



Revisão Sistemática: Performance, Arquitetura e Cenário Regulatório da Tecnologia Starlink Direct to Cell

Gabriel Angeramis Vargas Goulart

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, Brasil

gvargas@trf3.jus.br

Resumo: Considerando a pergunta central: Com base em evidências públicas e verificáveis, qual é o estado atual da arquitetura, performance demonstrada e do cenário regulatório da tecnologia Starlink Direct to Cell, e quais são os principais desafios para sua implementação em escala global?

Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura técnica, regulatória e jornalística para consolidar as evidências disponíveis sobre a arquitetura, performance e o cenário regulatório da tecnologia Starlink Direct to Cell (DtC). O estudo foca em analisar dados verificáveis, ainda que não haja tantas fontes independentes que testaram a tecnologia, para estabelecer o estado atual, suas capacidades demonstradas e os desafios para sua implementação em escala global.

Os resultados mostraram que a arquitetura do sistema é baseada em satélites Starlink de segunda geração equipados com um modem eNodeB e antenas de phased array avançadas, operando em espectro LTE de parceiras de telecomunicações. A viabilidade técnica foi comprovada com o sucesso dos testes de mensagens de texto (SMS) em janeiro de 2024, utilizando smartphones convencionais. Documentos submetidos à FCC detalham projeções para serviços de voz e dados, com uma largura de banda modesta de 3 a 7,5 Mbps por célula, compartilhada entre os usuários. Os principais desafios técnicos abordados incluem a compensação do efeito Doppler e do atraso de tempo, inerentes à comunicação com satélites em órbita baixa. O progresso regulatório tem sido significativo nos EUA, com a FCC concedendo autorizações-chave, mas a expansão global enfrenta o complexo desafio de obter aprovações de espectro em cada país. A análise comparativa mostra que concorrentes como a AST SpaceMobile também demonstraram capacidades técnicas, indicando um campo competitivo emergente.

Assim, a conclusão foi que a tecnologia Starlink Direct to Cell transitou com sucesso da fase conceitual para a demonstração prática, validando sua capacidade de fornecer conectividade básica (mensagens) a smartphones não modificados. A performance, por projeto, não compete com redes terrestres, mas visa preencher lacunas de cobertura. A expansão para serviços de voz e dados e a viabilidade comercial em escala global dependem criticamente da contínua densificação da constelação de satélites e da superação de barreiras regulatórias internacionais.

Palavras-chave: Starlink; Direct to Cell; redes não terrestres; satélites LEO; telecomunicações.

INTRODUÇÃO

A busca por conectividade ubíqua é uma das forças motrizes da tecnologia de telecomunicações moderna. Apesar da expansão das redes 4G e 5G, grandes porções da superfície terrestre e a quase totalidade dos oceanos permanecem como "zonas mortas" de conectividade, criando disparidades digitais e desafios de segurança significativos [1]. Historicamente, a comunicação via satélite nessas áreas era restrita a dispositivos dedicados, caros e com funcionalidades limitadas.

A proliferação de constelações de satélites em Órbita Terrestre Baixa (LEO - Low Earth Orbit) iniciou uma transformação neste paradigma. A fronteira mais recente desta evolução é a tecnologia "Direct to Cell" (DtC) ou "Direct to Device" (D2D), que visa conectar

smartphones padrão, sem necessidade de hardware adicional, diretamente a satélites. Esta abordagem visa entregar uma solução integrada e de baixo custo para garantir uma linha de base de conectividade em qualquer lugar do globo.

A SpaceX, por meio de sua constelação Starlink, emergiu como um dos principais atores neste campo. Em um evento de grande repercussão em agosto de 2022, a SpaceX e a T-Mobile EUA anunciaram uma aliança tecnológica para alavancar os satélites Starlink de segunda geração e o espectro de banda média da T-Mobile para fornecer conectividade direta a celulares [2]. A visão apresentada era a de eliminar as zonas mortas, começando com um serviço de mensagens de texto e evoluindo para voz e dados.

