = \frac{3,579}{0,10231} \approx R\$ 34,98 \rightarrow LLMC_{mês} \approx R\$ 2,91$$

Os resultados obtidos indicam que, embora a Empresa Y possua uma base de clientes móveis maior, seu lucro líquido mensal estimado por cliente móvel foi de R\$ 2,91, valor inferior ao registrado pela Empresa X, cujo lucro líquido mensal por cliente móvel alcançou R\$ 3,87. Essa diferença pode decorrer de diversos fatores relacionados à estrutura operacional e à eficiência de cada empresa, incluindo variações nos custos médios, políticas de precificação, composição da base de clientes (entre planos pré-pagos e pós-pagos) e arquitetura de rede adotada.

A partir dessa estimativa do lucro líquido mensal por cliente móvel já estabelecida, torna-se possível calcular o custo médio mensal por cliente móvel ($CMC_{mês}$). O cálculo baseia-se na diferença entre o ARPU e o $LLMC_{mês}$ e, para estimar

o custo médio anual por cliente móvel (CMC_{ano}), basta multiplicar o resultado mensal por 12 meses:

$$CMC_{mês} = ARPU - LLMC_{mês} \quad (4)$$

$$CMC_{ano} = CMC_{mês} \times 12 \quad (5)$$

O CMC_{ano} representa o custo médio necessário para manter um cliente ativo ao longo do tempo e é fundamental para compreender o peso relativo dos custos operacionais na eficiência da operação. Para as Empresas X e Y, chega-se aos seguintes números ao aplicar as equações (4) e (5):

$$\text{Empresa X: } CMC_{mês} = 31,40 - 3,87 \approx R\$ 27,53 \rightarrow CMC_{ano} \approx R\$ 330,36$$

$$\text{Empresa Y: } CMC_{mês} = 30,11 - 2,91 \approx R\$ 27,20 \rightarrow CMC_{ano} \approx R\$ 326,40$$

A partir destes números, nota-se que, apesar da diferença observada entre os lucros líquidos médios mensais por cliente móvel, os custos médios anuais por cliente móvel das Empresas X e Y apresentam valores bastante similares. Isso demonstra que, mesmo com um ARPU superior a R\$ 30,00 por cliente, a maior parte da receita gerada é consumida por despesas operacionais, resultando em margens líquidas relativamente modestas, inferiores a R\$ 4,00 por cliente.

Esse cenário reforça a relevância de modelos que contribuam para a redução dos custos operacionais por usuário, como o modelo D2D, sobretudo em áreas de difícil acesso e de baixa atratividade econômica para investimentos em redes terrestres. No entanto, para se ter uma aproximação mais real do modelo híbrido, realiza-se a seguir uma análise de sensibilidade do custo operacional por usuário no modelo D2D, com o objetivo de avaliar como a proporção de OPEX transferível à SNO afeta a viabilidade econômica da solução.

4.4 Cenários para análise de sensibilidade do OPEX no modelo D2D

A metodologia empregada nesta etapa baseia-se na análise de sensibilidade, amplamente reconhecida como uma ferramenta essencial na formulação e avaliação de modelos econômicos. De acordo com Hermeling e Mennel (2008), “a análise de sensibilidade estuda como a variação nos resultados numéricos de um modelo pode ser atribuída, de forma quantitativa, a diferentes fontes de variação nos parâmetros básicos de entrada”. Mais recentemente, Saltelli et al. (2021) reforçam que análises

de incerteza e sensibilidade são cruciais para a validação e credibilidade de modelos, sobretudo em ambientes de alta incerteza. Esse aspecto é particularmente relevante quando tais modelos são utilizados como suporte à formulação de políticas públicas, como no caso das decisões sobre infraestrutura de telecomunicações em áreas remotas.

Dessa forma, este estudo adota uma abordagem determinística simplificada, com aplicação de alguns cenários de variação percentual no OPEX relativo à rede e infraestrutura das MNOs, com o objetivo de avaliar os efeitos dessas variações sobre a margem de lucro líquida gerada por novos clientes atendidos exclusivamente via satélite. Por se tratar de um modelo determinístico simplificado, com variação de um único parâmetro e cujo foco se concentra na avaliação do impacto direto de diferentes níveis de economia sobre o lucro líquido por cliente móvel, optou-se pela utilização de quatro cenários representativos, definidos com base em referências técnicas e operacionais explicadas a seguir.

Sobre a utilização de parâmetros reduzidos, dentro do arcabouço teórico do *Robust Decision Making* (RDM), desenvolvido por Robert Lempert, destaca-se que um pequeno conjunto de cenários cuidadosamente elaborados pode oferecer *insights* robustos para apoiar decisões em contextos de grande incerteza. Essa ênfase na qualidade e na pertinência dos cenários, embora não atue sob grandes amostras, confere validade metodológica ao processo decisório (LEMPERT, 2019). Nesse contexto, os quatro cenários aqui adotados permitem capturar, de forma clara e estruturada, os efeitos marginais da variação dos parâmetros sobre os resultados do modelo, sem a necessidade de amostragem extensiva ou métodos estatísticos mais sofisticados, que seriam mais adequados em modelos probabilísticos ou com múltiplas variáveis de incerteza.

Para subsidiar as análises subsequentes, os valores consolidados de custos e lucro líquido por cliente móvel foram organizados na Tabela 7. Esses indicadores servem como referência direta para as simulações financeiras do modelo D2D, permitindo a comparação entre o cenário atual e os ganhos incrementais potenciais decorrentes da inclusão de clientes atendidos exclusivamente por meio de conectividade satelital. Conforme resumido na Tabela 7, os custos operacionais com redes e infraestrutura atribuíveis à operação móvel das Empresas X e Y correspondem, respectivamente, a 35,16% e 22,78% do OPEX total móvel. Considerando que os clientes conectados via D2D são, na maior parte do tempo,

atendidos por infraestrutura satelital, é razoável assumir que boa parte desses custos, como torres, equipamentos de transmissão, energia elétrica, manutenção e infraestrutura de *backhaul*, deixaria de ser responsabilidade direta da MNO e passaria a ser responsabilidade da SNO.

Tabela 7 – Consolidação de custos e lucro líquido por cliente móvel

INDICADOR	VARIÁVEL	EMPRESA X	EMPRESA Y
Total de Acessos Móveis	TAM	0,06201 bilhões	0,10231 bilhões
Receita média por cliente	ARPU	R\$ 31,40	R\$ 30,11
Lucro líquido mensal por cliente móvel	LLMC _{mês}	R\$ 3,87	R\$ 2,91
% do LLMC _{mês} sobre o ARPU	% LLMC _{ARPU}	12,32%	9,66%
Custo médio mensal por cliente móvel	CMC _{mês}	R\$ 27,53	R\$ 27,20
% do CMC _{mês} sobre o ARPU	% CMC _{ARPU}	87,68%	90,34%
OPEX total	OPEX _{TOT}	R\$ 12,823 bilhões	R\$ 32,965 bilhões
OPEX total móvel	OPEX _{TOT_MOV}	R\$ 11,716 bilhões	R\$ 21,226 bilhões
% OPEX _{TOT_MOV} sobre OPEX _{TOT}	%OPEX _{TOT_MOV}	91,37%	64,39%
OPEX total rede e infraestrutura	OPEX _{TOT_REDE}	R\$ 4,508 bilhões	R\$ 7,508 bilhões
% OPEX _{TOT_REDE} sobre OPEX _{TOT_MOV}	%OPEX _{TOT_REDE}	35,16%	22,78%
OPEX proporcional rede e infraestrutura*	OPEX _{MOV_REDE}	R\$ 4,119 bilhões	R\$ 4,834 bilhões

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

* Aplicou-se o %OPEX_{TOT_MOV} ao OPEX_{TOT_REDE}, estimando assim o custo proporcional do OPEX de rede e infraestrutura atribuível à operação móvel.

Contudo, dado que a arquitetura do D2D pressupõe redes híbridas e integradas, é igualmente razoável considerar que parte dos usuários fará uso da rede móvel terrestre quando estiver em áreas com cobertura, e que a MNO continuará responsável por elementos de suporte, como atendimento ao cliente, marketing e integração de sistemas. Por essa razão, adota-se uma abordagem conservadora, com quatro cenários representativos de economia sobre o OPEX de rede e infraestrutura:

- i) 100% de economia: cenário idealizado em que todos os novos custos de rede e infraestrutura da operação via D2D são absorvidos pela SNO. Este percentual reflete a diferença de OPEX entre localidades extremamente remotas e áreas urbanas (ver Tabela 5);
- ii) 62,5% de economia: cenário intermediário em que a maior parte dos novos custos de rede e infraestrutura da operação via D2D é abarcado pela SNO. Este percentual corresponde à média da soma do incremento

de OPEX em áreas rurais e remotas em relação ao contexto urbano (ver Tabela 5);

- iii) 50% de economia: cenário mediano, que reflete a divisão igualitária, entre MNO e SNO, de novos custos de rede e infraestrutura da operação via D2D; e
- iv) 25% de economia: cenário conservador em que pequena parte dos novos custos de rede e infraestrutura da operação via D2D é absorvido pela SNO. Esse percentual reflete a diferença entre o OPEX rural em comparação com áreas urbanas (ver Tabela 5).

Os quatro cenários aqui adotados cumprem o papel de explorar os limites superiores e inferiores da economia operacional esperada, além de oferecerem uma base concreta para a análise de viabilidade financeira do modelo proposto. A abordagem metodológica adotada é justificada pelo fato de que, no modelo D2D, o principal benefício econômico para a MNO reside justamente na eliminação total ou parcial dos custos operacionais fixos com infraestrutura de rede em regiões remotas, sem comprometer a qualidade do serviço prestado. Como esses custos não são substituídos por despesas de mesma natureza, mas transferidos à SNO, assume-se que a economia gerada impacta diretamente a margem operacional, elevando o lucro líquido por cliente móvel.

Não obstante os benefícios projetados para as MNOs, a sustentabilidade do modelo D2D requer também a consideração dos ganhos financeiros para a contraparte satelital. A viabilidade de longo prazo da proposta depende de um arranjo de incentivos equilibrado, no qual os riscos e as receitas sejam compartilhados proporcionalmente ao valor agregado por cada parte. Para tanto, é fundamental analisar o modelo de partição de valores, o universo estimado de novos clientes passíveis de conexão exclusiva via satélite, e outras premissas operacionais e financeiras que influenciam a atratividade do modelo. Tais aspectos são abordados no próximo capítulo, com a proposição de um modelo econômico-financeiro simplificado voltado à avaliação da viabilidade do D2D em diferentes arranjos de escala e compartilhamento.

5 FORMULAÇÃO DO MODELO ECONÔMICO-FINANCEIRO DO D2D

Este capítulo apresenta um modelo econômico-financeiro voltado à estimativa do potencial de geração de receita decorrente de parcerias entre MNOs e SNOs,

viabilizadas por meio da utilização da tecnologia D2D. A formulação do modelo parte de três premissas fundamentais:

- i) A MNO poderá ofertar cobertura nacional aos seus clientes mediante a integração de sua rede terrestre com a infraestrutura satelital da SNO, sem necessidade de expansão da sua própria infraestrutura física. A SNO, por sua vez, proverá conectividade em regiões não cobertas pela rede terrestre;
- ii) A receita gerada com a prestação do serviço será compartilhada entre MNO e SNO, conforme percentual previamente acordado entre as partes; e
- iii) A base de clientes é segmentada em dois grupos, os clientes existentes (CLL_{UPG}), dos quais fazem parte usuários da base atual da MNO que optam por realizar o *upgrade* de seus planos para incluir a cobertura satelital; e os clientes novos (CLL_{SAT}), dos quais fazem parte indivíduos que passam a integrar a base da MNO em razão da expansão da cobertura viabilizada pela conectividade via satélite.

