



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS – IFAM  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

**AROLDO RIBEIRO DE SOUZA**

**SISTEMA DE TV DIGITAL: ANÁLISE DA QUALIDADE DO SINAL DE  
TRANSMISSÃO DE VÍDEO E ÁUDIO VIA MOCHILINK 4G NA CIDADE  
DE MANAUS**

**MANAUS/AM  
2024**

**AROLDO RIBEIRO DE SOUZA**

**SISTEMA DE TV DIGITAL: ANÁLISE DA QUALIDADE DO SINAL DE TRANSMISSÃO DE VÍDEO E ÁUDIO VIA MOCHILINK 4G NA CIDADE DE MANAUS**

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao curso de graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

**MANAUS/AM  
2024**

---

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Distrito Industrial**

---

- S729s Souza, Aroldo Ribeiro de Souza  
Sistema de TV digital: análise da qualidade do sinal de transmissão de vídeo e áudio via mochilink 4G na cidade de Manaus / Aroldo Ribeiro de Souza. – Manaus, 2024.  
40f.: il. Color.
- Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2024.  
Orientador: Prof.º Celso Souza Cordeiro
1. Televisão digital. 2. Mochilink 4G. 3. QoS. 4. TV aberta. 5 I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.382


**AROLDO RIBEIRO DE SOUZA**

**SISTEMA DE TV DIGITAL: ANÁLISE DA QUALIDADE DO SINAL DE TRANSMISSÃO DE VÍDEO E ÁUDIO VIA MOCHILINK 4G NA CIDADE DE MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

Aprovado em 11 de dezembro de 2024.

  
Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

Avaliador 1: Prof. Msc. Jonas Micael Vieira de Lima

  
Avaliador 2: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro

Dedico com profundo afeto e gratidão a todos que, de alguma forma, compartilharam deste sonho e tornaram esta conquista possível. À minha querida família, em especial aos meus pais, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor incondicional e apoio nos momentos mais difíceis. Sua força e dedicação foram fundamentais para que eu pudesse trilhar este caminho. Aos meus amigos e colegas da faculdade, com quem dividi desafios, vitórias e aprendizados, que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora. E, principalmente, dedico àqueles que acreditaram em mim, que me incentivaram a nunca desistir, pois sem o suporte, a confiança e a motivação de cada um, este sonho jamais teria se concretizado.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo da minha trajetória, aprendi a valorizar a importância da autonomia, mas também reconheci que o apoio e a colaboração de outras pessoas são fundamentais para alcançar grandes conquistas. Este trabalho, em particular, só se tornou possível graças à ajuda e presença de pessoas queridas que me acompanharam em cada etapa dessa caminhada.

Primeiramente, agradeço a Deus, por guiar meus passos e me fortalecer em cada desafio que enfrentei ao longo desta jornada. Sua presença foi essencial para que eu mantivesse a fé e a determinação em seguir em frente.

Aos meus professores, expesso meu mais sincero agradecimento. Seu compromisso em transmitir conhecimento e orientar com sabedoria foi fundamental para que este projeto pudesse ser desenvolvido com sucesso. Aos meus colegas, agradeço por cada momento de troca, incentivo e aprendizado compartilhado. Vocês me desafiaram a crescer e me ajudaram a expandir meus horizontes acadêmicos.

Minha gratidão profunda vai à minha família, que sempre esteve ao meu lado com paciência, amor e compreensão. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada sacrifício feito por vocês foram cruciais para que eu pudesse chegar até aqui. Sem vocês, esse sonho não teria se tornado realidade.

Por fim, a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste projeto, meus sinceros agradecimentos. Cada ajuda, direta ou indireta, fez a diferença e possibilitou que este trabalho fosse concluído com êxito.

.

A verdadeira motivação vem de realização,  
desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e  
reconhecimento.

(Frederick Herzberg)

## **Resumo**

No Brasil, o sinal de televisão aberta, proporcionando à população acesso gratuito a conteúdos com alta qualidade de imagem e som. Entretanto, a TV aberta tem enfrentado desafios, especialmente devido à popularização dos serviços de streaming e da TV a cabo, que oferecem opções sob demanda e maior interatividade. Embora as SmartTVs combinem funcionalidades de TV e internet, a experiência de interatividade ainda depende de conexão banda larga e aplicativos, o que limita o acesso para alguns públicos. Além disso, o uso simultâneo de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, muitas vezes dispersa a atenção do espectador, que alterna entre as funções oferecidas pela TV e pelas plataformas online, reduzindo o engajamento com a programação televisiva. Para contornar esses desafios, o mochilink 4G tem se tornado uma solução estratégica, especialmente para profissionais de comunicação que necessitam de mobilidade e alta qualidade de transmissão em tempo real. Essa tecnologia permite coberturas externas e transmissões ao vivo em locais com pouca infraestrutura de internet fixa, o que é particularmente útil em regiões como Manaus, onde há desafios geográficos e variações na cobertura de rede. Este estudo propõe uma análise da qualidade do sinal de vídeo e áudio transmitido via mochilink 4G na cidade de Manaus, avaliando sua eficiência como alternativa de transmissão móvel para a TV aberta digital. Com o uso do mochilink, pretende-se aumentar o alcance da TV aberta e proporcionar maior acessibilidade em áreas onde a infraestrutura de internet é limitada. A pesquisa visa, portanto, fornecer dados técnicos que contribuam para otimizar o uso do mochilink 4G em transmissões ao vivo, favorecendo a ampliação do alcance e da qualidade da TV digital.

**Palavras-chave:** SBTVD, Televisão digital, Mochilink 4G, Qualidade de transmissão, TV aberta, Interatividade.

## ABSTRACT

*In Brazil, the digital open television signal provides the population with free access to high-quality audio and video. However, open TV faces challenges, particularly due to the rise of streaming services and cable TV, which offer on-demand content and interactivity. Although SmartTVs integrate internet functionality, their interactive experience depends on broadband connections and applications, limiting accessibility for some audiences. Additionally, simultaneous use of mobile devices, such as smartphones and tablets, often distracts viewers, reducing engagement with traditional programming. To address these challenges, 4G mochilink technology has emerged as a strategic solution, especially for communication professionals who require mobility and high-quality real-time transmission. This technology enables external live broadcasts in locations with limited internet infrastructure, particularly valuable in regions like Manaus, with geographical and network coverage challenges. This study proposes an analysis of video and audio signal quality transmitted via 4G mochilink in Manaus, assessing its effectiveness as a mobile transmission alternative for digital open TV. By utilizing mochilink, the aim is to expand open TV's reach and provide greater accessibility in areas with limited internet infrastructure. The research seeks to provide technical data to optimize 4G mochilink use for live broadcasts, supporting the expansion of digital TV's reach and quality.*

**Keywords:** *SBTVD, Digital television, 4G mochilink, Transmission quality, Open TV, Interactivity.*

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Componentes sistema mochilink Livecast Pro. ....	25
Figura 2 - Topologia da arquitetura do sistema Mochilink. ....	26
Figura 3 - Amostra do mochilink .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - RTT dos pacotes .....	37
Tabela 2 - Amostras de Bit Rate .....	38
Tabela 3 - Resumo dos Resultados.....	39

## **LISTA DE SIGLAS**

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

AP - Access Point

API - Application Programming Interface

GPS - Global Positioning Systems

GSM - Global System for Mobile communications

IMEI - International Mobile Equipment Identify

ITU - International Telecommunication Union

LTE - Joint Photographic Experts Group

LTE - Long Term Evolution

LTE-A - Long Term Evolution-Advanced

NR - No Reference

PSNR - Peak Signal to Noise Ratio

QoE - Quality of Experience

RTSP - Real Time Streaming Protocol

SIM - Subscriber Identity Module

TCP - Transmission Control Protocol

VoD - Video on-Demand

VQM - Video Quality Metric

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. METODOLOGIA .....	16
3. Objetivos .....	18
3.1. Geral.....	18
3.2. Específicos .....	18
4. PROBLEMA .....	19
5. Justificativa.....	19
6. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
7. Tecnologia Mochilink 4G .....	24
8. O Projeto - ambientação.....	28
8.1 PROCEDIMENTO PARA MEDIR A QUALIDADE DE TRANSMISSÃO DE VÍDEOS AO VIVO COM MOCHILINK 4G EM UMA ÁREA URBANA CIDADE DE MANAUS.....	29
<b>8.1.1. Referências Normativas</b> .....	29
<b>8.1.2. Descrição do Método</b> .....	29
<b>d. Quantidade de Amostragens</b> .....	30
<b>8.1.3. Procedimentos de Medição</b> .....	31
<b>8.1.4. Processamento e Análise dos Dados</b> .....	32
8.2 PROCEDIMENTO PARA MEDIR A QUALIDADE DE TRANSMISSÃO DE VÍDEOS AO VIVO USANDO WIRWSHARK.....	32
8.3. Configuração para Rede LTE - Transmissão de Vídeos.....	34
9. Resultados Encontrados .....	36
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
REFERÊNCIAS .....	40



# 1. INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias de comunicação móvel tem transformado significativamente o modo como conteúdos audiovisuais são produzidos, transmitidos e consumidos. No Brasil, a televisão aberta continua desempenhando um papel central na disseminação de informações e entretenimento, especialmente em regiões onde o acesso à internet de alta velocidade é limitado. No entanto, os desafios impostos pela popularização de serviços de streaming e pela expansão da TV por assinatura demandam soluções tecnológicas inovadoras que possam garantir a competitividade e a relevância da TV aberta.