Este relatório apresenta uma revisão sistemática das evidências disponíveis sobre a iniciativa Starlink Direct to Cell. O objetivo é ir além dos anúncios de marketing para analisar a arquitetura técnica subjacente, avaliar os dados de performance obtidos em testes, contextualizar os desafios físicos e de engenharia, e mapear o complexo cenário regulatório que rege a sua implementação. Através da síntese de documentos técnicos, registros legais e análises especializadas, o estudo busca fornecer um retrato fiel do estado atual e do potencial futuro desta tecnologia disruptiva.

2. Fundamentos Técnicos da Comunicação LEO-D2D.

A comunicação direta entre um satélite em órbita e um smartphone no solo apresenta desafios físicos e de engenharia fundamentalmente distintos dos enfrentados pelas redes celulares terrestres. Compreender esses desafios é essencial para contextualizar a arquitetura e as limitações de performance do sistema Starlink DtC.

2.1. A Dinâmica da Órbita Terrestre Baixa (LEO)

Diferente dos satélites geoestacionários (GEO), que permanecem em uma posição fixa em relação à Terra a ~36.000 km de altitude, os satélites LEO orbitam a altitudes muito mais baixas (tipicamente de 500 a 1.200 km). A constelação Starlink, por exemplo, opera a aproximadamente 550 km [3]. Esta baixa altitude é a chave para reduzir a latência e a perda de sinal, mas introduz duas complicações principais:

Alta Velocidade Relativa e Efeito Doppler: Os satélites em LEO movem-se a velocidades superiores a 27.000 km/h. Para um observador estacionário no solo, isso resulta em um desvio significativo na frequência do sinal de rádio — o Efeito Doppler. Os protocolos de comunicação celular, como o LTE/4G, foram projetados para compensar o Doppler gerado por veículos em alta velocidade (carros, trens), mas a magnitude do desvio causado por um satélite é muito maior, exigindo compensações sofisticadas tanto no satélite quanto, idealmente, no dispositivo do usuário [4].

Atraso de Propagação (Timing Advance): A distância entre o telefone e a "torre" (o satélite) é muito maior e mais variável do que em uma rede terrestre. Os protocolos LTE dependem de uma sincronização de tempo precisa. O sistema precisa calcular e compensar dinamicamente esse atraso de propagação para manter o link de comunicação, um desafio conhecido como "timing advance" [4].

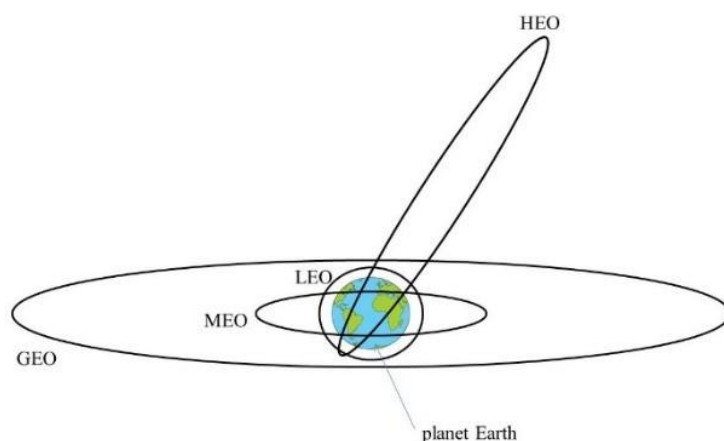


Figura 1: Ilustração das classes de órbitas dos satélites [fonte: TR 22.822]

2.2. O Balanço de Potência do Link (Link Budget)

O desafio mais fundamental é o "link budget". Um smartphone é projetado para se comunicar com uma torre a poucos quilômetros de distância, usando uma antena pequena e uma potência de transmissão baixa para conservar a bateria. O sistema D2C precisa fechar um link de comunicação estável a uma distância de mais de 500 km. Isso exige soluções de engenharia extremas no satélite [5]:

Antenas de Alto Ganho: Os satélites Starlink V2 utilizam antenas de phased array de grande porte e alta sensibilidade, capazes de formar feixes de rádio (beams) muito estreitos e direcioná-los eletronicamente para os dispositivos no solo.