Com base nessas premissas, o objetivo é estimar o lucro líquido incremental auferido por cada parte envolvida na parceria, bem como propor uma lógica de partição deste lucro, assegurando equilíbrio financeiro no modelo e atratividade tanto para a MNO quanto para a SNO.

5.1 Equações de Lucro

Para estimar o lucro potencial decorrente da adoção do modelo D2D, a análise é dividida em dois cenários distintos. O primeiro considera os usuários já presentes na base das MNOs e que optam por realizar um *upgrade* em seus planos mediante o pagamento de um valor adicional, com o intuito de obter cobertura nacional estendida por meio da integração com redes satelitais. O segundo contempla a inclusão de novos usuários que passam a ser atendidos exclusivamente em função da ampliação da cobertura da rede móvel terrestre por meio da infraestrutura satelital.

Em ambos os cenários, são consideradas variações no número de usuários potenciais aderindo ao novo plano, no percentual de economia de OPEX com a utilização da rede híbrida, e no percentual de partição do lucro líquido adicional entre MNO e SNO.

5.1.1 Lucro líquido adicional para clientes existentes (CLL_{UPG}):

Com o objetivo de mensurar o impacto financeiro da adoção do modelo D2D sobre a base de clientes já existente, simula-se diferentes cenários de adesão ao novo plano com cobertura nacional integrada. A análise é guiada pelos seguintes pressupostos:

- i) Adoção parcial da base de clientes: considera-se uma taxa de adesão entre 5% e 25% da base atual de usuários da MNO, sob a hipótese de que apenas uma fração do total optará pela contratação do plano com cobertura estendida via satélite. Para fins de simulação, são utilizados incrementos lineares de 5 pontos percentuais, resultando nos seguintes cenários: 5%, 10%, 15%, 20% e 25%;
- ii) Níveis de incremento no ARPU: para garantir a sustentabilidade do modelo, presume-se que a MNO aplicará um acréscimo no valor do plano, proporcional à funcionalidade adicional oferecida. Os percentuais simulados de aumento do ARPU variam entre 10% e 50%, com incrementos de 10 pontos percentuais, abrangendo os seguintes valores: 10%, 20%, 30%, 40% e 50%; e
- iii) Ganho de margem por economia de OPEX: admite-se que a substituição parcial da infraestrutura terrestre pela conectividade satelital resulte em uma economia operacional para a MNO, a qual se reflete diretamente no lucro líquido mensal por cliente. Para efeito de simulação, são considerados cinco níveis distintos de economia sobre o percentual do OPEX associado à rede e à infraestrutura: 0%, 25%, 50%, 62,5% e 100%. Esses cenários foram previamente discutidos e apresentados na Seção 4.4 do Capítulo 4.

Com base nesses pressupostos descritos, formulou-se uma equação destinada à estimativa do lucro adicional mensal total que pode ser auferido pela MNO. A base de cálculo considera dois componentes principais: o valor adicional cobrado pelo novo serviço e a economia operacional decorrente da substituição parcial da infraestrutura terrestre pela conectividade satelital.

A expressão intermediária para cálculo da base de clientes que fazem *upgrade* de seus planos é a equação (6). Ao aplicar essa equação, calcula-se a variável CLL_{UPG}

para as Empresas X e Y, a partir de variações percentuais de incremento, conforme consolidado na Tabela 8:

$$CLI_{UPG} = TAM \times \%INC_{TAM} \quad (6)$$

Tabela 8 – Variação percentual de clientes existentes que fazem upgrade de seus planos

$\%INC_{TAM}$	CLI_{UPG} EMPRESA X	CLI_{UPG} EMPRESA Y
25%	15,503 milhões	25,578 milhões
20%	12,402 milhões	20,462 milhões
15%	9,302 milhões	15,347 milhões
10%	6,201 milhões	10,231 milhões
5%	3,101 milhões	5,116 milhões

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A expressão intermediária para cálculo do valor de incremento do ARPU é a equação (7). Ao aplicar essa equação, calcula-se a variável INC_{ARPU} para as Empresas X e Y, a partir de variações percentuais de incremento, conforme consolidado na Tabela (9):

$$INC_{ARPU} = ARPU \times \%INC_{ARPU} \quad (7)$$

Tabela 9 – Variação percentual de incremento do ARPU

$\%INC_{ARPU}$	INC_{ARPU} EMPRESA X	INC_{ARPU} EMPRESA Y
50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06
40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04
30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03
20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02
10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A partir das equações (6) e (7), e considerando os parâmetros previamente definidos e consolidados na Tabela 7, chega-se à equação (8) para cálculo do potencial lucro líquido adicional mensal advindo dos clientes que optam por fazer upgrade de seus planos para contar com a cobertura nacional integrada:

$$LUCRO_{CLI_{UPG}} = CLI_{UPG} \times ((INC_{ARPU} \times \%LLMC_{ARPU}) + (INC_{ARPU} \times \%OPEX_{TOTREDE} \times \%ECONOMIA_{OPEX})) \quad (8)$$

onde,

- CLI_{UPG} : corresponde ao número total de clientes que fazem adesão ao novo plano;
- INC_{ARPU} : é o valor correspondente ao incremento percentual aplicado sobre o ARPU para oferta do novo plano com cobertura nacional;
- $\%LLM_{CARPU}$: é o percentual do lucro líquido mensal por cliente móvel em relação ao ARPU;
- $\%OPEX_{TOT_REDE}$: é o percentual correspondente ao OPEX de rede e infraestrutura em relação ao OPEX total da rede móvel; e
- $\%ECONOMIA_{OPEX}$: corresponde aos cenários percentuais de economia sobre $\%OPEX_{TOT_REDE}$.

Com base na equação (8) e nos valores e parâmetros definidos, foram realizadas simulações para estimar o potencial lucro líquido adicional mensal para as MNOs. Os valores obtidos foram multiplicados por 12, de modo a projetar seu impacto anual agregado. Os resultados completos podem ser consultados no APÊNDICE A, que apresenta todas as combinações paramétricas entre taxas de adesão, incrementos no ARPU e percentuais de economia de OPEX. Para fins de uma análise amostral, alguns dos cenários obtidos estão resumidos na Tabela 10 e representados visualmente no Gráfico 3.

Tabela 10 – Estimativa de lucro líquido adicional anual para clientes existentes em diferentes cenários percentuais (taxas de adesão / incrementos no ARPU / economia de OPEX)

CENÁRIO	LLM_{ANO} EMPRESA X	LLM_{ANO} EMPRESA Y
CONSERVADOR (5%/10%/0%)	R\$ 14,395 milhões	R\$ 17,850 milhões
CENÁRIO 1 (10%/20%/25%)	R\$ 98,649 milhões	R\$ 113,487 milhões
CENÁRIO 2 (10%/30%/50%)	R\$ 209,587 milhões	R\$ 233,367 milhões
CENÁRIO 3 (15%/20%/62,5%)	R\$ 240,408 milhões	R\$ 264,944 milhões
CENÁRIO 4 (15%/40%/50%)	R\$ 419,197 milhões	R\$ 466,749 milhões
CENÁRIO 5 (20%/30%/62,5%)	R\$ 480,789 milhões	R\$ 529,870 milhões
CENÁRIO 6 (25%/40%/62,5%)	R\$ 801,341 milhões	R\$ 883,134 milhões
OTIMISTA (25%/50%/100%)	R\$ 1.387,779 milhões	R\$ 1.499,525 milhões

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

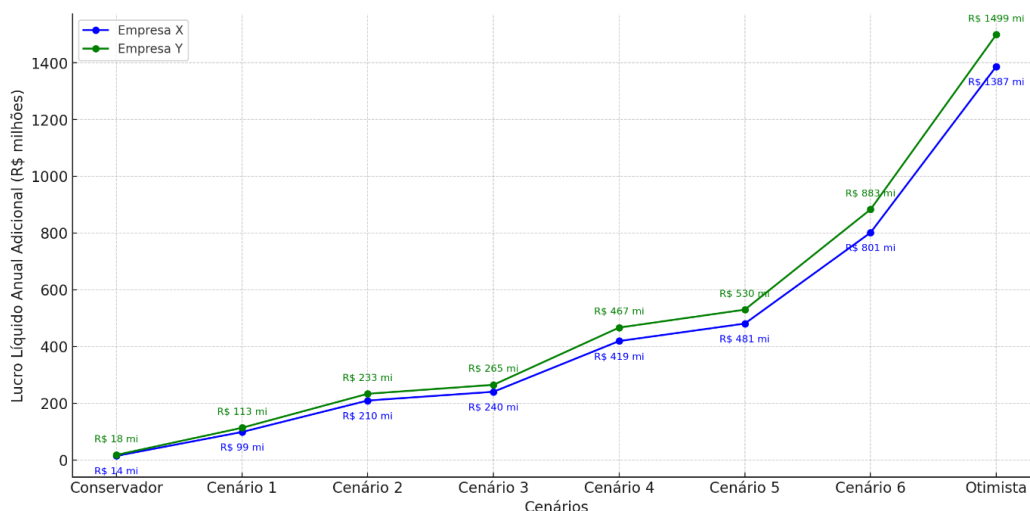


Gráfico 3 – Comparativo da estimativa de lucro líquido adicional anual para clientes existentes

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A partir dos cenários amostrais descritos na Tabela 10, nota-se que, no cenário mais conservador, caracterizado por uma taxa de adesão de apenas 5%, incremento de ARPU de 10% e ausência de economia de OPEX, o lucro líquido anual adicional seria de aproximadamente R\$ 14,4 milhões para a Empresa X e R\$ 17,85 milhões para a Empresa Y, indicando que, mesmo em condições restritivas, o modelo apresenta ganhos incrementais e não compromete a rentabilidade atual. Nos cenários intermediários, com faixas progressivas de adesão e economia de OPEX, o lucro adicional também é acrescido, mostrando o potencial de escalabilidade do modelo. Já no cenário mais otimista, com 25% de adesão, 50% de incremento tarifário e 100% de economia nos custos operacionais de rede e infraestrutura, os lucros líquidos adicionais anuais saltariam para aproximadamente R\$ 1,39 bilhões na Empresa X e R\$ 1,5 bilhões na Empresa Y.

Como apresentado na Seção 4.3 do Capítulo 4, o lucro líquido anual da operação móvel tradicional, baseada exclusivamente em infraestrutura terrestre, foi estimado em aproximadamente R\$ 2,89 bilhões para a Empresa X e R\$ 3,58 bilhões para a Empresa Y. Com a adoção do modelo híbrido viabilizado pela tecnologia D2D, projeta-se um acréscimo anual de lucros na ordem de 1,04% para a Empresa X e 0,5% para a Empresa Y, no cenário mais conservador, e em até 48,1% e 41,9%, respectivamente, nos cenários mais otimistas. Tais resultados demonstram que, mesmo sob premissas conservadoras, a curva ascendente de lucro potencial de ambas as Empresas reflete o potencial de escalabilidade do modelo. Cabe ressaltar

que esses cálculos ainda não incorporam os efeitos da partição de lucros entre MNOs e SNOs, aspecto que será aprofundado nas seções seguintes.