Nesse contexto, a utilização de tecnologias móveis, como o mochilink 4G, apresenta-se como uma alternativa eficaz para transmissões em tempo real, proporcionando maior mobilidade e flexibilidade, especialmente em eventos externos ou em locais onde a infraestrutura de comunicação é precária. O mochilink 4G utiliza redes móveis para realizar transmissões de vídeo e áudio de alta qualidade, permitindo a cobertura de eventos ao vivo em tempo real, mesmo em áreas com infraestrutura limitada de internet fixa.

Na cidade de Manaus, os desafios geográficos e a variabilidade da cobertura de redes móveis tornam especialmente relevante a análise do desempenho dessa tecnologia. Por meio do mochilink 4G, é possível avaliar parâmetros críticos de transmissão, como latência, taxa de perda de pacotes e compressão de vídeo, garantindo que os padrões de qualidade estabelecidos por órgãos reguladores, como a ITU, 3GPP e Anatel, sejam atendidos.

Este trabalho propõe investigar a qualidade do sinal de transmissão de vídeo e áudio via mochilink 4G na cidade de Manaus, buscando compreender como fatores regionais afetam a eficiência dessa tecnologia em transmissões ao vivo para TV digital aberta. Além disso, objetiva-se fornecer subsídios técnicos para aprimorar o uso de mochilinks, contribuindo para a democratização do acesso à informação e ao entretenimento em alta qualidade, especialmente em áreas com limitações de infraestrutura.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia proposta será estruturada em três etapas principais: pesquisa bibliográfica, coleta e análise de dados, e validação dos resultados. Essas etapas serão conduzidas com base em diretrizes de órgãos reguladores, como ITU, 3GPP e Anatel, visando garantir a confiabilidade e relevância dos resultados.

## **2.1. Pesquisa Bibliográfica**

A primeira etapa envolverá uma revisão bibliográfica abrangente, com a análise de artigos científicos, relatórios técnicos e normas relacionadas à qualidade de transmissão de vídeo e áudio via redes móveis 4G. Serão abordados os seguintes aspectos:

1. Parâmetros de qualidade de transmissão, como latência, taxa de perda de pacotes e compressão de vídeo.
2. Diretrizes e recomendações técnicas da ITU, 3GPP e Anatel sobre qualidade de transmissão para serviços móveis.
3. Estudos prévios sobre o uso do mochilink 4G em transmissões ao vivo, com foco em áreas urbanas e regiões com desafios de conectividade.

## **2.2. Coleta de Dados**

A coleta de dados será realizada por meio de testes práticos em diferentes pontos estratégicos da cidade de Manaus, que apresentem variações nas condições de cobertura de rede. Essa etapa inclui:

- Seleção de Locais: Identificação de áreas com boa, média e baixa cobertura de sinal 4G, utilizando mapas de cobertura fornecidos pelas operadoras e aplicativos de monitoramento de rede.
- Instrumentação: Utilização de um dispositivo mochilink 4G para realizar transmissões de vídeo e áudio, juntamente com softwares para monitoramento e registro de parâmetros técnicos, como:
  1. Wireshark para análise de rede e métricas de qualidade.
  2. OBS Studio para gravação e análise de vídeos transmitidos.
  3. Medição de Parâmetros: Durante os testes, serão registrados dados sobre latência, taxa de perda de pacotes, variações de bitrate e estabilidade da conexão.

### **2.2.1 Análise de Dados**

Os dados coletados serão analisados quantitativamente, com o objetivo de identificar padrões e variações na qualidade do sinal de transmissão. Para isso, serão utilizados:

- Ferramentas estatísticas para correlacionar a qualidade do sinal com fatores regionais, como densidade urbana e condições de cobertura.
- Comparação dos resultados com as diretrizes de qualidade estabelecidas pela ITU, 3GPP e Anatel, avaliando o grau de conformidade.

### **2.3. Validação dos Resultados**

Na última etapa, os resultados obtidos serão validados para verificar sua consistência com os padrões técnicos e a viabilidade do mochilink 4G como uma solução para transmissões ao vivo em Manaus. Essa etapa inclui:

1. Comparação das métricas coletadas com as exigências mínimas de qualidade para transmissões em tempo real.
2. Discussão sobre as limitações e os desafios encontrados, como oscilações na cobertura de rede e interferências ambientais.
3. Propostas de melhorias práticas no uso do mochilink 4G, baseadas nos dados coletados e analisados.

### **2.4. Ferramentas e Equipamentos**

Dispositivo mochilink 4G com capacidade de monitoramento em tempo real.

Software de análise de rede e qualidade de transmissão, como Wireshark e OBS Studio.

Instrumentos de medição para avaliação de parâmetros técnicos, como bitrate e latência.

## **3. Objetivos**

### **3.1. Geral**

Analisar a qualidade do sinal de transmissão de vídeo e áudio via mochilink 4G em ambientes urbanos na cidade de Manaus, focando em parâmetros de qualidade definidos por órgãos como ITU, 3GPP e Anatel, para avaliar o desempenho do sistema de transmissão em diferentes cenários.

### **3.2. Específicos**

Descrever objetivos específicos, como:

- Identificar e analisar os principais parâmetros de qualidade de sinal de transmissão de vídeo e áudio via mochilink 4G, como latência, taxa de perda de pacotes e taxa de compressão.
- Avaliar a estabilidade e a variação de qualidade do sinal de vídeo e áudio em diferentes pontos de Manaus, considerando áreas de maior e menor cobertura de sinal 4G.
- Comparar os resultados obtidos com as recomendações de qualidade de transmissão da ITU, 3GPP e Anatel, propondo melhorias baseadas nos dados coletados.

## **4. PROBLEMA**

Para transmissões ao vivo, a qualidade do sinal de vídeo e áudio são de suma importância, cumprir os requisitos de parâmetros técnicos como latência, taxa de perda de pacotes e taxa de compressão de vídeo, impactam diretamente a fidelidade da transmissão. Em regiões com cobertura instável, problemas como perda de dados e variações de bitrate comprometem a estabilidade e a continuidade do serviço, prejudicando a experiência do espectador.

O presente estudo propõe investigar: Como garantir uma qualidade de transmissão de vídeo e áudio via mochilink 4G que atenda às exigências de órgãos reguladores, em um ambiente urbano com variações de cobertura, como Manaus? Para responder a essa questão, será necessário identificar e analisar os principais parâmetros que afetam a qualidade do sinal, como latência e perda de pacotes, e avaliar a estabilidade e variação de qualidade do sinal em diferentes pontos da cidade. Ao final, pretende-se fornecer recomendações práticas e melhorias para aumentar a confiabilidade e a eficiência das transmissões, alinhando o uso do mochilink 4G com padrões técnicos estabelecidos e promovendo uma experiência de qualidade para os usuários.

## **5. Justificativa**

A crescente demanda por transmissões de vídeo e áudio de alta qualidade via redes móveis tem impulsionado o uso de tecnologias como o mochilink 4G, especialmente em regiões onde o acesso a redes de fibra ótica é limitado. Em Manaus, uma cidade com características urbanas diversificadas e desafios de cobertura de sinal, a utilização do mochilink 4G representa uma alternativa promissora para garantir a acessibilidade de conteúdo audiovisual em tempo real. No entanto, a qualidade de transmissão de vídeo e áudio via 4G é fortemente influenciada pela cobertura e estabilidade da rede, o que impacta diretamente a experiência do usuário e a confiabilidade do serviço em locais variados.