Processamento a Bordo: O satélite precisa realizar um processamento de sinal significativo para limpar o ruído e amplificar o sinal fraco proveniente do telefone.

2.3. Padronização em Redes Não Terrestres (NTN)

O 3rd Generation Partnership Project (3GPP), órgão que padroniza as tecnologias celulares, tem trabalhado para integrar formalmente as Redes Não Terrestres (NTN) nos padrões 5G. Os releases 17 e 18 do 5G introduziram modificações no protocolo para suportar nativamente a comunicação via satélite, abordando os desafios de Doppler e latência. Embora a solução inicial da Starlink utilize o protocolo 4G/LTE existente para garantir a compatibilidade com os telefones atuais, a evolução para os padrões 5G-NTN será crucial para melhorar a eficiência e a performance no futuro.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão foi conduzida seguindo uma metodologia estruturada para garantir a abrangência e a objetividade na síntese das evidências.



3.1. Estratégia de Busca e Fontes de Dados.

O método consistiu em conduzir uma busca estruturada em fontes publicadas entre agosto de 2022 e setembro de 2025. As fontes incluíram o banco de dados de registros da Federal Communications Commission (FCC) dos EUA, comunicados de imprensa e publicações oficiais da SpaceX e de suas operadoras parceiras, artigos de publicações técnicas especializadas (como SpaceNews e Ars Technica), e artigos acadêmicos sobre Redes Não Terrestres (NTN) nos bancos de dados IEEE Xplore e arXiv. Os dados extraídos foram sintetizados narrativamente, com foco na arquitetura do sistema, resultados de testes de performance, desafios técnicos e barreiras regulatórias.

A busca por informações foi realizada em outubro de 2025, cobrindo o período de agosto de 2022 a setembro de 2025. Foram utilizadas as seguintes fontes:

- Bancos de Dados Regulatórios: Primariamente o "Electronic Comment Filing System (ECFS)" e o "Universal Licensing System (ULS)" da Federal Communications Commission (FCC) dos EUA. Foram encontrados quatro artigos e utilizado um.
- Fontes Corporativas: Comunicados de imprensa, blogs técnicos e publicações em redes sociais da SpaceX, Starlink e operadoras parceiras (T-Mobile, Rogers, Optus, Entel, Salt, One NZ). Foram encontrados cinco artigos e utilizados quatro.
- Mídia Técnica Especializada: Arquivos de publicações como SpaceNews, Ars Technica, Teslarati, e PC Mag. Foram encontrados quinze artigos e utilizados doze.
- Bases de Dados Acadêmicas: IEEE Xplore e Google Scholar, para artigos sobre NTN, LEO-D2D e tecnologias relacionadas. Foram encontrados três artigos e utilizado um.

Os termos de busca incluíram, mas não se limitaram a: "Starlink Direct to Cell", "SpaceX Direct to Device", "Non-Terrestrial Networks", "Coverage Above and Beyond", "SpaceX FCC mobile satellite service".

3.2. Critérios de Seleção

Foram incluídos documentos que apresentavam dados primários ou análises técnicas aprofundadas sobre a tecnologia. Os critérios de inclusão foram:

- Registros oficiais e autorizações da FCC.

- Comunicados de imprensa detalhando parcerias e resultados de testes.
- Apresentações técnicas ou white papers da SpaceX.
- Reportagens jornalísticas que citavam fontes primárias ou forneciam análises técnicas originais.
- Artigos acadêmicos revisados por pares sobre os desafios e soluções para a comunicação LEO-D2D.

Foram excluídos artigos de opinião sem embasamento, discussões em fóruns e material puramente de marketing que não apresentava informações novas ou verificáveis.