5.1.2 Lucro líquido adicional para novos clientes ($CLIs_{SAT}$):

Conforme abordado na Seção 3.2 do Capítulo 3, estimativas do IBGE (2024b) apontam que cerca de 16,5 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso à Internet. E entre os motivos identificados para essa exclusão digital, destacam-se dois fatores passíveis de mitigação por meio da conectividade satelital no modelo D2D: o custo elevado do serviço (30,0%) e a indisponibilidade de infraestrutura na localidade do domicílio (4,7%). Considerando esses percentuais, chega-se a um universo potencial de aproximadamente 5,73 milhões de novos usuários que poderiam ser incorporados à base de clientes com a adoção da tecnologia D2D, constituindo o cenário conservador desta análise.

Entretanto, como explanado anteriormente, também há estudos da GSMA (2023) que apontam que 25% da população atualmente coberta por redes móveis ainda assim permanece desconectada, muitas vezes em razão de barreiras econômicas e estruturais. Com base nessa premissa, estima-se que a implantação da conectividade via D2D poderia habilitar o acesso de até 12,75 milhões de novos usuários, formando, assim, o cenário otimista a ser considerado aqui.

A partir desses dois cenários de base de clientes potenciais, cuja variável será denominada $BASE_{CLI}$, a presente análise visa estimar o potencial lucro líquido adicional mensal gerado por novos usuários que passariam a contar com cobertura a partir da implementação da tecnologia D2D. Para tanto, adota-se a seguinte formulação:

$$LUCRO_{CLIsAT} = BASE_{CLI} \times ((ARPU + INC_{ARPU}) \times \%LLMC_{ARPU} + (ARPU + INC_{ARPU}) \times \%OPEX_{TOTREDE} \times \%ECONOMIA_{OPEX}) \quad (9)$$

onde,

- $BASE_{CLI}$: representa o número total de usuários que se tornam novos clientes;
- INC_{ARPU} : é o valor correspondente ao incremento percentual aplicado sobre o ARPU para oferta do novo plano com cobertura nacional;

- $\%LLMC_{ARPU}$: é o percentual do lucro líquido mensal por cliente móvel em relação ao ARPU;
- $\%OPEX_{TOT_REDE}$: é o percentual correspondente ao OPEX de rede e infraestrutura em relação ao OPEX total da rede móvel; e
- $\%ECONOMIA_{OPEX}$: corresponde aos cenários percentuais de economia sobre $\%OPEX_{TOT_REDE}$.

A simulação é conduzida pelas seguintes premissas:

- i) Base de novos clientes: dois cenários serão analisados, um conservador (5,73 milhões de clientes) e um otimista (12,75 milhões de clientes);
- ii) Níveis de incremento no ARPU: assume-se que, ao receber cobertura nacional e usufruir também da rede terrestre quando disponível, o novo usuário estará sujeito a um valor de plano superior, refletindo a funcionalidade adicional. Os percentuais simulados de aumento do ARPU variam entre 10% e 50%, com incrementos de 10 pontos percentuais, abrangendo os seguintes valores: 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Os valores estão descritos na Tabela 7; e
- iii) Ganho de margem por economia de OPEX: partindo da premissa de que a substituição parcial da infraestrutura terrestre pela satelital gera economia operacional, consideram-se cinco níveis distintos de redução proporcional do OPEX associado à rede e infraestrutura: 0%, 25%, 50%, 62,5% e 100%. Esses cenários foram previamente discutidos e apresentados na Seção 4.4 do Capítulo 4.

Os valores das demais variáveis utilizadas estão descritos na Tabela 7. Com base na equação formulada e nos parâmetros definidos, foram realizadas simulações para estimar o potencial lucro líquido adicional mensal para as MNOs. Os valores obtidos foram multiplicados por 12, de modo a projetar seu impacto anual agregado. Os resultados completos podem ser consultados no APÊNDICE B, que apresenta todas as combinações paramétricas entre base de clientes, incrementos no ARPU e percentuais de economia de OPEX. Para fins de uma análise amostral, alguns dos cenários obtidos estão resumidos na Tabela 11 e representados visualmente no Gráfico 4.

Tabela 11 - Estimativa de lucro líquido adicional anual para novos clientes em diferentes cenários (base de clientes / % incrementos no ARPU / % economia de OPEX)

CENÁRIO	LLM_{ANO} EMPRESA X	LLM_{ANO} EMPRESA Y
CONSERVADOR (5,73/10%/0%)	R\$ 292,596 milhões	R\$ 219,990 milhões
CENÁRIO 1 (5,73/20%/25%)	R\$ 546,934 milhões	R\$ 381,464 milhões
CENÁRIO 2 (5,73/30%/50%)	R\$ 839,228 milhões	R\$ 566,512 milhões
CENÁRIO 3 (5,73/20%/62,5%)	R\$ 888,541 milhões	R\$ 593,685 milhões
CENÁRIO 4 (5,73/40%/50%)	R\$ 903,784 milhões	R\$ 610,078 milhões
CENÁRIO 5 (12,75/30%/62,5%)	R\$ 2.141,881 milhões	R\$ 1.431,083 milhões
CENÁRIO 6 (12,75/40%/62,5%)	R\$ 2.306,641 milhões	R\$ 1.541,138 milhões
OTIMISTA (12,75/50%/100%)	R\$ 3.421,551 milhões	R\$ 2.241,932 milhões

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

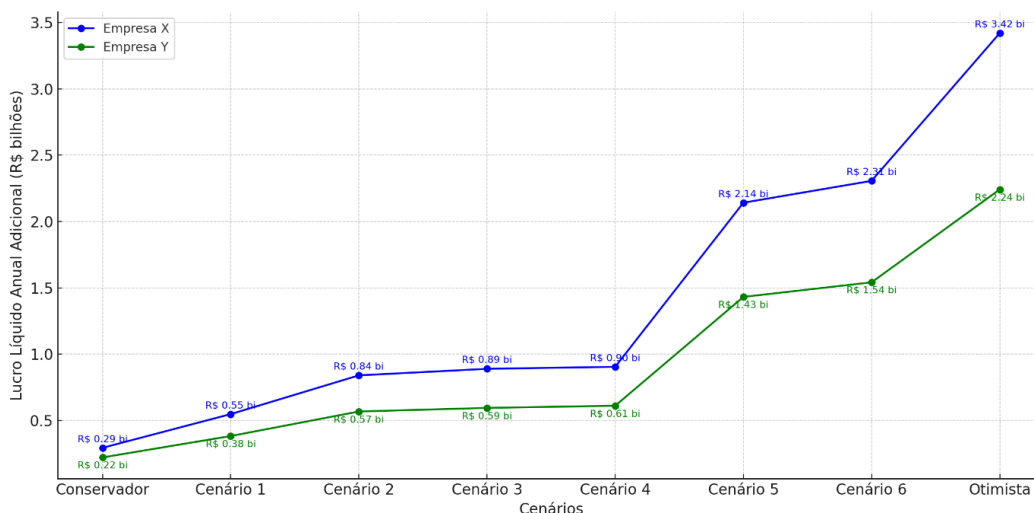


Gráfico 4 - Comparativo da estimativa de lucro líquido adicional anual para novos clientes

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme se verifica, mesmo cenários conservadores – com base estimada de 5,73 milhões de novos usuários, incremento de 10% no ARPU e sem economia de OPEX – já geram receitas adicionais relevantes, próximas de R\$ 300 milhões/ano para Empresa X e R\$ 220 milhões/ano para Empresa Y. Com o aumento do percentual de economia sobre os custos de rede e infraestrutura, além da elevação progressiva do ARPU, observa-se um crescimento expressivo dos lucros. No cenário otimista, por exemplo, com 12,75 milhões de novos clientes, acréscimo de 50% no ARPU e 100% de economia de OPEX, os lucros líquidos adicionais anuais ultrapassam R\$ 3,4 bilhões para Empresa X e R\$ 2,2 bilhões para Empresa Y.

Nota-se que a Empresa X apresenta maior lucratividade em todos os cenários simulados, muito devido a possuir um percentual mais alto de OPEX associado à rede e infraestrutura (35,16% frente a 22,78%). Essa variável é especialmente relevante nos cenários com altos níveis de economia de OPEX, pois o modelo D2D, ao reduzir essa necessidade, resulta em ganhos operacionais mais expressivos para ela do que para sua concorrente.

Os resultados projetados revelam-se particularmente expressivos nos cenários mais otimistas. No entanto, conforme já mencionado, os cálculos não contemplam, até o momento, os efeitos da partilha de receitas entre MNOs e SNOs, aspecto que será objeto de análise nas seções subsequentes. Ainda assim, os retornos estimados demonstram o potencial financeiro existente para expansão da conectividade via infraestrutura satelital, evidenciando que, para além de sua contribuição à inclusão digital, o modelo D2D pode vir a representar uma nova fronteira de rentabilidade em relação à arquitetura tradicional, sobretudo do ponto de vista das MNOs.

5.2 Comparação do novo lucro líquido total por cliente (novo x existente)

Esta seção tem por objetivo comparar os ganhos mensais totais por cliente nos dois modelos de aplicação da tecnologia D2D analisados ao longo deste capítulo: o primeiro, voltado à oferta de planos aprimorados para clientes já pertencentes à base da MNO (CLL_{UPG}); e o segundo, direcionado à ampliação da cobertura para novos usuários por meio da conectividade satelital (CLL_{SAT}).

O modelo de *upgrade* de planos para usuários já conectados configura-se como um mecanismo de valorização da base consolidada, com potencial para fortalecer a experiência do cliente e reduzir os índices de *churn*. A retenção de usuários é uma variável crítica para a sustentabilidade financeira das operadoras, uma vez que impacta diretamente a previsibilidade das receitas e os custos relacionados à aquisição de novos assinantes. Nesse contexto, a oferta de conectividade contínua, inclusive em deslocamentos por áreas remotas, tende a ser percebida como um diferencial competitivo, reforçando a percepção de valor do serviço e contribuindo para a fidelização da base de clientes.

No que tange aos novos clientes, a oferta do serviço complementar via satélite possibilita a inserção de novos usuários em áreas até então desconectadas, configurando uma oportunidade concreta de geração de receita incremental a partir da expansão do mercado atendido. Esse vetor de crescimento contribui não apenas

para a inclusão digital, mas também para a ampliação do escopo de atuação das operadoras, fortalecendo sua relevância em regiões de baixa densidade populacional ou de infraestrutura limitada.

A comparação dos modelos, consolidada na Tabela 12, parte dos mesmos parâmetros de simulação adotados nas seções anteriores, variando-se os percentuais de incremento do ARPU e os níveis de economia sobre o OPEX de rede e infraestrutura. No caso dos clientes existentes, considera-se o lucro total mensal como a soma entre o resultado atualmente obtido com o plano convencional e o ganho incremental associado à funcionalidade adicional habilitada pela tecnologia D2D.