Este estudo busca atender à necessidade de avaliar o desempenho do mochilink 4G como ferramenta de transmissão em Manaus, comparando as condições de sinal em diferentes áreas da cidade, tanto aquelas com alta densidade de cobertura quanto em regiões com menor intensidade de sinal. Além disso, o estudo visa alinhar os parâmetros técnicos observados com as recomendações de qualidade de transmissão definidas por órgãos reguladores, como a ITU, o 3GPP e a Anatel. Dessa forma, ele contribui para um entendimento mais claro das limitações e potencialidades da tecnologia em ambientes urbanos complexos, auxiliando tanto empresas de mídia quanto provedores de infraestrutura na escolha de soluções que assegurem a qualidade e a estabilidade do serviço.

## **6. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados ao tema "Sistema de TV Digital: Análise da Qualidade do Sinal de Transmissão de Vídeo e Áudio via Mochilink 4G", por meio de uma revisão bibliográfica baseada nas principais literaturas e estudos da área. Inicialmente, será abordada uma breve introdução sobre a evolução da televisão digital no Brasil, destacando os marcos históricos que culminaram na transição dos sistemas analógicos para os digitais. Em seguida, serão descritas as características fundamentais dos padrões de televisão digital terrestre adotados globalmente, com ênfase no padrão brasileiro ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial), que foi adaptado às especificidades regionais do país.

Adicionalmente, serão discutidos os desafios e problemas enfrentados pelo sistema brasileiro de TV Digital, como interferências no sinal, variabilidade na qualidade da recepção e os impactos de fatores ambientais, especialmente no contexto da cidade de Manaus, onde aspectos climáticos e geográficos podem afetar a transmissão.

Por fim, serão apresentadas as principais métricas e métodos utilizados para a análise da qualidade dos sinais de áudio e vídeo, com foco em parâmetros como BER (Taxa de Erro de Bits), SNR (Relação Sinal-Ruído) e PSNR (Pico da Relação Sinal-Ruído). Essas medidas serão contextualizadas tanto para transmissões convencionais quanto para aquelas realizadas via Mochilink 4G, destacando a relevância do sistema em transmissões ao vivo e em situações de mobilidade.

### **6.1. A Evolução da Televisão Digital no Brasil**

As discussões sobre a implantação da televisão digital no Brasil tiveram início em 1991. Em 1994, foi criado um grupo técnico formado pela Sociedade de Engenharia de Televisão (SET) e pela Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (ABERT), com o objetivo de estudar a viabilidade da nova tecnologia e preparar as empresas para sua implementação. Em 1998, a criação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) extinguiu o grupo técnico, e a agência assumiu a condução do processo de seleção do padrão de televisão digital adequado ao país (BOLAÑO; VIEIRA, 2004).

Os primeiros testes foram conduzidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), em parceria com a ANATEL, e visavam avaliar a viabilidade dos padrões internacionais disponíveis. Contudo, os resultados demonstraram que esses padrões não atendiam integralmente às necessidades brasileiras. O padrão americano, por exemplo, apresentava limitações na modulação, com desempenho insatisfatório em transmissões móveis

e baixa eficiência em sistemas com antenas internas, que representavam cerca de 22% dos pontos receptores no país à época (PEREIRA; BEZERRA, 2011; BOLAÑO; VIEIRA, 2004). Em 2003, foi tomada a decisão de desenvolver um sistema nacional de televisão digital. Nesse contexto, foi publicado o Decreto Presidencial nº 4.901, em 26 de novembro de 2003, que instituiu o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). A configuração do padrão brasileiro ficou a cargo de um Comitê de Desenvolvimento, que, com base nos testes realizados, identificou no padrão japonês o melhor desempenho em ambientes urbanos de alta densidade populacional e em sistemas com antenas internas. Esse padrão foi escolhido como base para a criação do modelo brasileiro (ALVES; FEITOSA, 2006; FERNANDES; LEMOS; SILVEIRA, 2004).

Em 2006, um acordo com o governo japonês formalizou a criação de um sistema híbrido, que combinou características do padrão japonês com inovações desenvolvidas por pesquisadores brasileiros. Entre essas inovações, destaca-se o middleware de interatividade, desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) e pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (PEREIRA; BEZERRA, 2011).

Com a adoção do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T), por meio do Decreto nº 5.820/2006, o Brasil buscou democratizar o acesso à televisão digital, garantindo conteúdo de qualidade e interativo, inclusive para populações em regiões remotas e socialmente vulneráveis (BRASIL, 2006; ALENCAR, 2012).

## **6.2. O Processo de Migração para a TV Digital**

O governo brasileiro implementou um plano gradual para a transição do sinal analógico para o digital, conhecido como "switch-off". No estado do Amazonas, o desligamento do sinal analógico estava previsto para 2018. Entretanto, desafios econômicos e tecnológicos, especialmente nas áreas rurais, levaram à prorrogação do prazo para 2025 (BRASIL, 2017; BRASIL, 2023).

Conforme a ANATEL (2023), foram estabelecidas normas específicas para orientar a transição, abrangendo a distribuição de kits de recepção para populações de baixa renda e campanhas de conscientização sobre os benefícios da TV digital. Esse esforço é crucial para garantir a plena integração do estado do Amazonas no sistema digital, considerando suas características geográficas e sociais únicas.

Dessa forma, a implementação do SBTVD reflete não apenas a modernização tecnológica, mas também um compromisso com a inclusão e o acesso universal a uma tecnologia mais eficiente, interativa e acessível.

### 6.3. Qualidade de Serviço (QoS) em transmissões de vídeo em redes 4G (LTE)

A norma 3GPP TS 26.247, intitulada "Transparent End-to-End Packet-Switched Streaming Service (PSS); Protocols and Codecs", estabelece diretrizes essenciais para a medição e avaliação da Qualidade de Serviço (QoS) em transmissões de vídeo realizadas em redes 4G (LTE). Essa norma define protocolos, codecs e métodos para o streaming de vídeo e áudio em redes de pacotes, com foco na garantia de transmissões fluidas e de alta qualidade, mesmo em condições de rede adversas. A seguir, são destacados os principais aspectos abordados pela norma:

#### a) Parâmetros de QoS para Transmissões de Vídeo

**Atraso (Latency)** - Mede o tempo necessário para a entrega de pacotes de dados entre o servidor e o dispositivo receptor. Esse parâmetro é especialmente crítico em transmissões ao vivo, pois atrasos elevados comprometem a experiência do usuário.

**Varição de Atraso (Jitter)** - Avalia a consistência na entrega de pacotes ao longo do tempo. Altos níveis de jitter podem ocasionar falhas na reprodução, como interrupções ou atrasos na sincronização entre áudio e vídeo.

**Perda de Pacotes (Packet Loss)** - Refere-se à porcentagem de pacotes que não chegam ao destino. A perda de pacotes impacta diretamente a qualidade do vídeo, causando quadros perdidos, congelamentos ou artefatos visuais.

**Taxa de Dados (Throughput)** - Determina a capacidade da rede de suportar fluxos contínuos de vídeo. Um throughput insuficiente pode resultar em buffering excessivo ou degradação da qualidade do vídeo.

#### b) Codecs Suportados

A norma especifica o uso de codecs avançados para otimizar o equilíbrio entre qualidade de transmissão e eficiência no uso da largura de banda:

**H.264/AVC**: Amplamente utilizado por sua eficiência de compressão e alta qualidade de imagem.

**H.265/HEVC**: Oferece compressão ainda mais eficiente, permitindo transmissões de alta qualidade com menor uso de largura de banda, ideal para redes móveis.

#### c) Mecanismos de Buffering

A norma recomenda estratégias adaptativas de buffering, que ajustam dinamicamente o tamanho do buffer com base na variabilidade da rede. Essas estratégias reduzem interrupções e garantem uma reprodução estável, mesmo em cenários com flutuações significativas na largura de banda disponível.

#### d) Medidas de Qualidade de Experiência (QoE)

Embora a norma tenha como foco principal a Qualidade de Serviço (QoS), os parâmetros definidos nela impactam diretamente a Qualidade de Experiência (QoE) do usuário final. A aplicação rigorosa dessas diretrizes possibilita:

Transmissões sem interrupções, mesmo em condições de rede adversas.

Experiência satisfatória, com reprodução de alta qualidade e sincronização precisa entre áudio e vídeo.