3.3. Síntese dos Dados

Os dados extraídos das fontes selecionadas foram organizados e sintetizados de forma narrativa, agrupados nas seguintes categorias temáticas: (1) Arquitetura do Sistema e Implantação; (2) Análise de Performance por Tipo de Serviço; (3) Cenário Regulatório e de Espectro; e (4) Análise Comparativa com Sistemas Concorrentes.

RESULTADOS

O coração do sistema DtC são os satélites Starlink de "Geração 2" ou V2. Embora a SpaceX tenha lançado uma versão "Mini" desses satélites, todos os novos lançamentos são equipados com a carga DtC. As principais características, extraídas de apresentações da SpaceX e de seus registros na FCC, incluem [5, 6]:

- Modem eNodeB a Bordo: Cada satélite carrega um modem que emula uma torre de celular LTE. Ele é responsável por todo o processamento de sinal necessário para se comunicar diretamente com os telefones.
- Antenas de Phased Array: Antenas de rádio avançadas que podem criar e direcionar múltiplos feixes (beams) para o solo, cobrindo uma área específica (uma "célula").
- Links Ópticos Inter-Satélite (Laser Links): Os satélites se comunicam entre si usando lasers, criando uma malha de dados no espaço. Isso permite que o tráfego de um usuário seja roteado através da constelação até um gateway terrestre que pode estar do outro lado do mundo, reduzindo a dependência de estações terrenas próximas.



4.2. O Segmento Terrestre e de Espectro

O sistema não funciona isoladamente; ele se integra profundamente com as redes das operadoras parceiras:

- **Espectro de Frequência:** A Starlink não utiliza seu próprio espectro para o link com o celular. Em vez disso, ela utiliza uma fatia do espectro LTE licenciado para a operadora parceira. Nos EUA, isso corresponde à banda de 1.9 GHz (PCS) da T-Mobile [2]. Essa abordagem é a chave para a compatibilidade com os telefones existentes, mas também cria o principal desafio regulatório: obter permissão para usar espectro terrestre a partir do espaço.
- **Integração com a Rede Central (Core Network):** O tráfego do usuário, após chegar a um gateway terrestre da Starlink, é injetado na rede central da operadora parceira. Isso permite uma integração transparente de serviços como faturamento e provisionamento.

4.3. Cronograma de Implantação (Phased Rollout)

A SpaceX delineou um plano de implantação em fases, priorizando a complexidade técnica:

1. **2024: Mensagens de Texto (SMS/MMS):** O serviço mais simples, que pode tolerar a latência e a cobertura intermitente da fase inicial da constelação.
2. **2025: Voz e Dados:** Exigem uma cobertura mais contínua, o que implica uma maior densidade de satélites DtC em órbita.
3. **2026: IoT:** Suporte para dispositivos de Internet das Coisas de baixa potência, como os que usam padrões NB-IoT ou LTE-M.

Em 8 de janeiro de 2024, a SpaceX lançou com sucesso o primeiro lote de seis satélites com capacidade DtC, marcando o início da implantação operacional do segmento espacial [7].

5. Resultados: Análise de Performance

A avaliação da performance do sistema é baseada em uma combinação de resultados de testes iniciais e projeções técnicas detalhadas nos documentos da FCC.

5.1. Serviço de Mensagens (SMS/MMS)

Este é o único serviço com desempenho publicamente demonstrado até o momento.

Em 10 de janeiro de 2024, poucos dias após o primeiro lançamento, a SpaceX anunciou ter enviado e recebido com sucesso as primeiras mensagens de texto através

do sistema, em uma área de teste da T-Mobile [9]. Posteriormente, foi divulgado que a SpaceX adquiriu um espectro sem fio no valor de US\$ 17 bilhões da EchoStar [10], o que promete melhorar e muito a performance DtC da Starlink.

Com relação à performance esperada, vale dizer que o serviço é assíncrono. A latência não é um fator crítico e o sistema é projetado para que o telefone envie a mensagem quando um satélite estiver visível. A largura de banda necessária é mínima.