Tabela 12 – Lucro total por cliente existente (CLI_{UPG}) e novo cliente (CLI_{SAT}) em diferentes cenários

%INC _{ARPU}	%ECONOMIA _{OPEX}	EMPRESA X LUCRO TOTAL CLI _{UPG}	EMPRESA Y LUCRO TOTAL CLI _{UPG}	EMPRESA X LUCRO TOTAL CLI _{SAT}	EMPRESA Y LUCRO TOTAL CLI _{SAT}
10%	0%	R\$ 4,26	R\$ 3,20	R\$ 4,26	R\$ 3,20
10%	25%	R\$ 4,53	R\$ 3,37	R\$ 7,29	R\$ 5,09
10%	50%	R\$ 4,81	R\$ 3,54	R\$ 10,33	R\$ 6,97
10%	62,50%	R\$ 4,95	R\$ 3,63	R\$ 11,85	R\$ 7,91
10%	100%	R\$ 5,36	R\$ 3,89	R\$ 16,40	R\$ 10,74
20%	0%	R\$ 4,64	R\$ 3,49	R\$ 4,64	R\$ 3,49
20%	25%	R\$ 5,20	R\$ 3,83	R\$ 7,95	R\$ 5,55
20%	50%	R\$ 5,75	R\$ 4,18	R\$ 11,27	R\$ 7,61
20%	62,50%	R\$ 6,02	R\$ 4,35	R\$ 12,92	R\$ 8,63
20%	100%	R\$ 6,85	R\$ 4,86	R\$ 17,89	R\$ 11,72
30%	0%	R\$ 5,03	R\$ 3,78	R\$ 5,03	R\$ 3,78
30%	25%	R\$ 5,86	R\$ 4,30	R\$ 8,62	R\$ 6,01
30%	50%	R\$ 6,69	R\$ 4,81	R\$ 12,21	R\$ 8,24
30%	62,50%	R\$ 7,10	R\$ 5,07	R\$ 14,00	R\$ 9,35
30%	100%	R\$ 8,34	R\$ 5,84	R\$ 19,38	R\$ 12,70
40%	0%	R\$ 5,42	R\$ 4,07	R\$ 5,42	R\$ 4,07
40%	25%	R\$ 6,52	R\$ 4,76	R\$ 9,28	R\$ 6,47
40%	50%	R\$ 7,63	R\$ 5,44	R\$ 13,14	R\$ 8,87
40%	62,50%	R\$ 8,18	R\$ 5,79	R\$ 15,08	R\$ 10,07
40%	100%	R\$ 9,83	R\$ 6,82	R\$ 20,87	R\$ 13,67
50%	0%	R\$ 5,80	R\$ 4,36	R\$ 5,80	R\$ 4,36
50%	25%	R\$ 7,18	R\$ 5,22	R\$ 9,94	R\$ 6,94
50%	50%	R\$ 8,56	R\$ 6,08	R\$ 14,08	R\$ 9,51
50%	62,50%	R\$ 9,25	R\$ 6,51	R\$ 16,15	R\$ 10,79
50%	100%	R\$ 11,32	R\$ 7,80	R\$ 22,36	R\$ 14,65

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A análise evidencia que os dois modelos de conectividade via D2D abordados, voltados tanto à expansão de base quanto ao aprimoramento da base existente,

exercem papéis estratégicos distintos e complementares. Ao combinar iniciativas de expansão com ações voltadas à retenção, o modelo híbrido apoiado pela tecnologia D2D não apenas amplia o alcance da rede, mas também aprofunda a qualidade do relacionamento com o cliente. Essa abordagem integrada permite às MNOs maximizar sua eficiência estratégica, pois ao mesmo tempo em que capturam valor em mercados inexplorados, consolidam sua presença junto à base já estabelecida, construindo um ciclo virtuoso de crescimento sustentável.

5.3 Metodologia de partição de lucro (*profit-share*)

A adoção da tecnologia D2D, por pressupor a integração entre as redes da MNO e da SNO, exige a construção de modelos de negócio que assegurem a viabilidade econômica para ambas as partes envolvidas. Nesse contexto, a definição de uma metodologia de partição de lucros (*profit-share*) torna-se elemento central para a sustentabilidade do arranjo, devendo refletir de forma equilibrada os aportes técnicos, operacionais, comerciais e regulatórios de cada segmento.

Para fins desta análise, foram consideradas três estruturas distintas de partição de lucros, cada uma orientada por premissas específicas quanto à distribuição dos riscos, responsabilidades e benefícios associados à prestação do serviço por meio do modelo D2D. A primeira estrutura parte da premissa de equidade absoluta entre os agentes, adotando uma divisão simétrica de valores: 50% para a MNO e 50% para a SNO. Esse cenário representa um ponto de equilíbrio teórico, no qual se presume paridade na contribuição de valor entre as partes. A segunda e terceira estruturas adotam uma abordagem baseada em blocos de contribuição ponderados, mediante partição por estrutura de custos e riscos, atribuindo pesos distintos a cada aspecto da operação segundo seu protagonismo técnico e comercial.

A Tabela 13, que representa a segunda estrutura, mostra uma metodologia de custos e riscos com maior participação para a SNO. Essa estrutura busca refletir de forma mais realista a participação relativa de cada ator na entrega do serviço ao consumidor final, considerando que a infraestrutura física de transmissão é integralmente provida pela SNO, enquanto os canais de relacionamento com o cliente, estratégias comerciais e a interface regulatória se distribuem entre as partes.

Tabela 13 – Partição de estrutura de custos e riscos com maior participação para SNO

BLOCO DE CONTRIBUIÇÃO	PESO SNO	PESO MNO
Infraestrutura	90%	10%
Operação técnica	70%	30%
Atendimento, marketing e vendas	30%	70%
Riscos regulatórios e qualidade do serviço	50%	50%
Média ponderada de partição	60%	40%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

Já a Tabela 14, que representa a terceira estrutura acima citada, vislumbra um modelo de participação mais favorável à MNO, com ênfase ampliada sobre suas responsabilidades regulatórias e comerciais. Este terceiro modelo busca representar situações nas quais a MNO, por deter a interface direta com o consumidor e ser o ente regulado perante as autoridades locais, assume maior carga de responsabilidades, especialmente no que se refere à garantia da qualidade do serviço e à conformidade com as obrigações legais e regulatórias do mercado nacional.

Tabela 14 - Partição de estrutura de custos e riscos com maior participação para MNO

BLOCO DE CONTRIBUIÇÃO	PESO SNO	PESO MNO
Infraestrutura	70%	30%
Operação técnica	50%	50%
Atendimento, marketing e vendas	10%	90%
Riscos regulatórios e qualidade do serviço	20%	80%
Média ponderada de partição	37.5%	62.5%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

A partir dessas três estruturas de partição é possível avaliar a atratividade financeira do modelo D2D sob diferentes arranjos de partição de lucro entre os entes envolvidos.

5.3.1 Simulações de partição de lucro e viabilidade para SNO e MNO

Dado que o modelo de conectividade via D2D pressupõe a cooperação entre MNO e SNO, é essencial analisar como os lucros gerados podem ser partilhados de forma justa e sustentável para ambas as partes. Esta seção apresenta simulações com base em três diferentes critérios de partição do lucro líquido anual por operadora: (i) divisão equitativa (50%/50%); (ii) partição moderadamente favorável à SNO (60%/40%); e (iii) partição com maior protagonismo da MNO (37,5%/62,5%).

As simulações foram feitas com base nos oito cenários distintos de lucro adicional anual explicitados nas Tabelas 10 e 11. Os resultados para Empresa X são mostrados na Tabela 15 e no Gráfico 5, enquanto os resultados para a Empresa Y são mostrados na Tabela 16 e no Gráfico 6.

Tabela 15 – Simulações de partição de lucro para Empresa X

CENÁRIO	EMPRESA X LUCRO ADICIONAL TOTAL ANO (CLI _{UPG} + CLI _{SAT})	PARTIÇÃO 50%/50% (R\$ milhões)		PARTIÇÃO 60%/40% (R\$ milhões)		PARTIÇÃO 37,5%/62,5% (R\$ milhões)	
		SNO (50%)	MNO (50%)	SNO (60%)	MNO (40%)	SNO (37,5%)	MNO (62,5%)
CONSERVADOR	R\$ 306,991 milhões	R\$ 153,496	R\$ 153,496	R\$ 184,195	R\$ 122,796	R\$ 115,122	R\$ 191,869
CENÁRIO 1	R\$ 645,583 milhões	R\$ 322,792	R\$ 322,792	R\$ 387,350	R\$ 258,233	R\$ 242,094	R\$ 403,489
CENÁRIO 2	R\$ 1.048,815 milhões	R\$ 524,408	R\$ 524,408	R\$ 629,289	R\$ 419,526	R\$ 393,306	R\$ 655,509
CENÁRIO 3	R\$ 1.128,949 milhões	R\$ 564,475	R\$ 564,475	R\$ 677,369	R\$ 451,580	R\$ 423,356	R\$ 705,593
CENÁRIO 4	R\$ 1.322,981 milhões	R\$ 661,491	R\$ 661,491	R\$ 793,789	R\$ 529,192	R\$ 496,118	R\$ 826,863
CENÁRIO 5	R\$ 2.622,670 milhões	R\$ 1.311,335	R\$ 1.311,335	R\$ 1.573,602	R\$ 1.049,068	R\$ 983,501	R\$ 1.639,169
CENÁRIO 6	R\$ 3.107,982 milhões	R\$ 1.553,991	R\$ 1.553,991	R\$ 1.864,789	R\$ 1.243,193	R\$ 1.165,493	R\$ 1.942,489
OTIMISTA	R\$ 4.809,330 milhões	R\$ 2.404,665	R\$ 2.404,665	R\$ 2.885,598	R\$ 1.923,732	R\$ 1.803,499	R\$ 3.005,831

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024)

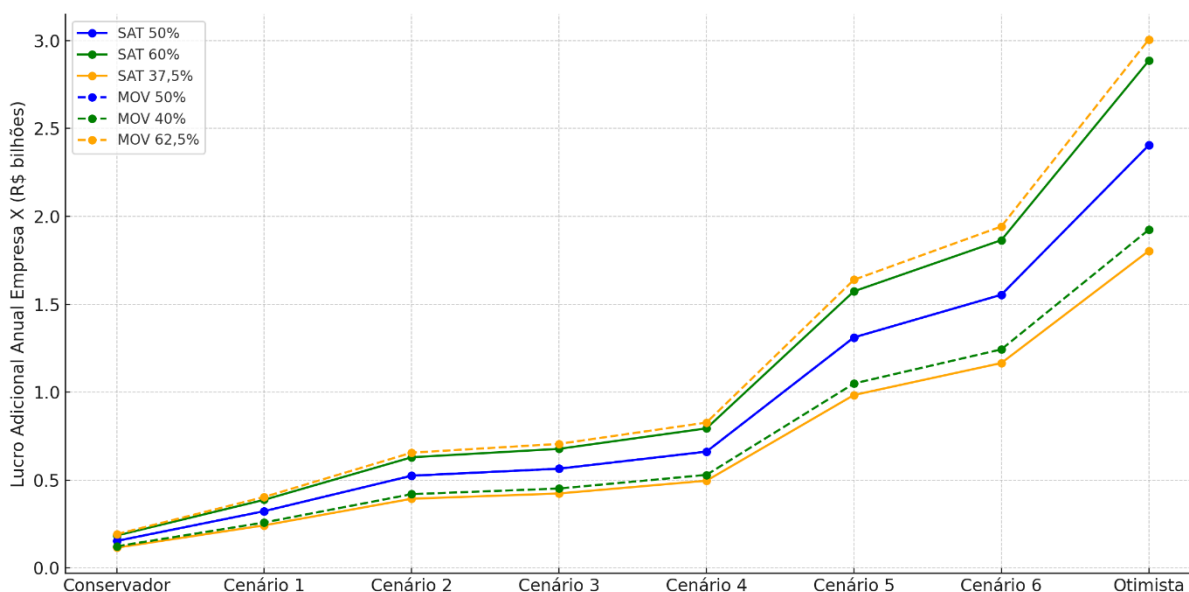


Gráfico 5 – Comparativo de partição de lucro para Empresa X

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024)