Portanto, para o desenvolvimento e implementação de soluções que assegurem a qualidade nas transmissões de vídeo em redes 4G (LTE). É necessário ter como base as normas, pois nelas abordam tanto os desafios técnicos quanto os requisitos de experiência do usuário, promovendo uma entrega consistente e otimizada de conteúdos multimídia.

### **6.4. Impacto na Transmissão via Mochilink 4G**

Como vimos anteriormente, a utilização da norma 3GPP TS 26.247 é indispensável para transmissões realizadas com o sistema Mochilink 4G, especialmente diante dos desafios impostos pelas condições de rede nas tecnologias móveis. O Mochilink, que utiliza múltiplas conexões de dados (SIM cards) para transmitir sinais de vídeo e áudio, depende de um gerenciamento eficaz da Qualidade de Serviço (QoS) para garantir estabilidade e alta qualidade durante as transmissões.

#### a) Benefícios da Aplicação da Norma

##### 1. Garantia de Latência e Jitter Controlados

Sincronização em transmissões ao vivo: O controle da latência e da variação de atraso (jitter) assegura a sincronização precisa entre áudio e vídeo, prevenindo falhas de reprodução.

Estabilidade em condições adversas: Mesmo em áreas com cobertura limitada ou conectividade instável, as diretrizes da norma mitigam os efeitos adversos, oferecendo maior confiabilidade.

##### 2. Otimização do Uso da Largura de Banda

Compressão eficiente com codecs avançados: A norma especifica o uso de codecs como H.264/AVC e H.265/HEVC, que proporcionam compressão eficiente, permitindo máxima qualidade visual com o menor consumo de recursos de rede.

Streaming adaptativo: Estratégias de adaptação de taxa de bits (adaptive bitrate streaming) ajustam dinamicamente a qualidade do vídeo às condições da rede, reduzindo interrupções sem comprometer a experiência do usuário.

##### 3. Aumento da Confiabilidade nas Transmissões ao Vivo

Recuperação de erros e buffering inteligente: Mecanismos de correção de erros e estratégias de buffering garantem reprodução contínua, mesmo em situações de flutuações na conectividade.

Ajustes em tempo real: A aplicação das diretrizes permite que equipes técnicas monitorem a QoS e ajustem parâmetros conforme necessário, minimizando riscos de interrupção.

#### 4. Compatibilidade e Padronização Internacional

Seguir as especificações da 3GPP TS 26.247 assegura que os sistemas Mochilink sejam compatíveis com infraestruturas globais, atendendo a padrões internacionais de qualidade e desempenho.

##### b) Complementação com a Norma 3GPP TS 36.300

Para ampliar a eficácia dos mecanismos de QoS aplicados em transmissões móveis, a norma 3GPP TS 36.300 oferece uma visão detalhada da arquitetura LTE. Seus principais destaques incluem:

**Evolved Packet Core (EPC):** Gerencia a conectividade de dados, priorizando fluxos de mídia em relação a outros tipos de tráfego.

**Alocação de recursos e diferenciação de tráfego:** Técnicas que asseguram prioridade para transmissões de vídeo em redes congestionadas.

**Mitigação de congestionamento:** Estratégias para garantir qualidade de transmissão mesmo sob condições de alto tráfego, essenciais em eventos ao vivo.

A aplicação conjunta das normas 3GPP TS 26.247 e 3GPP TS 36.300 estabelece uma base sólida para o uso profissional do Mochilink 4G em transmissões de vídeo e áudio. Essas diretrizes permitem superar os desafios característicos das redes móveis, assegurando qualidade e estabilidade em ambientes adversos. Dessa forma, o Mochilink consolida-se como uma solução confiável para produções ao vivo, alinhada aos mais altos padrões de eficiência e desempenho.

## 7. Tecnologia Mochilink 4G

### 7.1. A Importância da Transmissão ao Vivo no Contexto Audiovisual

A transmissão ao vivo tornou-se indispensável para atender às demandas do público em diversas plataformas, como televisão aberta, canais de internet e mídias sociais. Essa técnica proporciona imediatismo e personalização, permitindo a cobertura em tempo real de eventos como notícias, esportes, conferências, shows, transmissões externas, podcasts ao vivo e até jogos de tabuleiro (TTG). O formato "ao vivo" possibilita a presença in loco e o compartilhamento instantâneo de histórias e acontecimentos.

As tecnologias para transmissão ao vivo têm como objetivo principal transportar sinais de áudio e vídeo de um local para outro em tempo real. Isso pode ser feito por meio de:

1. Fibra óptica, para alta capacidade e baixa latência.
2. Sistemas de satélite (bandas C, Ka e Ku), para longas distâncias.
3. Links de micro-ondas terrestres, para cobertura regional.
4. Internet (FTP/Streaming), para maior flexibilidade e custo reduzido.

Tradicionalmente, essas transmissões exigiam infraestrutura cara e complexa, como Unidades de Produção Móvel (MPU) e Unidades de Transmissão Móvel (MBU). Porém, os avanços em comunicações móveis (3G/4G/LTE/5G) e codificação digital viabilizaram soluções mais práticas, como as mochilas de transmissão.

## 7.2. Definição e Funcionamento do Mochilink 4G

O Mochilink 4G, do inglês Backpack Broadcast ou Link, é uma solução tecnológica projetada para transmissão de vídeo ao vivo de forma prática e eficiente. Ele elimina a necessidade de estruturas tradicionais complexas, como satélites ou veículos de transmissão, ao utilizar redes móveis para enviar sinais audiovisuais em tempo real.

Por meio da integração de múltiplos modems e cartões SIM, o Mochilink agrega a infraestrutura de redes 3G, 4G e, mais recentemente, 5G. Essa configuração garante transmissões estáveis e de alta qualidade, permitindo mobilidade ao operador de câmera, que pode cobrir eventos de forma ágil e imediata. Na figura 1, podemos ter uma visão geral sistema do mochilink.

*Figura 1 - Componentes sistema mochilink Livecast Pro.*

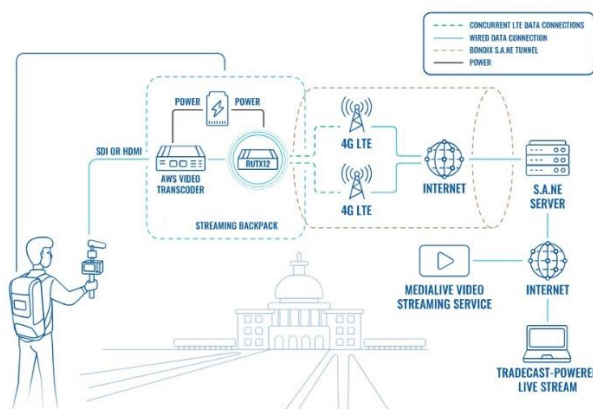


Fonte: Adaptado de viacast, 2024.

### 7.3. Arquitetura do Sistema

Dessa forma, o ambiente televisivo estava atingindo um dos seus grandes objetivos de comunicação: estar em qualquer lugar de interesse e obter gravações de eventos ou notícias. A única coisa que faltava era uma solução leve para fazer “uma transmissão ao vivo” com o próprio operador de câmera. A mochila broadcast ou link surge o objetivo de atender a demanda de transmitir ao vivo de qualquer. Vamos entender como é montada esse arquitetura, observe a figura 2.

Figura 2 - Topologia da arquitetura do sistema Mochilink.



Fonte: adaptado de Teltonika, 2023.

A arquitetura do Mochilink 4G é composta pelos seguintes elementos:

1. **Codificador de Vídeo/Áudio (Streamer):** Converte os sinais capturados em formatos digitais para transmissão.
2. **Múltiplos Modems e Antenas:** Equipados com slots para cartões SIM, esses modems utilizam conexões simultâneas de várias redes móveis, maximizando a largura de banda disponível.
3. **Agregação de Banda (Bonding):** Combina diferentes conexões de redes (3G, 4G, Wi-Fi, Ethernet) para formar um único canal lógico, garantindo confiabilidade e qualidade.
4. **Sistemas de Controle:** Tecnologias como Adaptive Bit Rate (ABR) e Forward Error Correction (FEC) otimizam a transmissão, mesmo em condições de rede adversas.
5. **Fonte de Alimentação e Conexões:** Alimentado por baterias, o equipamento inclui interfaces HDMI, SDI e Ethernet para entrada/saída de dados e vídeo.