5.2. Serviço de Voz

Não há dados de testes públicos para chamadas de voz até o momento. A viabilidade depende da capacidade do sistema de fornecer uma conexão contínua e com latência suficientemente baixa.

A principal barreira é o "handover" entre satélites. Como cada satélite cruza o céu em poucos minutos, a chamada precisa ser transferida de forma transparente do feixe de um satélite para o próximo, sem que o usuário perceba a interrupção. Isso requer uma constelação densa e um software de gerenciamento de rede sofisticado.

5.3. Serviço de Dados e IoT

A performance de dados é o aspecto mais aguardado e o mais limitado.

De acordo com o paper especializado da Ars Technica, cada célula de satélite teria uma largura de banda máxima de 3 a 7,2 Mbps [11]. É crucial entender que esta capacidade é compartilhada entre todos os usuários dentro da área de cobertura daquela célula, que pode ter vários quilômetros de diâmetro.

Para um usuário individual, isso se traduzirá em uma velocidade significativamente menor, provavelmente na casa de 1 a 2 Mbps em condições ideais, e menos em áreas com múltiplos usuários. Esta velocidade é suficiente para carregar páginas web simples, usar e-mail e aplicativos de mensagens, mas insuficiente para streaming de vídeo ou outras aplicações de alta demanda [6].

5.4. Latência

A latência de um sistema LEO é governada pela física. A uma altitude de 550 km, a viagem de ida e volta do sinal (round-trip time) até o satélite é de aproximadamente 4 a 5 ms. No entanto, a latência total do sistema, incluindo o processamento no satélite, a viagem até o gateway terrestre e o trânsito pela rede da operadora, será consideravelmente maior. As projeções e análises de sistemas LEO-NTN colocam a latência ponta a ponta na faixa de 25ms a 60ms [8].

6. Análise do Cenário Regulatório e de Espectro

A tecnologia, por mais avançada que seja, não pode operar sem autorização legal. O cenário regulatório é, talvez, o maior desafio para a viabilidade global do DtC.



6.1. O Marco Regulatório nos EUA

A SpaceX tem se concentrado em obter aprovações da FCC nos EUA, estabelecendo um precedente para outras nações.

- Autorização para Espectro Móvel via Satélite (MSS): Em dezembro de 2023, a FCC concedeu à SpaceX uma autorização histórica para operar o serviço DtC, permitindo que os satélites transmitissem em porções do espectro da T-Mobile. A ordem da FCC, no entanto, veio com condições estritas para evitar interferência com redes terrestres e outros satélites [12].
- Framework Regulatório: Nesta mesma autorização do item anterior, a FCC estabeleceu um framework específico para o que chama de "Cobertura Suplementar a partir do Espaço" (Supplemental Coverage from Space - SCS), criando um caminho regulatório para que outras parcerias entre operadoras de satélite e de telefonia móvel possam surgir.

6.2. O Desafio da Expansão Global

Cada país é soberano sobre o uso do espectro de rádio em seu território. Para que o serviço DtC funcione globalmente, a SpaceX e suas operadoras parceiras precisam obter uma autorização semelhante à da FCC em cada jurisdição. Isso envolve negociações complexas com agências reguladoras nacionais.

A SpaceX tem replicado o modelo da T-Mobile globalmente, anunciando parcerias com a Rogers no Canadá, Optus na Austrália, One na Nova Zelândia, Entel no Chile e Peru, Salt na Suíça, entre outros [13]. Cada uma dessas parcerias está condicionada à aprovação regulatória local.

7. Análise Comparativa de Sistemas Concorrentes

A Starlink não está sozinha no desenvolvimento da tecnologia D2D. Duas outras empresas têm feito progressos significativos, validando o conceito geral da tecnologia.

7.1. AST SpaceMobile

A AST SpaceMobile está construindo uma constelação LEO projetada especificamente para o serviço D2D.