Tabela 16 - Simulações de partição de lucro para Empresa Y

CENÁRIO	EMPRESA Y LUCRO ADICIONAL TOTAL ANO (CLI _{UPG} + CLI _{SAT})	PARTIÇÃO 50%/50% (R\$ milhões)		PARTIÇÃO 60%/40% (R\$ milhões)		PARTIÇÃO 37,5%/62,5% (R\$ milhões)	
		SNO (50%)	MNO (50%)	SNO (60%)	MNO (40%)	SNO (37,5%)	MNO (62,5%)
CONSERVADOR	R\$ 237,840 milhões	R\$ 118,920	R\$ 118,920	R\$ 142,704	R\$ 95,136	R\$ 89,190	R\$ 148,650
CENÁRIO 1	R\$ 494,951 milhões	R\$ 247,476	R\$ 247,476	R\$ 296,971	R\$ 197,980	R\$ 185,607	R\$ 309,344
CENÁRIO 2	R\$ 799,879 milhões	R\$ 399,940	R\$ 399,940	R\$ 479,927	R\$ 319,952	R\$ 299,955	R\$ 499,924
CENÁRIO 3	R\$ 858,629 milhões	R\$ 429,315	R\$ 429,315	R\$ 515,177	R\$ 343,452	R\$ 321,986	R\$ 536,643
CENÁRIO 4	R\$ 1.076,827 milhões	R\$ 538,414	R\$ 538,414	R\$ 646,096	R\$ 430,731	R\$ 403,810	R\$ 673,017
CENÁRIO 5	R\$ 1.960,953 milhões	R\$ 980,477	R\$ 980,477	R\$ 1.176,572	R\$ 784,381	R\$ 735,357	R\$ 1.225,596
CENÁRIO 6	R\$ 2.424,272 milhões	R\$ 1.212,136	R\$ 1.212,136	R\$ 1.454,563	R\$ 969,709	R\$ 909,102	R\$ 1.515,170
OTIMISTA	R\$ 3.741,457 milhões	R\$ 1.870,729	R\$ 1.870,729	R\$ 2.244,874	R\$ 1.496,583	R\$ 1.403,046	R\$ 2.338,411

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa Y (2024)

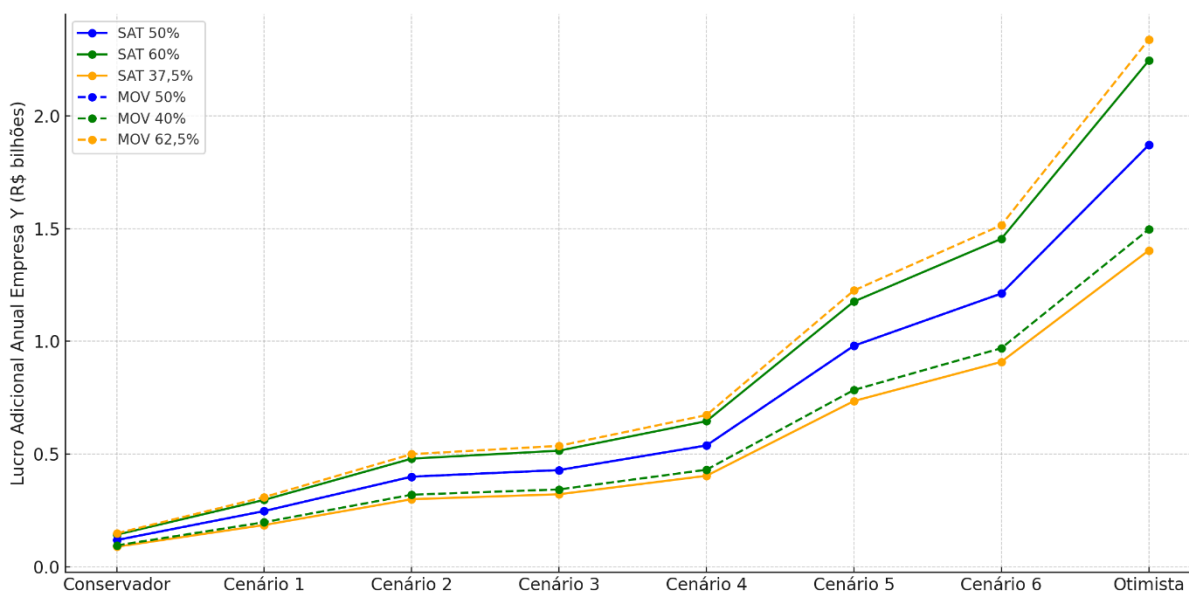


Gráfico 6 - Comparativo de partição de lucro para Empresa Y

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa Y (2024)

Os resultados indicam que o modelo D2D pode se mostrar financeiramente atrativo tanto para MNOs quanto para SNOs, sobretudo nos cenários intermediários e otimista. Para a Empresa X, observa-se que o lucro líquido adicional anual total (combinando os potenciais clientes existentes e novos) parte de aproximadamente R\$ 122,8 milhões no cenário conservador com 40% de participação e chega a mais de R\$ 3 bilhões no cenário otimista com 62,5% de participação. A Empresa Y, por sua vez, apresenta margens inferiores, mas ainda assim crescentes e economicamente

relevantes. No cenário conservador com 40% de participação ela alcança aproximadamente R\$ 95,1 milhões, enquanto no cenário otimista com 62,5% de participação ela chega a R\$ 2,4 bilhões.

De modo geral, os gráficos ilustram que a partição 60%/40% é a mais vantajosa para a SNO, como esperado. No entanto, mesmo no cenário com menor participação relativa (37,5%), os valores absolutos acumulados ao longo do ano indicam que o modelo ainda pode ser financeiramente viável e potencialmente lucrativo para o segmento satelital, especialmente nos cenários mais otimistas de adoção. É importante considerar, contudo, que esses resultados não incorporam integralmente os custos relacionados à infraestrutura das SNOs, tais como a manufatura, o lançamento e a manutenção das constelações de satélites. Esses elementos representam dispêndios significativos e podem alterar substancialmente a atratividade do modelo, de modo que a avaliação de sustentabilidade deve necessariamente contemplar a estrutura completa de custos satelitais.

Nesse sentido, arranjos de partilha equilibrados tornam-se essenciais para garantir que a parceria seja vantajosa para ambas as partes no longo prazo. Mas o fato é que, como demonstrado por meio dos cálculos de lucro líquido adicional potencial e da aplicação de diferentes modelos de partição do lucro entre as partes envolvidas, a tecnologia D2D pode inaugurar uma nova forma de se compreender o mercado de telefonia móvel, rompendo com limitações históricas impostas pela dependência exclusiva da infraestrutura terrestre.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação analisou a viabilidade técnico-financeira da adoção da tecnologia *Direct-to-Device* (D2D) no contexto brasileiro, a partir de um modelo de infraestrutura híbrida terrestre-satelital voltado a complementar a cobertura das redes móveis tradicionais, especialmente em regiões remotas ou de baixa atratividade econômica. A análise foi desenvolvida com base em dados extraídos dos relatórios financeiros públicos de duas das principais operadoras móveis do país, a partir dos quais foram estimados os potenciais ganhos para a operadora móvel terrestre (MNO) e para a operadora satelital (SNO), além da simulação de cenários de partilha de lucros entre ambas. Os resultados indicam que a integração entre a infraestrutura satelital da SNO e a infraestrutura terrestre da MNO representa uma alternativa promissora, capaz de gerar retornos financeiros relevantes para os dois agentes e, ao mesmo tempo, ampliar as possibilidades de inclusão digital em escala nacional.

A análise comparativa entre os perfis de clientes das MNOs – existentes (CL_{LUPG}) e novos (CL_{ISAT}) – evidenciou que ambos os segmentos são complementares na geração de valor para o modelo. Para os novos clientes, a utilização da infraestrutura satelital amplia de forma significativa o potencial de receita, ao possibilitar a inclusão de usuários em áreas ainda não atendidas pelas redes terrestres, o que viabiliza a expansão do mercado e a conquista de novas parcelas da demanda. Já em relação à base existente, a estratégia voltada à sua manutenção mostra-se fundamental para a consolidação das receitas no longo prazo, uma vez que fortalece o vínculo com o usuário, eleva a percepção de valor do serviço prestado e contribui para a redução do *churn*, variável crítica para a previsibilidade e a sustentabilidade financeira das operadoras. Assim, os dois modelos revelam-se não apenas viáveis, mas também mutuamente reforçadores, oferecendo às MNOs a oportunidade de estruturar estratégias segmentadas que conciliem, de forma equilibrada, a expansão da base de usuários e a retenção dos clientes atuais, apoiando-se em dinâmicas complementares de criação de valor.

As simulações de partilha de lucros reforçaram que o modelo híbrido pode ser sustentável e mutuamente benéfico, mesmo sob diferentes estruturas de contribuição operacional. Em todos os cenários projetados, inclusive nos mais conservadores, os valores partilhados entre SNO e MNO mostraram-se significativos, o que confirma a atratividade financeira da adoção do D2D. Essa evidência sugere que, quando

adequadamente estruturado, o modelo tem potencial para transformar a lógica de expansão da conectividade móvel e abrir novas oportunidades de negócios para os agentes envolvidos.

Contudo, algumas limitações devem ser reconhecidas. A análise privilegiou a perspectiva das MNOs, com base em receitas e despesas divulgadas em seus balanços públicos. Para uma avaliação mais completa da sustentabilidade do modelo, é necessário incorporar também os custos de infraestrutura das SNOs, especialmente aqueles relacionados à manufatura, ao lançamento e à manutenção das constelações de satélites. Esses fatores são determinantes para o equilíbrio do arranjo, já que soluções excessivamente vantajosas para apenas uma das partes tendem a não se sustentar no longo prazo, reforçando a importância de acordos comerciais equilibrados.

Outra limitação diz respeito à redistribuição do CAPEX entre infraestrutura terrestre e satelital. O estudo considerou reduções proporcionais de OPEX como variável central de otimização, mas a análise detalhada da estrutura de CAPEX pode trazer contribuições adicionais. Esse exame permitiria compreender não apenas quanto dos investimentos será absorvido pela SNO e quanto ainda exigirá aportes das MNOs, mas também em que medida a redistribuição de investimentos pode gerar economias adicionais, dependendo da forma como o modelo for estruturado. O aprofundamento dessa dimensão contribuirá para refinar as simulações de ganhos, tornando o modelo mais robusto e aderente às condições reais de mercado.