### 7.4. Desafios Técnicos

Apesar de suas vantagens, o Mochilink 4G enfrenta desafios técnicos:

**Perda de Pacotes:** Cobertura de rede instável pode causar interrupções na transmissão.

**Latência:** Atrasos entre a captura e a recepção do sinal variam conforme a qualidade da rede.

**Variabilidade da Cobertura de Rede:** Limitações em áreas remotas ou congestionadas afetam a transmissão.

**Consumo de Energia:** A operação contínua exige baterias de alta capacidade, impactando a portabilidade.

### **7.5. Evolução e Aplicações**

A introdução de redes móveis mais avançadas, como 5G, trouxe melhorias significativas para o desempenho das mochilas de transmissão, com maior largura de banda, latência reduzida e maior confiabilidade:

- a) Velocidades mais altas (até 20 Gbps).
- b) Latência reduzida (1 a 2 milissegundos).
- c) Conexão de múltiplos dispositivos por quilômetro quadrado.

Essas características expandem as possibilidades de uso, tornando o Mochilink ideal para transmissões em locais de difícil acesso e para produções de alta demanda, como eventos esportivos e shows.

### **7.6. Mochilas de Transmissão: Uma Revolução Tecnológica**

Em meio dessa crescente demanda, foi lançada pela LiveU em 2006, a mochila de transmissão revolucionou o mercado audiovisual. Utilizando redes móveis com bonding, essas mochilas permitem transmissões confiáveis e em alta qualidade, eliminando a necessidade de suporte via satélite.

Os equipamentos incluem codificadores de vídeo e áudio, modems, antenas e slots SIM, sendo projetados para resistência e portabilidade. Suportam condições adversas com resfriamento eficiente e proteção contra choques e água.

Através dessa versatilidade, o Mochilink 4G transformou a maneira de como o conteúdo ao vivo é produzido e transmitido, oferecendo uma solução prática, econômica e de alta qualidade para um mercado em constante evolução. Contudo, para superar suas limitações, o desenvolvimento contínuo e a adaptação às novas tecnologias serão essenciais para manter sua relevância nos próximos anos.

### **7.7. Impacto do 5G e Futuro da Transmissão ao Vivo**

A chegada da tecnologia 5G representa um marco na transmissão ao vivo, permitindo maior confiabilidade e acessibilidade na produção e transmissão de conteúdo, melhoria que são destacadas abaixo com:

- a) Velocidades de até 20 Gbps.
- b) Latência mínima, ideal para eventos ao vivo.

- c) Capacidade de conectar mais dispositivos por área.

### **7.8. Aplicações e Benefícios**

Embora não substituam métodos tradicionais como DSNG e ENG, as mochilas de transmissão complementam essas tecnologias, oferecendo:

- a) Cobertura em locais remotos.
- b) Redução de custos operacionais.
- c) Funcionalidade Store-and-Forward para gravação e transmissão simultânea.

As mochilas de transmissão representam uma evolução significativa no setor audiovisual, democratizando a produção ao vivo e aumentando a eficiência das transmissões. Com o suporte de redes móveis avançadas como o 5G e tecnologias inovadoras desenvolvidas por empresas líderes, essas soluções continuarão a transformar a forma como histórias são contadas e eventos são compartilhados em tempo real.

## **8. O Projeto - ambientação**

A cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, possui uma população de aproximadamente 2,2 milhões de habitantes, conforme o último Censo do IBGE (2022). O Serviço Móvel Pessoal (SMP), segundo definição da Anatel, abrange a comunicação entre aparelhos celulares ou entre celular e telefone fixo, permitindo também o acesso à internet banda larga (ANATEL, 2023b). Esse serviço é prestado em regime privado, sem exigências de universalização e continuidade.

De acordo com dados da Anatel de março de 2023, Manaus registrou cerca de 2.803.075 acessos de telefonia móvel. As principais operadoras em operação na cidade são:

- a) Vivo, com 1.333.262 acessos;
- b) Claro, com 1.151.244 acessos;
- c) TIM, com 312.564 acessos;

Outras operadoras, não especificadas pela Anatel, com 6.005 acessos.

Em termos de densidade de acessos, Manaus apresenta uma proporção de 110,5 acessos por 100 habitantes, valor 28,2% superior à média estadual, que é de 86,2 acessos por 100 habitantes.

Quanto às tecnologias utilizadas, a distribuição de acessos de telefonia móvel na cidade é liderada pela tecnologia 4G, com 2.167.315 acessos, seguida por:

1. 3G, com 223.565 acessos;
2. 2G, com 209.125 acessos;
3. 5G, com 203.070 acessos.

No entanto, observa-se uma redução no total de acessos em comparação a 2020, quando Manaus alcançou 3.063.765 acessos, o maior valor registrado entre 2019 e março de 2023

## **8.1 PROCEDIMENTO PARA MEDIR A QUALIDADE DE TRANSMISSÃO DE VÍDEOS AO VIVO COM MOCHILINK 4G EM UMA ÁREA URBANA CIDADE DE MANAUS.**

Este item vamos descrever os procedimentos propostos para medir a qualidade de transmissão de vídeos ao vivo utilizando mochilink 4G, com base nas diretrizes estabelecidas pelas recomendações da ITU-T, 3GPP e nos requisitos regulamentares da Anatel.

Este procedimento permitirá uma avaliação detalhada e confiável da qualidade de transmissão de vídeos ao vivo via mochilink 4G em Manaus, contribuindo para diagnósticos mais precisos e para a melhoria dos serviços de comunicação móvel na região.

### **8.1.1. Referências Normativas**

O procedimento proposto está referenciado nos documentos listados abaixo:

- **ITU-T P.1203:** Modelo para medir a QoE de serviços de vídeo em tempo real.
- **ITU-T G.1011:** Descrição da qualidade percebida e métodos de medição.
- **3GPP TR 26.944:** Parâmetros de transmissão de streaming em redes móveis.
- **Regulamentações da Anatel:** Parâmetros mínimos para qualidade de serviço em redes móveis.

### **8.1.2. Descrição do Método**

A metodologia para avaliação pode ser estruturada nos seguintes passos:

#### **a. Preparação**

Para configurar um cenário de medição em área urbana representativa da cidade de Manaus, foi considerado:

- Horários variados para avaliar o impacto do tráfego na rede.
- **Local de Medição:** Selecionar uma área urbana representativa, com diferentes condições de cobertura e interferência.
- **Equipamento Utilizado:** Mochilink 4G com suporte a múltiplos modems, dispositivos de medição (analisadores de tráfego, smartphones ou laptops com software especializado).
- **Ferramentas de Software:** Wireshark para captura de pacotes, ferramentas de medição de QoE, e plataformas para análise de vídeo, como o VMAF (Video Multi-Method Assessment Fusion).

## **b. Parâmetros de Medição**

Identificar e selecionar as métricas fundamentais para análise da qualidade de transmissão, incluindo:

- **Latência (delay):** Tempo de ida e volta dos pacotes de vídeo.
- **Jitter:** Variação no tempo de chegada dos pacotes.
- **Perda de Pacotes:** Percentual de pacotes perdidos durante a transmissão.
- **Taxa de Transmissão (Throughput):** Velocidade efetiva de transmissão em Mbps.
- **Qualidade de Experiência (QoE):** Avaliação subjetiva baseada na recomendação ITU-T P.1203.

## **c. Cenário de Amostragem**

- **Configuração Inicial:**
  - Configurar o mochilink com uma rede 4G de uma operadora de telefonia, com suporte a agregação de bandas para melhor desempenho.
  - Verificar a localização e posicionar as antenas de forma adequada para maximizar o sinal.
- **Teste em Diferentes Cenários Urbanos:**
  - Realizar medições em áreas com boa cobertura, cobertura intermediária e cobertura marginal.
  - Coletar dados durante horários de pico e fora de pico para avaliar a influência do congestionamento da rede.
- **Transmissão de Vídeo:**
  - Realizar transmissões ao vivo com resolução Full HD (1080p) e 4K.
  - Analisar a estabilidade da transmissão e a qualidade do vídeo com base nos parâmetros acima.
- **Análise dos Dados:**
  - Utilizar ferramentas de software para calcular os indicadores de QoS (Quality of Service) e QoE.
  - Comparar os resultados com os requisitos das recomendações ITU-T, 3GPP e Anatel para identificar conformidade e áreas de melhoria.