Sua abordagem difere da da SpaceX ao utilizar satélites muito maiores, com enormes antenas de phased array. O satélite protótipo, BlueWalker 3, lançado em 2022, tem uma antena de 64 metros quadrados [14].

No tocante aos testes, em abril de 2023, a AST SpaceMobile anunciou ter completado a primeira chamada de voz bidirecional usando seu satélite e um smartphone Samsung Galaxy S22 padrão [15]. Em

setembro de 2023, a empresa demonstrou velocidades de download de 14 Mbps durante testes [16]. Seus parceiros incluem gigantes como AT&T e Vodafone.

7.2. Lynk Global

A Lynk Global adotou uma abordagem incremental, focando inicialmente em serviços de mensagens de texto.

A Lynk é a primeira empresa a ter recebido uma licença comercial da FCC para operar um serviço de satélite direto ao celular e já possui acordos com operadoras em vários países, como as Ilhas Palau [17]. Seu serviço é focado em mensagens periódicas e alertas de emergência, em vez de conectividade contínua.

Enquanto a AST SpaceMobile compete em performance projetada e a Lynk compete em velocidade de entrada no mercado para serviços de nicho, a principal vantagem da SpaceX reside em sua capacidade de fabricação e lançamento em massa. A integração vertical da SpaceX permite que ela construa e densifique sua constelação a um ritmo que os concorrentes, atualmente, não conseguem igualar.

8. Discussão

A síntese das evidências revela que a iniciativa Starlink Direct to Cell representa um avanço genuíno e verificável na busca pela conectividade universal. A transição bem-sucedida de um conceito teórico para um teste de campo bem-sucedido (mensagens de texto) em pouco mais de um ano demonstra a maturidade da tecnologia LEO e a agilidade da engenharia da SpaceX.

O principal insight é que a performance do sistema é intencionalmente modesta. Ao contrário do serviço de banda larga Starlink, que visa competir com provedores terrestres, o DtC foi projetado para ser uma rede de segurança. As projeções de largura de banda de 3 a 7,5 Mbps por célula confirmam que o serviço servirá para comunicações essenciais e não para consumo de mídia. Esta estratégia de posicionamento é crucial para gerenciar as expectativas dos usuários e para a argumentação regulatória, onde a SpaceX enfatiza que o serviço não canibalizará, mas sim complementar, as redes terrestres.

Os maiores obstáculos à frente não parecem ser técnicos, mas sim regulatórios e de escala. O sucesso nos EUA estabelece um precedente importante, mas replicá-lo em dezenas de países será um processo longo e complexo. Adicionalmente, a qualidade dos serviços de voz e dados dependerá diretamente do número de satélites DtC em órbita. Atingir a densidade necessária para uma cobertura global contínua exigirá centenas, se não milhares, de lançamentos bem-sucedidos.

9. IoT



Em algumas regiões, como na Nova Zelândia por exemplo, a Starlink Direct to Cell já está sendo expandida para ser utilizada em dispositivos IoT que estão em "zonas mortas". Para isto, estão aumentando o espectro de rádio para utilizar na comunicação via satélite[18], aumentando a gama de serviços oferecidos pela operadora One NZ. A quantidade de serviços que podem ser beneficiados é imensa, partindo da agricultura, passando pela previsão climática, monitoramento ambiental, até aviação comercial e segurança.

10. Contexto Regulatório Brasileiro

No Brasil, a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) tem acompanhado de perto a regulação do Direct-to-Device (D2D). Em maio de 2024, através do Ato 6359, concedeu autorização para uso temporário de radiofrequências, que permite a realização de testes para uso de sistemas de satélites se comunicando diretamente com smartphones operando na faixa de 800 MHz, em aplicações conhecidas como Direct-to-Device (D2D) [19].

Para que tais testes fossem realizados, a Anatel criou uma sandbox, com outorga fixada em até dois anos, para os elegíveis. As empresas de telefonia móvel que possuem autorização para utilizar radiofrequências no SMP podem participar do ambiente regulatório experimental, através de parcerias com operadoras de satélites [20].