Do ponto de vista técnico e regulatório, a tecnologia D2D ainda se encontra em fase de maturação. Diversos parâmetros de operação permanecem em debate em instâncias como a União Internacional de Telecomunicações (UIT) e o *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), sobretudo no que se refere à padronização, à convivência com os serviços móveis terrestres e à interoperabilidade entre operadoras. A ausência de um arcabouço internacional consolidado representa um risco para a expansão do serviço, uma vez que cada país tende a desenvolver seu próprio *framework* regulatório para lidar com questões de convivência de serviços e mitigação de interferências. Nesse cenário, o papel da UIT torna-se crucial para a definição de diretrizes globais que orientem os países, assegurando consistência e previsibilidade no processo de adoção do D2D.

Em síntese, os resultados apresentados nesta dissertação constituem um passo inicial sólido para compreender o potencial da tecnologia D2D como solução

complementar às redes móveis terrestres. Eles evidenciam que, quando corretamente dimensionada e sustentada por acordos equilibrados, a tecnologia pode representar não apenas uma inovação disruptiva no plano técnico, mas também um diferencial estratégico para a maximização de lucros no setor de telecomunicações. Reforça-se, portanto, que o modelo estudado apresenta atratividade financeira expressiva, ao mesmo tempo em que ressalta desafios técnicos e regulatórios que precisarão ser superados para viabilizar uma adoção sustentável e equitativa no longo prazo.

Além da dimensão econômica, os resultados dialogam com compromissos mais amplos de política pública e de desenvolvimento sustentável. Ao propor caminhos para ampliar a conectividade em regiões remotas e de baixa atratividade, a tecnologia D2D alinha-se a objetivos globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU – em especial o ODS 4 (educação de qualidade), o ODS 9 (infraestrutura resiliente), o ODS 10 (redução das desigualdades) e o ODS 17 (parcerias para o desenvolvimento). Esse alinhamento reforça o duplo caráter da tecnologia, que, embora apresente elevada atratividade financeira para os agentes do setor, também pode desempenhar um papel estratégico na promoção da inclusão digital e na redução das desigualdades sociais.

Dessa forma, conclui-se que, do ponto de vista financeiro – eixo central desta dissertação – foram explorados cenários que oferecem uma base inicial consistente para a avaliação conjunta de MNOs e SNOs quanto aos potenciais do D2D. A análise fundamentada em relatórios financeiros públicos de duas grandes operadoras brasileiras buscou conferir solidez às premissas e confiabilidade às estimativas, permitindo que o modelo proposto seja replicado ou adaptado a diferentes realidades empresariais e regulatórias, além de servir como referência para futuras negociações e decisões estratégicas. Ao mesmo tempo, é fundamental reconhecer que a tecnologia não deve ser compreendida apenas sob a ótica financeira, pois seu alcance extrapola essa dimensão ao se configurar como instrumento de política pública voltado à redução das desigualdades digitais. Assim, além de representar um relevante potencial de incremento de receitas para as operadoras, o D2D pode consolidar-se como recurso estratégico alinhado às agendas de desenvolvimento sustentável, contribuindo para a construção de um futuro em que conectividade e inclusão avancem de forma integrada.

REFERÊNCIAS

- ANATEL (2024). **Panorama econômico-financeiro de telecomunicações**. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/anexar-api/publico/anexos/download/9c9e947419913b3987bd8cc7510f03f1>. Acesso em: 10 de maio de 2025.
- ANATEL (2025a). **Painel de quantidade de acessos no Brasil**. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos>. Acesso em: 10 de maio de 2025.
- ANATEL (2025b). **Painel de infraestrutura de cobertura móvel**. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura>. Acesso em: 10 de maio de 2025.
- BRACH, Thomas J. A. **Managing Capex in the Telecom Industry**. 2016. Tese (Mestrado em Administração) - MIT Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2016. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/104331>. Acesso em: 14 de maio de 2025.
- CLARO TELECOM PARTICIPAÇÕES S.A. **Relatório de Administração 2024**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://a.storyblok.com/f/238969/x/8dd8577c65/claropar-dfs-2024.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.
- ETSI (2020). **TR 103 611 - Satellite Earth Stations and Systems (SES): Seamless integration of satellite and/or HAPS (High Altitude Platform Station) systems into 5G and related architecture options**. Disponível em: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103600_103699/103611/01.01.01_60/tr_103611v010101p.pdf. Acesso em: 27 de março de 2025.
- EL JAAFARI, Mohamed; CHUBERRE, Nicolas; ANJUERE, Stephane; COMBELLES, Laurent. **Introduction to the 3GPP-defined NTN standard: A comprehensive view on the 3GPP work on NTN**. International Journal of Satellite Communications and Networking, v. 41, n. 3, p. 220–238, 2023. Wiley Online Library. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sat.1471>. Acesso em: 20 de abril de 2025.
- GEBRIM, Rodrigo C.; BAKAUS, Tarcísio A. **Do Sputnik à era das grandes constelações de satélites: os desafios em se garantir a sustentabilidade espacial de longo prazo**. XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBrT 2024, Belém-PA, 2024. DOI: [10.14209/sbrt.2024.1571036732](https://doi.org/10.14209/sbrt.2024.1571036732). Acesso em: 30 de abril de 2025.
- GEBRIM, Rodrigo C.; NOGUEIRA, Jorge M. **Uso de satélites para complementar a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres: análise das potencialidades tecnológicas e econômicas**. XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBrT 2024, Belém-PA, 2024. DOI: [10.14209/sbrt.2024.1571032578](https://doi.org/10.14209/sbrt.2024.1571032578). Acesso em: 30 de abril de 2025.
- GSOA (2024). **Satellite Direct-to-Device Connectivity: Bringing Connectivity to Everyone, Everywhere, Anytime**. Disponível em: <https://gsoasatellite.com/wp-content/uploads/GSOA-D2D-Paper.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2025.

GSMA (2016). **Connected Society Unlocking Rural Coverage**: Enablers for commercially sustainable mobile network expansion. Disponível em: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/wp-content/uploads/2016/07/Unlocking-Rural-Coverage-enablers-for-commercially-sustainable-mobile-network-expansion_English.pdf. Acesso em: 27 de março de 2025.

GSMA (2022). **Accelerating Rural Connectivity**: Insights from the GSMA Innovation Fund for Rural Connectivity. Disponível em: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/wp-content/uploads/2023/01/Accelerating-Rural-Connectivity.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2025.

GSMA (2023). **Closing the usage gap in Brazil**: Key barriers to mobile internet adoption and use. Disponível em: <https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/wp-content/uploads/2023/03/EN-We-Care-Usage-Brazil-v8.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2025.

GSMA (2024a). **The State of Mobile Internet Connectivity 2024**, GSMA Publishing, 2024a. Disponível em: <https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2024/10/The-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2024.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2025.

GSMA (2024b). **IoT Guide**: Hybrid Cellular/Non-Terrestrial Network (NTN), GSMA Publishing, 2024b. Disponível em: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/gsma_resources/iot-guide-hybrid-cellular-non-terrestrial-network-ntn/. Acesso em: 27 de março de 2025.

HERMELING, Claudia; MENNEL, Tim. **Sensitivity analysis in economic simulations – a systematic approach**. ZEW Discussion Paper No. 08-068, Mannheim, Alemanha, 2008. Disponível em: <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp08068.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2025.

IBGE (2023). **Censo Demográfico 2022 – População e domicílios**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102011.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

IBGE (2024a). **Censo 2024 - Estimativas da População para Estados e Municípios**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-ibge-1.041-de-28-de-agosto-de-2024-581181581>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

IBGE (2024b). **PNAD Contínua 2023**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102107_informativo.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2025.

ITU-R (2003), **Recommendation M.1645**: Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1645-0-200306-III-PDF-E.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2025.

JAMSHED, M. A. et al. **Non-Terrestrial Networks for 6G**: Integrated, Intelligent and Ubiquitous Connectivity. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2024. Pré-publicação. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2407.02184>. Acesso em: 21 de abril de 2025.

LEMPERT, R. J. **Decision Making under Deep Uncertainty**: From Theory to Practice. In: MARCHAU, V. A. W. J.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J. T. M.; POPPER, S. W. (Ed.). Cham: Springer, 2019. p. 23–51. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2_2. Acesso em: 30 de junho de 2025.

LEONARD, Ryan; WILLIAMS, Ian D. **Viability of a circular economy for space debris**. Waste Management, v. 155, p. 19–28, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.024>. Acesso em: 30 de abril de 2025.

MANKIW, N. Gregory. **Introdução à Economia**; tradução da 8ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2022.

MARQUES, Francisca Galvão. **Progresso tecnológico no setor espacial brasileiro no período de 2012 a 2021**. 2023. 42 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/47800>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

OCDE (2022), **OECD Handbook on Measuring the Space Economy, 2nd Edition**. OECD Publishing, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/8bfef437-en>. Acesso em: 29 de abril de 2025.

OCDE (2023). **The Space Economy in Figures: Responding to Global Challenges**. OECD Publishing, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/fa5494aa-en>. Acesso em: 29 de abril de 2025.

OFCOM (2025). **Enabling satellite direct-to-device services in mobile spectrum bands**: consultation. London: Office of Communications, Apr. 2024. Disponível em: <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands/main-documents/consultation-enabling-satellite-direct-to-device-services-in-mobile-spectrum-bands.pdf?v=393278>. Acesso em: 06 de maio de 2025.

PEDROSA, Thaís de Araújo. **Os tratados internacionais e o setor espacial: aplicabilidade face às mudanças do New Space**. 2023. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/49976>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

PEETERS, Walter. **Evolution of the space economy**: Government space to commercial space and new space. Astropolitics, v. 19, n. 3, p. 206–222, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14777622.2021.1984001>. Acesso em: 30 de abril de 2025.

SALTELLI, Andrea et al. **Sensitivity analysis**: why it matters and how to do it. *Environmental Modelling & Software*, v. 134, p. 104–958, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104958>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

CROITORU, Alin, SCHUMPETER, J.A., 1934 (2008), **The Theory of Economic Development**: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle, translated from the German by Redvers Opie, New Brunswick (U.S.A) and London (U.K.): Transaction Publishers (2012). *Journal of Comparative Research in Anthropology and Sociology*, Volume 3, Number 2, Winter 2012, Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4499769>. Acesso em: 29 de abril de 2025.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia [1942]**; tradução e notas de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2022.

SIQUEIRA, Fernando de Faria. **Três ensaios sobre regulação, telecomunicações e digitalização**: perspectivas teóricas, empíricas e institucionais. 2024. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2024. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/49443>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

TELEFÔNICA BRASIL S.A (VIVO). **Relatório da Administração 2024**. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/24165f81-24d6-4648-bf9f-66712905d5a2/dedb70fe-c43b-59d8-7979-3a32cc421212?origin=1>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

TIM S.A. **Demonstrações financeiras individuais e consolidadas em 31 de dezembro de 2024**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/4c4aa51f-1235-4aa1-8b83-adc92e8dacc3/df5d7209-78bd-b5a1-f305-1c243af31e24?origin=1>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

WEF (2024). **Space**: The \$1.8 Trillion Opportunity for Global Economic Growth, WEF Publishing, 2024. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Space_2024.pdf. Acesso em: 27 de abril de 2025.

APÊNDICE A - LUCRO ADICIONAL PARA CLIENTES EXISTENTES

Neste apêndice, apresenta-se a tabela completa contendo o incremento potencial de lucro líquido anual para clientes existentes em diferentes cenários.