## **d. Quantidade de Amostragens**

De acordo com as recomendações da ITU-T P.1203, ITU-T G.1011, 3GPP TR 26.944 e regulamentações da Anatel, a proposta de quantidade de amostragens para uma medição precisa pode incluir:

- **Número de Sessões de Medição:** Realizar pelo menos 30 sessões de medição em diferentes locais e horários. Cada sessão deve ter uma duração mínima de 5 minutos de transmissão contínua.
- **Locais de Teste:** Realizar medições em pelo menos 10 locais distintos em uma área urbana, contemplando diferentes cenários de cobertura (boa, média e baixa).
- **Horários de Medição:** Coletar dados durante diferentes períodos do dia (manhã, tarde e noite) para capturar variações no congestionamento da rede.
- **Quantidade de Amostras por Sessão:** Para cada sessão de medição, capturar dados de QoE e QoS a cada 1 segundo, totalizando aproximadamente 300 amostras por sessão de 5 minutos.

### 8.1.3. Procedimentos de Medição

#### a. Conformidade com ITU-T P.1203: Modelo para Medir a QoE

- **Parâmetros Avaliados:** A recomendação P.1203 combina medidas objetivas (ex.: perda de pacotes, jitter, latência) com avaliações subjetivas de qualidade visual e experiência do usuário.
- **Implementação do Modelo Híbrido:** Usar um modelo híbrido, que avalie tanto a qualidade do fluxo de vídeo (objetiva) quanto a percepção do usuário (subjetiva). Utilizar uma ferramenta de análise de QoE, como VMAF, para avaliar a qualidade do vídeo.

#### b. Conformidade com ITU-T G.1011: Métodos de Medição da Qualidade Percebida

- **Metodologia Subjetiva:** Realizar testes subjetivos com voluntários que assistam aos vídeos transmitidos e forneçam avaliações de qualidade em uma escala de 1 a 5 (MOS – Mean Opinion Score).
- **Metodologia Objetiva:** Calcular o MOS usando algoritmos automatizados, que correlacionem medidas objetivas com a percepção subjetiva.

#### c. Conformidade com 3GPP TR 26.944: Parâmetros de Transmissão de Streaming em Redes Móveis

- **Parâmetros a Serem Monitorados:**
- **Throughput:** Verificar a taxa de transferência de dados durante a transmissão.
- **Buffering:** Medir o tempo e a frequência de eventos de buffering.
- **Taxa de Perda de Pacotes:** Determinar a porcentagem de pacotes de vídeo perdidos.
- **Procedimentos de Coleta:** Durante cada sessão de medição, capturar os dados de throughput, buffering e perda de pacotes em intervalos de 1 segundo.

#### **d. Conformidade com as Regulamentações da Anatel**

- **Latência Máxima Permitida:** Seguir o parâmetro de latência média de até 100 ms para uma rede móvel, conforme especificado pela Anatel.
- **Taxa de Sucesso de Conexão:** Garantir que ao menos 98% das tentativas de conexão sejam bem-sucedidas durante os testes.
- **Procedimentos de Validação:** Para cada sessão de medição, registrar os valores de latência, taxa de perda de pacotes e sucesso de conexão para avaliar se estão dentro dos limites estabelecidos pela Anatel.

#### **8.1.4. Processamento e Análise dos Dados**

- **Agregação de Dados:** Calcular as médias, desvios-padrão e percentis das métricas coletadas em todas as sessões de medição.
- **Comparação com Requisitos:** Verificar se os resultados atendem aos parâmetros estabelecidos pelas normas e regulamentações, como  $MOS \geq 3$ , latência  $\leq 100$  ms e taxa de perda de pacotes  $\leq 1\%$ .
- **Análise de Cenários Específicos:** Identificar variações nas métricas em diferentes condições de cobertura e horários, para ajustar os parâmetros de transmissão do mochilink e otimizar a qualidade.

Essa abordagem garante uma quantidade suficiente de amostragens e procedimentos padronizados, alinhados às recomendações da ITU, 3GPP e Anatel, proporcionando uma avaliação robusta da qualidade de transmissão de vídeo ao vivo.

## **8.2 PROCEDIMENTO PARA MEDIR A QUALIDADE DE TRANSMISSÃO DE VÍDEOS AO VIVO USANDO WIRWSHARK**

### **8.2. 1. Latência (Delay)**

A latência é o tempo de ida e volta (RTT - Round Trip Time) dos pacotes.

Método no Wireshark:

Filtrar pacotes específicos (ex.: TCP ou RTP):

Use um filtro para identificar o fluxo de interesse, como:

```
ip.src == 45.236.240.202 && ip.dst == <endereço_destino>
```

Verificar o RTT (Round Trip Time):

Vá em "Statistics" > "TCP Stream Graphs" > "Round Trip Time Graph" para visualizar o RTT dos pacotes.

Você também pode usar o "Packet Details" e observar o campo "Time" para calcular manualmente a diferença de tempo entre pacotes enviados e recebidos.

Fórmula:

$$\text{Latência Média} = \frac{\text{Somatório de RTTs}}{\text{Total de Pacotes}}$$

### 8.2.2. Jitter (Variação do Tempo de Chegada)

O jitter é a variação no intervalo de chegada dos pacotes, geralmente calculado para fluxos RTP.

Método no Wireshark:

Fluxo

RTP:

Vá em "Telephony" > "RTP" > "Stream Analysis".

O Wireshark exibe o jitter diretamente para fluxos RTP.

TCP/UDP (se não for

RTP):

Exporte os dados para análise manual:

Vá em "File" > "Export Packet Dissections" para salvar os timestamps dos pacotes.

Calcule a variação nos intervalos de tempo entre os pacotes.

Fórmula:

$$\text{Jitter} = |(T_{i+1} - T_i) - (T_i - T_{i-1})|$$

### 8.2.3. Perda de Pacotes

A perda de pacotes é o percentual de pacotes enviados que não chegaram ao destino.

Método no Wireshark:

Filtrar pacotes do fluxo:

Use um filtro como:

`ip.src == 45.236.240.202 && ip.dst == <endereço_destino>`

Identificar retransmissões ou ausência de pacotes:

Para TCP: Filtro `tcp.analysis.retransmission`.

Para RTP: Vá em "Telephony" > "RTP" > "Stream Analysis" para identificar pacotes perdidos.

Fórmula:

$$\text{Perda de Pacotes (\%)} = \frac{\text{Pacotes Perdidos}}{\text{Total de Pacotes Enviados}} \times 100$$

### 8.2.4. Taxa de Transmissão (Throughput)

O throughput é a velocidade efetiva da transmissão.

Método no Wireshark:

Obtenha os bytes transferidos:

Vá para "Statistics" > "I/O Graphs" e selecione a métrica Bytes/tick ou Bits/tick.

Cálculo Manual:

Exporte os dados e calcule manualmente:

Total de bytes transferidos (Total Bytes) em um intervalo de tempo (Delta t).

Fórmula:

$$\text{Throughput (Mbps)} = \frac{\text{Total Bytes} \times 8}{\Delta t \times 10^6}$$

### 8.2.5. Qualidade de Experiência (QoE)

A QoE é uma avaliação subjetiva baseada em métricas objetivas, como latência, jitter, perda de pacotes e bitrate, conforme a recomendação ITU-T P.1203.

Método Simplificado:

ITU-T P.1203 utiliza métricas como:

Bitrate: Pode ser obtido no Wireshark (campo RTP ou estatísticas TCP).

Latência, jitter e perda de pacotes: Já calculados acima.

Exemplo de Fórmula MOS (Mean Opinion Score):

Para avaliar QoE subjetivamente:

$$\text{MOS} = 5 - (a \cdot \text{Latência} + b \cdot \text{Jitter} + c \cdot \text{Perda de Pacotes})$$

Onde a, b, e c são coeficientes ajustados para o tipo de aplicação.

## 8.3. Configuração para Rede LTE - Transmissão de Vídeos

### 8.3.1. Parâmetros de Rede (TCP/UDP)

Protocolo de Transporte: Recomenda-se UDP para transmissão de vídeo em tempo real, pois tolera perdas de pacotes e evita atrasos causados por retransmissões (diferente do TCP).

FIFO/Timeout/Socket Buffer: Buffer de socket: Aumente para 4 MB para lidar com flutuações de throughput e jitter da rede LTE.

Timeout: Mantenha em 1s ou ajuste para valores menores (500 ms) para reduzir atrasos perceptíveis.

### 8.3.2. Parâmetros de Vídeo

Codec:

HEVC (H.265): Ideal para redes LTE, pois oferece maior compressão sem perda significativa de qualidade.