O que ocorre é que será preciso alterar as regras de utilização "no meio do jogo". As normas brasileiras precisarão evoluir para permitir que as frequências compradas pelas operadoras (Vivo, Claro, Tim, por exemplo) em leilões para uso terrestre, sejam alugadas ou utilizadas por satélites em uso secundário.

Entre outros desafios regulatórios, podemos encontrar alguns que chamam a atenção, tais como a interferência em fronteiras, que precisa garantir que o satélite da Starlink, ao passar sobre a fronteira do Brasil, não interfira nas redes do Paraguai ou Argentina, por exemplo, usando a mesma frequência.

Uma outra definição é sobre a cobrança de roaming ou inclusão no pacote de dados do usuário. E por fim, assegurar, que chamadas de emergência funcionem independentemente do plano comercial do usuário.

11. Limitações da Evidência Atual

É fundamental reconhecer as limitações das evidências disponíveis. Há uma dependência de fontes corporativas. Grande parte dos dados de performance, especialmente os resultados de testes, provém diretamente da SpaceX. Não há, até o momento, testes

abrangentes conduzidos por terceiros acadêmicos ou jornalísticos independentes.

Outro ponto, é que os testes foram conduzidos em ambientes controlados. A performance do sistema sob condições de congestionamento (múltiplos usuários na mesma célula) ou em ambientes com obstruções parciais (como vales ou áreas com alguma folhagem) ainda não foi quantificada publicamente. Por fim, ainda não há informações concretas sobre como o serviço será precificado para o consumidor final, um fator determinante para sua adoção em massa.

CONCLUSÃO

A tecnologia Starlink Direct to Cell demonstrou, com base em evidências verificáveis, sua capacidade de fornecer conectividade de mensagens a smartphones padrão em áreas sem serviço. A arquitetura do sistema é robusta, e a empresa estabeleceu um caminho claro para a introdução futura de serviços de voz e dados de baixa largura de banda.

O projeto representa mais do que um avanço tecnológico. É uma mudança estratégica na indústria de telecomunicações, fundindo os mundos anteriormente distintos do satélite e do celular. Caso ocorra, o sucesso dessa tecnologia pode facilitar e muito a comunicação nas "zonas mortas" trazendo melhorias na qualidade de vida de pessoas que vivem em condições de isolamento, como por exemplo os ribeirinhos do Pantanal e as populações amazônicas. Dito isso. Podemos dizer que o sucesso final da iniciativa dependerá, principalmente, de três fatores críticos: a capacidade da SpaceX de acelerar a implantação da constelação de satélites V2, a habilidade de navegar no complexo mosaico de regulamentações de espectro internacionais, e ainda, a validação da performance e da confiabilidade do serviço em condições de uso real e em larga escala. Embora o caminho para a conectividade verdadeiramente universal ainda seja longo, os marcos alcançados até agora indicam que a eliminação das "zonas mortas" está, pela primeira vez, ao alcance da tecnologia existente e pode se tornar realidade em breve.

AGRADECIMENTOS

Professora Doutora Hana Karina Salles Rubinsztejn, por todo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

1. GSMA. 2023. The State of Mobile Internet Connectivity Report 2023. Acessado em: <https://www.gsma.com/r/somic/>
2. T-Mobile. 2022, 25 de agosto. T-Mobile Takes Coverage Above and Beyond with