Tabela 17 - Incremento potencial de lucro líquido anual para clientes existentes

%INC_TAM	CLI_UPG EMPRESA X	CLI_UPG EMPRESA Y	%INC_ARPU	%ECONOMIA_OPEX	LUCRO_ANUAL EMPRESA X	LUCRO_ANUAL EMPRESA Y
25%	15.503.000	25.578.000	50%	100%	R\$ 1.386.779.316,96	R\$ 1.499.524.778,30
20%	12.402.000	20.462.000	50%	100%	R\$ 1.109.387.672,64	R\$ 1.199.596.372,42
25%	15.503.000	25.578.000	40%	100%	R\$ 1.109.423.453,57	R\$ 1.198.823.262,34
25%	15.503.000	25.578.000	50%	62,50%	R\$ 1.001.676.425,34	R\$ 1.104.651.460,84
25%	15.503.000	25.578.000	50%	50%	R\$ 873.308.794,80	R\$ 973.027.021,68
20%	12.402.000	20.462.000	40%	100%	R\$ 887.510.138,11	R\$ 959.039.862,14
15%	9.302.000	15.347.000	50%	100%	R\$ 832.085.480,64	R\$ 899.726.592,10
25%	15.503.000	25.578.000	30%	100%	R\$ 832.067.590,18	R\$ 899.117.446,75
20%	12.402.000	20.462.000	50%	62,50%	R\$ 801.315.295,56	R\$ 883.703.893,64
25%	15.503.000	25.578.000	40%	62,50%	R\$ 801.341.140,27	R\$ 883.134.368,42
20%	12.402.000	20.462.000	50%	50%	R\$ 698.624.503,20	R\$ 778.406.400,72
25%	15.503.000	25.578.000	40%	50%	R\$ 698.647.035,84	R\$ 777.904.737,12
15%	9.302.000	15.347.000	40%	100%	R\$ 665.668.384,51	R\$ 719.303.331,26
20%	12.402.000	20.462.000	30%	100%	R\$ 665.632.603,58	R\$ 719.279.896,61
25%	15.503.000	25.578.000	50%	25%	R\$ 616.573.533,72	R\$ 709.778.143,37
20%	12.402.000	20.462.000	40%	62,50%	R\$ 641.052.236,45	R\$ 706.493.683,90
15%	9.302.000	15.347.000	50%	62,50%	R\$ 601.018.777,56	R\$ 662.799.514,01
25%	15.503.000	25.578.000	30%	62,50%	R\$ 601.005.855,20	R\$ 662.350.776,32
20%	12.402.000	20.462.000	40%	50%	R\$ 558.899.602,56	R\$ 622.311.624,48
10%	6.201.000	10.231.000	50%	100%	R\$ 554.693.836,32	R\$ 599.798.186,21
25%	15.503.000	25.578.000	20%	100%	R\$ 554.711.726,78	R\$ 599.411.631,17
15%	9.302.000	15.347.000	50%	50%	R\$ 523.996.543,20	R\$ 583.823.821,32
25%	15.503.000	25.578.000	30%	50%	R\$ 523.985.276,88	R\$ 583.428.552,84
20%	12.402.000	20.462.000	50%	25%	R\$ 493.242.918,48	R\$ 567.811.414,87
25%	15.503.000	25.578.000	40%	25%	R\$ 493.258.826,98	R\$ 567.445.474,51
15%	9.302.000	15.347.000	30%	100%	R\$ 499.251.288,38	R\$ 539.477.498,45
15%	9.302.000	15.347.000	40%	62,50%	R\$ 480.815.022,05	R\$ 529.887.526,48
20%	12.402.000	20.462.000	30%	62,50%	R\$ 480.789.177,34	R\$ 529.870.262,92
20%	12.402.000	20.462.000	20%	100%	R\$ 443.755.069,06	R\$ 479.519.931,07
10%	6.201.000	10.231.000	40%	100%	R\$ 443.755.069,06	R\$ 479.519.931,07
15%	9.302.000	15.347.000	40%	50%	R\$ 419.197.234,56	R\$ 466.748.924,88
20%	12.402.000	20.462.000	30%	50%	R\$ 419.174.701,92	R\$ 466.733.718,36
20%	12.402.000	20.462.000	40%	25%	R\$ 394.594.334,78	R\$ 453.947.505,65
25%	15.503.000	25.578.000	50%	0%	R\$ 359.838.272,64	R\$ 446.529.265,06
10%	6.201.000	10.231.000	50%	62,50%	R\$ 400.657.647,78	R\$ 441.851.946,82
25%	15.503.000	25.578.000	20%	62,50%	R\$ 400.670.570,14	R\$ 441.567.184,21
15%	9.302.000	15.347.000	50%	25%	R\$ 369.952.074,48	R\$ 425.872.435,93
25%	15.503.000	25.578.000	30%	25%	R\$ 369.944.120,23	R\$ 425.584.105,88

15%	9.302.000	15.347.000	30%	62,50%	R\$ 360.611.266,54	R\$ 397.415.644,86
10%	6.201.000	10.231.000	50%	50%	R\$ 349.312.251,60	R\$ 389.203.200,36
25%	15.503.000	25.578.000	20%	50%	R\$ 349.323.517,92	R\$ 388.952.368,56
15%	9.302.000	15.347.000	20%	100%	R\$ 332.834.192,26	R\$ 359.651.665,63
10%	6.201.000	10.231.000	30%	100%	R\$ 332.816.301,79	R\$ 359.639.948,30
20%	12.402.000	20.462.000	50%	0%	R\$ 287.861.333,76	R\$ 357.216.429,02
25%	15.503.000	25.578.000	40%	0%	R\$ 287.870.618,11	R\$ 356.986.211,90
20%	12.402.000	20.462.000	20%	62,50%	R\$ 320.526.118,22	R\$ 353.246.841,95
10%	6.201.000	10.231.000	40%	62,50%	R\$ 320.526.118,22	R\$ 353.246.841,95
15%	9.302.000	15.347.000	30%	50%	R\$ 314.397.925,92	R\$ 350.061.693,66
15%	9.302.000	15.347.000	40%	25%	R\$ 295.961.659,58	R\$ 340.471.721,69
20%	12.402.000	20.462.000	30%	25%	R\$ 295.945.751,09	R\$ 340.460.629,24
20%	12.402.000	20.462.000	20%	50%	R\$ 279.449.801,28	R\$ 311.155.812,24
10%	6.201.000	10.231.000	40%	50%	R\$ 279.449.801,28	R\$ 311.155.812,24
5%	3.101.000	5.116.000	50%	100%	R\$ 277.391.644,32	R\$ 299.928.405,89
25%	15.503.000	25.578.000	10%	100%	R\$ 277.355.863,39	R\$ 299.705.815,58
20%	12.402.000	20.462.000	40%	0%	R\$ 230.289.067,01	R\$ 285.583.386,82
10%	6.201.000	10.231.000	50%	25%	R\$ 246.621.459,24	R\$ 283.905.707,44
25%	15.503.000	25.578.000	20%	25%	R\$ 246.629.413,49	R\$ 283.722.737,26
15%	9.302.000	15.347.000	50%	0%	R\$ 215.907.605,76	R\$ 267.921.050,54
25%	15.503.000	25.578.000	30%	0%	R\$ 215.902.963,58	R\$ 267.739.658,93
15%	9.302.000	15.347.000	20%	62,50%	R\$ 240.407.511,02	R\$ 264.943.763,24
10%	6.201.000	10.231.000	30%	62,50%	R\$ 240.394.588,67	R\$ 264.935.131,46
15%	9.302.000	15.347.000	30%	25%	R\$ 221.971.244,69	R\$ 255.353.791,27
5%	3.101.000	5.116.000	40%	100%	R\$ 221.913.315,46	R\$ 239.783.400,19
20%	12.402.000	20.462.000	10%	100%	R\$ 221.877.534,53	R\$ 239.759.965,54
10%	6.201.000	10.231.000	20%	100%	R\$ 221.877.534,53	R\$ 239.759.965,54
15%	9.302.000	15.347.000	20%	50%	R\$ 209.598.617,28	R\$ 233.374.462,44
10%	6.201.000	10.231.000	30%	50%	R\$ 209.587.350,96	R\$ 233.366.859,18
20%	12.402.000	20.462.000	20%	25%	R\$ 197.297.167,39	R\$ 226.973.752,82
10%	6.201.000	10.231.000	40%	25%	R\$ 197.297.167,39	R\$ 226.973.752,82
5%	3.101.000	5.116.000	50%	62,50%	R\$ 200.361.129,78	R\$ 220.947.567,19
25%	15.503.000	25.578.000	10%	62,50%	R\$ 200.335.285,07	R\$ 220.783.592,11
15%	9.302.000	15.347.000	40%	0%	R\$ 172.726.084,61	R\$ 214.194.518,50
20%	12.402.000	20.462.000	30%	0%	R\$ 172.716.800,26	R\$ 214.187.540,11
5%	3.101.000	5.116.000	50%	50%	R\$ 174.684.291,60	R\$ 194.620.620,96
25%	15.503.000	25.578.000	10%	50%	R\$ 174.661.758,96	R\$ 194.476.184,28
5%	3.101.000	5.116.000	30%	100%	R\$ 166.434.986,59	R\$ 179.837.550,14
15%	9.302.000	15.347.000	10%	100%	R\$ 166.417.096,13	R\$ 179.825.832,82
10%	6.201.000	10.231.000	50%	0%	R\$ 143.930.666,88	R\$ 178.608.214,51
25%	15.503.000	25.578.000	20%	0%	R\$ 143.935.309,06	R\$ 178.493.105,95
5%	3.101.000	5.116.000	40%	62,50%	R\$ 160.288.903,82	R\$ 176.640.684,53
20%	12.402.000	20.462.000	10%	62,50%	R\$ 160.263.059,11	R\$ 176.623.420,97
10%	6.201.000	10.231.000	20%	62,50%	R\$ 160.263.059,11	R\$ 176.623.420,97
15%	9.302.000	15.347.000	20%	25%	R\$ 147.980.829,79	R\$ 170.235.860,84
10%	6.201.000	10.231.000	30%	25%	R\$ 147.972.875,54	R\$ 170.230.314,62