Taxa de Bits (Bitrate):

Estime o throughput médio da rede LTE (por exemplo, 5 Mbps) e ajuste para valores levemente abaixo, como 4 Mbps, para garantir estabilidade.

ABR (Adaptive Bitrate):

Habilitado: Permite adaptação automática da qualidade do vídeo com base no throughput em tempo real da rede LTE.

GOP Size (Buffer de vídeo):

Duração do GOP: Aumente para 60 frames (2-4 segundos) para melhorar a robustez contra perdas de pacotes.

### **8.3.3. Parâmetros de Áudio**

Codec:

AAC-LC (Low Complexity): Otimizado para streaming em redes móveis.

Bitrate de Áudio:

Reduza para 96 Kbps ou 64 Kbps para economizar largura de banda sem afetar muito a qualidade.

### **8.3.4. Ajustes para Rede LTE**

Resolução Dinâmica:

Inicialize a transmissão com uma resolução média (ex.: 720p) e ajuste dinamicamente com base no throughput da rede.

Caching e Buffering:

Configure buffers de vídeo de 3 a 5 segundos para compensar variações de jitter e latência.

Monitoramento de QoS:

Utilize métricas específicas, como:

RSRP (Reference Signal Received Power): Para medir a qualidade do sinal LTE.

RSRQ (Reference Signal Received Quality): Para avaliar a eficiência espectral.

### **8.3.5. Estratégia de Transmissão**

Duração do Vídeo:

Para 5 minutos de transmissão:

Taxa de bits estimada: 4 Mbps (vídeo) + 96 Kbps (áudio) = ~4.1 Mbps total.

Dados totais transmitidos:

Total de Dados = 4.1 Mbps x 300 segundos = 1230 Mb  $\approx$  153.75 MB

Fluxo de Rede:

A rede LTE deve suportar ~4.1 Mbps de throughput sustentado durante os 5 minutos.

### **8.3.6. Ferramentas de Monitoramento**

Para garantir a qualidade da transmissão:

QoS Monitor: Ferramentas como Wireshark ou iPerf para medir latência, jitter, throughput e perdas.

QoE Metrics: Utilize recomendações como ITU-T P.1203 para correlacionar métricas objetivas com a qualidade percebida pelo usuário.

## **9. Resultados Encontrados**

A transmissão de dados em redes LTE (Long-Term Evolution) é fundamental para aplicações modernas, especialmente em serviços de streaming de vídeo, videoconferência e outras soluções que demandam alta qualidade e baixa latência. No entanto, a eficiência e a qualidade da transmissão como vimos anteriormente dependem de uma série de fatores, como a latência, o jitter, a perda de pacotes e o throughput. Essas métricas são essenciais para garantir uma experiência de usuário satisfatória (QoE - Quality of Experience) e para otimizar o desempenho da rede.

Neste contexto, a análise de uma transmissão de vídeo em uma rede LTE é realizada com base em dados coletados de interfaces de rede, utilizando ferramentas como Wireshark para monitorar e calcular métricas como latência, jitter, perda de pacotes e throughput. Além disso, a configuração da rede e os parâmetros de transmissão são ajustados para garantir uma transmissão estável e eficiente, com foco na redução de latências e na otimização do uso da largura de banda.

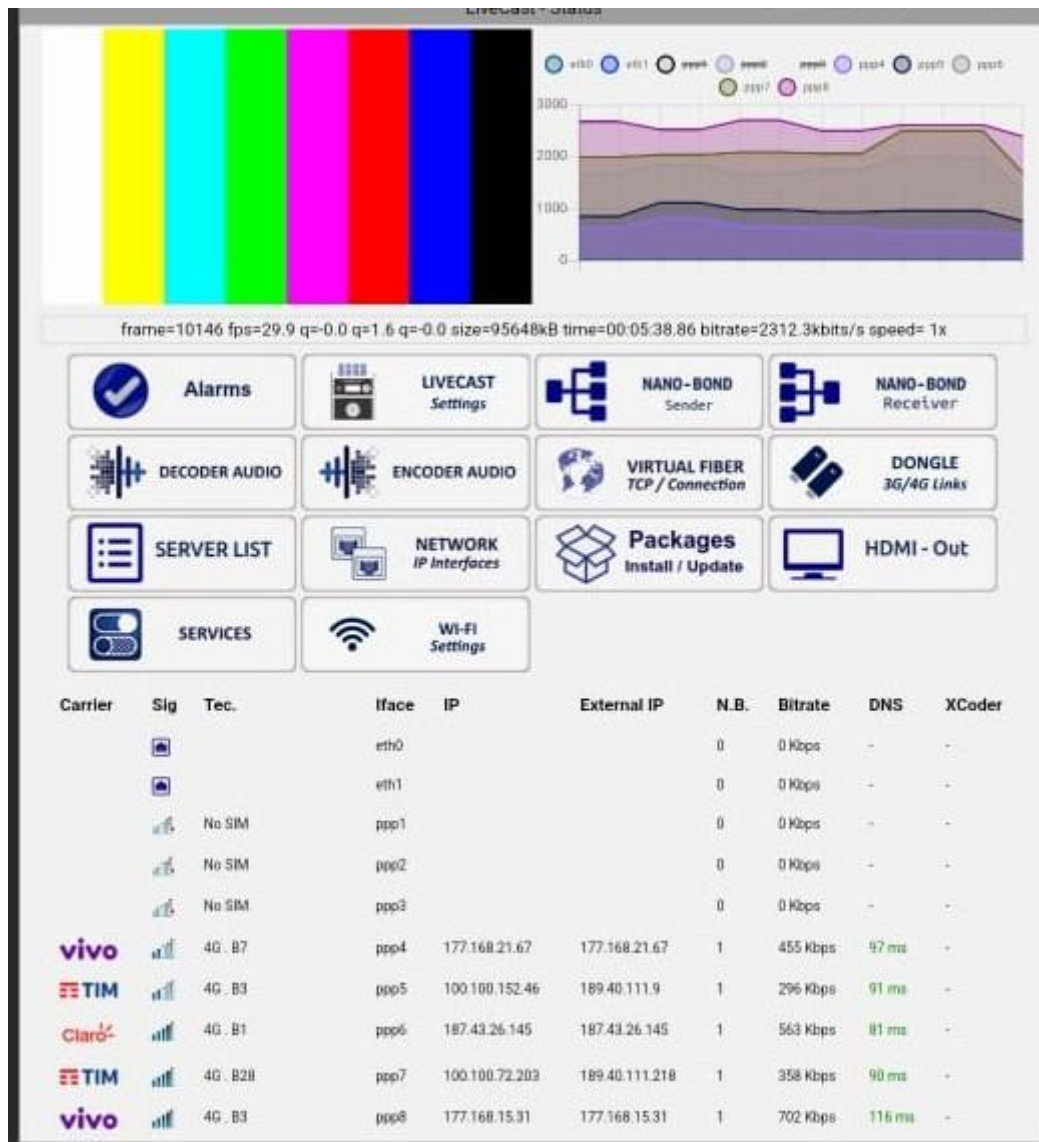
A seguir, apresentamos uma análise detalhada das métricas coletadas, bem como os cálculos realizados para avaliar o desempenho da rede e a qualidade da transmissão de vídeo.

### **9.1 Análise e Cálculos Baseados nas Informações Fornecidas**

#### **1. Latência (Delay)**

A latência é o tempo de ida e volta (RTT - Round Trip Time) dos pacotes. Na tabela1 fornecida, os valores de RTT estão listados para cada interface:

Figura 3 - Amostra do mochilink



Fonte: Próprio Autor

Tabela 1 - RTT dos pacotes

Interface	RTT (ms)
ppd	97 ms
ppb5	91 ms
ppc6	11ms
ppc7	90 ms
Ppg8	116 ms

Fonte: Próprio autor

Latência Média:

$$\text{Latência Média} = \frac{\text{Somatório de RTTs}}{\text{Total de Pacotes}} = \frac{97+91+11+90+116}{5} \approx 79.0 \text{ ms}$$

## 2. Jitter (Variação do Tempo de Chegada)

O jitter é a variação no intervalo de chegada dos pacotes. Como os valores de RTT estão disponíveis, podemos calcular o jitter como a diferença entre os RTTs:

$$\text{Jitter entre ppd e ppb5: } |97 - 91| = 6 \text{ ms}$$

$$\text{Jitter entre ppb5 e ppc6: } |91 - 11| = 80 \text{ ms}$$

$$\text{Jitter entre ppc6 e ppc7: } |11 - 90| = 79 \text{ ms}$$

$$\text{Jitter entre ppc7 e ppg8: } |90 - 116| = 26$$

Jitter Médio:

$$\text{Jitter Médio} = \frac{6 + 80 + 79 + 26}{4} \approx 57.75 \text{ ms}$$

## 3. Perda de Pacotes

A perda de pacotes não está explicitamente listada na tabela, mas pode ser inferida a partir da ausência de informações sobre retransmissões ou pacotes perdidos. Assumindo que não há perda de pacotes, o cálculo seria:

## 4. Taxa de Transmissão (Throughput)

A taxa de transmissão (bitrate) está listada para cada interface:

*Tabela 2 - Amostras de Bit Rate*

Interface	bitrate
ppd	455 Kbps
ppb5	296 Kbps
ppc6	563 Kbps
ppc7	358 Kbps
ppg8	702 Kbps

Fonte: Próprio autor

Throughput Médio:

$$\text{Throughput Médio} = \frac{455 + 296 + 563 + 358 + 702}{5} \approx 474.8 \text{ Kbps}$$

## 5. Qualidade de Experiência (QoE)

A QoE pode ser avaliada com base nas métricas de latência, jitter, perda de pacotes e bitrate. Usando a fórmula simplificada para MOS (Mean Opinion Score):

$$\text{MOS} = 5 - (a \cdot \text{Latencia} + b \cdot \text{Jitter} + c \cdot \text{Perda de Pacotes})$$

Considerando os coeficientes  $a = 0.01$ ,  $b = 0.02$ , e  $c = 0.1$ :

$$\text{MOS} = 5 - (0.01 \cdot 79.0 + 0.02 \cdot 57.75 + 0.1 \cdot 0) \approx 5 - (0.79 + 1.155) \approx 3.055$$

#### 6. Configuração para Rede LTE - Transmissão de Vídeos (5 minutos)

Taxa de Transmissão Total: 4.1 Mbps (vídeo + áudio)

Dados Totais Transmitidos: 1230 Mb  $\approx$  153.75 MB

Throughput Sustentado Necessário:  $\sim$ 4.1 Mbps durante 5 minutos

#### 7. Ferramentas de Monitoramento

QoS Monitor: Wireshark ou iPerf para medir latência, jitter, throughput e perdas.

QoE Metrics: ITU-T P.1203 para correlacionar métricas objetivas com a qualidade percebida pelo usuário.

*Tabela 3 - Resumo dos Resultados*

Parâmetro	Resultado
Latência Média	79.0 ms
Jitter Médio	57.75 ms
Perda de Pacotes	0 %
Throughput Médio	474.8 Kbps
MOS (QoE)	3.055
Dados Totais Transmitidos	153.75 MB
Throughput Necessário	4.1 Mbps durante 5 minutos

Esses resultados indicam que a rede está operando com uma latência e jitter moderados, sem perda de pacotes, e com um throughput médio de aproximadamente 474.8 Kbps. A QoE estimada é de 3.055, o que sugere uma experiência de usuário razoável, mas com espaço para melhorias.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas considerações finais deste projeto, Apesar das vantagens do mochilink 4G em termos de mobilidade e flexibilidade para transmissões ao vivo, a qualidade do sinal de vídeo e áudio transmitido ainda enfrenta desafios críticos em ambientes de cobertura irregular, como em algumas áreas de Manaus. Esses desafios se manifestam por meio de parâmetros técnicos como latência, taxa de perda de pacotes e taxa de compressão de vídeo, que impactam diretamente a fidelidade da transmissão. Em regiões com cobertura instável, problemas como perda de dados e variações de bitrate comprometem a estabilidade e a continuidade do serviço, prejudicando a experiência do espectador. Deixando a um nível razoável de experiência.

Esses aprimoramentos poderão agregar ainda mais valor ao sistema, tornando-o mais robusto e adaptável às necessidades futuras.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. S., Televisão Digital, editora Érica, 2012.

ALVES, Kellyanne Carvalho. FEITOSA, Deisy Fernanda. **TV digital: surgimento e perspectivas.** Jornada de Iniciação Científica em Comunicação, do XXIX Congresso Brasileiro de Ciência da Comunicação, 2006. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2006/resumos/r2111-1.pdf>. Acesso em: 02 Nov. 2024.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Ato nº 7.989, de 22 de junho de 2023. Estabelece normas e diretrizes para operação de redes de telecomunicações e segurança da informação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 jun. 2023. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/component/content/article/161-atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2023/1877-ato-7989>. Acesso em: 02 Nov. 2024.

ANATEL. Estações do SMP em Manaus - Amazonas. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/outorga-e-licenciamento/estacoes-do-smp> . Acesso em 04 Nov. 2024.

BOLAÑO, César; VIEIRA, Vinícius Rodrigues. TV digital no Brasil e no mundo: estado da arte. **Revista de Economía Política de las Tecnologías de la Información y Comunicación**, v. 6, n. 2, p. 109, 2004. Disponível em: [https://www.academia.edu/513796/TV\\_digital\\_no\\_Brasil\\_e\\_no\\_mundo\\_estado\\_da\\_arte](https://www.academia.edu/513796/TV_digital_no_Brasil_e_no_mundo_estado_da_arte). Acesso em: 11 Nov. 2024.

BRASIL. Decreto nº 4.901, de 26 de novembro de 2003. Institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital - SBTVD e dá outras providências. Disponível em: [https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha/?/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/DEC%204.901-](https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha/?/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC%204.901-)

2003&OpenDocument#:~:text=Decreto%20n%C2%BA%204.901%20de%2026%20de%20novembro,DIGITAL%202D%20SBTVD%2C%20E%20D%C3%81%20OUTRAS%20PROVIDENCIAS. Acesso em: 16 nov. 2024.

BRASIL. Ministério das Comunicações. Portaria nº 11.476, de 8 de dezembro de 2023. Altera a Portaria MCOM nº 2.992, de 26 de maio de 2017, e a Portaria de Consolidação GM/MCOM nº 1, de 2 de junho de 2023, para estabelecer diretrizes para o desligamento dos sinais analógicos de televisão. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 dez. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mcom-n-11476-de-8-de-dezembro-de-2023-529259203>. Acesso em: 02 Nov. 2024.

BRASIL. Ministério das Comunicações. Portaria nº 2.992, de 26 de maio de 2017. Estabelece as condições e premissas para o desligamento da transmissão analógica de serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 maio 2017. Disponível em: [https://www.gov.br/mcom/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/copy8\\_of\\_PORTARIAN2.992DE26DEMAIODE2017.pdf](https://www.gov.br/mcom/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/copy8_of_PORTARIAN2.992DE26DEMAIODE2017.pdf). Acesso em: 02 Nov. 2024.

FERNANDES, Jorge; LEMOS, Guido; SILVEIRA, Gledson. **Introdução à televisão digital interativa: arquitetura, protocolos, padrões e práticas**. In: Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. 2004. p. 1-56. Disponível em: <https://silo.tips/download/jorge-fernandes-12-guido-lemos-3-gledson-elias-silveira-3>. Acesso em: 10 Nov. 2024.

IBGE. Censo Populacional 2022. Panorama dos Indicadores. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=5300108&tema=1>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PEREIRA, Lívia Cirne de Azevêdo. BEZERRA, Ed Pôrto. **Televisão digital: do Japão ao Brasil**. Culturas Midiáticas, v. 1, n. 1, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/cm/article/download/11628/6668/16654>. Acesso em: 02 Nov. 2024.

3GPP TS 26.247. Transparent End-to-End Packet-Switched Streaming Service (PSS); Protocols and Codecs. Versão 17.1.0. ETSI, setembro de 2017. Disponível em: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/126200\\_126299/126247/17.01.00\\_60/ts\\_126247v170100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/126200_126299/126247/17.01.00_60/ts_126247v170100p.pdf). Acesso em: 16 nov. 2024.

3GPP TS 36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description. ETSI, setembro de 2018. Disponível em: <https://www.etsi.org>. Acesso em: 16 nov. 2024.

TELTONIKA. Use case: smart cities – uninterrupted connectivity for the Live2Go streaming backpack. 2023. Disponível em: <https://teltonika-networks.com/cdn/use-cases/2023/04/6437b16eb09613-54871387/uninterrupted-connectivity-for-the-live2go-streaming-backpack.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

VIACAST. Manual Livecast Pro. 2024. Disponível em: <https://viacast.tv/livecast-pro/>. Acesso em: 20 nov. 2024.