- SpaceX. Acessado em: <https://www.t-mobile.com/news/un-carrier/t-mobile-takes-coverage-above-and-beyond-with-spacex>
3. Pultarova, Tereza. 2025, 25 de setembro. Os satélites Starlink são uma grande inovação ou uma ameaça astronômica? Acessado em: https://www-space-com.translate.google.com/spacex-starlink-satellites.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc
 4. 3GPP. 2021. Technical Specification 38.821: Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN). Acessado em: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3525>
 5. Foust, Jeff. 2023, 28 de fevereiro. "SpaceX launches first upgraded Starlink satellites". SpaceNews. Acessado em: <https://spacenews.com/spacex-to-launch-v2-starlink-satellites-next-year/>
 6. SpaceX. 2022, 18 de julho. FCC Filing, IBFS File No. SAT-MOD-20220718-00063, Technical Attachment. Acessado via FCC ECFS.
 7. CNN Brasil. 2024, 03 de janeiro. Acessado em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/spacex-lanca-satellites-com-capacidade-de-transmitir-direto-para-celular/>
 8. Ecoflow. 2025, 18 de setembro. 2025 Starlink Speed: Real-World Tests & Complete Breakdown of Upload Speeds & Latency Data. Acessado em: <https://www.ecoflow.com/ph/blog/how-fast-will-starlink-be>
 9. Starlink. 2024, 26 de fevereiro. Post on X with video. Acessado em: <https://x.com/Starlink/status/1762153444026368341>
 10. Malik, N. 2025, 25 de setembro. SpaceX to Start Testing Starlink Direct to Cell on Its Spectrum in 2026. Tesla North. Acessado em: <https://teslanorth.com/2025/09/16/spacex-to-start-testing-starlink-direct-to-cell-on-its-spectrum-in-2026/>
 11. Wesson, Kyle. 2023, 7 de fevereiro. SpaceX Gen2 Direct-to-cellular System. Acessado em: cdn.arstechnica.net/wp-content/uploads/2023/05/SpaceX-T-Mobile-Technical-Narrative.pdf
 12. Federal Communications Commission. 2023, 16 de março. FCC Establishes Framework for Satellite-to-Smartphone Connectivity. Acessado em: https://docs.fcc.gov/public/attachments/DO_C-391794A1.pdf
 13. SpaceX, Starlink. Acesso em <https://starlink.com/br/business/direct-to-cell>
 14. AST Space Mobile. 2022, 14 de novembro. AST SpaceMobile Deploys Largest-Ever Commercial Communications Array in Low Earth Orbit. Acessado em: <https://ast-science.com/2022/11/14/693-square-foot-array-on-blue-walker-3-successfully-completed-deployment/>
 15. AST Space Mobile. 2023, 25 de abril. AST SpaceMobile Makes History in Cellular Connectivity, Completing the First-Ever Space-Based Voice Call Using Everyday Unmodified Smartphones. Acessado em: <https://ast-science.com/2023/04/25/ast-spacemobile-makes-history-in-cellular-connectivity-completing-the-first-ever-space-based-voice-call-using-everyday-unmodified-smartphones/>
 16. AST Space Mobile. 2023, 19 de setembro. AST SpaceMobile Achieves Space-Based 5G Cellular Broadband Connectivity From Everyday Smartphones, Another Historic World First. Acessado em: <https://ast-science.com/2023/09/19/ast-spacemobile-achieves-space-based-5g-cellular-broadband-connectivity-from-everyday-smartphones-another-historic-world-first/>
 17. Rainbow, J. 2022, 19 de setembro. Lynk Global gets first commercial satellite direct-to-cell operating license. SpaceNews. Acessado em: <https://spacenews.com/lynk-global-gets-first-commercial-satellite-direct-to-cell-operating-license/>



global-gets-first-commercial-satellite-direct-to-cell-operating-license/

18. Kan, M. 2025, 30 de julho. "SpaceX's Cellular Starlink Expands to Support IoT Devices". Acessado em: <https://www.pcmag.com/news/spacexs-cellular-starlink-expands-to-support-iot-devices>
19. Anatel. 2024, 03 de maio. "Anatel autoriza o início dos testes para Direct-to-Device (D2D)". Acessado em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-autoriza-o-inicio-dos-testes-para-direct-to-device-d2d>
20. Paulo, D. 2024, 22 de abril. "Anatel formaliza sandbox para piloto de conexão entre celular e satélite". Acessado em: <https://teletime.com.br/22/04/2024/anatel-formaliza-sandbox-para-piloto-de-conexao-entre-celular-e-satelite/>