15%	9.302.000	15.347.000	30%	0%	R\$ 129.544.563,46	R\$ 160.645.888,87
5%	3.101.000	5.116.000	40%	50%	R\$ 139.747.433,28	R\$ 155.593.112,64
20%	12.402.000	20.462.000	10%	50%	R\$ 139.724.900,64	R\$ 155.577.906,12
10%	6.201.000	10.231.000	20%	50%	R\$ 139.724.900,64	R\$ 155.577.906,12
20%	12.402.000	20.462.000	20%	0%	R\$ 115.144.533,50	R\$ 142.791.693,41
10%	6.201.000	10.231.000	40%	0%	R\$ 115.144.533,50	R\$ 142.791.693,41
5%	3.101.000	5.116.000	50%	25%	R\$ 123.330.615,24	R\$ 141.966.728,50
25%	15.503.000	25.578.000	10%	25%	R\$ 123.314.706,74	R\$ 141.861.368,63
5%	3.101.000	5.116.000	30%	62,50%	R\$ 120.216.677,87	R\$ 132.480.513,40
15%	9.302.000	15.347.000	10%	62,50%	R\$ 120.203.755,51	R\$ 132.471.881,62
5%	3.101.000	5.116.000	20%	100%	R\$ 110.956.657,73	R\$ 119.891.700,10
10%	6.201.000	10.231.000	10%	100%	R\$ 110.938.767,26	R\$ 119.879.982,77
5%	3.101.000	5.116.000	30%	50%	R\$ 104.810.574,96	R\$ 116.694.834,48
15%	9.302.000	15.347.000	10%	50%	R\$ 104.799.308,64	R\$ 116.687.231,22
5%	3.101.000	5.116.000	40%	25%	R\$ 98.664.492,19	R\$ 113.497.968,86
20%	12.402.000	20.462.000	10%	25%	R\$ 98.648.583,70	R\$ 113.486.876,41
10%	6.201.000	10.231.000	20%	25%	R\$ 98.648.583,70	R\$ 113.486.876,41
15%	9.302.000	15.347.000	20%	0%	R\$ 86.363.042,30	R\$ 107.097.259,25
10%	6.201.000	10.231.000	30%	0%	R\$ 86.358.400,13	R\$ 107.093.770,06
5%	3.101.000	5.116.000	50%	0%	R\$ 71.976.938,88	R\$ 89.312.836,03
25%	15.503.000	25.578.000	10%	0%	R\$ 71.967.654,53	R\$ 89.246.552,98
5%	3.101.000	5.116.000	20%	62,50%	R\$ 80.144.451,91	R\$ 88.320.342,26
10%	6.201.000	10.231.000	10%	62,50%	R\$ 80.131.529,56	R\$ 88.311.710,49
5%	3.101.000	5.116.000	30%	25%	R\$ 73.998.369,14	R\$ 85.123.476,65
15%	9.302.000	15.347.000	10%	25%	R\$ 73.990.414,90	R\$ 85.117.930,42
5%	3.101.000	5.116.000	20%	50%	R\$ 69.873.716,64	R\$ 77.796.556,32
10%	6.201.000	10.231.000	10%	50%	R\$ 69.862.450,32	R\$ 77.788.953,06
5%	3.101.000	5.116.000	40%	0%	R\$ 57.581.551,10	R\$ 71.402.825,09
20%	12.402.000	20.462.000	10%	0%	R\$ 57.572.266,75	R\$ 71.395.846,70
10%	6.201.000	10.231.000	20%	0%	R\$ 57.572.266,75	R\$ 71.395.846,70
5%	3.101.000	5.116.000	10%	100%	R\$ 55.478.328,86	R\$ 59.945.850,05
5%	3.101.000	5.116.000	20%	25%	R\$ 49.332.246,10	R\$ 56.748.984,43
10%	6.201.000	10.231.000	10%	25%	R\$ 49.324.291,85	R\$ 56.743.438,21
5%	3.101.000	5.116.000	30%	0%	R\$ 43.186.163,33	R\$ 53.552.118,82
15%	9.302.000	15.347.000	10%	0%	R\$ 43.181.521,15	R\$ 53.548.629,62
5%	3.101.000	5.116.000	10%	62,50%	R\$ 40.072.225,96	R\$ 44.160.171,13
5%	3.101.000	5.116.000	10%	50%	R\$ 34.936.858,32	R\$ 38.898.278,16
5%	3.101.000	5.116.000	20%	0%	R\$ 28.790.775,55	R\$ 35.701.412,54
10%	6.201.000	10.231.000	10%	0%	R\$ 28.786.133,38	R\$ 35.697.923,35
5%	3.101.000	5.116.000	10%	25%	R\$ 24.666.123,05	R\$ 28.374.492,22
5%	3.101.000	5.116.000	10%	0%	R\$ 14.395.387,78	R\$ 17.850.706,27

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

APÊNDICE B - LUCRO ADICIONAL PARA NOVOS CLIENTES

Neste apêndice, apresenta-se a tabela completa contendo o incremento potencial de lucro líquido anual para novos clientes em diferentes cenários.

Tabela 18 - Incremento potencial de lucro líquido anual para novos clientes

BASE_CLI	%INC_ARPU	INC_ARPU EMPRESA X	INC_ARPU EMPRESA Y	%ECONOMIA _OPEX	LUCRO_ANUAL EMPRESA X	LUCRO_ANUAL EMPRESA Y
5.730.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	0%	R\$ 292.596.353,28	R\$ 219.990.193,92
5.730.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	25%	R\$ 501.356.251,44	R\$ 349.684.205,76
5.730.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	50%	R\$ 710.116.149,60	R\$ 479.378.217,60
5.730.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	62,50%	R\$ 814.496.098,68	R\$ 544.225.223,52
5.730.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	100%	R\$ 1.127.635.945,92	R\$ 738.766.241,28
5.730.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	0%	R\$ 319.196.021,76	R\$ 239.983.264,08
5.730.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	25%	R\$ 546.934.092,48	R\$ 381.464.080,74
5.730.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	50%	R\$ 774.672.163,20	R\$ 522.944.897,40
5.730.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	62,50%	R\$ 888.541.198,56	R\$ 593.685.305,73
5.730.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	100%	R\$ 1.230.148.304,64	R\$ 805.906.530,72
5.730.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	0%	R\$ 345.795.690,24	R\$ 259.976.334,24
5.730.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	25%	R\$ 592.511.933,52	R\$ 413.243.955,72
5.730.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	50%	R\$ 839.228.176,80	R\$ 566.511.577,20
5.730.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	62,50%	R\$ 962.586.298,44	R\$ 643.145.387,94
5.730.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	100%	R\$ 1.332.660.663,36	R\$ 873.046.820,16
5.730.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	0%	R\$ 372.395.358,72	R\$ 279.969.404,40
5.730.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	25%	R\$ 638.089.774,56	R\$ 445.023.830,70
5.730.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	50%	R\$ 903.784.190,40	R\$ 610.078.257,00
5.730.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	62,50%	R\$ 1.036.631.398,32	R\$ 692.605.470,15
5.730.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	100%	R\$ 1.435.173.022,08	R\$ 940.187.109,60
5.730.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	0%	R\$ 398.995.027,20	R\$ 300.028.896,72
5.730.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	25%	R\$ 683.667.615,60	R\$ 476.909.286,66
5.730.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	50%	R\$ 968.340.204,00	R\$ 653.789.676,60
5.730.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	62,50%	R\$ 1.110.676.498,20	R\$ 742.229.871,57
5.730.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	100%	R\$ 1.537.685.380,80	R\$ 1.007.550.456,48
12.750.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	0%	R\$ 651.065.184,00	R\$ 489.506.976,00
12.750.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	25%	R\$ 1.115.583.282,00	R\$ 778.093.128,00
12.750.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	50%	R\$ 1.580.101.380,00	R\$ 1.066.679.280,00
12.750.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	62,50%	R\$ 1.812.360.429,00	R\$ 1.210.972.356,00
12.750.000	10%	R\$ 3,14	R\$ 3,01	100%	R\$ 2.509.137.576,00	R\$ 1.643.851.584,00
12.750.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	0%	R\$ 710.252.928,00	R\$ 533.994.174,00
12.750.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	25%	R\$ 1.216.999.944,00	R\$ 848.807.509,50
12.750.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	50%	R\$ 1.723.746.960,00	R\$ 1.163.620.845,00
12.750.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	62,50%	R\$ 1.977.120.468,00	R\$ 1.321.027.512,75
12.750.000	20%	R\$ 6,28	R\$ 6,02	100%	R\$ 2.737.240.992,00	R\$ 1.793.247.516,00
12.750.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	0%	R\$ 769.440.672,00	R\$ 578.481.372,00
12.750.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	25%	R\$ 1.318.416.606,00	R\$ 919.521.891,00
12.750.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	50%	R\$ 1.867.392.540,00	R\$ 1.260.562.410,00

12.750.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	62,50%	R\$ 2.141.880.507,00	R\$ 1.431.082.669,50
12.750.000	30%	R\$ 9,42	R\$ 9,03	100%	R\$ 2.965.344.408,00	R\$ 1.942.643.448,00
12.750.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	0%	R\$ 828.628.416,00	R\$ 622.968.570,00
12.750.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	25%	R\$ 1.419.833.268,00	R\$ 990.236.272,50
12.750.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	50%	R\$ 2.011.038.120,00	R\$ 1.357.503.975,00
12.750.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	62,50%	R\$ 2.306.640.546,00	R\$ 1.541.137.826,25
12.750.000	40%	R\$ 12,56	R\$ 12,04	100%	R\$ 3.193.447.824,00	R\$ 2.092.039.380,00
12.750.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	0%	R\$ 887.816.160,00	R\$ 667.603.566,00
12.750.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	25%	R\$ 1.521.249.930,00	R\$ 1.061.185.585,50
12.750.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	50%	R\$ 2.154.683.700,00	R\$ 1.454.767.605,00
12.750.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	62,50%	R\$ 2.471.400.585,00	R\$ 1.651.558.614,75
12.750.000	50%	R\$ 15,70	R\$ 15,06	100%	R\$ 3.421.551.240,00	R\$ 2.241.931.644,00

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Empresa X (2024) e Empresa Y (2024)

APÊNDICE C – PRODUÇÃO ACADÊMICA DERIVADA DESTA DISSERTAÇÃO

Neste apêndice, apresenta-se a produção acadêmica derivada da pesquisa desenvolvida nesta dissertação, publicada em periódicos e eventos científicos.

XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBt 2024, 01-04 DE OUTUBRO DE 2024, BELÉM, PA

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 abrangida.

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: rodrigo@gebrim@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*).

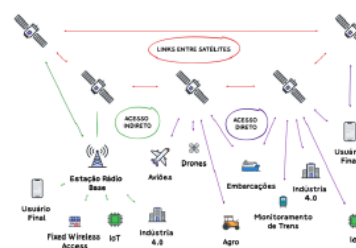
Embora tal previsão exista há bastante tempo, foi só na *Release 17* do *3rd Generation Partnership Project - 3GPP*², publicada em meados de 2022, que o primeiro padrão global para incorporar um componente não-terrestre para comunicações móveis foi estabelecido. O 3GPP caracteriza-se por ser uma colaboração 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-P%21%21PDF-E.pdf

⁵ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constitucao/constitucao.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 e 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).

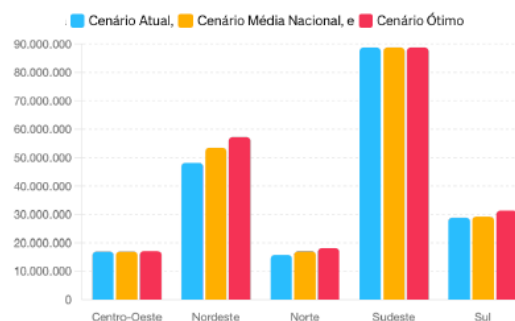
TABELA 4 - BASE DE ACESSOS/HABITANTE NO CENÁRIO ÓTIMO

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.1645-0-200306-1!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-Ps21%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/telefonia-movel>. 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>.

Artigo:

GEBRIM, Rodrigo C.; NOGUEIRA, Jorge M. **Uso de satélites para complementar a cobertura das redes de telecomunicações móveis terrestres: análise das potencialidades tecnológicas e econômicas.** XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBt 2024, Belém-PA, 2024. DOI: [10.14209/sbtr.2024.1571032578](https://doi.org/10.14209/sbtr.2024.1571032578).